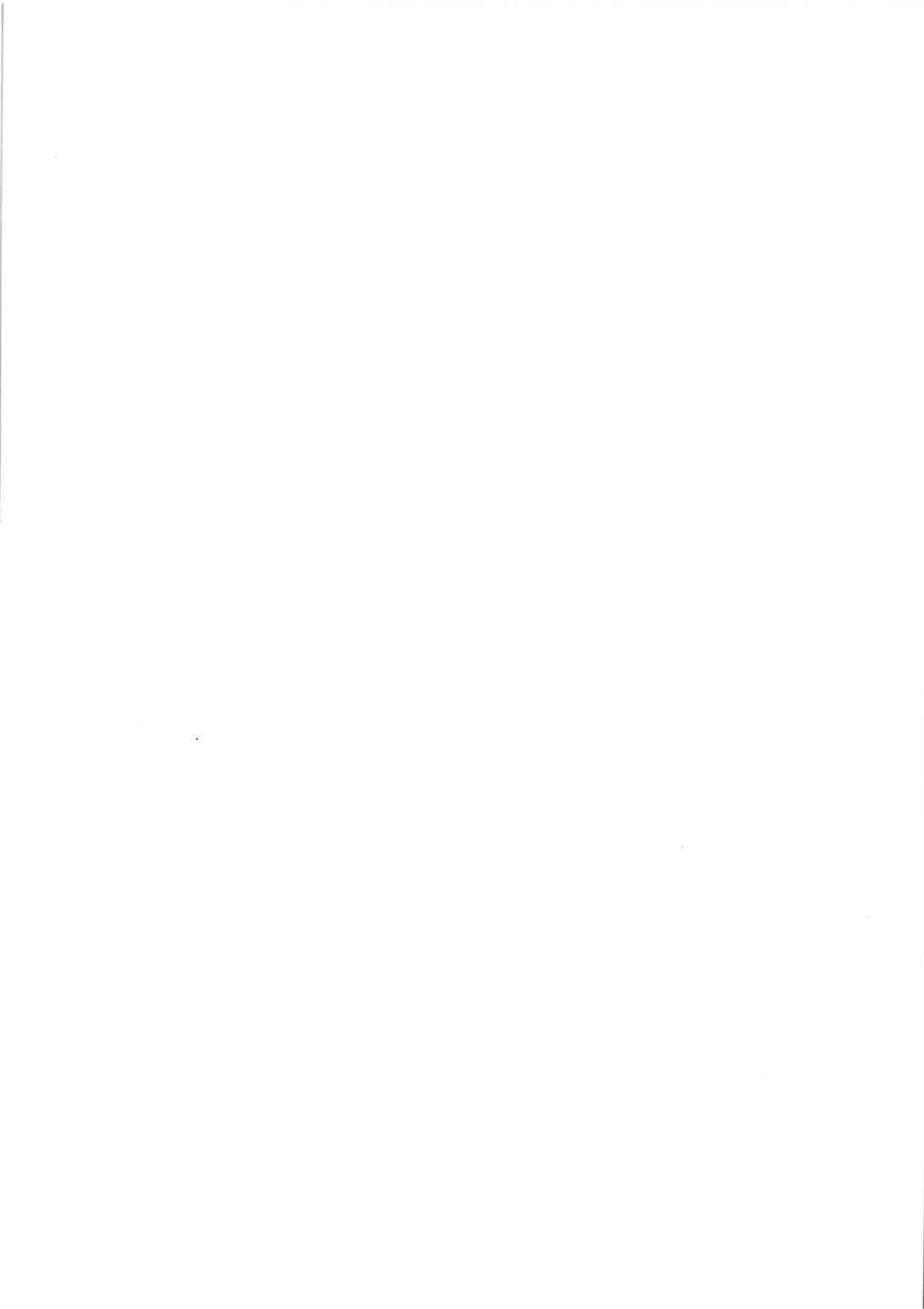


친환경농업연구사업단
(Environment-Friendly Agriculture Research Center)

제 3 핵심과제 경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발
[Theme III] Development of Integrated Crop and Livestock Farming Systems
Models for Natural Cycling Agriculture

전남대학교 산학협력단

농 립 수 산 식 품 부



제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “친환경농업연구사업단” 과제(제 3 핵심과제 “경종과 축산이 연계하는 자연 순환농업모델 개발”에 관한 연구)의 보고서로 제출합니다.

2010년 11월 1일

주관연구기관명 : 전남대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 박 노 동

세부연구책임자 : 최 우 정

세부연구책임자 : 김 태 환

세부연구책임자 : 김 광 현

요 약 문

I. 제 목 : 경종과 축산이 연계하는 자연순환농업 모델 개발[제 3핵심]

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

- 경종과 축산이 연계한 자연순환농업 운영에 필요한 퇴비 중심의 양분순환구조 분석, 조 사료생산체계 및 한우 사육모델 개발을 통해 사료→가축→분뇨→토양을 연계하는 자연 순환농업 모델을 개발한다.

2. 연구개발의 필요성

- 자연순환농업은 친환경성-경제성-식품안정성을 목표로 하는 지속가능 농업 운영에 필요 한 양분이용과 관리의 중요 실천방안으로써 경종과 축산의 상호연계를 기반으로 한다.
- 경종과 축산이 연계된 자연순환농업은 가축생산 과정에서 발생한 분뇨를 토양에 적정수 준으로 환원하여 사료작물을 생산하여 다시 가축의 사료로 이용하는 양분의 선순환체계 이다. 자원순환농업의 장점은 1) 농업 경영적 측면에서는 사료의 자급을 통해 경쟁력 있 는 경종-축산 시스템 운영이 가능하며, 2) 환경적 측면에서는 사료 반입과 분뇨 반출을 억제함으로써 지표수 및 지하수 오염을 억제할 수 있으며, 3) 식품안정성 측면에서는 생 산되는 육·유제품의 안정성이 높고 생산 제품의 이력 추적이 가능하여 소비자의 만족 도를 높일 수 있으며, 4) 국제적인 유기농업 동향에 적극적으로 대응할 수 있다는 것이 다.
- 자연순환농업 운영을 위해서는 분뇨→퇴비→토양→사료→가축으로 이어지는 양분순환구 조를 구명하고 개선함으로써 양분을 효율적으로 이용하고 환경에 대한 부정적인 영향을 최소화할 수 있는 경종-축산 연계 양분순환모델 발굴이 필요하다.
- 조사료의 수입의존도 개선 및 안정적 경종-축산 연계 시스템 운영을 위해서는 사료 생 산성과 가치를 고려하여 지역 여건에 적합한 답리작/전작 조사료 생산 체계를 개발 보 급할 필요가 있다.
- 단위면적당 최고의 영양소 수량 확보와 가능한 한 역내 순환을 최대로 할 수 있는 작부 체계의 설정을 위한 하계작물의 집약적 재배체계의 도입이 고려되어야 한다. 또한, 자원 순환형 조사료생산을 위해 분뇨환원에 따른 조사료생산성, 동물영양소 요구량 및 조사료 에 의한 영양소 공급량의 평가에 입각한 조사료 생산 작부의 평가가 이루어져야 한다.
- 국내 축산업의 국제적 경쟁력 확보를 위해서는 축산의 규모화를 통한 생산성 향상과 함 께 고품질의 축산물을 생산할 수 있는 자연순환형 한우사육시설과 사육모델 개발이 요 구된다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 자연순환농업 시스템에서 퇴비를 중심으로 한 양분순환구조 분석[3-1세부과제]

- 가. 자연순환농업을 위한 가축분뇨의 퇴비화 기술

- 나. 자연순환농업을 위한 퇴비 이용 기술
- 다. 사료 및 일반 경종 작물 생산을 위한 퇴비 시용량 설정 및 양분수지 개선 방안
- 라. 자연순환농업에서 질소 공급을 위한 녹비작물 선발
- 마. 자연순환농업 시스템의 양분순환구조 분석 및 최적 운영 방안
- 바. 자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼 개발

2. 자연순환농업 시스템에서 조사료생산체계 개발[3-2세부과제]

- 가. 자연순환농업을 위한 담리작 경종작물을 이용한 조사료 생산 및 총체사일리지 조제
- 나. 조제된 총체보리사일리지 위주의 섬유질배합사료 제조
- 다. 담리작 경종작물 - 한우 연계 자연순환농업 모형 평가
- 라. 지역 단백질 조사료자원 탐색 및 두과작물과의 혼파 시험
- 마. 자연순환농업을 위한 전작 조사료 작부체계 개발
- 바. 다양한 생산기반에서 조사료 생산방안 모색
- 사. 자연순환농업 시스템에서 단위면적당 최대 영양소 생산을 위한 조사료 작부체계 설정

3. 자연순환농업 시스템에서 번식우 및 비육우 사육 모델 개발[3-3세부과제]

- 가. 자연순환시스템에 적합한 남부지역 번식우 사육시설 모델 개발 및 설계
- 나. 자연순환시스템에서 생산된 총체보리에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가
- 다. 자연순환시스템에서 생산된 수단그라스에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가
- 라. 자연순환시스템에서 생산된 이탈리아나라이그라스에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가
- 마. 자연순환시스템에서 생산된 수단그라스와 총체보리의 육성단계 비육우에 대한 사양성적 평가
- 바. 자연순환형 한우 목장 관리 기술 매뉴얼 개발

IV. 연구개발결과

1. 자연순환농업 시스템에서 퇴비를 중심으로 한 양분순환구조 분석[3-1세부과제]

- 가. 자연순환농업을 위한 가축분뇨의 퇴비화 기술
 - 영암군 시험 농장에서 진행된 톱밥(왕겨)-우분 퇴비화 과정 중 최고 30% 정도의 질소가 손실되었으며, 질소동위원소비 분석을 통해 암모니아휘산과 탈질이 주요 손실 경로임이 확인되었다. 실내실험을 통해 확인한 결과, 퇴비 더미 중 이분해성 유기물은 질소 부동화를 통해 초기 질소 손실을 감소시키며 톱밥과 같은 난분해성 유기물은 물리화학적 흡착에 의해 질소손실을 제어하는 것으로 나타났다. 퇴비화 초기 과정에서 질소손실은 대부분 암모니아 휘산에 의해 발생하기 때문에 pH가 낮은 산성 폐자원인 인산석고와 양이온 흡착능이 큰 제올라이트를 혼합하여 퇴비화 할 경우 질소손실량을 최대 45% 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.
- 나. 자연순환농업을 위한 퇴비 이용 기술
 - 퇴비의 양분공급력을 실험실내 토양 칼럼 용탈 실험을 통해 평가한 결과, 질소공급력은 토양 및 퇴비 특성에 의해 영향을 받았는데 퇴비 전체 질소에 대한 백분율로 계산한 결과 1.2~45.1%였다. 퇴비 이화학적 중 총질소 함량, 무기태 질소 함량, 탄질비(C/N)가 퇴

비의 질소공급력과 유의한 정의 상관관계를 보였기 때문에 이들 지표를 퇴비의 질소공급력 평가 지표로 활용할 수 있었다.

- 퇴비의 인산공급력은 토양의 인산흡착에 의해 퇴비 전체 인산의 1% 미만으로 매우 낮았지만, 전체 인산공급량 중 유기태 인의 비율이 높았는데 이는 유기태 인으로 구성된 퇴비 중 인산이 화학비료 인산에 비해 토양에 흡착되는 경향이 덜 한 것을 의미한다.
- 퇴비를 이용해 수수×수단그라스, 이탈리아안그라스, 옥수수, 총채벼 및 보리에 대한 재배 실험을 종합하면, 작물의 질소 요구량 기준으로 퇴비를 시비할 경우 관행(화학비료)에 비해 작물 수량이 감소하였으며, 퇴비 시용량을 증가시킬 경우 토양 양분(인산) 집적에 의한 환경오염 가능성이 높았다. 반면, 퇴비의 인산흡수효율은 화학비료보다 높았다. 따라서, 퇴비를 인산기준으로 시용하고 부족한 질소는 목표수량을 고려하여 액비 시용 또는 녹비작물 재배로 공급하는 것이 바람직한 시비 전략으로 제안되었다.

다. 사료 및 일반 경종 작물 생산을 위한 퇴비 시용량 설정 및 양분수지 개선 방안

- 사료 및 일반 작물 생산을 위해 질소기준으로 퇴비를 시용할 경우 인산의 과다 투입량이 5.0~36.1kg/10a로 추산되었기 때문에 인산 척박지 토양일 경우 질소기준 퇴비시용시 가능할 수 있겠지만, 그 외의 경우에는 토양 인산집적에 대한 고려가 필요한 것으로 나타났다.
- 인산기준 퇴비 시용시에는 질소기준 퇴비 시용에 비교하여 퇴비 소요량이 최대 5배 감소하였지만, 질소 공급 부족량이 3.0~24.1kg/10a로 계산되었다. 부족 질소는 녹비작물이나 유기질 비료로 공급이 가능하다.

라. 자연순환농업에서 질소 공급을 위한 녹비작물 선발

- 자연순환농업에서 질소 공급을 위한 녹비작물 선발 실험에 의하면 두과 녹비 작물 중 헤어리베치와 완두콩의 질소공급량이 투입 질소의 3배 정도로 가장 우수하였으며 화본과 녹비 작물 중에서는 이탈리아라이그라스가 7.3배로 가장 우수하였다. 한편, 두과와 화본과를 혼파할 경우에는 호밀-완두콩 혼파의 질소 공급량이 투입질소의 3.5배로 가장 높았다.

마. 자연순환농업 시스템의 양분순환구조 분석 및 최적 운영 방안

- 영암군과 나주시 시험농장을 대상으로 양분순환구조 분석을 통해 양분의 과부족량을 계산하였다. 현재의 조사료 급여량과 비율을 유지할 경우 적정 사료포장 면적은 0.04ha/두, 단위면적당 수용두수는 24두/ha로 제안되었다. 또한, 자연순환농업 시스템에서 도입 가능한 조사료 작부체계 시나리오별 양분순환구조를 분석한 결과 양분수지 및 수용두수 기준으로 최적의 작부체계는 논외의 경우 총채벼-총보리 또는 총채벼-이탈리아라이그라스, 밭의 경우 옥수수-이탈리아라이그라스-유채로 나타났다.

바. 자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼 개발

- 이상의 연구결과를 종합하여 『자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼』을 개발하였다.

2. 자연순환농업 시스템에서 조사료생산체계 개발[3-2세부과제]

가. 자연순환농업을 위한 답리작 경종작물을 이용한 조사료 생산 및 총채사일리지 조제

- 답리작 총채보리 및 총채벼 사일리지 조제를 위한 적정 수확시기는 조단백질과 TDN 함량을 고려할 때 유숙기와 황숙기 사이에 수확하는 것이 적절한 것으로 판단되었다.

- 답리작 총체보리 및 총체벼의 생육시기별로 조제된 사일리지의 발효과정중 건물율, pH, 유기산 함량을 분석한 결과, 황숙기에 수확한 사일리지에서 수분 함량이 30%이상, pH 5.0이상이며 젖산 함량이 가장 높아 사일리지 조제를 위한 총체보리와 총체벼의 적정수확시기는 황숙기임을 확인하였다.

나. 조제된 총체보리사일리지 위주의 섬유질배합사료 제조

- 총체보리 사일리지 이용 및 보급 확대 방안으로 조제된 총체보리 사일리지를 위주로 한 섬유질 배합사료를 제조하였는데, 조제된 섬유질 배합사료의 조단백질 함량 $14.6 \pm 1.0\%$, 가소화영양소 총량 (TDN) $67.4 \pm 4.1\%$ 로 양질의 사료가치를 나타냈다.

다. 답리작 경종작물 - 한우 연계 자연순환농업 모형 평가

- 한우시험농가의 사육규모는 거세우 40두, 암소어미 50두, 송아지 10두의 연간 TDN 요구량과 보유 답리작 경지면적 1ha에서 총체벼 및 총체보리 사일리지 생산 중심의 작부에서 생산된 TDN 생산량을 기준으로 동물영양소 수지를 평가 한 결과, 연간 TDN 요구량에 비해 총체벼 및 총체보리 사일리지 생산 중심의 작부의 영양소 생산수량은 농후사료 공급량을 포함하여 50% 미만으로 매우 낮았다.
- 총체보리-총체벼 중심의 조사료급여에 의한 한우사양은 관행적인 벧짚급여에 비해 높은 사양효과가 인정되었으며, 한우농가의 수익성도 유의적으로 증가되었다.
- 총체보리-총체벼 작부의 단백질 및 TDN 수량이 낮아 단위면적당 가축수용력 및 배출분뇨의 역외 유출의 불가피성의 문제점이 있었다.

라. 지역 단백질 조사료자원 탐색 및 두과작물과의 혼파 시험

- 단위면적당 영양소 생산수량을 높이기 위한 방안으로 자운영, 크립스클로버, 완두, 헤어리베치 알팔파 5종 15품종의 사료성분, 단백질 함량 및 수량을 평가한 결과, 가소화영양소 총량 (TDN)은 65 - 70%의 범위로 전 공시품종 모두 영양소 함량이 높았다. 건물수량, 조단백질 함량, TDN 함량 및 상대적 사료가치 (RFV)의 분석 결과를 고려할 때 단위면적당 영양소 수량의 향상을 위해 헤어리베치가 가장 우수한 것으로 평가 되었다.
- 총체보리의 낮은 영양소 수량을 개선하기 위한 방안으로 보리와 5종의 두과작물과의 혼파시험 결과, 보리-완두콩 혼파구와 보리-헤어리베치 혼파구에서 보리 단파구 대비 10.4% 및 15.6%의 TDN 수량이 증가하였다.

마. 자연순환농업을 위한 전작 조사료 작부체계 개발

- 하계작물 조사료 생산성을 평가하기 위해 수단그라스, 옥수수 만파재배 및 춘계조기 파종에 따른 수량 및 사료가치를 평가하였다. 수단그라스의 건물 수량 및 TDN 수량은 각각 14.5톤/ha 및 8.3톤/ha였다. 옥수수 만파 (8월 21일 파종 - 10월 30일 수확) 재배에서 10품종 평균 13.3톤/ha의 건물 수량을 얻었다. 옥수수 춘계조기재배에서 건물수량은 중만생종 P32P75 16.9톤/ha 및 조생종 33T56 품종에서 19.9톤/ha를 얻었다.
- 수단그라스 수확 후 동계작물의 6종을 2008년 10월 15일에 파종하여 2009년 4월 25일과 5월 18일에 수확하여 수량 및 사료가치를 평가하였다. 모든 초종에서 수확시기가 늦어질수록 수량은 증가하는 반면 사료가치는 감소하였다. TDN 수량은 호맥에서 4월 25일 수확시 7,924 kg/ha 및 5월 18일 8,073 kg/ha으로 가장 높았으며, 유채와 헤어리베치 순으로 수량이 높았다. 연맥, 보리 및 이탈리아 라이그라스의 TDN 수량은 5,000~6,600 kg/ha 범위였다.

바. 다양한 생산기반에서 조사료 생산방안 모색

- 벼 수확 후 논을 이용한 조사료생산성을 검토하기 위해 2008년 10월 25일 호맥 (Blue land), 연맥 (동한), 보리 (유연보리), 이탈리아 라이그라스 (Early bird), 유채 (Mosa) 및 베어리베치 (Pebb-2)을 파종하여 2009년 4월 25일과 5월 18일 각각 수확하였다. 조단백질 수량은 헤어리베치에서 4월 25일 및 5월 18일 수확시 각각 2,151 kg/ha 및 1,309 kg/ha으로 가장 높았으며, TDN수량은 호맥에서 4월 25일 및 5월 18일 수확시 7,244 kg/ha 및 6,727 kg/ha로 가장 높았다. 수확시기가 늦어짐에 따라 TDN 수량이 증가하였는데 그 증가폭은 전작에서 보다 현저히 낮았다.
 - 단위면적당 단백질 수량을 증가시키기 위한 방안으로 벼 조기 수확 후 헤어리베치와 동계화본과 작물과의 혼파시험을 실시하였는데, 2008년 10월 25일에 파종하여 2009년 4월 25일 수확하였다. 벼 뒷거루로 재배된 호맥, 연맥, 이탈리아 라이그라스 단파에서 얻은 조단백질 생산수량 (1,089, 648, 1,136 kg/ha)과 비교하면 호맥-헤어리베치 혼파구는 유의적인 차이가 없었으나, 연맥과 이탈리아 라이그라스와 헤어리베치 혼파구에서는 조단백질 수량이 각각 41% 및 36% 유의적으로 증가하였다.
- 사. 자연순환농업 시스템에서 단위면적당 최대 영양소 생산을 위한 조사료 작부체계 설정
- 단위면적당 최대 영양소 생산을 위한 방안으로 옥수수 2기작 재배를 실시하였다. 1차 파종은 2009년 4월 20일 파종하여 7월 23일 수확하였고, 2차 재배는 2009년 7월 30일 파종하여 10월 28일 수확하였다. 건물수량은 1차 수확시 ha당 19톤 이었으며 2차 수확시 유의적으로 감소하였다. 조단백질 수량은 1차 및 2차 수확시에 각각 1,638 kg/ha 및 1,229 kg/ha 이었으며, TDN 수량은 1차 및 2차 수확시에 각각 12.8톤/ha 및 11.2톤/ha 이었다.
 - 수행된 연구결과들을 종합하여 작부조합간 단위면적당 수량, 영양소 수량, 가축수용력 및 분뇨환원력을 각각 비교 평가하였다. 답리작의 경우 하계작물을 총체벼로 제한할 경우 총체벼의 단백질 및 TDN 수량이 다른 다수성 하계작물에 비해 현저히 낮기 때문에 단위면적당 연간 수량을 증가시키는데 한계가 있는 것으로 평가되었다. 전작에서 수단그라스를 주작물로 하는 모든 동계작물과의 작부조합의 조단백질 수량은 총체벼-총체보리 작부조합과 비해 2.5배에서 3.6배 증가 하였으며, TDN 수량 역시 2.1배에서 2.5배 증가 하였다. 수단그라스-호맥/이탈리안 라이그라스 혼파 작부 조합이 권장되었다. 옥수수 - 옥수수-동계작물의 작부조합을 통하여 단위면적당 수량을 현저히 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다. 옥수수 2기작-호맥 작부에서 연간 TDN 생산량은 31.6톤/ha에 달해 총체벼-총체보리 작부와 비교할 때 TDN 생산량이 약 4.5배 높았으며, 단위면적당 가축수용력도 20.1두까지 증가시킬 수 있으며 축분 환원량 역시 약 20% 높일 수 있을 것으로 평가되어 자연순환농업모델에 적용할 수 있는 매우 중요한 조사료 생산작부체계가 될 것으로 판단되었다.

3. 자연순환농업 시스템에서 번식우 및 비육우 사육 모델 개발[3-3세부과제]

가. 자원순환시스템에 적합한 남부지역 번식우 사육시설 모델 개발 및 설계

- 전남지역 관행축산농가를 대상으로 친환경농업 전환 의향을 조사한 결과 89.2%가 자원순환형 친환경축산으로 전환의향이 있었다.
- 사육규모 100두에 대한 자원순환형 번식우사를 설계하고, 부대시설로 운동장, 방목장, 발효퇴비사를 설치하였다.

나. 자연순환시스템에서 생산된 총채보리에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가

- 미경산우의 첫 수정 시 수태율은 대조구(벚짚 급여구)가 66.7%(4/6), 처리구(총채보리 급여구)가 60.0%(3/5)였고, 미경산우의 수태당 수정횟수는 대조구가 1.5 ± 0.2 회, 처리구가 1.4 ± 0.2 회였다.
- 분만 후 첫 수정까지의 일수는 대조구가 106.6 ± 26.3 일, 처리구가 85.6 ± 12.6 일이었고, 분만 후 수태까지의 일수는 대조구가 128.4 ± 27.1 일, 처리구가 96.8 ± 16.8 일 이었다.
- 분만 후 첫 수정 시 수태율은 대조구가 76.9%(10/13), 처리구가 84.6%(11/13)였고, 분만 간격은 대조구가 418.1 ± 50.7 일, 처리구가 392.8 ± 20.7 일이었다.

다. 자연순환시스템에서 생산된 수단그라스에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가

- 분만 후 첫 수정까지의 일수는 대조구(벚짚 급여구)가 78.8 ± 25.3 일, 처리구(수단그라스 급여구)가 84.7 ± 24.6 일이었고, 분만 후 수태까지의 일수는 대조구가 90.1 ± 24.1 일, 처리구가 87.7 ± 26.8 일 이었다.
- 분만 후 첫 수정 시 수태율은 대조구가 66.7%, 처리구가 90.0%였고, 분만간격은 대조구가 375.1 ± 46.7 일, 처리구가 370.2 ± 34.4 일이었다.
- 인공수정시 처리구별 번식우의 신체충실지수는 대조구가 5.36이고, 처리구는 4.93이었다.

라. 자연순환시스템에서 생산된 이탈리아라이그라스에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가

- 분만 후 첫 수정까지의 일수는 대조구가 70.2 ± 12.84 일, 처리구가 62.3 ± 8.55 일이었고, 분만 후 수태까지의 일수는 대조구가 75.8 ± 8.99 일, 처리구가 63.6 ± 7.23 일 이었다.
- 분만 후 첫 수정 시 수태율은 대조구가 73.3%, 처리구가 93.7%였고, 분만간격은 대조구가 361.2 ± 9.92 일, 처리구가 348.4 ± 7.26 일 이었다.
- 인공수정시 처리구별 번식우의 신체충실지수는 대조구가 5.13 ± 0.29 이고, 처리구는 4.90 ± 0.20 이었다.

마. 자연순환시스템에서 생산된 총채보리의 육성단계 비육우에 대한 사양성적 평가

- 비육단계 육성우의 등지방 두께는 관행사육구 3.4mm, 자원순환사육구 3.0mm이었다.
- 비육단계 육성우의 근내지방도는 관행사육구 2.8, 자원순환사육구 1.8이었다.
- 비육단계 육성우의 등심단면적은 관행사육구 52cm^2 , 자원순환사육구 51cm^2 이었다.
- 시험기간 동안의 종료체중 및 총증체량은 처리간에 차이는 없었지만 비육단계별 일당증체량에서 비육전기에는 총채보리사일리지 급여구에서 유의적으로 증가하였으며, 비육중기에는 대조구에서 유의적으로 증가하였으며, 비육후기에는 총채보리사일리지 급여구에서 약간 증가하는 경향을 나타내었다.
- 총채보리사일리지 급여에 의해 도체성적의 육량등급은 배최장근단면적의 15.6% 증가와 등지방두께의 51.7% 감소로 유의적으로 증가하였다. 총채보리사일리지 급여에 육질의 근내지방도가 52.9% 개선되어 1등급 출현율이 83.5%의 유의적인 차이를 나타내었다. 부분육은 처리간에 차이가 없었다.
- 종합적으로 비육기간동안 총채보리사일리지 급여로 인해 비육전기 일당증체량의 증가와 등심단면적의 증가, 등지방 두께의 감소 등의 육량 및 육질 그리고 육색 등이 개선하는 효과가 있었다.

바. 자연순환형 한우 목장 관리 기술 메뉴얼 개발

- 이상의 3-2 및 3-3 연구과제 성과를 바탕으로 자연순환형 한우 목장 관리 기술 메뉴얼을 개발하였다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 제 3핵심과제 연구성과 총괄표

연구 책임자	학술논문		술발표		특허		영농 활용	시책 건의	기술 이전	유전 자원 등록	성공 제작	산업 화	국제 협력	홍보	교육 지도	인력 양성
	국내	SCI(E)	국내	국외	출원	등록										
최우정	4	6	15						3.3		3		1		2	11
김태환	2	1	3						3.3		3				1	3
김광현	2		1						3.4		10			1	12	2
윤봉기			5				8	3							3	
3핵심소계	8	7	24				8	3	10		16		1	1	18	16

2. 성과활용계획

1) 자연순환농업 시스템에서 퇴비를 중심으로 한 양분순환구조 분석[3-1세부과제]

가. 영농활용자료 제공

- 질소손실 저감 퇴비화 기술 자료 제공
- 경중-축산 연계 자연순환농업의 양분수지 계산 방법 제공

나. 농민 교육

- 『자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼 개발』을 이용하여 최고농업경영자과정 등을 통해 농민교육 실시

다. 대학원 교육

- 지속가능농업의 중점 요소인 양분관리를 위한 양분순환구조분석, 양분수지계산방법, 순환농업시스템의 양분관리 모형 설계를 교육하는 교과목인 지속가능양분관리(Sustainable Nutrients Management)을 대학원 과정에 설치하여 전문 인력 양성

라. 추가 학술논문 발표

- 퇴비 및 토양 이화학성에 따른 양분 공급 특성(Journal of Soils and Sediments, Communications in Soil Science and Plant Analysis)
- 인산석고와 제올라이트 혼합에 의한 퇴비화 과정 중 질소손실 저감(Bioresource Technology)
- 퇴비 및 액비 시용에 따른 사료작물의 수량과 양분흡수량(Field Crop Research)

2) 자연순환농업 시스템에서 조사료생산체계 개발[3-2세부과제]

가. 산업체 기술이전

- 옥수수 2기작 재배 중심의 조사료 생산작부 체계 기술이전 추진

나. 학술논문 발표 계획

- 학술진흥재단 등재지 2편, SCI 등재지 1편 준비 중

다. 영농활용 및 교육 계획

- 자원순환형 조사료 생산기술을 영농활용 및 학부생 현장실습교육에 활용

3) 자연순환농업 시스템에서 번식우 및 비육우 사육 모델 개발[3-3세부과제]

가. 산업체 기술이전

- 자원순환형 한우 번식우 사육모델 및 비육우 생산 기술이전 기술이전 추진

나. 학술대회 학술발표 계획

- 자원순환시스템에서 생산된 수단그라스사일리지에 대한 번식성적과 이용 논문 투고
- 자원순환시스템에서 생산된 이탈리아라이그라스사일리지에 대한 번식우 번식성적과 이용 논문 투고
- 자원순환시스템에서 생산된 총체보리사일리지에 대한 비육우에 대한 비육단계 논문 투고

다. 실무책자 발간 계획

- 자원순환형 한우 목장 관리기술 매뉴얼 (전남대학교 친환경농업연구사업단 2010년)
- 친환경연구사업단 한우농가 기술 지원 컨설팅 보고서(전남대학교출판부 2010년)
- 전라남도 친환경축산 교육 한우반 실무교육교재 작성에 활용
- 지역한우 농가 교육시 실무교육 교재 발간에 활용

라. 영농활용 및 교육 계획

- 자원순환형 한우 목장 시스템을 영농활용 및 학생교육에 활용

마. 인력양성 계획

- 자원순환형 한우 사육 현장실습 학사 양성

SUMMARY

III. Development of Integrated Crop and Livestock Farming Systems Models for Natural Cycling Agriculture <Theme III>

3-1. Analysis of compost-based nutrient cycling structure in natural cycling agriculture system

The objective of this study is analysis of compost-based nutrient cycling structure through forage → livestock → manure → soil in natural cycling agriculture system by conducting integrated studies on composting technologies, compost utilization, compost-based nutrient cycling structure analysis, and improvement of the nutrient cycling structures. During the composting, up to 30% of total N was lost, and it was found that by addition of acidic phospho-gypsum and zeolite with a high NH_4^+ sorption capacity could reduce N loss via NH_3 volatilization by 45%. In a column experiment with three soils and seven composts, it was suggested that total N and mineral N concentrations, and C/N ratio of the composts could be used in predicting compost N release potential. Through a series of studies on compost application on forage (sorghum×sudan grass, barley, rice, Italian rye grass, maize) production, it was suggested that maize is the most economic forage crop in both terms of dry matter yield and nutrient uptake efficiency. Among various green manure crops, it was found that crops with a higher N supply capacity were hairy vetch and pea for legume plant, Italian ryegrass for grassy plant, and rye-pea for mixed crops. Analysis of nutrient cycling structure and nutrient balance of cropping system for natural cycling agriculture suggested that rice-Italian rye grass system and maize-Italian rye grass-canola are the most adoptable cropping system for paddy and upland, respectively in both terms of cattle head and nutrient balance. Combing all the above results, 『nutrient management manual for natural cycling agriculture』 was developed.

3-2. Forage production technique under natural cycling agriculture system

The aim of this study is development of forage production technique for natural cycling agriculture system. Specifically, paddy and upland cropping system for forage production and silage making technique using the produced forage were developed, a natural cycling agriculture model linked with the developed forage cropping system was evaluated, and a cropping system for the enhancement of nutrient productivity per area was also suggested. Through a series of experiment with a various forage crops and local farms, annual dry matter (DM), crude protein, total digestible nutrient (TDN) productivity, livestock allowance, and organic manure reception per area in the given cropping system were assessed. When rice plant is fixed as summer crop of the cropping system in paddy land, it was very

limited to increase total annual nutrient yield because crude protein and TDN yield of whole crop rice was largely lower than those of other summer crops. All cropping systems with sudangrass as a summer crop showed 2.5 to 3.6 fold higher TDN yield than whole crop rice-barley cropping. Among cropping systems used sudangrass as a summer crop, sudangrass-rye and sudangrass-Italian ryegrass combinations were recommended. It was evident that DM, crude protein, and TDN yield could be greatly (by more than 45%) increased by introducing two continuous cultivation in the cropping system. Total TDN yield in corn-corn-rye combination was 31.6 ton/ha, corresponding 4.5 fold higher than rice-barley combination in paddy land. It was estimated that animal allowance per hectare could be increased to 20.1 heads/ha (on the basis of 300kg live weight of steer with 0.8 kg of daily gain) and more than 20% of manure might be applied under corn-corn-rye cropping. For these reasons, an introduction of two continuous cultivation into the cropping system is strongly recommended to establish organic cycling based-agriculture.

3-3. Model development for cows cattle farming (Hanwoo) in natural cycling agriculture system

This study was conducted to develop Hanwoo (cows and steers) farming facilities suitable for southern Korea and to investigate feeding effect of forage produced in natural cycling agriculture system on the reproducibility of Hanwoo heifers and cows. In this study, cattle shed (100 heads) including play ground and rangeland for natural cycling agriculture system was designed. Effect of feeding of whole-crop barley (WCB), sudangrass (SG), and Italian ryegrass (IRG) silage on the reproducibility of Hanwoo heifers and cows were investigated alternatively through three years. Feeding of WCB, SG, and IRG silage resulted in the reproducibility compatible to the conventional feeding in terms of days to post-partum insemination, days to post-partum conception, post-partum conception rates, caving interval, and body condition scores. Investigation of the feeding effect of SG and WCB on growth performance and meat quality of Hanwoo steers showed that feeding of SG and WCB could produce meat as good as conventional farming because backfat thickness and marbling score were similar. Combining all the results, 『Hanwoo farm management manual for natural cycling agriculture』 was developed.

**제 1 장 자연순환농업 시스템에서 퇴비를 중심으로
한 양분순환구조 분석 [3-1]**

제 1 장 자연순환농업 시스템에서 퇴비를 중심으로 한 양분순환구조 분석 [3-1]

요 약 문

I. 제 목 : 자연순환농업 시스템에서 퇴비를 중심으로 한 양분순환구조 분석

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

○ 경종과 축산이 연계한 자연순환농업에서 물질 순환의 핵심 고리인 분뇨의 퇴비화 및 생산 퇴비의 활용 기술을 개발 보급하고, 분뇨→퇴비→토양→사료작물→가축을 통한 양분순환시스템내 양분순환 구조를 분석·개선하며, 지역특성에 적합한 한우-경종 자연순환농업 양분순환 구조를 발굴한다.

2. 연구개발의 필요성

○ 자연순환농업은 친환경성/경제성/식품안전성을 목표로 하는 지속가능 농업 운영에 필요한 양분이용과 관리의 중요 실천방안으로서 경종과 축산의 상호연계를 기반으로 한다.

○ 경종과 축산이 연계된 자연순환농업은 가축생산 과정에서 발생하는 분뇨를 토양에 적정 수준으로 환원하여 사료작물을 생산하여 다시 가축의 사료로 이용하는 양분의 선순환체계이다. 자연순환농업의 장점은 1) 농업 경영적 측면에서는 사료의 자급을 통해 경쟁력 있는 경종-축산 시스템 운영이 가능하며, 2) 환경적 측면에서는 사료 반입과 분뇨 반출을 억제함으로써 지표수 및 지하수 오염을 억제할 수 있으며, 3) 식품안전성 측면에서는 생산되는 육·유제품의 안정성이 높고 생산 제품의 이력 추적이 가능하여 소비자의 만족도를 높일 수 있으며, 4) 국제적인 유기농업 동향에 적극적으로 대응할 수 있다는 것이다.

○ 자연순환농업 운영을 위해서는 분뇨→퇴비→토양→사료→가축으로 이어지는 양분순환구조를 구명하고 개선함으로써 양분을 효율적으로 이용하고 환경에 대한 부정적인 영향을 최소화할 수 있는 경종-축산 연계 양분순환모델 발굴이 필요하다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 자연순환농업을 위한 가축분뇨의 퇴비화 기술
2. 자연순환농업을 위한 퇴비 이용 기술
3. 퇴비를 이용한 사료 및 일반 경종 작물 생산을 위한 양분수지 개선 방안
4. 자연순환농업에서 질소 공급을 위한 녹비작물 선발
5. 자연순환농업 시스템의 양분순환구조 분석 및 최적 운영 방안
6. 자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼 개발

IV. 연구개발결과

1. 자연순환농업을 위한 가축분뇨의 퇴비화 기술

- 영암군 시험 농장에서 진행된 톱밥(왕겨)-우분 퇴비화 과정 중 최고 30% 정도의 질소가 손실되었으며, 질소동위원소비 분석을 통해 암모니아 휘산과 탈질이 주요 손실 경로임이 확인되었다. 실내실험을 통해 확인한 결과, 퇴비 더미 중 이분해성 유기물은 질소 부동화를 통해 초기 질소 손실을 감소시키며 톱밥과 같은 난분해성 유기물은 물리화학적 흡착에 의해 질소손실을 제어하는 것으로 나타났다.
- 퇴비화 초기 과정에서 질소손실은 대부분 암모니아 휘산에 의해 발생하기 때문에 pH가 낮은 산성 폐자원인 인산석고와 양이온 흡착능이 큰 제올라이트를 혼합하여 퇴비화 할 경우 질소손실량을 최대 45% 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

2. 자연순환농업을 위한 퇴비 이용 기술

- 퇴비의 양분공급력을 실험실내 토양 칼럼 용탈 실험을 통해 평가한 결과, 질소공급력은 토양 및 퇴비 특성에 의해 영향을 받았는데 퇴비 전체 질소에 대한 백분율로 계산한 결과 1.2~45.1%였다. 퇴비 이화학성 중 총질소 함량, 무기태 질소 함량, 탄질비(C/N)가 퇴비의 질소공급력과 유의한 정의 상관관계를 보였기 때문에 이들 지표를 퇴비의 질소공급력 평가 지표로 활용할 수 있었다.
- 퇴비의 인산공급력은 토양의 인산흡착에 의해 퇴비 전체 인산의 1% 미만으로 매우 낮았지만, 전체 인산공급량 중 유기태 인의 비율이 높았는데 이는 유기태 인으로 구성된 퇴비 중 인산이 화학비료 인산에 비해 토양에 흡착되는 경향이 덜 한 것을 의미한다.
- 퇴비를 이용해 수수×수단그라스, 이탈리아라이그라스, 옥수수, 총채벼 및 총채보리에 대한 재배실험을 종합하면, 건물 수량은 화학비료 시용구 대비 수수×수단그라스 74%, 이탈리아라이그라스 96%, 옥수수 96%, 총채벼 97%, 총채보리 46%로 총채보리와 수수×수단그라스를 제외하고는 모두 화학비료에 필적하는 수량을 생산하였다. 퇴비의 양분흡수 효율은 질소의 경우 보리가 5.7%로 가장 낮았고 옥수수가 93.5%로 가장 높았으며, 인산의 경우 총채벼가 9.1%로 낮았고 수수×수단그라스가 36.5%로 가장 높았다. 따라서, 수량과 양분흡수 효율을 고려하면 옥수수가 양분수지 균형에 가장 적합한 작물로 판단되었다.

3. 퇴비를 이용한 사료 및 일반 경종 작물 생산을 위한 양분수지 개선 방안

- 사료 및 일반 작물 생산을 위해 질소기준으로 퇴비를 시용할 경우 인산의 과다 투입량이 5.0~36.1kg/10a로 추산되었기 때문에 인산 척박지 토양일 경우 질소기준 퇴비시용시 가능할 수 있겠지만, 그 외의 경우에는 토양 인산집적에 대한 고려가 필요한 것으로 나타났다.
- 인산기준 퇴비 시용시에는 질소기준 퇴비 시용에 비교하여 퇴비 소요량이 최대 5배 감소하였지만, 질소 공급 부족량이 3.0~24.1kg/10a로 계산되었다. 부족 질소는 녹비작물이나 유기질 비료로 공급이 가능하다.

4. 자연순환농업에서 질소 공급을 위한 녹비작물 선발

- 자연순환농업에서 질소 공급을 위한 녹비작물 선발 실험에 의하면 두과 녹비 작물 중 헤어리베치와 완두콩의 질소공급량이 투입 질소의 3배 정도로 가장 우수하였으며 화분과 녹비 작물 중에서는 이탈리아라이그라스가 7.3배로 가장 우수하였다. 한편, 두과와 화

본과를 혼과할 경우에는 호밀-완두콩 혼과의 질소 공급량이 투입질소의 3.5배로 가장 높았다.

5. 자연순환농업 시스템의 양분순환구조 분석 및 최적 운영 방안

- 자연순환농업 시스템에서 도입 가능한 논 조사료 작부체계 시나리오별 양분순환구조를 분석한 결과, 총체벼-이탈리안라이그라스 작부의 수용가능두수가 1.68두/10a로 가장 높았고 질소과잉발생량도 3.3kg/10a로 낮은 편이었다.
- 밭 조사료 작부체계 시나리오 중에서는 수수×수단그라스-이탈리안라이그라스-귀리(연맥) 조합의 수용가능두수가 2.43두/10a로 가장 높았지만, 양분수지 측면에서는 질소와 인산이 각각 15.5kg/10a와 19.5kg/10a 부족하여 외부로부터의 양분유입이 요구되었다. 한편, 옥수수-이탈리안라이그라스-유채 조합의 수용가능두수가 2.21두였고 양분수지도 상대적으로 우수하였다.

6. 자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼 개발

- 이상의 연구결과를 종합하여 『자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼』을 개발하였다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 연구성과

논문개재		학술 발표	특허 (출원 /등록)	영농 활용	시책 건의	기술 이전	유전 자원 등록	교육 지도	산업화	국제 협력	홍보	인력 양성	성과물 제작
국내	SCI(E)												
4	6	15				10 (3 핵심공헌)		2		1		12	

2. 성과활용계획

가. 영농활용자료 제공

- 질소손실 저감 퇴비화 기술 자료 제공
- 경종-축산 연계 자연순환농업의 양분수지 계산 방법 제공

나. 농민 교육

- 『자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼 개발』을 이용하여 최고농업경영자과정 등을 통해 농민교육 실시

다. 대학원 교육

- 지속가능농업의 중점 요소인 양분관리를 위한 양분순환구조분석, 양분수지계산방법, 순환농업시스템의 양분관리 모형 설계를 교육하는 교과목인 지속가능양분관리(Sustainable Nutrients Management)를 대학원 과정에 설치하여 전문 인력 양성

라. 추가 학술논문 발표

- 퇴비 및 토양 이화학성에 따른 양분 공급 특성(Journal of Soils and Sediments, Communications in Soil Science and Plant Analysis)
- 인산석고와 제올라이트 혼합에 의한 퇴비화 과정 중 질소손실 저감(Bioresource Technology)

- 퇴비 및 액비 시용에 따른 사료작물의 수량과 양분흡수량(Field Crop Research)

VI. SUMMARY

I. Title : Analysis of compost-based nutrient cycling structure in natural cycling agriculture system

II. Objective and Necessities

1. Objective

- Analysis of compost-based nutrient cycling structure through forage → livestock → manure → soil in natural cycling agriculture system by conducting integrated studies on composting technologies, compost utilization, compost-based nutrient cycling structure analysis, and improvement of the nutrient cycling structures.

2. Necessities

- Natural cycling agriculture integrating crop and livestock farming is one of the measures for sustainable agriculture of which goals are environmental soundness, economic viability, and food safety.
- Natural cycling agriculture relies on nutrient cycling between cropping and livestock farming. The advantages of natural cycling agriculture are 1) operation of economically competitive livestock farming system by producing self-sufficient forage, 2) prevention of water pollution by minimizing import and export of nutrients, 3) production of safe meat and dairy products, and 4) participation in international organic markets.
- For the operation of natural cycling agriculture, development of nutrient-cycling models that utilize nutrients in environmentally conservative manners by connecting manure→compost→soil→forage→livestock manure and thus minimize environmental impacts is necessary.

III. Contents and Scopes

- 1) Livestock manure composting technologies for natural cycling agriculture
- 2) Compost utilization techniques for natural cycling agriculture
- 3) Improvement of nutrient balance in forage and other cropping system using compost
- 4) Selection of green manure plants for the supply of nitrogen in natural cycling agriculture
- 5) Analysis of nutrient cycling structure in natural cycling agriculture system and suggestion of measures for nutrient balance

6) Development of nutrient management manual for natural cycling agriculture

IV. Important results

1) Livestock manure composting technologies for natural cycling agriculture

- During the composting of cattle manure with sawdust or rice hull as bedding materials, maximum 30% of total N was lost mainly through ammonia volatilization and denitrification as evidenced by $\delta^{15}\text{N}$ analysis. Laboratory incubation study suggested that easily-decomposable organic matter can reduce N loss through rapid immobilization in the early composting period; meanwhile, slowly-decomposable organic matter may protect NH_4^+ from loss by physico-chemical sorption.
- Because ammonia volatilization is the primary pathway of N loss in the early composting period, it was found that amending materials such as acidic phospho-gypsum and zeolite can reduce N loss by 45%.

2) Compost utilization techniques for natural cycling agriculture

- Nitrogen releasing capacity in compost-amended soils were affected by both soil and compost characteristics. When N releasing capacity was expressed as % of total compost N, it ranged from 1.2 to 45.1%. Among the various compost properties, concentration of total N and mineral N and C/N ratio were positively correlated with N releasing capacity. Therefore, these three compost parameters should be considered as indicators of compost N availability.
- Phosphorus releasing capacity of compost was less than 1% of total compost P. The contribution of organic P to total released P was much higher than that of inorganic P, indicating that organic P of compost is less susceptible to sorption compared with inorganic P of chemical fertilizer.
- Combining all the data on the effect of compost application on the growth and nutrient uptake of sorghum×sudan grass, Italian rye grass, maize, rice, and barley, % dry matter yield of crops grown with compost relative to chemical fertilizer application were 74% for sorghum×sudan grass, 96% for Italian rye grass, 96% for maize, 97% for rice, and 46% for barley. Nitrogen uptake efficiency of compost was lowest in barley (5.7%) and highest in maize (93.5%), and P uptake efficiency was lowest in rice (9.1%) and highest in sorghum×sudan grass (36.5%). Therefore, it was suggested that maize is the most economic forage crops in terms of nutrient balance.

3) Improvement of nutrient balance in forage and other cropping system using compost

- When compost is applied based on the crop N requirement, the amount of P applied in excess of crop requirement was estimated at 5.0 to 36.1 kg/10a. Therefore, compost application as a N source should be avoided to alleviate the potential problem of soil P accumulation.
- When compost is applied based on the crop P requirement, the deficiency of N was estimated at 3.0 to 24.1 kg/10a. This shortage can be supplemented with green

manure or organic fertilizer.

- 4) Selection of green manure plants for the supply of nitrogen in natural cycling agriculture
 - Through a series of experiments with various green manure crop species, it was found that crops with a higher N supply capacity were hairy vetch and pea for legume plant, Italian ryegrass for grassy plant, and rye-pea for mixed crops.
- 5) Analysis of nutrient cycling structure in natural cycling agriculture system and suggestion of measures for nutrient balance
 - Nutrient cycling structure and nutrient balance of cropping system for natural cycling agriculture were investigated. For paddy, rice-Italian rye grass system produced the highest forage dry matter (for feeding 1.68 head/10a) and acceptable nutrient balance.
 - For upland, the cattle heads of sorghum×sudan grass-Italian rye grass-oat showed the highest forage production (for feeding 2.43 head/10a) but nutrient balance was the worst. Considering nutrient balance, maize-Italian rye grass-canola was the most adoptable system.
- 6) Development of nutrient management manual for natural cycling agriculture
 - Combing all the above results, 「nutrient management manual for natural cycling agriculture」 was published.

목 차

제1절 연구개발과제의 개요	1
1. 연구배경	1
2. 연구필요성	1
3. 연구개발의 목적, 내용 및 범위	2
제2절 국내외 기술개발 현황	3
1. 퇴비화 연구	3
2. 퇴비의 양분공급효과 연구	4
3. 자연순환농업시스템에서 사료작물 생산 연구	4
4. 자연순환농업에서 양분순환 연구	6
제3절 연구개발 수행 내용 및 결과	7
1. 연구개발 수행 내용	7
2. 연구개발 수행 결과	8
가. 자연순환농업을 위한 가축분뇨의 퇴비화 기술	8
(1) 우분뇨 퇴비화 과정 중 이화학적 변화 및 퇴비 특성	8
(2) 퇴비화 과정 중 이분해성 유기물 및 난분해성 유기물 역할 구명	13
(3) 퇴비화 과정 중 질소손실 억제제 투입을 통한 질소 손실 저감 기술 개발	17
나. 자연순환농업을 위한 퇴비 이용 기술	24
(1) 퇴비의 양분공급 효율 평가 지표 개발	24
(2) 사료작물에 대한 퇴비의 양분공급 효과 평가	35
다. 퇴비를 이용한 사료 및 일반경종작물 생산을 위한 양분수지개선방안	57
(1) 사료작물 추천시비량 기준 양분수지분석	57
(2) 일반작물 추천시비량 기준 양분수지분석	59
라. 자연순환농업에서 질소 공급을 위한 녹비작물 작물 선발	62
(1) 두과 녹비작물	62
(2) 화분과 녹비 작물	65
(3) 화분과/두과 혼파	67
마. 자연순환농업 시스템의 양분순환구조 분석 및 최적운영방안	71
(1) 총채벼/보리-한우 농가에 대한 사례연구	71
(2) 전남대학교 부속 자연순환번식우 농장에 대한 사례연구	78
(3) 조사료 생산 작부체계별 가축수용두수 및 양분수지에 대한 이론적 분석	85
(4) 양분수지를 중심으로 한 자연순환농업 최적 운영 방안	91
바. 자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼 개발	93
사. 결론 및 제안	94
제4절 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	96
제5절 연구개발 성과 및 성과활용 계획	100
제6절 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	104
제7절 참고문헌	105

제 1 절 연구개발과제의 개요

1. 연구배경

- 가. 경종과 축산이 연계된 자연순환농업은 가축생산 과정 중 발생한 분뇨를 토양에 적정수준으로 환원하여 사료작물을 생산하여 다시 가축의 사료로 이용하는 양분의 선순환체계이다. 자연순환농업의 장점은 1) 농업 경영적 측면에서는 사료의 자급을 통해 경쟁력 있는 경종-축산 시스템 운영이 가능하며, 2) 사료 반입과 분뇨 반출을 억제함으로써 환경적 측면에서는 지표수 및 지하수 오염을 억제할 수 있으며, 3) 생산되는 육·유제품의 안전성이 높고 생산 제품의 이력 추적이 가능하여 소비자의 만족도를 높일 수 있으며, 4) 국제적인 유기농업 동향에 적극적으로 대응할 수 있다는 것이다.
- 나. 우리나라는 1990년대 중반부터 친환경농업과 관련된 사업을 본격적으로 수행하고 있다. 관련 사업은 환경오염부하 경감 대책 사업(1993년부터), 친환경농산물 생산 지원 및 유통활성화 사업(1995년부터), 친환경농업 육성사업(1998년부터), 가축분뇨 처리시설 설치지원사업(1994년부터), 친환경농업 육성법 제정(1997년) 등으로 구분할 수 있다. 이와 같은 노력에 의해 친환경농업 가능성을 확인하였고, 실천 농가 확산 등 가시적인 성과가 있었으며 그 결과 화학비료 사용량이 감축되고 있으며, 친환경인증 농산물의 비율은 증가하고 있다. 퇴비 생산과 활용 기술의 측면에서 미부숙퇴비에 대한 문제점 인식은 확산되고 있으며 이를 위해 퇴비 부숙도를 평가할 수 있는 다양한 지표가 개발되고 있다. 이에 반해 이화학성이 매우 불균일한 퇴비의 시용량 설정과 관련된 연구는 미진한 것으로 판단된다. 친환경농업의 핵심인 자연순환농업과 관련해서는 다양한 순환농업모델이 제시되고 있지만, 이를 실제 농가에 적용하여 타당성 분석 및 개선 방안 제시와 같은 연구는 부진한 것으로 평가되고 있다.
- 다. 자연순환농업은 농가내, 지역내, 지역간 등 다양한 규모에서 실현이 가능하지만, 아직 자연순환농업 기반이 구축되지 않은 우리의 실정을 고려하면 우선 축산과 경종 기반을 갖춘 농가 또는 표준시범농장을 대상으로 자연순환모델을 시범적으로 적용하여 운영함으로써 점차적으로 지역내 순환농업으로 확대해 나가는 것이 필요하다.
- 라. 농가내 자연순환농업에서 다양한 작부체계 구성이 가능하지만, 축산에서 발생한 퇴비의 토지 환원을 우선적으로 고려하여야 한다. 농림수산식품통계연보(2008년)에 따르면 2007년 기준 우리나라의 축종별 사육두수는 한우 약 2백43만두, 젖소 약 45만 두, 돼지 약 9백만 두, 닭 약 1억2천만 수이다. 농촌진흥청(2006)의 축종별 양분발생원단위를 적용하면 연간 질소 312,756톤과 인산 146,686톤이 발생하고 있으며, 이중 질소 32%와 인산 19%가 한우로부터 발생된다. 환경적 측면에서는 돈분뇨가 우분뇨에 비해 뇨의 비율이 높고, 질소와 인산의 함량도 높기 때문에 분뇨처리 및 관리가 상대적으로 더 중요하지만, 자연순환농업 실행의 측면(축산-경종의 연계)에서는 우분뇨의 중요성이 더욱 부각된다.

2. 연구필요성

- 가. 자연순환농업 운영을 위해서는 사료-가축-분뇨-토양으로 이어지는 양분의 순환과정에서 양분순환구조를 구명하여야 한다. 이를 통해 환경오염을 최소화시킬 수 있는 적정 사육두수 또는 적정 경지면적이 도출될 수 있다. 양분순환구조 분석을 위해서는 축산에서 발생하는 분뇨의 양 및 양분 함량, 작물에 의한 양분 흡수 및 제거, 토양 중 양분 잔류량 등에 대한 정밀

조사가 필요하다.

- 나. 우분뇨의 퇴비화 과정에 대한 정밀 모니터링을 통해 고품질의 퇴비 생산이 필요하다. 우분뇨는 일반적으로 톱밥이나 왕겨와 혼합하여 퇴비화를 시키는데 최적의 혼합물질을 선택하고 필요할 경우 codex 기준을 만족시키는 적절한 첨가물을 투입할 수 있다. 또한, 퇴비화 초기에 질소 성분의 최대 50%가 암모니아 휘산에 의해 손실되어 퇴비 중 질소와 인 성분이 작물의 양분 요구량과 불일치됨으로써 질소 기준 퇴비 시용에 의해 토양 중 인 집적 문제가 나타난다. 따라서, 퇴비화 과정 중 질소 손실을 감소시킬 수 있는 기법을 개발함으로써 양분의 순환구조를 개선할 필요가 있다.
- 다. 생산된 퇴비의 비료 가치와 양분 공급력 평가이다. 즉, 생산된 퇴비를 과잉으로 토양에 시용할 경우는 지표수와 지하수 오염과 같은 문제를 야기할 수 있기 때문에 자연순환농업의 근본 원칙에 위배된다. 따라서, 생산된 퇴비의 비료가치와 양분 공급력을 평가하여 퇴비 시용량 결정에 활용할 필요가 있으며, 이를 통해 자연순환농업 시스템의 양분순환구조를 개선할 수 있다.
- 라. 이상의 연구를 종합하여 한우-경종 연계 자연순환농업 시나리오별로 양분 순환구조를 구명하고 양분수지 불균형을 개선할 수 있는 방안이 수립되어야 한다. 또한, 자연순환농업 확대를 위해 양분관리 매뉴얼을 작성하여 보급함으로써 현장 농가의 자연순환농업 참여를 제고할 필요가 있다.

3. 연구개발의 목적, 내용 및 범위

- 가. 본 연구의 목적은 경종과 축산이 연계한 자연순환농업에서 물질 순환의 핵심 고리인 분뇨의 퇴비화 및 생산 퇴비의 활용 기술을 개발 보급하고, 분뇨→퇴비→토양→사료작물→가축을 통한 양분 순환시스템내 양분순환 구조를 분석·개선하며, 지역특성에 적합한 한우-경종 자연순환농업 양분순환 구조를 발굴하는 것이다.
- 나. 연구의 내용 및 범위는 1) 자연순환농업을 위한 가축분뇨의 퇴비화 기술: 우분뇨 퇴비화 과정 중 이화학변화 및 퇴비 특성, 퇴비화 과정 중 이분해성 유기물 및 난분해성 유기물의 역할 구명, 퇴비화 과정 중 질소손실 억제제 투입을 통한 질소손실 저감기술 개발, 2) 자연순환농업을 위한 퇴비 이용 기술: 퇴비의 양분공급 효율 평가 지표 개발 및 퇴비의 양분공급효과 평가, 3) 퇴비를 이용한 사료 및 일반경종 작물 생산을 위한 양분수지 개선 방안, 4) 자연순환농업에서 질소 공급을 위한 녹비작물 선발, 5) 자연순환농업 시스템의 양분순환 구조 분석 및 최적운영방안, 6) 자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼 개발이다.

제 2 절 국내외 기술개발 현황

1. 퇴비화 연구

- 가. 가축분 퇴비는 전통적으로 농업생산성 향상을 위한 토양 개량 및 양분공급원으로 적극적으로 활용되어 왔기 때문에 가축분뇨의 퇴비화 방법에 대한 연구는 체계적으로 진행되어 왔다(농촌진흥청, 2002).
- 나. 가축분 퇴비는 유기물과 양분이 풍부하여 토양개량효과가 크기 때문에 친환경농업에서 가장 널리 이용되는 자원이지만, 퇴비화 과정 중에는 다양한 물질과 양분이 손실되는 것으로 보고되고 있다(Hao 등, 2004). 탄소의 경우 미생물에 의한 유기물 분해과정에서 최고 80% 까지 손실되며, 질소는 우분퇴비의 경우 수분조절제로 톱밥을 사용할 경우 8~26%, 볏짚을 사용할 경우 15~43% 손실되는 것으로 보고된 바 있다(Barrington 등, 2002; Michel 등, 2004; Larney 등, 2006). 반면, 인산은 이동성이 낮아서 손실률이 10% 이내로 매우 낮은 것으로 보고된다(Michel 등, 2004). 그 결과 퇴비 중 질소와 인산의 비율은 작물의 질소와 인산 요구 비율보다 낮아져서 퇴비를 질소 기준으로 시용할 경우 토양 중에 과잉의 인산이 집적하게 되어 일차적으로 양분 불균형의 문제가 나타나고, 이차적으로 강우사상시 주변 수계의 부영양화를 야기할 수 있는 점이 큰 문제로 대두된 바 있다(Sharpley 등, 1984).
- 다. 퇴비화 과정 중 질소손실 연구는 대부분 퇴비화 전과 후의 질소함량 비교, 퇴비 더미로부터 발생하는 NH_3 와 NO_x 배출량 모니터링을 통해 진행되어 온 반면, 질소손실의 중요 지표로 인정되는 퇴비더미의 질소동위원소비($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $\delta^{15}\text{N}$) 변이에 대한 연구는 극히 일부에 국한된다(Lynch 등, 2006). 질소는 손실과정에서 가벼운 ^{14}N 화합물이 ^{15}N 화합물 보다 더 빠른 속도로 반응에 참여하기 때문에 질소 손실의 결과로 잔류하는 질소는 ^{15}N 이 농축되어 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 증가하는 경향을 보인다. 따라서, 퇴비화 과정 중 암모니아 휘산이나 탈질에 의해 질소가 손실될 경우 퇴비 더미 중 NH_4^+ 과 NO_3^- 의 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 증가할 것으로 예상된다.
- 라. 퇴비화 과정 중 질소 손실은 대부분 퇴비화 초기에 발생하는 암모니아 휘산에 의한 것이기 때문에 암모니아 휘산을 저감하여 퇴비 중 질소 함량을 일정 수준으로 유지시킬 수 있는 퇴비화 기법 개발이 필요하다(Anderson, 1996). 최근, 인산석고와 Alum과 같은 산성 폐자원을 퇴비화에 이용하여 퇴비 더미의 pH를 낮추어 암모니아 휘산을 저감하고자 하는 연구가 진행된 바 있으며, 제올라이트와 같은 비표면적이 큰 흡착제를 퇴비 더미와 혼합하여 암모니아 휘산 저감 가능성을 연구한 결과도 보고된 바 있다(Zvomuya 등, 2005; Lee 등, 2008). 하지만, 관련 연구는 대부분 무처리구(첨가 물질 미첨가구)와 처리구(첨가물질 처리구)의 퇴비화 종료 시점에서 질소 함량을 비교하는데 머무르고 때문에 이들 첨가물질의 질소손실 억제 기작에 대해서는 제대로 구명된 바가 없다.
- 마. 암모니아 휘산과 관련하여 퇴비 중 난분해성과 이분해성 유기물질의 역할에 대한 연구는 매우 부족하다. 톱밥이나 파쇄목과 같은 난분해성 유기물은 C/N가 높기 때문에 퇴비화 과정 중 질소부동화를 촉진시켜 휘산 가능한 NH_4^+ 농도를 낮추거나, 그 자체에 포함된 페놀 작용기와 NH_4^+ 의 결합에 의해 암모니아 휘산을 저감할 수 있다(Diaz와 Savage, 2007). 반면, 쌀겨와 같은 이분해성 유기물은 퇴비화 과정에서 쉽게 분해되어 초기에는 타급성 미생물의 활성 증가에 의한 NH_4^+ 의 부동화가 촉진될 수 있지만, 이분해성 유기물이 고갈되는

일정 시점 이후부터는 부동화된 질소의 재무기화에 의해 NH_4^+ 이 생성되어 퇴비화 후기에 암모니아 휘산이 급격하게 발생할 수 있다(Diaz와 Savage, 2007). 따라서, 퇴비화 과정 중 암모니아 휘산 저감을 위해 인산석고나 제올라이트를 활용하는 연구와 함께 퇴비화 과정 중 암모니아 휘산과 관련된 난분해성 유기물과 이분해성 유기물의 역할에 대한 연구가 병행될 필요가 있다.

2. 퇴비의 양분공급효과 연구

- 가. 가축분 퇴비의 질소 공급력은 실내 향온배양 실험(Gagnon과 Simard, 1999; Han 등, 2004), 온실실험(Choi 등, 2001; Helgason 등, 2007), 또는 포장 실험(Mamo 등, 1999; Eghball, 2000; Cordovil 등, 2007)을 통해 평가되어 왔다. 토양 칼럼을 이용한 용탈실험 역시 질소 공급력 평가에 이용될 수 있으며, 이 방법은 타 방법에 비해 최소한 두 가지의 장점이 있는데, 첫 번째는 시료의 교란없이 토양 용액을 채취하여 분석할 수 있기 때문에 실험 규모를 최소화할 수 있으며 두 번째는 용탈액 중 양분은 토양 비옥도 측면 뿐 만 아니라 지하수 오염 측면에서도 유용한 자료이다(Burgos 등, 2004; Zhao 등, 2010).
- 나. 가축분 퇴비는 비균질 혼합물이기 때문에 토양에 사용된 가축분 퇴비의 양분 공급력은 일차적으로 퇴비의 이화확성에 의해 결정되는 것으로 보고되고 있다(Gerke 등, 1999; Rezende 등, 2004). 특히, 퇴비의 부숙도 또는 안정성은 질소 무기화에 크게 영향을 주는데, 예를 들면 퇴비의 부숙도가 낮을수록 질소 무기화가 빠르게 진행되어 더 많은 양의 무기태 질소를 공급할 수 있다(Hadas와 Portnoy, 1994). 반면, 퇴비가 사용된 토양의 양분 유효도는 토양 자체의 특성에 의해서도 달라지는데, 예를 들면 자체의 무기태 질소가 낮은 토양에 퇴비를 사용할 경우 토양용액 중 무기태 질소 농도는 사용된 퇴비 중 질소 농도에 의해 결정되지만, 그 반대로 토양 자체의 무기태 질소 농도가 높은 경우에는 그와 같은 상관관계가 나타나지 않을 수 있다(He 등, 2000; Helgason 등, 2007).
- 다. 토양에서의 퇴비로 부터의 질소 공급량은 전체 퇴비 질소의 4.7%(칼럼실험; Miller 등, 2008)~65.0%(향온배양실험; Nendel 등, 2004)로 보고되고 있다. Eghball (2000)은 포장 실험에서 우분퇴비의 질소 공급량을 최대 22.0%로 보고한 바 있는데, 그 중 4%는 초기 무기화 질소이기 때문에 약 6.4~12.4%의 질소가 퇴비 중 유기태질소가 무기화 된 것으로 평가하였다. 한편, 퇴비의 질소 공급량은 일차적으로 퇴비의 총질소 농도(Flavel과 Murphy, 2006) 또는 무기태 질소농도(Helgason 등, 2007)에 의해 영향을 받는 경향이 크다.
- 라. 인의 경우도 질소와 유사하게 퇴비의 이화확성은 물론 토양의 특성에 의해서 토양 용액 중 농도가 달라질 수 있다. 예를 들면 퇴비 사용 토양 용액 중 인의 농도는 퇴비의 총인 농도에 비례하는 경향이 있지만(Zvomuya 등, 2006; Schefe 등, 2008), 토양의 인산 흡착능이 매우 클 경우에는 이와 같은 경향이 나타나지 않을 수도 있다(Karathanasis와 Shumaker, 2009).

3. 자연순환농업시스템에서 사료작물 생산 연구

- 가. 최근 식생활 습관의 변화와 축산 시설기술의 발달에 의해 가축 사육두수는 지속적으로 증가하였으며, 농림수산물 주요통계에 의하면 한육우의 사육두수는 2003년 1,480 천두에서 2008년 2,430 천두로 64% 증가하였다(농림수산물부, 2009). 하지만, 급여가능한 조사료 생

산량은 동년 기준 4,048천톤에서 5,054천톤으로 25% 증가하는데 그쳤다. 또한 우리나라 생산가능한 조사료 면적은 약 200천ha(일반사료작물 120천ha, 초지 50천ha, 청보리 30천ha 수준)로 조사료 생산력과 수급의 불균형에 의한 사료 수입이 불가피하다. 이에 따라 농림수산식품부에서는 지역여건에 적합한 다양한 조사료작물을 발굴하여 현재의 조사료와 농후사료 급여비율(소의 경우)을 4:6에서 6:4로 개선하고 조사료 자급률을 90%로 증가시키는 것을 골자로 한 '양질 조사료 생산 확대 대책'을 발표한 바 있다(Joo, 2006).

- 나. 조사료 자급률을 높이기 위해서 일반 농경지에서 청보리, 총채버 등의 재배가 권장되고 있으며 이와 관련하여 품종, 파종량, 파종시기, 시비, 잡초방제, 사료가치 평가 등 다양한 연구가 진행되어 관련 기술이 널리 보급되고 있다(농촌진흥청, 2007; 2008).
- 다. 일반 목초지에서는 하계작물과 동계작물을 이용한 작부체계 구성이 가능하다(Yoon 등, 2007). 하계작물 중 수수×수단그라스(SSG)는 남부 및 중부지방에서 타 목초에 비해 수량이 높으며, 동계 작물 중 이탈리아라이그라스(IRG)는 남부지방에서 호밀이나 청보리 보다 수량이 높은 것으로 보고된 바 있다(Yoon 등, 2007; Kang 등, 2009). 또한, Yoon 등(2008)은 다양한 사료 작물의 수량과 사료가치를 고려하여 남부지방에서는 SSG와 IRG가 최적의 작부체계임을 제안한 바 있다.
- 라. 사료 작물의 수량에 영향을 미치는 요인은 파종량(Han과 Kim, 1992), 질소시비(Han과 Kim, 1992; Shin 등, 2005), 예취방법(Lee 등, 1991; Lee, 2005), 품종(Chun 등, 1995)등으로 다양하며 1990년대 이후부터 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 예를 들면, 일반적으로 파종량이 증가하면 건물 수량이 증가하는데, Seo 등(2000)에 의하면 SSG 파종량을 30, 60, 100 kg ha⁻¹로 달리했을 때 건물수량이 6.9 ton ha⁻¹에서 8.8 ton ha⁻¹로 증가하였다. Han과 Kim(1992)은 질소 무비구에서 SSG의 건물수량이 3.7~7.6 ton ha⁻¹였지만, 질소 시비량을 150 kg ha⁻¹와 300 kg ha⁻¹로 증가시키면 SSG의 수량이 6.2~11.3 ton ha⁻¹과 7.8~14.1 ton ha⁻¹로 증가한다고 보고하였다. 예취방법과 관련해서는 예취 높이(Lee 등, 1992)와 예취 시기(Jeon과 Lee, 2005)도 건물 수량에 영향을 준다. 예취 시기가 늦추어 지면 예취 횡수도 감소하게 되는데, Jeon과 Lee (2005)는 유수기, 호숙기, 황숙기에 예취할 경우 가장 높은 수량(약 24 ton ha⁻¹)을 기대할 수 있다고 하였다. Shin 등(2005)은 SSG를 최종 1회 수확하였을 때 건물 수량이 2.6~7.2 ton ha⁻¹로 보고한 바 있다. SSG와 달리 IRG에 대한 선행 연구는 부족한 편인데, Kang 등(2009)은 경남지방에서 IRG의 건물 수량을 10.4 ton ha⁻¹로 보고한 바 있다.
- 마. 최근에는 경종과 축산을 연계한 자연순환농업 개념이 도입됨에 따라 화학비료 대신 가축분뇨와 퇴비를 시용에 따른 SSG와 IRG의 수량 변화에 대한 연구가 진행되고 있다(Seo 등, 2000; Kim 등, 2001). 하지만, 현재까지의 연구는 대부분 SSG(Seo 등, 2000; 2002; Lim 등, 2006) 또는 IRG(Kim 등, 2001; Song 등, 2006) 등 특정 조사료 작물에 대해서만 진행되었기 때문에 다양한 조사료를 포함하는 포괄적인 연구는 부족한 것으로 판단된다. 또한, 사료작물 재배 전과 후의 토양 이화학적 변화는 다음 작물 선정 및 시비량 설정에 필요한 정보임에도 불구하고 가축분뇨 또는 퇴비 시용조건에서 토양 이화학적 변화에 대한 연구도 부족하다(Shin 등, 1999). 따라서, 남부지방에 적합한 것으로 알려지고 있는 SSG, IRG, 총채버, 총채보리, 옥수수 등을 포괄하여 가축분뇨 또는 퇴비 시용에 따른 사료 작물의 수량과 양분 흡수량을 평가할 필요가 있다.

4. 자연순환농업에서 양분순환연구

- 가. 자연순환농업은 다양하게 정의될 수 있지만, 넓은 의미에서 마을 또는 지역 내에서의 유기물의 완전순환을 통한 균형있는 물질수지를 유지시켜 생태계를 보전하고 안전한 농산물을 생산하는 농업으로 정의될 수 있다(Gao 등, 2006). 최근 지속가능한 농업의 일환으로서 자연순환농업에 대한 관심이 증대되고 있으며, 이에 상응하게 지역 내 또는 지역 간의 대단위권역에서 가축두수, 분뇨발생량, 작물시비 요구량을 기준으로 한 양분순환모형에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다(Kim과 Kang, 2002; Kim과 Kim, 2003). 다양한 자연순환농업 단위 중 군 단위의 경우 양평군을 대상으로 농업생태계내 물질순환구조에 대한 연구가 진행된 바 있다(Kim, 2003; Hur와 Park, 2006). 또한, 양분순환구조 분석을 통해 사료 작물의 인산 요구량을 기준으로 분뇨를 시용했을 경우 분뇨의 토양 환원량 또는 지역내 조사료 총생산량을 근거로 단위 사료포장 면적 당 수용 가능 가축두수가 제안된 바 있다(Sim, 2005; Yoon, 2005). 예를 들면 Yoon(2005)은 충청남도 아산시의 지역내 조사료 총생산량을 기준으로 두당 1일 사료 급여량이 5 kg(농후사료 3 kg + 조사료 2 kg)일때 사육가능 두수를 1,347두로 제안한 바 있다. 또한, Kim(2006)은 2002년 홍성군을 모델로 농경지 질소투입량을 이용하여 적정사육두수를 제안하였는데, 지역 농경지의 전체 질소요구량이 3,136 톤일 경우 젖소 37,557두(연간 두당 질소 83.5 kg 배출 가정)를 수용할 수 있다고 하였다.
- 나. 농림부(2006)에서는 자연순환형 유기농업 표준모델 개발과 관련하여 답작 지역에서의 작부체계 연구, 전작지역에서의 작부체계 연구, 유기 조사료 생산을 위한 작부체계 연구 등을 수행하여 다양한 작부 체계에 대한 양분수지 분석 및 가축수용두수를 산정한 바 있다.
- 다. 하지만, 이와 같은 선행연구는 대부분 지역내 자연순환농업 모형을 대상으로 양분순환 구조를 분석한 반면, 자연순환농업 시스템의 기본 단위인 소규모 농가를 대상으로 한 양분순환 연구는 미흡하다. 또한, 퇴비화 과정에서 수반되는 양분 수지 변화(깔개물질 투입에 의한 양분의 추가 유입 및 퇴비화 과정 중 양분 손실)를 고려하지 않는 대신 발생 분뇨에 함유된 양분 전체가 토양으로 환원된다는 가정 하에 양분수지를 분석하는 경향이 있다. 예를 들면, 축사 환경 관리 또는 퇴비화 과정 중 퇴비화를 촉진시키기 위해 톱밥이나 왕겨와 같은 깔개물질이 인위적으로 투입되는데, 이들 깔개물질의 질소와 인 함량은 상이하기 때문에 전체 양분수지에 대한 영향이 상이할 것으로 예상된다. 또한, Michel 등(2004)에 의하면 퇴비화 과정 중 질소는 최고 43% 손실될 수 있으며, Parkinson 등(2004)은 인 또한 용탈에 의해 최고 28% 손실될 수 있다고 보고한 바 있다. 퇴비화 과정 중 양분 손실은 투입되는 깔개물질의 성질(C/N 비, 분해저항성)에 영향을 받는데, 일반적으로 C/N 비가 높고 리그닌 함량이 높은 톱밥에서의 양분손실률이 낮은 것으로 보고된다(Larney 등, 2006). 따라서 자연순환농업 시스템에서 보다 정확한 양분순환 구조 분석을 위해서는 이와 같은 깔개물질에 따른 퇴비화 과정 중 양분 변화를 고려할 필요가 있다.
- 라. 따라서, 양분발생량 보다는 퇴비화 종료 후 잔류하는 유효양분총량을 기준으로 하는 양분수지 분석 연구가 필요하며, 앞에서 언급한 자연순환농업과 관련된 다양한 분야를 포괄하는 양분관리 매뉴얼 제작이 요청된다.

제 3 절 연구개발 수행 내용 및 결과

1. 연구개발 수행 내용

구분	연구개발의 내용	연구범위
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 퇴비 이화학적 구명 ○ 퇴비의 양분공급력 평가 기법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 퇴비 10종 이상에 대한 분석 ○ 양분 용탈 실험을 이용하여 퇴비 혼합 토양으로부터의 질소와 인 용탈량 분석 ○ 다중회귀분석을 이용한 양분공급력 지표 발굴
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 총체사료-한우 연계 시범농가의 양분순환구조 분석 ○ 퇴비화 과정 모니터링을 통한 이화학적 변화 및 양분손실 구명 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사료→분뇨→퇴비→작물 단계별 양분수지 분석 ○ 양분수지분석 결과에 근거한 적정수용두수 및 필요포장 면적 제안 ○ 질소동위원소비 기법을 이용한 질소손실 기작 구명 및 양분손실 정량화
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 조사료-한우 연계 표준시범농장의 양분순환구조 분석 ○ 표준시범농장의 퇴비시용에 따른 조사료 수량 및 양분흡수량 변화 조사 ○ 퇴비화 과정 중 분해도가 상이한 유기물의 역할 구명 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 표준시범농장의 양분순환기반 조사: 사육두수, 분뇨발생량, 경지면적, 토양이화학적, 사료급여량 등 ○ 사료→분뇨→퇴비→작물 단계별 양분수지 분석 ○ 양분수지분석 결과에 근거한 적정수용두수 및 필요포장 면적 제안 ○ 퇴비 시용량에 따른 조사료 수량 평가 ○ 분해도가 상이한 유기물 첨가에 따른 CO₂발생, NH₃ 휘산 및 물질손실량 구명
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 표준시범농장의 자연순환농업 운영을 위한 조사료 생산 작부체계 설정 ○ 설정된 작부체계에 기반한 양분수지 분석 ○ 질소손실저감을 위한 퇴비화 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 목초, 두과, 화분과 작물로 구성된 조사료 생산 작부체계(논과 밭) 설정 ○ 조사료 생산 작부체계별 수용두수, 분뇨발생량, 분뇨환원에 필요한 경지면적 산정 ○ 가축분뇨 퇴비화 과정 중 질소손실 저감을 위한 인산석고와 제오라이트 혼합 효과 구명
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 조사료 작부체계에 따른 양분순환구조 설계 및 분석 ○ 전작 및 답작 조사료 작부체계에서 퇴비시용에 따른 생산성 ○ 자연순환농업을 위한 양분관리 매뉴얼 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전작/답작에 대해 주작물/동계작물로 구성된 작부체계 구성 및 양분수지 분석 ○ 옥수수-청보리 작부와 총체벼-총체보리 작부의 퇴비 시용에 따른 수량 평가 ○ 조사료 작부체계, 퇴비시용량, 수용두수, 발생분뇨환원 등을 포괄하는 양분관리 매뉴얼 제작

2. 연구개발 수행 결과

가. 자연순환농업을 위한 가축분뇨의 퇴비화 기술

(1) 우분뇨 퇴비화 과정 중 이화학적 변화 및 퇴비 특성

(가) 대상 농가 및 퇴비화 방법

○ 농가: 전남 영암군 소재 경종-축산 연계농장: 사육두수 100두, 조사료 생산면적 2.5 ha



<우사 전경>



<조사료 포장 전경>

[그림 1] 퇴비화 실험 농가 우사 및 조사료 포장 전경.

○ 시험기간: 2006년 2월~5월

○ 처리 방법: 왕겨와 톱밥을 각 90평에 해당하는 축사에 깔개물질로 투입하여 21일간 한우 각 30두를 투입하여 생퇴비를 확보한 후 퇴비더미를 조성하여 퇴비화 과정 중 이화학적 변화를 조사하였다. 1일 두당 사료 급여량은 10 kg(농후사료 5 kg과 조사료 5 kg)이었고 1일 두당 급수량은 10 L였다. 깔개물질의 이화학적성은 표 1과 같다.

[표 1] 깔개물질의 이화학적성

깔개물질	수분함량 (g H ₂ O kg ⁻¹)	Total C (g kg ⁻¹)	Total N (g kg ⁻¹)	$\delta^{15}\text{N}$ of T-N (%)	C/N	pH _{water} (1:10)
왕겨	200 (12)	427 (15)	4.2 (0.2)	+4.9 (0.1)	102 (7)	7.1 (0.1)
톱밥	50 (7)	535 (38)	0.4 (0.02)	+1.7 (0.2)	1268 (45)	4.7 (0.1)

(나) 퇴비 더미 조성 및 관리

○ 21일 후 생분뇨와 깔개 혼합물을 비가림 퇴비사에 야적하여 90일 동안 그림 2와 같이 퇴비화를 실시하였다.

○ 온도데이터로거(TR-52, T&D Corporation, Nagano, Japan)을 설치하여 온도를 모니터링하였으며, 20일 간격으로 뒤집기를 실시하였으며 이때 약 200 L의 물을 살포하여 수분을 65 v/v% 수준으로 보충하였다.



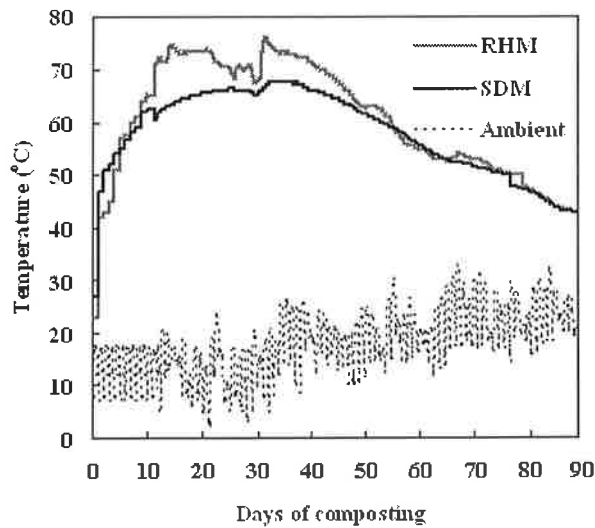
<퇴비 더미>



<퇴비 측정>

[그림 2] 퇴비 더미 및 퇴비 측정 모습.

○ 퇴비더미의 온도는 퇴비화 10일 후 급격히 증가하여 20~40일 사이에 60~70℃를 유지하였고, 이후 감소하는 경향을 나타내었다. 20~40일 사이에 톱밥퇴비와 왕겨퇴비의 온도차이가 나타났는데 이분해성 유기물질인 왕겨를 투입한 퇴비가 난분해성인 톱밥 퇴비보다 5~10℃정도 높았다(그림 3).

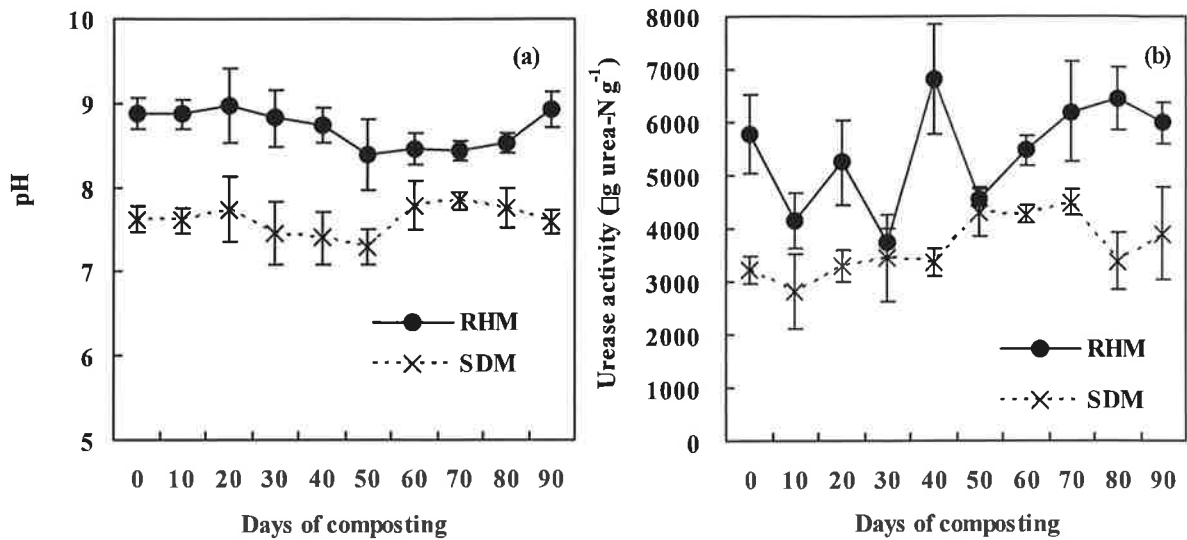


[그림 3] 퇴비화 기간 중 외기(ambient) 및 왕겨퇴비(RHM)와 톱밥퇴비(SDM)의 온도변화.

(다) 퇴비시료 채취 및 이화학성 분석

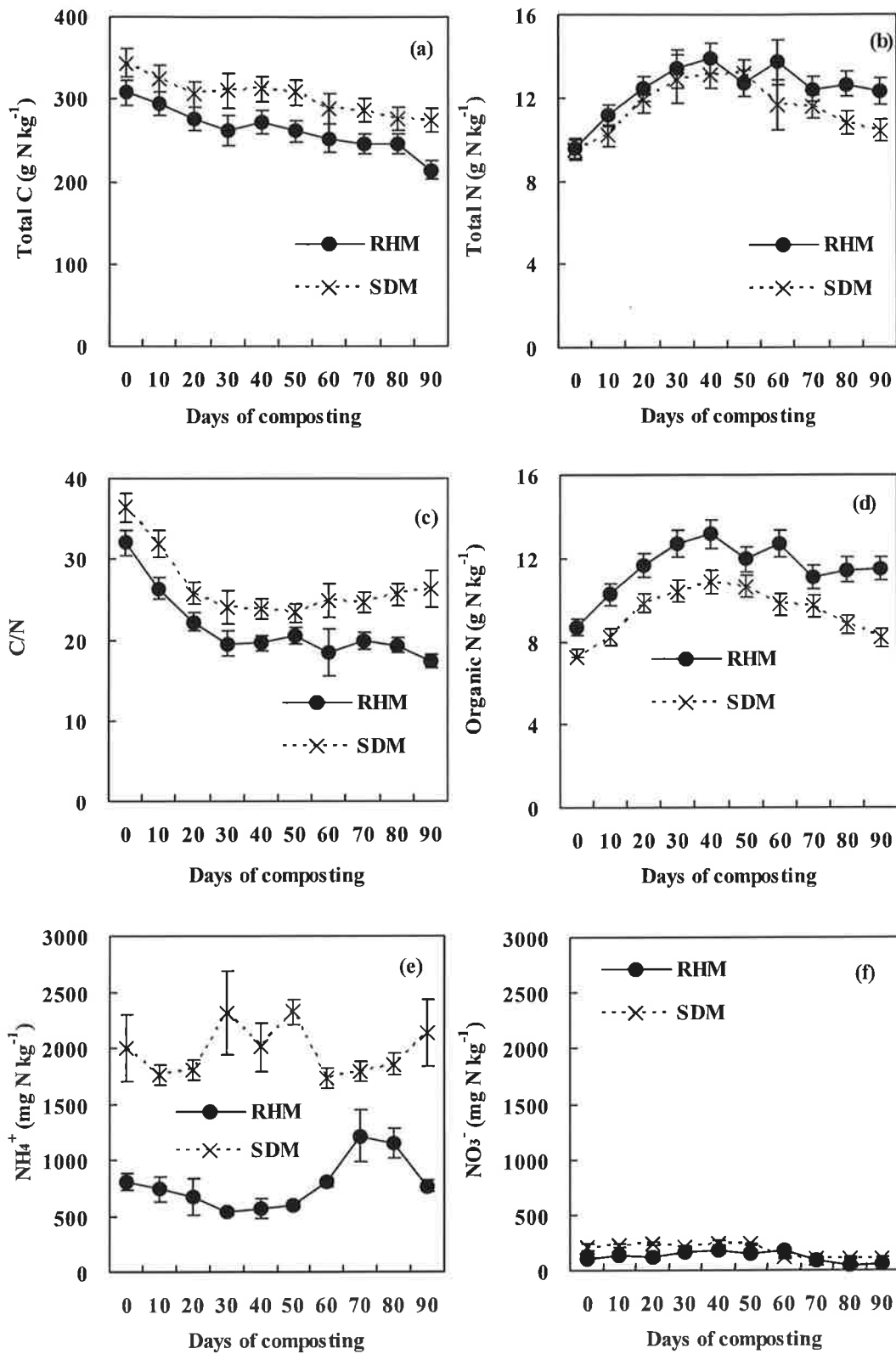
- 퇴비 더미 조성 직후부터 90일 동안 10일 간격으로 시료를 채취하여 분석하였다.
- 분석항목: pH, 무기태질소, 총질소, 총탄소, 요소가수분해 효소, 질소동위원소비($\delta^{15}\text{N}$)
- 퇴비화 기간 중 pH는 깔개물질의 종류와 상관없이 7 이상의 알칼리성을 나타냈으며, 왕겨퇴비가 톱밥퇴비보다 pH가 1 단위 이상 높았다(그림 4a). 또한 요소가수분해효소 활성도 왕겨퇴

비가 톱밥퇴비보다 높았는데, 이는 왕겨퇴비에서의 암모니아 휘산 가능성이 톱밥퇴비보다 높음을 의미한다(그림 4b).



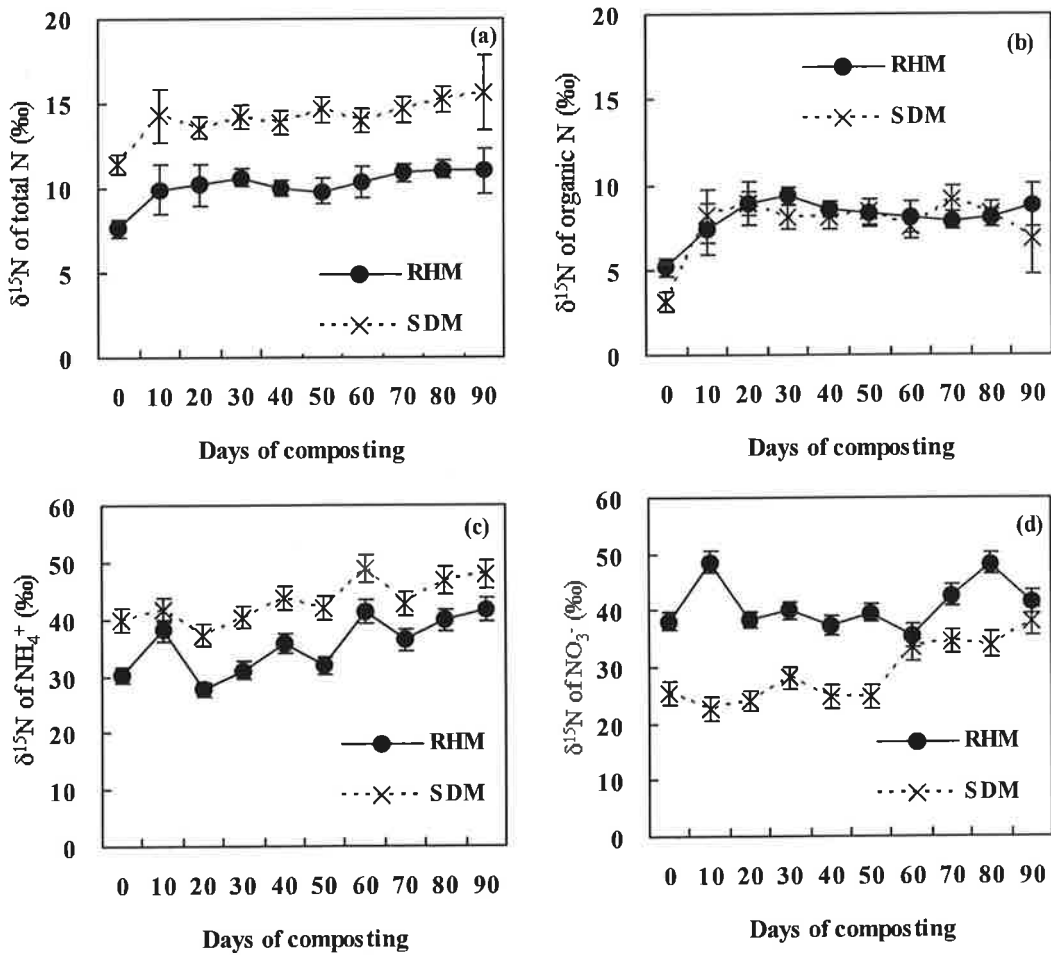
[그림 4] 톱밥 및 왕겨 퇴비화 기간 중 (a) pH 변화, (b) 요소가수분해효소활성 변화(RHM, 왕겨퇴비; SDM, 톱밥퇴비).

○ 퇴비화 기간 중 탄소 농도는 지속적으로 감소하였으며, 톱밥퇴비보다 왕겨퇴비의 탄소 농도가 더 낮았는데, 이는 왕겨퇴비의 분해속도가 더 빠름을 의미한다(그림 5a). 반면, 총질소 농도는 퇴비화 40일까지는 증가하였지만, 이후 다시 감소하였다(그림 5b). 총질소 농도 증가는 질소 손실이 전체 물질 손실보다 작음을 의미하며, 그 반대는 질소 손실이 더 큼을 나타낸다(Hao 등, 2004). 탄소와 질소 농도 변화에 따라 탄질비는 지속적으로 감소하였으며, 톱밥퇴비보다 왕겨퇴비의 탄질비가 더 낮았는데, 이는 왕겨 퇴비의 이분해성을 뒷받침한다(그림 5c). 유기태 질소 농도 변화는 총질소와 유사한 경향이었으며(그림 5d), 암모늄태 질소 농도는 왕겨퇴비가 톱밥퇴비보다 낮았는데 이는 왕겨퇴비에서의 암모니아 휘산이 더 많았음을 의미한다(그림 5e). 질산태 질소 농도는 암모니움태 질소보다 낮았다(그림 5f).



[그림 5] 톱밥 및 왕겨 퇴비화 기간 중 (a) 총탄소, (b) 총질소, (c) 탄질비, (d) 유기태 질소, (e) 암모늄태 질소, (f) 질산태 질소 함량 변화(RHM, 왕겨퇴비; SDM, 톱밥퇴비).

○ 퇴비화 기간 중 총질소의 질소동위원소비는 퇴비화 10일 후에 톱밥퇴비가 15%, 왕겨퇴비가 +10%로 급격히 증가한 후 지속적으로 소폭 상승하였다(그림 6a). 이는 퇴비화 과정 중 질소손실에 의한 질소동위원소분할효과로 판단되며, 일반적으로 질소의 동위원소비는 질소손실량에 비례한다 (Robinson, 2001; Choi 등, 2003). 왕겨퇴비의 pH가 톱밥퇴비보다 높고 암모니움태 질소의 농도는 더 낮았기 때문에 왕겨퇴비의 질소 손실이 더 많은 것으로 판단되었지만, 질소동위원소비는 그 반대로 나타났다. 이와 같은 결과는 퇴비의 질소동위원소비는 단순히 질소손실 뿐 만 아니라 깔개물질의 특성에 의해서도 영향을 받는다는 것을 보여준다. 즉, 왕겨의 형태로 투입된 질소의 양이 톱밥보다 많았기 때문에 질소동위원소 희석효과에 의한 질소동위원소비 감소가 왕겨퇴비에서 더 컸음을 알 수 있다. 퇴비 유기태 질소의 질소동위원소비는 총질소와 유사한 경향이었다(그림 6b). 한편, 암모니움태 질소의 동위원소비는 지속적으로 증가하였으며, 총질소와 유사하게 톱밥퇴비가 왕겨퇴비보다 질소동위원소비가 더 높았다. 질산태 질소의 질소동위원소비도 일반적인 자연계에 존재하는 값보다 높게 나타났다. 따라서, 본 연구결과는 퇴비화 과정 중 암모니아 휘산과 탈질에 의한 질소손실 가능성이 높음을 보여준다(Hao 등, 2004; Michel 등, 2004).



[그림 6] 톱밥 및 왕겨 퇴비화 기간 중 질소동위원소비($\delta^{15}\text{N}$) 변화: (a) 총질소, (b) 유기태 질소, (c) 암모니움태 질소, (d) 질산태 질소(RHM, 왕겨퇴비; SDM, 톱밥퇴비).

(라) 깔개물질에 따른 우분뇨 퇴비 생산량, 물질 및 양분 손실률 및 양분 함량

○ 90일간의 퇴비화 기간 동안의 왕겨퇴비와 톱밥퇴비의 건물손실률은 각각 32.3%와 38.8%로 톱밥 퇴비의 건물손실률이 더 높았지만, 최종 퇴비 건물 중량은 왕겨퇴비 1,206kg, 톱밥 퇴비 1,496kg 으로 톱밥 퇴비가 더 높았다(표 2). 이는 톱밥이 왕겨보다 리그닌 함량이 높아 우사내에서의 물질 분해 속도가 지체된 대신 퇴비화 조건에서 분해가 가속화된 반면 왕겨퇴비는 우사내에서 상당부분 분해가 진행된 된 때문으로 판단된다(Michel 등, 2004; Diaz와 Savage, 2007).

[표 2] 최종 퇴비 건물중, 탄소 및 질소함량과 퇴비화 과정 중 물질 손실률

퇴비	퇴비화 경과 일수(일)	중량(kg)		탄소 및 질소 함량(%)		탄소 및 질소 중량(kg)		0일 기준 손실률(%)		
		습윤	건물	탄소	질소	탄소	질소	건물	탄소	질소
왕겨퇴비	0	5500	1781	30.8	0.96	548	17.1	0	0	0
	90	3200	1206	21.4	1.23	258	14.8	32.3	52.9	13.3
톱밥퇴비	0	6500	2430	34.4	0.95	836	23.0	0	0	0
	90	4500	1486	27.4	1.04	407	15.5	38.8	51.3	32.8

(2) 퇴비화 과정 중 이분해성 유기물 및 난분해성 유기물 역할 구명

(가) 실험 개요

○ 퇴비 첨가물에 따른 유기물 분해 및 질소 휘산 경향을 파악하여 향후 질소손실저감 퇴비화 기술 개발에 활용하기 위해 실험실내 조건에서 퇴비화 과정 중 발생하는 CO₂와 NH₃를 정밀 모니터링 하였다. 분뇨는 전남대 봉황 농장에서 생산된 분뇨를 이용하였으며, 첨가물로는 대표적 난분해성 물질인 톱밥과 이분해성인 쌀겨를 이용하였다(표 3).

[표 3] 퇴비화 모니터링 실험에 사용된 분뇨, 톱밥, 쌀겨의 이화학성

재료	T-C (g kg ⁻¹)	T-N (g kg ⁻¹)	C/N	NH ₄ ⁺ (mg N kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mg N kg ⁻¹)	AHC (cmol kg ⁻¹) ^a
분뇨	296	15.2	19.5	310.8	47.6	ND
톱밥	410	1.8	227.8	ND	ND	10.2
쌀겨	417	21.4	19.5	ND	ND	0.1

^aAmmonium holding capacity (1 N NH₄OAc-Ethanol-NaCl 연속 침출법)

ND, Not determined.

○분뇨(Manure)와 톱밥(Sawdust), 쌀겨(Rice bran)를 부피기준으로 다양한 비율로 혼합 처리하였으며, 실험은 3반복 하였다(표 4).

[표 4] 시험구별 화학비료 및 퇴비 처리 내용

처리명	분뇨	첨가물	총중량	T-N	T-C	C/N
	(g, dry basis)			(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	
M	23.3	0	23.3	296	15.2	19.5
M+SD 0.25	23.3	8.8	32.1	327	11.5	28.4
M+SD 0.50	23.3	17.6	40.9	345	9.4	36.6
M+SD 0.75	23.3	26.4	49.7	357	8.1	44.1
M+SD 1.0	23.3	35.2	58.5	365	7.1	51.1
M+RB 0.25	23.3	12.5	35.8	338	17.4	19.5
M+RB 0.50	23.3	25.0	48.3	359	18.4	19.5
M+RB 0.75	23.3	37.5	60.8	371	19.0	19.5
M+RB 1.0	23.3	50.0	73.3	379	19.4	19.4

M: 분뇨(manure), SD: 톱밥(sawdust), RB: 왕겨(rice bran)

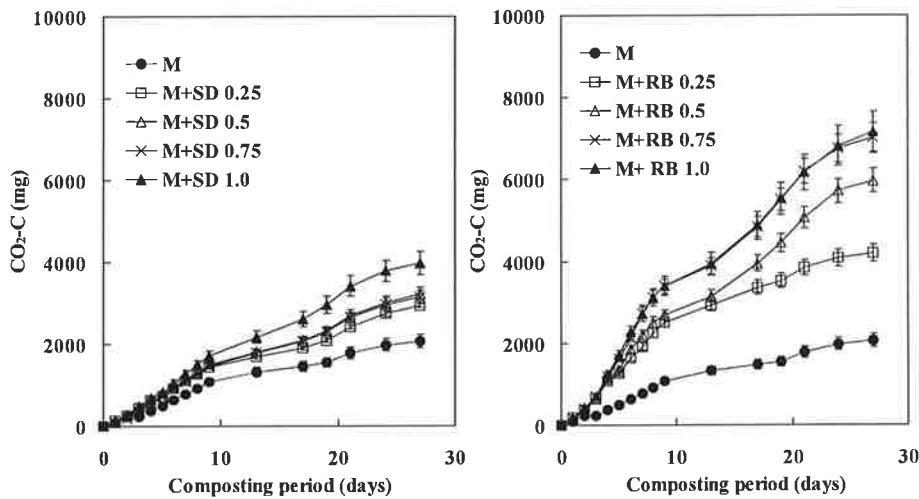
○ 퇴비 혼합물을 1 L 유리병에 혼합하고, 증류수를 첨가하여 수분 함량을 부피기준으로 50%로 조절하였다. 유리병 마개에 구멍을 뚫어 공기 공급을 위한 테플론 튜브를 연결하였다. 공기는 공기 압축기로 일정 압력으로 공급하였으며, 공기 압축기와 유리병 사이에 10 N NaOH trap과 2N H₃BO₃ trap을 설치하여 공기 중의 CO₂와 NH₃를 제거하였다. 각 유리병 앞에 유량계를 설치하여 공기 유입속도를 1 L min⁻¹으로 조정하였다. 유리병을 통과한 공기를 4 N NaOH를 통과시켜 CO₂를 포집하였고, 다시 4 N H₂SO₄를 통과시켜 NH₃를 포집하여 산-염기 적정법으로 각각의 농도를 정량하였다(그림 7). 또한, 퇴비화 전과 후의 퇴비 혼합물의 건물중을 조사하여 건물손실률을 계산하였다.



[그림 7] 퇴비화 과정 중 CO₂ 발생 및 NH₃ 휘산 모니터링 장치.

(나) CO₂ 발생

○ 퇴비화기간 동안 CO₂ 발생량은 첨가물에 상관없이 경시적으로 증가하였으나, 첨가물과 처리 수준에 따른 차이는 보였다(그림 8). 전반적으로 이분해성인 쌀겨처리구가 난분해성인 톱밥처리구에 비해 CO₂ 발생량이 많았으며, 처리량이 증가할 수 록 CO₂ 발생량도 증가하였다. 누적 CO₂ 발생량은 톱밥처리구인 M, M+SD0.25, M+SD0.50, M+SD0.75, M+SD1.0에서 각각 2062.7, 2949.6, 3219.7, 3154.8, 3975.0 mg C였으며, 쌀겨처리구에서 각각 2062.7, 4212.4, 5969.9, 7014.0, 7152.8 mg C로 쌀겨처리구의 CO₂ 발생량이 톱밥처리구에 비해서 43~122% 높았다($P < 0.05$). 이는 톱밥에 난분해성인 리그닌이 함유되어있고 C/N 비가 227.8(Table 1)로 높아서 유기물 분해 속도가 상대적으로 지체되었기 때문으로 판단된다(Insam과 de Bertoldi, 2007).



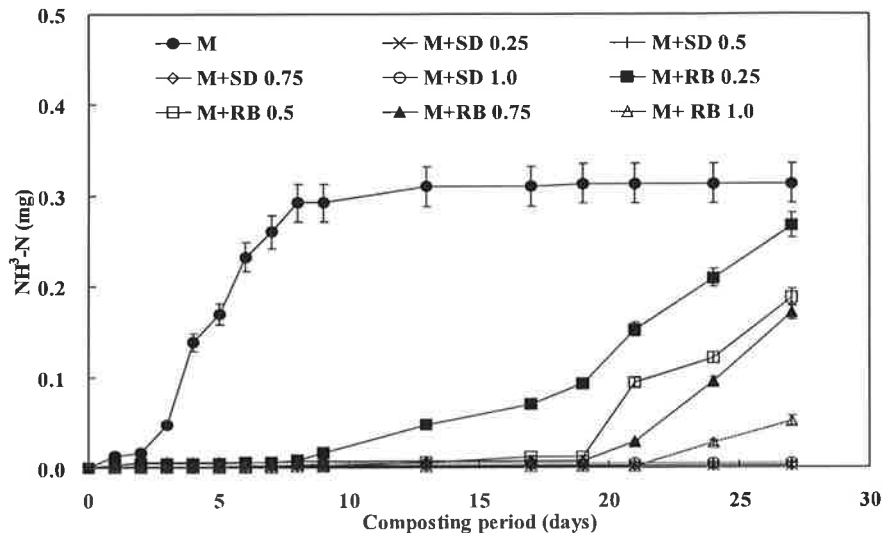
[그림 8] 톱밥과 쌀겨 시용량에 따른 퇴비화 기간 중 CO₂ 발생 경향.

(다) NH₃ 휘산

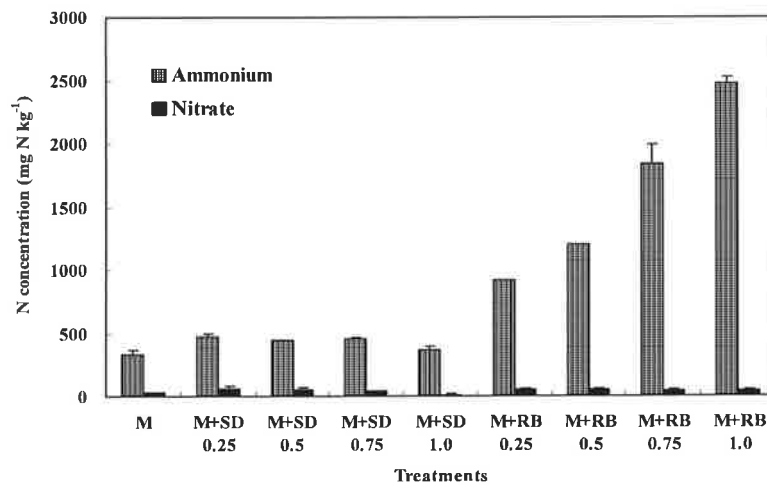
○ 암모니아 휘산의 발생시점과 양은 첨가물에 따라 상이한 차이를 보였다(그림 9). 분뇨단독 처리구에서는 퇴비화 8일째에 0.29 mg N으로 최고치를 나타냈으며, 이후에 뚜렷한 변화가 보이지 않았다. 톱밥처리구에서는 톱밥 처리 수준에 상관없이 휘산이 발생하지 않았는데, 이는 톱밥처리구의 C/N 비가 28.4~51.1로 매우 높아 미생물들에 의한 질소 부동화가 우세하게 진행되어 휘산 가능 NH₄⁺의 농도가 낮아졌기 때문으로 판단된다. 또한 톱밥의 암모니아 고정능이 10.2 cmolc kg⁻¹으로 높기 때문에 암모니아 휘산이 저감되었을 가능성도 있다(표 3) (Siva 등, 1999; Butler 등, 2001; Castells 등, 2004).

○ 반면, 쌀겨 처리구에서는 퇴비화 초기에는 암모니아 휘산이 발생하지 않았지만, 퇴비화 8일째부터 암모니아 휘산이 발생했다. 쌀겨처리량이 적은 M+RB0.25 처리구에서 휘산이 가장 먼저 발생하였으며, 최종 누적발생량은 M, M+RB0.25, M+RB0.50, M+RB0.75, M+RB1.0에서 각각 0.29, 0.27, 0.19, 0.17, 0.05 mg N으로 쌀겨 투입량이 적을수록 발생량도 많았다. 이는 쌀겨가 이분해성 유기물이고 쌀겨처리구의 C/N비가 19.5로 낮은 편이기 때문에 퇴비화 초기에는

NH_4^+ 이 빠르게 부동화된 후 다시 재무기화되어 암모니아 휘산에 노출된 것으로 판단된다(Choi 등, 2006; Bengtson과 Bengtson, 2005). 최종 퇴비 혼합물에서의 NH_4^+ 의 농도는 톱밥 퇴비보다 쌀겨퇴비에서 2~5배 정도 높았는데, 이는 쌀겨퇴비에서의 암모니아 휘산 가능성이 더 큼을 의미한다(그림 10). 본 연구에서 나타난 난분해성과 이분해성 유기물 투입에 따른 암모니아 휘산량 차이는 기존연구와 일치한다(Michel 등, 2004; Barrington 등, 2002).



[그림 9] 톱밥과 쌀겨 사용량에 따른 퇴비화 기간 중 NH_3 휘산량.



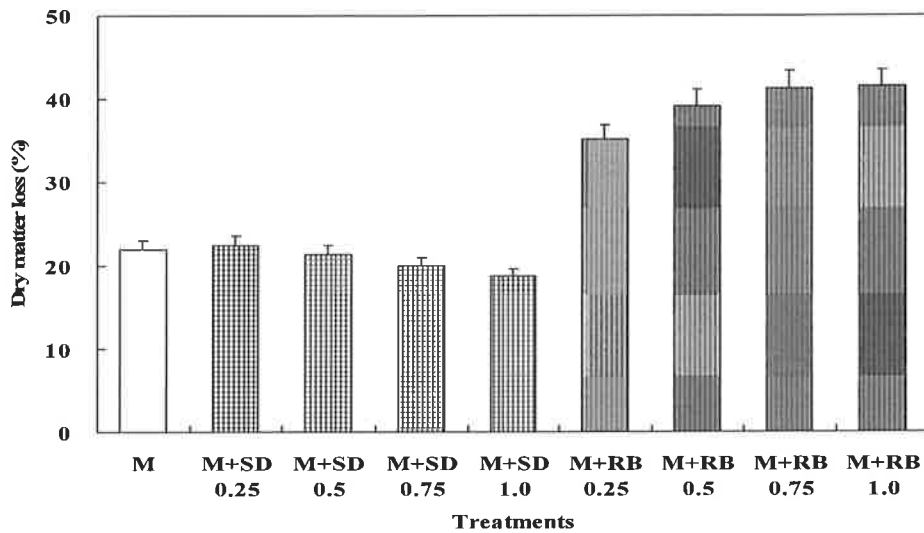
[그림 10] 톱밥과 쌀겨 사용량에 따른 퇴비화 28일 후 무기태 질소 농도.

(라) 최종 물질 손실률

○ 최종 물질 손실률은 톱밥이나 쌀겨가 처리되지 않은 M 처리구에서 21.9%였고, 톱밥처리구에서는 18.8~22.5%로 톱밥처리 비율이 증가함에 따라 유의성($P < 0.05$) 있게 감소하였다(그림 11). 반면, 쌀겨처리구의 물질 손실률은 35.2~41.5% 톱밥처리구 보다 높았으며($P < 0.05$), 쌀겨 처리

비율이 증가할수록 손실률도 증가하였다. 이와 같은 첨가물에 따른 차이는 난분해성인 리그닌이 주성분인 톱밥퇴비보다 이분해성인 전분과 단백질이 주성분인 쌀겨퇴비에서 분해가 더 잘 일어나기 때문이다(Insam과 de Bertoldi, 2007). Michel 등(2004)에 따르면 볏짚과 톱밥을 이용하여 퇴비화를 하였을 때 톱밥퇴비보다 볏짚퇴비에서 부피와 질량 감소 폭이 더 컸으며, 최종 건물 중은 초기에 비해 50~80%까지 감소할 수 있다고 하였다.

○따라서, 이분해성 유기물은 초기 암모니아 부동화를 통해 암모니아 휘산을 감소시킬 수 있지만, 부동화된 질소의 재무기화에 의해 퇴비화 중반기에 오히려 암모니아 휘산이 증가할 수 있는 것으로 나타났다. 반면, 난분해성 유기물인 톱밥은 암모니아 고정능이 있어 물리화학적 흡착에 의해 암모니아 휘산을 저감시킬 수 있는 것으로 판단되었다.



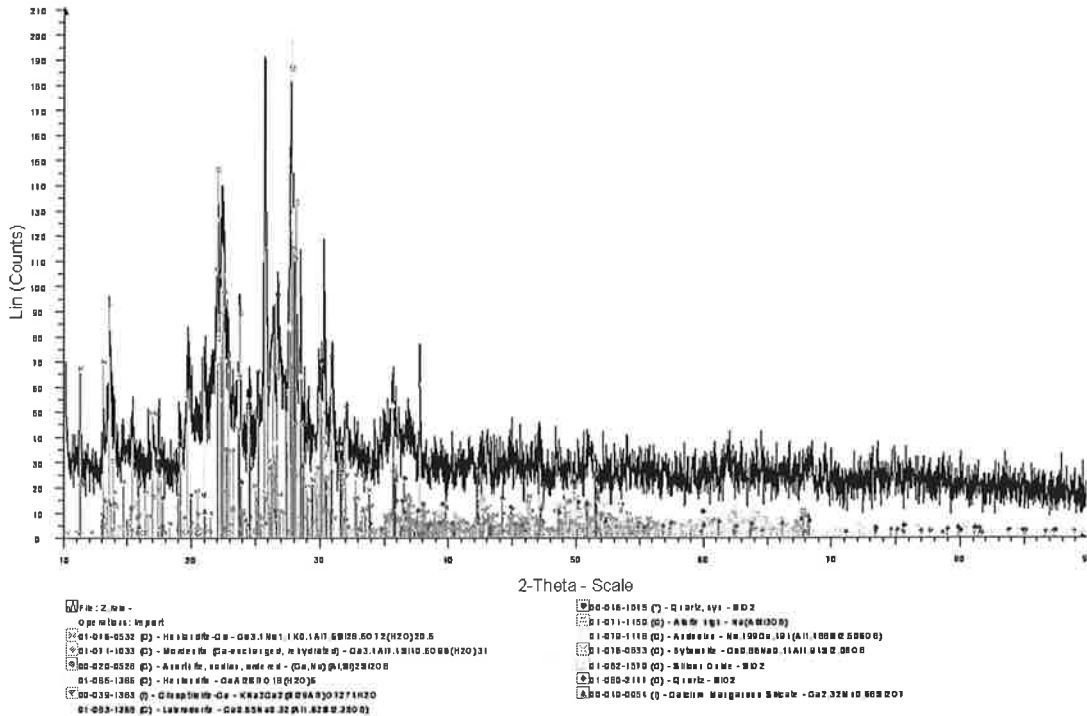
[그림 11] 톱밥과 쌀겨 시용량에 따른 퇴비화 기간 중 건물 손실률.

(3) 퇴비화 과정 중 질소손실 억제제 투입을 통한 질소 손실 저감 기술 개발

(가) 실험 개요

○퇴비화 과정 중 발생하는 질소손실을 저감할 수 있는 첨가물질로 판단되는 인산석고(Phospho-gypsum, pH: 2.48)와 제올라이트(Zeolite, CEC: 107)의 질소 저감 효과를 구명하기 위해 실험실내 조건에서 퇴비화 실험을 실시하였다. 분뇨는 시범농장의 우사에서 채취하였으며, 인산석고는 남해화학에서 제공받았다. 제올라이트의 입경은 50 메쉬로서 한두교역에서 구매하였으며 주요 구성 화합물은 그림 12와 같다. 인산석고의 낮은 pH는 $\text{NH}_4^+ \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$ 의 평형을 왼쪽으로 이동시켜 NH_3 휘산을 감소시킬 수 있으며(Hao 등, 2005; Zvomuya 등, 2005), 제올라이트의 높은 CEC는 NH_4^+ 을 흡착함으로써 NH_3 휘산을 저감할 수 있을 것으로 기대된다(He 등, 2002; Turan과 Ergun, 2007).

Z



Compound	Formula	Element	Composition	%
Heulandite-Ca	$Ca_{3.1}Na_{1.1}K_{0.1}Al_{7.6}Si_{28.5}O_{72}(H_2O)_{20.5}$	SiO ₂		73.67
Mordenite (Ca-exchanged, rehydrated)	$Ca_{3.4}Al_{7.4}Si_{40.6}O_{96}(H_2O)_{31}$	Al ₂ O ₃		14.4
Anorthite, sodian, ordered	$(Ca,Na)(Al,Si)_2Si_2O_8$	K ₂ O		3.41
Heulandite	$CaAl_2Si_7O_{18}(H_2O)_6$	CaO		2.49
Clinoptilolite-Ca	$KNa_2Ca_2(Si_{29}Al_7)O_{72}(4H_2O)$	Na ₂ O		2.33
Labradorite	$Ca_{0.65}Na_{0.32}(Al_{1.62}Si_{2.38}O_8)$	Fe ₂ O ₃		2.23
Quartz, syn	SiO ₂	MgO		0.812
Albite high	$Na(AlSi_3O_8)$	TiO ₂		0.297
Andesine	$Na_{0.499}Ca_{0.491}(Al_{1.488}Si_{2.506}O_8)$	SO ₃		0.14
Bytownite	$Ca_{0.86}Na_{0.14}Al_{1.94}Si_{2.06}O_8$	MnO		0.103
Silicon Oxide	SiO ₂	SrO		0.0498
Quartz	SiO ₂	ZrO ₂		0.0195
Calcium Manganese Silicate	$Ca_{2.32}Mn_{0.68}Si_2O_7$			

[그림 12] 제올라이트의 화합물 구성

○ 실험에 사용된 분뇨, 왕겨, 톱밥, 인산석고 및 제올라이트의 이화학적 성은 표 5와 같다.

[표 5] 퇴비화 모니터링 실험에 사용된 깔개물질 및 첨가물질의 이화학적 성

물질	pH (1:5)	T-C (%)	T-N (%)	T-P (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	CEC (cmol kg ⁻¹)
분뇨(M)	8.23	35.6	1.52	11862.6	ND
왕겨(RH)	6.93	38.7	0.48	1435.0	0.1
톱밥(SD)	4.93	45.2	0.18	136.4	16.0
인산석고(PG)	2.48	0.0	0.00	4934.0	ND
제올라이트(Z)	6.87	0.0	0.00	445.8	107.0

○분뇨(M), 깔개물질인 톱밥(SD)과 왕겨(RH), 첨가물질인 인산석고(PG)와 제올라이트(Z)를 무게기준으로 처리구와 무처리구로 수행하였으며, 실험은 3반복 하였다(표 6, 그림 13). 퇴비 혼합물은 1 L Mason Jar에 혼합하고, 증류수를 첨가하여 수분 함량을 무게기준으로 50%로 조절 하였다. 퇴비화는 100일 동안 진행하였으며, 각 퇴비혼합물에서 발생하는 CO₂와 NH₃는 Mason Jar 내에 각각 2 N NaOH와 2 N H₂SO₄를 담은 유리병(트랩)을 위치시켜 포집하였으며, 주기적으로 트랩을 교체하여 산·염기 적정법으로 각각의 농도를 정량하였다. 퇴비화 기간 동안 3 일 간격으로 공기를 공급하였다. 또한, 퇴비화 전과 후의 퇴비 혼합물의 건물중, 질소량 및 탄소량을 조사하여 각각의 손실률을 계산 하였다.

[표 6] 퇴비화 모니터링 실험 처리 내용

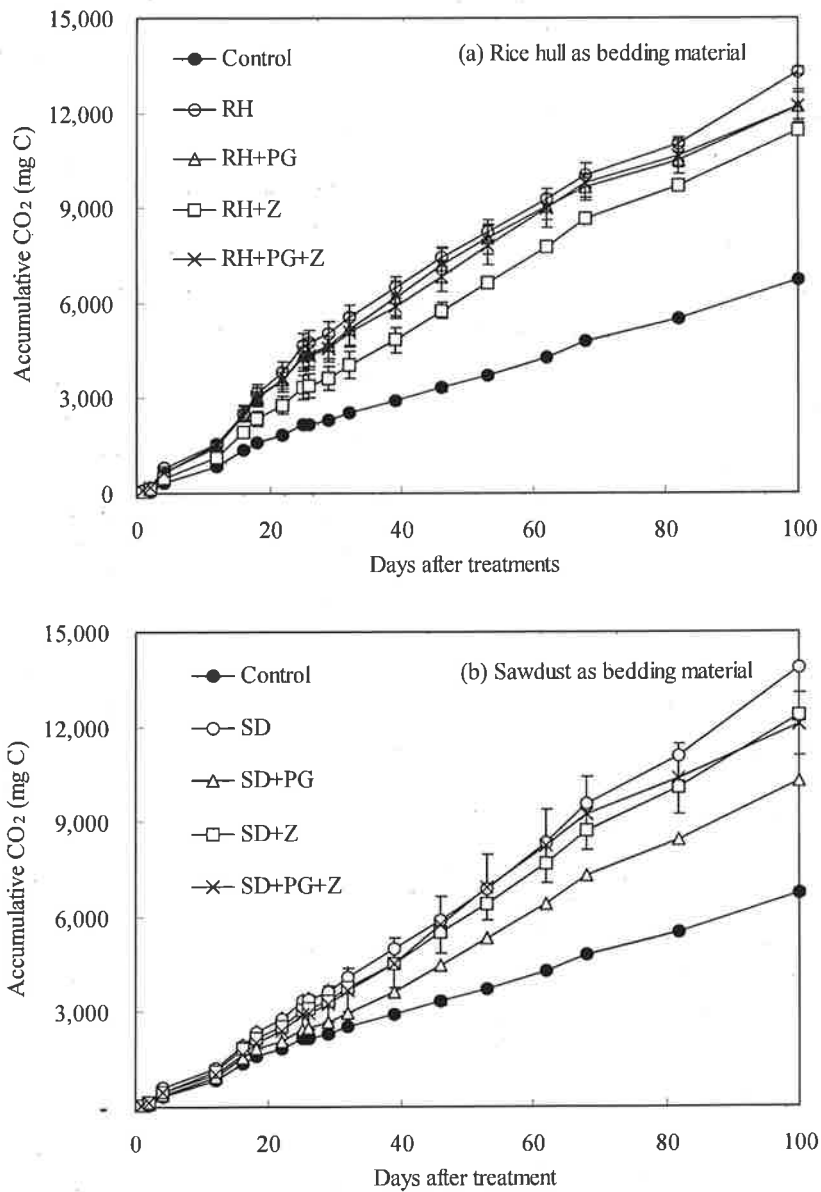
처리구	처리량 (건물, g)				T-N (g)	T-C(g)	C/N
	분뇨	깔개물질	첨가물	총량			
Control	28.0	0	0	28.0	0.43	10.0	23.4
RH	28.0	27.7	0	55.7	0.56	20.7	37.0
SD	28.0	27.8	0	55.8	0.48	22.5	47.4
RH+PG	28.0	27.7	13.1	68.8	0.56	20.7	37.0
RH+Z	28.0	27.7	12.8	68.5	0.56	20.7	37.0
RH+PG+Z	28.0	27.7	13.0	68.7	0.56	20.7	37.0
SD+PG	28.0	27.8	13.1	68.9	0.48	23.0	48.1
SD+Z	28.0	27.8	12.8	68.6	0.48	23.0	48.1
SD+PG+Z	28.0	27.8	13.0	68.8	0.48	23.0	48.1



[그림 13] 실험실내 퇴비화 과정 모니터링 실험 사진.

(나) CO₂ 발생

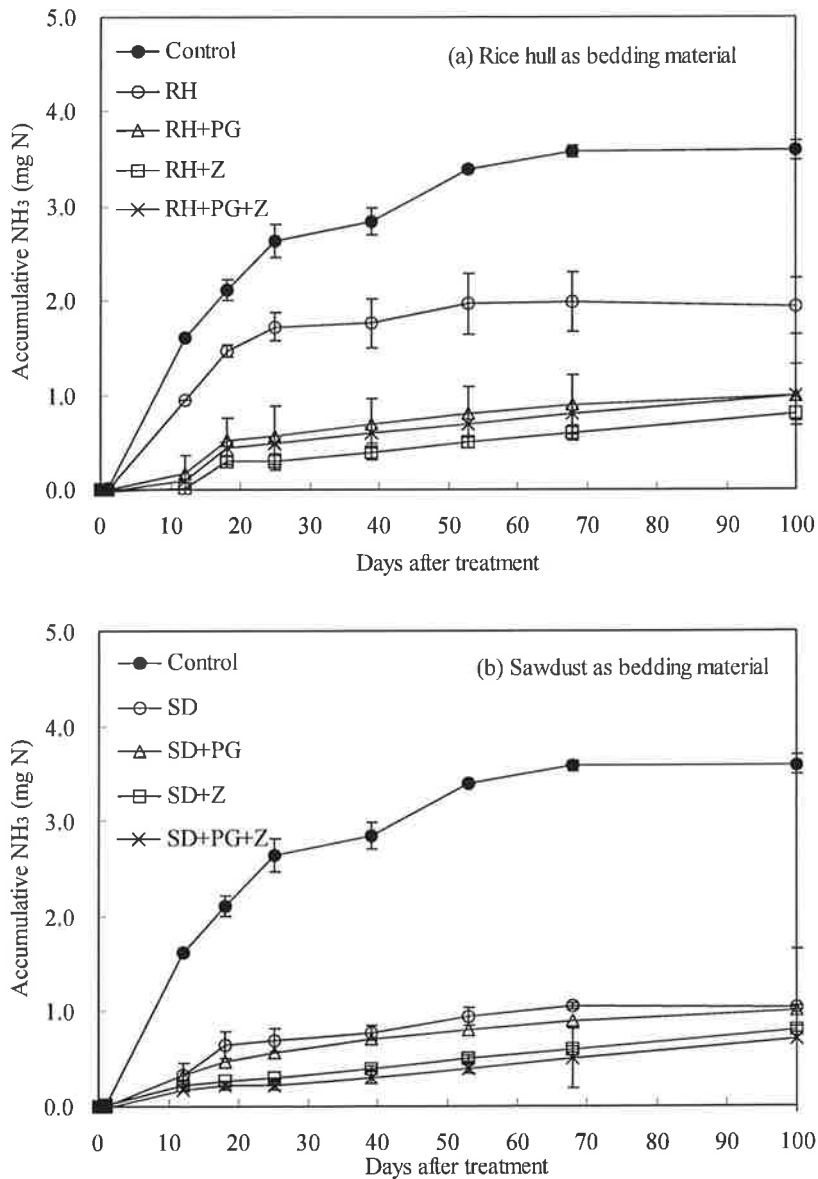
○분뇨만 처리된 대조구에서 100일간 항온배양 시험기간 동안 누적 CO₂ 발생량은 6,740mg C 이었지만, 왕겨와 톱밥과 같은 깔개물질을 투입한 처리구에서는 약 13,000mg C으로 2배 이상 증가하였다(그림 14). 깔개물질이 처리된 조건에서 PG나 Z를 처리할 경우에 누적 CO₂ 발생량이 감소하였는데, 왕겨를 깔개물질로 사용한 처리구에서 RH의 13,310mg C에서 RH+PG, RH+Z, RH+PG+Z는 각각 12,226mg C, 11,444mg C, 12,229mg C로 감소하였다. 한편, 톱밥처리구의 경우 SD는 13,876mg C였지만 SD+PG, SD+Z, SD+PG+Z는 10,303mg C, 12,349mg C, 12,058mg C로 감소하였다.



[그림 14] 100일간의 항온배양기간 동안 첨가물에 따른 누적 CO₂ 발생량.

(다) NH₃ 휘산

○분뇨 단독 처리구에서 100일 동안의 누적 암모니아 휘산량은 3.6mg N으로 다른 처리구에 비해 매우 높았는데, 향온배양 초기인 25일 동안 전체 휘산량의 70% 이상인 2.6mg N이 휘산되었다(그림 15). 깔개물질 중 왕겨와 비교하여 톱밥이 NH₃ 휘산 저감에 더 큰 효과가 있는 것으로 나타났는데, 왕겨처리구(RH)의 최종 누적 NH₃ 휘산량이 1.9mg N이었고 톱밥처리구(SD)는 1.0mg N 이었다.



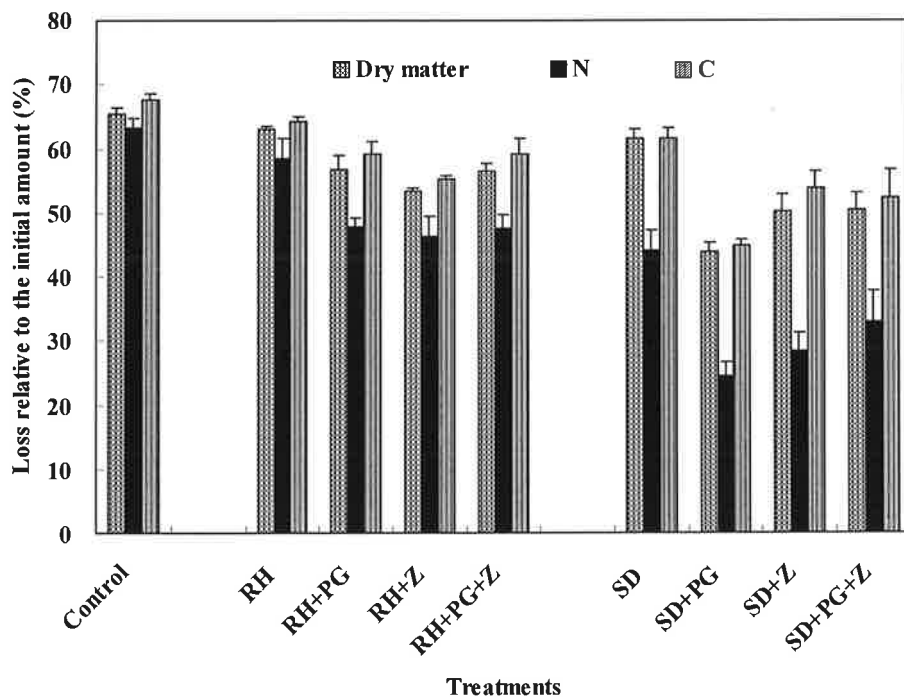
[그림 15] 100일간의 향온배양기간 동안 첨가물질에 따른 누적 NH₃ 휘산량.

○첨가물의 NH₃ 휘산 저감 효과는 깔개물질의 종류에 상관없이 뚜렷하였지만, 효과의 강도는 깔개물질에 따라 차이를 보였다. 왕겨 처리구에서는 RH에 비해 RH+PG, RH+Z, RH+PG+Z의

누적 NH₃ 휘산량이 각각 1.0mg N, 0.8mg N, 1.0mg N으로 약 50% 정도 감소하였지만, 톱밥 처리구에서 SD+PG, SD+Z, SD+PG+Z가 각각 1.0mg N, 0.8mg N, 0.7mg N으로 SD와 비교하여 감소비율이 30% 이하였다. 이와 같이 톱밥의 암모니아 휘산 저감 효과가 큰 것은 우선적으로 톱밥의 pH가 4.93으로 왕겨의 6.93보다 낮기 때문으로 판단되며, 또한 톱밥은 양이온교환용량이 16.0 cmol_c kg⁻¹으로 왕겨의 0.1 cmol_c kg⁻¹에 비해 매우 높기 때문에 NH₄⁺를 물리화학적으로 흡착함으로써 암모니아 휘산을 감소시켰을 가능성도 있다(표 3).

(라) 건물, 탄소 및 질소 손실률

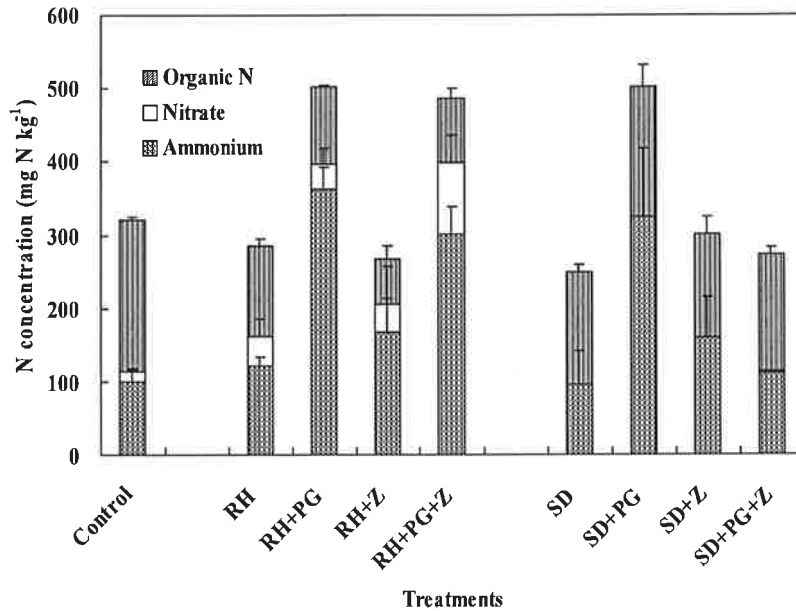
○분뇨 단독 처리구인 control의 건물, 탄소, 질소 손실률이 가장 높았으며, 깔개물질로 왕겨나 톱밥을 투입하는 경우 물질 손실률이 일부 감소하였으며 왕겨에 비해 톱밥에 의한 물질 손실률 저감 효과가 더욱 뚜렷하였다(그림 16). PG나 Z와 같은 물질을 투입할 경우 물질 손실률이 더욱 감소하였는데, 특히 톱밥처리구에서 첨가물의 질소 손실 저감 효과가 가장 높았다. 예를 들면, SD+PG, SD+Z, SD+PG+Z 처리구의 질소 손실률은 SD에 비해 각각 55%, 64%, 74%에 불과하였다.



[그림 16] 100일간의 항온배양기간 후 첨가물에 따른 건물중, 질소함량 및 탄소함량 손실률.

○이와 같이 왕겨처리구에 비해 톱밥처리구의 질소 손실률이 낮은 것은 앞에서 언급한 바와 같이 톱밥의 낮은 pH에 의한 암모니아 휘산 저감에 의한 결과로 판단된다. 하지만, 톱밥 처리구의 C/N비가 48.1로 왕겨 처리구의 37.0보다 높았기 때문에 톱밥 처리구에서 질소의 부동화가 더 빠르게 진행되었고 그 결과 암모니아 휘산이나 탈질에 의한 질소 손실 가능성이 감소한

것도 일정 부분 기여했을 수도 있다. 톱밥 처리구에서의 질소 부동화 증가는 왕겨처리구에 비해 낮은 NH_4^+ 과 NO_3^- 농도와 높은 유기태 질소 농도로 확인 가능하다(그림 17).



[그림 17] 100일간의 항온배양기간 후 첨가물질에 따른 0.5 M K_2SO_4 침출성 질소 농도.

○따라서, PG나 Z를 첨가함으로써 퇴비화 과정 중 질소 손실을 저감하여 퇴비의 질소 농도를 높여줄 것으로 판단된다. 퇴비의 질소 농도 증가에 의해 퇴비 사용량을 감소시킬 수 있는데 이는 두 가지 측면의 의미를 갖는다. 첫 번째는 동일한 가축 사육규모에서 더 넓은 포장에 퇴비를 사용함으로써 사료 생산량을 증가시킬 수 있으며, 두 번째는 질소기준 퇴비 사용에 따른 토양 인산집적 등의 문제점을 완화할 수 있다. 하지만, 대규모의 퇴비화 과정에서 질소 손실 저감을 위한 첨가물의 투입량 결정에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

나. 자연순환농업을 위한 퇴비 이용 기술

(1) 퇴비의 양분공급 효율 평가 지표 개발

(가) 유통 퇴비 이화학성 조사

○ 전라남도 함평, 나주, 구례 농협에서 현재 시판 중인 퇴비 10 종과 본 사업단 생산 퇴비를 수집하여 풍건 후 pH, EC(전기전도도), 총탄소, 총질소, 총인, C/N(탄질비), NH_4^+ , NO_3^- 을 분석하였다.

○ 퇴비 부숙의 주요 지표로 활용되는 탄질비(C/N)의 경우 7.7~22.3으로 조사되었는데, 탄질비가 낮을수록 질소 공급력이 우수하고, 반대로 탄질비가 높을수록 질소부동화에 의한 질소기아 현상이 우려되기 때문에 퇴비 C, E, F, I 등은 다른 퇴비에 비해 질소 공급력이 낮은 것으로 예상되었다(표 7). 퇴비는 부숙과정에서 분뇨에 존재하는 요소가 가수분해되어 pH가 상승하는 경향을 나타내는데, 본 연구에서 조사된 모든 퇴비가 7.0 이상의 pH를 나타내었다. 퇴비의 총질소 함량은 1.4~3.5%, 총인 함량은 0.71~2.98%로 폭넓게 분포하였는데, 이는 합리적인 퇴비 사용량 결정을 위해서 퇴비의 양분 함량을 고려해야 함을 제시한다.



[그림 18] 이화학성 조사에 사용된 시판퇴비

[표 7] 시판 퇴비의 이화학적 특성

퇴비 주원료	총탄소 (%)	총질소 (%)	탄질비	총인 (%)	pH _{1:10}	EC _{1:10} (dS m ⁻¹)	NH ₄ ⁺ NO ₃ ⁻		NH ₄ ⁺ -N /NO ₃ ⁻ -N
							(mg N kg ⁻¹)		
1 계분	24.4	3.2	7.7	0.82	7.8	10.2	11625.4	53.8	216.0
2 계분	26.6	3.5	7.7	0.71	7.3	13.2	15765.8	89.1	177.0
3 돈·계분	35.0	1.6	22.3	1.14	8.9	2.4	616.3	788.4	0.78
4 계·돈·우분	32.4	1.8	17.9	1.17	9.0	2.0	1929.4	95.3	20.0
5 돈분	33.5	1.5	22.9	0.94	8.9	2.4	207.3	3.7	56.0
6 계·돈분	32.6	1.5	21.1	1.63	9.1	3.5	155.3	1128.1	0.14
7 계·돈분	32.1	1.9	17.0	1.16	8.1	3.8	1000.0	42.7	23.0
8 돈분	26.6	2.3	11.5	2.98	8.1	9.7	828.6	2464.1	0.34
9 계·돈·우분	29.7	1.4	21.7	1.76	9.2	3.3	477.1	43.9	11.0
10 우·계분	24.1	1.8	13.7	1.79	8.9	3.2	1005.6	66.2	15.0
11 우·계분	30.0	1.9	15.6	1.47	7.0	6.8	220.9	3502.4	0.06

(나) 퇴비의 질소 및 인 공급 지표 발굴

① 실험 개요

○ 이화학성이 상이한 퇴비 7종을 대상으로 실험실내 항온 배양 및 용탈 실험을 통해 양분 공급력을 평가하였다. 선택된 퇴비 7종의 질소 형태별 농도는 다음과 같다(표 8).

[표 8] 질소 및 인 공급 평가에 사용된 퇴비의 이화학적 특성

퇴비	pH _{1:10}	Org-C (gCkg ⁻¹)	T-N (gNkg ⁻¹)	C/N	KCl-extractable N (gNkg ⁻¹)					P (g P kg ⁻¹)		
					NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻	Org-N	T-N	Water extractable	Non- extractable	Total
A	7.8	244.2	31.7	7.7	11.6	0.1	11.7	15.2	26.8	0.6	7.6	8.2
B	8.9	350.4	15.7	22.3	0.6	0.8	1.4	0.2	1.6	1.1	10.2	11.4
C	8.9	335.2	14.6	22.9	0.2	0.004	0.2	2.3	2.6	0.4	9.0	9.4
D	8.1	321.3	18.8	17.1	1.0	0.04	1.0	4.1	5.1	0.3	11.3	11.6
E	8.1	265.7	23.0	11.5	0.8	2.5	3.3	2.2	5.5	1.1	28.7	29.8
F	9.2	296.6	13.7	21.7	0.5	0.04	0.5	3.4	3.9	1.0	16.5	17.6
G	7.0	300.4	19.2	15.6	0.2	3.5	3.7	0.6	4.3	0.4	14.3	14.7

○ 토양은 이화학적 특성이 상이한 전남대학교 시험포장(Inceptisol), 전남농업기술원 시험포장(Ultisol), 제주도 감귤원 포장(Andisol) 토양을 이용하였다(표 9).

[표 9] 퇴비 질소 및 인 공급 실험에 사용된 토양의 이화학적 특성

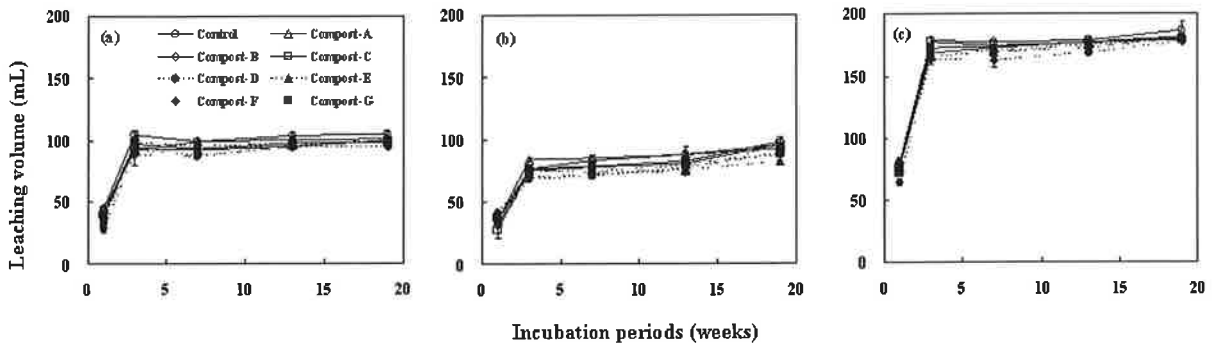
이화학적 특성	Inceptisol	Ultisol	Andisol
Texture	Loam	Loam	Silty clay
pH _{1:5}	6.3 (0.2)	5.6 (0.2)	4.1 (0.2)
Total organic C (g C kg ⁻¹)	5.9 (0.2)	19.1 (0.8)	113.0 (6.8)
Total N (g N kg ⁻¹)	0.8 (0.01)	2.4 (0.1)	7.2 (0.4)
K ₂ SO ₄ extractable organic C (g C kg ⁻¹)	0.12 (0.01)	0.22 (0.01)	0.16 (0.01)
KCl-extractable NH ₄ ⁺ (mg N kg ⁻¹)	14.9 (0.4)	8.5 (0.3)	25.0 (1.5)
KCl-extractable NO ₃ ⁻ (mg N kg ⁻¹)	120.2 (3.6)	357.3 (14.3)	521.5 (31.3)
KCl-extractable organic N (mg N kg ⁻¹)	21.9 (4.1)	34.4 (5.8)	12.5 (2.6)
C/N	7.4 (0.2)	8.0 (0.3)	15.7 (0.9)
Total P (g p kg ⁻¹)	0.8 (0.02)	4.4 (0.2)	2.3 (0.1)
Available P (mg P kg ⁻¹)	6.8 (0.2)	188.8 (7.6)	5.8 (0.4)
Maximum P sorption capacity (mg P kg ⁻¹)	1930.1 (52.1)	1938.1 (32.5)	6265.8 (12.1)
CEC (cmol _c kg ⁻¹)	16.4 (0.2)	19.4 (0.1)	55.1 (1.2)
WHC (g g ⁻¹)	0.36 (0.01)	0.38 (0.02)	0.69 (0.06)
Bulk density (g cm ⁻³)	1.19 (0.1)	1.27 (0.1)	0.94 (0.1)

○ 토양 100 g과 모래 50 g을 혼합한 후 퇴비 5 g을 섞어서 토양 수분 보유능의 80% 수준으로 수분을 공급하였다(그림 19). 비교를 위해서 퇴비 무처리구를 두었으며 모든 처리는 3 반복하였다. 19 주간 25℃에서 항온배양하면서 1, 3, 7, 13, 19주째 0.01 N CaCl₂ 용액으로 용탈시켜 질소와 인 함량을 분석하였다.



[그림 19] 양분용탈시험 전경.

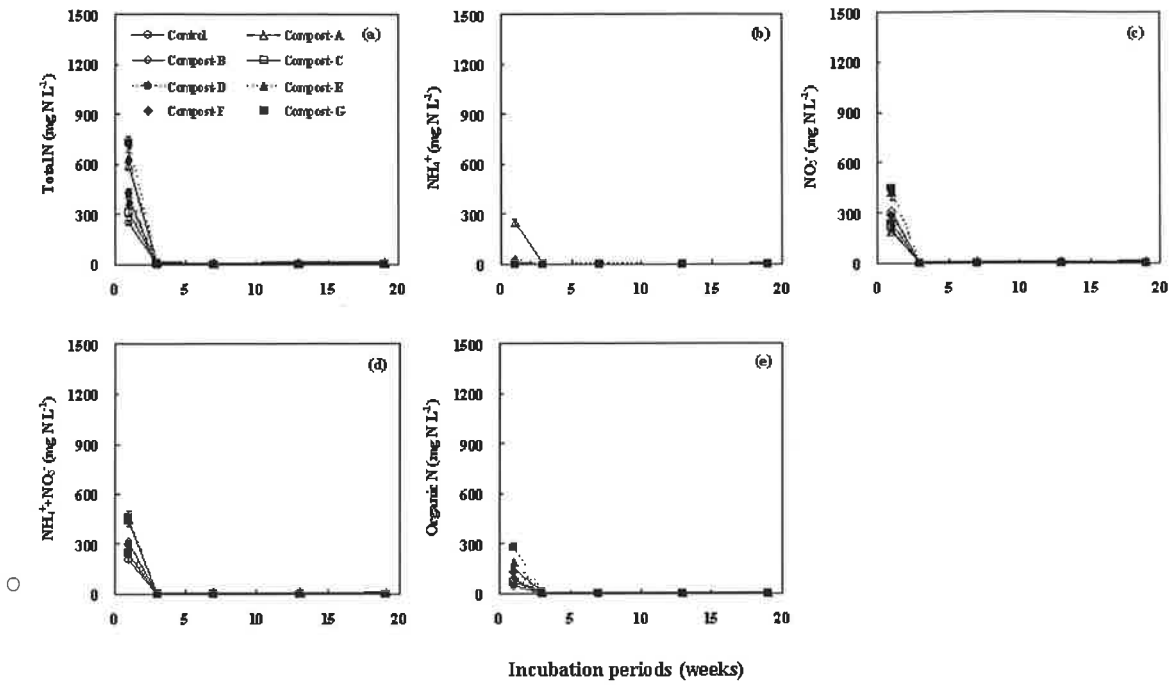
○용탈액의 부피와 질소와 인 농도의 곱으로 양분 용탈 양을 계산하였다. 용탈액의 부피는 토양의 수분 보유능에 따라 상이하였으며 두 번째 용탈시에 부피가 증가하였지만 이후에는 유사하였다(그림 20).



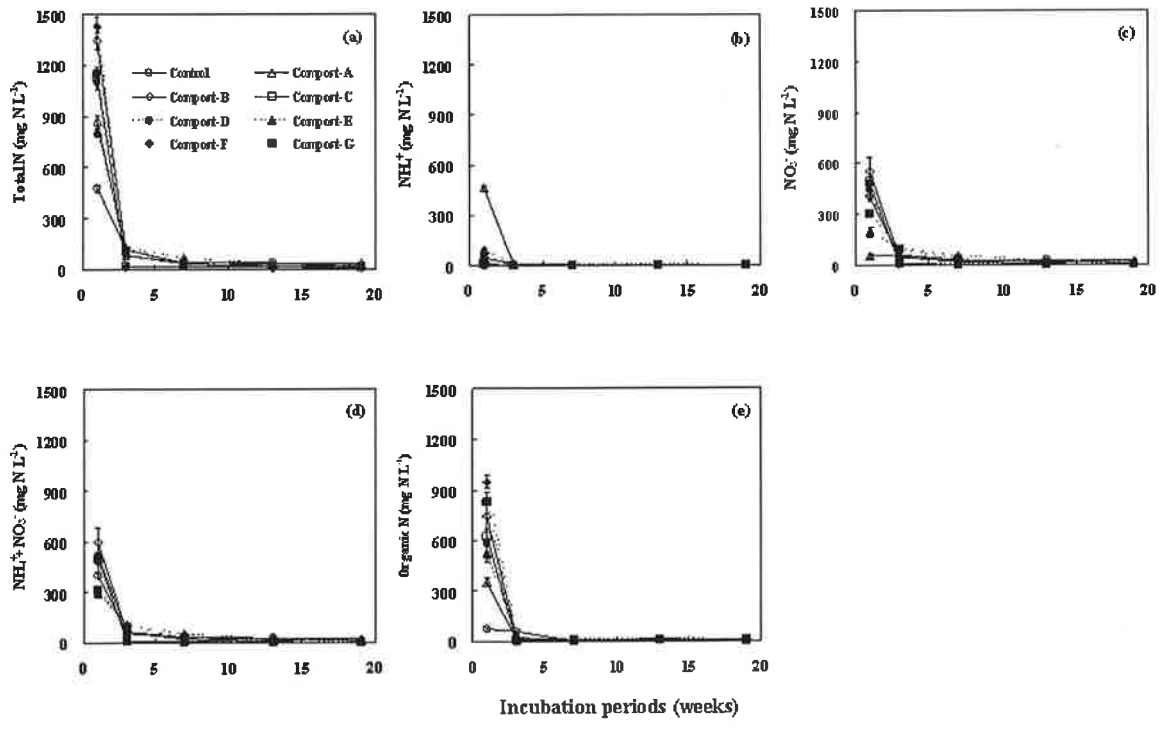
[그림 20] 시기별 용탈액 부피: (a) Inceptisol, (b) Ultisol, and (c) Andisol.

② 퇴비 및 토양 특성에 따른 질소 공급력

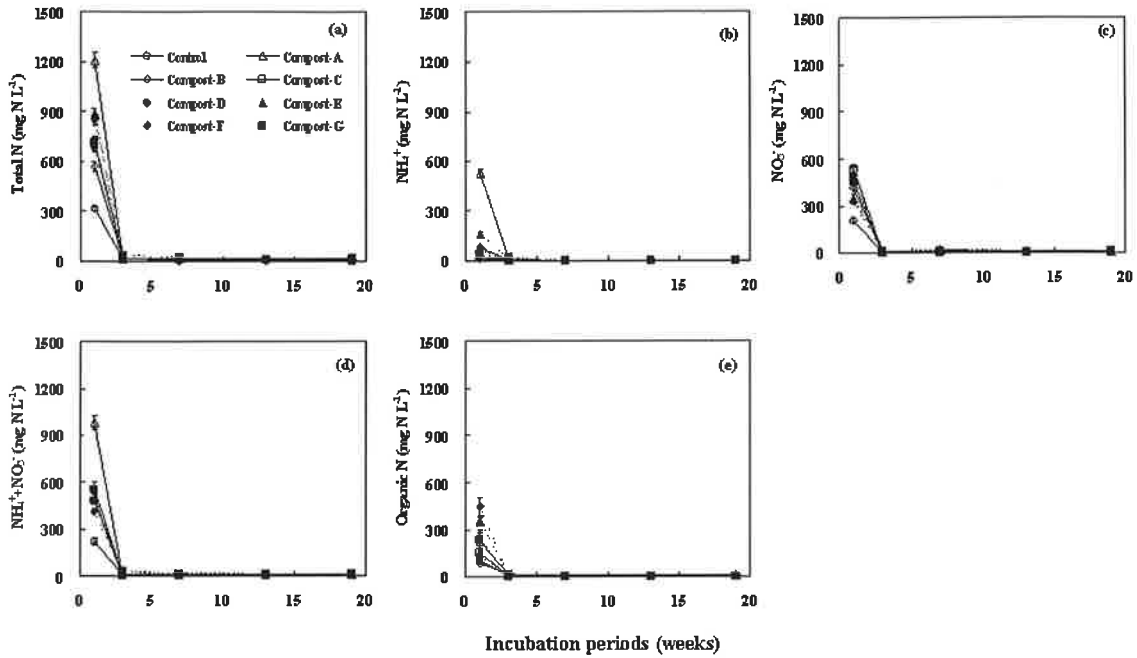
○용탈액 중 질소 농도는 첫 번째 용탈(1주일)에서 가장 높았고 퇴비 종류별 차이가 나타났다. 1 주일째 용탈액 중 총질소 농도는 Inceptisol에서 251.8~732.8 mg L⁻¹(그림 21), Ultisol에서 476.0~1428.1 mg L⁻¹(그림 22), Andisol에서 317.8~1207.5 mg L⁻¹(그림 23)였으며, 이후 급격하게 감소하였다.



[그림 21] Inceptisol 용탈액 중 질소 농도: (a) 총질소, (b) NH₄⁺, (c) NO₃⁻, (d) 무기태 N (NH₄⁺+NO₃⁻), (e) 유기태 질소.

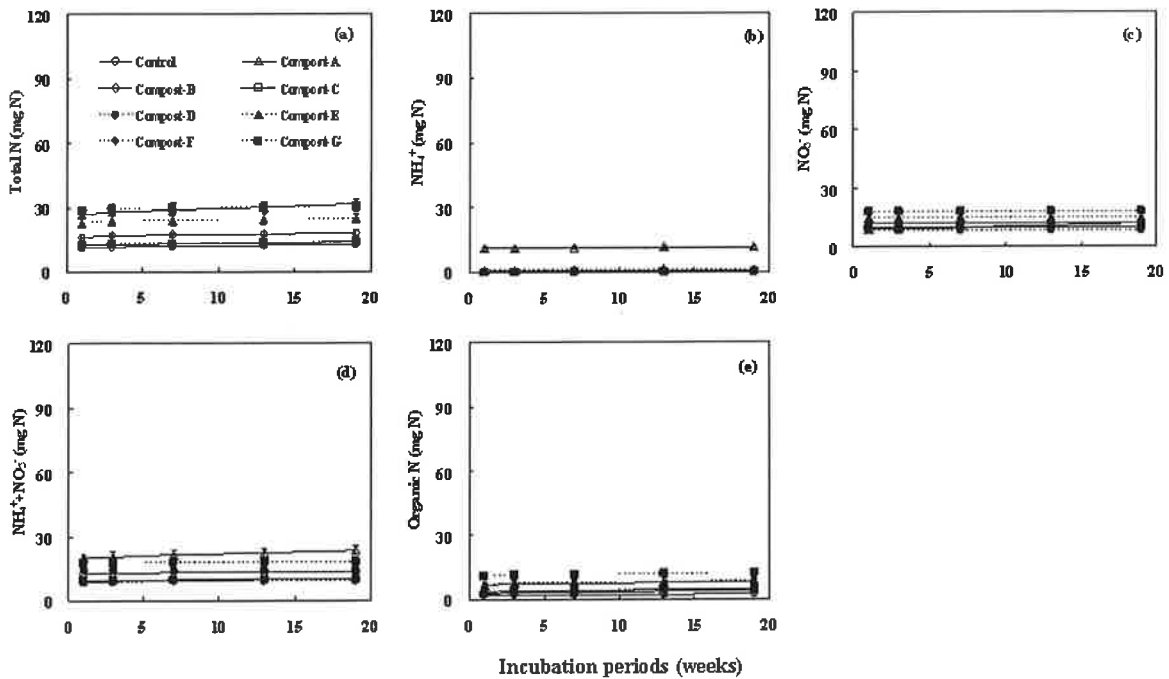


[그림 22] Ultisol 용탈액 중 질소 농도: (a) 총질소, (b) NH₄⁺, (c) NO₃⁻, (d) 무기태 N (NH₄⁺+NO₃⁻), (e) 유기태 질소.

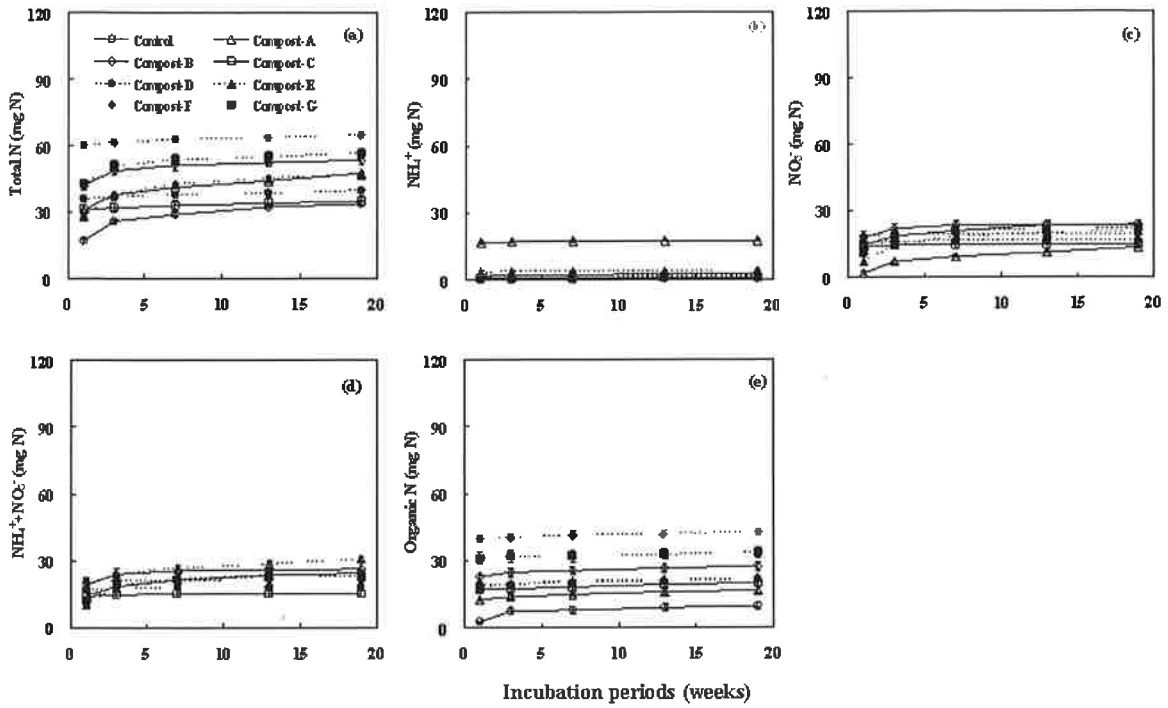


[그림 23] Andisol 용탈액 중 질소 농도: (a) 총질소, (b) NH₄⁺, (c) NO₃⁻, (d) 무기태 N (NH₄⁺+NO₃⁻), (e) 유기태 질소.

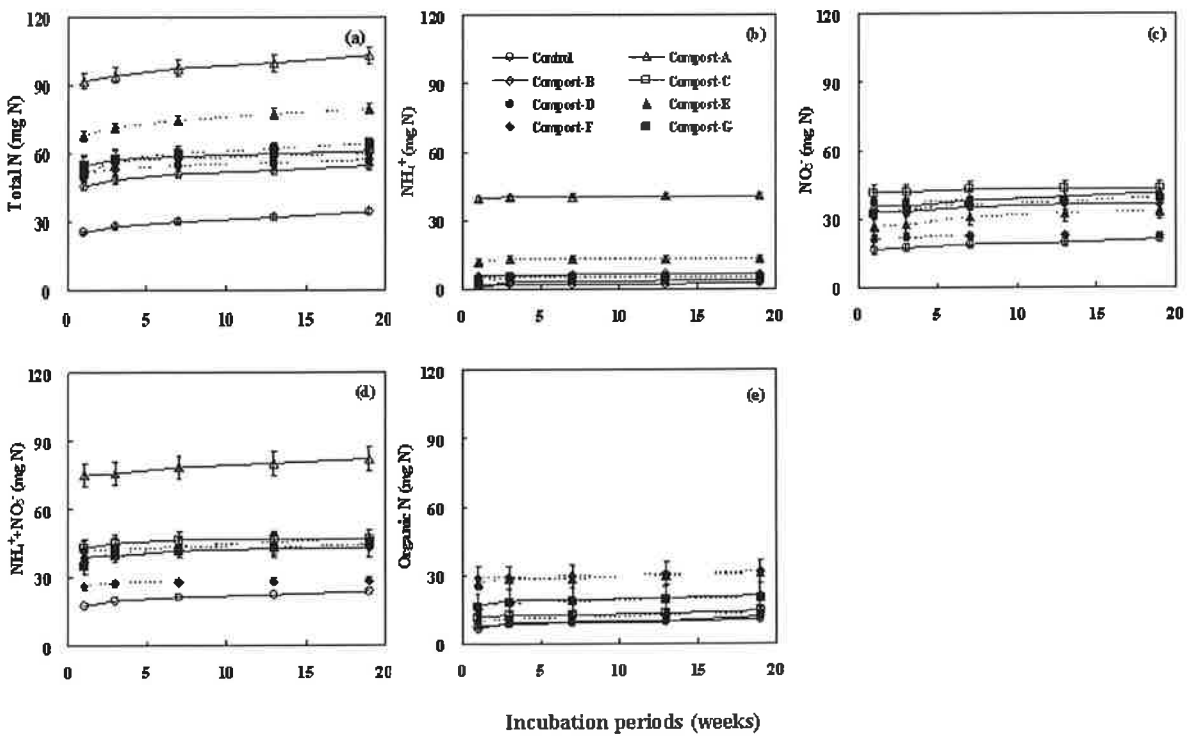
○19주간의 실험기간 중 누적 질소 용탈량의 경시적 변화는 질소 농도 변화와 유사하게 대부분의 질소가 초기에 용탈되었다(그림 24, 25, 26).



[그림 24] Inceptisol의 누적 질소 용탈량: (a) 총질소, (b) NH₄⁺, (c) NO₃⁻, (d) 무기태 N (NH₄⁺+NO₃⁻), (e) 유기태 질소.



[그림 25] Ultisol의 누적 질소 용탈량: (a) 총질소, (b) NH_4^+ , (c) NO_3^- , (d) 무기태 N ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$), (e) 유기태 질소.



[그림 26] Andisol의 누적 질소 용탈량: (a) 총질소, (b) NH_4^+ , (c) NO_3^- , (d) 무기태 N ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$), (e) 유기태 질소.

○누적 용탈 질소량은 퇴비 종류는 물론 토양에 따라서도 차이가 나타났다($P<0.01$). 세 가지 토양을 비교하면 누적 용탈 질소량은 Andisol(34.5~103.4mg) > Ultisol(33.9~64.7mg) > Inceptisol(12.8~31.7mg)의 순서였다(표 10). 이와 같은 순서는 토양의 질소유효도와 일치하는데, Busby 등(2007)과 Han 등(2004)의 보고와 유사하다. 퇴비를 사용하지 않은 대조구의 질소 용탈량을 토양으로부터 유래된 질소의 용탈량으로 가정하면, 순수하게 퇴비로부터 용탈된 질소량은 Andisol(22.7~68.8mg) > Ultisol(1.2~30.8mg) > Inceptisol(1.2~18.9mg)였으며 이는 각각 투입된 퇴비 질소의 24.1~43.4%, 1.7~45.1%, 1.2~18.4%에 해당한다.

[표 10] 19주의 항온배양기간 중 퇴비혼합 토양으로부터의 질소 누적 용탈량

질소형태	토양	퇴비종류							
		None (mg)	Compost A	Compost B	Compost C	Compost D	Compost E	Compost F	Compost G
Total N	Inceptisol	12.8a A	31.7d A	18.1b A	13.9ab A	13.9ab A	24.8c A	14.1ab A	30.5d A
	Ultisol	33.9a B	47.5bc B	53.7cd B	35.1a B	39.7ab B	46.9bc B	64.7e B	56.4d B
	Andisol	34.5a B	103.4d C	54.7b C	61.3b C	57.2b C	79.5c C	59.8b B	64.6b C
NH ₄ ⁺ -N	Inceptisol	0.2a A	11.5b A	0.7a A	0.4a A	0.7a A	1.3a A	0.5a A	0.3a A
	Ultisol	0.5a A	17.4e B	2.6c B	0.7a A	2.0bc B	3.9d A	2.1bc B	1.1ab B
	Andisol	2.5a B	40.7e C	6.5c C	3.6ab B	5.4bc C	13.1d B	5.7bc C	5.3bc C
NO ₃ ⁻ -N	Inceptisol	10.1abc A	12.1bcd A	12.6cd A	9.5abc A	8.3a A	15.1de A	9.0ab A	17.8e A
	Ultisol	23.9d B	13.3a A	23.5d A	14.6ab A	16.3abc A	20.7bcd A	19.4abcd B	21.8cd A
	Andisol	21.3a B	41.5b B	36.4b B	43.3b B	38.4b B	33.2b B	22.7a B	39.3b B
NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻	Inceptisol	10.3bc A	23.6e A	13.3bc A	9.9ab A	9.0a A	16.3cd A	9.4ab A	18.0d A
	Ultisol	24.4bc B	30.7c A	26.2bc A	15.3a A	18.3ab A	24.6c A	21.5ab B	22.9abc A
	Andisol	23.7a B	82.2c B	42.9b B	46.9b B	43.8b B	46.3b B	28.4a B	44.6b B
Organic N	Inceptisol	2.5a A	8.1b A	4.8a A	4.0a A	5.0a A	8.5b A	4.7a A	12.4c A
	Ultisol	9.5a B	16.8b B	27.5d B	19.8bc B	21.5bc C	22.3c B	43.2f C	33.5e C
	Andisol	10.8a B	21.1b B	11.8ab B	14.4ab B	13.4ab B	30.8c C	31.4c B	20.1ab B

(각 질소 형태별로 소문자가 다를 경우 동일 토양조건에서 퇴비 효과가 있음을 의미하며 대문자가 다를 경우에는 동일 퇴비에 대해서 토양 효과가 있음을 의미한다.)

○퇴비의 이화학적 용탈 총질소 누적량의 상관관계를 분석한 결과 용탈이 용이한 무기태 형태인 NH₄⁺+NO₃⁻와의 상관관계는 Inceptisol과 Andisol에서만 관측되었고, Ultisol에서는 유의한 관계가 없었다(표 11). He 등(2000)과 Helgason 등(2007)은 퇴비가 투입된 토양에서 무기태질소의 농도는 퇴비 중 무기태 질소 농도와 정의 상관관계가 있음을 보고한 바 있다. 반면, 퇴비의 총질소 함량은 세 가지 토양 모두에서 질소 누적용탈량과 정의 상관관계가 있었는데, 이는 퇴비의 무기태 질소보다는 총질소 함량이 퇴비가 투입된 토양의 질소유효도에 대한 지표로서 활용 가치가 더 높음을 의미한다. 퇴비의 C/N 비는 Inceptisol과 Andisol에서 질소용탈량과 부의 상관관계가 있었는데, 이는 C/N비가 높은 퇴비가 투입될 경우 질소무기화가 지체되고 토양 질소의 부동화가 촉진될 수 있음을 보여준다.

[표 11] 퇴비이화학적성과 총질소 용탈량의 상관관계

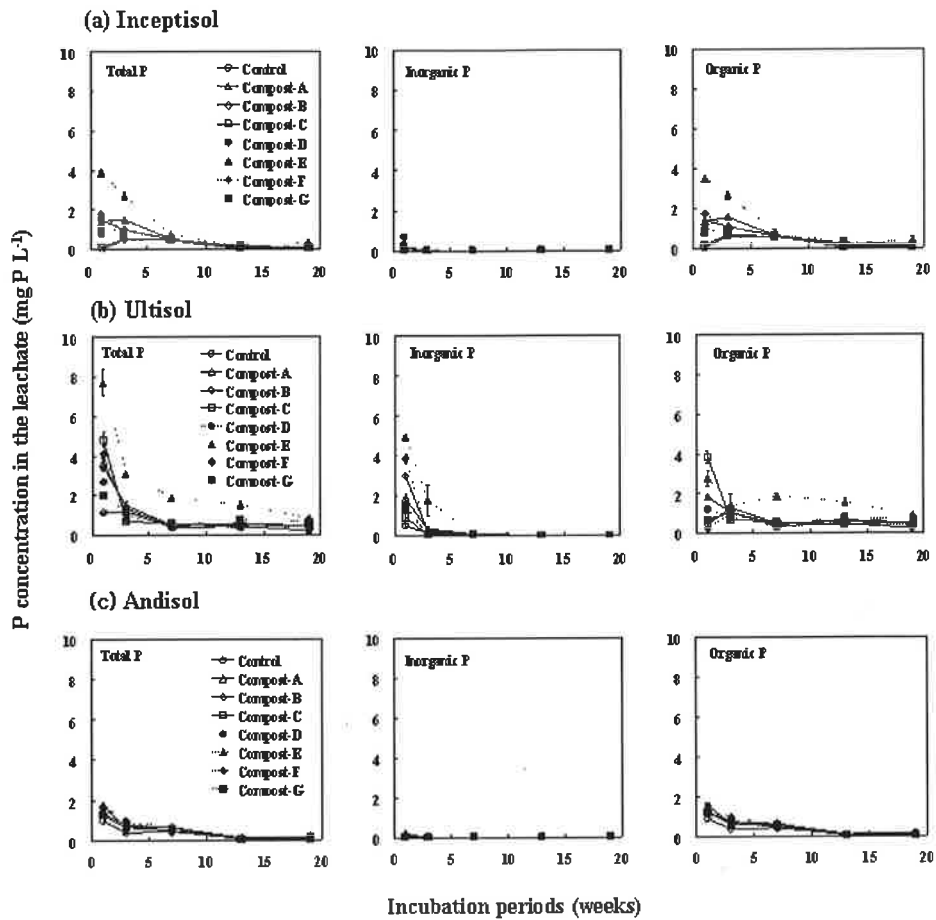
퇴비이화학적성	토양		
	Inceptisol	Ultisol	Andisol
pH	-0.81*	+0.02	-0.42
Total C	-0.70*	-0.15	-0.89**
Total N	+0.78*	+0.77*	+0.94*
C/N	-0.81*	+0.09	-0.89**
Extractable NH ₄ ⁺	+0.58	-0.09	+0.89**
Extractable NO ₃ ⁻	+0.59	+0.27	+0.02
Extractable NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻	+0.82*	+0.01	+0.94**
Extractable oraganic N	+0.44	-0.14	+0.85*
Extractable total N	+0.63	-0.08	+0.92**

③ 퇴비 및 토양 특성에 따른 인 공급력

○ 총인의 용탈 경향도 질소와 유사하게 1주차에 농도가 가장 높았고 이후 지속적으로 감소했는데, 감소 경향은 토양 간에 차이가 있었다. 즉, 토양 유효인산 함량이 높은 Ultisol의 경우에는 19주간의 시험기간 동안 지속적으로 인의 용탈이 발생했다. 1 주차의 인 농도를 비교하면 Ultisol(0.49~5.0 mg P L⁻¹) > Inceptisol(0.03~3.9 mg P L⁻¹) > Andisol(0.05~0.28 mg P L⁻¹)이었다(그림 27).

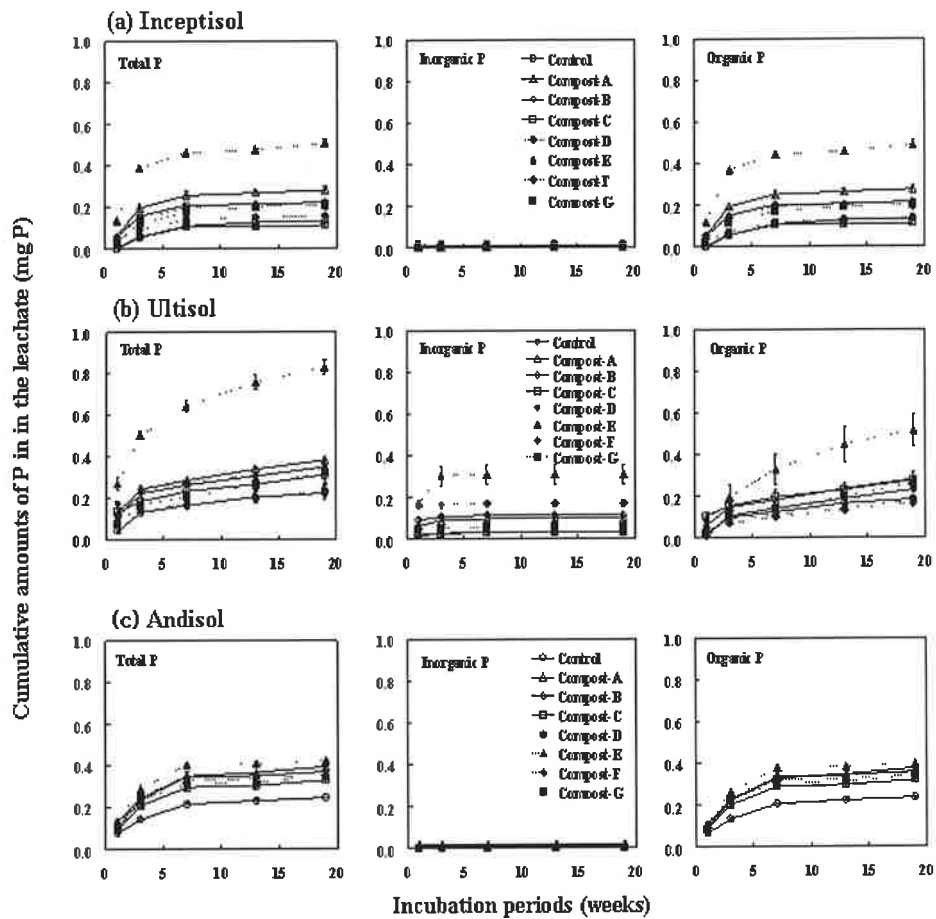
○ 인 형태를 무기태인과 유기태인으로 구분하면 토양유효인산 농도가 낮은 Inceptisol과 인 흡착능이 큰 Andisol의 경우 무기태 인의 농도는 1주차에 1.5 mg P L⁻¹에서 3주차에 극히 미미한 수준으로 감소하였다. 하지만, 토양유효인산 농도가 높은 Ultisol에서는 1주차에 무기태 인의 최대 농도가 5.0 mg P L⁻¹였고 3주차에도 유의한 농도가 검출되었다. 한편, 토양에 쉽게 흡착되지 않는 유기태 인의 농도는 무기태 인의 농도보다 높거나(Ultisol과 Andisol) 또는 비슷하였다(Ultisol). 최종 용탈시에 무기태인은 모든 토양에서 검출되지 않았지만, 유기태 인은 Inceptisol에서 0.06~0.32 mg P L⁻¹, Ultisol에서 0.34~0.45 mg P L⁻¹, Andisol에서 0.09~0.16 mg P L⁻¹ 검출되었는데, 이는 무기태 인이 토양에 쉽게 흡착됨을 보여준다(Mead 1981; Haynes과 Mokolobate 2001; Yoo 등, 2006).

○ 총인 농도 변화를 반영하여 누적 용탈량 역시 19 주간의 실험기간 동안 지속적으로 증가하였으며, 질소와 달리 1 주째에 용탈된 비율이 전체 인 용탈량의 0.9~28.9%에 불과하였다(그림 28).



[그림 27] 용탈액 중 총인, 무기태인 및 유기태 인 농도 변화: (a) Inceptisol, (b) Ultisol, (c) Andisol.

○ 전체 연구기간 동안의 누적 인 용탈량은 Inceptisol에서 0.14~0.51 mg P, Ultisol이 0.22~0.83 mg P, Andisol이 0.25~0.42 mg P였다. 따라서, 일부 퇴비를 제외하면 Ultisol과 Andisol의 인 용탈량이 많았는데, 다른 두 가지 토양에 비해 Ultisol의 경우 무기태인, Andisol의 경우 유기태인의 용탈량이 상대적으로 많았다. 예를 들면, Ultisol에서 총인 용탈량에 대한 무기태인의 비율이 11.4~50.4%로 타 토양(12.3%) 보다 높았다(표 12, 그림 29). 이는 토양 특성과 관련된 것으로 Ultisol은 유효인산 농도가 188.8 mg P kg⁻¹으로 Inceptisol(6.8 mg P kg⁻¹)이나 Andisol(5.8 mg P kg⁻¹)보다 높고 인산흡착능은 낮았기 때문에 무기태인이 쉽게 용탈된 것으로 판단된다(표 9). 반면, Andisol에서 유기태인의 비율이 다른 토양에 비해 상대적으로 높은 것은 인산흡착능이 6265.8 mg P kg⁻¹으로 매우 높아 무기태인의 용탈이 억제되었기 때문으로 판단된다(Yoo 등, 2006).



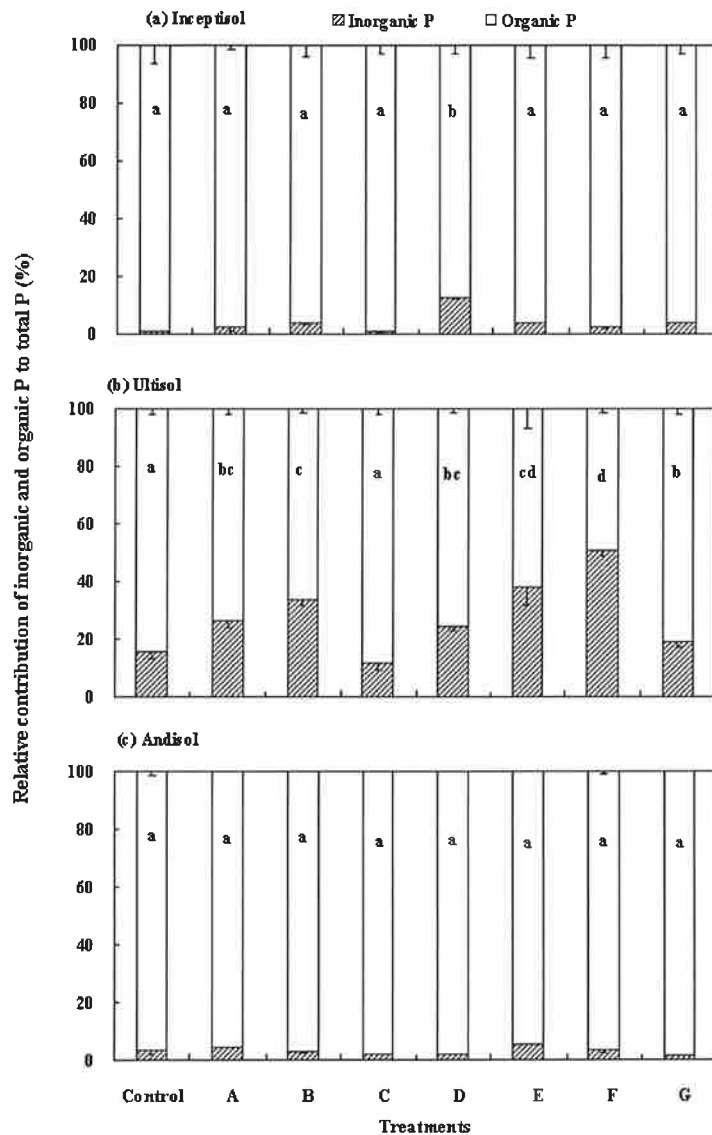
[그림 28] 충인, 무기태인 및 유기태 인의 누적 용탈량 변화: (a) Inceptisol, (b) Ultisol, (c) Andisol.

[표 12] 19주의 항온배양기간 중 퇴비혼합 토양으로부터의 인 누적 용탈량

질소형태	토양	퇴비종류							
		None (mg P)	Compost A	Compost B	Compost C	Compost D	Compost E	Compost F	Compost G
Total P	Inceptisol	0.14a A	0.28b A	0.23b A	0.12a A	0.16a A	0.51c B	0.21b A	0.21b A
	Ultisol	0.19a A	0.28a A	0.23ab A	0.28b B	0.18a A	0.52c B	0.17a A	0.26b A
	Andisol	0.24a B	0.38c B	0.36b B	0.32b B	0.34bc B	0.40c A	0.34b B	0.34b B
Inorganic P	Inceptisol	0.001a A	0.007b A	0.008a A	0.001a A	0.020c B	0.019c A	0.005b A	0.007b A
	Ultisol	0.035a C	0.099c C	0.117d B	0.034a B	0.056b C	0.312f B	0.172e B	0.061b B
	Andisol	0.008a B	0.018bc B	0.010ab A	0.006a A	0.006a A	0.023c A	0.012ab A	0.005a A
Organic P	Inceptisol	0.14ab A	0.28c A	0.22b A	0.11a A	0.14ab A	0.49c B	0.21b A	0.20b A
	Ultisol	0.19a A	0.28b A	0.23ab A	0.28b B	0.18a A	0.52c B	0.17a A	0.26ab A
	Andisol	0.24a B	0.38bc B	0.36bc B	0.32b B	0.34b B	0.40c A	0.34b B	0.34b B

(각 인 형태별로 소문자가 다를 경우 동일 토양조건에서 퇴비 효과가 있음을 의미하며 대문자가 다를 경우에는 동일 퇴비에 대해서 토양 효과가 있음을 의미한다.)

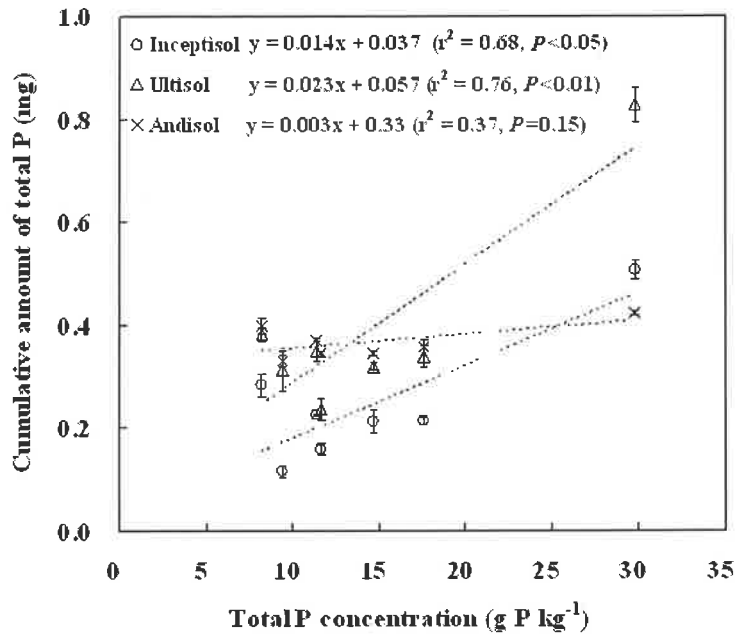
○대조구의 누적 인 용탈량을 제외하여 퇴비로부터 용탈된 인의 누적량을 계산하면 Inceptisol 이 -0.023~0.145 mg P, Ultisol이 0.014~0.606 mg P, Andisol이 0.082~0.176 mg P였는데 이를 사용된 퇴비 중 총인에 대한 비율로 표시하면 각각 -0.05~0.35%, 0.02~0.41%, 0.12~0.36%에 해당한다. 여기서 음(-)의 값은 퇴비시용구에서의 인 용탈량이 대조구에 비해 낮음을 의미한다.



[그림 29] 누적 총인 용탈량에 대한 무기태인과 유기태 인의 상대적 비율: (a) Inceptisol, (b) Ultisol, (c) Andisol.

○퇴비의 이화학적 인 용탈량의 상관관계를 분석한 결과 Inceptisol과 Ultisol에서는 퇴비의 총인 또는 비추출태인 농도가 증가함에 따라 인 용탈량도 증가하는 것으로 나타났는데(그림 30), 이는 Scheffe 등(2008)과 Zvomuya 등(2006)의 보고와 일치한다. 반면, Sharpley와 Moyer(2000)는 퇴비의 수용성 인산 농도가 증가할 수록 인 용탈량이 증가하기 때문에 퇴비의

수용성 인 농도를 퇴비 시용 토양에서 인 유효도 지표로 활용할 수 있다고 제안한 바 있다. 하지만, 본 연구에서는 이와 같은 상관관계가 나타나지 않았다. 따라서, 본 연구의 결과는 퇴비 시용 토양에서 인의 유효도를 평가하기 위한 지표로 퇴비의 무기태인 보다는 총인 농도의 활용 가능성이 더 높은 것을 제시하지만, 인산 흡착능이 높은 Andisol에서는 퇴비의 총인 농도를 지표로 활용하는 것이 어렵다.



[그림 30] 퇴비의 총인 농도와 누적 총인 용탈량의 상관관계.

(2) 사료작물에 대한 퇴비의 양분공급 효과 평가

(가) 퇴비 시용량에 따른 수수×수단그라스 수량

① 연구내용

○ 전남대학교 부속 전남대학교 부속 자연순환번식우 농장에서 2008년 6~8월에 포장 실험을 수행하였다.

○ 포장 토양은 백산토으로 미농무성의 Soil Taxonomy에서는 Fine loamy, mesic family of Dystric Fluventic Eutrudepts로 분류된다. 토양과 퇴비의 이화학성은 표 13과 같다.

○ 시험구는 무처리, 화학비료 관행 처리, 퇴비 수준별 처리 등 모두 6개의 처리구를 두었으며, 실험설계는 3반복 난괴법으로 하였다(표 14). 2008년 6월 3일에 시험구를 설치하고(그림 31) 화학비료 또는 퇴비를 처리하였으며, 5일 후에 수수×수단그라스 교잡종(S×S) (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench cv. G83F) 종자를 3 g m^{-2} 수준으로 파종하였다.

○ 식물체 시료채취는 7월 4일, 7월 23일, 8월 11일에 실시하였다. 채취한 식물체 시료는 건물중, 질소 및 인산 흡수량을 분석하였다. 분석 결과에 대해서는 SPSS 15.0을 이용하여 처리효과의 유의성을 검증하였으며 유의성이 인정될 때 Duncan's multiple range test로 처리간 차이를 조사하였다.

[표 13] 퇴비 사용량에 따른 수수×수단그라스 수량 연구에 사용된 토양과 퇴비의 이화학성

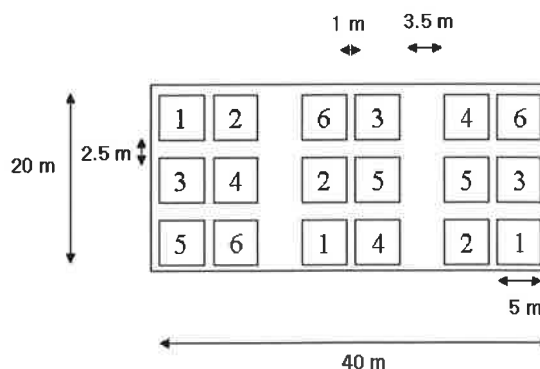
항목	토양	퇴비
토성 ^a	사양토	
pH _{1.5}	4.5(0.1)	9.3(0.1)
Organic C (g kg ⁻¹)	26.9(5.8)	379.0(12.5)
Total N (g kg ⁻¹)	1.8(0.4)	14.9(0.5)
NH ₄ ⁺ (mg N kg ⁻¹)	17.5(3.2)	406.0(15.8)
NO ₃ ⁻ (mg N kg ⁻¹)	11.8(2.1)	518.1(14.6)
T-P (g P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	2.7(0.2)	16.1(0.5)
Avail P (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	438.9(18.6)	ND

[표 14] 퇴비 사용량에 따른 수수×수단그라스 수량 연구를 위한 실험 처리구

처리명	처리량 (g m ⁻²)		비고
	N	P ₂ O ₅	
Control	0	0	
화학비료(SF)	20.0	20.0	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=20:20:17
퇴비 1수준(C1)	3.4	3.6	건물기준 사용량(kg m ⁻²): 0.228
퇴비 2수준(C2)	6.8	7.2	0.456
퇴비 4수준(C4)	13.2	14.4	0.913
퇴비 6수준(C6)	20.4	21.6	1.369



<수수×수단그라스 재배 시험 포장>



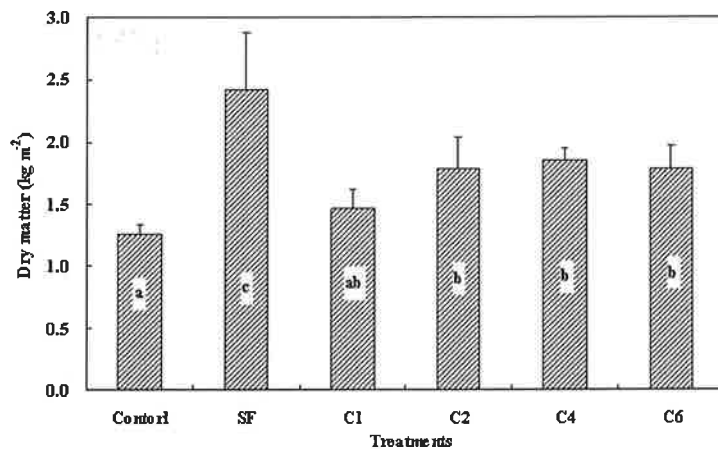
<포장 실험 구성>

[그림 31] 수수×수단그라스 재배 시험 포장 및 실험구 배치.

② 건물수량

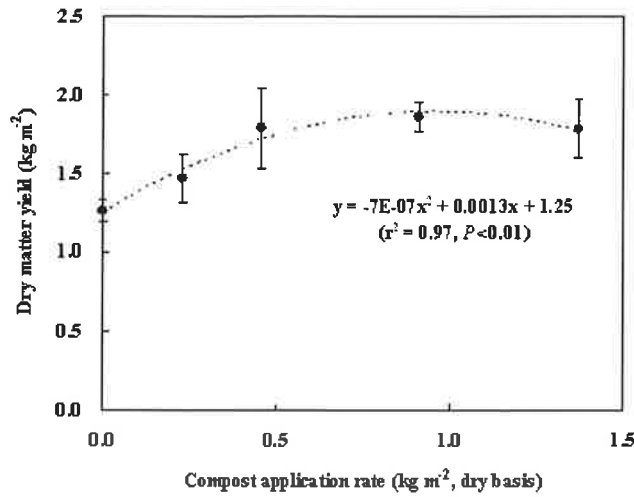
○S×S 건물중은 1.3~2.4 kg m²으로 분포하였으며 대조구에 비해 화학비료 또는 퇴비 사용에 의해 건물중이 각각 92.3%와 16.4%이상 증가하였다(그림 32). 이와 같은 건물중은 Uzum 등 (2009) (1.3~2.3 kg m²), Chun 등(1995) (1.3~2.4 kg m²), Lee (2005) (1.6~2.2 kg m²) 등이 보고한 결과와 유사하다. 따라서, 가축분 퇴비 단독시비로는 화학비료와 대등한 건물 생산이 어려울 것으로 판단되었다.

○ 퇴비 사용구의 건물중은 화학비료처리구에 비해 항상 낮았는데, 이는 퇴비의 양분 유효도가 낮기 때문이다. 예를 들면 퇴비 총질소 중 식물에 직접적으로 이용 가능한 무기태 질소의 비율이 6.2%에 불과하였다. 이와 같은 이유로 S×S를 비롯한 많은 작물에 대해 퇴비 사용구의 건물중이 화학비료 보다 낮은 것으로 보고된 바 있다(Sluegh 등, 2006). 한편, Lim 등(2006)은 돈분 액비와 돈분퇴비를 S×S에 사용했을 때 화학비료와 유사한 건물중을 얻을 수 있었다고 보고하였는데, 이는 질소요구량 기준으로 사용된 액비(0.4%)와 퇴비(0.8%)의 질소함량이 본 연구에서 사용된 퇴비(1.49%)보다 매우 낮아 액비와 퇴비의 사용량이 높았기 때문으로 판단된다. 퇴비는 단순히 양분만을 공급하는 것이 아니라 토양의 물리-화학-생물학적 여건을 개선하여 식물 생장에 긍정적인 영향을 미친다(Woodbury, 1992).



[그림 32] 화학비료와 퇴비 처리에 따른 수수×수단그라스의 건물 중. 알파벳이 다를 경우에 처리간 차이가 있음을 의미함.

○ 퇴비사용량 증가에 따른 건물중 변화는 2차 함수형태를 보였는데, C4까지는 건물중이 증가하였지만 C6에서는 약간 감소하였다(그림 33). 이 결과는 양분유효도가 낮은 퇴비 사용량을 증가시키더라도 S×S 건물중이 증가하지 않을 수 있음을 의미한다. 따라서, 양분유효도가 낮은 퇴비와 높은 액비 또는 녹비를 동시에 활용하는 것이 필요하다(Choi 등, 2001; Lim 등, 2007).

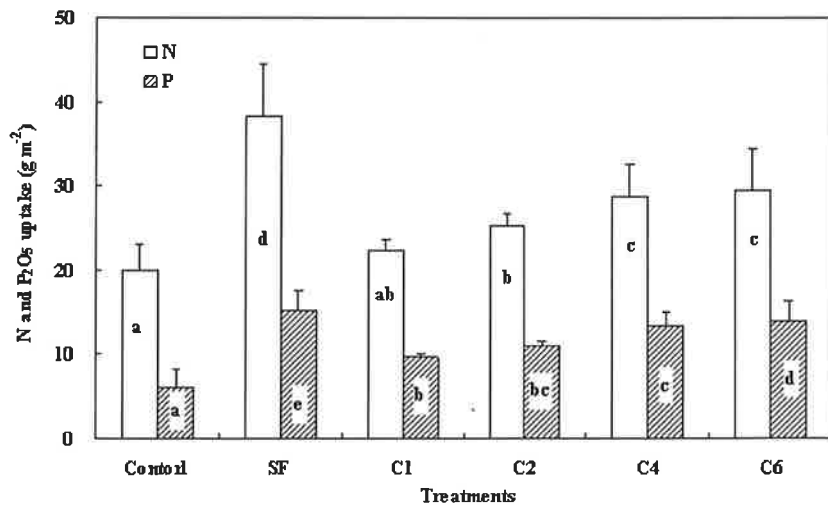


[그림 33] 퇴비 시용량 증가에 따른 수수×수단그라스 건물중 변화.

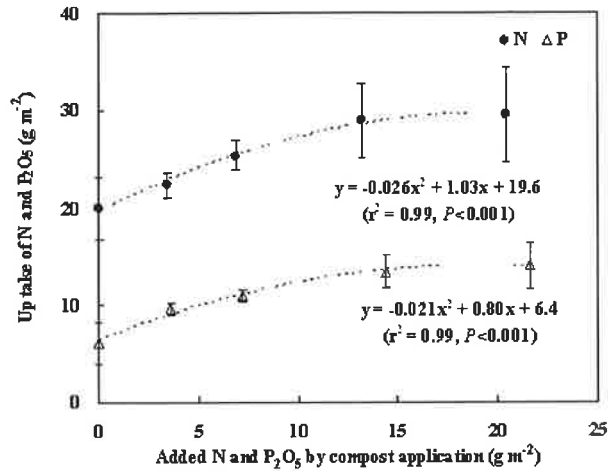
③ 양분흡수

○ 처리에 따른 질소와 인산 흡수 경향은 건물중의 경향과 유사하였는데, 화학비료 처리구에서 양분 흡수량(질소 38.3 g N m⁻², 인산 15.3 g P₂O₅ m⁻²)이 가장 높았다(그림 34). 또한, 투입된 양분 함량과 양분의 흡수량의 상관관계는 2차 함수로 가장 잘 묘사되었다(그림 35).

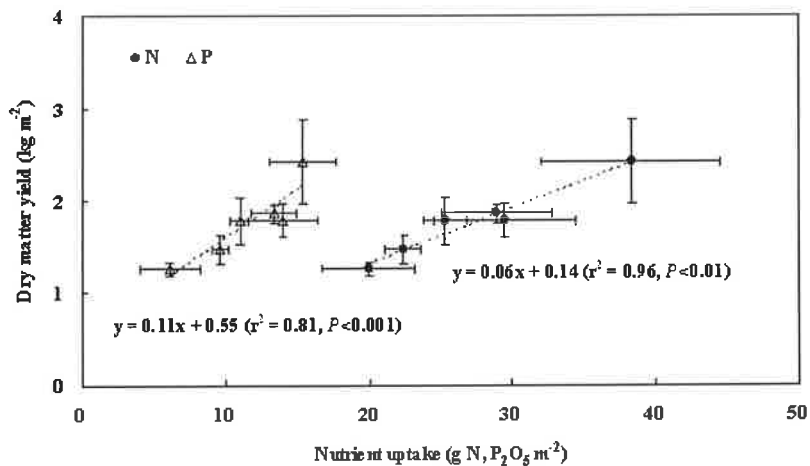
○ 수수×수단그라스 교잡종의 질소 및 인산 흡수량은 건물중에 비례하였기 때문에(그림 36), 화학비료구에 비해 퇴비 시용구에서 양분 흡수량이 낮은 것은 퇴비 시용구에서 유효 질소 및 인산 함량이 낮음을 의미한다. 일반적으로 퇴비화 과정에서 진행되는 양분의 안정화에 의해 퇴비의 양분 유효도는 생분이나 화학비료에 비해 낮다(Hadas와 Portnoy, 1994).



[그림 34] 화학비료와 퇴비를 사용한 수수×수단그라스 교잡종의 질소 및 인산 흡수량. 알파벳이 다를 경우에 처리간 차이가 있음을 의미함.



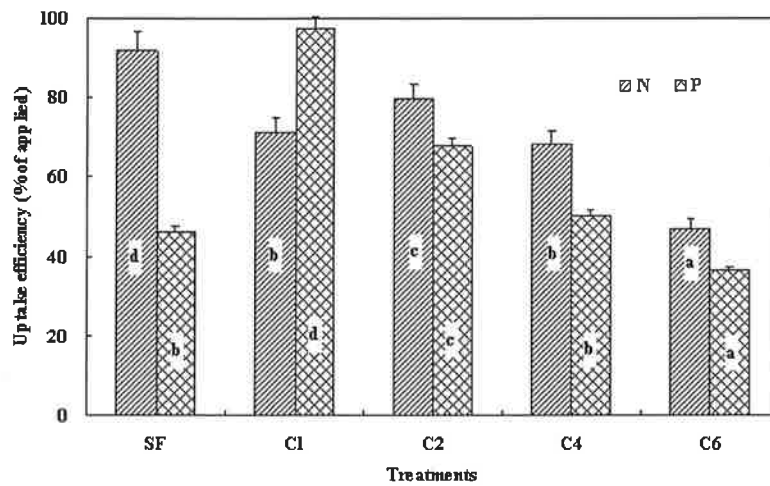
[그림 35] 퇴비사용에 의한 질소 및 인산 투입량과 수수×수단그라스에 의한 질소 및 인산 흡수량의 상관관계.



[그림 36] 화학비료와 퇴비를 사용한 수수×수단그라스 교잡종의 질소 및 인산 흡수량과 건물중의 상관관계.

○대조구의 질소 및 인산흡수량을 토양 질소와 인산 흡수량으로 가정하고 화학비료 또는 퇴비 처리구에서 사용된 질소와 인산의 흡수효율을 계산하면(difference method) 화학비료구의 질소와 인산 흡수효율은 각각 92.1%와 46.2%였다(그림 37). 반면, 퇴비 처리구에서는 질소는 47.0~79.7%, 인산은 36.5~97.7%였으며, 퇴비사용량이 증가함에 따라 양분의 흡수효율은 감소하였다. 본 연구에서 화학비료의 흡수효율은 일반적으로 보고되고 있는 질소 40%와 인산 20%보다 매우 높았는데, 이는 difference method가 토양으로부터 흡수된 양분의 양이 처리에 상관없이 동일하다고 가정하기 때문이다(Choi 등, 2001). 하지만, 화학비료나 퇴비 사용에 의해 작물의 성장 특히 뿌리의 생장이 촉진될 경우 "Priming effect"에 의해 대조구에 비해 더 많은 양의 양분을 토양으로 흡수할 수 있다(Jenkinson 등, 1985). 본 연구에서는 토양에서 흡수된 양분

의 양을 동일하다고 가정했기 때문에 화학비료나 퇴비 양분의 흡수효율이 과다 평가된 것으로 판단된다(Kuzyakov 등, 2000).



[그림 37] 수수×수단그라스 교잡종의 질소 및 인산 흡수 효율. 알파벳이 다를 경우에 처리간 차이가 있음을 의미함.

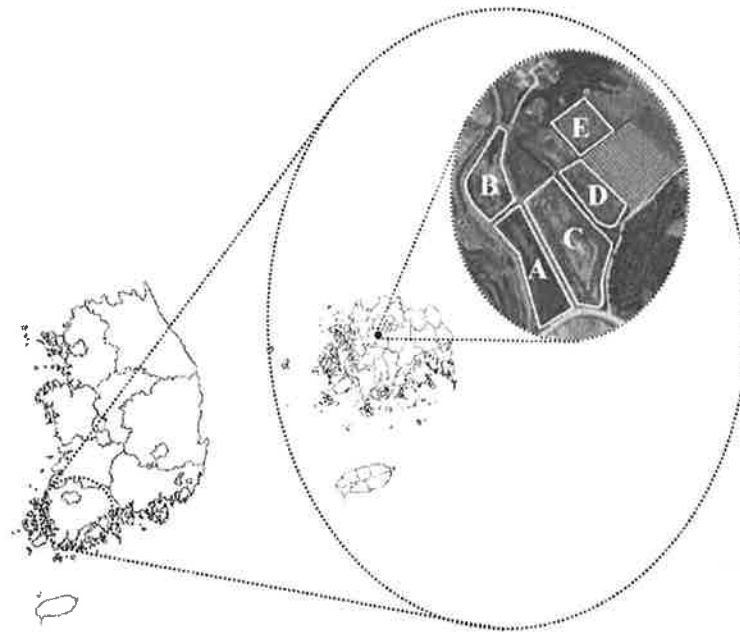
○ 비록 퇴비의 질소 흡수효율은 화학비료에 비해 매우 낮았지만, 인산 흡수효율은 화학비료 보다 높았다. 또한 화학비료의 인산 흡수효율은 질소의 절반에 불과했지만, 퇴비의 인산 흡수효율은 질소 보다 높거나(C1) 화학비료에서 나타난 차이보다는 작았다. 이와 같은 양분흡수효율 분석 결과에 의하면 퇴비의 인산흡수효율이 화학비료보다 높았기 때문에, 퇴비를 인산 급원으로 사용하고 부족한 질소는 농가의 비료자원 수급 가능성과 목표 수량을 고려하여 액비, 화학비료, 녹비 등으로 공급하는 것이 적절한 시비 전략으로 판단된다.

(나) 퇴비 및 액비 시비에 따른 수수×수단그라스와 이탈리아라이그라스 작부체계 수량과 양분흡수량 및 토양유효질소 및 인 농도 변화

① 연구 포장 및 기상

○ 전라남도 나주시 봉황면에 위치한 전남대학교 부속 자연순환번식우 농장에서 2008년 5월부터 2009년 5월까지 수행되었다. 대상 농장의 한우 사육두수는 75두 이며 조사료 생산 포장은 5개(A, B, C, D, E)로서 0.57, 0.57, 1.27, 0.59, 0.60 ha로 총 면적은 3.6 ha였다(그림 38).

○ 연구 포장 토양은 Soil Taxonomy에 의하면 fine loamy, mesic family of Dystric Fluventic Eutrudepts (백산토)로 분류되며 토성은 사질식양토였다. 각 포장 토양의 초기 이화학적성은 상이하였는데, pH는 4.5~5.0으로 산성을 나타냈으며, 유기탄소 함량은 17.5~23.9 g C kg⁻¹, 총질소는 1.5~1.9 g N kg⁻¹, NH₄⁺은 9.3~30.9 mg N kg⁻¹, NO₃⁻는 4.8~18.2 mg N kg⁻¹, 유효인산은 80.6~174.8 mg P₂O₅ kg⁻¹으로 분포하였다(표 15).

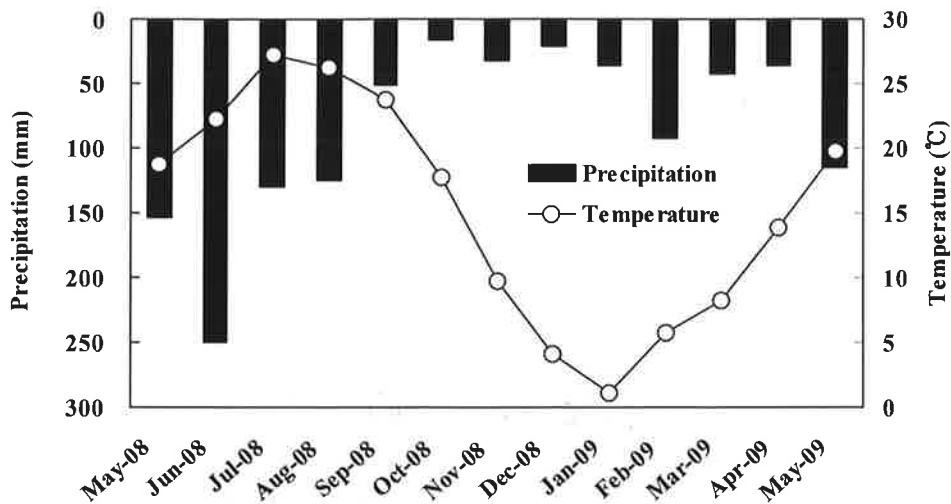


[그림 38] 전남대학교 부속 자연순환번식우 농장의 위치 및 조사료 포장 구성.

[표 15] 조사료 포장별 토양 이화학성

이화학성	사료 포장				
	A	B	C	D	E
pH (water, 1:5)	4.85	5.01	4.54	4.46	4.76
Total organic C (g kg ⁻¹)	21.9	23.9	19.7	17.5	23.0
Total N (g kg ⁻¹)	1.8	1.9	1.7	1.5	2.0
C/N	12.4	12.5	11.6	11.5	11.7
NH ₄ ⁺ -N (mg kg ⁻¹)	17.2	9.3	30.9	20.0	10.5
NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	13.8	4.8	18.2	16.2	7.7
T-P (g P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	3.2	2.1	2.1	2.5	3.2
Bray 1 P (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	98.6	80.6	123.1	174.8	158.8

○ 연구기간 동안의 연구포장 인근 광주시의 평균기온이 15.3℃, 최저기온 1.1℃, 최고기온 27.3℃였다(그림 39). 총 강수량은 1,103 mm 였는데 이는 30년 평균 강수량 1,405 mm 보다 약 300 mm 적은 것이며, 특히 2008년 7월부터 10월까지의 강수량은 30년 평균치 보다 약 40~140 mm 낮았다(그림 39).



[그림 39] 연구기간 중 월 강수량과 평균 온도.

② 처리 및 실험 내용

○ 2008년 5월부터 10월까지 우분퇴비를 사용하여 수수×수단그라스(*Sorghum Bicolor* (L.) Moench cv. G83F)를 재배하였고, 10월부터 이듬해 5월까지는 돈분액비를 사용하여 이탈리아라이그라스(*Lolium multiflorum* Lam. cv. Early bird)를 재배하였다(표 16). 사용한 퇴비의 질소와 인산 함량은 각각 14.9 g kg⁻¹과 16.0 g kg⁻¹ 이었으며, 액비의 질소와 인산 함량은 각각 2.8 g L⁻¹와 0.3 g L⁻¹였다.

[표 16] 수수×수단그라스와 이탈리아라이그라스 재배 기간 및 처리 내용

기간	사료 작물	퇴비/액비	사용량(톤 ha ⁻¹)	양분투입량(kg ha ⁻¹)	
				N	P ₂ O ₅
2008.5~2008.10	수수×수단그라스(SSG)	우분퇴비	11	161	173
2008.10~2009.5	이탈리아라이그라스(IRG)	돈분액비	94	265	26

○ 2008년 5월에 모든 포장에 퇴비를 11 ton ha⁻¹ (161 kg N ha⁻¹, 173 kg P₂O₅ ha⁻¹) 사용한 후 종자살포기로 30 kg ha⁻¹ 수준으로 SSG 종자를 살포하였다. 10월에 각 포장에서 1 m×1 m 격자 5군데에서 지상부를 수확하여 건물 수량을 조사하였다. 일부 시료를 분쇄하여 질소 및 인산 분석에 사용하였다. 2008년 10월에 돈분 액비를 94 ton ha⁻¹ (265 kg N ha⁻¹, 26 kg P₂O₅ ha⁻¹) 사용하고 IRG 종자를 40 kg ha⁻¹ 수준으로 살포하였다. 2009년 5월 초에 SSG와 동일한 방식으로 건물 수량을 조사하고, 양분 분석을 위한 전처리를 실시하였다.

③ 건물수량

○ SSG의 건물 수량은 2.12~2.86 ton ha⁻¹로 포장 A와 C의 수량이 포장 B, D와 E의 수량 보다 높았지만 (P<0.05) 포장 간 차이가 크지 않았다(그림 40). IRG의 건물 수량은 3.57~6.08 ton ha⁻¹로 상대적으로 포장 간 차이가 컸으며, 포장 E가 타 포장 보다 수량이 유의하게 높은 반면

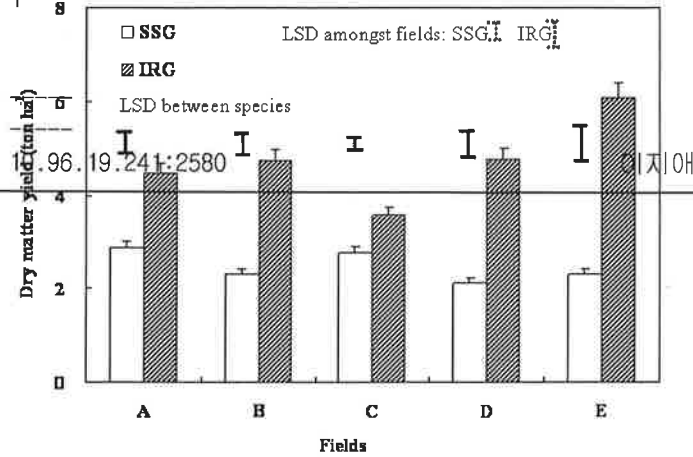
 *** 송신결과 리포트 ***

설정에 의해 송신원고 표시안함

포장 C는 가장 낮았다(그림 40).

접수번호 4407
 시작시각 06/05 16:31
 매수 1
 송신 파일명 8

미송신 상대방
 종료 수신인
 에러 수신인



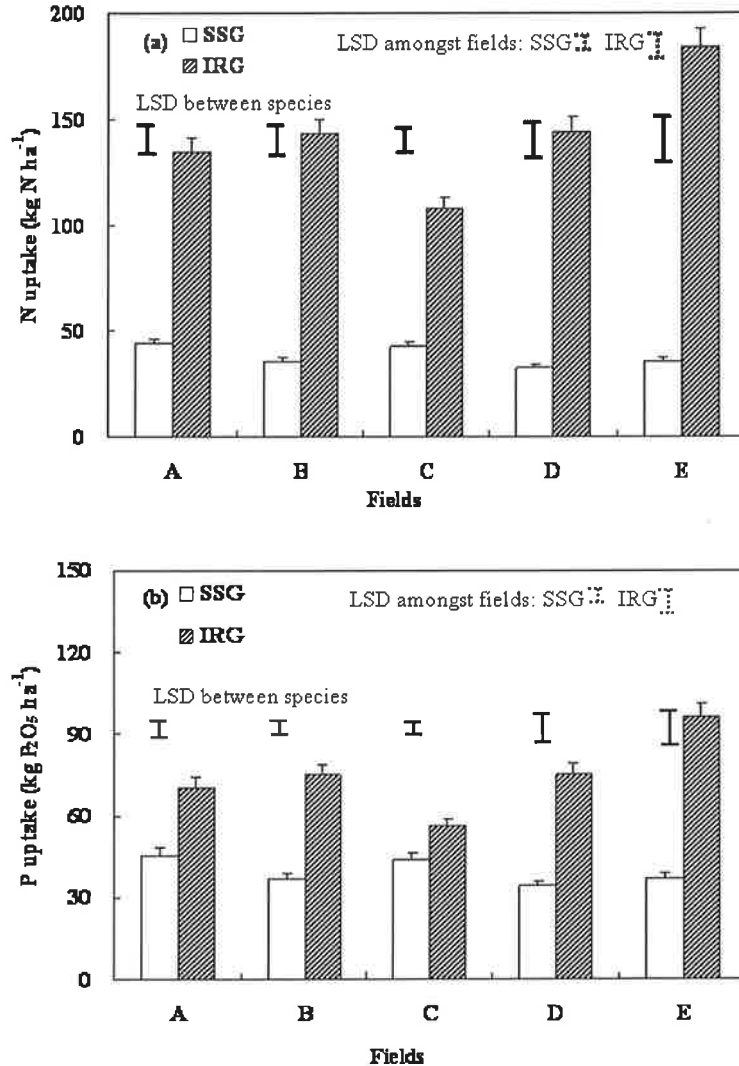
[그림 40] 포장 별 수수×수단그라스(SSG)와 이탈리아라이그라스(IRG) 건물중.

○사료 작물의 수량은 파종량(Han과 Kim, 1992), 질소시비(Han과 Kim, 1992; Shin 등, 2005), 예취방법(Lee 등, 1991; Lee, 2005), 품종(Chun 등, 1995)등에 따라 다양하게 보고되고 있다. 예를 들면, 일반적으로 파종량이 증가하면 건물 수량이 증가하는데, Seo 등(2000)에 의하면 SSG 파종량을 30, 60, 100 kg ha⁻¹로 달리했을 때 건물수량이 6.9 ton ha⁻¹에서 8.8 ton ha⁻¹로 증가하였다. Han과 Kim(1992)은 질소 무비구에서 SSG의 건물수량이 3.7~7.6 ton ha⁻¹였지만, 질소 시비량을 150 kg ha⁻¹와 300 kg ha⁻¹로 증가시키면 SSG의 수량이 6.2~11.3 ton ha⁻¹과 7.8~14.1 ton ha⁻¹로 증가한다고 보고하였다. 예취방법과 관련해서는 예취 높이(Lee 등, 1992)와 예취 시기(Jeon과 Lee, 2005)도 건물 수량에 영향을 준다. 예취 시기가 늦추어 지면 예취 횡수도 감소하게 되는데, Jeon과 Lee(2005)는 유수기, 호숙기, 황숙기에 예취할 경우 가장 높은 수량(약 24 ton ha⁻¹)을 기대할 수 있다고 하였다. Shin 등(2005)은 본 연구와 유사하게 SSG를 최종 1회 수확하였을 때 건물 수량이 2.6~7.2 ton ha⁻¹로 보고한 바 있다. SSG와 달리 IRG에 대한 선행 연구는 부족한 편인데, Kang 등(2009)은 경남지방에서 IRG의 건물 수량을 10.4 ton ha⁻¹로 보고한 바 있다.

○이상에서 살펴본 바와 같이 본 연구포장의 사료 건물생산성은 타 연구에 비해 매우 낮았는데, 이는 기상요인과 토양요인의 복합적인 결과로 판단된다. 연구기간 동안의 총 강수량은 1,103 mm로 30년 평균 강수량 보다 약 300 mm 적었으며, 특히 건물 생산성이 낮은 SSG 생육기간인 2008년 7월부터 10월까지의 강수량은 30년 평균치 보다 최대 140 mm 적었다(그림 39). 토양 요인과 관련하여, 연구 포장의 pH는 적정 수준인 6.5 보다 매우 낮은 5 이하였다. 따라서, 산성 토양반응을 고려하면, 토양내의 양이온 농도도 매우 낮을 것으로 추정 가능하다. 유효인산 농도 역시 98.6~174.8 mg P₂O₅ kg⁻¹으로 적정 범위인 150~250 P₂O₅ kg⁻¹ 보다 낮았다(Kang 등, 2009). 따라서, 본 연구 포장의 사료 생산성 확보를 위해서는 우선적으로 산성 토양 개량이 필요할 것으로 판단된다.

④ 양분흡수

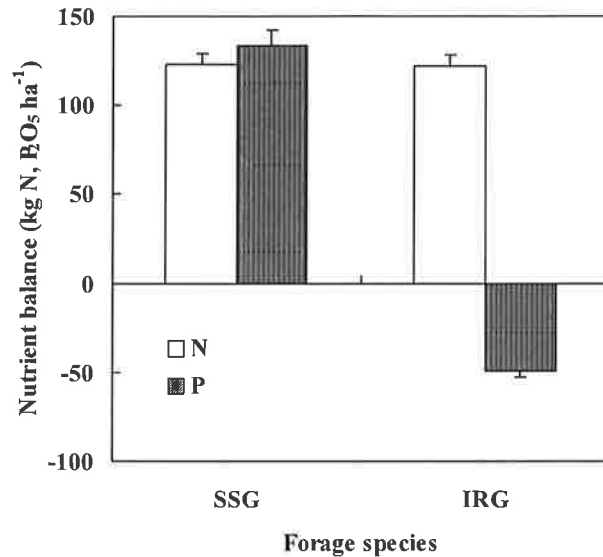
○ 질소와 인산 흡수 경향은 건물중과 유사하게 SSG 보다 IRG의 흡수량이 더 높았다(그림 41). SSG의 질소와 인산 흡수량은 각각 32.6~44.0 kg N ha⁻¹와 33.9~45.8 kg P₂O₅ ha⁻¹였으며, IRG의 질소와 인산 흡수량은 각각 107.7~183.7 kg N ha⁻¹와 56.4~96.1 kg P₂O₅ ha⁻¹였다. 포장간 양분 흡수량은 SSG의 경우 차이가 크지 않았지만, IRG는 포장 E가 타 포장보다 많았으며, 포장 C가 가장 적었다.



[그림 41] 포장 별 수수×수단그라스(SSG)와 이탈리아라이그라스(IRG)의 질소 및 인산 흡수량.

○ 현재까지의 사료 생산과 관련된 연구는 대부분 건물 생산성과 사료가치에 집중되어 있어 자 연순환농업의 측면에서 양분수지에 입각한 접근은 매우 드물다(Shin 등, 2005). 본 연구에서 5 개 포장을 평균했을 때 SSG 재배시 질소 123 kg N ha⁻¹와 인산 122 kg P₂O₅ ha⁻¹가 식물에 흡 수되지 않았는데(그림 42), 이는 각각 시용 질소(161 kg N ha⁻¹)와 인산(265 kg P₂O₅ ha⁻¹)의 76.4%와 76.9%에 해당한다. IRG 재배시에는 질소 265 kg N ha⁻¹와 인산 26 kg P₂O₅ ha⁻¹가 시

용되었는데 그 중 질소 133 kg N ha⁻¹가 흡수되지 않았고, 인산은 투입량이 낮아 49 kg P₂O₅ ha⁻¹가 토양으로부터 흡수된 것으로 계산되었다.



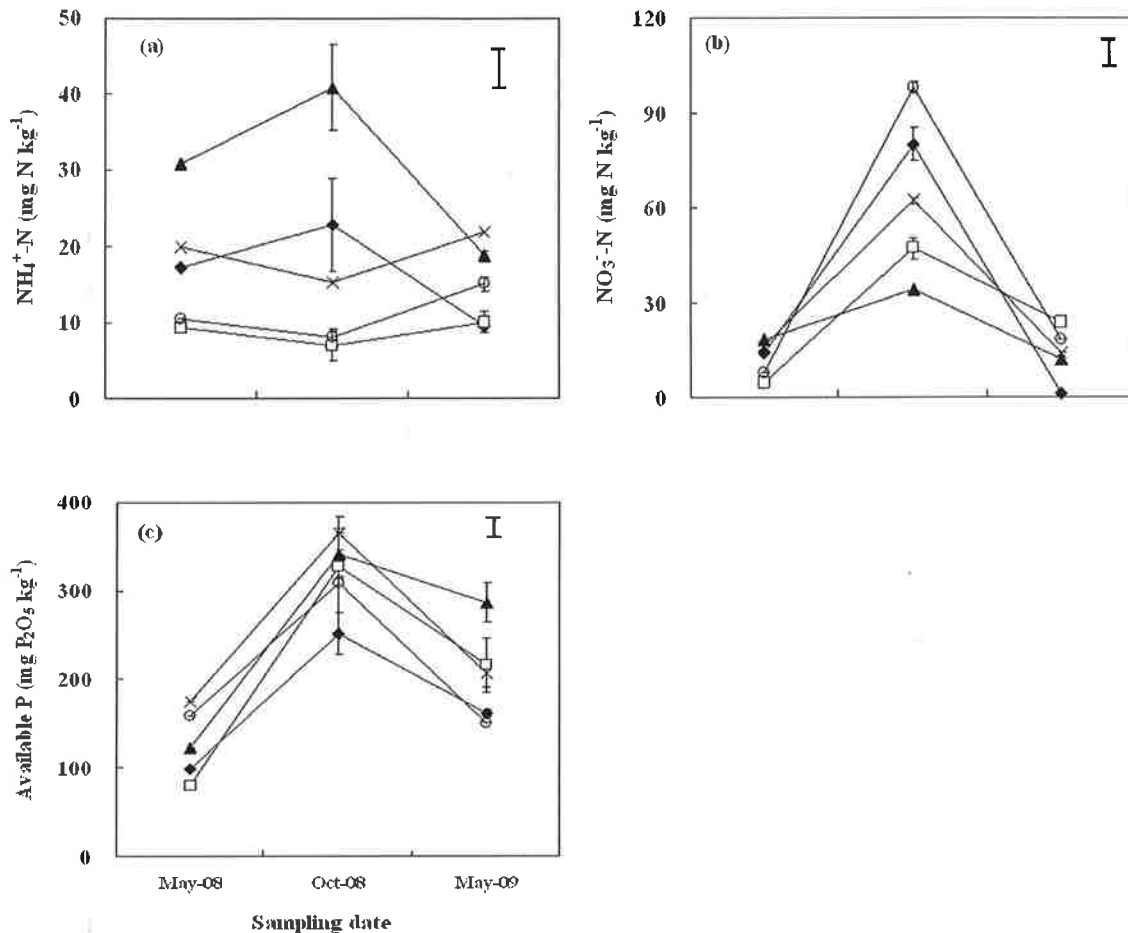
[그림 42] 수수×수단그라스(SSG)와 이탈리아라이그라스(IRG)의 양분수지(양분투입량-양분흡수량).

⑤ 토양 양분함량 변화

○ 토양 NH₄⁺, NO₃⁻, 유효인산 농도는 전반적으로 SSG 재배 전에 비해 SSG 수확 후에 증가하였고, IRG 수확 후에는 감소하였다(그림 43). 무기태 질소 중 NO₃⁻의 농도 변화가 가장 뚜렷했는데 SSG 재배 전인 2008년 5월에 4.8~18.2 mg N kg⁻¹에서 2008년 10월에 34.2~97.9 mg N kg⁻¹으로 증가하였지만, IRG 수확 후인 2009년 5월에 1.2~23.7 mg N kg⁻¹으로 급격하게 감소하였다(그림 43b). 유효인산의 경우에도 동기간 동안 80.6~174.8 mg P₂O₅ kg⁻¹에서 251.8~365.0 mg P₂O₅ kg⁻¹으로 증가하였다가 149.7~286.9 mg P₂O₅ kg⁻¹로 감소하였다(그림 43c). 이와 같은 경향은 작물의 건물중 생산(그림 40)과 양분 흡수량(그림 41) 경향과 일치한다. 즉, 2008년 5월~10월 사이 SSG의 건물 생산량이 작아서 양분 흡수량도 낮았고, 2008년 10월~2009년 5월 사이의 IRG의 건물 생산량이 SSG 보다 상대적으로 높았기 때문에 양분 흡수량도 증가한 것으로 판단된다.

○ 한편, 이와 같은 시기별 토양 유효 질소 및 인산 농도 변화는 시용 퇴비와 액비의 양분 유효도와도 관련되었을 수도 있다. 즉, 일반적으로 퇴비에 함유된 양분 중 유기태 형태는 당해연도에 이용되기 보다는 유기물이 분해됨에 따라 서서히 가용화되어 다음 작기에 이용되는 것으로 알려져 있다(Boyle과 Paul, 1989; Hadas와 Portnoy, 1994; Bernal 등, 1998; Aslam 등, 2008). 따라서, SSG 재배 전에 시용된 퇴비 중 상당량의 양분이 토양에 잔류하였다가 IRG에 흡수 이용된 것으로 판단할 수 있다. 반면, 액비에 함유된 양분은 대부분 가용태로서 당해연도에 대부분 흡수되어 IRG의 양분 흡수량이 SSG 보다 높게 나타났고 그 결과로 토양의 유효 질소와 인산 농도가 감소한 것으로 판단된다(Choi 등, 2001; Lim 등, 2007; Lim 등, 2009). 따라서, 본 연구 결과에 의하면 수수×수단그라스와 이탈리아라이그라스 작부 체계에서 가축분 퇴비 시용 당시

작기에는 양분 유효도가 높지 않으며 그 시용 효과는 다음 작기에 기대할 수 있음을 보여준다. 반면, 액비는 그 효과가 퇴비에 비해 속효성이기 때문에 장기적인 시용 효과가 낮을 수 있다. 따라서, 경축순환 농업에서 목표 사료 수량을 획득하기 위해서는 퇴비와 액비를 동시에 활용할 것을 고려할 필요가 있다.



[그림 43] 수수×수단그라스(SSG)와 이탈리아라이그라스(IRG) 재배 전후의 토양 NH_4^+ , NO_3^- 및 유효인산 농도 변화. May-08, Oct-08과 May-09는 각각 SSG 파종전, SSG 수확 후(IRG 파종전)과 IRG 수확후에 해당함.

(다) 퇴비 시용량에 따른 총채벼와 총채보리 작부 체계 생산성 및 양분흡수

① 연구내용

○ 전남대학교 부속 자연순환번식우 농장내 논토양에서 2009년 11월부터 2010년 5월까지 총채보리를 2010년 5월부터 9월까지 총채벼 포장 실험을 수행하였다.

○ 연구 포장 토양은 Soil Texonomy에 의하면 Fine loamy, mixed, mesic family of Fluvaquentic Dystrudepts (대곡토)으로 분류된다. 포장 토양의 초기 이화학적성은 pH는 4.48로 산성을 나타냈으며, 유기탄소 함량은 7.7 g C kg^{-1} , 총질소는 0.8 g N kg^{-1} , NH_4^+ 은 $23.9 \text{ mg N kg}^{-1}$, NO_3^- 는 $16.5 \text{ mg N kg}^{-1}$, 유효인산은 $13.4 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ 으로 분포하였다(표 17).

○ 시험구는 무처리, 화학비료 수준별 처리, 퇴비 수준별 처리구를 두었으며, 실험설계는 총채보

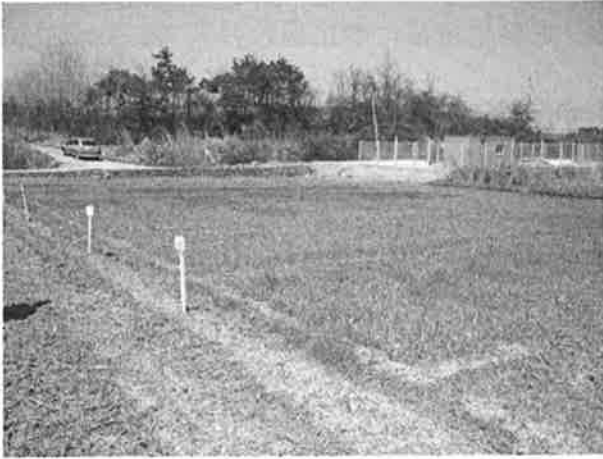
리 2반복, 총채벼 3반복 난괴법으로 수행하였다(표 18). 총채보리는 2009년 11월 6일에 시험구를 설치하고(그림 44) 화학비료 또는 퇴비를 처리하였으며, 총채보리(*Hordeum vulgare* var. *hexastichon*. (L.) Asch. cv. *Geuungang*) 종자를 20 g m⁻²수준으로 파종하였으며, 총채벼는 2010년 5월에 산파 육묘 상자에 일미벼 종자(*Oryza sativa* L. subsp. *Japonica*, cv. *Ilmibyeo*)를 파종(80 g box⁻¹)한 후 약 30일간 육묘한 다음 2010년 6월 2일 본답에 손 이앙하였다(24 포기 m⁻²).

[표 17] 총채보리와 총채벼 재배 실험 포장 토양의 이화학성

항목	이화학성 값
pH (water, 1:5)	4.48
Total organic C (g kg ⁻¹)	7.7
Total N (g kg ⁻¹)	0.8
C/N	9.6
NH ₄ ⁺ -N (mg kg ⁻¹)	23.9
NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	16.5
Bray 1 P (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	13.4

[표 18] 퇴비 시용량에 따른 총채보리와 총채벼 수량 연구를 위한 실험 처리구

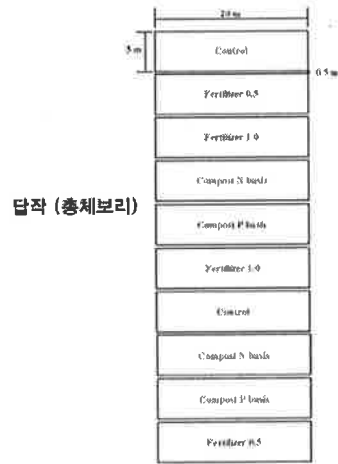
사료작물	처리명	처리량 (g m ⁻²)		비고
		N	P ₂ O ₅	
총채보리	Control	0	0	
	화학비료 1수준(F1)	6.0	5.0	
	화학비료 2수준(F2)	12.0	10.0	화학비료 추천시비량기준
	퇴비 1수준(C1)	10.0	10.0	인산기준시비
	퇴비 2수준(C2)	12.0	12.0	질소기준시비
총채벼	Control	0	0	
	화학비료 1수준(F1)	5.5	2.3	
	화학비료 2수준(F2)	11.0	4.5	화학비료 추천시비량기준
	화학비료 3수준(F3)	22.0	9.0	
	퇴비 1수준(C1)	11.0	11.0	질소기준
	퇴비 2수준(C2)	22.0	22.0	질소기준 2배



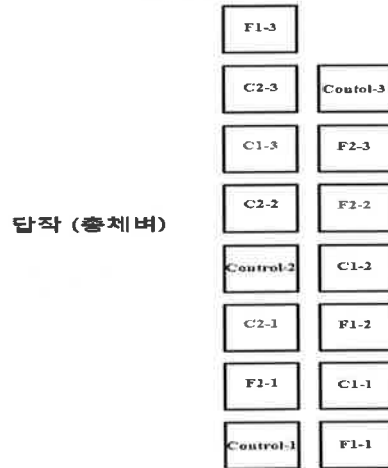
<총채보리 재배 시험 포장>



<총채벼 재배 시험 포장>



<포장 실험 구성>



<포장 실험 구성>

[그림 44] 총채보리 및 총채벼 재배 시험 포장 및 실험구 배치.

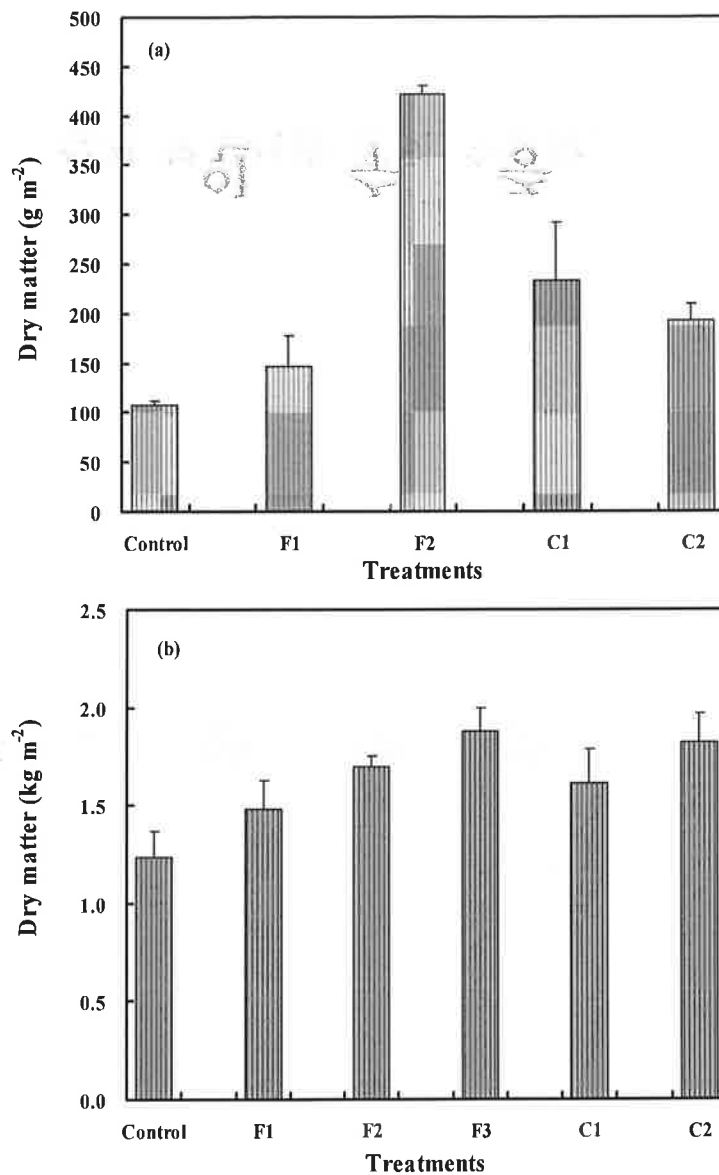
② 건물수량

○ 총채보리의 건물중은 $107 \sim 422 \text{ g m}^{-2}$ 으로 분포하였으며 대조구(107 g m^{-2})에 비해 화학비료 처리구인 F1에서 147.1 , F2에서 421.8 g m^{-2} 으로 증가하였고, 퇴비 시용구인 C1에서 233.0 g m^{-2} , C2에서 192.6 g m^{-2} 으로 증가하였지만 C1과 C2의 차이는 통계적 유의성이 없었다(그림 45a).

○ 총채벼의 건물중은 $1.24 \sim 1.88 \text{ kg m}^{-2}$ 으로 분포하였으며, 대조구(1.24 kg m^{-2})에 비해 화학비료 처리구인 F1, F2, F3에서 각각 1.48 , 1.69 , 1.88 kg m^{-2} 으로 증가하였다. 퇴비 시용구인 C1과 C2에서의 건물중은 각각 1.61 과 1.82 kg m^{-2} 으로 화학비료처리구와 유사하였다(그림 45b).

○ 총채보리 재배 기간 중 기상여건 불량으로 전반적으로 관행 수량보다 낮았고 그 결과 퇴비 시용구에서의 수량이 큰 폭으로 감소한 것으로 판단된다. 반면, 총채벼의 건물중은 화학비료와 퇴비 처리구간 차이가 크지 않았기 때문에 퇴비의 양분 공급력이 화학비료와 유사함을 알 수 있었다.

정리 :

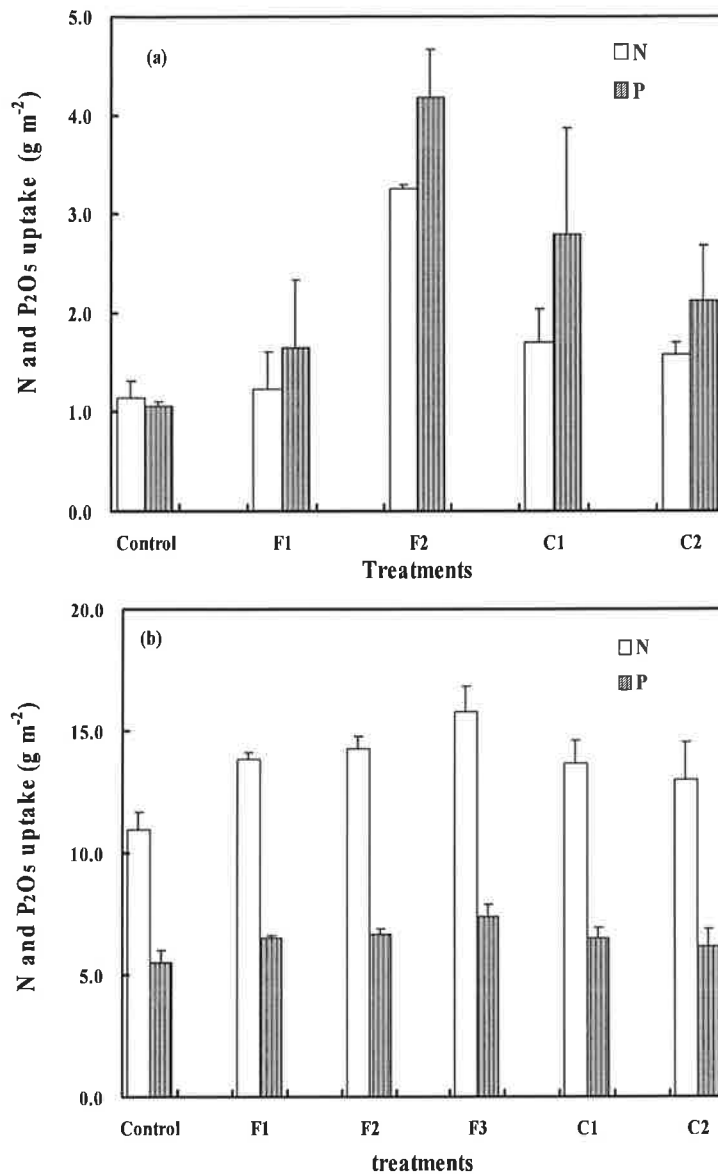


[그림 45] 화학비료와 퇴비 처리에 따른 총채보리(a)와 총채벼(b)의 건물중.

③ 양분흡수

○총채보리의 질소와 인산흡수량은 건물중과 유사하게 나타났다. 대조구의 양분흡수량은 질소 1.14 N g m⁻², 인산 1.06 g P₂O₅ m⁻²이었고 화학비료 시용구인 F1과 F2에서는 각각 질소 1.23, 3.25 g N m⁻², 인산 1.65, 4.18 g P₂O₅ m⁻²로 증가하였다. 한편, 퇴비시용구인 C1과 C2의 양분 흡수량은 각각 질소 1.71, 1.58 g N m⁻², 인산 2.79, 2.13 g P₂O₅ m⁻² 이었다(그림 46a).

○총채벼의 질소와 인산흡수량은 대조구에서 질소 10.9 g N m⁻², 인산 5.5 g P₂O₅ m⁻²이었고 화학비료 시용구인 F1, F2, F3에서는 각각 질소 13.8, 14.3, 15.8 g N m⁻², 인산 6.5, 6.7, 7.4 g P₂O₅ m⁻²로 증가하였다. 한편, 퇴비시용구인 C1과 C2의 양분 흡수량은 각각 질소 13.7, 13.0 g N m⁻², 인산 6.5, 6.1 g P₂O₅ m⁻² 이었다(그림 46b).



[그림 46] 화학비료와 퇴비 처리에 따른 총채보리(a)와 총채벼(b)의 질소 및 인산 흡수량.

(라) 퇴비 사용량에 따른 옥수수과 이탈리아그라스 작부 체계 생산성 및 양분흡수

① 연구내용

○ 전남대학교 부속 자연순환번식우 농장내 포장에서 2009년 11월부터 2010년 5월까지 이탈리아안라이그라스를 2010년 5월부터 10월까지 옥수수 포장 실험을 수행하였다.

○ 연구 포장 토양은 Soil Taxonomy에 의하면 Fine loamy, mesic, mesic family of Dystric Fluventic Eutrudepts (대곡토)로 분류된다. 초기토양의 이화학성분석 결과 pH는 5.08으로 산성을 나타냈으며, 유기탄소 함량은 16.1 g C kg⁻¹, 총질소는 1.8 g N kg⁻¹, NH₄⁺은 52.6 mg N kg⁻¹, NO₃⁻는 128.8 mg N kg⁻¹, 유효인산은 247.9 mg P₂O₅ kg⁻¹으로 분포하였다(표 19).

○ 시험구는 무처리, 화학비료 관행처리, 퇴비 수준별 처리 등 모두 5개의 처리구를 두었으며, 실험설계는 이탈리아안라이그라스 2반복, 옥수수 3반복 난괴법으로 수행하였다(표 20). 총채보리는 2009년 11월 6일에 시험구를 설치하고(그림 47) 화학비료 또는 퇴비를 처리하였으며, 이탈

리안라이그라스(*Lolium multiflorum* Lam. var. *multiflorum* cv. Typhoon) 종자를 4 g m⁻²수준으로 파종하였으며, 옥수수는 2010년 7월에 옥수수 종자(*Zea mays* L. cv. Kangdaok)를 포기사이 15 cm 간격 4 g m⁻²수준으로 직파하였다.

[표 19] 이탈리아리안라이그라스와 옥수수 포장별 이화학성

항목	이화학성 값
pH (water, 1:5)	5.08
Total organic C (g kg ⁻¹)	16.1
Total N (g kg ⁻¹)	1.8
C/N	8.9
NH ₄ ⁺ -N (mg kg ⁻¹)	52.6
NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	128.8
Bray 1 P (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	247.9

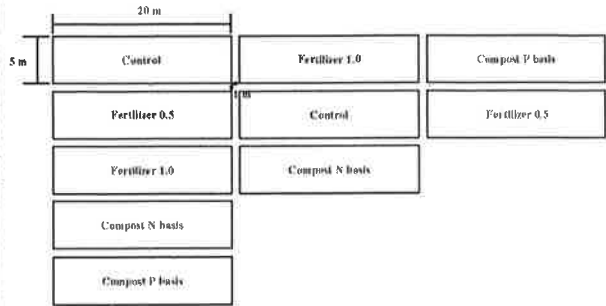
[표 20] 퇴비 시용량에 따른 이탈리아리안라이그라스와 옥수수 수량 연구를 위한 실험 처리구

사료작물	처리명	처리량 (g m ⁻²)		비고
		N	P ₂ O ₅	
이탈리안라이그라스	Control	0	0	
	화학비료 1수준(F1)	12.5	7.5	
	화학비료 2수준(F2)	25.0	15.0	화학비료추천시비량기준
	퇴비 1수준(C1)	15.0	15.0	인산기준
	퇴비 2수준(C2)	25.0	25.0	질소기준
옥수수	Control	0	0	
	화학비료 1수준(F1)	10.0	7.5	
	화학비료 2수준(F2)	20.0	15.0	화학비료추천시비량기준
	퇴비 1수준(C1)	20.0	20.0	질소기준시비구
	퇴비 2수준(C2)	40.0	40.0	질소기준 2배 시비구



<이탈리안라이그라스 재배 시험 포장>

전작 (이탈리안 라이그라스)

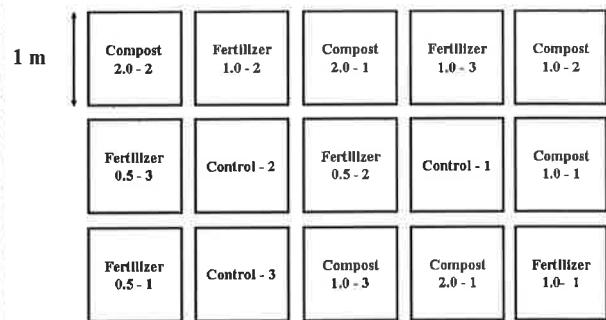


<포장 실험 구성>



<옥수수 재배 시험 포장>

전작 (옥수수)



<포장 실험 구성>

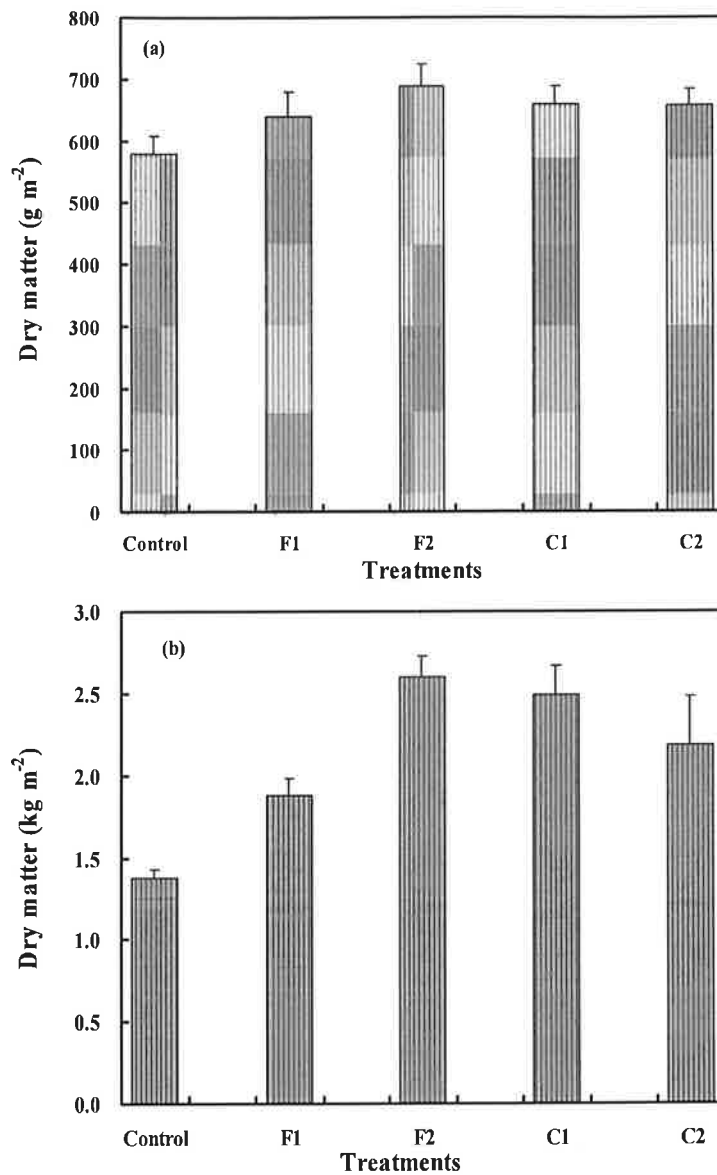
[그림 47] 이탈리안라이그라스 및 옥수수 재배 시험 포장 및 실험구 배치.

② 건물수량

○ 이탈리안라이그라스의 건물중은 580~688 g m²으로 분포하였으며 대조구(580 g m²)에 비해 화학비료 처리구인 F1과 F2에서 각각 639와 688 g m²으로 증가하였고, 퇴비 시용구인 C1과 C2에서 각각 659와 658 g m²으로 증가하였다(그림 48a).

○ 옥수수의 건물중은 1.38~2.60 kg m²으로 분포하였으며, 대조구(1.38 kg m²)에 비해 화학비료 처리구인 F1과 F2에서 각각 1.88, 2.60 kg m²으로 증가하였다. 퇴비 시용구인 C1과 C2에서의 건물중은 각각 2.49, 2.19 kg m²으로 화학비료처리구와 유사하였다(그림 48b).

○ 이탈리안라이그라스의 경우 전반적으로 시비에 따른 건물중 증가 효과가 최대 18.7%로 크지 않았다. 반면, 옥수수의 경우 대조구에 비해 화학비료 F2처리구에서의 건물중이 약 89% 증가하였으며 퇴비 C1처리구에서는 약 80% 증가하여 시비에 대한 반응이 큰 편이었다.

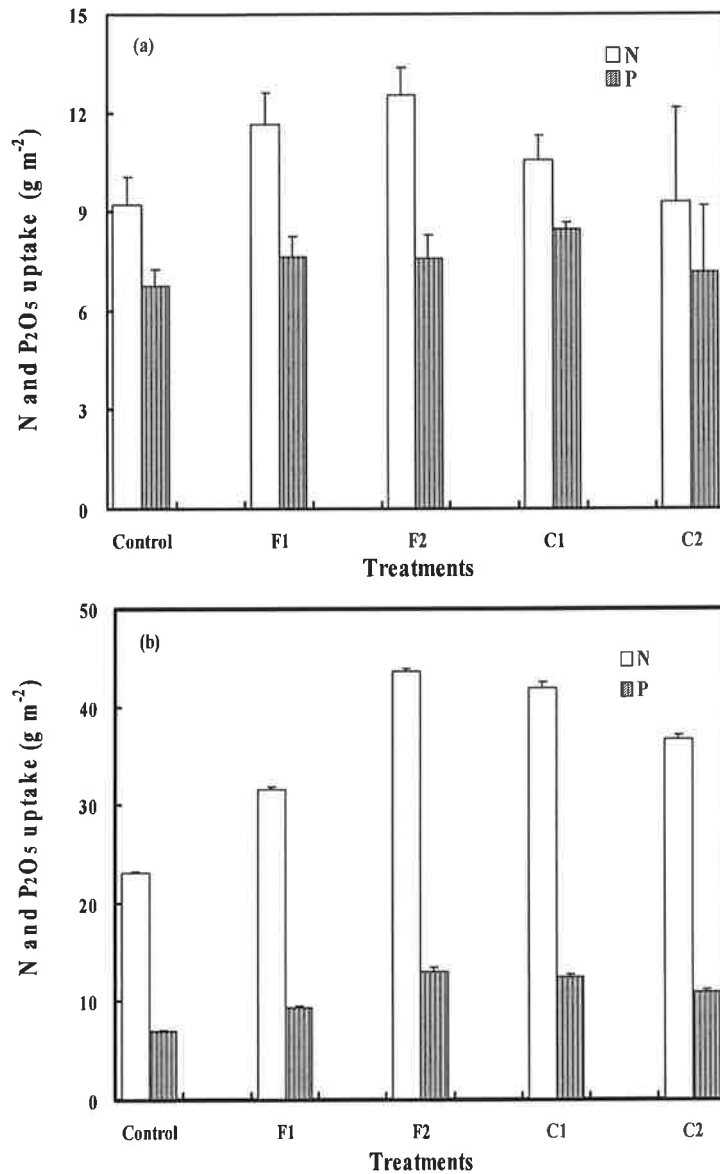


[그림 48] 화학비료와 퇴비 처리에 따른 이탈리아라이그라스(a)와 옥수수(b)의 건물중

③ 양분흡수

○이탈리아라이그라스의 양분흡수량은 대조구에서 양분흡수량은 질소 9.2 N g m⁻², 인산 6.7 g P₂O₅ m⁻²이었고 화학비료 시용구인 F1과 F2에서는 각각 질소 11.6, 12.5 g N m⁻², 인산은 모두 7.6 g P₂O₅ m⁻²로 증가하였다. 한편, 퇴비시용구인 C1과 C2의 양분 흡수량은 각각 질소 10.6, 9.3 g N m⁻², 인산 8.5, 7.2 g P₂O₅ m⁻² 이었다(그림 49a).

○옥수수의 질소와 인산흡수량은 대조구에서 질소 23.2 g N m⁻², 인산 6.9 g P₂O₅ m⁻²이었고 화학비료 시용구인 F1과 F2에서는 각각 질소 31.6, 43.7 g N m⁻², 인산 9.4, 13.0 g P₂O₅ m⁻²로 증가하였다. 한편, 퇴비시용구인 C1과 C2의 양분 흡수량은 각각 질소 41.9, 36.7 g N m⁻², 인산 12.5, 10.9 g P₂O₅ m⁻² 이었다(그림 49b).



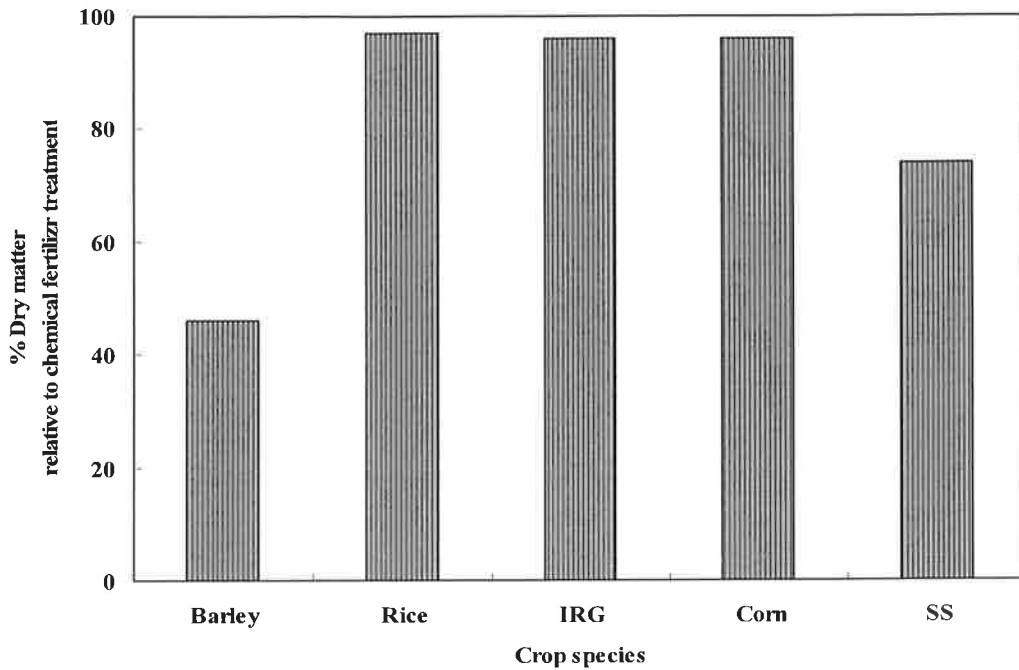
[그림 49] 화학비료와 퇴비 처리에 따른 이탈리아그라스(a)와 옥수수(b)의 질소 및 인산 흡수량

(마) 퇴비 및 화학비료 시용에 따른 조사료 작물의 건물 수량 상대 성장 및 양분흡수 효율

① 건물수량

○ 화학비료 추천량 시비구의 건물중에 대한 퇴비시용구(질소기준 동일 시용시)의 상대 건물생산량은 총채보리 46%, 총채벼 97%, 이탈리아라이그라스 96%, 옥수수 96%, 수수×수단그라스 74%로 총채보리와 수수×수단그라스를 제외하고는 모두 화학비료에 필적하는 수량을 생산하였다(그림 50).

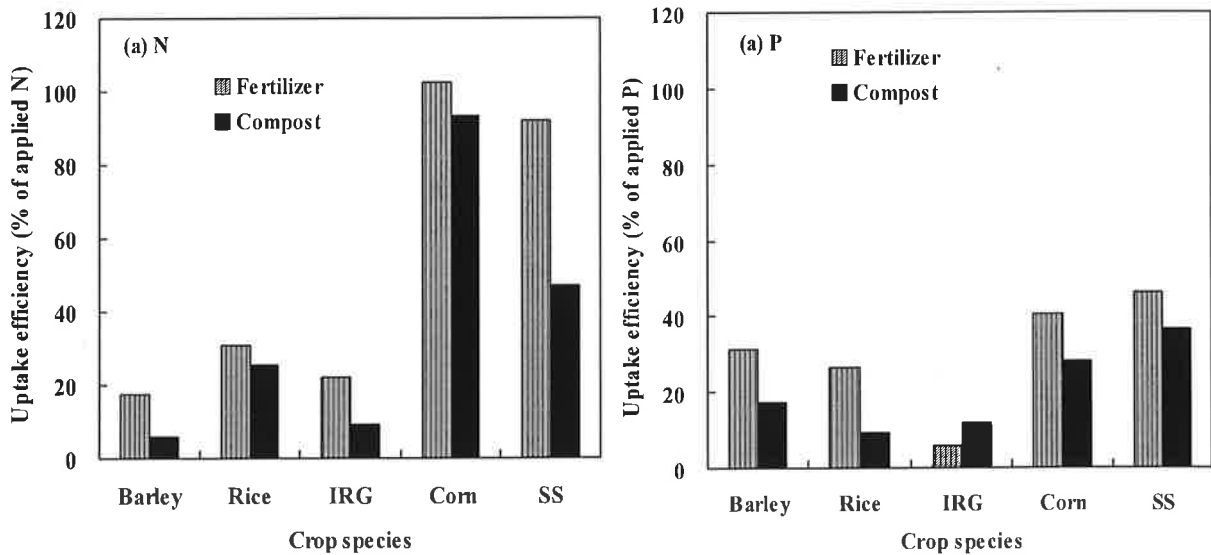
○ 따라서, 퇴비를 양분공급원으로 이용하는 자연순환농업시스템에서 투입 양분공급원에 대한 조사료 생산 효율을 고려하면 총채벼, 이탈리아라이그라스, 옥수수가 우수한 사료작물로 판단된다.



[그림 50] 화학비료 질소기준 퇴비 시용시 총채보리(Barley), 총채벼(Rice), 이탈리아라이그라스(IRG), 옥수수(Corn), 수수×수단그라스(SS)의 화학비료 시용 대비 상대 건물생산량.

② 양분흡수효율

○ 화학비료와 퇴비 질소 흡수효율은 각각 17.6~102.5%와 5.7~93.5%로 보리가 가장 낮은 반면 옥수수가 가장 높았다(그림 51).



[그림 51] 질소기준 화학비료 및 퇴비 시용시 총채보리(Barley), 총채벼(Rice), 이탈리아라이그라스(IRG), 옥수수(Corn), 수수×수단그라스(SS)의 질소 및 인산 흡수효율.

○ 화학비료와 퇴비 인산 흡수효율은 각각 6.0~46.2%와 9.1~36.5%였는데, 이탈리아라이그라스의 인산 흡수효율이 낮은 편이었다.

○ 작물별 양분흡수 효율을 종합적으로 고려하면, 옥수수의 질소 흡수효율이 화학비료 102.5% 퇴비 93.5%, 인산 흡수효율이 화학비료 40.7% 퇴비 28.0%로 상대적으로 우수하였다. 수수×수단그라스의 경우에도 질소 및 인산 흡수효율이 각각 화학비료 질소 92.1% 인산 46.2%, 퇴비 질소 47.0% 인산 36.5%로 양호하였다.

다. 퇴비를 이용한 사료 및 일반경종작물 생산을 위한 양분수지개선 방안

(1) 사료작물 추천시비량 기준 양분수지분석

(가) 주요 조사료 작물에 대한 추천시비량

○ 조사료 작물의 표준시비량은 공시 자료가 부족하기 때문에 본 매뉴얼에서는 농촌진흥청 홈페이지의 「농업기술정보안내」에서 제공된 작물별 농업기술정보를 활용하여 추천시비량을 제시하고 그에 해당하는 퇴비사용량을 계산하였다.

[표 21] 주요조사료작물 추천시비량

사료작물	추천시비량 (kg/10a)	
	질소(N)	인산(P ₂ O ₅)
총채벌	11	3
청보리	15	12
옥수수	20	15
수수×수단그라스	25	15
귀리(연맥)	20	15
유채	10	10
호밀	15	12
이탈리안라이그라스	20	15

(나) 주요 조사료 작물에 대한 퇴비 사용량 및 양분수지

○ 퇴비 사용량을 계산하기 위해서는 추천시비량, 퇴비의 수분함량, 퇴비의 양분함량을 종합적으로 고려해야 한다. 면적 10a 기준으로 퇴비 사용량 계산 방법을 요약하면 다음과 같다.

[퇴비 사용량 = 질소 또는 인산 추천시비량×퇴비수분함량보정계수×퇴비양분함량보정계수]

○ 본 연구에서는 퇴비 수분함량 50%, 건물기준 질소함량 2%, 건물기준 인산함량 3%을 가정하여 퇴비 사용량을 계산하였다(표 22).

[표 22] 퇴비 사용량 계산 방법

1. 작토층 토양 무게: 면적(1,000m²)×깊이(0.2m)×용적밀도(1.2톤/m³)=240톤
2. 토양유기물량: 작토층 토양무게(240톤)×유기물함량(1.5%/100)=3,600kg
3. 유기물 함량이 2.0%(목표치)일 경우 토양의 유기물량은 1번과 2번의 방식으로 계산하면 4,800kg
4. 투입 요구 유기물량: 4,800kg-3,600kg=1,200kg
5. 4번의 유기물을 퇴비로 투입할 경우 요구되는 사용량: 유기물 요구량 (1,200kg)×퇴비유기물함량 보정계수(100/50%)×퇴비수분함량 보정계수(100/50%)=4,800kg
6. 퇴비 사용시 투입되는 질소의 양: 퇴비투입량(4,800kg/10a)×퇴비수분함량 보정계수(50/100%)×퇴비질소함량(2%/100)=48kg/10a
7. 퇴비 사용시 투입되는 인산의 양: 퇴비투입량(4,800kg/10a)×퇴비수분함량 보정계수(50/100%)×퇴비인산함량(3%/100)=72kg/10a

○ 질소기준 퇴비사용시 주요 사료작물의 퇴비 사용량은 1,100(총채벼)~2,500(수수×수단그라스)kg/10a이며, 퇴비와 함께 투입되는 인산의 과다량은 5.0~22.5kg/10a이다. 따라서 인산 척박지 토양일 경우 질소기준 퇴비사용시 가능할 수 있겠지만, 그 외의 경우에는 인산집적을 고려하여 신중하게 선택하여야 한다(표 23).

[표 23] 조사료 작물 생산을 위한 질소기준 퇴비사용시 퇴비사용량 및 인산 과다투입량

사료작물	퇴비사용량	인산투입량 (kg/10a)	인산과다투입량
			(인산투입량 - 인산표준시비량)
총채벼	1,100	16.5	13.5
청보리	1,500	22.5	10.5
옥수수	2,000	30.0	15.0
수수×수단그라스	2,500	37.5	22.5
귀리(연맥)	2,000	30.0	15.0
유채	1,000	15.0	5.0
호밀	1,500	22.5	10.5
이탈리안라이그라스	2,000	30.0	15.0

○ 인산기준 퇴비사용시 주요 사료작물의 퇴비 사용량은 200(총채벼)~1,000(수수×수단그라스 등)kg/10a으로 질소기준에 비해 퇴비 사용량이 최대 5배 감소한다. 하지만, 질소는 표준시비량에 비해 3(유채)~15(수수×수단그라스)kg/10a가 부족하여 추가 공급이 필요하다(표 24).

[표 24] 조사료 작물 생산을 위한 인산기준 퇴비사용시 퇴비사용량 및 질소부족량

사료작물	퇴비사용량	질소투입량 (kg/10a)	질소부족량
			(질소투입량 - 질소표준시비량)
총채벼	200	2	-9
청보리	800	8	-7
옥수수	1,000	10	-10
수수×수단그라스	1,000	10	-15
귀리(연맥)	1,000	10	-10
유채	667	7	-3
호밀	800	8	-7
이탈리안라이그라스	1,000	10	-10

○ 부족 질소는 녹비작물 재배나 유기질 비료 투입으로 공급이 가능하며, 녹비 작물의 경우 질소함량이 높은 헤어리벤티를 재배할 경우 필요량을 감소시킬 수 있으며, 유기질 비료의 경우 유박이 쌀겨보다 질소함량이 높아서 투입량을 줄일 수 있다는 장점이 있다(표 25).

[표 25] 인산기준 퇴비시용시 부족 질소(1kg/10a 기준) 추가 공급을 위해 필요한 질소공급원

질소 공급원		수분(%)	질소(건물, %)	질소공급원 생중량(kg/10a)
녹비 작물	헤어리베치	70	3.5	95
	자운영	70	2.0	167
	호밀	70	1.0	333
유기질비료	유박	1	6.0	17
	쌀겨	10	2.5	45

[표 26] 조사료 작물 생산을 위한 인산기준 퇴비시용시 질소부족량 보충에 요구되는 녹비작물 생체량 및 유기질 비료 시용량

사료작물	녹비작물(kg/10a)			유기질비료(kg/10a)	
	헤어리베치	자운영	호밀	유박	쌀겨
총체벼	857	1,500	3,000	152	400
청보리	667	1,167	2,333	118	311
옥수수	952	1,667	3,333	168	444
수수×수단그라스	1,429	2,500	5,000	253	667
귀리(연맥)	952	1,667	3,333	168	444
유채	317	556	1,111	56	148
호밀	667	1,167	2,333	118	311
이탈리안라이그라스	952	1,667	3,333	168	444

(2) 일반작물 추천시비량 기준 양분수지분석

(가) 주요 일반 작물에 대한 추천시비량

○ 일반작물은 전남지역에서 재배면적이 넓은 벼(곡류), 콩(유지류), 감자(서류), 고추(과채류), 무(근채류), 양파(인경채류), 상추(경엽채소류), 배(과수류)를 선정하여 농촌진흥청의 「작물별 표준시비량 일람표」에 제시한 추천시비량을 이용하였다(표 27).

[표 27] 주요 8종 작물의 추천시비량

주요 일반작물	추천시비량(kg/10a)						비고
	기비		추비		계		
	질소	인산	질소	인산	질소	인산	
[곡류] 벼	5.5	3.0	5.5	0	11.0	3.0	평야지 및 중간지의 보통답
[유지류] 콩	3.0	10.4	0	0	3.0	10.4	기경지
[서류] 감자	10.0	8.8	0	0	10.0	8.8	남부해안
[과채류]고추	12.2	6.4	10.3	0	22.5	6.4	시설재배
[근채류] 무	10.0	5.9	18.0	0	28.0	5.9	노지재배
[인경채류] 양파	8.0	7.7	16.0	0	24.0	7.7	노지재배(평nan지)
[경엽채소류] 상추	10.0	5.9	10.0	0	20.0	5.9	노지재배 시설재배
[과수] 배	14.0	13.0	6.0	0	20.0	13.0	비옥지 20년 이상

(나) 주요 일반 작물에 대한 퇴비 사용량 및 양분수지

○작물의 질소요구량 기준으로 퇴비를 사용할 경우 주요 일반작물의 퇴비 사용량은 1,100(벼)~2,800(무)kg/10a이며, 퇴비와 함께 투입되는 인산의 과다 투입량은 6.2~36.1kg/10a이다(표 28). 따라서, 인산 척박지 토양일 경우 질소기준 퇴비사용시 가능할 수 있겠지만, 그 외의 경우에는 인산집적을 고려하여 신중하게 선택하여야 한다. 하지만, 콩은 뿌리혹박테리아에 의한 공중질소 고정을 통한 질소공급을 고려하면 퇴비를 적게 사용할 필요가 있기 때문에 퇴비에 의한 인산 공급량이 5.9kg/10a 부족하다. 따라서,콩에 대해서 인산기준으로 퇴비를 사용할 수 있으며, 질소기준 사용시 부족한 인산은 인산질 비료 또는 광물질로 보충할 수 있다.

[표 28] 질소기준 퇴비사용시 퇴비사용량 및 인산 과다투입량

작물	퇴비사용량	인산투입량 (kg/10a)	인산과다투입량 (인산투입량 - 인산표준시비량)
벼	1100	16.5	13.5
콩	300	4.5	-5.9
감자	1000	15.0	6.2
고추	2250	33.8	27.4
무	2800	42.0	36.1
양파	2400	36.0	28.3
상추	2000	30.0	24.1
배	2000	30.0	17.0

○인산기준 퇴비사용시 주요 사료작물의 퇴비 사용량은 200(벼)~867(배)kg/10a으로 질소기준에 비해 퇴비 사용량이 최대 5배 감소한다. 하지만, 질소는 표준시비량에 비해 4.1(감자)~24.1(무)kg/10a가 부족하여 추가 공급이 필요하다. 부족 질소는 녹비작물 재배나 유기질 비료 투입으로 공급이 가능하며, 녹비 작물의 경우 질소함량이 높은 헤어리벤티를 재배할 경우 필요량을 감소시킬 수 있다. 유기질 비료의 경우 유박이 쌀겨보다 질소함량이 높아서 필요량이 상대적으로 적다. 반면, 콩의 경우 3.9kg/10a의 질소가 과잉으로 투입될 수 있다(표 29).

[표 29] 인산기준 퇴비사용시 퇴비사용량 및 질소부족량

작물	퇴비사용량	질소투입량 (kg/10a)	질소부족량 (질소투입량 - 질소표준시비량)
벼	200	2.0	-9.0
콩	693	6.9	3.9
감자	587	5.9	-4.1
고추	427	4.3	-18.2
무	393	3.9	-24.1
양파	513	5.1	-18.9
상추	393	3.9	-16.1
배	867	8.7	-11.3

○ 일반작물에 대한 질소 및 인산 퇴비 사용량 및 퇴비 사용에 따른 양분수지 불균형과 양분수지 개선 방법을 요약하면 표 30과 같다.

[표 30] 일반작물에 대한 질소 및 인산기준 퇴비사용시 양분과부족 및 양분수지 개선방법

작물	표준비량 (kg/10a)		퇴비사용량 (kg/10a)		질소기준사용시 (kg/10a)		인산기준사용시 (kg/10a)		인산기준사용시 부족 질소 보충 방법				
	질소, A	인산, B	질소기준	인산기준	인산투입량, C	C-B ^a	질소투입량, D	D-A ^b	헤어리베치	자운영	호밀	유박	쌀겨
벼	11	3	1100	200	16.5	13.5	2.0	-9.0	857	1,500	3,000	152	400
콩	3	10.4	300	693	4.5	-5.9	6.9	3.9	0	0	0	0	0
감자	10	8.8	1000	587	15.0	6.2	5.9	-4.1	394	689	1,378	70	184
고추	22.5	6.4	2250	427	33.8	27.4	4.3	-18.2	1,737	3,039	6,078	307	810
무	28.0	5.9	2800	393	42.0	36.1	3.9	-24.1	2,292	4,011	8,022	405	1,070
양파	24.0	7.7	2400	513	36.0	28.3	5.1	-18.9	1,797	3,144	6,289	318	839
상추	20.0	5.9	2000	393	30.0	24.1	3.9	-16.1	1,530	2,678	5,356	270	714
배	20.0	13.0	2000	867	30.0	17.0	8.7	-11.3	1,079	1,889	3,778	191	504

^aC-B: 인산 과부족량(+일 경우 과잉)

^bD-A: 질소 과부족량(-일 경우 부족)

라. 자연순환농업에서 질소 공급을 위한 녹비작물 작물 선발

(1) 두과 녹비작물

(가) 시험내용

○ 전남농업기술원 시험 포장에서 5가지 녹비작물 23품종에 대해서 생육조사를 실시하였고, 건물중과 양분함량을 조사하였다(표 31, 그림 52).

[표 31] 두과 녹비작물 선발 실험에 사용된 작물 및 품종



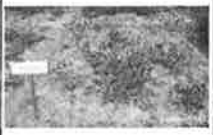











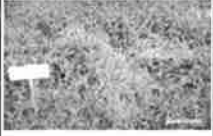
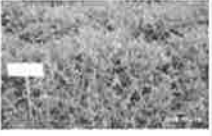




녹비 작물	품종
자운영(<i>Astragalus sinicus</i>)	1 품종: 중국산
크립스클로버(<i>Trifolium incarnatum</i>)	5 품종: Loty 13, Tibbee, Contea, Linkarus, Tardivo
완두콩(<i>Pisum sativum</i>)	3 품종: Livioletta, Austrian Pea, Langued
헤어리베치(<i>Vicia villosa</i>)	11 품종: W4712, Welta, Penn-02, Otsaat, Oregon com, Sander2, 헤이메이커, 카펠로, 이태리산, 마메초, K551
알팔파(<i>Medicago sativa</i>)	3 품종: Siriver, Surpass, N-breaka

○ 10월 중순에 각 품종별로 plot(1m×1m)을 설치하고 3kg 10a⁻¹ 수준으로 종자를 산파하였다. 시비량은 질소 5.0 kg 10a⁻¹, 인산 12.0 kg 10a⁻¹,加里 12.0 kg 10a⁻¹였다. 5월 초에 초장과 줄기 수를 조사하였고 식물체 시료를 채취하여 생초수량과 건초수량을 조사하였으며, 시료를 분쇄하여 질소 농도를 분석하였다.

(나) 두과 녹비작물의 생육 및 수량

○ 자운영은 발아불량, 저온, 습해 등으로 생육이 저조하여 초장이 12.9 cm였으며, 생초 및 건초 수량은 각각 239 kg 10a⁻¹와 53 kg 10a⁻¹에 불과하였다(표 32). 알팔파도 자운영과 유사하게 저온 및 습해로 생육이 저조하였는데, 초장은 18.3~25 cm였고 생초 및 건초 수량은 각각 128~175 kg 10a⁻¹와 50~89 kg 10a⁻¹였다.

○ 반면, 크립스클로버, 완두콩, 헤어리베치는 생육이 양호하였는데 품종간 차이가 있었다. 크립스클로버의 경우 Contea, Linkarus, Tardivo 품종의 생육이 타 품종보다 양호하여 건초 수량이 각각 493, 326, 282 kg 10a⁻¹였다. 완두콩의 경우 Austrian Pea와 Langued 품종의 건초 수량이 각각 321과 231 kg 10a⁻¹로 Livioletta 보다 높았다. 헤어리베치는 W4712, Welta, Penn-02, Oregon com, 카펠로 품종의 건초 수량이 각각 404, 395, 381, 407, 380 kg 10a⁻¹로 타 품종보다 높았다.

크림슨 클로버					
	Linkarus	Contea	Tibbee	Loty 13	
알팔파					
	Siriver	Surpass	N-breaka		
헤어리 베치					
	마메초	카펠로	헤이메이커	이태리산	Otsaat
					
	Oregon com	W4712	Sander 2	Welta	Penn-02
자운영					
	자운영				
완두콩					
	Livioletta	Austrian pea			

[그림 52] 두과 녹비 작물 재배 전경.

[표 32] 두과 녹비작물의 생육 및 수량

작물	품종	초장(cm)	m ² 당 줄기수	수량(kg 10a ⁻¹)	
				생초	건초
자운영	중국산	12.9	185	239	53
크림슨클로버	Loty 13	12.5	233	203	91
	Tibbee	21.5	292	204	138
	Contea	37.3	899	2,028	493
	Linkarus	25.3	1,350	2,766	326
	Tardivo	18.4	855	417	282
완두콩	Livioletta	28.2	185	498	130
	Austrian Pea	43.9	529	2,341	321
	Langued	47.8	855	383	231
헤어리베치	W4712	49.3	810	1,702	404
	Welta	45.4	810	2,188	395
	Penn-02	59.7	603	2,171	381
	Otsaat	50.3	651	1,273	211
	Oregon com	59.8	951	1,639	407
	Sander2	55.5	944	1,090	192
	헤이메이커	62.7	551	1,746	250
	카펠로	55.9	466	1,497	380
	이태리산	50.3	721	884	161
	마메초	52.8	588	1,495	242
	K551	71.6	355	446	146
알팔파	Siriver	23.5	348	175	72
	Surpass	18.3	411	128	89
	N-breaka	19.7	200	166	50

(다) 두과 녹비작물의 질소 흡수량

○ 생육이 우수한 크림슨클로버, 완두콩, 헤어리베치의 주요 품종의 질소 흡수량은 12.0~16.0 kg N 10a⁻¹였으며, 투입한 질소에 대한 흡수질소의 비율은 2.4~3.2였다(표 33).

○ 작물별로 비교하면 크림슨클로버의 Contea와 Linkarus 품종의 질소 흡수량은 모두 12.6 kg N 10a⁻¹였고 투입된 질소의 2.5배를 흡수하였고, 완두콩에서는 Austrian Pea의 질소흡수량이 14.0 kg 10⁻¹로 투입질소의 2.8배를 흡수하였다. 헤어리베치의 경우 W4712, Welta, Penn-02, Oregon com, 카펠로 품종의 질소흡수량이 각각 15.6, 13.2, 12.0, 16.0, 15.2 kg N 10a⁻¹였는데, 이는 각각 투입질소의 3.1, 2.6, 2.4, 3.2, 3.0배에 해당한다.

○ 따라서, 질소를 기준으로 두과 녹비작물 및 품종을 선정할 경우 Oregon com(헤어리베치) > W4712(헤어리베치) > 카펠로(헤어리베치) > Austrian Pea(완두콩) > Welta(헤어리베치) > Contea 또는 Linkarus(크림슨클로버)의 순서가 타당한 것으로 판단된다.

○ 전남지역의 경우 녹비작물 재배가 자운영에 편중되어 있지만, 자운영의 질소공급력이 낮기 때문에 화학비료를 30~50% 수준으로 시비하고 있는 현실을 고려하면 본 연구에서 제안한 바와 같이 타 작물 도입을 적극적으로 모색할 필요가 있다. 각 농가에서는 친환경농업 경작지의 조건과 작부체계, 친환경농산물 인증단계에 따라 다양한 녹비작물을 선택하여 재배할 수 있다.

[표 33] 두과 녹비작물의 질소 함량 및 흡수량

작물	품종	질소 함량(%)	질소 흡수량(kg N 10 ⁻¹)	흡수질소/투입질소
자운영	중국산	2.94	1.6	0.3
크림슨클로버	Loty 13	4.02	3.7	0.7
	Tibbee	3.41	4.7	0.9
	Contea	2.55	12.6	2.5
	Linkarus	3.85	12.6	2.5
	Tardivo	2.59	7.3	1.5
완두콩	Livioletta	4.03	5.2	1.0
	Austrian Pea	4.35	14.0	2.8
	Langued	2.65	6.1	1.2
헤어리베치	W4712	3.87	15.6	3.1
	Welta	3.35	13.2	2.6
	Penn-02	3.16	12.0	2.4
	Otsaat	3.85	8.1	1.6
	Oregon com	3.92	16.0	3.2
	Sander2	4.15	8.0	1.6
	헤이메이커	4.43	11.1	2.2
	카펠로	4.01	15.2	3.0
	이태리산	4.51	7.3	1.5
	마메초	4.58	11.1	2.2
	K551	3.01	4.4	0.9
알팔파	Siriver	3.71	2.7	0.5
	Surpass	3.79	3.4	0.7
	N-breaka	3.69	1.8	0.4

(2) 화분과 녹비 작물

(가) 시험내용


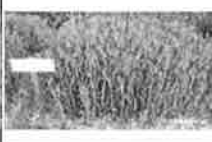















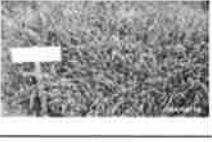
○ 전남농업기술원 시험 포장에서 5가지 녹비작물 18품종에 대해서 생육조사를 실시하였고, 건물중과 양분함량을 조사하였다(표 34, 그림 53).

[표 34] 두과 녹비작물 선발 실험에 사용된 작물 및 품종

녹비 작물	품종
보리(<i>Hordeum vulgare</i>)	10 품종: 수영, 새쌀, 새찰쌀, 건강, 큰알, 울, 선우, 호품, 남향, 진양
밀(<i>Triticum aestivum</i>)	1 품종: 금강
호밀(<i>Secale cereale</i>)	3 품종: 단코, Koolgrazor, 라이무기
귀리(<i>Avena sativa</i>)	3 품종: 울, K-오츠, 엔마크
이탈리안라이그라스(<i>Lolium multiflorum</i>)	1 품종: 코그린

○ 10월 중순에 각 품종별로 plot(1m×1m)을 설치하고 20kg 10a⁻¹ 수준으로 종자를 산파하였다. 시비량은 질소 5.0 kg 10a⁻¹, 인산 12.0 kg 10a⁻¹, 가리 12.0 kg 10a⁻¹였다. 5월 초에 초장과 줄기

수를 조사하였고 식물체 시료를 채취하여 생초수량과 건초수량을 조사하였으며, 시료를 분쇄하여 질소 농도를 분석하였다.

보리					
	수영보리	새쌀보리	새찰쌀보리	건강보리	큰알보리
밀					
	올보리	선우보리	남향보리	진양보리	호품보리
호밀					
	금강밀				
호밀					
	단코	Koolgrazor	엔마크		
귀리					
	올귀리	K-오츠	엔마크		
이탈리안 라이그라스					
	코그린				

[그림 53] 화분과 녹비 작물 재배 전경.

(나) 화분과 녹비작물의 생육 및 수량

○ 초장은 보리 57.5~69.3 cm, 밀 68.2 cm, 호밀 68.3~105.9 cm, 귀리 39.7~49.5 cm, 이탈리아그라스 59.3 cm로 작물간 차이가 뚜렷했다(표 35).

○ 건초수량은 보리 339(새찰쌀)~493(건강) kg 10a⁻¹, 밀 754 kg 10a⁻¹, 호밀 597(단코)~730(Koolgrazor) kg 10a⁻¹, 귀리 246(엔마크)~265(K-오츠) kg 10a⁻¹, 이탈리아라이그라스 912 kg 10a⁻¹로 이탈리아라이그라스의 수량이 가장 우수하였고, 밀과 호밀, 보리, 귀리의 순서였다.

[표 35] 화분과 녹비작물의 생육 및 수량

작물	품종	초장(cm)	m ² 당 줄기수	수량(kg 10a ⁻¹)	
				생초	건초
보리	수영	59.1	1,228	2,371	359
	새쌀	63.3	973	2,083	453
	새찰쌀	61.1	951	2,254	339
	건강	60.9	1,106	3,041	493
	큰알	68.0	869	3,546	477
	울	69.0	1,091	2,764	428
	선우	69.3	958	2,420	418
	호품	58.3	1,543	1,608	401
	남향	57.5	1,646	1,874	416
	진양	61.1	1,435	2,515	436
밀	금강	68.2	1,284	4,155	754
호밀	단코	68.3	718	3,889	597
	Koolgrazor	105.9	999	2,623	730
	라이무기	99.6	1,028	2,467	653
귀리	울	41.4	973	1,662	249
	K-오츠	39.7	1,243	1,716	265
	엔마크	49.5	703	1,482	246
이탈리안 라이그라스	코그린	59.3	1,724	2,668	912

(다) 화분과 녹비작물의 질소 흡수량

○ 질소흡수량은 보리 8.2(새찰쌀)~13.2(선우) kg N 10a⁻¹, 밀 17.6 kg N 10a⁻¹, 호밀 9.7(Koolgrazor)~14.4(단코) kg N 10a⁻¹, 귀리 7.9(엔마크)~9.5(K-오츠) kg N 10a⁻¹, 이탈리아라이그라스 36.7 kg N 10a⁻¹였다. 이는 각각 투입질소에 비해 보리 1.6~2.6배, 밀 3.5배, 호밀 1.9~2.9배, 귀리 1.6~1.9배, 이탈리아라이그라스 7.3배에 해당한다(표 36).

○ 따라서, 질소흡수량을 기준으로 판단하면 화분과 녹비작물 중 이탈리아라이그라스가 가장 우수하며 밀, 호밀, 보리의 순서였다.

○ 다수의 품종이 조사된 보리의 경우에는 선우 품종의 질소흡수량이 투입 질소의 2.6배로 가장 높았고 남향, 건강, 수영 보리가 상대적으로 우수한 것으로 판단되었다.

(3) 화분과/두과 혼파

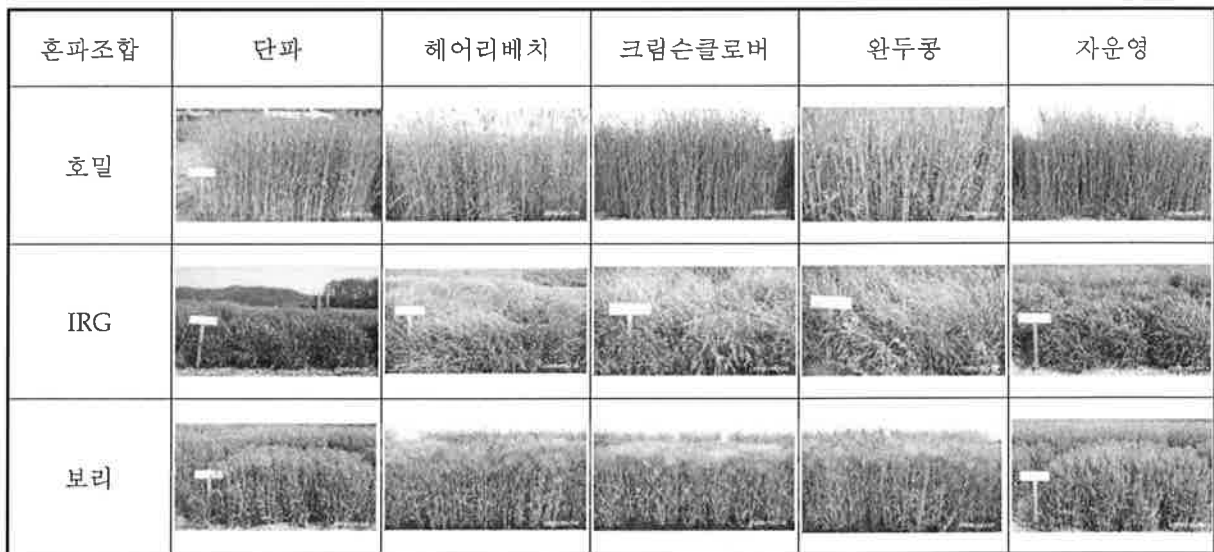
(가) 시험내용

○ 전남농업기술원 시험 포장에서 화분과 3작물(호밀, 이탈리아라이그라스, 보리)와 두과4작물(자운영, 크립슨클로버, 헤어리베치, 완두콩)을 7:3의 비율로 혼파하여 생육조사를 실시하였고, 건물중과 양분함량을 조사하였다(그림 54).

○ 10월 중순에 각 품종별로 plot(1m×1m)을 설치하고 20kg 10a⁻¹ 수준으로 종자를 산파하였다. 시비량은 질소 5.0 kg 10a⁻¹, 인산 12.0 kg 10a⁻¹, 가리 12.0 kg 10a⁻¹였다. 5월 초에 초장과 줄기수를 조사하였고 식물체 시료를 채취하여 생초수량과 건초수량을 조사하였으며, 시료를 분쇄하여 질소 농도를 분석하였다.

[표 36] 화분과 녹비작물의 질소 함량 및 흡수량

작물	품종	질소 함량(%)	질소 흡수량(kg N 10a ⁻¹)	흡수질소/투입질소
보리	수영	2.76	9.9	2.0
	새쌀	1.84	8.3	1.7
	새칼쌀	2.43	8.2	1.6
	건강	2.19	10.8	2.2
	큰알	1.89	9.0	1.8
	울	2.36	10.1	2.0
	선우	3.16	13.2	2.6
	호품	2.20	8.8	1.8
	남향	3.04	12.6	2.5
	진양	2.19	9.5	1.9
밀	금강	2.33	17.6	3.5
호밀	단코	2.42	14.4	2.9
	Koolgrazor	1.33	9.7	1.9
	라이무기	1.85	12.1	2.4
귀리	울	3.89	9.1	1.9
	K-오츠	3.59	9.5	1.9
	엔바크	3.23	7.9	1.6
이탈리안 라이그라스	코그린	4.02	36.7	7.3



[그림 54] 화분과/두과 혼파 녹비 작물 재배 전경

(나) 화분과/두과 혼파 녹비작물의 생육 및 수량

○ 호밀 단파에서 건초 수량은 700 kg 10a⁻¹였고, 완두콩과 혼파했을 때 건초 수량이 875 kg 10a⁻¹로 가장 높았으며, 헤어리베치 혼파 803 kg 10a⁻¹, 자운영과 크림슨클로버 780 kg 10a⁻¹의 순서였다(표 37).

○보리 단파의 건초 수량은 864 kg 10a⁻¹였지만, 헤어리베치 혼파구에서 975 kg 10a⁻¹, 완두콩 혼파구에서 906 kg 10a⁻¹로 증가하였다.

○이탈리안라이그라스의 경우에는 단파구에서 건초 수량이 923 kg 10a⁻¹였으며 혼파에 의한 수량 증대 효과가 크지 않았다.

[표 37] 화분과/두과 혼파 녹비작물의 생육 및 수량

화분과	두과	초장(cm)	m ² 당 줄기수	수량(kg 10a ⁻¹)	
				생초	건초
호밀	없음	115	858	2,330	700
	자운영	122/35	1,036/41	2,395	780
	완두콩	124/58	792/96	2,605	875
	크림슨클로버	116/33	914/70	2,162	780
	헤어리베치	120/77	1,036/59	2,598	803
보리	없음	98	1,006	3,702	864
	자운영	96/39	799/44	2,979	619
	완두콩	91/66	803/70	3,199	906
	크림슨클로버	100/45	673/152	3,539	759
	헤어리베치	87/77	670/74	3,765	975
이탈리안 라이그라스	없음	90	2,057	3,976	923
	자운영	91/35	2,175/22	3,031	928
	완두콩	87/61	2,131/59	3,770	829
	크림슨클로버	83/42	2,164/63	3,743	758
	헤어리베치	83/65	2,157/74	3,737	945

(다) 화분과/두과 혼파 녹비작물의 질소 흡수량

○호밀 단파구의 질소흡수량은 9.5 kg N 10a⁻¹였지만, 혼파에 의해 질소흡수량이 증가하였다. 특히 호밀-완두콩 혼파구의 질소흡수량은 17.4 kg N 10a⁻¹로 투입질소의 3.5배에 해당했다(표 38). 보리의 경우에는 보리-완두콩 혼파구와 보리-헤어리베치 혼파구의 질소흡수량이 각각 21.9 kg N 10a⁻¹와 21.6 kg N 10a⁻¹였는데, 이는 각각 질소투입량의 4.4배와 4.3배에 해당한다. 반면 이탈리안라이그라스의 경우에는 단파구의 질소흡수량이 20.4 kg N 10a⁻¹로 가장 높았는데, 이는 투입질소량의 4.1배에 해당한다.

○따라서, 이탈리안라이그라스는 단파가 유리한 것으로 나타났으며, 혼파 효과가 가장 높은 것은 호밀-완두콩이었다. 보리를 재배할 경우에는 완두콩이나 헤어리베치를 혼파할 경우 질소흡수량이 증가될 수 있는 것으로 나타났다.

[표 38] 화분과/두과 혼파 녹비작물의 질소 함량 및 흡수량

화분과	두과	질소 함량(%)	질소 흡수량(kg N 10 ⁻¹)	흡수질소/투입질소
호밀	없음	1.36	9.5	1.9
	자운영	1.24	9.7	1.9
	완두콩	1.99	17.4	3.5
	크림슨클로버	1.86	14.5	2.9
	헤어리베치	1.83	14.7	2.9
보리	없음	1.86	16.1	3.2
	자운영	2.57	15.9	3.2
	완두콩	2.42	21.9	4.4
	크림슨클로버	2.08	15.8	3.2
	헤어리베치	2.22	21.6	4.3
이탈리안 라이그라스	없음	2.21	20.4	4.1
	자운영	2.04	18.9	3.8
	완두콩	2.21	18.3	3.7
	크림슨클로버	2.46	18.6	3.7
	헤어리베치	1.78	16.8	3.4

마. 자연순환농업 시스템의 양분순환구조 분석 및 최적운영방안

(1) 총채벼/보리-한우 농가에 대한 사례연구

(가) 연구개요

○본 연구는 전라남도 영암군 도포면에 위치한 경종-한우 농가를 대상으로 2006년에 수행되었다. 대상 농가의 한우 사육두수는 100두이며 사료 생산을 위한 경지 면적은 2.5 ha였다(그림 55).



<우사 전경>



<조사료 포장 전경>

[그림 55] 우사 및 조사료 포장 전경.

○양분순환구조는 사료→분뇨→퇴비→토양→사료의 단계별로 질소와 인산에 대해서 조사하였다. 사료 급여량은 두당 1일 급여 사료 종류(조사료 및 농후사료) 및 양, 사료의 수분 및 양분 함량을 조사하여 농가에서 사육되고 있는 100두에 급여되는 사료 중 질소와 인산 함량을 연단위로 계산하였다. 가축분뇨에 의한 양분 발생량은 농촌진흥청(2006)의 축종별 양분배설총량에 대한 “가축단위 기준안 보고” 자료를 이용하였다.

○현재 농가에서 자가 퇴비를 생산할 때 가장 많이 이용되는 깔개물질은 톱밥과 왕겨이기 때문에 퇴비를 중심으로 한 양분순환구조는 톱밥과 왕겨 퇴비에 대해 각각 분석하였다. 이를 위해, 한우 30두를 수용할 수 있는 우사 2개소에 각 깔개물질 3톤(습윤 기준)을 투입한 후 우사 1개소 당 한우 30두를 사육하였다. 21일 후 분뇨와 깔개 혼합물질을 우사 밖으로 이동하여 비가림 조건에서 90일간 퇴비화 시켰다. 퇴비화 방법을 간략하게 소개하면 전체 퇴비 더미의 규모는 톱밥퇴비가 1.6 m (높이)×2.8 m (너비)×4.2 m (길이), 왕겨퇴비가 각각 1.6 m×2.7 m×3.8 m 였다. 퇴비 더미는 20일 간격으로 교반하였고 교반시 마다 충분한 수분을 공급하였다. 퇴비화 전의 분뇨 혼합물과 퇴비화 후의 퇴비 습윤 중량을 측정하고 시료를 채취하여 건조하여 건물중을 계산하였으며, 건조 시료에 대해 질소와 인산 함량을 분석하였다.

○완성 퇴비는 2006년 5월에 10 m × 10 m 면적의 시험 농경지에 질소 기준(110 kg N ha⁻¹)으로 시용하여 총채벼(남일벼, 재식밀도 30×14 cm)를 재배하였다. 벼 수확 후 동일 수준의 퇴비를 투입하여 총채보리(영양보리, 파종량 20 kg 10 a⁻¹)를 재배하였다. 수확된 총채벼와 총채보리에 대해 생체중과 질소 및 인산 흡수량을 조사하였다. 모든 양분순환구조는 해당 농가의 한우 사육두수(100 두)와 경작지 면적(2.5 ha)를 기준으로 환산하여 분석하였다.

○ 깔개물질, 퇴비, 사료작물의 건물중은 시료를 65℃의 가열건조기에서 72시간 건조한 후 수분 함량을 산출하여 조사하였다. 퇴비의 질소함량은 휘발성 질소의 손실을 방지하기 위해 동결건조기(FREEZE DRYER, Ilshin-lab, korea)로 건조하여 불밀(MM20, Retsch, Germany)로 곱게 분쇄한(<0.42 mm) 후 원소분석기(IsoPrime-EA, Micromass, UK)로 분석하였다(Bremner, 1996).

○ 깔개물질과 사료작물은 가열건조기에서 건조하여 같은 방법으로 분쇄한 후 원소분석기로 분석하였다. 각 시료의 인산(P_2O_5)함량은 HNO_3-HClO_4 로 산분해한 후 Ammonium paramolybdate- vanadate법으로 발색시켜서 분광광도계(Genesys 6, Thermo, USA)를 이용하여 470 nm에서 흡광도를 측정하여 계산하였다(Kuo, 1996).

(나) 사료에 의한 양분 투입량

○ 한우의 두당 1일 사료 급여량은 볏짚이 2.47 kg, 총체조사료 2.19 kg, 라이그라스 0.27 kg, 농후사료 5.99 kg이었으며, 이를 연간 100두 기준으로 환산하면 조사료와 농후사료 급여량은 각각 178.0톤과 218.7톤으로 계산되었다(표 39). 이와 같은 급여량은 Kim(2004) 등이 홍성군을 대상으로 전체 한우 사육두수(27,921두)에 대한 조사료 및 농후사료 급여량 조사 결과를 이용하여 계산한 연간 100 두당 급여량인 136.4톤과 321.3톤과 유사하였다. 사료 급여량을 양분함량으로 환산하였을 경우 질소와 인산에 대해 각각 볏짚이 443 kg과 285 kg, 총체조사료가 474 kg과 281 kg, 라이그라스가 143 kg과 62 kg, 농후사료가 4,767 kg과 2,685 kg으로 조사되었으며, 양분의 연간 전체 투입량은 질소가 5,827 kg 인산이 3,313 kg이었다(표 39).

[표 39] 연구대상 농가의 사료 급여를 통한 양분 투입량

사료	급여량		양분 함량(%)		사료 급여에 의한 연간 양분투입량 (kg/100en)	
	일(kg/두)	연간(kg/100 두)	질소(N)	인산(P_2O_5)	질소(N)	인산(P_2O_5)
볏짚	2.47	90.2	0.49	0.32	443	285
총체사료	2.19	79.9	0.59	0.35	474	281
라이그라스	0.27	9.9	1.45	0.63	143	62
농후사료	5.99	218.7	2.18	1.23	4,767	2,685
Total	10.9	398.7	-	-	5,827	3,313

(모든 자료는 습윤 사료 기준임.)

(다) 분뇨와 깔개물질에 의한 양분 발생량

○ 분뇨 원단위 발생량은 과거부터 지속적으로 조사되고 있기 때문에 가급적 최신의 원단위 자료를 활용하는 것이 타당하다. 2008년 10월 현재 축산과학원에 문의한 결과 최신의 원단위 조사는 현재 진행 중이기 때문에 연구대상 농가에서 1년 동안 한우 100두를 사육하는 과정에서 발생하는 양분의 총량은 농촌진흥청(2006)의 축종별 양분배설총량에 대한 “가축단위 기준안 보고” 자료를 이용하여 계산하였다. 분뇨 원단위 발생량은 축종은 물론 생육단계와 급여 사료의 종류에 따라 달라지기 때문에 본 연구에서 제시한 양분 발생량은 실제 발생량과 차이를 보일 수 있다. 하지만, 본 연구의 목적은 단순한 양분수지 분석이 아니고 톱밥과 왕겨를 깔개물질로 사용했을 때 깔개물질의 종류에 따른 양분순환구조 변동이기 때문에 양분 발생량이 상호 동일

할 경우 결과 해석에 큰 무리가 없는 것으로 판단된다.

○ 농촌진흥청(2006)의 축종별 양분배설총량에 대한 “가축단위 기준안 보고” 자료에 의하면 한우의 질소 원단위 발생량은 $112 \text{ g head}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 이며, 인산 원단위 발생은 $32 \text{ g head}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 이다. 이를 이용하여 농가의 한우 사육두수인 100두에 대한 연간(365일) 질소와 인산 발생량을 계산한 결과 각각 4,088 kg과 1,168 kg이었다(표 40). Kim(2004)이 홍성군을 대상으로 수행한 연구 결과를 100 두로 환산하면 질소와 인산 발생량은 각각 약 1,991 kg과 931.2 kg이었는데, 본 연구 결과와 비교하면 인산 발생량은 유사했지만 질소 발생량은 2배 이상 높았다. 이는 본 연구가 농림부(MAF, 2000)에서 제시한 양분 원단위 발생량 이용하는 대신 보다 최근에 제시된 원단위 발생량을 이용한 결과로 판단된다.

○ Kim 등(2001)이 국내에서 발생하는 양분함량을 조사하여 양분순환모델을 제시한 결과에 의하면, 전국의 재배작물 시비기준을 고려하여 필요한 질소와 인산의 총요구량이 279,884톤, 140,464톤일 때 가축분뇨로부터 발생하는 비료성분량이 질소 222,331톤, 인산 64,716톤으로 작물의 비료성분 요구량과 비교하면 질소의 경우 요구량의 86.7%, 인산은 53.6%를 가축분뇨퇴비로 대체할 수 있다고 하였다. 본 연구 대상 농가의 경지면적(2.5 ha)에서 벼를 재배할 경우 (시비량 110 kg N ha^{-1} , $45 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) 필요 질소와 인산량은 각각 275 kg과 112.5 kg으로 계산되며, 벼와 보리 2모작일 경우에는 약 550 kg과 225 kg이 요구된다. 따라서, 본 농가에서 발생하는 분뇨에 의한 질소와 인산의 발생량은 각각 필요량의 7.4배와 5.2배로 나타났기 때문에 외부로의 분뇨 또는 퇴비 반출이 필요할 것으로 판단된다.

[표 40] 연구대상 농가에서 분뇨에 의해 발생하는 양분 총량

양분	한우의 양분발생원단위(g/두/일) [†]	연간양분발생총량(kg/100두/년)
질소(N)	112	4,088
인산(P ₂ O ₅)	32	1,168

[†] (농촌진흥청, 2006).

○ 지금까지의 자연순환농업 시스템내 양분순환 분석 연구에서 톱밥과 왕겨와 같은 깔개물질의 기여도를 조사한 경우는 매우 드물다. 본 연구에서 깔개물질인 톱밥과 왕겨의 100두 기준 연간 투입량은 톱밥이 173.8톤 이며, 왕겨는 173.8톤 이었다(표 41). 또한 이를 양분으로 환산하였을 경우 톱밥에 의한 질소와 인산 투입량은 각각 66 kg과 36 kg 이었으며, 왕겨는 각각 584 kg과 320 kg 으로 조사되었다(표 41). 이를 분뇨에 의한 양분 발생량과 비교하면 톱밥의 경우 질소는 1.6%, 인산은 3.1%, 왕겨의 경우는 각각 14.2%와 27.4%에 해당한다. 따라서, 깔개물질로 왕겨를 사용하는 자연순환농업시스템의 양분순환구조 분석을 위해서는 왕겨에 의한 질소와 인산 공급량을 고려할 필요가 있음을 알 수 있다.

[표 41] 연구대상 농가에서 깔개물질에 의해 투입되는 연간 양분 총량

깔개물질	연간투입량 (톤/100두)	양분함량(%)		연간양분투입량(kg/100두)	
		질소(N)	인산(P ₂ O ₅)	질소(N)	인산(P ₂ O ₅)
톱밥	173.8	0.038	0.021	66	36
왕겨	173.8	0.336	0.184	584	320

(모든 자료는 습윤 사료 기준임.)

(라) 퇴비화 과정 중 양분 변동 및 완성 퇴비 중 양분 함량

○가축분뇨 발생시점(깔개물질 투입에 의한 양분 공급과 21일간 사육기간동안 배설된 분뇨에 의한 양분 발생)에서의 질소와 인산의 함량은 톱밥 깔개물질의 경우 각각 4,154 kg과 1,204 kg 이었고, 왕겨의 경우는 각각 4,672 kg과 1,488 kg으로 왕겨를 깔개물질로 사용했을 때 양분 발생량이 많았는데(표 42), 이는 톱밥보다 왕겨의 질소와 인산함량이 높기 때문이다(표 41). 분뇨와 깔개물질 혼합물의 퇴비화를 위해 야적한 시점의 건물중은 톱밥 퇴비가 140톤, 왕겨퇴비가 103 톤으로 왕겨 투입 축사에서 유기물 분해가 더 빠르게 일어났다. 또한, 퇴비화를 위한 야적 시점에서의 질소와 인산 함량은 톱밥퇴비에서 각각 1,332 kg과 1,142 kg이었고, 왕겨퇴비에서 각각 991 kg과 1,403 kg이었다. 이를 초기 질소와 인산함량과 비교하면 톱밥퇴비의 경우 초기 질소와 인산의 67.9%와 5.1%가 손실되었으며, 왕겨퇴비에서의 손실률은 각각 78.8%와 5.7%로 왕겨퇴비에서의 양분 손실률이 많았다. 이는 우사 내에서 최장 21일간 분뇨와 깔개물질을 방치하는 기간 동안의 손실에 의한 결과로 판단된다(Larney와 Hao, 2007).

퇴비화 90일 후 퇴비에 함유된 질소의 함량은 톱밥과 왕겨퇴비에서 가축분뇨 발생시점 기준으로 질소는 각각 78.4%와 81.6%가 손실된 것으로 나타났다. 반면, 인산의 경우 톱밥퇴비와 왕겨퇴비에서의 손실률이 각각 9.5%와 10.3%로 질소에 비해 손실률이 낮았다. 그 결과 최종적으로 농가에서 이용할 수 있는 퇴비의 건물중은 톱밥퇴비의 경우 86톤, 왕겨퇴비는 70톤이었으며 각각의 질소 및 인산 함량은 톱밥퇴비의 경우 895 kg과 1,089 kg이었고, 왕겨퇴비는 859 kg과 1,335 kg이었다(표 42).

[표 42] 연구대상 농가에서 축사 및 퇴비화 과정 중 양분 총량 변화

퇴비유형	축사내(kg) [†]		퇴비 더미 완성 시점(kg)			최종 퇴비(kg)		
	질소(N)	인산(P ₂ O ₅)	건물무게(톤)	질소(N)	인산(P ₂ O ₅)	건물무게(톤)	질소(N)	인산(P ₂ O ₅)
톱밥퇴비	4,154	1,204	140	1,332 (67.9)	1,142 (5.1)	86	895 (78.4)	1,089 (9.5)
왕겨퇴비	4,672	1,488	103	991 (78.8)	1,403 (5.7)	70	859 (81.6)	1,335 (10.3)

[†] 가축사육기간 중 분뇨에 의한 양분발생량 및 투입 깔개물질 중 양분량의 합

[‡] 괄호 안의 값은 축사내 초기 값에 대한 백분율.

○ 이와 같이 퇴비화 과정 중 질소 손실은 기존의 연구와 일치하는데, Michel 등(2004)은 젖소 분뇨의 퇴비화과정 중 톱밥퇴비의 경우 8~26%, 밀짚퇴비의 경우 15~43%의 질소 손실이 일어

났다고 보고하였다. 분뇨 야적 및 퇴비화 과정 중 질소손실은 대부분 암모니아 휘산에 의한 결과로 보고된다(Larney 등, 2006). 한편, Larney 등(2006)은 인산의 경우 퇴비 더미 중 이동성이 낮아 질소에 비해 손실률이 낮다고 보고하였다. 이와 같이 가축분뇨 발생 시점부터 완성퇴비까지의 시간 동안 상당한 질소 손실이 발생했으며, 질소 손실량은 깔개물질에 따라 차이가 있었다. 따라서, 향후 농업분야에서 양분순환 또는 양분수지 분석을 위해서는 이와 같은 질소 손실을 고려할 필요가 있는 것으로 판단된다.

○본 연구에서는 왕겨퇴비보다 톱밥 퇴비에서의 물질과 양분 손실률이 더 큰 것으로 조사되었는데, 이와 같은 깔개 물질에 의한 차이는 깔개 물질의 C/N비와 유기물의 분해 저항성과 관련된다(Michel 등, 2004). 본 연구와 병행해서 진행된 Kim 등(2008)의 조사에 의하면 톱밥과 왕겨의 C/N비는 각각 1,268과 102로 톱밥의 C/N비가 10배 이상 높고 톱밥은 난분해성인 리그닌 함량이 높아서 톱밥 퇴비의 퇴비화 속도가 왕겨 퇴비에 비해 상대적으로 느리게 진행되고 하였다. 왕겨 퇴비와 같이 유기물의 분해가 빠른 속도로 진행될 경우 가급적 질소와 인산의 농도가 증가하여 양분 손실률이 상대적으로 증가할 수 있는 것으로 판단된다.

(마) 총체사료 작물의 양분흡수량

○완성퇴비의 농경지(2.5 ha) 시용(질소 110 kg N ha⁻¹ 기준 시용, 총체 벼와 보리 2작)에 의해 질소 550 kg이 투입되었으며 인산은 톱밥퇴비 투입에 의해 669 kg, 왕겨퇴비 처리에 의해 561 kg이 토양에 투입되었다. 전반적으로 총체벼의 생체중이 총체보리 보다 높았으며, 그 결과 질소와 인산의 흡수량도 총체벼가 많았다(표 43).

○왕겨퇴비 처리구의 질소 흡수량은 916.2 kg으로 톱밥퇴비 처리구의 764.2 kg 보다 높았는데(표 43), 이는 톱밥 퇴비보다 왕겨 퇴비에 함유된 양분의 유효도가 더 높음을 의미한다(Larney 등, 2008). 톱밥과 왕겨퇴비 처리구에서 투입된 질소보다 각각 약 214 kg과 366 kg 더 많은 양의 질소가 작물에 의해 흡수되었는데, 이는 퇴비에 의해 투입된 질소의 이용도가 매우 낮음을 의미한다(Choi 등, 2002). 예를 들면 Choi 등(2001)은 비료 흡수력이 큰 옥수수를 대상으로 한 실험에서 퇴비 중 무기태 질소가 모두 흡수된다는 가정 하에 퇴비의 질소 흡수율이 50% 내외로 보고한 바 있다. 토양에서 질소의 동역학은 매우 다양한데, 강우에 의해서 질소가 유입될 수도 있으며, 암모니아 휘산, 질산염 용탈 및 탈질에 의한 손실도 발생한다(Choi 등, 2007). 예를 들면, Kwak 등(2008)은 우리나라 서해안 지역에서 강우에 의한 연간 NH₄⁺과 NO₃⁻의 유입량을 각각 6.4 kg ha⁻¹과 10.2 kg ha⁻¹로 추정된 바 있다. 따라서, 투입된 퇴비에 의한 질소 공급량 보다 많은 질소가 작물에 의해 흡수된 것은 토양 고유의 질소와 강우에 의해 유입된 질소의 흡수에 의한 것으로 판단된다.

○인산의 경우 톱밥과 왕겨퇴비 처리구의 작물 흡수량이 각각 263.6 kg과 294.2 kg 이었는데, 이는 시용된 퇴비 중 인산함량인 669 kg과 855 kg보다 약 3배 정도 적은 양이다(표 43). 인산의 낮은 이동성을 고려하면 흡수되지 않은 인산은 토양에 잔류할 가능성이 매우 높다. 따라서 현재와 같은 퇴비 이용 조건에서는 토양 중 인산 축적량이 지속적으로 증가하여 작물 양분 불균형 및 환경오염 등의 문제가 우려 되며 이를 해결하기 위해서는 퇴비화 과정 중 발생하는 질소 손실을 경감하여 퇴비 중 질소 함량을 적정 수준으로 유지함으로써 토양에 투입되는 인산 함량을 감소시킬 수 있는 방법 개발이 필요하다. 또한, 퇴비를 작물의 인산 요구량 기준으로 시용하고 부족한 질소는 타 질소원의 공급으로 균형을 맞추는 방안도 모색할 필요가 있다(Eghball과 Power, 1999; Eghball, 2002).

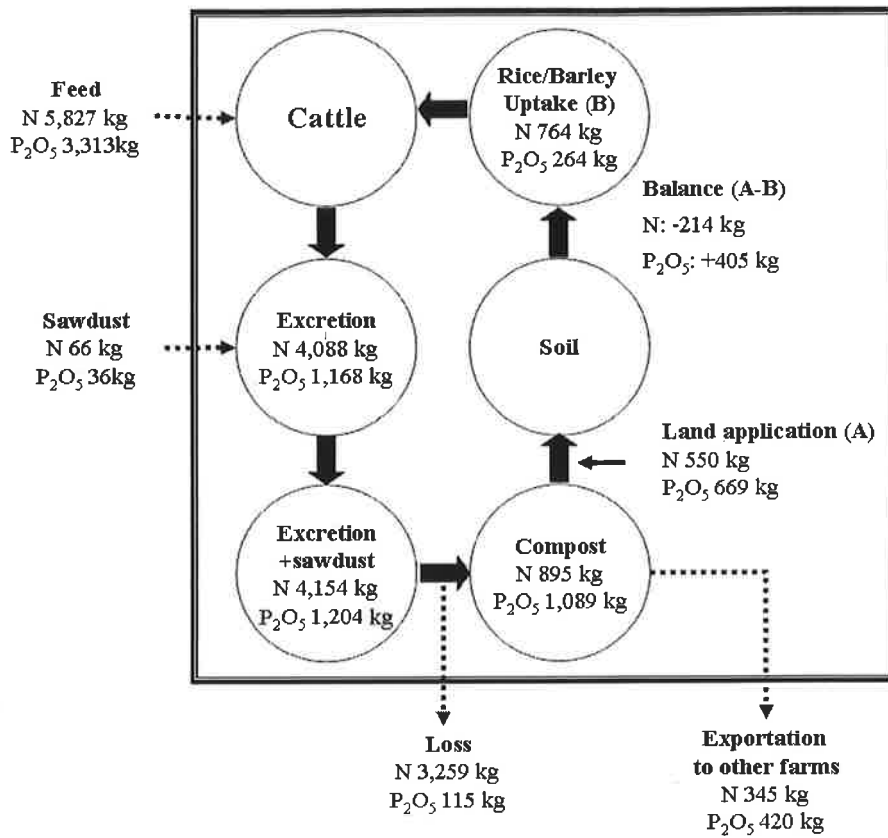
[표 43] 연구대상 농가에서 총체벼와 보리의 수량 및 양분 흡수량

퇴비유형	생체량(톤/2.5ha)			질소흡수량(kg N/2.5ha)			인산흡수량(kg P ₂ O ₅ /2.5ha)		
	벼	보리	계	벼	보리	계	벼	보리	계
톱밥퇴비	89.5	42.1	131.6	547.7	216.5	764.2	199.6	64.0	263.6
왕겨퇴비	94.5	48.4	142.9	632.2	284.0	916.2	218.3	75.9	294.2

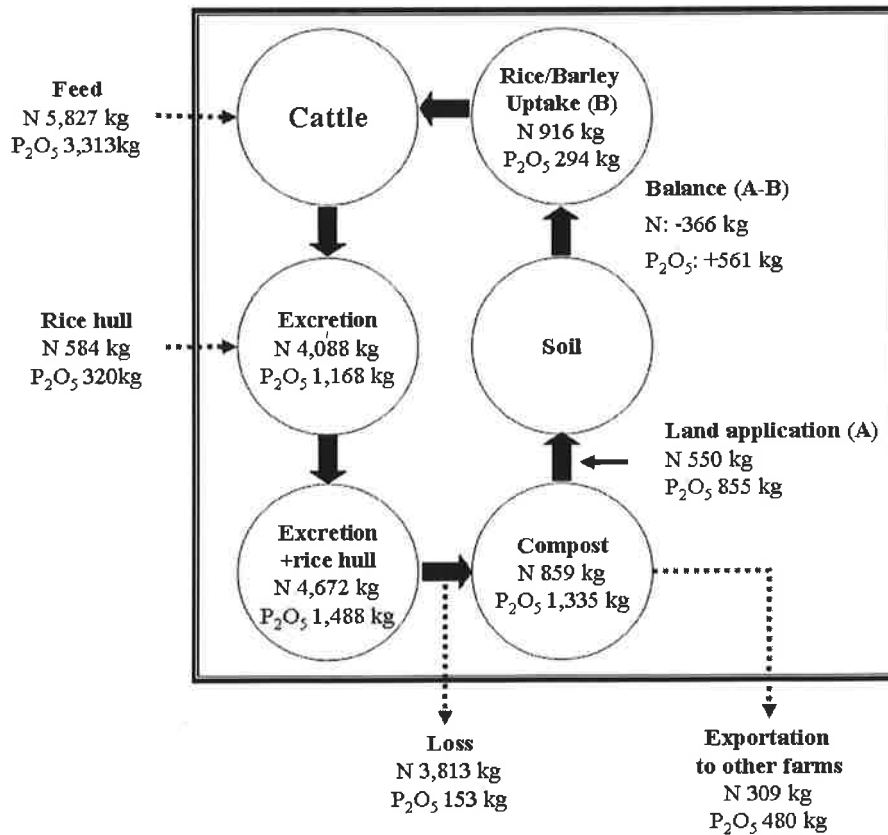
(바) 양분순환구조

○그 동안 지역내의 자연순환농업에 대한 연구가 다수 수행 되어왔으며 다양한 양분순환모델이 개발되었다(Kim과 Kang, 2002; Kim과 Kim, 2003). 하지만 본 연구에서 제시한 바와 같이 퇴비화 과정에서 수반되는 다양한 양분 수지변화를 반영하지 못한다는 단점이 있다. 본 연구에서는 대상 농가의 사료→가축→분뇨→퇴비→토양→사료로 연결되는 연간 양분순환구조를 톱밥퇴비(그림 56a)와 왕겨퇴비(그림 56b)로 구분하여 조사하였다. 퇴비 종류별 큰 차이가 없이 분뇨(양분) 발생량과 경지면적의 불균형에 의해 일부 퇴비는 외부로 반출되었는데 톱밥퇴비의 경우 전체 발생 양분(질소 4,154 kg, 인산 1,204 kg) 중 질소 8.3%와 인산 34.9%가 외부로 반출되었다. 왕겨 퇴비의 경우는 그 비율이 각각 6.6%와 32.3%였다. 하지만, 우사내 야적 기간 및 퇴비화 과정 중 손실된 질소의 비율은 톱밥 퇴비에서 78.4%, 왕겨퇴비에서 81.6%로 인위적인 외부 반출량보다 많았다. 반면, 인산의 경우 야적 및 퇴비화 기간 중 손실된 비율이 각각 9.5%와 10.3%로서 외부 반출 비율보다 낮았다.

○이상의 양분순환구조 분석 결과를 이용하여 최종 완성퇴비 중 질소함량, 총체사료의 질소소비량, 보유경지면적을 근거로 대상 농가의 적정 사육두수와 경지면적을 제안할 수 있었다. 현재의 경지면적이 수용 가능한 한우 사육두수는 톱밥퇴비의 경우 61두, 왕겨퇴비의 경우 64두이며, 현 사육두수를 유지하기 위해 필요한 추가 경지 면적은 톱밥퇴비의 경우 1.6 ha, 왕겨퇴비의 경우 1.4 ha였다. 이와 유사한 방식으로 지역내의 양분순환구조를 이용하여 적정 사육두수를 제안한 일부 연구가 보고된 바 있다. 예를 들면 Yoon(2005)은 충청남도 아산시의 지역내 조사료 총생산량을 기준으로 두당 1일 사료 급여량이 5 kg(농후사료 3 kg + 조사료 2 kg)일때 사육가능 두수를 1,347두로 제안한 바 있다. 또한, Kim(2006)은 2002년 홍성군을 모델로 농경지 질소투입량을 이용하여 적정사육두수를 제안하였는데, 지역 농경지의 전체 질소요구량이 3,136톤일 경우 질소 37,557두(연간 두당 질소 83.5 kg 배출 가정)를 수용할 수 있다고 하였다. 하지만, 이와 같은 연구는 깔개물질에 의한 양분 투입량 증가, 퇴비화 과정 중 양분 손실 등 양분순환과정에서 발생하는 양분 변동을 고려하지 않고 분뇨에 의한 양분 발생량을 우선적으로 고려한 면에서 본 연구와 차이가 있다.



(a)



(b)

[그림 56] 연구대상 농가의 퇴비 중심 양분순환구조: (a) 톱밥퇴비의 경우 (b) 왕겨퇴비의 경우.

(2) 전남대학교 부속 자연순환번식우 농장에 대한 사례연구

(가) 연구개요

○ 전남대학교 부속 자연순환번식우 농장을 대상으로 앞의 일반 농가와 동일한 방식으로 양분순환구조를 분석하였으며, 결과를 바탕으로 양분순환구조 개선 방안을 제안하였다.

(나) 양분발생 및 조사료 생산 현황

○ 2009년 7월 현재 시범농장의 한우사육두수는 75두로서 농촌진흥청(2006)의 양분발생 원단위를 적용하면 연간 양분 발생량은 질소가 3,066kg 인산이 876kg이 발생하는 것으로 추정된다(표 44). 분뇨의 축사내 방치 및 퇴비화 과정 중 질소 손실률 50%와 인산 손실률 10%를 적용하면 연간 이용가능 양분총량은 질소 1,533kg 인산 788kg이었다.

[표 44] 시범농장의 연간 분뇨 및 양분 발생량

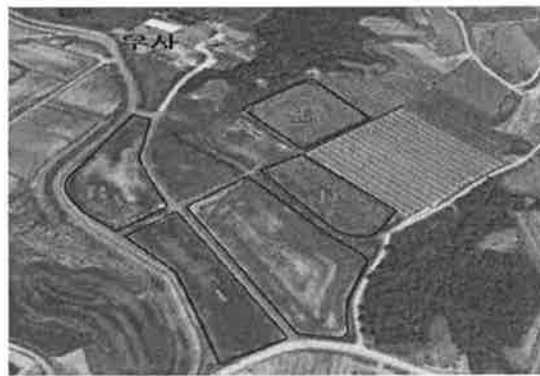
한우 ^a 두수	양분 원단위 발생량 ^b (g/두/일)		연간 양분 발생량 (kg/년)		연간 이용가능 양분 총량 ^c (kg/년)	
	질소(N)	인산(P ₂ O ₅)	질소(N)	인산(P ₂ O ₅)	질소(N)	인산(P ₂ O ₅)
75	112	32	3,066	876	1,533	788

^a비육우: 19두, 번식우: 32두, 육성우: 24두

^b농촌진흥청(2006), 가축단위 기준안 보고.

^c발생 양분 중 질소의 50%, 인산의 90% 이용 가능으로 가정.

○ 시범농장의 조사료 생산 포장은 5개(A, B, C, D, E, 그림 3)로서 각각의 면적 A 0.57ha, B 0.57ha, C 1.27ha, D 0.59ha, E 0.60ha였으며 총 면적은 3.6ha였다(그림 57).



[그림 57] 시범농장의 조사료 생산 포장 배치도(한국토지정보시스템).

○ 퇴비와 액비를 사용하여 2008년 5월~10월 기간 동안 수단그라스, 2008년 10월~2009년 5월 동안은 이탈리아안그라스를 재배하였다(표 45)

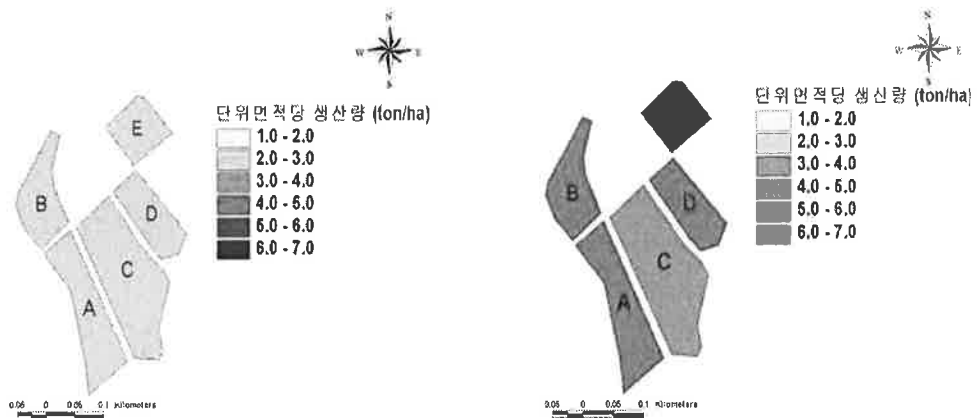
[표 45] 조사료(수단그라스, S×S; 이탈리아라이그라스, IRG) 생산을 위한 연간 양분 투입량

작부 기간	조사료	퇴비/액비 투입량			양분투입량			
		종류	단위면적당 (톤/ha)	총량 (톤)	N		P ₂ O ₅	
					단위면적당 (kg/ha)	총량 (kg)	단위면적당 (kg/ha)	총량 (kg)
2008.5~2008.10	S×S	퇴비	11	39	283.1	1,019.2	304.0	1,094.4
2008.10~2009.5	IRG	액비	94	338	264.7	952.9	25.5	91.8
계			113	407	547.8	1,972.1	333	1,186.2

○수단그라스 포장의 단위면적당 평균 건물 생산량은 2.5ton ha⁻¹였고 총 건물 생산량은 9.0ton 이었다(표 46). 이탈리아그라스의 단위면적당 평균 건물 생산량은 4.7ton ha⁻¹였고 총 건물 생산량은 25.1ton이었다. 수단그라스 재배기간 동안 극심한 가뭄에 의해 전반적으로 수량이 균일하게 낮았으며, 이탈리아그라스는 포장간 변이가 뚜렷했다(그림 58).

[표 46] 시범농장의 조사료 생산량

작부 기간 (조사료)	포장	조사료 생산량	
		단위면적당 생산량 (건물, ton ha ⁻¹)	총생산량 (건물, ton)
2008.5~10 (수단그라스)	A	2.9	1.6
	B	2.3	1.3
	C	2.8	3.5
	D	2.1	1.2
	E	2.3	1.4
	평균/소계	2.5	9.0
2008.10~2009.5 (이탈리아그라스)	A	4.5	2.5
	B	4.7	2.7
	C	3.6	4.5
	D	4.8	2.8
	E	6.1	3.6
	평균/소계	4.7	16.1
계		-	25.1



수단그라스: 2008.5~10

이탈리아그라스: 2008.10~2009.5

[그림 58] 시범농장의 조사료 생산 포장의 단위면적당 생산성.

(다) 양분발생 및 조사료 생산을 기준으로 한 양분수지 분석

○ 이용가능 질소 총량을 기준으로 시범농장에서 경작 가능한 사료포장 면적을 계산한 결과 3.6ha였는데, 이는 현재 시범농장의 사료포장 면적(3.8ha)와 매우 유사하였다(표 47). 따라서, 시범농장은 분뇨 퇴비를 이용한 사료생산에 매우 적합한 가축두수와 포장면적을 보유하고 있는 것으로 판단된다.

[표 47] 이용가능 양분(N) 발생기준 경작 가능 포장 면적

연간이용가능질소 (kg)	단위면적당 질소권장시비량 (kg ha ⁻¹) ^a	경작 가능 포장 면적 (A, ha)	현 포장 면적 (B, ha)	A/B
1,533	400	3.6	3.8	0.94

^a 2작 기준(1작 200 kg ha⁻¹)

○ 2008년 5월~2009년 5월 동안 생산된 조사료의 TDN 수량을 기준으로 한 급여가능 두수를 산정하기 위해 두당 연간 조사료 TDN 요구량을 축산과학원(2007)의 한우사양표준에 의거 계산한 결과 1,095kg이었다(표 48). 동일 기간 동안 시범농장에서 생산한 조사료 TDN 수량은 17,570kg으로 급여가능 두수는 16두에 불과하였다. 따라서, 본 시범농장에서 75두를 모두 급여하기 위해서는 연간 추가 요구 TDN 수량은 82,125kg이었고 사료의 TDN 비율을 70%로 가정할 경우 건물 기준으로 92,221kg의 조사료(청보리, 벳짚 등)를 외부로부터 구매해야 되는 것으로 나타났다(표 49).

[표 48] 조사료 생산량을 기준으로 한 적정 사육두수 산정 기준(축산과학원, 한우사양표준)

축종	체중(kg)	일 증체량 (kg)	일 건물 요구량(kg)	일 TDN 요구량(kg)	조사료 비율(%)	두당 조사료 TDN 요구량(kg yr ⁻¹)
한우암소	450	0.4	8.58	5.0	60	1,095

[표 49] 현 사료생산량을 기준으로 한 사육가능 두수

연간(2008.5~2009.5)생산 사료			두당연간 TDN 요구량(kg)	급여가능 두수(두)	현 사육 두수(두)	추가 요구 TDN 수량 (kg)
건물생산량 (kg)	TDN(%)	TDN 수량(kg)				
25,100	70	17,570	1,095	16	75	82,125

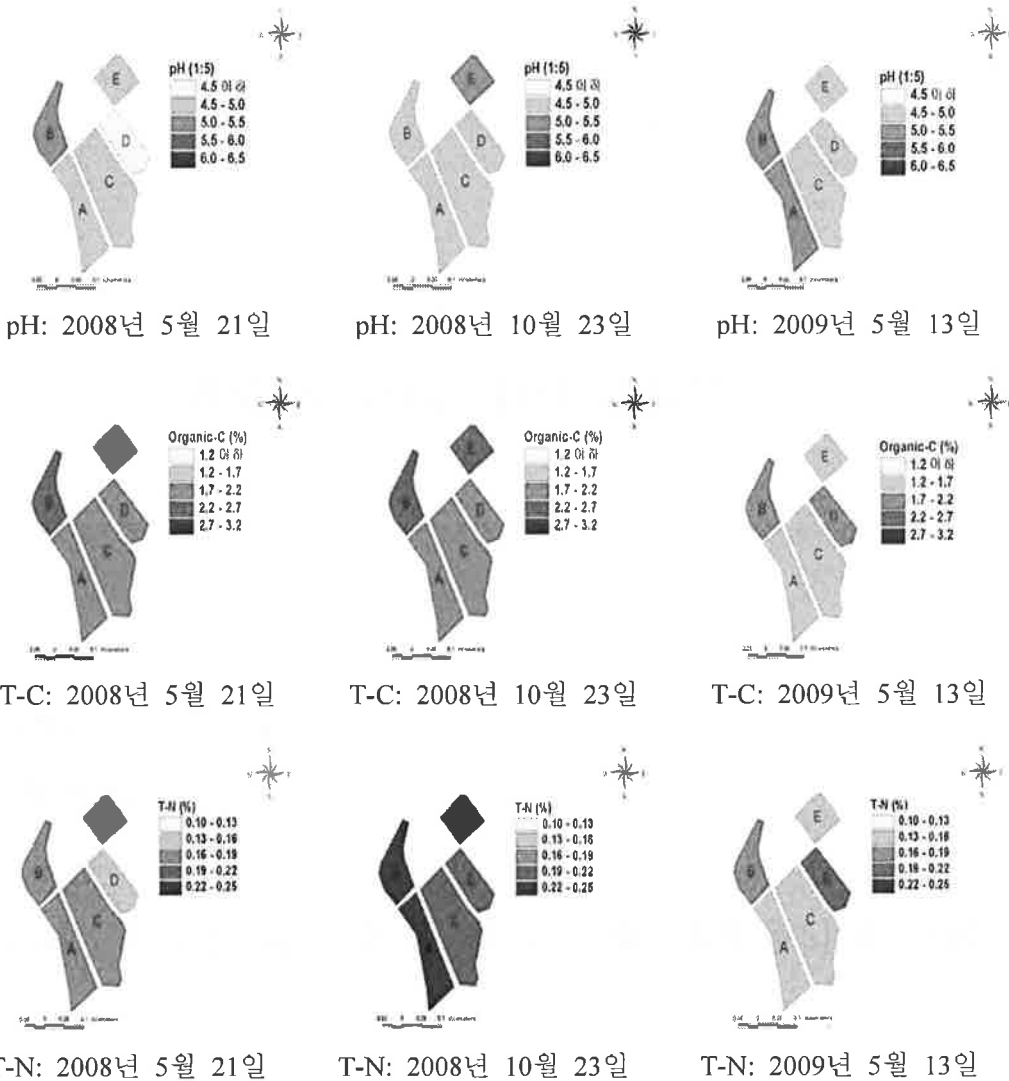
(라) 사료포장의 토양 이화학성 변동

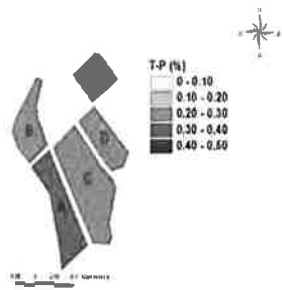
○ 사료포장 토양의 토양통은 송정통(松丁統: SONGJEONG SERIES)으로 미 농무성의 Soil Taxonomy에 의하면 fine loamy, mesic family of Typic Hapludults에 속한다.

○ 수단그라스 파종전인 2008년 5월 21일(1차), 수단그라스 수확 후인 2008년 10월 23일(2차), 그리고 이탈리아그라스 파종전인 2009년 5월 13일(3차)에 표토를 채취하여 토양이화학성을 분석하였다. 수단그라스 재배를 위해서는 퇴비를 11ton ha⁻¹수준으로 살포하였는데, 이는 질소

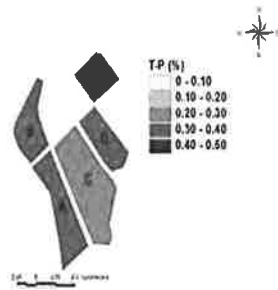
283.1kg ha⁻¹, 인산 304.0kg ha⁻¹에 해당한다. 이탈리아그라스를 위해서 액비 94ton ha⁻¹를 사용하였는데, 이는 질소 264.7kg ha⁻¹, 인산 25.5kg ha⁻¹에 해당한다(표 49).

○ 토양 pH는 밭토양 적정범위인 6.0~6.5보다 모두 낮았다. 토양 총탄소는 모든 포장에서 적정범위인 1.2~1.7%보다 높았지만, 1~2차 조사에 비해 3차 조사에서 농도가 감소하였는데, 이는 이탈리아그라스 재배를 위해 유기물 함량이 낮은 액비를 살포했기 때문으로 판단된다(그림 59). 이와 같은 토양 양분 감소 경향은 유효인산을 제외하고 모든 항목에서 나타났으며, 토양 양분 분포의 공간 변이성이 매우 컸다. 유효인산의 경우 1차 조사에서는 모든 포장이 적정범위인 300~500mg kg⁻¹이하였지만, 퇴비를 시용한 작기 이후에는 유효인산농도가 증가하였는데 일부 포장의 경우 700mg kg⁻¹이상이었다. 반면, 액비를 시용한 이후에는 D 포장을 제외하고는 유효인산 농도가 다시 감소하였다.

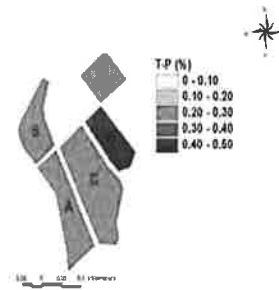




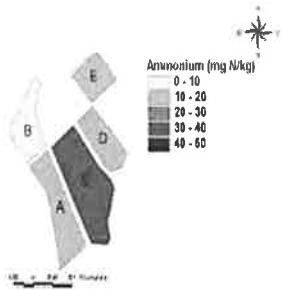
T-P: 2008년 5월 21일



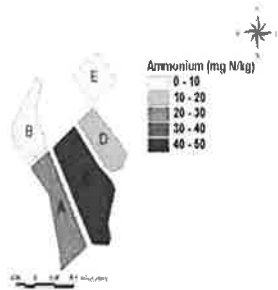
T-P: 2008년 10월 23일



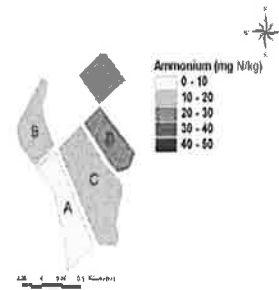
T-P: 2009년 5월 13일



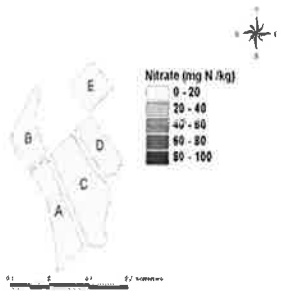
NH₄⁺: 2008년 5월 21일



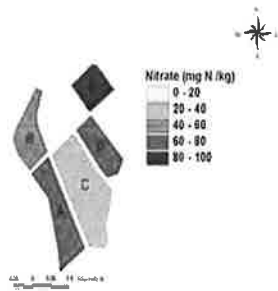
NH₄⁺: 2008년 10월 23일



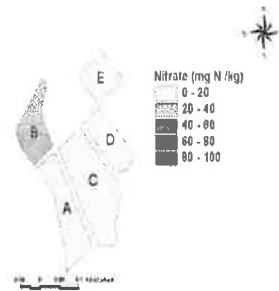
NH₄⁺: 2009년 5월 13일



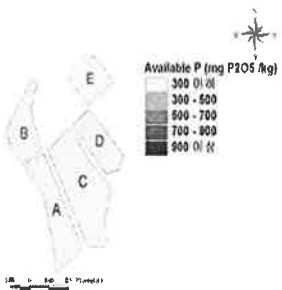
NO₃⁻: 2008년 5월 21일



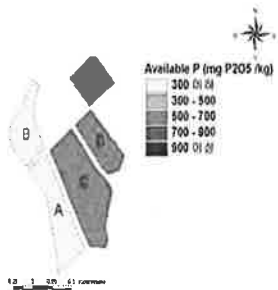
NO₃⁻: 2008년 10월 23일



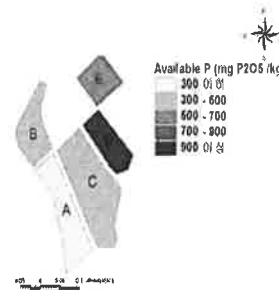
NO₃⁻: 2009년 5월 13일



Avail. P: 2008년 5월 21일



Avail. P: 2008년 10월 23일



Avail. P: 2009년 5월 13일

[그림 59] 시범농장의 토양 이화학적 변동(계속).

(마) 양분수지 균형을 위한 작부체계 구성

○표준시험농장의 전해연도와 해당연도의 농장운영구조를 조사하여 양분수지 균형을 위한 작부체계를 질소 중심으로 제안한다. 한우의 질소발생원단위는 112 g/두/일로서 연간질소발생량은 40.9 kg/두/년이다(표 50). 하지만, 앞에서 살펴본 바와 같이 축사내 방치 기간 및 퇴비화 기간 중 약 50%의 질소가 손실되기 때문에 실제 이용가능 질소량은 발생량의 50%인 20.4 kg/두/년으로 산정하는 것이 바람직하다.

[표 50] 한우로부터 발생하는 연간이용가능질소발생 원단위

축종	질소발생원단위 (g/두/일)	연간질소발생원단위 (kg/두/년)	연간이용가능질소발생 원단위 (kg/두/년) ^a
한우	112	40.9	20.4

^a발생 질소 중 50% 이용 가능으로 가정.

○밭 토양에서 조사료 생산 작부체계 구성을 위한 작물로는 여름 주작물로 옥수수과 수수×수단그라스, 겨울 후작물로 호밀과 이탈리아그라스, 봄/가을 후작물로 귀리(연맥)과 유채가 가능하다(표 51). 이 작물의 질소요구량은 125~200 kg ha⁻¹였으며 이에 해당하는 분뇨를 공급하기 위한 필요 두수는 6.1~9.8 두였다. 또한 TDN 수량은 4.5~12.7 ton ha⁻¹로서 급여가능두수는 4.1~11.6 두였다.

[표 51] 밭 토양에서 조사료 생산 작부체계 구성 작물의 단위면적당 질소요구량, TDN 수량 및 급여가능 두수

주/후 작물	사료 작물	질소 요구량 (kg ha ⁻¹)	필요 두수 (두 ha ⁻¹)	조사료			
				건물 수량 (ton ha ⁻¹)	TDN (%)	TDN 수량 (ton ha ⁻¹)	급여가능두수 (두 ha ⁻¹) ^a
주작물 (여름)	옥수수	200	9.8	15.9	68.9	11.0	10.0
	수수× 수단그라스	200	9.8	20.0	63.6	12.7	11.6
후작물 (겨울)	호밀	150	7.3	9.5	75.7	7.2	6.6
	이탈리안 그라스	200	9.8	7.2	70.0	5.0	4.6
후작물 (봄/가을)	귀리(연맥)	150	7.3	9.2	79.0	7.3	6.6
	유채	125	6.1	5.8	77.5	4.5	4.1

자료: 한국표준사료성분표 (축산과학원)

^a조사료 비율 60%일 경우

○작부체계별 단위면적당 급여가능두수는 옥수수 단작일 경우 10.0두 ha⁻¹로 가장 적었으며 수수×수단그라스-호밀-귀리(연맥) 연작에서 24.8 두 ha⁻¹로 가장 많았다(표 52). 이를 시범농장의 사료포장 면적인 3.6 ha로 환산하면 36.0~89.4 두에 해당한다. 시범농장의 한우 사육두수가 75 두인 점을 고려하면 옥수수-호밀-유채, 옥수수-이탈리안그라스-귀리(연맥), 옥수수-이탈리안그라스-유채, 수수×수단그라스-이탈리안그라스-유채가 75 두와 가장 유사하였다. 하지만, 이와 같은 계산은 작물의 수량이 정상적인 경우에 국한된 것이기 때문에 기상여건에 따라 차이가 나타날 수 있다.

[표 52] 조사료 작부체계별 급여가능 두수

주작물 (여름)	작부체계		단위면적당 급여가능두수(두 ha ⁻¹)	시범농장 사육가능 두수(두/3.6ha)
	후작물 (겨울)	후작물 (봄/가을)		
옥수수	-	-	10.0	36.0
	호밀	-	16.6	59.8
	이탈리안그라스	-	14.6	52.6
	호밀	귀리(연맥)	23.2	83.5
		유채	20.7	74.5
	이탈리안그라스	귀리(연맥)	21.2	76.5
		유채	20.7	74.7
수수× 수단그라스	-	-	11.6	41.8
	호밀	-	18.2	65.5
	이탈리안그라스	-	16.2	58.4
	호밀	귀리(연맥)	24.8	89.4
		유채	22.3	80.2
	이탈리안그라스	귀리(연맥)	22.9	82.3
		유채	20.3	73.2

○조사료 생산 작부체계 시나리오별 양분수지를 분석한 결과, 시범농장의 사료포장(3.6ha)에서 작부체계별 질소요구량은 옥수수 또는 수수×수단그라스가 720 kg으로 가장 낮았으며 주작물-이탈리안그라스-귀리(연맥)의 작부체계에서 1,980 kg 으로 가장 높았다(표 53). 표 50의 사육두수와 표 48의 연간이용가능질소발생 원단위를 이용하여 계산한 이용가능 분뇨 질소량은 736~1,826 kg으로 분포하였다. 따라서, 작부체계 구성에 필요한 질소요구량과 한우로부터 발생하는 분뇨 중 이용가능 질소량의 비율은 0.84~1.34로 분포하였는데, 양분수지에 가장 적합한 작부체계는 옥수수-호밀, 옥수수-호밀-귀리(연맥), 수수×수단그라스-호밀-귀리(연맥), 수수×수단그라스-호밀-유채였다.

[표 53] 조사료 작부체계별 양분수지

주작물 (여름)	작부체계		질소요구량 (kg/3.6ha) (A)	이용가능 분뇨 질소량(kg/3.6ha) ^a (B)		A/B
	후작물 (겨울)	후작물 (봄/가을)				
옥수수	-	-	720	736	0.98	
	호밀	-	1,260	1,221	1.03	
	이탈리안그라스	-	1,440	1,074	1.34	
	호밀	귀리(연맥)	1,800	1,707	1.05	
		유채	1,710	1,523	1.12	
		귀리(연맥)	1,980	1,563	1.27	
		유채	1,890	1,527	1.24	
수수× 수단그라스	-	-	720	854	0.84	
	호밀	-	1,260	1,338	0.94	
	이탈리안그라스	-	1,440	1,193	1.21	
	호밀	귀리(연맥)	1,800	1,826	0.99	
		유채	1,710	1,640	1.04	
		귀리(연맥)	1,980	1,682	1.18	
		유채	1,890	1,496	1.26	

^a사육두수와 연간이용가능질소발생 원단위를 이용하여 계산함.

(3) 조사료 생산 작부체계별 가축수용두수 및 양분수지에 대한 이론적 분석

(가) 작부체계별 양분수지 해석을 위한 원단위

① 한우 조사료 급여기준

○ 한우는 체중, 일증체량, 조사료 급여 비율에 따라 조사료 요구량이 상이하기 때문에 체중 450kg의 암소한우를 대상으로 일증체량 0.4kg, 일 가소화성 영양소 총량(TDN) 요구량 5.0kg, 조사료 60% 공급을 기준으로 양분수지를 분석하였다(표 54).

[표 54] 작부 체계별 양분수지 분석을 위한 한우의 조사료 급여기준

축종	체중 (kg)	일증체량 (kg/일)	일 TDN 요구량 (kg/일)	연간 TDN 요구량 (kg/년)	조사료 60% 급여시 TDN 요구량 (kg/년)
암소	450	0.4	5.0	1,814	1,088
한우					

② 조사료 종류별 단위 면적당 TDN 생산성 및 한우 수용 두수

○ 대표적인 8 종의 조사료에 대해 일반적으로 보고되는 건물 수량 및 TDN 함량을 이용하여 TDN 수량을 계산한 결과, 수수×수단그라스가 1,200kg/10a로 가장 높았으며, 유채가 450kg/10a로 가장 낮았다(표 55).

○ 한우 수용 두수는 [작물별 TDN 수량/1 두당 TDN 요구량(1,088kg/년)]으로 계산하였으며 수수×수단그라스가 10a당 1.1두로 가장 높은 반면 유채가 0.41두로 가장 낮았다.

○ 한우 1두 수용에 필요한 경지면적은 [10a/수용두수]로 계산하였으며, 수수×수단그라스가 가장 작은 0.91×10a였고, 유채가 가장 큰 2.4×10a였다.

[표 55] 조사료 작물별 단위면적당 TDN 생산성을 기준으로 한 한우 수용 두수 및 1 두 수용에 필요한 경지면적

조사료 작물	건물 수량 (kg/10a)	TDN (%)	TDN 수량 (kg/10a)	수용 두수 (두/10a)	1 두 수용에 필요한 경지면적(×10a)
총채벼	1,800	55	990	0.91	1.1
청보리	900	60	540	0.50	2.0
옥수수	1,600	70	1,120	1.03	0.97
수수×수단그라스	2,000	60	1,200	1.10	0.91
귀리(연맥)	800	75	600	0.55	1.8
유채	600	75	450	0.41	2.4
호밀	900	75	675	0.62	1.6
이탈리안라이그라스	1,400	60	840	0.77	1.3

③ 조사료 종류별 수용 한우에서 발생하는 분뇨 환원시 필요 경지면적

○ 자연순환농업에서는 조사료 급여 후 발생하는 분뇨 중 양분을 퇴비화 시킨 후 토양으로 순환시키는 것을 고려하여 작부체계와 사육두수를 결정해야한다. 이상적인 경우는 필요경지면적이 1.0×10a으로 분뇨 환원에 필요한 경지면적과 동일한 경우인데, 이 경우 생산 조사료를 적정 수용 두수에 해당하는 가축에게 급여하고, 발생한 분뇨 전량을 토양으로 환원하여 필요 조사료 전량을 생산할 수 있다. 경작 가능 면적이 1.0×10a보다 작은 경우에는 양분이 부족하기 때문에 타 축산농가로부터 부족 양분을 수급하거나 녹비작물이나 유기질 비료로 부족양분을 공급해야한다. 그 반대인 경우에는 양분을 일반경종농가로 공급해야함을 의미한다.

○ 분뇨 환원시 양분공급가능 경지면적은 [발생유효양분총량(kg)/ 질소 또는 인산 추천시비량(kg/10a)]로 계산하였는데, 발생 유효양분 전량 투입시 조사료의 질소 추천시비량 기준으로 경작면적은 귀리(연맥)이 0.56×10a로 가장 작았고 총채벼가 1.69×10a로 가장 컸다. 인산 추천시비량 기준으로는 총채벼 3.18×10a 경작이 가능했지만, 나머지 작물은 0.39~0.77×10a로 경작 가능 면적이 작았다(표 56).

[표 56] 조사료 종류별 분뇨 환원시 경작 가능 면적 원단위

조사료 작물	발생유효양분총량 (kg/10a)		조사료 작물 재배를 위해 분뇨 환원시 경작가능 면적 (×10a)	
	질소	인산	질소기준	인산기준
총채벼	18.6	9.6	1.69	3.18
청보리	10.1	5.2	0.67	0.43
옥수수	21.0	10.8	1.05	0.72
수수×수단그라스	22.5	11.6	0.90	0.77
귀리(연맥)	11.2	5.8	0.56	0.39
유채	8.4	4.3	0.84	0.43
호밀	12.7	6.5	0.84	0.54
이탈리안라이그라스	15.7	8.1	0.79	0.54

(나) 작부체계별 가축수용두수 및 양분수지 분석

① 논 작부체계의 단위 면적당 가소화성 영양소 총량(TDN) 생산성 및 한우 수용가능 두수
 ○논에서는 총채벼를 주작물로 재배하고 후작물로 호밀, 이탈리안라이그라스, 또는 청보리를 재배할 수 있다. 주작물로 총채벼만 재배할 경우 TDN 수량은 990kg/10a로 수용가능 두수는 10a 당 0.91에 불과하지만, 후작물을 도입할 경우에는 1.41~1.68두로 증가한다(표 57).

[표 57] 논에서의 조사료 생산 작부체계별 건물수량, TDN 수량 및 수용가능 한우 두수

작부체계		건물 기준 수량 (kg/10a)	TDN 수량 (kg/10a)	수용가능두수 (두/10a)
주작물(여름)	후작물 (겨울)			
	-	1,800	990	0.91
총채벼	호밀	3,200	1,665	1.53
	이탈리안라이그라스	2,700	1,830	1.68
	청보리	2,700	1,530	1.41

② 밭 작부체계의 단위 면적당 가소화성 영양소 총량(TDN) 생산성 및 한우 수용가능 두수
 ○밭에서는 옥수수 또는 수수×수단그라스를 여름 주작물로 선정한 후 호밀 또는 이탈리안라이그라스를 겨울 후작물로 재배 가능하며, 필요시 귀리(연맥) 또는 유채를 봄/가을 후작물로 도입이 가능하다(표 58).

○2기작에서 최대 TDN 수량은 이탈리안라이그라스를 겨울 후작물로 도입한 경우인데, 옥수수가 주작물일 경우 1,960kg/10a(수용가능 두수 1.80두)이며, 수수×수단그라스가 주작물일 경우 2,040kg/10a(수용가능 두수 1.87두)이다.

○3기작에서는 옥수수-이탈리안라이그라스-귀리(연맥)의 TDN 수량이 2,560kg/10a로 10a 당 2.35두를 수용할 수 있으며, 수수×수단그라스-이탈리안라이그라스-귀리(연맥) 작부체계의 TDN 수량은 2,640kg/10a 이고 이때의 수용가능 두수는 2.43두이다.

[표 58] 밭에서의 조사료 생산 작부체계별 건물수량, TDN 수량 및 수용가능 한우 두수

작부체계			건물 기준 수량	TDN 수량	수용가능두수
주작물 (여름)	후작물 (겨울)	후작물 (봄/가을)	(kg/10a)	(kg/10a)	(두/10a)
	-	-	1,600	1,120	1.03
	호밀	-	2,500	1,795	1.65
	이탈리안라이그라스	-	3,000	1,960	1.80
옥수수	호밀	귀리(연맥)	3,300	2,395	2.20
	호밀	유채	3,100	2,245	2.06
	이탈리안라이그라스	귀리(연맥)	3,800	2,560	2.35
	이탈리안라이그라스	유채	3,600	2,410	2.21
	-	-	2,000	1,200	1.10
	호밀	-	2,900	1,875	1.72
수수	이탈리안라이그라스	-	3,400	2,040	1.87
×	호밀	귀리(연맥)	3,700	2,475	2.27
수단그라스	호밀	유채	3,500	2,325	2.14
	이탈리안라이그라스	귀리(연맥)	4,200	2,640	2.43
	이탈리안라이그라스	유채	4,000	2,490	2.29

(IRG: 이탈리안라이그라스)

③ 작부체계별 한우 수용두수에 근거한 양분 수지

○논에서 사료작물 작부체계별 수용가능 한우 두수로부터 발생하는 분뇨 중 유효양분 총량은 대부분의 작부체계에서 필요양분량(추천시비량) 보다 많았다. 따라서, 잉여의 양분은 타 작물 재배에 투입할 수 있다(표 59).

○발생 양분을 작부체계별 작물의 양분요구량 기준으로 시용할 경우 필요한 경지 면적은 질소 또는 인산기준 시용에 따라 상이하다. 주작물과 후작물을 조합한 작부체계의 경우 발생유효양분총량이 증가하지만, 작물의 양분요구도도 동시에 증가하여 필요경지면적은 감소한다.

[표 59] 논에서의 조사료 생산 작부체계별 수용가능 두수로부터 발생하는 연간 유효양분총량, 분뇨환원에 필요한 경지면적 및 양분 과부족량

작부체계		발생유효 양분총량 (kg/10a)		분뇨 환원시 필요경지면적 (×10a)		양분 과부족량* (kg/10a)	
주작물(여름)	후작물(겨울)	질소	인산	질소기준	인산기준	질소	인산
	-	18.6	9.6	1.69	3.18	7.6	6.6
총체벼	호밀	31.2	16.1	1.20	1.07	5.2	1.1
	IRG	34.3	17.7	1.11	0.98	3.3	-0.3
	청보리	28.7	14.8	1.10	0.98	2.7	-0.2

*양분 과부족량=발생유효양분총량 -작물별추천시비량

(IRG: 이탈리안라이그라스)

○밭에서는 모든 조사료 작부체계에서는 발생하는 유효 질소와 인산 총량이 작물의 요구량 보다 부족하다(표 60).

[표 60] 밭에서의 조사료 생산 작부체계별 수용가능 두수로부터 발생하는 연간 유효양분총량, 분뇨환원에 필요한 경지면적 및 양분 과부족량

작부체계			발생유효 양분총량 (kg/10a)		분뇨 환원시 필요경지면적 (×10a)		양분 과부족량 (kg/10a)*	
주작물 (여름)	후작물 (겨울)	후작물 (봄/가을)	질소	인산	질소 기준	인산 기준	질소	인산
	-	-	21.0	10.8	1.05	0.72	1.0	-4.2
	호밀	-	33.6	17.3	0.96	0.64	-1.4	-9.7
	IRG	-	36.7	18.9	0.92	0.63	-3.3	-11.1
옥수수	호밀	귀리(연맥)	44.9	23.1	0.82	0.55	-10.1	-18.9
	호밀	유채	42.1	21.7	0.94	0.59	-2.9	-15.3
	IRG	귀리(연맥)	48.0	24.7	0.80	0.55	-12.0	-20.3
	IRG	유채	45.2	23.2	0.90	0.58	-4.8	-16.8
	-	-	22.5	11.6	0.90	0.77	-2.5	-3.4
수수	호밀	-	35.1	18.1	0.88	0.67	-4.9	-8.9
	IRG	-	38.2	19.7	0.85	0.66	-6.8	-10.3
수단그 라스	호밀	귀리(연맥)	46.4	23.9	0.77	0.57	-13.6	-18.1
	호밀	유채	43.6	22.4	0.87	0.61	-6.4	-14.6
	IRG	귀리(연맥)	49.5	25.5	0.76	0.57	-15.5	-19.5
	IRG	유채	46.7	24.0	0.85	0.60	-8.3	-16.0

*양분 과부족량=발생유효양분총량 -작물별추천시비량
(IRG: 이탈리아라이그라스)

④ 과부족 양분 수급 방안

○이상에서 살펴본 바와 같이, 논에서는 대부분의 작부체계에서 발생유효양분 총량이 작물의 양분요구량보다 많았기 때문에 잉여 양분을 일반경종재배 작물 재배에 활용할 수 있다.

○밭에서는 발생유효양분 총량이 부족하였기 때문에 밭 작부체계의 경우에는 부족한 양분을 공급해야 한다. 추가 양분 공급은 성분이 균일하며 그 조성이 알려져 있는 화학비료로 가능하지만, 화학비료 사용은 자연순환농업의 원칙에 위배되기 때문에 주의해야 한다. 현실적인 방안은 우리나라 농경지 토양의 과도한 인산 농도를 고려하여 인산은 시비하지 않거나 일부 인산 농도가 낮은 토양의 경우 인광석 등을 시용하고, 부족한 질소를 녹비작물이나 유기질 비료로 공급하는 것이다. 후작물을 재배하지 않고 녹비작물을 재배하여 주작물에 공급하는 것이 가장 이상적이지만, 이와 같은 시스템에서는 한우 사육에 요구되는 경지면적이 증가한다. 따라서, 녹비작물 재배에 따른 추가 경지 면적 확보가 어려운 경우에는 유기질 비료를 활용할 수 있다(표 61과 62).

[표 61] 사료작물별 한우로부터 발생하는 부족 질소를 보충하기 위해 필요한 녹비작물 생체량 및 유기질 비료 사용량

사료작물	녹비작물(kg/10a)			유기질비료(kg/10a)	
	헤어리베치	자운영	호밀	유박	쌀겨
총체며	0	0	0	0	0
청보리	465	813	1,626	82	217
옥수수	0	0	0	0	0
수수×수단그라스	239	418	836	42	111
귀리(연맥)	834	1,459	2,918	147	389
유채	149	261	522	26	70
호밀	224	391	783	40	104
이탈리안라이그라스	405	709	1,419	72	189

[표 62] 밭 조사료 작부체계별 유효양분 전량 사용시 부족 질소 보충에 요구되는 녹비작물 수량 및 유기질 비료 사용량

사료작물		녹비작물(kg/10a)			유기질비료(kg/10a)		
주작물	후작물 (겨울)	후작물 (봄/가을)	헤어리베치	자운영	호밀	유박	쌀겨
	-	-	0	0	0	0	0
	호밀	-	129	226	452	23	60
	이탈리안라이그라스	-	311	544	1,088	55	145
옥수수	호밀	귀리(연맥)	963	1,685	3,370	170	449
	호밀	유채	278	487	974	49	130
	이탈리안라이그라스	귀리(연맥)	1,145	2,003	4,006	202	534
	이탈리안라이그라스	유채	460	805	1,610	81	215
	-	-	239	418	836	42	111
	호밀	-	463	809	1,619	82	216
수수	이탈리안라이그라스	-	644	1,127	2,255	114	301
×	호밀	귀리(연맥)	1,296	2,268	4,537	229	605
수단그라스	호밀	유채	612	1,070	2,141	108	285
	이탈리안라이그라스	귀리(연맥)	1,478	2,586	5,173	261	690
	이탈리안라이그라스	유채	793	1,388	2,777	140	370

(IRG: 이탈리안라이그라스)

(4) 양분수지를 중심으로 한 자연순환농업 최적 운영 방안

(가) 논 조사료 생산 작부체계

○ 논에서의 조사료 생산 작부체계별 단위면적당(10a) 추천시비량, TDN 수량, 수용가능 두수, 발생유효양분총량, 분뇨환원시 필요경지면적, 양분과부족량을 종합적으로 검토하여 작부체계별 자연순환농업 타당성을 검토할 수 있다.

○ 수용가능두수는 총체벼-이탈리안그라스가 10a 당 1.68두로 가장 많고 총체벼 단일 재배일 경우 0.91두로 가장 적다. 총체벼-청보리 체계에서의 수용가능두수는 1.41두로 높은 편이었으며 질소수지가 가장 우수하다. 따라서, 총체벼-이탈리안그라스 또는 총체벼-청보리 작부체계의 타당성이 양호한 것으로 평가된다.

[표 63] 논에서의 조사료 생산 작부체계별 자연순환농업 타당성 분석

작부체계		추천시비량 (kg/10a)		TDN 수량 (kg/10a)	수용가능 두수 (두/10a)	발생유효 양분총량 (kg/10a)		분뇨 환원시 필요경지면적 (×10a)		양분 과부족량 [*] (kg/10a)		타당성 순위	
주작물 (여름)	후작물 (겨울)	질소	인산			질소	인산	질소 기준	인산 기준	질소	인산	두수 기준	질소수지 기준
-	-	11	3	990	0.91	18.6	9.6	1.69	3.18	7.6	6.6	4	4
총체벼	호밀	26	15	1,665	1.53	31.2	16.1	1.20	1.07	5.2	1.1	2	3
	IRG	31	18	1,830	1.68	34.3	17.7	1.11	0.98	3.3	-0.3	1	2
	청보리	26	15	1,530	1.41	28.7	14.8	1.10	0.98	2.7	-0.2	3	1

*양분 과부족량=발생유효양분총량 -작물별추천시비량
(IRG: 이탈리안라이그라스)

(나) 밭 조사료 생산 작부 체계

○ 논과 동일한 방식으로 밭에서의 조사료 생산 작부체계별 자연순환농업 타당성을 검토한 결과, 수수×수단그라스-이탈리안라이그라스-귀리(연맥)의 수용가능 두수가 2.43두로 가장 많았지만, 질소수지 면에서 부적절하다.

○ 수용가능 두수와 질소수지를 모두 고려하면 옥수수-이탈리안라이그라스-유채가 밭에서 가장 타당성이 높은 조사료 작부체계인 것으로 평가된다.

[표 64] 밭에서의 조사료 생산 작부체계별 자연순환영농 타당성 분석

작부체계 주작물 (여름)	작부체계 후작물 (겨울)	추천시비량 (kg/10a)		TDN 수량 (kg/10a)	수용가능 두수 (두/10a)	발생유효양분총 량(kg/10a)		분뇨 환원시 필요경지면적 (×10a)		양분 과부족량 (kg/10a)		타당성순위	
		질소	인산			질소	인산	질소	인산	기준	기준	질소	인산
-	-	20	15	1,120	1.03	21.0	10.8	1.05	0.72	1.0	-4.2	14	1
호밀	-	35	27	1,795	1.65	33.6	17.3	0.96	0.64	-1.4	-9.7	12	2
IRG	-	40	30	1,960	1.80	36.7	18.9	0.92	0.63	-3.3	-11.1	10	5
옥수수	호밀	55	42	2,395	2.20	44.9	23.1	0.82	0.55	-10.1	-18.9	6	11
	호밀	45	37	2,245	2.06	42.1	21.7	0.94	0.59	-2.9	-15.3	8	4
	IRG	60	45	2,560	2.35	48.0	24.7	0.80	0.55	-12.0	-20.3	2	12
	IRG	50	40	2,410	2.21	45.2	23.2	0.90	0.58	-4.8	-16.8	5	6
수수	-	25	15	1,200	1.10	22.5	11.6	0.90	0.77	-2.5	-3.4	13	3
×	호밀	40	27	1,875	1.72	35.1	18.1	0.88	0.67	-4.9	-8.9	11	7
	IRG	45	30	2,040	1.87	38.2	19.7	0.85	0.66	-6.8	-10.3	9	9
수단	호밀	60	42	2,475	2.27	46.4	23.9	0.77	0.57	-13.6	-18.1	4	13
	호밀	50	37	2,325	2.14	43.6	22.4	0.87	0.61	-6.4	-14.6	7	8
그라스	IRG	65	45	2,640	2.43	49.5	25.5	0.76	0.57	-15.5	-19.5	1	14
	IRG	55	40	2,490	2.29	46.7	24.0	0.85	0.60	-8.3	-16.0	3	10

*양분 과부족량=발생유효양분총량 -작물별추천시비량 (IRG: 이탈리아라이그라스)

바. 자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼 개발

○이상의 연구를 종합하여 『자연순환농업을 위한 양분관리 매뉴얼』을 개발하였다.



발간사 03

제1장 총론

1. 자연순환농업 06
 2. 양분수지관리 07
 3. 매뉴얼의 목적 및 활용 방안 09

제2장 가축생산시스템의 양분 발생

1. 방목양생태계 양분 발생 11
 2. 곡물 및 콩노 및 양분발생량 산출 12
 3. 가축 사육 규모별 양분발생량 산출 및 양분수지추정 14
 4. 전국 및 전라도의 축산분야 유기양분 총량 17

제3장 가축분뇨의 퇴비화

1. 퇴비의 장점 29
 2. 퇴비화 관리 요소 30
 3. 퇴비화 과정 33
 4. 퇴비품질 36

제4장 퇴비 사용량에 따른 양분수지

1. 퇴비 사용치 고려 사항 38
 2. 퇴비 사용량 산출 방법 32
 3. 퇴비 사용 최적의 사용량 결정 방법 43
 4. 사료 작물 생산물 수반 퇴비 사용량 및 양분수지 46
 5. 퇴비 사용 생산물 수반 퇴비 사용량 및 양분수지 51

제5장 한우 초시료 생산 직후 체계별 양분수지

1. 작부체계별 양분수지 해석을 위한 원리 59
 2. 초시료 작물별 양분수지 불균형 개선 방안 64
 3. 작부 체계별 가축수용량 산출 및 양분수지 72

제6장 양분수지를 중심으로 한 자연순환농업 최적 운영 방안

1. 논 초시료 생산 작부 체계의 경우 81
 2. 밭 초시료 생산 작부 체계의 경우 84

부록

1. 퇴비 계산에 사용가능한 분뇨 발생량 산출 81
 2. 사육비 효율 산출 87

사. 결론 및 제안

(1) 자연순환농업을 위한 가축분뇨의 퇴비화 기술

- 우분뇨 퇴비화 과정 중 질소 손실률은 최고 30%로 조사되었는데, 퇴비 중 질소의 동위원소비 분석 결과에 의하면 암모니아 휘산이 주요 질소손실 경로로 밝혀졌다. 따라서, pH가 낮은 산성 폐자원인 인산석고와 양이온 흡착능이 큰 제올라이트를 혼합하여 퇴비화할 경우 질소손실률을 최대 45% 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.
- 퇴비 중 질소 농도를 개선함으로써 단위면적당 퇴비사용량을 감소시킬 수 있으며, 작물의 양분요구도를 반영하는 퇴비 시용이 가능할 것으로 판단된다.

(2) 자연순환농업을 위한 퇴비 이용 기술

- 퇴비의 양분공급력을 실험실내 토양 칼럼 용탈 실험을 통해 평가한 결과, 질소공급력은 토양 및 퇴비 특성에 의해 영향을 받았는데 퇴비 전체 질소에 대한 백분율로 계산한 결과 1.2~45.1%였다. 퇴비 이화학성 중 총질소 함량, 무기태 질소 함량, 탄질비(C/N)가 퇴비의 질소공급력과 유의한 정의 상관관계를 보였기 때문에 이들 지표를 퇴비의 질소공급력 평가 지표로 활용할 수 있었다.
- 퇴비의 인산공급력은 토양의 인산흡착에 의해 퇴비 전체 인산의 1% 미만으로 매우 낮았지만, 전체 인산공급량 중 유기태 인의 비율이 높았는데 이는 유기태 인으로 구성된 퇴비 중 인산이 화학비료 인산에 비해 토양에 흡착되는 경향이 덜 한 것을 의미한다.
- 퇴비를 이용해 수수×수단그라스, 이탈리아라이그라스, 옥수수, 총채벼 및 총채보리에 대한 재배실험을 종합하면, 건물 수량은 화학비료 시용구 대비 수수×수단그라스 74%, 이탈리아라이그라스 96%, 옥수수 96%, 총채벼 97%, 총채보리 46%로 총채보리와 수수×수단그라스를 제외하고는 모두 화학비료에 필적하는 수량을 생산하였다. 퇴비의 양분흡수효율은 질소의 경우 보리가 5.7%로 가장 낮았고 옥수수가 93.5%로 가장 높았으며, 인산의 경우 총채벼가 9.1%로 낮았고 수수×수단그라스가 36.5%로 가장 높았다. 따라서, 수량과 양분흡수 효율을 고려하면 옥수수가 가장 양분수지 균형에 적합한 작물로 판단되었다.

(3) 사료 및 일반 경종 작물 생산을 위한 퇴비 시용량 설정 및 양분수지 개선 방안

- 사료 및 일반 작물 생산을 위해 질소기준으로 퇴비를 시용할 경우 인산의 과다 투입량이 5.0~36.1kg/10a로 추산되었기 때문에 인산 척박지 토양일 경우 질소기준 퇴비시용시 가능할 수 있겠지만, 그 외의 경우에는 토양 인산집적에 대한 고려가 필요한 것으로 나타났다.
- 인산기준 퇴비 시용시에는 질소기준 퇴비 시용에 비교하여 퇴비 소요량이 최대 5배 감소하였지만, 질소 공급 부족량이 3.0~24.1kg/10a로 계산되었다. 부족 질소는 녹비작물이나 유기질 비료로 공급이 가능하다.

(4) 자연순환농업에서 질소 공급을 위한 녹비작물 선발

- 자연순환농업에서 질소 공급을 위한 녹비작물 선발 실험에 의하면 두과 녹비 작물 중 헤어리베치와 완두콩의 질소공급량이 투입 질소의 3배 정도로 가장 우수하였으며 화본과 녹비 작물 중에서는 이탈리아라이그라스가 7.3배로 가장 우수하였다. 한편, 두과와 화본과를 혼파할 경우에는 호밀-완두콩 혼파의 질소 공급량이 투입질소의 3.5배로 가장 높았다.

(5) 자연순환농업 시스템의 양분순환구조 분석 및 최적 운영 방안

○ 자연순환농업 시스템에서 도입 가능한 논 조사료 작부체계 시나리오별 양분순환구조를 분석한 결과, 총체벼-이탈리안라이그라스 작부의 수용가능두수가 1.68두/10a로 가장 높았고 질소과잉발생량이 3.3kg/10a로 낮은 편이었다.

○ 밭 조사료 작부체계 시나리오 중에서는 수수×수단그라스-이탈리안라이그라스-귀리(연맥) 조합의 수용가능두수가 2.43두/10a로 가장 높았지만, 양분수지 측면에서는 질소와 인산이 각각 15.5kg/10a와 19.5kg/10a 부족하여 외부로부터의 양분유입이 요구되었다. 한편, 옥수수-이탈리안라이그라스가-유채 조합의 수용가능두수가 2.21두였고 양분수지도 상대적으로 우수하였다.

(6) 자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼 개발

○ 이상의 연구결과를 종합하여 『자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼』을 개발하였다.

자
연
순
환
농
업
을
위
한
양
분
관
리
매
뉴
얼

2024

제 4 절 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 평가의 착안점 및 기준

구분	연도	세부연구목표	가중치	평가의 착안점 및 기준
1차 년도	2005.11 - 2006.10	퇴비 이화학적 구명	20 %	퇴비 10종 이상에 대한 이화학적 분석이 진행되었는가?
		퇴비의 양분공급력 평가 기법 개발	80 %	다양한 토양과 퇴비를 고려하여 실험이 진행되었는가? 양분공급력에 영향을 미치는 퇴비의 이화학적 특성이 구명되었는가?
2차 년도	2006.11 - 2007.10	총체사료-한우 연계 시범농가의 양분순환구조 분석	40 %	사료→분뇨→퇴비→작물 단계별 양분수지 분석이 체계적으로 진행되었는가? 양분수지분석 결과에 근거한 적정수용두수 및 필요포장 면적이 제안되었는가?
		퇴비화 과정 모니터링을 통한 이화학적 변화 및 양분손실 구명	60 %	질소손실 기작이 구명되었는가? 퇴비화 과정 중 양분손실량이 정량화되었는가?
3차 년도	2007.11 - 2008.10	조사료-한우 연계 표준시범농장의 양분순환구조 분석	30 %	표준시범농장의 양분순환기반에 입각하여 양분순환구조가 조사되었는가?
		표준시범농장의 퇴비사용에 따른 조사료 수량 및 양분흡수량 변화 조사	40 %	퇴비 사용 수준별 조사료 수량 및 양분흡수 량 변화가 구명되었는가?
		퇴비화 과정 중 분해도가 상이한 유기물의 역할 구명	30 %	유기물의 이/난 분해성에 따른 CO ₂ 발생, NH ₃ 휘산 및 물질손실량이 구명되었는가?
4차 년도	2008.11 - 2009.10	표준시범농장의 자연순환농업 운영을 위한 조사료 생산 작부체계 설정	60 %	논과 밭 중심의 조사료 작부체계가 설정되 었는가?
		설정된 작부체계에 기반한 양분수지 분석	20 %	설정된 조사료 작부체계의 사료생산성, 수 용두수, 발생분뇨량, 분뇨환원에 필요한 경 지면적이 제시되었는가?
		질소손실저감을 위한 퇴비화 기술 개발	20 %	가축분뇨 퇴비화 과정 중 질소손실 저감을 위한 인산석고와 제오라이트 혼합 효과를 구명하였는가?
5차 년도	2009.11 ~ 2010.10	조사료 작부체계에 따른 양분순환구조 설계 및 분석	20 %	전작/답작에 대해 주작물/동계작물로 구성된 작부체계를 구성하여 양분수지를 분석하였는가?
		전작 및 답작 조사료 작부체계에서 퇴비사용에 따른 생산성	20 %	조사료 종류별 수량생산성과 양분흡수량이 조사되었는가?
		자연순환농업을 위한 양분관리 매뉴얼 개발	60 %	자연순환농업의 양분관리를 위한 핵심 요소 가 포함되었는가?
최종 평가		자연순환농업 시스템에서 퇴 비를 중심으로 한 양분순환구 조 분석	100 %	경종과 축산이 연계한 자연순환농업시스 템에서 분뇨→퇴비→토양→사료작물→가축을 통한 양분 순환 구조가 명확하게 구명되었 는가?

2. 연구개발목표의 달성도

목 표	연구개발 수행내용	달성도(%)
퇴비 이화학적 구명 및 양분공급력 평가 기법 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○퇴비 이화학적 구명: 퇴비 10종 이상에 대한 이화학적 분석 ○퇴비의 양분공급력 평가 기법 개발: 양분 용탈 실험을 이용하여 퇴비 혼합 토양으로부터의 질소와 인 용탈량 분석/다중회귀분석을 이용한 양분공급력 지표 발굴 	100
총체사료-한우 연계 시범농가의 양분순환구조 분석 및 퇴비화 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> ○총체사료-한우 연계 시범농가의 양분순환구조 분석: 사료→분뇨→퇴비→작물 단계별 양분수지 분석/양분수지분석 결과에 근거한 적정수용두수 및 필요포장 면적 제안 ○퇴비화 과정 모니터링을 통한 이화학적 변화 및 양분손실 구명: 질소동위원소비 기법을 이용한 질소손실 기작 구명 및 양분손실 정량화 	100
조사료-한우 연계 자연순환농업 표준시범농장의 양분순환 구조 분석 및 퇴비 관련 변수를 중심으로 한 양분순환 변동 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○조사료-한우 연계 표준시범농장의 양분순환구조 분석: 표준시범농장의 양분순환기반(사육두수, 분뇨발생량, 경지면적, 토양이화학적, 사료급여량 등)/사료→분뇨→퇴비→작물 단계별 양분수지 분석/양분수지분석 결과에 근거한 적정수용두수 및 필요포장 면적 제안 ○표준시범농장의 퇴비시용에 따른 조사료 수량 및 양분흡수량 변화 조사 ○퇴비화 과정 중 분해도가 상이한 유기물의 역할 구명: 분해도가 상이한 유기물 첨가에 따른 CO₂발생, NH₃ 휘산 및 물질손실량 구명 	100
경종-한우 연계 자연순환농업 표준시범농장 운영 시나리오별 양분순환구조 분석 및 퇴비를 중심으로 한 양분순환구조 개선 방안 수립	<ul style="list-style-type: none"> ○표준시범농장의 자연순환농업 운영을 위한 조사료 생산 작부체계 설정: 목초, 두과, 화분과 작물로 구성된 조사료 생산 작부체계(논과 밭) 설정 ○설정된 작부체계에 기반한 양분수지 분석: 조사료 생산 작부체계별 수용두수, 분뇨발생량, 분뇨환원에 필요한 경지면적 산정 ○질소손실저감을 위한 퇴비화 기술 개발: 가축분뇨 퇴비화 과정 중 질소손실 저감을 위한 인산석고와 제오라이트 혼합 효과 구명 	100
지역 특성에 적합한 한우-경종 자연순환농업 양분순환 구조 발굴 및 양분관리 매뉴얼 개발/보급	<ul style="list-style-type: none"> ○조사료 작부체계에 따른 양분순환구조 설계 및 분석: 전작/답작에 대해 주작물/동계작물로 구성된 작부체계 구성 및 양분수지 분석 ○전작 및 답작 조사료 작부체계에서 퇴비시용에 따른 생산성: 옥수수-청보리 작부와 총체벼-총체보리 작부의 퇴비 시용에 따른 수량 평가 ○자연순환농업을 위한 양분관리 매뉴얼 개발: 조사료 작부체계, 퇴비시용량, 수용두수, 발생분뇨환원 등을 포괄하는 양분관리 매뉴얼 제작 	100

3. 관련분야의 기술발전 기여도

가. 자연순환농업을 위한 가축분뇨의 퇴비화 기술 분야

- (1) 퇴비화 과정 중 질소 손실률(최대 30%)을 구명하여 자연순환농업시스템에서 양분수지 연구를 위해서는 양분발생량 기준이 아닌 퇴비화 종료 후 퇴비의 양분함량을 기준으로 양분수지를 분석할 필요가 있음을 제시하였다. 이는 향후 농가, 지역 더 나아가 국가 단위의 양분수지 분석시 적극적으로 활용될 수 있을 것이다.
- (2) 질소동위원소비 분석을 이용하여 퇴비화 과정 중 주요 질소손실 경로가 암모니아 휘산임을 과학적으로 증명하였으며, 이와 같은 질소손실경로를 최소화하기 위해 pH가 낮은 산성 폐자원인 인산석고와 양이온 흡착능이 큰 제올라이트를 혼합할 경우 질소 손실량을 최대 45% 감소시킬 수 있음을 제시하였다. 이는 자연순환농업시스템에서 양분의 선순환을 달성할 수 있는 퇴비화 기술로 판단된다.

나. 자연순환농업을 위한 퇴비 이용 기술 분야

- (1) 퇴비의 양분공급력을 실험실내 토양 칼럼 용탈 실험을 통해 퇴비의 총질소 함량, 무기태 질소 함량, 탄질비(C/N)가 퇴비의 질소공급력과 유의한 정의 상관관계를 보였는데, 이들 지표를 이용하여 퇴비의 질소공급력을 평가할 수 있음을 의미한다. 또한 퇴비에 함유된 인은 화학비료와 달리 토양 흡착력이 낮은 유기태 인 함량이 높기 때문에 퇴비를 인 공급원으로 활용할 필요가 있음을 제시하였다.
- (2) 퇴비를 이용한 수수×수단그라스, 이탈리아라이그라스, 옥수수, 총채벼 및 총채보리에 대한 재배실험을 통해 화학비료 대비 건물 수량이 수수×수단그라스 74%, 이탈리아라이그라스 96%, 옥수수 96%, 총채벼 97%, 총채보리 46%로 총채보리와 수수×수단그라스를 제외하고는 모두 화학비료에 필적하는 수량을 생산할 수 있음을 제시하였다. 또한, 퇴비의 양분흡수 효율도 옥수수가 높은 편이었기 때문에 수량과 양분흡수 효율을 고려하여 옥수수를 양분수지 균형에 적합한 작물로 제안하였다.

다. 사료 및 일반 경종 작물 생산을 위한 퇴비 시용량 설정 및 양분수지 개선 방안 제시

- (1) 사료 및 일반 작물 생산을 위해 질소 또는 인산 기준으로 퇴비를 시용할 경우 인산과다 투입 또는 질소 부족량을 정량적으로 제시하였는데, 이는 향후 자연순환농업시스템 운영에서 발생할 수 있는 양분수지 불균형 문제 개선에 활용될 수 있다.

라. 자연순환농업에서 질소 공급을 위한 녹비작물 선정

- (1) 자연순환농업에서 질소 공급을 위한 녹비작물 선발 실험을 통해 두과 녹비 작물 중 헤어리베치와 완두콩의 질소공급량이 투입 질소의 3배 정도로 가장 우수하였으며 화본과 녹비 작물 중에서는 이탈리아라이그라스가 7.3배로 가장 우수하였고 두과와 화본과를 혼파할 경우에는 호밀-완두콩 혼파의 질소 공급량이 투입질소의 3.5배로 가장 높음을 확인하였다. 이는 자연순환농업시스템에서 질소 공급을 위한 최적의 녹비작물 선정에 기여할 수 있다.

마. 자연순환농업 시스템의 양분순환구조 분석 및 최적 운영 방안 제시

- (1) 자연순환농업 시스템에서 도입 가능한 논과 밭 조사료 작부체계 시나리오별 양분순환구조를 분석하여 논외의 경우 총체벼-이탈리안라이그라스 작부의 수용가능두수가 1.68두/10a로 가장 높았고 질소과잉발생량이 3.3kg/10a로 낮음을 제시하였다.
- (2) 밭 조사료 작부체계 시나리오 중에서는 수수×수단그라스-이탈리안라이그라스-귀리(연맥) 조합의 수용가능두수가 2.43두/10a로 가장 높았지만, 양분수지 측면에서는 질소와 인산이 각각 15.5kg/10a와 19.5kg/10a 부족하여 외부로부터의 양분유입 필요성을 확인하였으며, 옥수수-이탈리안라이그라스가-유채 조합의 수용가능두수가 2.21두였고 양분수지도 상대적으로 우수하였음을 제시하였다. 이는 자연순환농업시스템에서 최적의 조사료 생산 작부체계를 제안한 측면에서 기여도가 인정되는 것으로 판단된다.

바. 자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼 개발

- (1) 이상의 연구결과를 종합하여 『자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼』을 개발하였는데, 이 매뉴얼은 자연순환농업 실천 농가의 양분관리 교재로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

제 5 절 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 연구개발성과

가. 학술지 게재 논문 실적

연번	논문제목	게재학술지명 (약자)	게재 년도	권: 쪽수	SCI 구분	Impact Factor	제1저자	교신저자	공동저자	외국인 공동저자
1	Impact of land-use types on nitrate contamination and δ ¹⁵ N in unconfined groundwater in rural areas of Korea. Agriculture	Agr Ecosyst Environ	2007.05	120 : 259-268	SCI	2.884	W J Choi	W J Choi	G H Han, S M Lee, G T Lee, K S Yoon, S M Choi and H M Ro	
2	Nitrogen and carbon isotope responses of Chines cabbage and chrysanthemum to the application of liquid pig manure	Plant Soil	2007.06	295 : 67-77	SCI	1.998	S S Lim	W J Choi	JHKwak,JWJung,HY Kim, K S Yoon, S M Choi	Scott X Chang
3	Changes in nitrogen isotopic compositions during composting of cattle feedlot manure: Effects of bedding material types	Bioresource Technol	2008.09	99:5452-5458	SCI	4.453	YJ Kim	W J Choi	SS Lim, J H Kwak, H Y Kim, K S Yoon, H M Ro	Scott X Chang
4	Analysis of Nutrient cycling structure of a Korean Beef cattle Farm Combined with Cropping as Affected by Bedding Material Types	Kor J Soil Sci Fert	2008.10	41(5):354-361	KSCI		S S Lim	W J Choi	J H Kwak, H J Park, S I Lee, D S Lee, Y S Kim, B K Yoon, S W Lee	
5	The Role of Organic Amendments with Different Biodegradability in Ammonia Volatilization during Composting of Cattle Manure	Kor Journal Of Environmental Agriculture	2009.04	28(1):20-24	KSCI		S S Lim	WJ Choi	H J Park, S I Lee, D S Lee, J H Kwak	
6	Interactive effects of synthetic nitrogen fertilizer and composted manure on ammonia volatilization from soils	Plant Soil	2009.12	325(1-2): 187-196	SCI	1.998	Matsush ima M	WJ Choi	SSLim, J H Kwak, H J Park, S I Lee, D S Lee	
7	Nitrogen Isotope Compositions of Synthetic Fertilizer, Raw Livestock Manure Slurry, and Composted Livestock Manure	Korean J Soil Sci Fert	2010	43(4):453-457	KSCI		S S Lim	W J Choi	S M Lee, S H Lee	
8	Dry Matter Yield and Nutrients Uptake of Sorghum×Sudangrass Hybrid Grown with Different Rates of Livestock Manure Compost	Korean J Soil Sci Fert	2010	43(4):458-465	KSCI		S S Lim	W J Choi	S M Lee, S H Lee	
9	Compost type effects on nitrogen leaching from Inceptisol, Ultisol, and Andisol in a column experiment	J Soils Sediments	2010	online published	SCI		S S Lim	W J Choi	JHKwak,SILee,DSLee, H J Park	
10	Soil and Compost Type Affect Phosphorus Leaching 1 from Inceptisol, Ultisol, and Andisol in a Column Experiment	Communications in Soil Science and Plant Analysis	2010	accepted	SCI		H Y Kim	W J Choi	S S Lim, J H Kwak, S I Lee, K S Yoon, D S Lee	XIYING HAO

나. 학술대회 실적

연번	저자명	논문 제목	학술대회 명칭	학술대회개최기간 및 장소	발표형태
1	임상선, 정재운, 박진협, 최우정	돈분뇨 발효액비 사용에 대한 작물 생장과 탄소 및 질소동위원소비 반응	The 89th International Symposium of the KSABC	2006.04.21 전남대학교	포스터
2	박진협, 임상선, 정재운, 김보민, 오승규, 최우정	가축분 퇴비의 양분공급력 평가 및 예측 모형 개발	제 69차 정기총회 및 2007 한국토양비료학회 춘계학술발표회	2007.05.10-11 한경대학교	포스터
3	임상선, 최우정, 박진협, 정재운, 윤광식, 김현용, 김영주	우분뇨 퇴비화 기간 중 질소동위원소비	2007 한국농공학회 학술발표회	2007.10.20 서울대학교	포스터
4	임상선, 최우정, 박진협, 정재운, Chang SX, 김한용, 윤광식, 최수명	Liquid pig manure application to crops results in specific carbon and nitrogen isotopic signatures	8th Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science	2007.10.22-24 일본쓰쿠바	포스터
5	임상선, 박진협, 김한용, 이동석, 박현정, 이선일, 최우정	가축분뇨의 퇴비화중 깔개물질에 따른 질소동위원소비 변화	2008 한국토양비료학회 춘계학술발표회	2008.05.23 강원랜드호텔	포스터
6	임상선, 박진협, 이선일, 이동석, 박현정, 김용순, 윤봉기, 김신우, 최우정	퇴비를 중심으로 한 경종-축산 연계 단위농가 내 양분순환구조분석	2008 한국토양비료학회 춘계학술발표회	2008.05.23 강원랜드호텔	포스터
7	임상선, 박진협, 박현정, 이선일, 이동석, 최우정	퇴비화 첨가물에 따른 암모니아 휘산각 구명	2008 한국농공학회 학술발표회	2008.10.24 전남대학교	구두
8	Lim, S.S., Lee, D.S., Lee, S.I., Park, H.J., Kwak, J.H., and Choi, W.J.	Nitrogen and phosphorus release from compost-amended soils: Interaction between soils and composts	9th Conference of East and Southeast Asia Federation of Soil Science	2009.10.27-30 Olympic Parktel	구두
9	Lim, S.S., Lee, D.S., Lee, S.I., Park, H.J., Kwak, J.H., and Choi, W.J.	Carbon mineralization in compost amended soils: Interaction between soils and composts	9th Conference of East and Southeast Asia Federation of Soil Science	2009.10.27-30 Olympic Parktel	포스터
10	Lim, S.S., Lee, D.S., Lee, S.I., Park, H.J., Kwak, J.H., and Choi, W.J.	Reduction of ammonia volatilization and nitrogen loss by addition of zeolite and phospho-gypsum to cattle manure mixed with rice hull and sawdust as bedding materials	9th Conference of East and Southeast Asia Federation of Soil Science	2009.10.27-30 Olympic Parktel	포스터
11	임상선, 이선일, 박현정, 이동석, 박진협, 최우정	이화확성이 상이한 가축분퇴비가 사용된 인설테일, 울티솔, 안디솔 토양의 질소 및 인 방출 포텐셜	2008 한국농공학회 학술발표회	2009.12.22-23 무주리조트	포스터
12	임상선, 이선일, 박현정, 이동석, 박진협, 최우정	이화확성이 상이한 가축분퇴비가 사용된 인설테일, 울티솔, 안디솔 토양의 탄소 무기화 포텐셜	2008 한국농공학회 학술발표회	2009.12.22-23 무주리조트	포스터
13	임상선, 이동석, 이선일, 박진협, 김광현, 최우정	Dry matter yield and nutrients uptake of Sudangrass applied with different rate of livestock manure composts	2010 한국토양비료학회 춘계학술대회	2010.05.06-07 홍천비발디파크	포스터
14	임상선, 이동석, 이선일, 박진협, 김광현, 최우정	Productivity and Nutrients Uptake of Sudangrass-Italian Rye Grass in Soils with Different Fertility	2010 한국토양비료학회 춘계학술대회	2010.05.06-07 홍천비발디파크	포스터
15	임상선, 이승현, 이선일, 이동석, 최우정	Dry matter yield and nutrients uptake of Sorghum-Sudangrass grown with different rates of livestock manure compost	한국환경농학회 창립 30주년 기념 국제심포지움	2010.07.08-09 부산	구두

다. 교육실적

연번	교육일자	교육명	교재명	장소	참석대상 (인원:명)	주요내용	기대효과
1	2008.11.07	지역순환농업의 설계	지역순환농업의 설계	전남대학교 농업생명과학대학 1-1303	생명농업 전문 경영자 육성 아카데미 "농촌마을활성화 리더양성프로그램" 참여자	경종과 축산 연계 방법, 양분수지계산방법, 지역순환농업체계 설계 방법	경종-축산 연계 모형 확산
2	2009.08.26	지역순환농업의 설계	지역순환농업의 설계	전남대학교 농업생명과학대학 1-1303	2009년 최고 농업 경영자 과정 농촌관광반	지역순환농업의 설계	경종-축산 연계 모형 확산

라. 국제 협력 실적

연번	상대국 책임자명, 소속	국가	전공/학위	구체적인 협력 내용 혹은 실적	협력형태	협력 기간	김행예산 (단위: 원)
1	Chang SX, 알버타 대학	캐나다	환경토양학	퇴비 활용 관련 공동 연구 및 논문 발표(3편)	방문회의	2008.07.06 - 07.10	대학자체경비활용

마. 기술이전, 거래 실적

연번	기술실시계약명	기술실시 대상 업체 및 농가명	기술실시계약일	기술이전금액
1	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	강진군 축산업 농가 (이영)	2009-08-01	무상
2	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	곡성군 축산업 농가 (김계선)	2009-08-01	무상
3	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	나주시 축산업 농가(김준모, 방극성, 백태훈, 이철동)	2009-08-01	무상
4	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	담양군 축산업 농가 (강대열, 남팔원, 송인주)	2009-08-01	무상
5	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	무안군 축산업 농가(김달태, 박항배, 임현석, 최광수)	2009-08-01	무상
6	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	영암군축산업농가(김태성, 이남철, 이연순, 조형일, 조희식)	2009-08-01	무상
7	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	완도군 축산업 농가 (김종미, 박남월)	2009-08-01	무상
8	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	장성군 축산업 농가(고재수, 김용기, 임은숙, 채규수)	2009-08-01	무상
9	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	함평군 축산업 농가(김상길, 서혁경, 이태영, 정정숙, 허정임)	2009-08-01	무상
10	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	화순군 축산업 농가 (김성철)	2009-08-01	무상

바. 인력양성

연번	인력양성연도 (졸업연도)	인력양성내용	성명	학위
1	2009	토양과 식물체 시료의 동위원소 및 화학 지표를 이용한 곽송 산림 생태계의 산성비 피해 평가	곽진협	석사
2	2009	Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Dynamics in Inceptisol, Ultisol, and Andisol Soils Amended with Various Livestock-Manure Composts	임상선	석사
3	2010	Maximum Lead Sorption Capacity and Distribution among Particle Sizes and Chemical Fractions in Six Different Soils	박현정	석사
4	2009	시나리오별 양분 순환 구조 분석	이선일	학사
5	2009	시나리오별 양분 순환 구조 분석	김진영	학사
6	2009	시나리오별 양분 순환 구조 분석	김아라	학사
7	2009	시나리오별 양분 순환 구조 분석	이송이	학사
8	2010	시나리오별 양분 순환 구조 분석	이광승	학사
9	2009	시나리오별 양분 순환 구조 분석	이동석	학사
10	2007	시나리오별 양분 순환 구조 분석	곽진협	학사
11	2007	시나리오별 양분 순환 구조 분석	임상선	학사

2. 연구개발성과 활용계획

가. 영농활용자료 제공

- (1) 질소손실 저감 퇴비화 기술 자료 제공
- (2) 경종-축산 연계 자연순환농업의 양분수지 계산 방법 제공

나. 농민 교육

- (1) 『자연순환농업을 위한 양분관리매뉴얼 개발』을 이용하여 최고농업경영자과정 등을 통해 농민교육 실시

다. 대학원 교육

- (1) 지속가능농업의 중점 요소인 양분관리를 위한 양분순환구조분석, 양분수지계산방법, 순환농업시스템의 양분관리 모형 설계를 교육하는 교과목인 지속가능양분관리(Sustainable Nutrients Management)을 대학원 과정에 설치하여 전문 인력 양성

라. 추가 학술논문 발표

- (1) 퇴비 및 토양 이화학성에 따른 양분 공급 특성(Journal of Soils and Sediments, Communications in Soil Science and Plant Analysis)
- (2) 인산석고와 제올라이트 혼합에 의한 퇴비화 과정 중 질소손실 저감(Bioresource Technology)
- (3) 퇴비 및 액비 시용에 따른 사료작물의 수량과 양분흡수량(Field Crop Research)

제 6 절 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 미국은 자연순환농업과 관련하여 우수농지 확보와 초지보전, 그리고 관련 시장 확대를 지속가능농업 발전의 핵심요소로 보고 있으며, 특히 토양보전과 관련하여 토양침식 문제 해결을 핵심정책으로 추진하고 있다. 미국은 1985년 농업법에서 저투입지속농업을 최초로 제시하였으며 이를 위한 구체적인 수단으로 윤작 도입, 병해충종합관리(IPM) 추진, 토양 및 수자원 보전을 위한 보전 경작 방식 도입, 가축분뇨 등을 통한 유기질 비료 사용 확대, 두과작물을 이용한 녹비 이용 촉진, 그리고 경종과 축산의 복합화 등을 제시하고 있으며 관련 기술의 연구 개발을 체계적으로 진행하고 있다. 또한, 2002년에 확정된 농업법을 통해서 지속가능농업의 발전을 위한 프로그램 개발을 위해 10년간 172억 달러를 투입하기로 결정한 바 있다.
2. 유럽연합은 1980년대 중반부터 지속가능농업 발전을 위한 대책을 수립하고 있다. 1985년에 '농업구조의 효율성 제고를 위한 이사회 규칙'을 제정하여 환경보전지역사업(ESA)을 착수하였는데, 이 사업은 환경과 경관의 보전과 양립하는 농업생산방법의 도입을 촉진하기 위한 보조금 지급 등의 내용을 담고 있다. 1992년에 농업환경규칙을 제정하였으며 1995년부터는 이와 관련하여 농민들에게 보조금을 지급하고 있다. 1998년에는 '지속가능 농업 지침'을 제시하여 회원국의 지속가능농업정책 프로그램 도구로 활용하고 있다.
3. 일본은 1999년 소위 '환경 3법'인 '지속가능한 농업생산방식 도입 촉진에 관한 법률', '가축 배설물 관리 적정화 및 이용 촉진에 관한 법률', '비료 단속법 개정안'을 통과시켜 제도적 기반을 구축하였다. 특히 '지속가능한 농업생산방식 도입 촉진에 관한 법률'에 의거 우수 농민은 'Eco-farmer'로 지정하고 각종 혜택을 부여하고 있다.

제 7 절 참고문헌

- 농림부 (2006) 자연순환형 유기농업 표준모델 개발. 농림기술개발사업연구보고서.
- 농림수산식품부 (2008) 농림수산식품통계연보. 과천, 대한민국.
- 농촌진흥청 (2002) 친환경농업을 위한 퇴비 제조와 이용(표준영농교본-89). 수원, 대한민국.
- 농촌진흥청 (2006) 축종별 양분배설총량에 대한 가축단위 기준안 보고 자료. 수원, 대한민국.
- 농촌진흥청 (2007) 고품질 조사료 자급을 위한 청보리 품종개발 및 생산과 이용. 수원, 대한민국.
- 농촌진흥청 (2008) 사료비 절감 조사료 생산 이용. 농촌진흥청, 수원, 대한민국.
- Aslam D, VanderGheynst JS, Rumsey T (2008) Development of models for predicting carbon mineralization and associated phytotoxicity in compost-amended soil. *Bioresour. Technol.* 99: 8735-8741.
- Barrington S, Choinière D, Trigui M, Knight W (2002) Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon loss. *Bioresour. Technol.* 83: 189-194.
- Bengtson P, Bengtson G (2005) Bacterial immobilization and remineralization of N at different growth rates and N concentrations. *FEMS Microbiol. Ecol.* 54: 13-19.
- Bernal MP, Sanchez-Monedero MA, Paredes C, Roig A (1998) Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 69: 175-189.
- Boyle M, Paul EA (1989) Carbon and nitrogen mineralization kinetics in soil previously amended with sewage sludge. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 99-103.
- Bremner JM (1996) Nitrogen-total. In *Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods*. Sparks DL et al. (ed.), pp. 1085-1122. Soil Science Society of America, Madison, WI, U.S.A.
- Busby RR, Torbert HA, Gebhart DL (2007) Carbon and nitrogen mineralization of non-composted and composted municipal solid waste in sandy soils. *Soil Biol. Biochem.* 30: 1277-1283.
- Butler TA, Sikora LJ, Steinhilber PM, Douglas LW (2001) Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. *J Environ. Qual.* 30: 2141-2148.
- Castells E, Peñuelas J, Valentine DW (2004) Are phenolic compounds released from the Mediterranean shrub *Cistus albidus* responsible for changes in N cycling in siliceous and calcareous soils? *New Phytol.* 162: 187-195.
- Choi WJ, Jin SA, Lee SM, Ro HM, Yoo SH (2001) Corn uptake and microbial immobilization of N-15-labeled urea-N in soil as affected by composted pig manure. *Plant Soil* 235 (1): 1-9.
- Choi WJ, Lee SM, Han GH, Yoon KS, Jung JW, Lim SS, Kwak JH (2006) Available organic carbon controls nitrification and immobilization of ammonium in an acid loam-textured soil. *Agric. Chem. Biotechnol.* 49: 28-32.
- Choi WJ, Han GH, Lee SM, Lee GT, Lee KS, Yoon SM, Ro HM (2007) Impact of land-use types on nitrate concentration and $\delta^{15}\text{N}$ in unconfined groundwater in rural areas of

- Korea. *Agr. Ecosyst. Environ.* 120: 259-268.
- Choi WJ, Ro HM, Hobbie EA (2003) Patterns of natural ^{15}N in soils and plants from chemically and organically fertilized uplands. *Soil Biol. Biochem.* 35: 1493-1500.
- Choi WJ, Lee SM, Ro HM, Kim KC, Yoo SH (2002) Natural ^{15}N abundances of maize and soil amended with urea and composted pig manure. *Plant Soil* 245: 223-232.
- Chun WB, Choi WC, Kim KH (1995) Comparison of sorghum-sudangrass hybrids for feeding value and forage production in Chonnam region, Korean Grassl. Sci. 15 (1): 67-72.
- Diaz LF, Savage GM (2007) Factors that affect the process. In *Compost Science and Technology*, Diaz L et al. (eds), pp. 49-66. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Eghball B (2002) Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications. *Agron. J.* 94: 128-135.
- Eghball B, Power JF (1999) Phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications: corn production and soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 895-901.
- Gao C, Sun B, Zhang TL (2006) Sustainable nutrient management in Chinese agriculture: challenges and perspective. *Pedosphere* 16: 253-263.
- Hadas A, Portnoy R (1994) Nitrogen and carbon mineralization rates of composted manures incubated in soil. *J. Environ. Qual.* 23, 1184-1189.
- Han KH, Choi WJ, Han GH, Yun SI, Yoo SH, Ro HM (2004) Urea-nitrogen transformation and compost-nitrogen mineralization in three different soils as affected by the interaction between both nitrogen inputs. *Biol Fert Soils* 39: 193-199.
- Han WB, Kim DA (1992) Effect of seeding rate and nitrogen fertilization on the carbohydrate reserves, stand reduction, and yield, of sorghum-sudangrass hybrid, Korean Grassl. Sci. 12 (1): 33-40.
- Hao X, Larney FJ, Chang C, Travis GR, Nichol CK, Bremer E (2005) The effect of phosphogypsum on greenhouse gas emissions during cattle manure composting. *J. Environ. Qual.* 34: 774-781.
- Hao X, Chang C, Larney FJ (2004) Carbon, nitrogen balances and greenhouse gas emission during feedlot manure composting. *J. Environ. Qual.* 33: 37-44.
- Haynes RJ, Mokolobate MS (2001) Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residue: A critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 59 (1): 47-63.
- He ZL, Alva AK, Yan P, Li YC, Calvert DV, Stoffella PJ, Banks DJ (2000) Nitrogen mineralization and transformation from composts and biosolids during field incubation in a sandy soil. *Soil Sci.* 165: 161-169
- He ZL, Calvert DV, Alva AK, Li YC, Banks DJ (2002) Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant Soil* 247: 253-260.
- Helgason BL, Larney FJ, Janzen HH, Olson BM (2007) Nitrogen dynamics in soil amended with composted cattle manure. *Can J Soil Sci* 87: 43-50

- Hur D, Park MH (2006) An analysis on the success factors of environmental-friendly agriculture in Yangpyeong-gun, Korea. *Korean J. Agr. Manage. Policy* 33: 20-36.
- Insam H, de Bertoldi M (2007) Microbiology of the composting process. In *Compost Science and Technology*, Diaz L et al. (eds), pp. 25-45. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Jenkinson DS, Fox RH, Rayner JH (1985) Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen the so called 'priming' effect. *J. Soil Sci.* 36: 425-444.
- Jeon BT, Lee SM (2005) Effect of cutting times according to growth stage in sorghum x sudangrass hybrid on frequency of use, growth characteristics, forage production and crude protein yield, *Korean Grassl. Sci.* 25 (1), 33-42.
- Kang DS, Kim DH, Shim HY, Son GM, Rho CW, Kim JG (2009) Studies on cropping system for year-round cultivation of forage crops in Gyeongnam province, *Korean Grassl. Sci.* 29 (2): 137-152.
- Kim CK (2003) Regional-based nutrients cycling and development strategy of environmental-friendly agriculture. Symposium on the development model and policy for environmental-friendly agriculture. Korean Society of Organic Agriculture.
- Kim CK (2004) The status and prospect of environmental-friendly agriculture: A case study on Hongsung-gun. Korea Rural Economic Institute, Seoul. Korea.
- Kim CK, Kang CY (2002) A Study on the Systematization of Regional-Based Agri-Environmental Model. Korea Rural Economic Institute, Seoul. Korea.
- Kim CK, Kim TY, (2003) Analysis of regional-based mass balance for systematization of environmental-friendly agriculture. *Korean Rural Econ. Rev.* 26: 1-24.
- Kim JE (2006) A Study Based on Reasonable Level Estimation of Livestock Industry Considering Environmental Capacity. M.S. Thesis, Kongju University, Kongju, Korea.
- Kim JH, Park CH, Han JD, Park BG (2001) Determining the optimum number of livestock considering regional pollution load. *Korean J Agr. Manage. Policy* 28: 255-277.
- Kim YJ, Choi WJ, Lim SS, Kwak JH, Chang SX, Kim HY, Yoon KS, Ro HM (2008) Changes in nitrogen isotopic compositions during composting of cattle feedlot manure: effects of bedding material type. *Bioresour. Technol.* 99: 5452-5458.
- Kuo S (1996) Phosphorus. In *Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods*, Sparks DL et al. (ed.), pp. 869-920. Soil Science Society of America, Madison, WI. USA.
- Kuzyakov Y, Friedel JK, Stahr K (2000) Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biol. Biochem.* 32: 1485-1498.
- Kwak JH, Choi WJ, Lim SS, Lee SH, Lee SM, Chang SX, Jung JW, Yoon KS, Choi SM (2008) Sources and transformations of N in reclaimed coastal tidelands: evidence from soil $\delta^{15}\text{N}$ data. *Environ. Geol.* 53: 1331-1338.
- Larney FJ, Olson AF, Miller JJ, DeMaere PR, Zvomuya F, McAllister TA (2008) Physical and chemical changes during composting of wood chip-bedded and straw-bedded beef cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 37: 725-735.
- Larney FJ, Hao X (2007) A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. *Bioresour. Technol.* 98: 3221-3227.

- Larney FJ, Sulliva DM, Buckley KE, Eghball B (2006) The role of composting in recycling manure nutrients. *Can. J. Soil Sci.* 86: 597-611.
- Lee SM (2005) Effect of the cultivation method and cutting time on the growth characteristics, dry matter yield and voluntary intake in sorghum x sudangrass hybrid, *Korean Grassl. Sci.* 25 (1): 7-16.
- Lee SM, Moon SH, Koo JY, Jeon BT (1992) Effect of cutting height and nitrogen fertilization levels on the growth characteristics and dry matter yield of sorghum-sudangrass hybrid, *Korean Grassl. Sci.* 12 (1): 41-48.
- Lee SS, Choi SJ, Hong SB (1991) Optimum seeding rate of sorghum and sorghum-sudangrass hybrids for forage production, *Korean Grassl. Sci.* 11 (2): 116-120.
- Lim SS, Choi WJ, Kwak JH, Jung JW, Chang SX, Kim HY, Yoon KS, Choi SM (2007) Nitrogen and carbon isotope responses of chinese cabbage and chrysanthemum to the application of liquid pig manure, *Plant Soil* 295 (1-2): 67-77.
- Lim TJ, Lee IB, Kang SB, Park JM, Hong SD (2009) Effects of continual pre-plant application of pig slurry on soil mineral nutrients and yield of chinese cabbage, *Korea J. Environ. Agric.* 28 (3): 227-232.
- Lim YC, Yoon SH, Kim WH, Kim JG, Shin JS, Jung MW, Seo S, Yook WB (2006) Effects of livestock manure application on growth characteristics, yield and feed value of sorghum-sudangrass hybrid and NO₃-N leaching in paddy field. *Korean Grassl. Sci.* 26(4): 233-238.
- Mead JA (1981) A comparison of the Langmuir, Freundlich and Temkin equations to describe phosphate adsorption properties of soils. *Australian Journal of Soil Research* 19: 333-342.
- Michel FC, Pecchia JA, Rigot J, Keener HM (2004) Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw. *Compost Sci. Util.* 12: 323-334.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF) (2008) Statistics on Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Kwacheon, Korea.
- Ministry of Agriculture and Forestry (MAF) (2000) Recycling and Utilization of Livestock Manure. Research Report of National Institute of Animal Science, RDA, Suwon, Korea.
- Parkinson R, Gibbs P, Burchett S, Misselbrook T (2004) Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. *Bioresour. Technol.* 91: 171-178.
- Robinson D (2001) $\delta^{15}\text{N}$ as an integrator of the nitrogen cycle. *Trends Ecol. Evol.* 16: 153-162.
- Schefe CR, Patti AF, Clune TS, Jackson R (2008) Organic amendments increase soil solution phosphate concentrations in an acid soil: A controlled environment study. *Soil Science* 173 (4): 267-276.
- Seo S, Kim JG, Chung ES, Kim WH, Kang WS (2000) Effect of methods and rates of seeding on the forage production and nutritive value of sorghum x sudangrass hybrid

- grown under application of animal manure, Korean Grassl. Sci. 20 (1): 49-54.
- Sharpley A, Moyer B (2000) Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *Journal of Environmental Quality* 29 (5): 1462-1469.
- Shin HS, Lee SH, Kim WH, Kim JG, Yoon SH, Lim KB (2005) Effects of ammonium sulfate and potassium sulfate fertilizer on dry matter yield and forage quality of sorghum x sudangrass hybrid in reclaimed tidal land, Korean Grassl. Sci. 25 (4): 245-250.
- Sim JC (2005) A study on the development of regional livestock industry based on sustainable agriculture in Korea. *Korean J. Organic Agr.* 13: 339-355.
- Siva KB, Aminuddin H, Husni MHA, Manas AR (1999) Ammonia volatilization from urea as affected by tropical-based palm oil mill effluent (POME) and peat. *Commun. Soil Sci. Plan.* 30: 785-804.
- Sleugh BB, Gilfillen RA, Willian WT, Henderson HD (2006) Nutritive value and nutrient uptake of sorghum-sudangrass under different broiler litter fertility programs. *Agron. J.* 98: 1594-1599.
- Turan NG, Ergun ON (2007) Ammonia uptake by natural zeolite in municipal solid waste compost. *Environmental Progress* 26: 149-156.
- Uzun F, Cigdem I (2005) Forage sorghum and sorghum-sudan grass hybrids. *J. Agric. Fac.* 20: 66-72.
- Woodbury IL (1992) Applying compost to crops. *Biocycle.* 32: 70-72.
- Yoo JH, Ro HM, Choi WJ, Yoo SH, Han KH (2006) Phosphorus adsorption and removal by sediments of a constructed marsh in Korea. *Ecological Engineering* 27 (2): 109-117.
- Yoon JY (2005) A Study on the Model and Strategy for Developing Environmentally Friendly Agriculture of Asan Area. MS Thesis, Dankuk University, Cheonan, Korea.
- Zvomuya F, Larney FJ, Nichol CK, Olson AF, Miller JJ, DeMaere PR (2005) Chemical and physical changes following co-composting of beef cattle feedlot manure with phosphogypsum. *J. Environ. Qual.* 34: 2318-2327.

제 2 장 자원순환농업시스템에서 조사료 생산체계 개발 [3-2]

제 2 장 자원순환농업시스템에서 조사료 생산체계 개발 [3-2]

요 약 문

I. 제 목 : 자원순환농업시스템에서 조사료 생산 체계 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

가. 연구개발의 목적

반추동물 생산을 위한 조사료의 생산 및 이용 기술의 체계를 확립하여 경종과 축산이 연계된 자원순환농업 모델 개발에 기여하고자 함.

나. 연구개발의 필요성

- 우리나라 반추가축의 생산에 필요한 조사료의 절반 이상이 사료가치가 낮은 벣짚으로 충당되고 있으며 약 17% 정도인 60여만톤의 조사료가 외국으로부터 수입되어 이용이 되고 있어 양질 조사료 생산 기반 확충이 시급하게 요구됨.
- 사료가치에 입각한 생산 및 이용이 이루어지지 않는 경우가 많음. 사료가치 평가에 입각한 조사료 생산기술 개발의 필요성이 강조됨,
- 단위면적당 최고의 영양소 수량 확보와 가능한 한 역내 순환을 최대한으로 할 수 있는 작부체계의 설정을 위한 하계작물의 집약적 재배체계의 도입이 고려되어야 함.
- 자원순환형 조사료생산을 위해 분뇨환원에 따른 조사료생산성, 동물영양소 요구량 및 조사료에 의한 영양소 공급량의 평가에 입각한 조사료 생산 작부의 평가가 이루어져야 함.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 답리작 조사료 생산체계 개발

- 답리작에서 경종작물을 이용한 조사료 생산기술 개발
 - 사료용 총체보리, 총체벼 재배 시험
- 총체보리, 총체벼 이용기술 개발
 - 총체보리, 총체벼 사일리지 조제
 - 총체보리 사일리지 위주의 섬유질 배합사료 제조
 - 조제된 사일리지 및 섬유질 배합사료의 사료가치 평가
- 답리작 경종작물-한우 연계모형 평가
 - 총체보리 - 총체벼 작부의 조사료생산성 평가
 - 연계모형의 동물영양소 수치 평가 및 경영성 분석
- 벼 조기 재배 논을 이용한 조사료 생산
 - 벼 뒷거루 논 이용 동계사료작물 생산성 평가
 - 벼 뒷거루 동계작물 - 헤어리베치 혼파 시험

2. 전작 조사료 생산체계 개발

- 전작 조사료생산 작부체계 설정을 위한 재배시험

- 전작 수단그라스 수확시기별 수량 및 사료가치평가
 - 옥수수 만파재배 및 춘계조기춘파 재배
 - 수단그라스 후작 동계작물의 수량 및 사료가치 평가
 - 지역특성에 맞는 단백질 조사료원 발굴 및 두과작물과의 혼파에 의한 영양소 수량 향상
 - 두과 사료작물 사료가치평가 및 비교
 - 보리-두과작물 혼파시험
 - 전작에서 단위면적당 영양소 생산량 제고 방안
 - 옥수수 2기작 재배
 - 전작 옥수수의 자원순환 퇴비 시용량에 따른 수량 및 사료가치 평가
 - 이탈리아인 라이그라스 혼파시험
3. 자원순환형 조사료 생산체계 설정을 위한 수행된 연구결과의 적용 및 스트레스하의 작물관리 지침 마련을 위한 기초 실험
- 작부조합간 단위면적당 수량, 영양소 생산성, 가축수용력 및 분뇨환원량 비교평가
 - 가뭄스트레스 강도에 따른 표지물질의 반응 분석 및 황 공급수준에 따른 질소, 황 동화관련 효소활력의 분석

IV. 연구개발결과

가. 1 차년도:

- 1) 답리작 경종작물을 이용한 조사료 생산 및 총체사일리지 조제
- 답리작 총체보리 및 총체벼 사일리지 조제를 위한 적정 수확시기는 조단백질과 TDN 함량을 고려할 때 유숙기와 황숙기 사이에 수확하는 것이 적절한 것으로 판단되었음.
 - 답리작 총체보리 및 총체벼의 생육시기별로 조제된 사일리지의 발효과정중 건물율, pH, 유기산 함량을 분석한 결과, 황숙기에 수확한 사일리지에서 수분 함량이 30%이상, pH 5.0이상이며 젖산 함량이 가장 높아 사일리지 조제를 위한 총체보리와 총체벼의 적정수확시기는 황숙기임을 확인하였음.
- 2) 총체보리사일리지 위주의 섬유질배합사료 제조
- 총체보리 사일리지 이용 및 보급 확대의 방안으로 조제된 총체보리 사일리지를 위주로 한 섬유질 배합사료를 제조하였음. 조제된 섬유질 배합사료의 조단백질 함량 14.6±1.0%, 가스화영양소 총량 (TDN) 67.4±4.1%로 양질의 사료가치를 나타냄.

나. 2차년도:

- 1) 답리작 경종작물 - 한우 연계모형 평가
- 한우시험농가의 사육규모는 거세우 40두, 암소어미 50두, 송아지 10두의 연간 TDN 요구량과 보유 답리작 경지면적 1ha에서 총체벼 및 총체보리 사일리지 생산 중심의 작부에서 생산된 TDN 생산량을 기준으로 동물영양소 수지를 평가 한 결과, 연간 TDN 요구량에 비해 총체벼 및 총체보리 사일리지 생산 중심의 작부의 영양소 생산수량은 농후사료 공급량을 포함하여 50% 미만으로 매우 낮게 평가됨
 - 총체보리-총체벼 중심의 조사료급여에 의한 한우사양은 관행적인 벧짚급여에 비해 높은 사양효과가 인정되었으며, 한우농가의 수익성도 유의적으로 증가되었음
 - 총체보리-총체벼 작부의 단백질 및 TDN 수량이 낮아 단위면적당 가축수용력 및 배출분뇨

의 역외 유출의 불가피성의 문제점이 도출됨.

2) 지역특성에 맞는 단백질 조사료자원의 탐색 및 두과작물과의 혼파 시험

- 단위면적당 영양소 생산수량을 높이기 위한 방안으로 자운영, 크립슨클로버, 완두, 헤어리베치 알팔파 5종 15품종의 사료성분, 단백질 함량 및 수량을 평가한 결과, 가소화영양소 총량 (TDN)은 65 - 70%의 범위로 전 공시품종 모두 높은 영양소 함량을 보여 주었음. 건물수량, 조단백질 함량, TDN 함량 및 상대적 사료가치 (RFV)의 분석 결과를 고려할 때 단위면적당 영양소 수량의 향상을 위해 헤어리베치의 이용이 가장 우수한 것으로 평가 되었음.
- 총채보리의 낮은 영양소 수량을 개선하기 위한 방안으로 보리와 5종의 두과작물과의 혼파 시험 결과, 보리-완두콩 혼파구와 보리-헤어리베치 혼파구에서 보리 단파구 대비 10.4% 및 15.6%의 TDN 수량이 증가하였음.

다. 3차년도:

1) 전작 조사료 작부체계 개발

- 하계작물 조사료 생산성을 평가하기 위해 수단그라스, 옥수수 만파재배 및 춘계조기 파종에 따른 수량 및 사료가치를 평가하였다. 수단그라스의 건물 수량 및 TDN 수량은 각각 14.5톤/ha 및 8.3톤/ha 였다. 옥수수만파 (8월 21일 파종 - 10월 30일 수확) 재배에서 10품종 x 평균 13.3톤의 건물 수량을 얻었음. 옥수수 춘계조기재배에서 건물수량은 중만생종 P32P75 16.9톤/ha 및 조생종 33T56 품종에서 19.9톤/ha를 얻었음.
- 수단그라스 수확 후 동계작물의 6종을 2008년 10월 15일에 파종하여 2009년 4월 25일과 5월 18일에 수확하여 수량 및 사료가치를 평가하였다. 전 초종 공히 수확시기가 늦어질수록 수량은 증가하는 반면 사료가치는 감소하였음. TDN 수량은 호맥에서 4월 25일 수확시 7924 kg/ha 및 5월 18일 8073 kg/ha으로 가장 높은 TDN 수량을 나타내었으며, 유채 헤어리베치 순으로 수량이 높았음. 연맥, 보리 및 이탈리아인 라이그라스는 5000 에서 6600 kg/ha 범위의 TDN 수량을 나타내었음.

2) 다양한 생산기반에서 조사료 생산방안 모색

- 벼 수확 후 논을 이용한 조사료생산성을 검토하기 위해 2008년 10월 25일 호맥 (Blue land), 연맥 (동한), 보리 (유연보리), 이탈리아인 라이그라스 (Early bird), 유채 (Mosa) 및 헤어리베치 (Pebb-2)을 파종하여 2009년 4월 25일과 5월 18일 각각 수확하였음. 조단백질 수량은 헤어리베치에서 4월 25일 및 5월 18일 수확시 2151 kg/ha 및 1309 kg/ha으로 가장 높은 조단백질 수량을 나타내었으며, TDN수량은 호맥에서 4월 25일 및 5월 18일 수확시 7244 kg/ha 및 6727 kg/ha로 가장 높았음. 수확시기가 늦어짐에 따라 TDN 수량이 증가하였는데 그 증가폭은 전작에서 보다 현저히 낮았음.
- 단위면적당 단백질 수량을 증가시키기 위한 방안으로 벼 조기 수확 후 헤어리베치와 동계화분과 작물과의 혼파시험을 실시하였음. 2008년 10월 25일에 파종하여 2009년 4월 25일 수확. 벼 뒷거루로 재배된 호맥, 연맥, 이탈리아인 라이그라스 단파에서 얻은 조단백질 생산수량 (1089, 648, 1136 kg ha⁻¹)과 비교하면 호맥-헤어리베치 혼파구는 유의적인 차이가 없었으나, 연맥과 이탈리아인 라이그라스와 헤어리베치 혼파구에서는 조단백질 수량이 각각 41% 및 36% 유의적으로 증가하였음.

라. 4차년도:

1) 단위면적당 최대 영양소 생산을 위한 조사료 작부체계 설정

○ 단위면적당 최대 영양소 생산을 위한 방안으로 옥수수 2기작 재배를 실시하였음. 1차 파종은 2009년 4월 20일 파종하여 7월 23일 수확하였고, 2차 재배는 2009년 7월 30일 파종하여 10월 28일 수확하였다. 건물수량은 1차 수확시 ha당 19톤이었으며 2차 수확시 유의적으로 감소하였음. 조단백질 수량은 1차 및 2차 수확시에 각각 1638 kg/ha 및 1229 kg/ha이었음. TDN 수량은 1차 및 2차 수확시에 각각 12.8톤/ha 및 11.2톤/ha이었음.

○ 수행된 연구결과들을 근간으로 작부조합간 단위면적당 수량, 영양소 수량, 가축수용력 및 분뇨환원력을 각각 비교 평가하였음. 답리작의 경우 하계작물을 총체벼로 제한할 경우 총체벼의 단백질 및 TDN 수량이 다른 다수성 하계작물에 비해 현저히 낮기 때문에 단위면적당 연간 수량을 증가시키는데 한계가 있는 것으로 평가됨. 전작에서 수단그라스를 주작물로 하는 모든 동계작물과의 작부조합의 조단백질 수량은 총체벼-총체보리 작부조합과 비해 2.5배에서 3.6배 증가하였으며, TDN 수량 역시 2.1배에서 2.5배 증가하였음. 수단그라스-호맥/이탈리안 라이그라스 혼파 작부 조합이 권장 됨. 옥수수 - 옥수수 - 동계작물의 작부조합을 통하여 단위면적당 수량을 현저히 증가시킬 수 있는 것으로 평가됨. 옥수수 2기작 - 호맥 작부에서 연간 TDN 생산량은 31.6 톤.ha에 달해 총체벼-총체보리 작부와 비교할 때 약 4.5배 높은 TDN 생산량이며, 단위면적당 가축수용력도 20.1두 까지 올릴 수 있으며 축분 환원량 역시 약 20% 높일 수 있을 것으로 평가되어 자연순환농업모델에 적용할 수 있는 매우 중요한 조사료 생산작부체계가 될 것으로 판단하였음.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 연구성과

논문게재		학술 발표	특허 (출원 /등록)	영농 활용	시책 건의	기술 이전	유전 자원 등록	교육 지도	산업화	국제 협력	홍보	인력 양성	성과물 제작
국내	SCI(E)												
2	1	3				10 (3 혁신공용)		1					3

2. 성과활용 계획

1) 산업체 기술이전

- 옥수수 2기작 재배 중심의 조사료 생산작부 체계 기술이전 추진

2) 학술논문 발표 계획

- 학술진흥재단 등재지 2편, SCI 등재지 1편 준비 중

3) 영농활용 및 교육 계획

- 자원순환형 조사료 생산기술을 영농활용 및 학부생 현장실습교육에 활용

VI. SUMMARY

I. Title : Development of forage production techniques under organic resources cycling-based agriculture system.

II. Objectives and Necessity of research

1. Objectives

The final main goal of this research is to develop "model of organic resources cycling-based agriculture" by the establishment of forage production techniques.

2. Necessity of the research

- More than 50% of forages demanded for the ruminant livestock production has been fed by dried rice straw and about 17% of total forage are imported. Under very low self-supporting basis of forage production, the techniques and system for the production and utilization of high quality forage should be urgently developed.
- The estimation has often not performed for the forage production and utilization. This leads to the low livestock productivity. The establishment of feed value based-forage production techniques or system is essential for the proper livestock production.
- Development of forage production system, which allows for high nutrient production per unit area and facilitates internal cycling of organic resources, is highly demanded. In this context, an intensive cropping system of summer forage crops and winter crops should be considered.
- A punctual estimation of forage productivity and feed value, the balance between animal nutrient requirement and forage nutrient supply of the proposed cropping systems should be performed to develop an organic resources cycling-based agriculture system.

III. Contents and detailed scope

1. Development of cropping systems for forage production in paddy land

- Forage production using grain crops in paddy land
 - Field experiment to estimate of forage productivity and feed value of whole crop barley
- Improvement of use efficiency of whole crop rice and barley
 - Whole crop silage making
 - Whole crop barley silage-based TMR making
 - Feed value estimation of whole crop silage, and barley silage-based TMR
- Assessment of forage nutrient supply of the whole crop barley and rice cropping in relation to annual animal nutrient requirement
 - Forage productivity of the whole crop barley and rice cropping
 - Profit analysis in the combined model "Whole barley - rice cropping and Hanwoo cattle"
- Forage production in paddy after harvesting the early-maturing rice
 - Assessment of productivity and feed value of winter crops
 - Improvement of nutrient productivity by mixed sowing winter crops - hairy vetch

2. Development of cropping systems for forage production in upland

- Field experiment to establish the proper cropping system for forage production

- Forage productivity and feed value of Sudangrass as affected by harvesting date
- Forage productivity of corn by late sowing and early spring sowing
- Forage productivity of winter crops
- Screening of leguminous crops for improving protein production
 - Chemical analysis and feed value of 15 cultivars of 5 leguminous forage species
 - Forage productivity and feed value as affected by barley - legumes mixed sowing
- Field experiments for investigating the means to maximize nutrient productivity per area
 - Two continuous corn cultivation
 - Forage productivity and feed value of Sudangrass as affected by the level of cattle manure application

3. Application of the results obtained to organic resources cycling-based agriculture system and basic experiments for establishing the crop management guideline under stress conditions

- Assessment of forage productivity, animal nutrient productivity, livestock allowance of herbage, and manure allowance of soil per area under cultivation were compared among forage cropping systems.
- The response of stress parameters in relation to the intensity of drought stress. The activity of key enzymes of N and S assimilation was also analyzed under different sulfur availability.

IV. Resume of results obtained

1. The first year:

1) Development of cropping systems for forage production in paddy land and whole crop silage making

- The results obtained suggested that the proper harvest time for the silage making of whole crop barley and rice was the early yellow ripening period,
- Dry matter content , pH, organic acids composition of the silages, which harvested at different growth periods, were analyzed to determine the silage quality. The silage made at yellow ripening period was estimated to be the best quality, representing above 30% of dry matter content, above 5 of pH and the highest latic acid.

2) Whole crop barley silage-based TMR making

- As one of means for expanding the utilization of whole crop barley silage, whole crop barley silage-based TMR was made. Crude proteins and total digestible nutrient (TDN) of the made TMR was $14.6 \pm 1.0\%$ and $67.4 \pm 4.1\%$.

2. The second year:

1) Assessment of forage nutrient supply of the whole crop barley and rice cropping in relation to annual animal nutrient requirement in a combined model "cropping system - Hanwoo production"

- In the experiment farm, which has a farming scale of 40 steers, 50 heifers and 10 calves with 1 hectare of paddy land under cultivation, the nutrient balance between TDN productivity in a given area under cultivation and annual TDN requirement was assessed. Annual TDN supply, including that of concentrate portion, was less than 50% of total TDN requirement
- The feeding efficiency of whole crop barley and rice silage was largely higher than that of dried rice straw. The profit of Hanwoo farm was estimated to be improved.
- Several problems such as a very low animal allowance per area and an inevitability of external application of the produced manure, has been apparent mainly due to a lowed nutrient production per area.

2) Field experiment to establish the cropping system for improving protein productivity per area

- An field experiment with 15 cultivars of 5 leguminous species, Chinese milk vetch, Crimson clover, forage pea, hairy vetch and alfalfa, was carried out to select the proper leguminous crops suitable to local environment. All leguminous plants examined contained a high TDN with a range of 65-70%. When considered the crude protein, TDN and relative feed value, hairy vetch could be recommended as the best nutrient productive crop.
- As one of means to improve the low and limited nutrient production when barley was single sown, productivity and feed value as affected by barley - legumes mixed sowing were assessed. TDN productivity in barley-pea and barley-hairy vetch mixed sward increased by 10.4% and 15.6%, respectively, compared to that of barley single sowing.

3. The third year:

1) Development of cropping systems for forage production in upland

- To determine the productivity and feed value of summer crops, three separated field experiments were carried out. Dry matter (DM) and TDN yield of Sudangrass were 14.5 and 8.3 ton/ha. DM yield on average of 10 corn cultivars by the late sowing cultivation, which was sown on the 21th August and harvested on the 30th October, was 13.3 ton /ha. DM yields of corn by the early spring sowing was 16.9 ton/ha in the mid-late maturing cultivar P32P75 and 19.9 ton/ha in the early maturing cultivar 33T56.
- To determine the productivity and feed value of winter crops, winter rye (cv. Blue land), oats (cv. Donghan), barley (cv. Youyeun) Italian ryegrass (cv. Early birds), forage rape (cv. Mosa) and hairy vetch (cv. Pebb-2) were sown on the 15th Oct. 2008 and harvested on the 25th Apr. and 18th May 2009, respectively. DM yield increased with delaying the harvest while nutrient productivity decreased. The highest TDN yield was obtained in winter rye, presenting 7924 kg/ha when harvested on the 25th Apr. and 8073 kg/ha on the 18th May, and followed by forage rape and hairy vetch. TDN yield of oats, barley and Italian ryegrass was a range of 5000 - 6600 kg/ha.

2) Forage production in paddy after harvesting the early-maturing rice

- To assess the productivity and feed value of winter crops in paddy land where the harvest of early maturing rice was already done, a field experiment was carried out with same crops and experimental procedure. The highest crude protein yield was obtained from hairy vetch. The TDN yield of winter rye was the highest, presenting 7244 kg/ha (harvested on the 25th Apr.) and 6727 kg/ha (18th May). TDN yield slightly increased with delaying harvest. The rate of increase in TDN yield was much less than that in upland.
- The effects of mixed sowing winter crops with hairy vetch on nutrient productivity was examined in paddy land after harvesting early maturing rice. Crude protein yield in oats-hairy vetch and Italian ryegrass-hairy vetch mixed sward increased by 41% and 36%, respectively, compared that of single sowing.

4. The fourth year:

1) Field experiment to establish the cropping system to enhance nutrient productivity per area in upland

- Two continuous corn cultivation was carried out to obtain a maximum forage productivity. The first cultivation was carried out from 20 Apr. 2009 to 23 Jul. 2009, and the second from 30 Jul. 2009 to 28 Oct. 2009. DM yield of the first harvest was 19 ton/ha, and slightly decreased at the second harvest. The crude protein yield was 1638 and 1229 kg/ha, respectively, and TDN yield was 12.8 and 11.2 ton/ha, respectively, for the first and second harvest.

2) Application of the results obtained to organic resources cycling-based agriculture system

- Taken together all data obtained from the field experiments, annual DM, crude protein, TDN productivity, livestock allowance and organic manure reception per area in the given cropping system were assessed. When rice plant is fixed as summer crop of the cropping system in paddy land, it was very limited to increase total annual nutrient yield because crude protein and TDN yield of whole crop rice was largely lower than those of other summer crops. All cropping systems taking Sudangrass as a summer crop showed 2.5 - 3.6 fold higher TDN yield than whole crop rice - barley cropping. Among cropping systems used Sudangrass as a summer crop, Sudangrass-rye and Sudangrass-Italian ryegrass combinations were recommended. It was evident that DM, crude protein and TDN yield could be highly (more than 45%) increased by introducing two continuous cultivation in the cropping system. Total TDN yield in corn-corn-rye combination was 31.6 ton/ha, corresponding 4.5 fold higher than rice-barley combination in paddy land. It was estimated that animal allowance per hectare could be increased to 20.1 (on the basis of 300kg live weight of steer with 0.8 kg of daily gain) and more than 20% of manure might be applied under corn-corn-rye cropping. For these reasons, an introduction of two continuous cultivation into the cropping system is strongly recommended to establish organic cycling based-agriculture.

목 차

제 1 절 연구개발과제의 개요	1
1. 연구개발의 목적	1
2. 연구개발의 필요성	1
3. 연구개발 내용 및 범위	3
제 2 절 국내외 기술개발 현황	3
제 3 절 연구개발 수행내용 및 결과	5
1. 연구개발 수행 내용	5
2. 연구개발 수행 결과	5
가. 답리작 조사료 생산체계 개발	5
(1) 답리작 조사료 생산 작부체계 설정을 위한 총채보리/총채벼 재배 시험	6
(2) 총채보리/총채벼 사일리지조제 및 사료가치 평가	7
(3) 답리작 총채보리+총채벼 작부체계 - 한우 연계모형의 평가	10
(4) 조기 벼 재배 논 이용 조사료 생산	14
(5) 답리작에서 자원순환농업을 위한 축분시용에 따른 조사료 생산성 평가	16
나. 전작 조사료 생산체계 개발	17
(1) 전작 조사료 생산 작부체계 설정을 위한 재배시험	18
(2) 전작에서 단위면적당 영양소 생산량 제고 방안	22
(3) 전작에서 자원순환농업을 위한 축분시용에 따른 조사료 생산성 평가	22
다. 자원순환형 조사료 생산체계 설정을 위한 수행된 결과의 적용 및 스트레스하의 작물관리 지침 마련을 위한 기초 실험	31
(1) 자원순환형 조사료 생산체계 설정을 위한 수행된 연구결과의 적용 및 평가	31
(2) 조사료 생산을 위한 스트레스하의 작물관리 지침 마련을 위한 기초 실험	32
제 4 절 목표달성도 및 관련분야의 기여도	35
1. 평가의 착안점 및 기준	35
2. 연구개발목표의 달성도	36
3. 관련분야의 기술발전 기여도	37
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	38
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	40
제 7 장 참고문헌	41

제 1 절 연구개발과제의 개요

1. 연구개발의 목적

경종과 축산이 연계된 자원순환농업 모델 개발에서 중요한 하나의 축을 차지하고 있는 반추동물 생산을 위한 조사료의 생산 및 이용 기술의 체계를 설정하고자 년차별로 답리작 총체보리, 총체벼의 생산성 및 사료가치를 평가, 답리작 경종작물 - 한우 연계모형에서 동물 영양수지 평가, 전작에서 하계 및 동계작물의 생산성 및 사료가치 평가, 지역의 특성에 맞는 단백질 사료자원의 탐색, 단위면적당 영양소 생산성 제고 방안을 모색하여 자원순환농업 체계에 적합한 조사료 생산 작부 체계를 설정하고자 함.

2. 연구개발의 필요성

- 가. 우리나라 반추가축의 생산에 필요한 조사료는 약 400여만 톤으로 이중 절반 이상이 사료가치가 낮은 벣짚으로 충당되고 있으며 약 17% 정도인 60여만 톤의 조사료가 외국으로부터 수입되어 이용이 되고 있어 양질 조사료의 생산 확대는 시급하게 해결되어야 할 과제임. 그러나 초지 및 사료포면적은 지속적으로 감소되고 있어 양질 조사료생산 및 이용기술의 개발 그리고 기술의 현장 이전이 절실히 요구됨.
- 나. 자급 조사료 생산 및 이용 현황은 대부분 단순 수량을 중시하여 수량 확보에 중점을 두고 있는 실정이며 사료가치에 입각한 생산이 이루어지지 않는 경우가 많음. 사료가치 평가에 입각한 조사료 생산기술 설정 및 단위면적당 영양소 생산성 향상을 위한 조사료생산 기술 개발, 그리고 사일리지 및 조사료 중심 섬유소 배합사료 등의 조사료이용 기술 개발의 필요성이 강조됨, 뿐만 아니라 조사료 생산 작부체계내에서 주작물과 부작물의 생산성과 사료가치, 지속가능한 조사료 생산방안이 모색되어야 함.
- 다. 사육두수 대비 지극히 낮은 조사료생산을 위한 경지 면적을 가지고 있는 대부분의 현 축산농가의 경영구조하에서 축산농가의 분뇨처리 부담 경감, 조사료 생산성 극대화, 유기조사료 생산, 배출과 토양환원의 균형의 관점 등을 고려 할 때 분뇨자원의 역내물질순환에 기본적인 목표를 두고 이에 대한 영양수지 평가가 이루어져 함. 단위면적당 최고의 영양소 수량 확보와 가능한 한 역내 순환을 최대로 할 수 있는 작부체계의 설정을 위한 하계작물의 집약적 재배체계 및 후작물의 생산성 평가가 중요한 과제임.

3. 연구개발 내용 및 범위

가. 1차년도

- (1) 답리작에서 경종작물을 이용한 조사료 생산기술 개발
 - 총체보리 재배 시험
- (2) 총체보리 이용기술 개발
 - 총체사일리지 조제 및 총체보리 사일리지 위주의 섬유질 배합사료 제조
 - 조제된 사일리지 및 섬유질 배합사료의 사료가치 평가

나. 2차년도

- (3) 총체벼 생산 및 이용기술 개발
 - 사료용 벼 재배 시험

- 총체벼 사일리지 조제 및 사료가치 평가
- (4) 답리작 경종작물-한우 연계모형 평가
 - 총체보리 - 총체벼 작부의 조사료생산성 평가
 - 연계모형의 동물영양소 수치 평가 및 경영성 분석
- (5) 지역특성에 맞는 단백질 조사료원 발굴 및 두과작물과의 혼파에 의한 영양소 수량 향상
 - 두과 사료작물 사료가치평가 및 비교
 - 보리-두과작물 혼파시험

다. 3차년도

- (1) 전작 조사료생산 체계 개발
 - 전작 하계, 동계작물 재배 시험
 - 축분시용에 따른 조사료 수량 및 사료가치 평가
- (2) 다양한 생산기반에서 조사료 생산 방안 모색
 - 벼 뒷거루 논 이용 동계사료작물 생산성 평가
 - 벼 뒷거루 동계작물 - 헤어리베치 혼파 시험

라. 4차년도

- (1) 단위면적당 최대 영양소 수량 생산을 위한 조사료 생산 작부체계 설정
 - 옥수수 2기작 재배
 - 전작 옥수수의 자원순환 퇴비시용량에 따른 수량 및 사료가치 평가
 - 이탈리아라이그라스 혼파시험
- (2) 자원순환형 조사료 생산체계를 위한 수행된 결과의 적용 및 평가
 - 작부조합간 단위면적당 수량, 영양소 생산성, 가축수용력 및 분뇨환원량 비교평가

제 2 절 국내외 기술개발 현황

1. 우리나라 반추가축의 생산에 필요한 조사료는 약 400여 만톤으로 이중 절반 이상이 사료가치가 낮은 벣짚으로 충당되고 있으며 약 17% 정도인 60여 만톤의 조사료가 외국으로부터 수입되어 이용이 되고 있어 양질 조사료의 생산 확대는 시급하게 해결되어야 할 과제임. 그러나 초지 및 사료포면적은 지속적으로 감소되고 있어 양질 조사료생산 기반을 확대하기 위한 대책이 절실히 필요함(농림부, 2006). 조사료 생산과 이용에 관한 연구 및 실제 현장 적용이 널리 이루어져 왔지만, 작부체계내에서의 평가 그리고 물질순환 구조에 입각한 영양소 수치 평가에 대한 연구는 매우 미미한 실정임. 본 연구에서 실시한 총체보리/총체벼 작부-한우 연계 모형에서 영양소 수치 평가 결과들은 현재 까지 거의 보고된 바가 없음. 또한 역내에서 배출된 축분을 이용한 전작 및 답리작 조사료 생산 작부체계 설정을 위한 관련 시험은 처음으로 시도된 것으로 평가되며, 얻어진 결과들은 자원순환형 축산 및 유기사료 생산의 매우 중요한 기초데이터로서 활용될 것으로 판단됨.
2. 총체보리의 재배 및 이용에 대한 기술 개발은 광범위하게 이루어져 있으며 (김 등, 2006; 지 등, 2007; 박 등, 2008) 그 효용성 역시 널리 인정받고 있는 실정임. 그러나 현재 유통되고 있거나 실제 자가 생산을 하는 농가에서도 의 총체보리 사일리지의 경우 대부분 단순 수량을 중시하여 수확확보에 중점을 두고 있는 실정이며 사료가치에 입각한 생산이 이루어지지 않는 경우가 많음. 쌀 소비량의 감소에 따른 쌀 생산 조정 및 축산농가에 양질의 조사료 공급의 관점에서 사료용 벼 이용에 의한 가축의 생산성 향상을 꾀하기 위해, 사료용 벼를 이용한 조사료 생산에 대한 연구들이 보고되고 있으나 (성 등, 2004, 김 등, 2007; 2008)나 실제 농가에서 생산 및 이용은 아직 미미한 실정임. 현재 농후사료 대비 조사료의 적정급여 비율 및 양질 조사료 급여율이 현저히 낮은 현 사양실태를 고려할 때, 본 연구에서 얻어진 총체보리/총체벼 작부에서 조사료 생산성 평가, 양질조사료 생산을 위한 적정수확시기, 두과사료작물의 이용 기술, 사일리지 조제 및 사료가치 평가에 의한 조사료 이용 등의 결과들은 답리작 경종작물을 이용한 조사료 생산성 향상, 양질 조사료 생산 및 효율적 이용에 크게 기여 하리라 판단됨.
3. 자원순환농업에 대한 인식이나 연구는 경종, 원예, 등 경제작물 재배의 비료자원으로서 특히 최근에 유기농업에 인식고조와 더불어 경제작물의 유기재배를 위한 수단으로 분뇨자원의 이용을 고려하는 즉 대부분의 경우 역외순환을 전제로 하고 있음. 축산농가의 분뇨처리 부담 경감, 조사료 생산성 극대화, 유기조사료 생산, 배출과 토양환원의 균형의 관점 등을 고려할 때 분뇨자원의 역내물질순환에 기본적 목표를 두고 이에 대한 영양수치 평가가 이루어져 함에도 불구하고 관련 연구는 매우 거의 이루어져 있지 않은 실정임. 본 연구에서 수행한 역내 자원 순환에 입각한 즉 분뇨퇴비-사료작물생산-가축사양으로 순환되는 식물, 동물 영양소 수치를 실제 순환형 한우사육으로부터 평가한 것은 처음으로 이루어진 것으로 판단됨.
4. 축산농가의 경영구조는 사육두수에 비해 조사료 생산 경지면적은 절대적으로 낮음. 사료비 상승, 분뇨처리비용의 부담 등으로 인한 경영성 악화로 이어지고 있는 실정임. 옥수수는 가

축기호성이 높고 생산성 및 사료가치가 높은 대표적 하계작물로서 국내육성 및 수입 옥수수 품종의 사일리지 생산성 (이 등, 2004; 손 등, 2006), 작부조합에서의 생산성 (임 등, 1991; 한 등, 1995), 재배 및 관리방법에 따른 생산성 (김 등, 2008; 정 등, 2009)에 관한 연구 등이 광범위하게 수행되었음. 단위면적당 최고의 영양소 수량 그리고 분뇨환원량을 증가시키는 방안으로 옥수수 2기작을 추천함. 옥수수 2기작 재배 결과, 검토한 조사료 사료작부체계중 단위면적당 가장 높은 조단백질, TDN 및 가축수용력을 나타냄. 옥수수 2기작 재배에 의한 조사료 생산성 및 사료가치의 평가와 자원순환 농업의 관점에서 단위면적당 가축수용력 및 분뇨수용량을 평가 한 자료는 본 연구를 통해 처음 보고 되는 것으로 판단하고 있음. 옥수수 2기작 중심의 조사료 생산작부체계의 도입은 현 옥수수-동계작물의 작부체계와 비교할 때 적어도 50-60% 이상 연간 영양소 수량 및 가축수용력을 증가를 시킬 수 있을 것으로 예상되며, 역내에서 배출되는 축분의 수용량 또한 현저히 높일 수 있기에 자연순환농업모델에 적용할 수 있는 매우 중요한 조사료 생산작부체계가 될 것으로 기대함.

5. 일본의 경우 경지면적이 넓은 북해도 축산과 경지면적이 좁은 도. 부. 현 (都府縣) 축산형으로 나누어지며, 최근 도.부.현에서 사료작물 작부면적이 감소되고 있는 반면 수입건초의 이용량이 지속적으로 증가하고 있어 우리나라와 매우 흡사한 현상을 보이고 있음. 일본의 신농업 기본법 (식량, 농업, 농촌기본계획)에 사료작물의 생산노력목표를 설정 추진하고 있음. 농림수산성 자료의 그 세부적 내용을 보면 사료자급을 2001년 26%에서 2010년 35% 수준으로 높이는 것을 목표로 이에 따른 작부면적은 2001년 94만 ha에서 2020년 110만 ha으로 증가, 사료작물 수량도 2001년 41,000 kg/ha에서 2010년 44,610kg/ha로 중산계획을 잡고 있음. 그 대책의 하나로서 농에서의 사료생산으로, 특히 벼 발효사료의 생산에 재정적 지원을 하고 있으며 사료용 벼를 호숙기에 원형배일 사일리지로 조제하는 방식을 취하고 있음.

제 3 절 연구개발 수행 내용 및 결과

1. 연구개발 수행 내용

구분	연구개발의 내용	연구범위
1차년도	경종작물을 이용한 조사료 생산기술 개발	-총체보리 재배시험
	총체보리 이용기술 개발	-총체사일리지 조제 및 사료가치평가 -총체보리사일리지를 이용한 섬유질 배합사료제조
2차년도	총체벼 생산 및 이용기술개발	-사료용 벼 재배, 총체벼 사일리지조제 및 사료가치평가
	답리작 경종작물-한우 연계모형 평가	- 총체보리-총체벼 작부의 조사료생산성 평가 - 연계모형에서 조사료생산성과 동물영양소수지 평가 및 경영성 분석
	지역특성에 맞는 단백질 조사료원의 발굴 및 두과작물 이용	- 두과사료작물 사료가치평가 및 비교 - 보리-두과작물 혼파시험
3차년도	전작 조사료생산 체계 개발	- 전작 하계, 동계작물 재배시험 - 축분사용에 따른 조사료 수량 및 사료가치 평가
	다양한 생산기반으로부터 조사료 생산방안 모색	- 벼 뒷거루 논 이용 동계사료작물 생산성 평가 - 벼 뒷거루 동계사료작물-헤어리베치 혼파시험
4차년도	단위면적당 최대 영양소 생산을 위한 작부체계 확립	- 옥수수 2기작 시험 - 전작 옥수수의 자원순환 퇴비 사용에 따른 생산성 및 사료가치 평가 - 이탈리아안라이그라스 혼파시험
	축분사용에 따른 조사료 생산성 검증	- 전작 동계작물 및 옥수수의 자원순환 퇴비 사용에 따른 생산성 및 사료가치 평가
	자원순환형 조사료 생산체계를 위한 수행된 결과 적용 및 평가	- 작부조합간 단위면적당 수량, 영양소 생산성, 가축수용력 및 분뇨환원량 비교평가
5차년도	미참여	

2. 연구개발 수행 결과

가. 답리작 조사료 생산체계 개발

우리나라의 답리작 재배 가능 총 논 면적은 1,268천 ha 이며 이 중에서 맥류를 포함한 답리작 사료작물 재배에 적합한 논 면적 386천 ha 그리고 재배 가능한 면적 499천 ha를 합하여 885천 ha의 면적에서 사료작물 재배가 가능한 것으로 보고되고 있다. 이 면적은 전체 논 면적의 70%에 해당하는 면적이다. 한. 육우 및 유우 산업의 국제경쟁력은 매우 낮으며 이는 열악한 양질조사료 생산기반에 기인하고 있다. 현재의 조사료 생산기반은 초지 4만 ha로부터 30만 톤, 볏짚 220만 톤, 사료작물포 30만 ha로부터 270만 톤으로 구성되어 총 520만 톤이 자급되고 있는 것으로 보고되어 있다. 문제는 상기 자급기반 중 사료가치가 저조한 볏짚의 공급비율이 42%를 차지하고 있는 실정이다. 볏짚을 양질의 사료작물로 대체하기 위해 추가적으로 25만 ha의 사료작물 생산 면적의 확대가 요구되고 있다. 뿐만 아니라 균형 있는 농후사료 대비 조사료의 급여비율, 양질조사료 생산 확대를 위해 현재의 사료작물 재배면적 30만 ha를 점진적으로

50만 톤으로 확대하려는 정책을 고려하면 사료작물 재배에 적합한 논과 재배 가능한 논 면적으로 평가되고 있는 약 89만 ha의 논을 이용한 답리작 사료작물 생산기술의 개발 및 그 체계의 확립이 매우 중요하다고 판단된다. 이러한 배경에서 답리작 경종작물을 이용한 조사료 생산미 이용기술 개발, 논에서 녹비 및 사료작물 재배를 통한 조사료 생산성 및 사료가치 평가,에 적합한 사료 논을 기반으로 조사료 생산 작부설정을 위한 연구를 실시하였다.

(1) 답리작 조사료 생산 작부체계 설정을 위한 총체보리/총체벼 재배 시험

(가) 총체보리 재배시험

전남 나주시 봉황리 전남대학교 부속농장 답리작 포장에 2005년10월 25일 올보리 품종을 파종하였다. 파종량은 200kg/ha로 하여 세조파 하였다. 시비량은 ha당 질소 100kg, 인산 120kg, 칼리 120kg으로 하고 질소는 기비와 추비로 나누어 총 시비량의 50%를 각각 분시하였다. 재배 관리는 일반 관행방법에 준하였으며, 유숙기, 황숙기 그리고 완숙기에 각각 수확하였다.

[표 1] 답리작에서 총체보리 사일리지용 보리의 수확시기별 사료성분

구분	조단백질 (%)	ADF (%)	NDF (%)	TDN (%)
출수기	10.9±0.09	27.8±1.4	50.3±3.2	66.9±2.8
유숙기	9.8±0.07	30.0±1.6	52.1±2.7	66.8±4.1
황숙기	8.9±0.07	32.4±1.8	55.3±1.9	63.3±3.7
완숙기	7.8±0.07	31.5±1.9	59.6±3.3	64.0±4.0

수확시기에 따른 생초, 건물 수량사료성분은 표 1에 나타낸 바와 같다. 조단백질 함량은 출수기 10.9%에서 완숙기 7.8%로 수확시기가 늦어짐에 따라 감소하였다. 일반적으로 알려져 있는 수입화분과 건조류보다 조단백질 함량이 상대적으로 높으며, 건조 벳짚의 약 2배 이상의 단백질 값이 높은 것으로 평가할 수 있었다. 산성세제불용성 섬유소 (ADF)와 중성세제불용성 섬유소 (NDF) 함량은 출수기에 각각 27.8% 및 50.3%에서 황숙기 32.4% 및 55.3%로 수확시기가 늦어짐에 따라 증가하다가, 완숙기에 약간 감소하는 경향이였다. 가소화영양소총량(TDN)은 출수기에 66.9%에서 황숙기 63.3%로 감소하였다가 이후 비슷한 수준을 유지하였다. 조단백질과 TDN 함량을 고려한 적정 수확 시기는 유숙기 이후 황숙기로 판단되었다.

(나) 총체벼 재배시험

전남 나주시 봉황리 소재 전남대학교 부속농장 답리작 포장에 2006년 6월 12일 남일벼 품종을 재식밀도 30x14cm로 기계 이앙하였다. 시비량은 ha당 질소 150kg, 인산 100kg, 칼리 100kg으로 하고 질소는 기비와 출수 전후 3 차례의 추비로 나누어 총 시비량의 50, 20, 20, 10%를 각각 분시 하였다. 인산은 전량 기비로 사용하였고, 칼리는 기비와 이삭비료로 나누어 총 시비량의 70%와 30%로 나누어 시용하였다. 총체벼 사일리지 조제를 위한 적정 수확시기 결정을 위해 출수기, 개화기 유숙기 및 완숙기에 일정면적을 수확하여 조사하였다.

[표 2] 담리작에서 총채벼 사일리지용 벼의 수확시기별 사료성분 함량

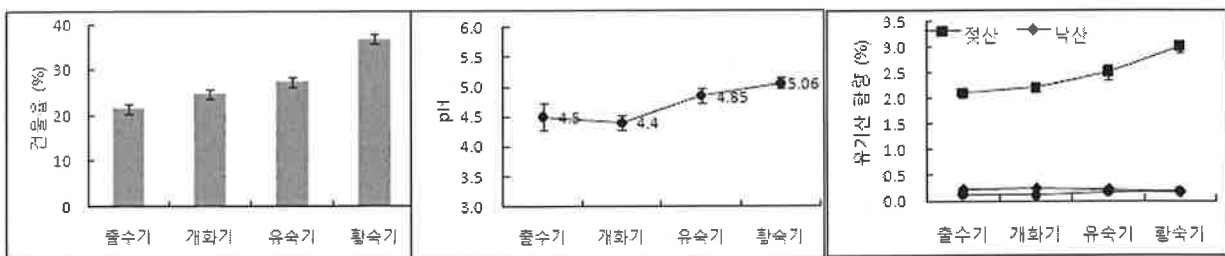
구분	조단백질 (%)	ADF (%)	NDF (%)	TDN (%)
출수기	10.3±0.10	32.2±1.4	56.2±3.0	63.5±4.4
유숙기	8.9±0.09	33.3±2.2	60.7±4.1	62.6±3.1
황숙기	8.2±0.06	35.8±1.9	65.3±3.9	60.6±3.2
완숙기	7.1±0.05	37.5±2.2	62.8±4.4	59.3±4.1

수확시기에 따른 총채벼 생초, 건물 수량사료성분은 표 2에 나타낸 바와 같다. 조단백질 함량은 출수기 10.3%에서 완숙기 7.1%로 수확시기가 늦어짐에 따라 감소하였다. ADF와 NDF 함량은 출수기에 각각 32.2% 및 56.2%에서 황숙기 37.5% 및 62.8%로 수확시기가 늦어짐에 따라 증가하였다. TDN 함량은 출수기에 63.5%에서 황숙기 60.6%로 감소하였다가 이후 비슷한 수준으로 유지하였다. 조단백질과 TDN 함량을 고려할 때 유숙기와 황숙기 사이에 수확하는 것이 적절한 것으로 판단되었다.

(2) 총채보리/총채벼 사일리지조제 및 사료가치 평가

(가) 총채보리 사일리지 조제 및 사료가치 평가

총채보리 사일리지 조제를 위한 적정 수확시기를 설정하고자 출수기, 개화기 유숙기, 황숙초기에 각각 수확하여 20 L 시험용 플라스틱 사일로를 이용하여 사일리지를 제조하여 그늘에서 60일을 보관 한 후 개봉하였다. 사일리지의 수분함량은 적정량의 사일리지 함량을 칭량하고 동일 샘플을 60℃ 열풍건조기에서 48시간 건조 후 칭량하여 건물율을 계산하였다. 사일리지의 pH는 5g의 사일리지 시료를 50 mL 증류수에 넣어 냉장온도에서 수차례 교반하면서 24시간 보관하였다가 침전물을 여과 후 pH를 이용하여 측정하였다. 유기산분석은 유기산의 분석은 Gas chromatography(V-3800, Varian Co., USA)를 이용하여 분석하였다. 수확시기에 따른 총채보리 사일리지의 발효 중 건물율, pH, 및 유기산 함량을 분석한 결과를 그림 1에 나타냈다.



[그림 1] 수확 시기에 따른 총채보리 사일리지의 발효과정 중 건물율 및 산도

건물율은 출수기의 21.5%에서 황숙기에는 37.0%로 증가하였다. pH는 출수기와 개화기에 수확한 사일리지 시료에서 비슷한 수준이었다가 이후 지속적으로 높아졌으며 유숙기와 호숙기 사이에서 증가가 둔화되었다가 황숙기때 다시 높아지는 결과를 보였다. 유숙기에서 호숙기의 pH가 4.85~5.06으로 사일리지가 적절히 발효되었음을 판단 할 수 있었다. 건물율과 pH 성상을 고려 할 때 건물율이 30% 이상에 달하는 황숙기에 총채보리 사일리지 조제를 위한 수확

적기로 판단되었다. 출수기 이후 각각 수확하여 조제된 총채보리 사일리지의 품질을 평가하고자 발효 60일 경과 후 유기산 함량을 분석하였다 (그림 1).낙산은 출수기 0.22%에서 황숙기 0.17% 로 감소하는 경향이였으며, 초산은 출수기 0.13%에서 황숙기 0.19%로 수확시기에 따른 변화는 다른 유기산에 비해 변화가 적었다. 사일리지 품질의 중요한 평가 요인이 되는 젖산의 함량은 출수기에 2.11%에서 황숙기 3.11%로 수확시기가 늦어질수록 증가하였다. 총채보리 사일리지의 건물율, pH 및 유기산 함량의 결과들로부터 총채보리 사일리지 조제를 위한 적정 수확 시기는 황숙기로 판단되었다.

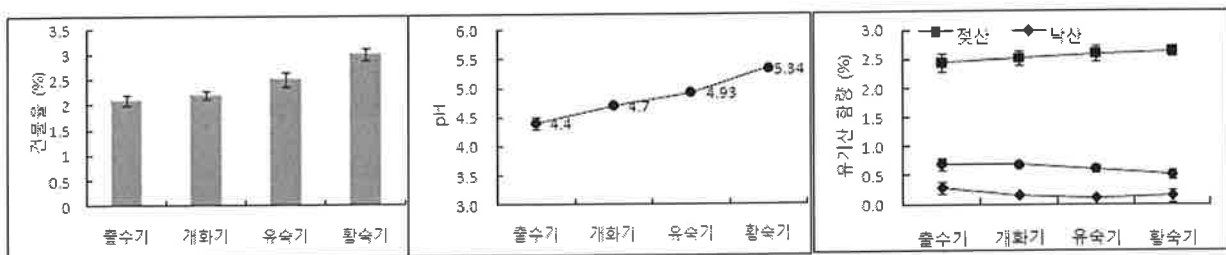
[표 3] 총채보리 사일리지의 사료가치

구분	수분 (%)	조단백질 (%)	ADF (%)	NDF (%)	TDN (%)	RFV (%)
총채보리	63.4 ^a	8.4 ^a	31.6 ^b	54.6 ^b	65.7 ^a	109.5 ^a
벼짚	12.6 ^b	4.6 ^b	44.4 ^a	68.7 ^a	39.5 ^b	73.5 ^b

생산된 총채보리 사일리지의 사료가치를 건조벼짚과 비교한 결과를 표 3에 나타내었다. 건조 벼짚과 비교해서 총채보리를 사일리지로 조제하여 이용시 조단백질과 TDN은 각각 1.8배 및 1.6배 각각 증가하였으며, ADF와 NDF의 함량은 건조벼짚에 비해 낮게 나타났다. 이들 결과를 근간으로 계산한 사료의 상대적 가치 (RFV)는 총채보리가 109.5 건조벼짚이 73.5로 총채보리사일리지의 사료가치가 월등히 높게 평가되었다.

(나) 총채벼 사일리지 조제 및 사료가치 평가

총채벼 사일리지 조제를 위한 적정 수확시기를 설정하고자 출수기, 개화기 유숙기, 황숙초기에 각각 수확하여 사일리지를 제조하여 60일간 발효 후 개봉하여 사일리지 샘플링을 하였다. 사일리지 수분함량 및 pH 조사한 결과는 그림 2에 나타난 바와 같다. 건물율은 출수기의 24.6%에서 황숙기에는 38.5%로 증가하였으며 유숙기 이후 사일리지 조제에 적합한 30% 이상의 건물율에 달하였다. pH는 출수기와 개화기에 수확한 사일리지에서 증가하다가 유숙기에 수확한 사일리지 시료에서 비슷한 수준이었다. 유숙기와 호숙기 사이에서 pH의 증가가 둔화되었다가 황숙기때 다시 높아지는 결과를 보였다. 유숙기에서 호숙기에 수확한 사일리지의 pH가 4.85~5.06의 범위로서 사일리지가 적절히 발효되었음을 판단 할 수 있었다. 건물율과 pH 성상을 고려 할 때 건물율이 30%에 이상에 달하는 호숙기에서 황숙기 사이에 총채보리 사일리지 조제를 위한 수확적기로 판단되었다.



[그림 2] 수확 시기에 따른 총채벼 사일리지의 발효과정 중 건물율 및 산도

총체벼 사일리지 조제를 위한 적정 수확시기 설정을 위해, 수확시기별로 조제된 총체벼 사일리지의 품질을 평가하고자 60일 간 발효 시킨 후 유기산 함량을 분석하였다 (그림 2). 낙산은 출수기 0.28%에서 황숙기 0.14% 범위였으며 그리고 초산은 출수기 0.7%에서 황숙기 0.51%로 수확시기에 따른 변화 폭이 매우 낮았다. 사일리지 품질의 중요한 평가 요인이 되는 젖산의 함량은 출수기에 2.44%에서 황숙기 2.64%의 범위로 총체보리와 마찬가지로 황숙기에 수확한 총체벼 사일리지의 젖산 함량이 가장 높았다. 따라서 총체벼 사일리지 조제를 위한 적정 수확시기는 호숙기 전후에서 황숙기에 수확하여 램핑사일리지를 조제하는 것이 양질의 사일리지 얻을 수 있는 것으로 판단되었다.

[표 4] 총체벼 사일리지의 사료가치

구분	수분 (%)	조단백질 (%)	ADF (%)	NDF (%)	TDN (%)	RFV
총체벼	34.0 ^a	7.6 ^a	34.9 ^b	62.5 ^a	61.3 ^a	91.8 ^a
벼짚	12.6 ^b	4.6 ^b	44.4 ^a	68.7 ^a	39.5 ^b	73.5 ^b

생산된 총체벼 사일리지와 급여중인 건조벼짚의 사료가치와 비교하여 표 4.에 나타내었다. 건조 벼짚과 비교해서 총체벼 사일리지의 조단백질 함량은 65% 증가하였다. ADF는 건조벼짚에 비해 각각 21.4% 낮았으나 NDF의 함량은 건조벼짚과 비슷한 수준이었다. TDN 함량은 벼짚 대비 55% 높았다. 이들 결과를 근간으로 계산한 총체벼 사일리지의 사료의 상대적 가치 (RFV)는 91.8로 총체보리 109.5 보다는 낮았으나, 건조벼짚보다는 훨씬 높은 RFV 값을 나타내었다.

(다) 총체보리 사일리지를 이용한 섬유질 배합사료 제조

총체보리 사일리지 이용 및 보급 확대의 방안으로 조제된 총체보리 사일리지를 위주로 한 섬유질 배합사료를 제조하였다. 농가에서 쉽게 구입할 수 있는 단미사료자원을 확보하여 사료 성분을 분석하였으며 그 결과는 표 5에 나타낸 바와 같다.

총체보리 사일리지의 사료성분은 곤포에 따라 약간의 차이를 보여 생산된 총체보리 사일리지 대표값 보다는 약간 낮은 수준이었다. 생산과정에 사용된 작물의 충실도, 포장의 위치, 사일리지 저장중의 변화 등을 고려 할 때 그 변이의 범위는 낮은 것으로 평가되며 실제적으로 통계적 유의차는 인정되지 않았다. 농가에서 쉽게 구입할 수 있는 단백질원으로 깻묵, 맥주박, 비지 등이 추천 되었다. 지방 공급원으로는 미강이 높았으며 농가에서 활용하기 용이한 단미사료원으로 평가되었다. 섬유소 함량의 경우 생벼짚, 깻묵, 비지 가 20%이상 높았으며 조희분은 생벼짚과 미강이 높아 광물질 공급에 유리 할 것으로 판단되었다. 분석된 각 단미사료의 사료성분의 결과를 농가자가배합사료 프로그램에 입력하여 그 배합비를 결정하였다. 제조된 섬유질배합사료의 사료가치를 평가한 결과 조단백질 함량은 14.6%로 총체보리 사일리지의 단용 급여시 보다 단백질함량이 약 1.8배 증가하였으며, TDN 함량 역시 67.4%로 약간 증가하였다. ADF와 NDF 함량은 약간 감소되어 건물소화율이나 건물섭취량의 증가될 것으로 판단되었다.

[표 5] 섬유질 배합사료에 제조에 사용된 단미사료의 성분 및 조제된 배합사료의 사료가치

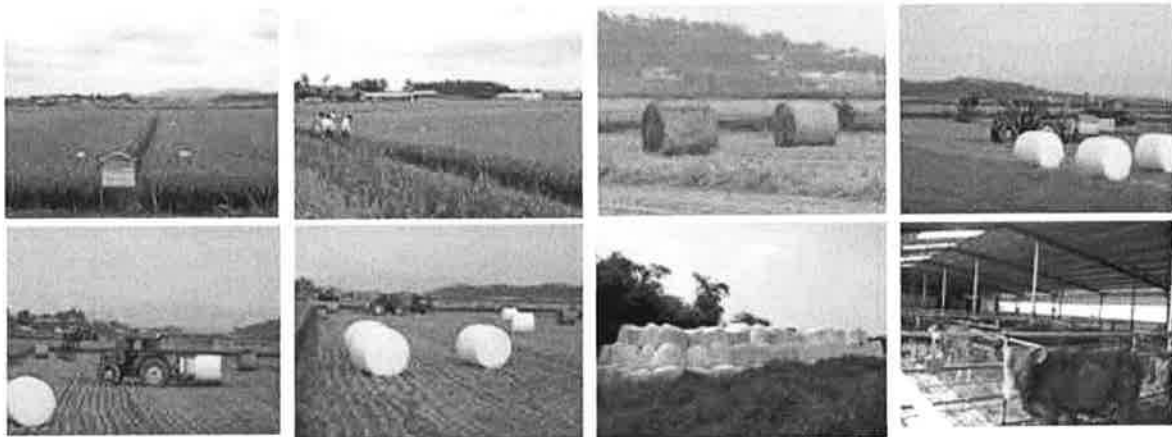
종류	조단백질 (DM%)	조지방 (DM%)	조섬유 (DM%)	조회분 (DM%)
총체보리	7.91±0.67	2.16±0.11	20.96±1.30	6.86±0.36
생벚짚	6.16±0.55	2.05±0.14	29.13±1.67	13.43±1.06
맥주박	23.03±1.71	2.82±0.21	16.26±1.07	3.79±0.26
맥강	15.29±1.12	4.35±0.30	9.47±0.86	4.64±0.34
파옥쇄	9.02±0.97	2.83±0.23	1.56±0.10	1.54±0.13
미강	15.81±1.31	19.73±0.95	8.65±0.73	10.55±0.89
소맥피	14.69±1.01	2.90±0.17	8.95±0.72	4.92±0.39
갯목	42.23±2.11	2.20±0.12	20.53±1.45	6.49±0.44
비지	22.02±1.80	3.15±0.24	20.80±1.56	3.96±0.27

조단백질 (DM%)	ADF(DM%)	NDF(DM%)	TDN(DM%)
14.6±1.04	27.21±1.86	44.47±2.04	67.4±4.09

(3) 답리작 총체보리+총체벼 작부체계 - 한우 연계모형의 평가

(가) 총체보리+총체벼 - 한우 연계 모형에서 조사료생산성과 동물영양소 수치

답리작 경종작물 (총체보리-총체벼) - 한우 연계 모형에서 조사료생산성과 동물영양소 수치를 평가하고자 전남 영암군 소재 시험농가 (학림축산)의 답리작 포장에서 총체보리-총체벼 생산하여 한우에 급여하여 사양효과 및 경제성 분석을 실시하였다.



[그림 3] 경종작물의 재배, 총체사일리지 조제

한우시험농가인 영암 학림축산의 사육규모는 거세우 40두, 암소어미 50두, 송아지 10두였으며, 답리작 작부체계에서 생산된 총체벼, 총체보리 사일리지 중심의 조사료 급여체계에 따라 사양을 관리할 실시하였다. 경종작물위주의 작부체계 (총체벼 및 총체보리 사일리지 생산 중심)로부터 동물 영양수치 평가를 위한 사료작물의 생산성 및 영양소 함량을 평가하고 그 결과에 입각하여 총체보리-총체벼 조사료 작부의 단위면적당 가축수용능력을 평가하였다.

시험농가의 연간 TDN 요구량

거세우40두 (체중 350-400 kg 일당증체 1.0kg) : $5.85 \text{ kg} * 40\text{두} * 365 = 85410 \text{ kg}$

암소어미 50두 (체중400-450 kg 일당증체 0.6kg) : $4.55\text{kg} * 50 * 365 = 83037 \text{ kg}$

송아지 10두 (체중 200-250kg 일당증체 0.7kg) : $2.43\text{kg} * 10 * 365 = 8869 \text{ kg}$

연간 TDN 요구량 = 177316 kg TDN

총체보리 - 총체벼 사일리지 건물 생산량

- 2006 년 총체보리 곤포사일리지 생산량:

28개/ha (곤포 개당 약 520kg) →

$14560 \text{ kg FW/ ha (DW=29\%)} = 4222 \text{ kg DW / ha}$

- 2007 년 총체벼 곤포사일리지 생산량:

35개/ha (곤포 개당 약 500kg) →

$17500 \text{ kg FW/ ha (DW=35\%)} = 6125 \text{ kg DW / ha}$

총체보리 - 총체벼 작부체계에서 영양소 생산량

-Crude Protein (조단백질 생산량):

$[(4222*8.4)+(6125*7.6)]/100 = 820 \text{ kg CP / ha}$

-TDN (가소화 영양소 총량):

$[(4222*65.7)+(6125*61.3)]/100 = 6529 \text{ kg TDN / ha}$

총체보리 총체벼 작부체계의 TDN 기준 가축수용능력

- 거세 육성우 (8개월령 체중200 kg, 일당 증체량 0.6 kg) = 3.18 kg TDN / 일

$1160 \text{ kg TDN/두/년} \rightarrow 5.4 \text{ 두/ha}$

- 거세 육성우 (체중 400kg, 일당 증체량 0.8 kg) = 5.35 kg TDN / 일

$1593 \text{ kg TDN/두/년} \rightarrow 3.9 \text{ 두/ha}$

시험농가의 현 가축사육규모에 입각한 조사료 요구량은 생체중 350-400 kg, 1당 증체량 1.0kg 거세우의 경우 두당 5.85 kg의 TDN이 요구되며 연간 2135 kg TDN이 요구되어 시험농가의 40두에 대한 연간 총 TDN 요구량은 85410 kg이 된다. 같은 방식으로 암소어미소 50두 (체중 400-450 kg 일당증체 0.6kg)의 경우 연간 83037 kg, 그리고 송아지 10두 (체중 200-250kg 일당증체 0.7kg)의 경우 8869 kg이 요구되어 현 사육규모에서 시험농가에서 연간 177,316 kg TDN이 생산되어야 한다. 시험농가의 답리작 경작 면적 1ha로부터 생산된 건물수량은 총체보리 14560 kg, 총체벼 17500 kg이었으며, TDN 수량은 총체보리 2774 kg, 총체벼 3755 kg을 합하여 연간 6529 kg의 TDN이 생산되어 요구량 177,316 kg 대비 3.7%의 생산에 거치는 것으로 평가되었다. 약 40%의 농후사료 급여에 의한 TDN 공급을 감안하더라도 총 요구량의 약 56.3%가 추가로 확보되어야 하는 것으로 평가된다. 이는 적어도 10 ha 이상의 추가 경지 답리작 면적이 요구되는 것에 해당된다. 한우 사육농가의 조사료 생산을 위한 경지보유가 매우 낮은 현 실정을 감안 할 때 유휴 답리작 경작지의 적극적인 활용과 더불어 단위면적당 영양소 수량 높일 수 있는 방안이 필수적으로 모색되어야 함을 잘 보여준다.

시험농가의 조사료 생산 및 급여체계를 기준으로 평가하였을 때, 사업 시작전 2006년 까지 전체사료 중 조사료 급여율은 불과 45% 밖에 되지 않았으며, 사료 자급율은 사료급여량 총 219톤 중 37%에 불과 하였고, 이 또한 조사료급여의 대부분은 볏짚이 차지하고 있기 때문에 양질조사료 자급 및 급여는 지극히 낮은 실정이었다. 이는 사육두수에 비해 조사료 생산을 위한 경지면적이 지극히 협소할 뿐만 아니라 단위면적당 낮은 영양소 생산수량에 기인하여 면적당 가축수용력이 매우 낮다는 점 등이 현안 문제점으로 부각되고 있다. 이러한 문제점은 대부분의 현 축산농가가 접하고 있는 현황이기 때문에 보다 조사료 생산기반 확충을 위한 구체적인, 적극적이며, 장기적인 정책 추진과 아울러 단위면적당 영양소 수량을 높이고, 물질 순환에 기반을 둔 조사료생산 작부체계의 도입을 위한 기술개발 및 도입이 동반되어야 할 것으로 판단된다.

(나) 총체보리+총체벼 - 한우 연계 모형의 경영성분석

4개월령 개시체중 110kg의 한우 육성우에 총체벼+총체보리+배합사료 급여구를 시험구로 하고 볏짚+배합사료 급여 대조구로 하여 처리간 8두씩 배치하여 표 6에 제시한 사료급여기준에 입각하여 사양시험을 실시하였다. 총체벼-총체보리 위주로 조사료를 급여한 시험구에서는 농후사료 급여량을 대조구의 80%로 낮추어 급여하고 조사료의 급여는 총체벼와 총체보리로서 볏짚을 대체하여 급여하였다.

출하시기가 늦어질수록 사료급여에 대한 경영비는 총체벼·보리+농후사료 급여한 시험구가 더 높았지만 도체중의 증가에 따른 쇠고기 판매액이 상대적으로 높게 증가하므로 농가수익성이 더 높았다. 이는 총체벼·보리+농후사료 급여한 시험구의 출하시 도체중 및 지육율은 대조구에 비해 각각 50kg 및 1.8% 증가한 것과 최종도체 및 부산물을 포함한 수익액이 증가되었다.

[표 6] 한우비육우에 대한 각 처리구의 사료급여기준

구분	육성기					비육전기						비육중기				비육후기				
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
월령	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
체중(kg)	200	220	240	260	280	300	330	360	390	420	450	470	490	510	530	550	570	590	600	610
일당증체량(kg/일)	0.8-0.9					0.9-1.0						0.9-1.0				0.6-0.7				
농후사료*	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	8.5	9.0	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	12.0
볏짚	3.2	3.5	3.5	4.0	4.3	4.5	4.0	3.6	3.5	3.3	3.1	3.0	3.0	2.5	2.3	2.3	2.2	2.0	1.7	1.5

구분	육성기					비육전기						비육중기				비육후기				
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
월령	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
체중(kg)	200	220	240	260	280	300	330	360	390	420	450	470	490	510	530	550	570	590	600	610
일당증체량(kg/일)	0.8-0.9					0.9-1.0						0.9-1.0				0.6-0.7				
농후사료	2.4	2.4	2.8	2.8	3.2	4.4	4.8	5.2	5.6	6.0	6.4	6.8	6.8	7.2	7.2	7.6	8.0	8.4	8.8	9.2
총체벼**	4.8	5.3	5.3	6.0	6.5	6.7	6.0	5.4	5.3	5.0	4.7	4.5	4.5	3.7	3.5	3.5	1.5	1.0	0.9	0.6
총체보리***	3.2	3.5	3.5	4.0	4.3	4.5	4.0	3.6	3.5	3.3	3.1	3.0	3.0	2.5	2.3	2.3	1.5	1.0	0.9	0.6

* 농후사료는 대조구의 80%를 급여

** 총체벼는 대조구 볏짚의 1.5배를 급여하다가 비육후기에서 5월 70%, 6월50%, 7월 50%, 8월 40% 급여

*** 총체보리는 대조구 볏짚과 동일하게 급여하다가 비육후기에서 5월 70%, 6월50%, 7월 50%, 8월 40%를 급여

총체벼·보리급여 한우비육우의 출하대금과 사료급여비용을 고려한 최종 경제성을 분석한 결과는 그림 4에 요약하였다. 도축세, 자조금, 운송비 등을 공제한 후 정산대금에서 사료급여비용을 제한 최종 수익액은 총체벼·보리+농후사료 급여한 시험구의 경우 두당 4,997천원이었고 대조구의 경우 4,120천원으로, 총체벼·보리 급여에 의한 두당 877천원의 수익이 증가된 것으로 평가되었다.



[그림 4] 총체벼·보리 급여 한우비육 농가의 수익성

벼 및 보리를 총체사료로서 급여함으로써 조사료 급여비용이 더 소요되지만 양질조사료 급여량의 증가에 따른 비육능력의 개선 및 출하시 높은 육질등급 출현으로 도체수익액의 훨씬 더 높아 최종적인 농가수익성은 벗짚관행급여시보다 두당 877천원 (+21.2%) 더 높았다. 본 시험의 경우 총체벼와 총체보리의 자가 생산에 의한 자급조사료를 이용할 경우 조사료 급여 비용을 대폭 줄임으로서 수익성을 더 높일 수 있을 것으로 기대된다.

이상의 답리작 경종작물 - 한우 연계 모형에 대한 결과를 아래와 같이 요약하였다.

- 총체보리의 생산과 이용에 관한 연구 및 실제 적용이 많이 이루어져 왔으며 총체보리의 사료적 가치나 사양효과에 대해서는 현장에서도 인식도 매우 높은 실정으로 전라남도의 경우 청보리 4700ha, 청벼 5ha로 재배면적이 증가추세에 있음
- 대표적인 경종작물인 벼 및 보리를 총체사료로서 급여하여 한우에 대한 사양시험에서 관행적인 벗짚급여에 비해 높은 사양효과를 인정되었으며 (1차, 2차년도 결과 참조), 한우농가의 수익성도 유의적으로 증가되었음 (2, 3년차 결과 참조)
- 그러나 벼·보리의 사료화를 통한 축산과의 연계를 통한 자연순환농업모형의 설정하기까지에는 해결하여야 할 문제점들 (낮은 단백질 생산량, 단위면적당 낮은 가축수용력, 가축사육두수 대비 매우 낮은 경지면적, 배출된 분뇨의 역외 유출의 불가피성, 답리작 경종농가의 의지 등)이 도출되었음. 이들 문제점들 중에는 조사료생산 경지면적, 답리작 경지의 이용 등 기술개발에 의한 문제해결보다는 제도적, 정책적 관점에서 접근해야 할 필요성이 요구됨.

- 자연순환형 친환경 축산을 위한 기술개발의 관점에서 보면 1) 작부체계의 생산성 평가 미비 (총체보리 위주의 평가)하였으며, 2) 동물 영양소 수치 평가가 제대로 이루어지지 않았고, 3) 부족한 조사료분에 대한 자급 방안 및 유기조사료 확보 방안이 고려되지 않았으며, 4) 단백질 사료자원의 확보 방안이 제시되지 않고 있는 등의 문제점이 있음.
- 가축사육규모에 맞는 조사료생산을 경지면적을 확보하고 배출된 분뇨의 역내 순환을 원활히 축사를 확보하고 있는 농장에서 단위면적당 최대의 영양소 생산과 더불어 유기 조사료 생산비율을 높일 수 있는 지역의 작부체계 설정을 위한 연구의 지속적 수행이 요구됨.

(4) 조기 벼 재배 논 이용 조사료 생산

(가) 벼 뒷거루 동계작물의 조사료 생산성 평가

벼 수확 후 논을 이용한 조사료 생산성을 검토하기 위해 2008년 10월 25일 벼 수확 동계작물 호맥 (Blue land), 연맥 (동한), 보리 (유연보리), 이탈리아인 라이그라스 (Early bird), 유채 (Mosa) 및 헤어리베치 (Pebb-2)을 2m X 5m 시험구에 5처리 5반복으로 완전임의 배치하여 파종하였다. 수확은 4월 25일과 5월 18일 각각 실시하였다. 5종의 동계작물의 수확시기에 따른 건물, 조단백질 수량 및 사료가치를 평가한 결과는 표 7에 나타낸 바와 같다.

[표 7] 벼 뒷거루 동계작물의 수확시기 별 영양소 수량 및 사료가치

작물	수확시기	건물 (kg ha ⁻¹)	조단백질 (kg ha ⁻¹)	TDN (kg ha ⁻¹)	DDM (%)	DMI (% LW)
호맥	4월 25일	11436±406	1089±57	7244±147	63.70±0.46	1.92±0.02
	5월 18일	13295±610	818±65	6727±193	51.13±0.92	1.58±0.03
연맥	4월 25일	7639±282	648±57	4919±124	64.73±0.23	2.01±0.04
	5월 18일	10069±348	647±43	5358±138	53.71±0.38	1.69±0.04
보리	4월 25일	10035±167	878±48	6445±143	64.57±0.43	2.13±0.06
	5월 18일	11005±342	875±39	5675±128	52.09±0.28	1.67±0.07
IRG	4월 25일	8457±539	1136±89	5585±263	66.36±0.62	2.27±0.05
	5월 18일	10325±587	995±62	5902±185	57.60±0.84	1.92±0.08
헤어리베치	4월 25일	9114±471	2151±77	6266±174	69.03±0.73	3.34±0.08
	5월 18일	9522±334	1309±84	6163±163	65.05±0.40	2.48±0.03

건물수량은 4월 25일 예취시 호맥이 11436 kg ha⁻¹로 가장 높았으며 보리, 헤어리베치, 이탈리아인 라이그라스, 연맥 순으로 전작의 결과와 비슷한 경향이었으나 전작에 비해 8-12% 정도 낮은 수량을 보였다. 5월 18일 까지 수확시기를 늦추었을 때 5개 초종 모두 수량의 증가가 있었으며 특히 연맥 (+32%)과 이탈리아인 라이그라스 (+22%)에서 증가 폭이 높았다. 조단백질 수량은 헤어리베치에서 4월 25일 수확시 2151 kg ha⁻¹ 및 5월 18일 1309 kg ha⁻¹ 으로 가장 높은 조단백질 수량을 나타내었으며, 화본과 4종의 경우 5월 25일 수확시 648 - 1136 kg ha⁻¹ 범위였으며 5월 18일 수확시 647 - 995 kg ha⁻¹ 범위로 감소하였다. TDN 수량은 4월 25일 수확시 ha 당 약 5에서 7.2 톤의 범위였다. 5월 18일 수확시 연맥, 보리 및 이탈리아인 라이그

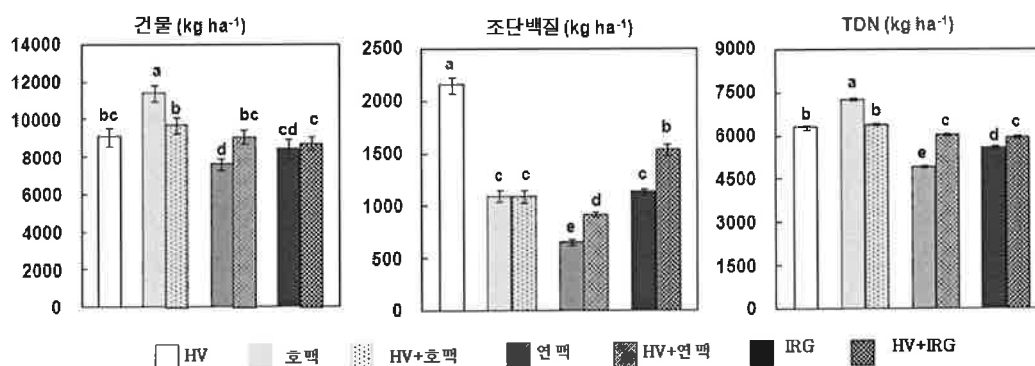
라스에서 6-9%의 증가를 보여 전작에서 보다 수확시기 연장에 따른 TDN 증가 폭은 현저히 낮았다. 특히 호맥에서는 약 7%의 감소를 보였다. 수확된 공시초종의 가소화 건물량(DDM)은 4월 25일 수확시 5종의 공시초종에서 63-69% 범위였으나, 수확시기가 5월 18일로 늦어졌을 때 51-66% 범위로 크게 감소하였다. 건물섭취량 역시 4월 25일 수확시 1.92-3.34%에서 5월 18일 수확시 1.58-2.48% 범위로 감소하였다.

(나) 벼 뒷거루 동계작물-헤어리베치와의 혼파

단위면적당 단백질 수량을 증가시키기 위한 방안으로 벼 조기 수확 후 헤어리베치 단파구, 헤어리베치와 호맥, 연맥 및 이탈리아 라이그라스 혼파구로 구성된 2m X 5m 시험구에 4처리 5반복으로 완전 임의 배치하여 2008년 10월 25일에 파종하였다. 2009년 4월 25일 수확하여 건물, 조단백질 및 TDN수량을 평가한 결과를 그림 5에 나타낸 바와 같다.

헤어리베치 단파의 건물 수량은 9114 kg ha⁻¹이었다. 단파구에 비해 호맥과 연맥과의 혼파구에서는 유의적인 차이가 없었으나, 이탈리아 라이그라스와의 혼파구에서는 건물수량의 유의적인 감소가 나타났다. 특히 벼 뒷거루로 재배된 호맥, 연맥, 이탈리아 라이그라스 단파에서 얻은 수량 (11436, 7639 및 8457 kg ha⁻¹)과 비교 할 때 연맥-헤어리베치의 혼파구에서는 약 19%의 건물수량이 증가하였고, 이탈리아 라이그라스-헤어리베치 혼파구는 비슷한 수량을 얻었으나, 호맥과 헤어리베치의 혼파구에서는 오히려 약 12%에 건물수량이 감소하였다.

조단백질 수량은 3조의 혼파구에서 공히 헤어리베치 단파구에 비해 혼파에 의한 조단백질 수량이 유의적으로 감소하였으나 벼 뒷거루로 재배된 호맥, 연맥, 이탈리아 라이그라스 단파에서 얻은 조단백질 생산수량 (1089, 648, 1136 kg ha⁻¹)과 비교하면 호맥-헤어리베치 혼파구는 유의적인 차이가 없었으나, 연맥과 이탈리아 라이그라스와 헤어리베치 혼파구에서는 조단백질 수량이 각각 41% 및 36% 유의적으로 증가하였다.



[그림 5] 답리작 동계작물-헤어리베치 혼파에 따른 생산성

TDN 수량은 호맥-헤어리베치 혼파구에서는 헤어리베치 단파구와 유의적인 차이가 없었으나, 연맥과 이탈리아 라이그라스와의 혼파구에서는 TDN 수량이 유의적으로 감소하였다. 벼 뒷거루로 재배된 호맥, 연맥, 이탈리아 라이그라스 단파에서 얻은 TDN수량 (7244, 4919, 5585 kg ha⁻¹)과 비교하면 호맥의 경우 헤어리베치와의 혼파에 의해 약 12%의 TDN 수량이 감소되었으나, 연맥의 경우 22% 증가하였고, 이탈리아 라이그라스에서는 유의적인 차이가 없

었다.

(5) 답리작에서 자원순환농업을 위한 축분사용에 따른 조사료 생산성 평가

(가) 답리작 옥수수의 돈분액비 사용량에 따른 건물 및 영양소 수량

전남 장흥군 소재 두대액비유통센터의 돈분액비의 사용량에 따른 옥수수의 생산성과 돈분액비 환원량을 평가하기 위해 전남 장흥군 소재 옥수수 포장에서 돈분액비 사용량에 따른 옥수수 중.만생종 P32P75 품종의 생산성을 평가한 결과를 표8에 나타내었다.

사용된 돈분액비의 이화학적 성분은 pH = 8.04, 총질소 = $4.01 \pm 0.13 \text{ g N L}^{-1}$, 총 인산 $\text{P}_2\text{O}_5 = 0.65 \pm 0.02 \text{ g N L}^{-1}$ 및 유기물 함량 = 13.7 g N L^{-1} 이었다. 돈분액비 사용량은 옥수수 표준 시비량 (N:P:K = 200:150:150 kg/ha, 추비 7-8엽기: 1/2 N)의 질소기준 100% 및 150%에 해당하는 ha 당 50t 및 75t 처리구 및 화학비료 표준시비량을 사용한 후 2009년 4월 10일 파종하여 7월 25일 수확하였다. 전환답작에서 돈분액비 사용량에 따른 옥수수의 건물 및 영양소 수량은 표 8에 요약하였다.

[표 8] 답리작 옥수수의 돈분액비 사용량에 따른 건물 및 영양소 수량

작물 / 비료원	화학비료*	돈분액비** 사용량 (t ha ⁻¹)	
		100% N (50t ha ⁻¹)	150% N (75t ha ⁻¹)
옥수수 (P-32P75)		kg ha ⁻¹	
건물	16467±364 ^{ab}	16125±304 ^b	16982±364 ^a
조단백질	1307±69 ^{ab}	1265±176 ^{ab}	1324±86 ^a
TDN	11296±254 ^{ab}	10994±351 ^{ab}	11841±376 ^a

*화학비료 기준시비량 (N:P:K = 200:150:150 kg/ha, 추비 7-8엽기: 1/2 N)

** Total N: $4.01 \pm 0.13 \text{ g N L}^{-1}$ Total P_2O_5 : $0.65 \pm 0.02 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ Kg}^{-1}$
50 t 돈분액비 = 200.5 kg N

건물 수량은 질소기준 150%에 해당하는 돈분액비 75t 사용구에서 16982 kg ha⁻¹로 가장 높았으며 화학비료 표준시비량 사용구와는 유의적인 차이가 없었으나, 돈분액비 ha 당 50t 사용구는 화학비료 사용구에서는 약간의 수량 감소를 보였으나 화학비료 사용구와는 유의적인 차이가 없었다. 이러한 결과로부터 질소기준 150% 수준에 해당하는 ha 당 75t 까지 토양에 환원할 수 있을 것으로 판단되었다. TDN 수량은 화학비료와 돈분액비 사용구 간 및 액비사용량 간 공히 유의적 차이가 없었다.

(나) 답리작 옥수수 후작 이탈리아인 라이그라스의 돈분액비 사용량에 따른 건물 및 영양소 수량

답작 전환 포장에서 옥수수 수확 후 후작으로 이탈리아인 라이그라스에 대한 돈분액비 사용량에 따른 건물 및 영양소 수량을 평가하기 위해 2008년 11월 5일 파종하여 2009년 4월 3일 수확하였다 (표 9).

[표 9] 답리작 옥수수 후작 이탈리아라이그라스의 돈분액비 사용량에 따른 건물 및 영양소 수량

작물 / 비료원	화학비료*	돈분액비** 사용량 (t ha ⁻¹)	
		100% N (50t ha ⁻¹)	150% N (75t ha ⁻¹)
건물	7410±175 ^b	7160±271 ^b	8210±205 ^a
조단백질	992±74 ^b	988±86 ^b	1166±97 ^a
TDN	4913±224 ^b	4754±240 ^b	5440±215 ^a

*화학비료 기준시비량 (N:P:K = 200:150:150 kg/ha, 추비: 월동후 영양생장초기, 2009. 2. 25)

** Total N: 4.01± 0.13 g N L⁻¹ Total P₂O₅: 0.65± 0.02 mg P₂O₅ Kg⁻¹
50 t 돈분 액비 = 197 kg N

화학비료 처리구는 이탈리아 라이그라스 기준 시비량 N:P:K 200:150:150 kg ha⁻¹으로 사용하였으며, 돈분 액비 처리구는 질소 기준 100% 및 150%에 해당 하는 ha 당 50t 과 75t 파종전과 월동후 영양생장기 2009년 3월 10일에 각각 절반 씩 나누어 사용하였다.

건물수량은 화학비료 사용구에서 7410 kg ha⁻¹이었고, 돈분액비를 질소기준 100% 사용하였을 때는 유의적인 차이가 없었으나, 질소기준 150% 사용구에서는 화학비료 대비 약 11%의 건물수량이 증가하였다. 조단백질 수량 역시 건물 수량과 비슷한 경향으로, 돈분액비를 질소기준 150% 사용구에서 가장 높은 조단백질 수량을 얻었다. TDN 수량은 화학비료 사용구에서 4913 kg ha⁻¹이었으며, 돈분액비를 질소 기준 100% 사용구와는 유의적인 차이가 없었다. 질소기준 150%의 돈분액비 사용구에서는 화학비료사용구 대비 11%의 TDN수량이 증가하였다.

나. 전작 조사료 생산체계 개발

답리작 경종 작물 위주의 조사료 생산작부체계에서 접하게 되는 현안은 미작위주의 경지로 부터 조사료 생산을 위한 경지면적의 확보가 용이하지 않다는 것이다. 쌀 소비량의 감소와 더불어 논을 이용한 사료작물의 재배 및 사료용 벼 재배에 대한 직불제 등 적극적인 방안에도 불구하고 답리작을 이용한 조사료생산을 위한 논의 이용 면적의 증가는 매우 미미하거나 답보 상태에 있다. 뿐만 아니라 기술적 관점에서 주요 답리작 경종작물인 총채보리와 총채벼를 통한 조사료 생산 작부체계의 경우 낮은 단백질 및 가소화 영양소 생산량, 단위면적당 낮은 가축수용력, 가축사육두수 대비 매우 낮은 경지면적에 따른 배출된 분뇨의 역의 유출의 불가피성 등의 현안 문제점들이 도출되었다. 기술적인 면에서 볼 때 답리작의 경우 관행적으로 하계작물로서 총채벼를 재배하게 될 경우 옥수수, 수수, 수단그라스 등의 다수성 하계작물에 비해 생산성이 낮아 연간 단위면적당 총 영양소 생산성의 확보에 제한을 받게 된다. 따라서 답리작을 통한 조사료 생산체계의 현안문제들에 대한 보완책을 마련하고자, 사료작물의 생산이 상대적으로 용이한 전작지에서 단위면적당 조사료 생산성의 높이기 위해, 연간 조사료생산성의 주요 수량지배 요인이 되는 하계작물의 재배시험을 실시하였고, 하계작물의 수확에 이은 동계작물의 파종기, 수확시기에 따른 영양소 수량 평가를 실시하였다. 작부체계 설정을 하계 및 동계작물의 재배시험과 단백질 수량 증가 방안으로 지역특성에 맞는 단백질 사료자원의 탐색 및 혼파시험, 자원순환을 고려한 조사료 생산 및 이용기술 개발을 위한 관련 시험을 실시한 결과를 요약하였다.

(1) 전작 조사료 생산 작부체계 설정을 위한 재배시험

(가) 전작 수단그라스 재배

전작작부체계의 주작물로서 수단그라스의 수량, 사료가치 및 영양소 생산수량을 평가하기 위해 다수성 품종으로 추천된 G83F 품종을 2008년 5월 20일 파종하였다. 수확은 사일리지 이용을 고려한 1회 예취 (2008년 9월 30일) 및 청예이용을 고려한 3회 예취구로 나누어 각각 실시하였다. 예취시기별 수량 및 사료가치를 분석한 결과를 표10에 나타내었다.

2008년 5월 20일 파종하여 7월14일, 8월 21일 및 9월 27일 예취시기의 ha당 건물수량은 각각 6.0, 2.1 및 2.9 톤으로 1차 예취수량이 가장 높았다. 총 수량은 ha당 11 톤으로 비교적 낮게 나와 조기파종과 예취 후 비배관리의 필요성이 제시되었다. 조단백질 함량은 2차 예취시에 7.8%로 가장 낮았고 1차 예취시기가 18.8%로 가장 높았다. 조섬유와 조지방 함량은 예취횟수 간에는 커다란 차이가 없었다. 예취시기에 따른 잎의 부위별 조단백질 함량은 1차 예취때 18.3%로 가장 높았으며 엽초+줄기에 비해 약 2.5배 정도 높았다. 3차 예취시에는 11.2%로 크게 감소하였다. 조섬유 함량은 엽신의 경우 25.4 - 27.8%범위로 예취횟수 간에 유의적인 차이가 없었으며, 엽초+줄기의 조섬유 함량이 높은 것으로 평가되었다.

[표 10] 전작 수단그라스의 예취시기에 따른 수량 및 영양소 함량

파종일: 2008년 5월 20일	1회 예취	3회 예취
수확일	2008년 9월 30일	3회 예취 (7.14/8.21/9.27)
건물수량 (kg ha ⁻¹)	14,560±1,121	11,019±989
CP (%)	8.23±0.45	11.9±0.78
TDN (%)	57.0±1.71	63.8±2.45
TDN 수량 (kg ha ⁻¹)	8,299±235	7,030±451

이러한 결과를 근간으로 현장에서 가장 널리 사용하고 있는 랩핑사일리지 제조를 위한 1회 수확 (황숙기 예취구, 9월 30일 수확) 및 예취이용중심의 3회 예취 (7월 14일, 8월 21일, 9월 27일 예취) 이용시에 적절한 작부체계 설정을 위해 2008년 5월 20일 파종하여 수확방법 및 시기에 따른 수량 및 영양소 생산성을 평가하였다 (표 10). 청예이용 중심의 3회 예취구 청예이용 중심의 3회 예취구의 경우 11019 kg ha⁻¹이었으나 랩핑사일리지 제조를 위한 황숙기 수확(9월 30일)시 14560 kg ha⁻¹으로 약 32% 증가하였다. 황숙기 1회 수확시의 조단백질 및 TDN 함량은 작물의 생육시기 진행에 따라 유의적으로 감소하였으나, 연간 TDN 수량은 황숙기 1회 수확시 건물수량의 높은 증가에 의해 18% 증가한 것으로 평가되었다.

(나) 옥수수 만파재배

[표 11] 옥수수 만파재배시 품종별 생육 및 수량



품종	초장 (cm)	생초수량 (톤/ha)	건물수량 (톤/ha)
P3156	224.6	65.9	15.8
P32P75	237.7	75.7	17.0
NC7117	230.9	56.5	11.2
DK697	242.6	60.2	14.3
P3394	252.5	50.3	11.5
광안옥	241.7	51.2	12.0
GW6959	235.1	49.6	10.6
광평옥	238.4	51.6	11.9
청안옥	221.8	50.2	11.4
DK729	229.7	47.7	10.3

옥수수 2기작 재배의 가능성을 검토하기수단그라스위해 전남장흥군 한우협회 답작포장에 서 품종 P3156을 포함한 10종의 품종을 2008년 8월 2일 파종하여 2008년 10월 30일 수확하였 다 (표 11). 대부분의 품종에서 건물기준 ha당 11t 정도의 수량이 확보되었으며 특히 중.만생종 의 P3156 및 P32P75에서 각각 15.8 및 17.0 t ha⁻¹의 높은 수량을 얻었다. 이러한 결과는 적절 한 파종준비와 조생종을 파종하여 적절한 비배 관리를 한다면 지역에서 연간 옥수수 2기작의 가능성을 제시하였다.

(다) 옥수수 2기작 재배를 위한 조기춘파재배

옥수수 만파재배의 결과를 근간으로 지역의 최근 5년간 유효적산온도를 파악한 결과, 4월 부터 7월 까지 유효적산온도는 평균 1054℃±11 그리고 8월부터 10월까지는 1018℃±14인 것으 로 조사되었다. 유효적산온도의 관점에서 평가할 때 조생종의 상대숙기 110일 을 기준으로 요 구되는 유효적산온도가 약간 부족한 것으로 평가되었으나, 적절한 비배 관리와 파종기 후 토양 수분 관리만 적절히 된다면 충분히 옥수수 2기작 재배가 가능할 것으로 가설을 설정하였다. 이 러한 옥수수 2기작 재배 (옥수수-옥수수-동계작물)의 작부체계는 현 옥수수-동계작물의 작부체 계와 비교할 때 적어도 50-60%의 연간 TDN 생산수량을 증가시킬 수 있을 것으로 예상되며, 역내에서 배출되는 축분의 수용량 또한 현저히 높일 수 있는 것으로 평가되어 자원순환농업모 델에 적용할 수 있는 매우 중요한 조사료 생산 작부체계가 될 것으로 기대하였다.

[표 12] 옥수수 2기작을 위한 조기파종-단기재배에 따른 생육 및 수량

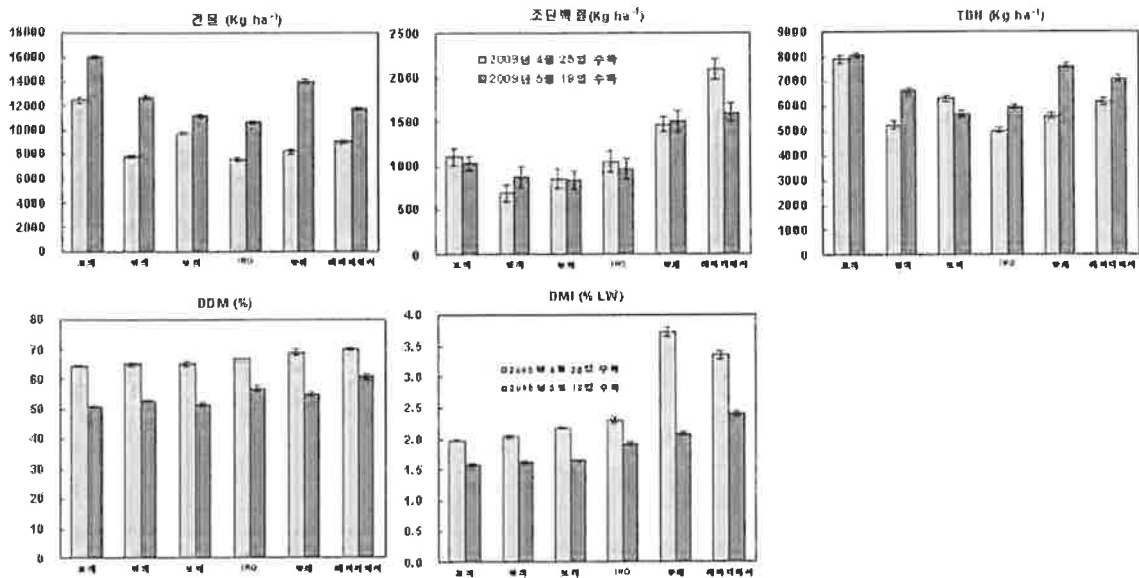
품종	P32P75	33T56
파종	2009. 4. 10	2009. 4. 20
수확	2009. 7. 25	2009. 7. 22
포장	전남 장흥군 답작 전작 포장 	전남 나주시 봉황면 전작 포장 
초장 (cm)	237.5± 24	274± 11
엽장 (cm)	10.2± 1.0	10.7± 0.9
생초(kg ha ⁻¹)	76,428± 899	98,933± 784
건물(kg ha ⁻¹)	16,985± 453	19,984± 312

전남 장흥군 답작포장과 나주시 봉황면 소재 전작 포장에서 각각 중·만생종 P32P75과 조생종 33T56을 2009년 4월 10일 및 2009년 4월 20일 파종하였다. 장흥 포장의 P32P75 품종은 약 105일 생육일수가 허용 후 2009년 7월 20일 수확시의 초장은 237cm였으며, 나주 포장의 조생종 33T56은 93일 생육 후 사일리지 제조 적기인 황숙기에 도달하였으며 이시기의 초장은 274cm 였다. 생초수량은 P32P75 76,428 kg ha⁻¹, 33T56 98,993 kg ha⁻¹이었다. 건물수량은 조생종인 P32P75 및 33T56에서 각각 16,985 및 19,984 kg ha⁻¹으로 조생종인 33T56품종의 생육일수가 약 10일 정도 짧았지만 약 15%의 증수가 인정되었다.

(라) 수단그라스 후작 동계 사료작물 재배

동계작물의 수확시기는 작부체계의 연간 생산수량의 지배적인 요인이 되는 주작물 (하계작물)의 파종시기에 직접적인 영향을 미치게 된다. 주작물 수확 후 재배되는 동계작물의 적정 수확시기를 결정하는 것은 작부체계의 설정에 있어 매우 중요한 의미가 있다. 이러한 배경에서 전남 나주시 봉황면 소재 사료작물 포장에서 2008년 9월 30일 수단그라스 수확 및 파종상 준비작업 후 2008년 10월 15일에 6종의 동계작물 호맥 (Blue land), 연맥 (동한), 보리 (유연보리), 이탈리아인 라이그라스 (Early bird), 유채 (Mosa) 및 베어리베치 (Pebb-2)을 2m X 5m 시험구에 6처리 5반복으로 완전임의 배치하여 파종하였다. 주작물의 파종시기 및 파종된 동계작물의 영

양소 생산수량을 고려한 최적 수확시기를 설정하기 위해 2009년 4월 25일과 5월 18일 각각 수확하여 수량 및 영양소 생산성을 평가한 결과는 그림6에 나타난 바와 같다.



[그림 6] 전작 동계작물의 수확시기에 따른 생산성 및 사료가치

건물수량은 4월 25일 예취시 호맥이 12470 kg ha⁻¹로 가장 높았으며 보리, 헤어리베치, 유채, 이탈리아 라이그라스, 연맥 높은 건물수량을 나타내었으며, 수단그라스의 한계 파종시기라고 볼 수 있는 5월 18일 까지 수확시기를 늦추었을 때 6개 초종 모두 수량의 증가하였으며, 특히 연맥, 유채 및 호맥의 건물의 수량의 증가가 뚜렷하여 이 들 초종의 경우 출수 또는 개화 이후 건물울의 증가가 높은 것으로 판단되었다. 5월 18일 수확시 건물 수량은 호맥이 ha당 약 16t 가장 높았으며, 그다음으로 유채가 14t 정도의 건물 수량을 보였다. 가장 수량이 낮았던 보리나 헤어리베치의 경우도 ha당 11t 이상의 수량을 나타내었다.

조단백질 수량은 헤어리베치에서 4월 25일 수확시 2096 kg ha⁻¹ 및 5월 18일 1604 kg ha⁻¹으로 가장 높은 조단백질 수량을 나타내었으며, 다음으로 유채가 수확시기에 크게 영향을 받지 않고 약 1500 kg ha⁻¹ 수량을 보였다. 다른 화본과 4종의 경우 약 800 kg ha⁻¹에서 1100 ha⁻¹ 범위의 단백질 수량을 보였다. 수확시기가 늦어짐에 따라 수확시기가 5월 18일까지 늦어졌을 때 공시초종 6종 모두 건물수량의 증가 폭에 비해 현저히 낮았다. 연맥의 경우 4월 25일 수확시 보다 약 20% 증가하였으나, 다른 초종의 경우 동일 수준을 유지하거나 감소하였다. 5월 18일 수확시 거의 만개화기 도달한 헤어리베치의 경우 5월 18일 수확시 4월 25일 수확시에 비해 23.5%로 가장 높은 조단백질 수량의 감소를 보였다. 이러한 결과들로부터 단백질 생산성을 고려할 때 수확시기가 너무 늦추지 않아야 할 것으로 판단되었다.

TDN 수량은 호맥에서 4월 25일 수확시 7924 kg ha⁻¹ 및 5월 18일 8073 kg ha⁻¹으로 가장 높은 TDN 수량을 나타내었으며, 유채 헤어리베치 순으로 수량이 높았다. 연맥, 보리 및 이탈리아 라이그라스는 5000 kg ha⁻¹에서 6600 ha⁻¹ 범위의 TDN 수량을 나타내었다. 수확시기에 따

큰 TDN 수량은 5월 18일 수확시 보리를 제외한 전 공시초종에서 증가하는 경향을 보였으나, 건물 수량의 증가 폭에 비해서는 현저히 낮았다. 특히 호맥과 보리의 경우 수확시기가 5월 18일로 늦어짐에 따라 TDN 증수 효과는 미미하였다. 특히 보리의 경우 약 10%의 감소를 보였다.

수확된 공시초종의 ADF 함량은 4월 25일 수확시 호맥, 연맥, 보리, 이탈리아 라이그라스, 유채 및 헤어리베치에서 31.34, 31.23, 30.24, 28.88, 25.84 및 25.43%에서 5월 18일로 수확시기가 늦어졌을 때 각각 48.82, 46.50, 47.92, 41.04, 43.65 및 35.93%로 각각 증가하였다. ADF에 의해 평가된 가소화 건물량은 [%DDM = 88.9-(ADF% x 0.779)]은 4월 25일 수확시 6종의 공시초종에서 65-69% 범위였으나, 수확시기가 5월 18일로 늦어졌을 때 51-61% 범위로 크게 감소하였다. 특히 보리, 호맥에서 약 14%의 감소를 보여 다른 초종에 비해 수확시기 지연에 의한 가소화 건물량의 감소가 높았다. NDF 함량은 4월 25일 수확시 호맥, 연맥, 보리, 이탈리아 라이그라스, 유채 및 헤어리베치에서 60.50, 58.69, 55.03, 52.10, 32.30 및 35.81%에서 5월 18일로 수확시기가 늦어졌을 때 각각 76.07, 74.03, 72.55, 62.51, 57.65 및 49.74%로 증가하였다. NDF에 의해 평가된 생체중 기준 건물섭취량 (%DMI L.W = 120/%NDF)은 4월 25일 수확시 유채와 헤어리베치가 각각 3.72%와 3.25%으로 화본과 동계작물(2.0%-2.3%) 보다 현저히 높은 건물섭취량을 보였으며, 수확시기가 5월 18일로 늦어졌을 경우 유채와 헤어리베치는 각각 2.08%와 2.41%로, 그리고 화본과 동계작물에서도 감소되었다. 가소화건물량과 건물섭취량에 입각한 상대적사료가치 [RFV = (%DDM x %DMI) / 1.29] 4월 25일 수확한 헤어리베치 및 호맥은 각각 179와 99이며, 수확 시기가 5월 18일로 늦어짐에 따라 각각 113과 62로 현저히 감소되는 것으로 평가된다. 이러한 결과들은 수확시기가 늦어짐에 따른 소화율 및 건물섭취량의 감소에 유의해야 하며 특히 출수나 개화 후 수확시기의 결정은 단순한 생초나 건물수량에 기준한 수확시기보다는 영양소 수량과 사초의 질을 동시에 고려하여 수확시기를 결정해야 함을 잘 보여 주었다.

(2) 전작에서 단위면적당 영양소 생산량 제고 방안

(가) 단백질 생산성 증가를 위한 두과 사료작물 사료가치 비교시험

화본과 경종 작물 위주의 조사료 생산 작부의 경우 낮은 단백질 수량으로 인해 단위면적당 영양소 생산성을 최대 높이기에는 한계를 보이게 된다. 조사료 생산 작부체계의 단위면적당 영양소 생산수량을 높이기 위한 방안으로 자운영을 포함한 두과작물 5종 15품종의 사료성분, 단백질 함량 및 수량을 평가하고자 2006년 10월 25일 파종하여 이듬해 5월 16일 수확하였다 (표 13).

[표 13] 두과 작물 5종 15품종간의 사료가치 및 건물수량

작물	ADF (%)	NDF (%)	조단백질 (%)	TDN (%)	RFV	건물수량 (kg/ha)
자운영	38.6±1.8	50.7±3.2	18.6±1.1	67.7±2.4	107.7	3150±121
크림슨클로버(Loty-13)	27.7±1.7	35.1±1.8	10.7±0.6	66.7±1.9	178.7	4685±156
크림슨클로버(Tibbee)	28.5±1.5	33.2±3.3	12.5±0.9	67.7±2.1	186.8	5817±222
크림슨클로버(Contea)	31.6±2.1	36.4±2.1	11.8±1.1	67.5±3.0	164.3	7397±109
크림슨클로버(Linkarus)	39.3±2.4	40.8±1.4	13.7±1.0	69.5±2.5	133.0	4030±238
완두콩(Livioletta)	44.0±2.9	39.9±1.7	16.4±0.5	65.4±1.8	127.5	5250±180
완두콩(Austrian Pea)	47.8±1.8	47.5±2.2	19.4±0.8	65.1±3.2	101.3	5087±179
헤어리베치(W4712)	44.8±1.8	51.0±3.6	22.5±1.3	69.5±1.1	108.5	5267±260
헤어리베치(Welta)	43.7±3.0	44.8±1.8	22.6±1.2	67.4±3.2	113.9	4395±178
헤어리베치(Penn-02)	44.1±1.5	46.2±2.4	21.5±0.5	69.7±1.6	106.7	5235±228
헤어리베치(Otsaat)	47.2±2.6	41.4±2.6	14.7±1.1	64.0±1.8	117.1	5182±301
헤어리베치(Oregon com)	47.1±3.1	45.4±3.1	21.43±1.4	66.8±1.7	106.9	5776±155
헤어리베치(Sander 2)	33.8±1.4	31.7±2.9	17.2±0.5	68.4±2.7	183.6	5680±119
알팔파(Siriver)	40.4±1.8	36.1±1.8	14.6±0.6	70.3±3.5	148.1	2498±167
알팔파(Surpass)	42.7±2.0	49.6±2.8	14.7±1.0	64.8±2.0	105.7	2988±209

두과작물의 생육은 수확일 (5월 16일)에 초장은 자운영 27.4cm, 크림슨클로버 35.4-52.4, 완두콩 59.8-92.4, 헤어리베치 92.3-113.5, 알팔파 37.7-46.1cm로 헤어리베치가 가장 길었으며, 품종별로는 크림슨클로버의 Contea, Linkarus, 완두콩의 Austrian pea, Livioletta, 헤어리베치의 Penn-02, Oregon com, Sander 2에서 가장 컸다. 엽수와 m²당 줄기수도 같은 경향이었다. 생초수량은 자운영 1,451kg/10a, 크림슨클로버 852-2,887, 완두콩497-2,688, 헤어리베치 557-2,503, 알팔파 886-1,242kg/10a로 헤어리베치가 많았으며 품종별로는 크림슨클로버의 Linkarus, 완두콩의 Austrian pea, Livioletta, 헤어리베치 의 Welta, Penn-02, Otsaat, Sander 2, Oregon com, W4712에서 가장 많았다. 조사료의 소화율에 영향을 미치는 ADF 함량은 자운영 38.6%, 크림슨클로버 27.7-39.0%를 품종간에 차이가 있었으며, 완두콩, 헤어리베치, 알팔파는 40.4-47.8% 범위로 (헤어리베치 Sander 2 제외) 품종간에 큰 차이는 없었다. 품종간에는 헤어리베치 Sander 2, 크림슨클로버 Loty-13, Tibbee 및 Contea 품종이 30%내외로 ADF 함량을 가지고 있어 사료적 가치가 상대적으로 높을 것으로 판단되었다. 조사료의 건물섭취량과 부의 상관관계를 가지는 NDF 함량은 자운영 50.7%, 크림슨클로버 33.2-40.8%, 완두콩 40-47.5%, 헤어리베치는 31.7-51.0%로 품종간에 변이가 다른 초종에 비해 상대적으로 컸다. 품종간에는 ADF 함량과 유사한 경향으로 헤어리베치 Sander 2, 크림슨클로버 Loty-13, Tibbee 및 Contea 품종이 마찬가지로 상대적으로 NDF 함량이 낮았다. 조단백질 함량은 자운영 18.6%, 크림슨클로버 10.7-13.7%, 헤어리베치가 19.7-22.6%로 다른 초종에 비해 상대적으로 높은 조단백질 함량을 보여주었다. 알팔파는 14.7%였다. 5초종 15품종의 조단백질을 전반적으로 살펴보면 일반적으로 보고되고 있는 화분과 건초의 조단백질함량에 비해 훨씬 높은 함량을 보이고 있으며, 본 연구에서 분석한 총체보리 사일리지 및 총체벼 사일리지의 8.4% 와 7.%에 비해 뚜렷하게 높은 함량을 보였다. 특히 헤어리베치의 경우 총체보리나 벼에 비해 적어도 2.5배 이상 높은 것으로 평가되었다. 가소화영양소 총량 (TDN)은 65 - 70%의 범위로 전 공시품종 모두 높은 영양소 함량을 보여 주었다. 총체보리사일리지(65.7%)와 총체벼사일리지(61.3%)비해 모두 높으며 건조벚짚에 비교하면 2배 이상 높은 것으로 평가되었다. 사료적 상대적가치 RFV값은 자운영 107.7, 완두콩 Austrian pea, 알팔파 Surpass, 헤어리베치 Penn-02를 제외하고는 나머지 두과초종에서 120이상의 RFV 값을 보여 매우 높은 사료적 가치를 보여주었다. 특히 크림슨클로버

Loty-13, Tibbee 및 Contea 품종과 헤어리베치 Sander 2의 경우 160이상의 RFV 값으로 벧짚에 비해 2.5배 이상 높은 상대적 사료가치를 보여주었다. 상대적 사료가치를 나타내는 RFV는 크립슨클로버 비교적 높았으나 건물 수량이 상대적으로 낮아 단위면적당 영양소 수량은 헤어리베치가 가장 우수한 것으로 평가 되었다. 이상의 결과들을 토대로 전작 작부체계에 두과작물의 도입하거나 화분과 동계작물과의 혼파를 통해 단위면적당 단백질생산 수량의 증가를 유의적으로 증가 시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

(나) 전작에서 보리와 두과작물과의 혼파시험

총체보리에 대한 재배의 수월성에 대한 인식, 동계작물로서 파종기 및 수확기의 융통성, 다른 동계작물과 비교 할 때 널리 보급된 재배 기술 및 종자구입의 수월성 등을 고려하여 일반농가에서 다른 사료작물중에 비해 보편적으로 넓게 재배되고 있다. 조사료 생산을 위한 총체보리의 경우 집약적 경작에도 불구하고 사료용으로 개발된 화분과 목초중에 비해 단위면적당 영양소 수량이 낮은 편이다. 따라서 보리와 단백질 함량이 높은 두과작물과의 혼파를 통해 토양비옥도개선, 무기질 질소의 효율적 이용을 꾀하고 궁극적으로 단위면적당 수량 및 영양소 생산성을 향상시키고자 보리와 5종의 두과작물과의 혼파시험을 실시하였다. 주작물의 수확시기를 고려하여 2006년 10월 20일 보리와 두과작물을 7:3의 비율로 하여 각각 파종하여 이듬해 5월 16일에 수확하였다.

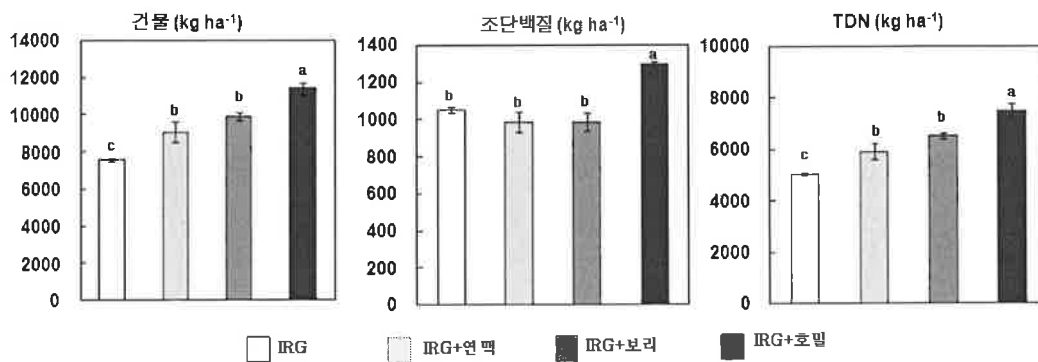
전작에서 보리와 5종의 두과작물 혼파에 따른 영양소 함량 및 수량을 보리 단파재배와 비교한 결과는 표 14에 나타난 바와 같다. 보리단파재배의 경우 단백질 함량은 8.3%였으나, 두과작물의 혼파에 의해 조단백질 함량이 유의적으로 증가하였다. 특히 완두콩과 헤어리베치와의 혼파조합에서 조단백질 함량이 상대적으로 더 높게 증가하였다. TDN 함량 역시 단파 재배 시 55.2%였으나 혼파에 의해 그 함량이 증가하는 경향이였다. 건물수량은 보리 단파재배에서 8290 kg/ha였으며, 자운영과 크립슨클로버와의 혼파에서는 건물수량의 유의적인 증가가 없었으나, 완두콩과 헤어리베치와의 혼파구에서 약 9% 건물수량이 증가되었다. 조단백질 수량은 보리 단파재배구에서 864 kg/ha였다. 크립슨클로버와의 혼파구에서는 단파구와 비슷한 수량을 보였으나, 자운영, 완두콩 및 헤어리베치 혼파구에서 단파구 대비 각각 24.8%, 61.1% 및 60.5%의 조단백질 생산성의 증가가 있었다. TDN 수량 역시 혼파에 의한 증수가 인정되었다. 자운영과 크립슨클로버와의 혼파구에서는 단파구에 비해 약간 증가한 수량을 보였으나 유의적인 차이는 인정되지 않았으나, 완두콩과 헤어리베치 혼파구에서는 단파구 대비 10.4% 및 15.6% 각각 증가하였다.

[표 14] 전작에서 보리와 두과작물과의 혼파에 따른 영양소 함량 및 생산성

구분	조단백질 (%)	TDN (%)	수량 (kg/ha)		
			건물	조단백질	TDN
보리단파	8.3±0.6	55.2±3.2	8290±320	684±22	4576±102
보리-자운영	10.1±0.9	57.1±3.7	8440±630	854±42	4819±216
보리-완두콩	12.3±1.0	56.4±4.1	8960±390	1103±78	5053±234
보리-크립슨클로버	10.3±0.7	58.0±3.9	8220±490	843±44	4767±189
보리-헤어리베치	12.2±0.8	58.7±2.2	9010±540	1098±63	5288±301

(다) 전작에서 수단그라스 후작 동계작물-이탈리안 라이그라스와의 혼파

일반적으로 이탈리안 라이그라스의 출수기 이후 도복에 의한 수량 감소 및 수확의 불편함이 제기되고 있는 관점에서 직립형 화본과 동계작물과의 혼파를 통하여 이탈리안 라이그라스의 도복을 막아주고 수량의 증가를 꾀할 수 있는지를 검토하기 위해 수단그라스 수확이 끝난 전작포장에서 이탈리안 라이그라스 단파구, 이탈리안 라이그라스와 연맥, 보리 및 호밀을 5:5로 혼파구로 구성된 2m X 5m 시험구에 4처리 5반복으로 완전 임의 배치하여 2008년 10월 15일에 파종하였다. 2009년 4월 25일 수확 후 건물, 조단백질 및 TDN 수량을 평가한 결과를 그림 7에 나타내었다.



[그림 7] 전작수단그라스 후작 동계작물-이탈리안 라이그라스 혼파에 따른 생산성

이탈리안 라이그라스 단파구의 경우 건물, 조단백질 및 TDN 수량은 각각 7597, 1049 및 5021 kg ha⁻¹이었다. 3조의 혼파구 공히 건물생산량의 유의적인 증가가 인정되었다. 특히 호밀과의 혼파구에서 약 42%의 증가를 보여 혼파에 의한 증수 효과가 가장 높았다. 조단백질 생산수량은 호밀과의 혼파구에서 만 유의적인 증가 (+23%)가 인정되었다. 혼파에 의한 TDN 생산 수량은 건물수량의 경향과 동일하였다.

(라) 옥수수 2기작 재배

실제농가에서 나타난 현안 문제점들 가운데 가장 크게 부각되는 것은 축산농가의 사육두 수 대비 조사료 생산을 위한 경지면적이 현저하게 낮으며, 단위면적당 영양소 생산수량이 낮아 가축수용력이 매우 낮은 실정이다. 이러한 배경에서 사료작물 생산을 위해 역내 재환원되는 축분의 투입량이 극히 제한되어 역외 투입이 불가피한 실정으로 환경규제 범위내로 처리하기 위한 추가 비용이 소요되어 축산농가의 경영성의 악화로 이어지고 있다. 뿐만 아니라 이러한 연계선상의 문제점들로 인해 환경친화형 축산 또는 자원순환형 농업을 수행하는데 있어 근본적 문제점으로 대두되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 단위면적당 수량이 높고, 가축의 기호성 또한 높아 대표적인 사료작물로서 이용되고 있는 옥수수 만과재배와 춘계조기 재배를 통하여 2기작 재배의 가능성을 파악하였다. 사전 시험의 결과를 토대로 전남 나주시 봉황면 소재 자원순환형 한우 사육장 전작 사료작물 포장에서 조생종 33T56 품종을 2009년 4월 20일 및 7월 30일 각각 파종하였다. 1차 및 2차 수확은 2009년 7월 23일 및 10월 28일에 각각 실시하였다. 화학비료는 기준시비량에 입각하여 N:P:K = 200:150:150 kg/ha으로 하였고 질소비료는 기비와 7-8엽기에 추비로 각각 50%씩 분시하였다. 인산과 칼리는 전량기비

로 사용하였다. 퇴비는 자원순환형 사육사에서 배출된 우분퇴비를 사용하였으며 비료성분은 질소, $11.3 \pm 0.11 \text{ g N Kg}^{-1}$; 총 인산, $10.3 \pm 0.47 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ Kg}^{-1}$; C/N: 20.1 ± 0.27 이었다. 우분퇴비의 질소 함량을 기준으로 환산하여 ha 당 20t 을 전량 기비로 파종전에 살포하였다. 관수 및 일반재배관리는 관행에 준하였다.

[표 15] 옥수수 2기작에서 1차 및 2차 수확시 생육상황

구분	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	경직경 (mm)	이삭길이 (mm)	이삭경 (mm)	이삭비율 (%)
화학비료							
1차	278.5 ^a	94.8 ^a	10.0 ^a	21.8 ^a	28.4 ^a	49.6 ^a	44.6 ^a
2차	256.2 ^{bc}	87.6 ^c	9.05 ^a	20.1 ^a	29.7 ^a	45.2 ^b	40.9 ^b
우분퇴비							
1차	261.6 ^b	96.7 ^a	10.16 ^a	20.6 ^a	27.8 ^a	45.6 ^b	45.4 ^a
2차	253.4 ^{bc}	94.1 ^{ab}	7.97 ^b	18.04 ^b	26.5 ^a	43.9 ^{bc}	41.4 ^b

7월 23일(1차 수확) 및 10월 28일(2차 수확)시의 생육상황은 표 15에 나타난 바와 같다. 초장은 화학비료 시용구에서는 1차 수확시가 가장 높았으며 퇴비 시용구에서는 1차와 2차 수확 시기에 따른 유의차는 없었다. 엽장 역시 초장과 동일한 경향이었으며 엽폭과 경직경은 화학비료 시용구에서는 1차와 2차간에 차이가 없었으나, 퇴비 시용구에서는 2차 수확시에 약간 감소하였다. 이삭의 길이는 유의적인 차이가 없었다. 이삭의 경직경은 화학비료 1차 수확시에 가장 높았으며, 이삭비율은 화학비료와 퇴비 시용구에서 모두 2차 유의적으로 감소하였다.

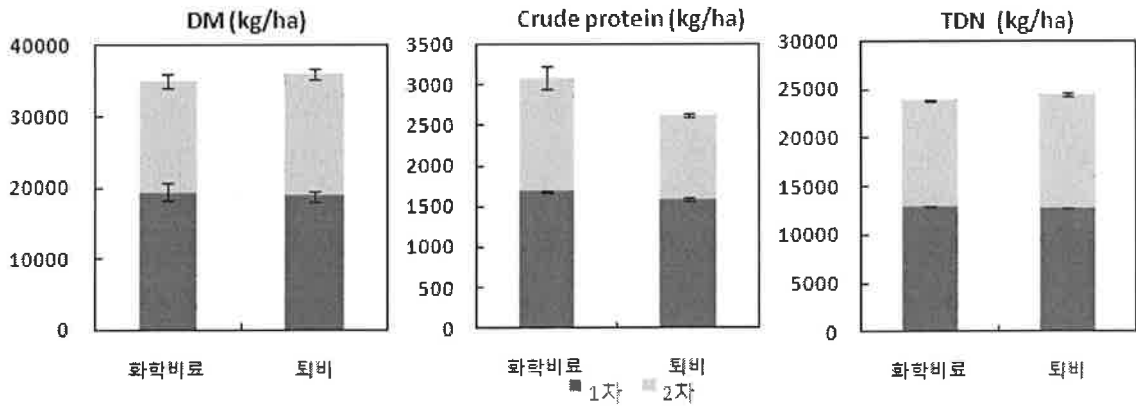
1차 및 2차 수확한 옥수수의 사료성분을 분석한 결과를 표 16에 나타난 바와 같다. 화학비료 시용구의 겨우 조지방, 조섬유, NDF 함량은 2차 수확시에 약간 증가 하였으나, 퇴비시용구의 경우 유의적 차이가 없었다. ADF 함량은 화학비료와 퇴비 시용구에서 모두 2차 수확시 감소하였다. 조단백질 함량은 화학비료 시용구의 1차 수확시에 8.81%로 가장 높았으나 비료처리와 재배차수에 따른 유의적인 차이가 없었다. TDN 함량 역시 67.3%에서 68.58%의 범위에서 비료처리 및 재배차수에 따른 유의적인 차이는 인정되지 않았다.

[표 16] 옥수수 2기작 재배의 1차 및 2차 수확시의 사료성분

구분	조회분 (%)	조지방 (%)	조섬유 (%)	NDF (%)	ADF (%)	조단백질 (%)	TDN (%)
화학비료							
1차	4.90 ^{ab}	7.07 ^b	23.30 ^b	51.07 ^b	28.93 ^a	8.81 ^a	67.59 ^{ab}
2차	4.61 ^b	9.75 ^a	24.22 ^a	54.88 ^a	27.42 ^{ab}	8.77 ^a	68.64 ^a
우분퇴비							
1차	5.15 ^a	6.75 ^b	24.87 ^a	53.60 ^{ab}	29.29 ^a	8.38 ^{ab}	67.33 ^{ab}
2차	4.73 ^b	9.53 ^a	24.32 ^a	51.44 ^b	27.51 ^{ab}	8.68 ^a	68.58 ^a

7월 23일 1차 수확과 10월 28일 2차 수확시의 건물 및 영양소 수량을 평가한 결과는 그림

8에서 나타낸 바와 같다. 생초수량은 1차 수확시에 화학비료 시용구에서 ha당 82톤, 퇴비시용구에서 85톤으로 약간 높았다. 2차 수확시의 생초수량은 1차 수확시 보다 유의적으로 감소하여 화학비료 및 퇴비 시용구에서 각각 ha당 62톤 및 66톤이었다. 건물수량은 화학비료 및 퇴비시용구의 1차 수확시 ha당 19.2톤 및 18.9톤으로 유의적인 차이는 없었다. 2차 수확시의 건물 생산성은 1차 수확시보다 유의적으로 감소하였으며 퇴비 시용구에서 ha당 17.2톤으로 화학비료 시용구보다 약간 높은 수량을 보였다. 2기작 총 건물수량은 화학비료 및 퇴비시용구에서 35.1톤 및 36.1톤/ha 이었다. 조단백질 수량은 1차 수확시에 화학비료 및 퇴비시용구에서 각각 1691 kg 및 1586 kg/ha 이었으며 2차 수확의 조단백질 수량은 1차 수확시에 비해 화학비료 및 퇴비시용구에서 각각 17% 및 34% 감소하였다. 2기작 총 조단백질 수량은 화학비료 및 퇴비시용구에서 3088 kg 및 2628 kg/ha이었다. TDN 수량은 1차 수확시에 화학비료 및 퇴비시용구에서 각각 13.0톤 및 12.7톤/ha 이었으며 비료처리간에는 유의적인 차이가 없었다. 2차 수확의 TDN 수량은 1차 수확시에 비해 화학비료 및 퇴비시용구에서 각각 16% 및 8% 감소하였다. 2기작 총 TDN 수량은 화학비료 및 퇴비시용구에서 23.9톤 및 24.5/ha이었다.



[그림 8] 옥수수 2기작 재배의 건물 및 영양소 수량

(3) 전작에서 자원순환농업을 위한 축분시용에 따른 조사료 생산성 평가

자원순환형 전작 작부체계 설정을 위해 본 연구에서 시험연구에서 표준시범 목장으로 활용한 전남 나주시 봉황면 소재 전남대학교 자원순환형 한우사육목장에서 배출된 우분톱밥퇴비를 사용하여 전작작부의 주작물 (수단그라스, 옥수수) 및 6종의 동계작물에 대한 재배시험을 실시하였다.

(가) 전작 동계작물의 우분톱밥퇴비 사용량에 따른 건물 및 영양소수량

[표 17] 우분톱밥퇴비 사용량에 따른 전작 동계작물의 건물 및 영양소 수량

작물 / 비료원	화학비료	우분톱밥퇴비* 사용량 (t ha ⁻¹)	
		N 기준 100%	N 기준 150%
-----Kg ha ⁻¹ -----			
호맥 (Blue land)			
화학비료 기준 시비량 N:P:K	120:100:100 kg/ha		
건물	11860±315 ^b	12400±289 ^{ab}	13150±358 ^a
조단백질	1073±85 ^b	1116±109 ^{ab}	1169±92 ^a
TDN	7607±205 ^b	7748±311 ^{ab}	8416±295 ^a
연맥 (동한)			
화학비료 기준 시비량 N:P:K	150:100:100 kg/ha		
건물	7924±160 ^a	7724±310 ^{ab}	7812±150 ^a
조단백질	702±65 ^a	683±45 ^a	696±32 ^a
TDN	5340±79 ^a	5175±83 ^a	5226±58 ^a
보리 (유연보리)			
화학비료 기준 시비량 N:P:K	120:100:100 kg/ha		
건물	9610±265 ^b	9047±290 ^b	10650±184 ^a
조단백질	855±44 ^{ab}	814±39 ^b	905±48 ^a
TDN	6924±405 ^{ab}	5790±341 ^b	6869±310 ^a
이탈리안 라이그라스 (Early bird)			
화학비료 기준 시비량 N:P:K	200:150:150 kg/ha		
건물	7410±175 ^b	7160±271 ^b	8210±205 ^a
조단백질	992±74 ^b	988±86 ^b	1166±97 ^a
TDN	4913±224 ^b	4754±240 ^b	5440±215 ^a
유채 (Mosa)			
화학비료 기준 시비량 N:P:K	120:100:100 kg/ha		
건물	8125±120 ^b	8075±210 ^b	8541±241 ^a
조단백질	1470±84 ^{ab}	1435±65 ^{ab}	1520±86 ^a
TDN	5525±215 ^{ab}	5498±249 ^{ab}	5790±321 ^a
헤어리베치 (Penn-2)			
화학비료 기준 시비량 N:P:K	50:100:100 kg/ha		
건물	9244±215 ^a	9824±250 ^a	8849±310 ^a
조단백질	2070±31 ^a	1998±49 ^{ab}	2221±34 ^{ab}
TDN	6359±204 ^a	6129±185 ^{ab}	6061±120 ^{ab}

* 우분톱밥퇴비 시료성분: Total N: 11.3± 0.11 g N Kg⁻¹; Total P₂O₅: 10.3± 0.47g P₂O₅ Kg⁻¹; C/N: 20.1± 0.27

전작 포장에서 우분 톱밥퇴비 환원량 설정과 주작물 수확 후 후작으로 재배될 동계작물 6종 (호맥, 연맥, 보리, 이탈리아 라이그라스, 유채, 헤어리베치)의 조사료 생산성을 평가하기 위해 전남나주시 봉황면 소재 자원순환형 한우 사육사에서 배출된 우분 톱밥퇴비를 질소 시비량 기준 100%와 150% 수준으로 파종전 전량 기비로 사용하여 동계작물 6종의 건물 및 영양소 수량을 화학비료 사용 효과와 비교하였다. 자연순환형 한우 사육사 전작 포장에서 2008년 10월 15일에 파종하여 2009년 4월 25일 수확 후 건물, 조단백질 및 TDN 수량을 평가한 결과를 표

17에 나타내었다.

호맥의 경우 화학비료 시용구에서 건물, 조단백질 및 TDN 수량은 각각 11860, 1073 및 7607 kg ha⁻¹ 이었으며, 우분 톱밥퇴비를 질소기준 100% 시용구에서는 유의적인 차이가 없었으나, 질소기준 150% 시용구에서는 각각 10, 9 및 11% 유의적으로 증가하였다.

연맥의 건물, 조단백질 및 TDN 수량의 경우 화학비료와 우분 톱밥퇴비 시용구간 그리고 퇴비시용량간에 공히 유의적인 차이가 없었다.

보리의 건물 수량은 화학비료 시용구에서 9610 kg ha⁻¹ 이었으며, 질소기준 100% 우분 톱밥퇴비 시용구에서는 약간 감소하는 경향이었으나 유의적인 차이는 없었다. 질소기준 150% 시용구에서 화학비료 시용구 대비 11% 증가하였다. 조단백질 및 TDN 수량은 질소기준 100% 시용구와 150% 시용구 사이에는 퇴비 시용량이 증가함에 따라 유의적인 증가가 있었으나, 화학비료 시용구와는 유의적인 차이가 없었다.

이탈리안 라이그라스의 경우 건물, 조단백질 및 TDN 수량 공히 우분 톱밥퇴비를 질소기준 100% 시용구에서는 화학비료 시용구와 유의적인 차이가 없었으나, 질소기준 150% 시용구에서는 화학비료 시용구 대비 각각 10, 9 및 11% 유의적으로 증가하였다.

유채의 건물 수량은 질소기준 150% 시용구에서만 화학비료 대비 5% 증가하였으나, 조단백질 및 TDN 수량은 퇴비시용수준과 관계없이 화학비료 시용구와 유의적인 차이가 없었다.

헤어리베치의 경우 건물, 조단백질 및 TDN 수량에 있어 화학비료와 우분 톱밥퇴비 시용구간 그리고 퇴비시용량 간 공히 유의적인 차이가 없었다.

(나) 전작 옥수수의 우분 톱밥퇴비 시용량에 따른 건물 및 영양소수량

[표 18] 우분 톱밥퇴비 시용량에 따른 옥수수의 건물 및 영양소 수량

작물 / 비료원	화학비료*	우분 톱밥퇴비** 시용량 (t ha ⁻¹)		
		20	25	25+미생물***
옥수수 (33T56)		kg ha ⁻¹		
D.M	19190±390 ^{ab}	18650±324 ^b	19420±370 ^a	19690±578 ^a
C. Protein	1348±69 ^{ab}	1302±48 ^{ab}	1398±74 ^a	1390±69 ^a
TDN	13294±410 ^{ab}	12952±248 ^b	133841±324 ^{ab}	13588±365 ^a

*화학비료 기준시비량 (N:P:K = 200:150:150 kg/ha, 추비 7-8엽기: 1/2 N)

** 11.3± 0.11 g N Kg⁻¹; Total P₂O₅: 10.3± 0.47g P₂O₅ Kg⁻¹; C/N: 20.1± 0.27

*** 키틴.젤라틴 분해 미생물

자연순환사육사에서 배출된 우분 톱밥퇴비의 옥수수 재배를 위한 적정 시용량과 우분 톱밥퇴비의 연간 포장 환원량을 평가하기 위해 전남 나주시 봉황면 소재 자연순환형 한우 사육사 포장에서 화학비료, 우분 톱밥퇴비 질소 기준 100%, 125%로 처리 하였다. 특히 멸강충예방과 방제를 염두에 두고 우분 톱밥퇴비 125% 시용구에 키틴.젤라틴 분해 미생물을 옥수수 영양생

장기간 중 3차례 처리한 시험구를 포함한 4처리로 하여 2009년 4월 20일 옥수수 조생종 33T56 품종을 파종한 후 2009년 7월 22일 수확하여 건물 및 영양소 수량을 평가한 결과를 표 18에 요약하였다.

건물수량은 화학비료, 우분 톱밥퇴비 ha 당 25t 및 우분톱밥퇴비 25t+미생물 혼합시용구에서 ha 당 약 19t의 수량을 나타내었고, ha 당 20t 우분 톱밥퇴비 시용구에서는 약간 감소하였다. 조단백질 수량은 우분톱밥퇴비 25t+미생물 혼합시용구에서 1390 kg ha⁻¹로 가장 높았으며, 화학비료구 및 퇴비시용수준에 따른 유의적인 차이가 없었다. TDN 수량 역시 우분톱밥퇴비 25t+미생물 혼합시용구에서 13588 kg ha⁻¹로 가장 높았으나, 화학비료 및 우분톱밥퇴비 25t 단용처리구와는 유의적인 차이가 없었다. 우분톱밥퇴비 20t 시용구에서 약간 감소하는 경향이었다.

(다) 전작 수단그라스의 우분톱밥퇴비 시용량에 따른 건물 및 영양소수량

자연순환형 한우사육사에서 배출된 우분 톱밥퇴비의 수단그라스 재배를 위한 적정 시용량과 우분톱밥퇴비의 연간 포장 환원량을 평가하기 위해 전남 나주시 봉황면 소재 자연순환형 한우 사육사 포장에서 화학비료, 우분 톱밥퇴비 질소 기준 100%, 125% 및 150% 4처리 한 후 2009년 5월 20일 파종한 후 동년 9월 30일 수확하여 건물, 조단백질 및 TDN 수량을 분석 결과를 요약하면 표 19에 제시한 바와 같다. 사용된 우분톱밥퇴비의 이화학적 성분은 pH = 9.52, 총질소 = 11.3±0.81g N L⁻¹, 총 인산 P₂O₅ = 10.3±0.78g N L⁻¹ 및 유기물 함량 = 227.5±2.57 g N L⁻¹ 이었다.

[표 19] 우분 톱밥퇴비 시용량에 따른 전작 수단그라스 건물 및 영양소 수량

작물 / 비료원	화학비료*	우분톱밥퇴비** 시용량 (t ha ⁻¹)		
		20	25	30
수단그라스 (G83F)		kg ha ⁻¹		
D.M	14190±420 ^{ab}	13950±453 ^b	14820±370 ^{ab}	15290±620 ^a
C. Protein	1169±71 ^{ab}	1150±89 ^b	1221±105 ^a	1259±78 ^a
TDN	8088±165 ^b	7951±198 ^b	8447±262 ^{ab}	8715±241 ^a

*화학비료 기준시비량 (N:P:K = 200:150:150 kg/ha, 추비 7-8엽기: 1/2 N)

** 11.3± 0.11 g N Kg⁻¹; Total P₂O₅: 10.3± 0.47g P₂O₅ Kg⁻¹; C/N: 20.1± 0.27

20 t 우분 톱밥퇴비 = 226 kg N

건물수량은 화학비료 시용구에서 14190kg ha⁻¹이었고, 우분톱밥퇴비 20t 시용구에서 약간 감소하거나, 25t에서 약간 증가한 수량을 보였지만 유의적인 차이는 인정되지 않았다. 우분톱밥퇴비 30t (질소 기준 150%) 시용구에서는 15290 kg ha⁻¹으로 유의적으로 증가하였다. 조단백질 수량은 우분톱밥퇴비 20t 시용구에서는 화학비료 처리구와 비슷한 수준을 보였으나, 25t 및 30t 시용구에서는 화학비료 시용구 대비 각각 5% 및 8% 유의적으로 증가하였다. TDN 수량은 우분톱밥퇴비 25t 시용구까지는 화학비료와 유의적인 차이가 없었으나, 우분톱밥퇴비 30t 시용구에서는 화학비료 시용구 대비 8% 증가하였다.

다. 자원순환형 조사료 생산체계 설정을 위한 수행된 결과의 적용 및 스트레스하의 작물관리 지침 마련을 위한 기초 실험

(1) 자원순환형 조사료 생산체계 설정을 위한 수행된 연구결과의 적용 및 평가

3차년도 까지 수행된 총채벼-총채보리 작부를 포함한 답리작 및 전작에서 수행된 시험결과를 토대로 각 작부체계의 조단백질, TDN 수량, 단위면적당 가축수용력 및 분뇨 환원량을 평가한 결과를 표 20에 나타내었다.

[표 20] 답리작 및 전작의 각 작부조합별 영양소 수량, 가축수용력 및 분뇨환원량

작부조합	조단백질 수량	TDN 수량	가축수용력*	분뇨환원량
	kg/ha/년	kg/ha/년	두/ha	톤/ha/년
답리작				
총채벼-총채보리	945	7078	4.5	40.0 a**
총채벼-보리+헤어리베치	1563	9042	5.7	37.2 a
전작				
수단그라스-호맥	2428	17131	10.9	30.6 b
수단그라스-연맥	1961	14455	9.2	33.3 b
수단그라스-보리	2164	15584	9.9	30.6 b
수단그라스-IRG	2425	14955	9.5	37.7 b
수단그라스-유채	2779	14505	9.2	30.6 b
수단그라스-헤어리베치베치	3480	14776	9.4	34.4 b
수단그라스-동계혼파	2550	16194	10.3	33.3 b
옥수수-옥수수-호맥	3744	31652	20.1	50.6 b
옥수수-옥수수-헤어리베치	8757	29965	19.5	44.4 b

* 생체중 300kg 육성우 일당증체량 0.8kg 기준 = 일당 TDN 요구량 4.31kg 기준

** a=우분왕겨퇴비; b=우분톱밥퇴비

답리작 경종작물을 중심으로 한 총채벼-총채보리 작부체계로부터 얻어진 조단백질 및 TDN 수량은 검토한 다른 작부조합에 비해 낮은 편이었다. 연간 TDN 생산량과 한우 비육우 (생체중 300kg, 일당 증체량 0.8kg 기준)의 일일 TDN 요구량을 기준으로 가축수용력을 산출했을 때, 총채벼-총채보리 작부체계에서 생산된 조사료로서 ha 당 4.5두에게 공급될 수 있는 있는 수량으로 평가 되었다. ha 당 작물재배에 퇴비나 액비의 형태로 환원될 수 있는 축분비료의 함량은 연간 40t으로 평가되었다. 이러한 결과는 단위 면적 당 영양소 생산 수량이나 가축수용력이 낮아 이를 개선 할 방안을 검토할 필요성을 제시하고 있다. 답리작의 경우 다른 전작 작부체계보다 현저히 낮은 단위면적당 수량이 현저히 낮은 이유는 주작물의 선택이 제한되어 있기 때문이다. 답리작의 경우 하계작물을 총채벼로 제한할 경우 총채벼의 단백질 및 TDN 수량이 다른 다수성 하계작물에 비해 현저히 낮기 때문에 단위면적당 연간 수량을 증가시키는데 한계가 있다. 논을 조사료 생산포장으로 전용할 경우 수량지수가 높은 하계작물의 도입으로 수량을 대폭 증가 시킬 수 있을 것이다.

전작의 경우 다수성 하계작물의 도입 및 다양한 동계작물의 선택에 의해 전작 경종작물 위주의 작부체보다 조단백질, TDN, 단위 면적당 가축수용력이 대폭 증가하였다.

총체벼-총체보리 작부조합과 비교 할 때, 수단그라스 중심으로 한 모든 동계작물과의 조합에서 상대적으로 높은 조단백질 및 TDN 수량을 얻었다. 특히 단백질 수량은 현저히 증가된 수량을 얻었다. TDN 수량에 있어서도 3-21% 범위까지 증가된 것으로 평가되었다. 수단그라스-호맥 작부조합에서 수량 증가와 가축수용력의 증가가 가장 높아 지역의 작부조합으로 활용가능성이 높은 것으로 판단되었다. 수단그라스-호맥/이탈리안 라이그라스 혼파 작부 조합 역시 다른 작부조합에 비해 영양소 수량이 높은 것으로 나타났다.

특히 최근 지구온난화 동향에 따른 유효적산온도의 증가와 조생종 옥수수 품종의 도입 등을 고려하여 남부지역에서 옥수수 2기작 재배의 실시한 결과, 1차 수확에서 조단백질 1691 kg/ha, 2차 수확에서 1397 kg/ha를 얻어 총 3088 kg/ha 의 조단백질 생산이 가능하였고, TDN 수량은 1차 수확에서 13.0 톤/ha, 2차 수확에서 12.9 톤/ha를 얻어 총 25.9 톤/ha TDN 생산이 가능한 것으로 평가되었다. 옥수수 2차 수확 이후 동계작물의 파종에 여유가 적으나 내한성이 강한 호맥이나 단백질 수량이 높은 헤어리베치의 도입으로 연간 총 단백질 및 TDN 수량을 최대로 높일 수 있는 것으로 판단되었다. 옥수수 2기작 - 호맥 작부에서 연간 TDN 생산량은 31.6 톤/ha에 달해 총체벼-총체보리 작부와 비교 할 때 약 4.5배 높은 TDN 생산량이며, 단위면적당 가축수용력도 20.1두 까지 올릴 수 있으며 축분 환원량 역시 약 20% 높일 수 있을 것으로 평가되었다. 옥수수 2기작 재배를 위한 유효적산 온도의 경우 최근 5년간의 기상자료는 4월부터 7월 까지 유효적산온도는 평균 $1054^{\circ}\text{C}\pm 11$ 그리고 8월부터 10월까지는 $1018^{\circ}\text{C}\pm 14$ 로서 조생종의 상대숙기 110일 을 기준으로 요구되는 유효적산온도가 약간 부족한 것으로 평가되었으나 조생종 신품종의 도입과 ,적절한 비배 관리와 파종기 후 토양 수분 관리만 적절히 된다면 충분히 높은 수량을 확보할 수 있었다. 이러한 옥수수 2기작 재배 (옥수수-옥수수-동계작물)의 작부체계는 현 옥수수-동계작물의 작부체계와 비교할 때 적어도 50-60%의 연간 TDN 생산수량을 증가시킬 수 있을 것으로 예상되며, 역내에서 배출되는 축분의 수용량 또한 현저히 높일 수 있기에 자연순환농업모델에 적용할 수 있는 매우 중요한 조사료 생산작부체계가 될 것으로 판단하였다.

위의 결과와 더불어 조사료 생산 작부체계를 설정할 경우 경영형태, 다수성 및 품질을 고려한 품종 선택, 노동력의 분배 (특히 파종기와 수확기), 토지이용률, 시설 및 기계계의 용이성, 생산비용, 분뇨이용방안, 작부체계의 지속성을 종합적으로 고려하여야 할 것이다.

(2) 조사료 생산을 위한 스트레스하의 작물관리 지침 마련을 위한 기초 실험

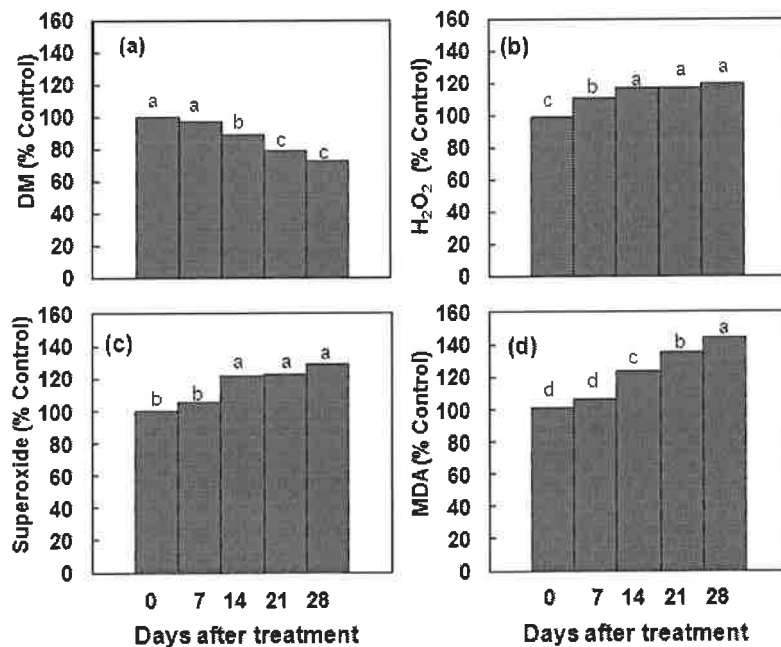
환경스트레스 조건에 대한 사료작물의 생리적 변화를 분석하여 스트레스의 정도를 파악하는 관리지침을 마련하고자 작물생육에 있어 대표적인 스트레스 요인 중의 하나인 가뭄스트레스에 대한 스트레스 지표 물질들의 변화를 분석하였다. C3 작물로서 잎의 연성 및 스트레스에 민감하여 스트레스 생리의 연구에 있어 모델 작물로 자주 사용되는 화이트 클로버를 공시작물로 사용하여, 일일 관수량을 1/10 으로 감소한 수분결핍스트레스 처리를 28일 동안 지속시켜 스트레스 표지물질의 변화를 정상적인 관수를 유지한 대조구와 비교분석하였다. 가뭄 스트레스 처리 후 28일 동안 잎의 수분포텐셜과 상재수분함량의 변화를 표 에 요약하였다. 잎의 수분포텐셜은 가뭄스트레스 처리 후 28일 차에 -2.33 MPa까지 감소하였으나, 대조구의 tnn분 포텐셜은 시험기간 28일 간에 유의적인 변화가 없었다. 상대수분함량 역시 가뭄스트레스구에서 28일

차에 63.8%로 초기 수준에 비해 30% 감소되었으나, 대조구의 상대수분함량의 변화는 없었다.

[표 21] 가뭄 스트레스 처리 후 수분 포텐셜과 상대수분 함량의 변화

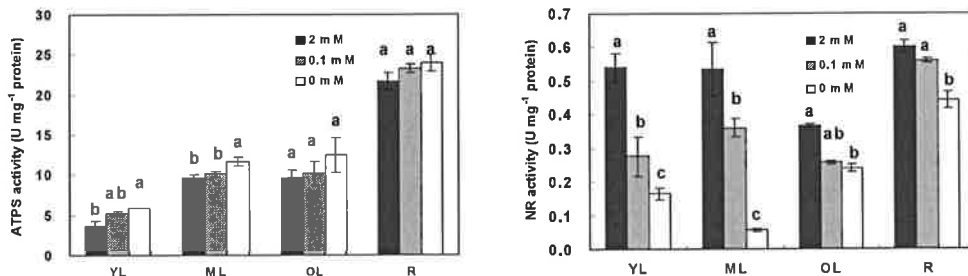
구 분	수분스트레스 처리 후 일차				
	0	7	14	21	28
수분포텐셜 (Ψ_w , MPa)					
대조구	-0.43 a	-0.49 a	-0.51 a	-0.46 a	-0.50 a
스트레스	-0.46 a	-1.44 b	-1.67 c	-2.27 d	-2.33 d
상대수분함량 (%)					
대조구	91.50 a	90.72 a	90.33 a	91.11 a	90.17 a
스트레스	91.11 a	76.84 b	73.43 c	64.62 d	63.79 d

가뭄 스트레스 처리가 스트레스 표지 물질에 미치는 영향을 살펴보고자, 가뭄스트레스구의 얻어진 분석치를 대조구에 대한 백분율로 나타내었다 (그림 9). 잎의 건물함량은 가뭄스트레스 처리 후 7일까지는 유의적인 변화가 없었으나, 이후 지속적으로 감소하여 처리 후 28차에는 대조구의 72.1% 수준으로 감소하였다. 가뭄스트레스에 의해 잎조직 내의 $O_2^{\cdot-}$ 함량은 처리 후 14까지 증가하였다가 이후 동일 수준을 유지 하였다. H_2O_2 함량 역시 처리 후 14일 차에 22% 증가 하였다. 세포의 지질과산화 정도를 나타내는 MDA 함량은 초기 7일차 까지는 유의적인 변화가 없었다가 이후 28일차 까지 지속적으로 증가하였다. 이상의 결과들은 작물 스트레스 진단을 위해 수분포텐셜의 측정은 매우 편리하면서 정확한 척도가 될 수 있으며, H_2O_2 , $O_2^{\cdot-}$ 는 스트레스 초기반응의 척도로서는 유용하나 스트레스 강도가 높을 때는 그 변화가 둔감하기 때문에, 스트레스진행의 전반적인 과정에서 지질과산화 정도를 나타내는 MDA 함량에 의한 진단이 유용할 것으로 판단되었다.



[그림 9] 가뭄스트레스가 잎조직의 건물 (a), H_2O_2 (b), $O_2^{\cdot-}$ (c) 및 지질과산화 (d)에 미치는 영향

황은 작물의 주요 대사과정에서 단백질, 지질의 구성물질, 항산화 기전 및 대사조절 인자로써 주요한 역할을 하는 작물에 있어 주요 영양요인이다. 단백질내 티올그룹은 과산화물질의 제거능력, 중금속 결합 기능을 가지고 있기 때문에 작물의 스트레스 저항성 향상에 중요한 역할을 한다. 그리고 황 원소를 포함 글루타치온 피토세라틴 등의 황 대사산물이나 황을 다량 함유하고 있는 단백질 작물의 스트레스 저항성이나 병충해에 대한 방어기전에 주요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 이러한 배경에서 조사료 생산체계를 설정을 위한 주요작물들의 재배 시험 전 기초실험의 성격으로 유체에 있어 황결핍이 황 및 질소 대사에 미치는 영향을 규명하기 위해 황 공급수준에 따른 유체의 질소와 황 동화에 관여 하는 주요 효소의 활력을 분석하였다.



[그림 10] 황 공급수준이 낮 (YL, 어린잎; ML, 중간잎; OL, 성숙된 잎) 및 뿌리 (R) 조직내의 ATP sulfurylase 및 Nitrate reductase 활력에 미치는 영향

황 동화의 최초 단계에서 관여 하는 ATP sulfurylase 의 활력은 어린잎과 성장 중인 중간 잎에서는 황 결핍의 조건에서 유의적으로 증가하였다. 황 공급을 하지 않은 조건에서 어린잎과 중간잎에서 각각 초기수준에 비해 65% 및 21% 증가하였다. 뿌리에서는 황 공급수준에 따른 ATP sulfurylase 활력의 변화가 없었다. Nitrate reductase 활력은 황 공급수준이 감소함에 따라 비울적으로 감소하는 결과를 나타내었다. 어린잎에서 황 결핍 또는 황 무공급에 따라 각각 48% 및 70% 감소하였으며, 성장 중인 중간 잎에서도 비슷한 수준으로 감소하였다. 성숙된 잎에서 Nitrate reductase 활력의 감소비율은 상대적으로 낮았다. 따라서 토양 중 황의 이동성이 질소 대사에 매우 밀접한 영향을 미치게 되며 어린 잎이나 성장 중인 잎이 더 민감하게 영향을 받음을 알 수 있었다. 이러한 결과들은 조사료 생산 작부에 도입된 작물들의 재배관리에 있어 비료 3요소 뿐 만 아니라 황의 적정공급 역시 중요한 비배관리의 요인이 되어야 함을 보여 준다.

제 4 절 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 평가의 착안점 및 기준

구분	연도	세부연구목표	가중치	평가의 착안점 및 기준
1차 년도	2005.11 - 2006.10	답리작 경종 작물의 조사료 생산성 평가를 위한 재배시험	40 %	총체사일리지 제조를 위한 적정 수확시기에 대한 규명이 잘 되었는가?
		총체사일리지 조제 및 총체보리 사일리지 위주 섬유질 배합사료 제조	60 %	총체사일리지의 조제는 잘 이루어졌는가? 총체 사일리지 및 섬유질 배합사료의 사료가치의 평가가 이루어졌는가?
2차 년도	2006.11 - 2007.10	답리작 경종작물-한우 연계모형 평가	70 %	총체보리-총체벼 작부의 조사료 생산성, 시험농가의 사육규모에서 영양소 요구량 에 입각한 영양소 수지가 잘 평가되었는가?
		지역특성에 맞는 단백질 조 사료원의 발굴 및 두과작물 이용을 단위면적당 단백질 수량 증가 방안 모색	30 %	-두과 작물중 간의 사료가치 특히 단백질 함량의 비교 평가가 잘 이루어 졌는가? -두과작물과의 혼파에 따른 단백질 수량의 증가효과가 잘 평가되었는가?
3차 년도	2007.11 - 2008.10	전작 조사료 작부체계 설정 을 위한 하계, 동계작물의 재 배시험	70 %	-작부조합 설정을 위한 하계 및 동계 작 물의 파종 및 수확시기는 적절한가? -하계 및 동계작물의 수량, 사료가치 및 단위면적 당 영양소 수량이 잘 평가되었 는가?
		다양한 생산기반으로부터 조 사료 생산방안 모색	30 %	조기 벼 재배 논을 이용한 동계작물의 조사료 생산성 및 동계작물-두과작물과 의 혼파가 수량 및 사료가치에 미치는 영향이 잘 평가되었는가?
4차 년도	2008.11 - 2009.10	단위면적당 최대 영양소 생 산을 위한 작부체계 확립	60 %	-관련재배 시험들의 가설이 단위면적당 영양소수량의 증가 방안으로 적절하게 설정 되었는가? -옥수수 2기작에 대한 수량 및 사료가치 의 평가가 잘 이루어 졌는가?
		자원순환농업을 위한 축분시 용에 따른 조사료 생산성 검 정	20 %	-자원순환형 퇴비의 비료 성분은 잘 평 가되었는가? 퇴비시용 수준에 따른 조사료 생산성이 잘 평가 되었는가?
		자원순환형 조사료 생산체계 를 위한 수행된 결과의 적용 및 평가	20 %	각 작부조합의 단위면적당 영양소 수량, 가축수용력, 분뇨환원량에 대한 비교 평 가가 이루어 졌는가?
5차 년도	2009	미참여		
최종 평가		자원순환농업시스템에 적합 한 조사료 생산 체계 설정	100 %	조사료 생산 작부체계를 설정하기 위한 관련 시험들의 결과들은 자원순환형 조 사료 체계의 설정에 적합하게 해석 되었 는가?

2. 연구개발목표의 달성도

목 표	연구개발 수행내용	달성도(%)
답리작 경종작물을 이용한 조사료 생산 및 이용 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> -총채보리, 총채벼의 조사료 생산성 및 사료가치 평가 -총채보리, 총채벼 사일리지 제조 및 사료가치 평가 -총채보리 사일리지를 위주로 한 섬유질 배합사료 제조 및 사료가치 평가 -벼 뒷거루 동계작물의 수량 및 사료가치 평가 -벼 뒷거루 동계작물-헤어리베치 혼파 시험 	100
답리작 경종작물-한우 연계모형 평가	<ul style="list-style-type: none"> -총채보리-총채벼 작부의 영양소 수량 평가 -시험농가의 사육규모에서 동물 영양소 요구량에 입각한 동물영양소 수지 평가 -총채보리-총채벼 위주 조사료 급여의 경영성 분석 	100
전작 조사료 생산 작부체계 설정	<ul style="list-style-type: none"> -수단그라스의 수확시기에 따른 조사료 생산성 및 사료가치 평가 -옥수수 만파 및 옥수수 춘계조기 재배 -전작 동계작물 (호맥, 연맥, 보리, 이탈리아라이그라스, 유채, 헤어리베치)의 수확시기에 따른 수량 및 사료가치 평가 	100
단위면적당 최대 영양소 생산 방안 모색	<ul style="list-style-type: none"> -두과 5종 15품종에 대한 단백질 및 사료가치 평가 -단백질 생산성 향상을 위한 보리/두과작물 혼파 시험 -동계작물과 이탈리아라이그라스 혼파시험 -옥수수 2기작 재배 	100
자원순환농업을 위한 축분사용에 따른 조사료 생산성 검토	<ul style="list-style-type: none"> -답리작 옥수수 및 이탈리아 라이그라스의 돈분 액비 사용에 따른 조사료 생산성 평가 -전작 옥수수 및 수단그라스의 자원순환 우분톱밥 사용에 따른 생산성 및 사료가치 평가 -전작 동계작물의 자원순환 우분톱밥 사용에 따른 생산성 및 사료가치 평가 	100
자원순환형 조사료 생산체계를 위한 수행된 결과의 적용 및 평가	<ul style="list-style-type: none"> -작부조합간 단위면적당 수량, 영양소 생산성, 가축수용력 및 분뇨환원량 비교평가 	100

3. 관련분야의 기술발전 기여도

기술 분야	기술 발전기여 및 활용 내용	생산성 향상 기여도(%)
<p>조사료생산 및 이용</p>	<p>-총체보리 및 총체벼 사일리지의 조제를 위한 적정 수확시기를 제시함으로써 단순수량에 고려한 수확보다는 단위면적당 영양소 수량을 높게 확보 할 수 있는 수확할 수 있는 재배관리 지침을 마련하여 한우 비육우 사육농가에게 홍보 활용 함.</p> <p>-총체보리-총체벼 위주 조사료 급여시 볏짚을 기본 조사료로 급여 했을 때와 비교했을 때 도체중, 지육율 증가, 및 최종도체 및 부산물을 포함한 수익액이 증가되었음을 분석하여 한우비육우 사육농가에 총체사일리지 이용을 널리 권장함.</p> <p>-답리작에서 총체벼를 하계작물로 고정하여 조사료 생산 작부를 설정할 경우 단위면적당 낮은 영양소 수량을 극복하기 위한 방안으로 두과작물의 재배, 두과작물과의 혼파를 통한 영양소 수량 증가 방안을 제시함.</p> <p>-자원순환형 우사에서 배출된 우분 톱밥퇴비의 시용에 따른 옥수수 및 동계작물의 조사료 생산성 및 사료가치를 평가한 결과를 근간으로 작부조합별 적정 분뇨 투입량을 추정함으로써 1) 배출된 분뇨의 역내 순환량을 통한 양축농가의 분뇨처리 부담을 경감시키고, 2) 유기조사료 생산의 가능성을 제시하고, 3) 물질순환에 순응한 친환경 축산의 모델을 제시함.</p> <p>-옥수수 2기작 재배에 따른 단위면적당 조단백질, TDN 수량의 현격한 증가를 규명하고, 옥수수 2기작을 조사료 생산작부에 도입 했을 때 옥수수 1기작에 이는 동계작물의 작부 또는 답리작 경종작물 위주의 작부체계 등 도입가능한 다른 작부조합에 비해 단위면적당 영양소를 현저히 증가 시킬 수 있음을 제시함.</p> <p>-답리작 및 전작 조사료 생산 작부체계 설정을 위한 재배 시험의 결과들을 토대로 설정한 각 작부체계의 영양소 생산성, 가축수용력, 및 분뇨환원량을 연간 단위면적당으로 비교 평가하여 반추동물 사양농가에서 자원순환형 조사료 생산에 활용토록 함.</p>	<p>-현재 널리 이용되고 있는 총체보리사일리지를 중심으로한 경종작물을 위주roman 조사료생산 및 이용기술을 통해 농후사료 절감, 볏짚 대체에 따른 육질개선 효과 및 수익성 개선을 꾀함.</p> <p>- 옥수수 2기작 단위면적 조사료생산성 최대화, 두과작물을 이용한 단백질 수량 향상에 따른 단위면적당 영양소 수량을 TDN 기준 최소 40% 이상 증가 시킴으로서 수입조사료 및 볏짚 이용율을 낮추어 양축농가에서는 생산비 절감에 의한 소득향상에 기여함.</p>

제 5 절 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 연구개발 성과

가. 학술지 게재 논문 실적

연번	논문제목	게재학술지명 (약자)	게재 연 도	권: 쪽수	SCI 구분	Impact Factor	제1저자	교신저자	공동 저자	외국인 공동저자
1	Sulfur Deficiency Effects on Sulfate Uptake and Assimilatory Enzyme Activities in Rape Plants	J Kor Grassl Forage Sci	2009.06	29(2): 95-102	KSCI	-	L S Li	T H Kim		B R Lee, Y L Jin
2	Sulfur Deficiency Effects on Nitrate Uptake and Assimilatory Enzyme Activities in Rape Plants	J Kor Grassl Forage Sci	2009.06	29(2): 103-110	KSCI	-	L S Li	T H Kim		B R Lee, Y L Jin
3	Waterdeficit-induced oxidative stress and the activation of antioxidant enzymes in white clover leaves	BiolPlantarum	2009.09	53(3):50 5-510	SCI	1,426	B R Lee	T H KIM	W J JUNG	L S Li, Y L JIN, J C AVCE, A OURRY

나. 학술대회 실적

연번	지자명	논문 제목	학술대회 명칭	학술대회개최기간 및장소	발표형태
1	Jin YL, Lee BR, Li M, WJ Jung, Kim TH	P and K effects on N partitioning during regrowth of Italian ryegrass	XXI International Grassland Congress	2008.06.29-07.05 Hohhot,China	포스터
2	Li LS, Jin YL, Lee BR, WJ Jung, Kim TH	SO42- uptake and its assimilation in the different genotypes of rape on the S-deficient	XXI International Grassland Congress	2008.06.29-07.05 Hohhot,China	포스터
3	Lee BR, Jin YL, Li M, WJ Jung, Kim TH	NO3- uptake and its partitioning in drought stressed perennial ryegrass (<i>Lolium perenne</i> L.)	XXI International Grassland Congress	2008.06.29-07.05 Hohhot,China	포스터

다. 교육실적

연번	교육일자	교육명	교재명	장소	참석대상 (인원:명)	주요내용	기대효과
1	2009.11.24- 2009.12.22	녹색한우 선도농가 전문교육	자체원고(ppt)	WPL 국가대표 나주 한우시설장, 제주도	교육생	남부지역 조사료 생산 작 부체계 등	조사료 생산기술 향상

라. 기술이전, 거래 실적

연번	기술실시계약명	기술실시 대상 업체 및 농가명	기술실시계약일	기술이전금액
1	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	강진군 축산업 농가 (이영)	2009-08-01	무상
2	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	곡성군 축산업 농가 (김재선)	2009-08-01	무상
3	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	나주시 축산업 농가(김준모, 방극성, 백태훈, 이철동)	2009-08-01	무상
4	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	담양군 축산업 농가 (강대열, 남팔원, 송인주)	2009-08-01	무상
5	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	무안군 축산업 농가(김달태, 박황배, 임현석, 최광수)	2009-08-01	무상
6	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	영암군축산업농가(김태성, 이남철, 이연순, 조형일, 조희식)	2009-08-01	무상
7	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	완도군 축산업 농가 (김종미, 박남월)	2009-08-01	무상
8	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	장성군 축산업 농가(고재수, 김용기, 임은숙, 채규수)	2009-08-01	무상
9	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	함평군 축산업 농가(김상길, 서해경, 이태영, 정정숙, 허정일)	2009-08-01	무상
10	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	화순군 축산업 농가 (김성철)	2009-08-01	무상

마. 인력양성

연번	인력양성연도 (졸업연도)	인력양성내용	성명	학위
1	2007	Physiological changes (metabolic pathway, stress-induced proteins and biochemicals) in white clover (<i>Trifolium repens</i> L.) under drought stress	이복례	박사
2	2010	Effects of S-availability on SO_4^{2-} and NO_3^- uptake and their assimilation in Rape (<i>Brassica napus</i> L.)	이류신	석사
3	2008	Sulfur use efficiency of <i>Brassica napus</i> cultivars	이명	석사

2. 성과활용 계획

가. 산업체 기술이전

- 옥수수 2기작 재배 중심의 조사료 생산작부 체계 기술이전 추진

나. 학술대회 학술발표 계획

- 옥수수 2기작에 의한 조사료 생산성 평가: 논문 투고 중
- 벧 뒷거루 동계작물의 조사료 생산성 및 사료가치 평가: 논문 투고

다. 영농활용 및 교육 계획

- 자원순환형 조사료 생산기술을 영농활용 및 학생교육에 활용

라. 인력양성 계획

- 자원순환형 조사료 생산기술 학부생 현장실습에 활용

제 6 절 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 일본은 북해도를 제외한 대부분의 도. 부. 현 (都府縣) 축산은 경지면적이 좁으며, 최근 사료작물 작부면적이 감소되고 있는 반면 수입건초의 이용량이 지속적으로 증가하고 있어 우리나라의 초식가축생산 방식이나 조사료 생산 기반이 유사하여 최근의 기술동향 많이 참조하고 있다. 일본은 남북으로 길기 때문에 온도, 토양, 강수량, 적설량, 태풍피해 정도가 다른 특성을 고려하여 지역별 환경에 적합한 초종과 선택의 필요성이 강조되며 이러한 여건에 기인하여 조사료생산을 위한 초종과 품종 선택을 위한 연구기반이 우리나라에 비해 매우 넓게 조성되어 있다. 유통되고 있는 초종은 50종이상, 품종은 500종 이상에 달한다. 최근 공식적인으로 육성보급된 품종은 옥수수 Yumesodachi의 8종, 수수류 Hazuki의 8종, 연맥 Haeibuki의 4종, 이탈리아안라이그라스 Nioodoochi의 7종 외 티모시, 오차드그라스, 알팔파 등 영년생 초종의 품종이 육성되었다. 특히 한지형 화본과 중 내습성이 뛰어나고 TDN 생산성이 높은 이탈리아 라이그라스의 경우 출수의 조만성 뿐 만 아니라 기온 상승 후의 재생력, 재배기간등을 고려하여 극단기 이용형, 단기 이용형, 극장기 이용형으로 나누어 육성되었다.
2. 일본의 경우 낮은 조사료 생산 비용, 생력성, 자원순환의 면에서 이점을 고려하여 방목에 의한 가축사양에 대한 기술개발의 의지가 높다. 일본초지시험장에서 초집약적 방목기술 “슈퍼방목” 기술을 개발하여 단위면적당 가축생산성의 비약적 향상을 이루었다. 그 이후 이 기술들을 바탕으로 “1.5시즌 방목기술” 더 나아가 중간산지에서 이미 조성된 부실초지나 경작 포기지를 재정비하여 유효하게 이용을 꾀하는 “소규모이동방목기술” 등 새로운 기술을 개발해오고 있으며 이를 이용한 21세기를 향한 일본형 방목 추진이 시도되고 있다.
3. 일본에서도 우리나라와 마찬가지로 수입건초의 이용량이 급격히 증가하고 있는 실정이며, 수입건초에 대한 사료가치 평가의 결과에 따른 거래가격의 설정이 필요성이 강조되고 있다. 수입건초가 개화기이후에 수확된 것이 많아 조단백질 및 당 함량이 낮으며 사료중의 섬유소 총량이 많으며 섬유소의 소화율과 소화속도 그리고 건물섭취량의 관점에서 보면 사료간에 차이가 많다. 소화율, 건물섭취량에 직접적인 영향을 주는 ADF, NDF 함량 및, 가소화영양소 총량의 평가 결과를 토대로 상대적 사료가치 (Relative Feed Value)를 평가하여 수입건초의 거래가격의 설정에 활용하고자 하는 노력이 경주되고 있다. 이러한 접근은 한국초지조사료학회에서도 우리나라에 수입되는 조사료에 대해서도 시도하려는 노력이 있었으나 아직까지 실용단계에 도입되지 않고 있어 이에 대한 적극적인 추진노력이 있어야 한다고 판단된다.
4. 비교적 조방적 가축사양체계에 입각하고 있는 유럽의 경우 초지농업의 테두리에서 접근하기 때문에 우리나라와 같은 조사료 생산을 위한 집약적인 작부체계의 활용은 드물게 이루어진다. 풀사료의 생산이 자원순환형농업의 실체가 되며 지속가능한 친환경축산의 기본이 된다는 점이 강조되고 있으며, 농가의 사육두수 및 우유생산량은 보유경지면적에 입각한 퀘터제에 의해 결정되고 있다.

제 7 절 참고문헌

- 김원호, 서 성, 신재순, 임영철, 김기용, 정민용, 김태환 (2006) 파종시기 및 파종량이 총체보리의 생육특성 및 수량에 미치는 영향. 한국초지조사료학회지 26(3): 155-158.
- 김종근, 정의수, 함준상, 서 성, 김맹중, 윤세형, 임영철 (2007) 생육시기 및 품종이 총체 벼의 수량 및 사료가치에 미치는 영향. 한국초지조사료학회지 27(1): 1-8.
- 김종근, 정의수, 서 성, 김맹중, 이종경, 윤세형, 임영철, 조용민 (2008) 수확시기 및 품종이 총체 벼 사일리지의 품질에 미치는 영향. 한국초지조사료학회지 28(1): 29-34.
- 김종덕, 권찬호, 구양희, 신명수 (2008) 경운방법이 사일리지용 옥수수의 사초생산성 및 토양특성에 미치는 영향. 한국초지조사료학회지 28(4): 307-314.
- 농림부 통계자료 (2006) 농림부.
- 박태일, 한옥규, 서재환, 최재성, 박기훈, 김정곤 (2008) 한국에서 개발된 총체사료용 보리 품종의 형태적 특성. 한국초지조사료학회지 28(3): 193-202.
- 성경일, 홍석만, 김병완 (2004) 수확시기가 사료용 벼의 초장, 건물량 및 사료성분에 미치는 영향. 한국초지조사료학회지 24(1): 53-60.
- 손범영, 문현귀, 정태욱, 김시주, 김종덕 (2006) 국내육성 사일리지 옥수수의 일반특성 및 사료가치의 품종간 차이. 한국작물학회지 51(3): 233-238.
- 이종경, 박형수, 김영근, 정종원, 나기준, 김문철, 이성철, 육완방 (2004) 고랭지에서 파종시기 및 수확시기가 사일리지용 옥수수의 생육특성, 건물수량 및 사료가치에 미치는 영향. 24(2) 115-122.
- 임근발, 양종성, 한홍전, 최영원 (1991) 조숙옥수수에 의한 사료작물 자부체계구성. I. 조숙옥수수 품종의 만파적응성. 한국초지조사료학회지 11(2): 137-142.
- 정민용, 조남철, 김종근, 임영철, 최기훈, 윤세형, 이기원, 육완방 (2009) 경운방법과 가축분요시용이 옥수수의 생산성 및 질소의 용탈에 미치는 영향. 한국초지조사료학회지 29(3): 211-216.
- 주정일, 성열규, 김충국, 이희봉 (2010) 중부지역에서 청보리 뒷그루로 만파한 사일리지 옥수수 품종의 생육 및 수량. 한국초지조사료학회지 30(3): 1-8.
- 지희정, 주정일, 이희봉 (2007) 유기물함량이 총체보리 품종의 수량과 사료가치에 미치는 영향. 한국초지조사료학회지 27(4): 263-268.
- 한인규, 김동암, 조무환, 한건준 (1995) 최대사일리지 생산을 위한 옥수수 및 추파작물의 작부 조합. 한국축산학회지 37(6): 669-676.

**제 3 장 자원순환형시스템에서 번식우 및 비육우
사육 모델 개발 [3-3]**

제 3 장 자원순환형시스템에서 번식우 및 비육우 사육 모델 개발 [3-3]

요 약 문

I. 제 목 : 자원순환농업시스템에서 번식우 및 비육우 사육 모델 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

가. 연구개발의 목적

○남부지역에서 경종과 축산이 연계된 자원순환농업시스템에 적합한 번식우 및 비육우 사육시설을 개발 적용하여 모델을 설정하고, 자원순환농업시스템에서 생산된 조사료에 대한 번식우에 대한 번식성적과 비육우에 대한 사양성적, 도체성적 및 육질특성을 평가하고자 함.

나. 연구개발의 필요성

○한우사육에 있어 번식우 사육농가의 대부분이 조사료를 생산할 수 있는 사료작물포 확보가 미비하여 한우농가에서 발생된 분뇨를 토지에 환원할 수 없을 뿐만 아니라 양질의 조사료 생산이 어려워 볏짚과 농후사료 위주로 사육되고 있어 번식우 생산성이 저하되고 있음

○최근에 농업의 국제화로 인하여 농업선진국으로부터 농축산물의 수입개방 압력을 받고 있으며, 국내 축산업의 국제적 경쟁력을 갖추기 위해서는 축산의 규모화를 통한 생산성 향상과 고품질의 축산물 생산기반을 통한 고부가가치화를 동시에 추구하지 않으면 안될 상황이며, 이러한 대내외적인 농업여건의 변화에 능동적으로 대처하고, 국내 축산업을 발전시키기 위한 대안으로 물질순환 체제의 자원순환형 한우사육시설의 개발이 필요함.

III. 연구개발 내용 및 범위

가. 연구개발 내용 및 범위

1) 3차년도

○자원순환시스템에 적합한 남부지역 번식우 사육시설 탐색 및 모델 개발

- 전라남도 관행축산 농가 사육실태 조사
- 자원순환형 번식우의 사육시설 모델 개발

○자원순환시스템에서 생산된 조사료(총체보리)에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가

- 총체보리사일리지에 대한 사료가치 평가
- 번식우의 번식성적 조사

2) 4차년도

○남부지역 자원순환형 조사료(수단그라스)에 대한 번식우의 번식성적 평가

- 수단그라스 사일리지 사료가치 평가
- 번식우의 번식성적 조사

○남부지역 자원순환형 조사료(총체보리)에 대한 육성단계 비육우의 사양성적 평가

- 총체보리사일리지의 사료가치 평가
- 육성단계의 비육우 육성성적 조사

3) 5차년도

- 남부지역 자원순환형 조사료에 대한 번식우의 번식성적 능력 평가
- 이탈리아라이그라스에 대한 사료가치 평가
- 번식우의 번식성적 조사
- 남부지역 자원순환형 조사료에 대한 비육우의 사양성적 및 도체성적 평가
- 비육우 사양성적 및 도체성적 조사

IV. 연구개발결과

가. 3차년도 - 자원순환농업시스템에서 번식우 사육 모델 개발

1) 전남지역 관행농가에 대한 친환경농업 전환 의향 탐색

- 관행축산농가중 89.2%(전남지역)가 자원순환형 친환경축산으로 전환의향이 있음

2) 자원순환시스템에 적합한 남부지역 번식우 사육시설 모델 개발 및 설계

- 한우 번식우 사육에 적합한 자원순환형 번식우사로 계획하였다.
- 번식우방은 $4.5\text{m} \times 9.0\text{m} = 40.5\text{m}^2$ 로 평균 3-4두를 사육하도록 하였다.
- 송아지방은 $4.5\text{m} \times 2.5\text{m} = 11.25\text{m}^2$ 로 설계하였다.
- 평면의 구성 : 송아지 전용방, 임신경산우, 중앙통로, 육성후보우, 유도시설로 구성하였다.
- 단위모듈의 배치 : 2열 배치하였다.
- 통로의 배치 : 중앙에 1열 6.0m 배치(사조폭 2열 \times 80cm +작업차랑폭4.4m)
- 건물폭의 결정 : 26.5m (우사 2열 배치 18.0m+작업통로 6.0m+송아지방 2.5m = 26.5m)
- 기둥간격 : 4.5m(횡방향)
- 건물의 기본모듈결정 : (폭) 26.5m \times (기둥1칸) 4.5m
 $\therefore 26.5\text{m} \times 4.5\text{m}$ 를 기본단위로 한다.
- 건물 규모 : 26.5m \times 54.0m(12칸) = 1,431 m^2
- 사육규모 : 최소 100두 최대 135두
- 처마 높이 : 5.0m
- 최고 높이 : 지붕경사높이(4.167m)+처마높이(5.0m) = 9.167m
- 지붕경사도 : 원활한 용마루 배기 고려한 4/12경사도를 채택하였다.
- 지붕은 칼라폴 단열강판과 투광재(PCR)를 병용하였다.
- 환기는 용마루의 개구부 환기와 송풍기와 지붕개폐장치를 설계하였다.
- 개체관리 및 체중측정을 위해 유도시설내에 우형기와 출하대 설치하였다.
- 자원순환형 한우 번식우사 부대시설 계획하였다.
- 자원순환형 한우 사육에 적합한 운동장과 방목장을 설치하였다.
- 자원순환형 퇴비생산에 적합한 발효퇴비사를 설치하였다.

3) 자원순환시스템에서 생산된 조사료(총체보리사일리지)에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가 본 연구는 총체보리 사일리지 급여가 한우 미경산우 및 경산우의 번식성적에 미치는 영향을

구명하기 위하여 2008년 1월부터 동년 12월까지 전남대학교 자연순환형 한우 번식우사에서 번식성적을 조사하기 위하여 미경산우는 대조구 6두, 처리구 5두 합계 11두를 공시하였고, 경산우는 대조구 및 처리구 공히 13두씩 합계 26두를 공시하였다. 그리고 조사료는 대조구의 경우 볏짚을 1일 두당 7kg, 처리구의 경우 총체보리 사일리지 8kg을 제한급여하였고, 배합사료는 대조구의 경우 1일 두당 4kg, 처리구의 경우 1kg을 1일 2회로 나누어 급여하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- ① 미경산우의 첫 수정 시 수태율은 대조구가 66.7%(4/6), 처리구가 60.0%(3/5)였고, 미경산우의 수태당 수정횟수는 대조구가 1.5 ± 0.2 회, 처리구가 1.4 ± 0.2 회였다.
- ② 분만 후 첫 수정까지의 일수는 대조구가 106.6 ± 26.3 일, 처리구가 85.6 ± 12.6 일이었고, 분만 후 수태까지의 일수는 대조구가 128.4 ± 27.1 일, 처리구가 96.8 ± 16.8 일이었다.
- ③ 분만 후 첫 수정 시 수태율은 대조구가 76.9%(10/13), 처리구가 84.6%(11/13)였고, 분만간격은 대조구가 418.1 ± 50.7 일, 처리구가 392.8 ± 20.7 일이었다.

나. 4차년도 - 자원순환농업시스템에서 번식우 및 비육우 사육 모델 개발

1) 자원순환시스템에서 생산된 수단그라스사일리지에 대한 번식성과 이용실태 평가

수단그라스사일리지 급여가 한우 경산우의 번식성적에 미치는 영향을 구명하기 위하여 2008년 11월부터 2009년 10월까지 1년간 전남대학교 한우대표실습장의 한우 번식우사에서 번식성적을 조사하기 위하여 번식우를 대조구 9두 및 처리구 10두 총 19두를 공시 하였다. 그리고 번식우 1두당 1일 대조구는 두당 농후사료 3kg과 볏짚 5kg을 처리구는 농후사료 1kg과 수단그라스사일리지 12.5kg을 급여하며 번식 상황 및 신체총실지수 변화를 조사하였으며, 시험결과는 다음과 같다.

- ① 분만 후 첫 수정까지의 일수는 대조구가 78.8 ± 25.3 일, 처리구가 84.7 ± 24.6 일이었고, 분만 후 수태까지의 일수는 대조구가 90.1 ± 24.1 일, 처리구가 87.7 ± 26.8 일 이었다.
- ② 분만 후 첫 수정 시 수태율은 대조구가 66.7%, 처리구가 90.0%였고, 분만간격은 대조구가 375.1 ± 46.7 일, 처리구가 370.2 ± 34.4 일로 조사되었다.
- ③ 인공수정시 처리구별 번식우의 신체총실지수는 대조구가 5.36이고, 처리구는 4.93이었다.

2) 남부지역 자원순환형 조사료에 대한 육성단계 비육우의 사양성적 평가

본 연구는 자원순환형으로 생산된 총체보리사일리지 급여가 육성우의 육성기시에 등지방 두께, 근내지방도 및 등심단면적에 미치는 효과를 조사하고자, 2008년 11월부터 2009년 8월까지 전남대학교 자연순환형 한우 비육우사에서 관행구는 10.4월령 6두, 처리구는 9.7월령 7두로 총 거세육성 한우 13두를 공시하여, 육성우 1두당 1일 대조구는 농후사료 8kg과 볏짚 4.2kg을 처리구는 농후사료 6kg과 총체보리사일리지 9.8kg을 급여하고, 실험 기간동안 초음파육질 진단기를 이용하여 육성우의 등지방 두께, 근내지방도, 등심단면적의 변화를 조사하여, 관행사육구는 20.5개월령, 자원순환형사육구는 19.7개월령의 초음파 측정 시험결과는 다음과 같다.

- ① 비육단계 육성우의 등지방 두께는 관행사육구 3.4mm, 자원순환사육구 3.0mm이었다.
- ② 비육단계 육성우의 근내지방도는 관행사육구 2.8, 자원순환사육구 1.8이었다.
- ③ 비육단계 육성우의 등심단면적은 관행사육구 52cm^2 , 자원순환사육구 51cm^2 이었다.

다. 5차년도 - 자원순환농업시스템에서 번식우 및 비육우 사육 모델 개발

1) 자원순환시스템에서 생산된 이탈리아라이그라스사일리지에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가
이탈리아라이그라스사일리지 급여가 한우 경산우의 번식성적에 미치는 영향을 구명하기 위하여 2009년 11월부터 2010년 8월까지 전남대학교 한우대표실습장의 한우 번식우사에서 번식성적을 조사하기 위하여 번식우를 대조구 15두 및 처리구 16두 총 31두를 공시 하였다. 그리고 번식우 1두당 1일 대조구는 두당 농후사료 3kg과 볏짚 5kg을 처리구는 농후사료 1kg과 이탈리아라이그라스사일리지 10.0kg을 급여하며 번식 상황 및 신체충실지수 변화를 조사하였으며, 시험결과는 다음과 같다.

- ① 분만 후 첫 수정까지의 일수는 대조구가 70.2 ± 12.84 일, 처리구가 62.3 ± 8.55 일이었고, 분만 후 수태까지의 일수는 대조구가 75.8 ± 8.99 일, 처리구가 63.6 ± 7.23 일 이었다.
- ② 분만 후 첫 수정 시 수태율은 대조구가 73.3%, 처리구가 93.7%였고, 분만간격은 대조구가 361.2 ± 9.92 일, 처리구가 348.4 ± 7.26 일로 조사되었다.
- ③ 인공수정시 처리구별 번식우의 신체충실지수는 대조구가 5.13 ± 0.29 이고, 처리구는 4.90 ± 0.20 이었다.

2) 자원순환시스템에서 생산된 총체보리사일리지에 대한 비육우에 대한 비육단계 평가

본 연구는 자원순환형으로 생산된 총체보리사일리지 급여에 대한 거세한우 성장, 도체성적 및 육질에 미치는 효과를 조사하고자 실시하였다. 12개월된 거세 한우(평균체중 285kg) 12두를 공시하여, 대조구는 관행사육 방식(농후사료 + 일반 볏짚급여)으로 사육하였으며, 총체보리사일리지 급여구는 자원순환형으로 생산된 총체보리사일리지 위주로 사육하였다.

시험기간 동안의 종료체중 및 총증체량은 처리간에 차이는 없었지만 비육단계별 일당증체량에서 비육전기에는 총체보리사일리지 급여구에서 유의적으로 증가하였으며, 비육중기에는 대조구에서 유의적으로 증가하였으며, 비육후기에는 총체보리사일리지 급여구에서 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

총체보리사일리지 급여에 의해 도체성적의 육량등급은 배최장근단면적의 15.6% 증가와 등지방두께의 51.7% 감소로 유의적으로 증가하였다. 총체보리사일리지 급여에 육질의 근내지방도가 52.9% 개선되어($p < 0.05$) 1등급 출현율이 83.5%의 유의적인 차이를 나타내었다. 부분육은 처리간에 차이가 없었다.

총체보리사일리지 급여에 의해 배최장근내에 육의 이화적성분의 변화는 수분, 조단백질, 조회분 및 콜레스테롤 함량은 처리구간에 차이가 없었지만 조지방함량이 유의적으로 증가하였다. 총체보리사일리지 급여에 의한 물리적 특성은 pH, 가열감량 및 연도는 약간 감소하는 경향을 나타내었으며 육색은 약간 개선되는 경향이였다.

총체보리사일리지 급여에 의해 불포화 지방산 비율이 약간 증가하였으나 유의적인 차이는 없었다.

총체보리사일리지 급여에 의한 관능평가에서 냄새와 맛은 약간 개선되는 경향이였으며, 외관의 개선 효과는 유의적인 차이를 나타내었다.

이러한 결과는 비육기간동안 총체보리사일리지 급여로 인해 비육전기 일당증체량의 증가와 등심단면적의 증가, 등지방 두께의 감소 등의 육량 및 육질 그리고 육색 등이 개선하는 효과가 있음을 알 수 있었다.

V. 연구개발 성과 및 성과 활용 계획

1. 연구성과

논문게재		학술 발표	특허 (출원 /등록)	영농 활용	시책 건의	기술 이전	유전 자원 등록	교육 지도	산업화	국제 협력	홍보	인력 양성	성과물 제작
국내	SCI(E)												
2		1				10 (3 핵심광환)		13			1		9

2. 성과활용 계획

가. 산업체 기술이전

- 자원순환형 한우 번식우 사육모델 및 비육우 생산 기술이전 기술이전 추진

나. 학술대회 학술발표 계획

- 자원순환시스템에서 생산된 수단그라스사일리지에 대한 번식성적과 이용 논문 투고
- 자원순환시스템에서 생산된 이탈리아라이그라스사일리지에 대한 번식우 번식성적과 이용 논문 투고
- 자원순환시스템에서 생산된 총체보리사일리지에 대한 비육우에 대한 비육단계 논문 투고

다. 실무책자 발간 계획

- 자원순환형 한우 목장 관리기술 매뉴얼 (전남대학교 친환경농업연구사업단 2010년)
- 친환경연구사업단 한우농가 기술 지원 컨설팅 보고서(전남대학교출판부 2010년)
- 전라남도 친환경축산 교육 한우반 실무교육교재 작성에 활용
- 지역한우 농가 교육시 실무교육 교재 발간에 활용

라. 영농활용 및 교육 계획

- 자원순환형 한우 목장 시스템을 영농활용 및 학생교육에 활용

마. 인력양성 계획

- 자원순환형 한우 사육 현장실습 학사 양성

VI. SUMMARY

Title : Analysis of compost-based nutrient-cycling structure in natural-cycling agriculture system

Chapter 1. Overview of the projet

Subject 1. Model development of cows and steers farming(Hanwoo) in the nature-circulating agriculture systems.

1. Objectives of research

Model development of cows and steers farming(Hanwoo) Setting and Evaluation in the

nature-circulating agriculture systems in Southern Region

2. Necessity of the research

Through the development of nature-circulating farming linked to crop and livestock industries, To strengthen the international competitiveness of Hanwoo and Increased productivity and Manure use

3. Contents and Scope of the Research

The 3rd project : Model development of cow cattles farming(Hanwoo) in the nature-circulating agriculture systems.

The 4-5th project: Model development of cows and steers farming(Hanwoo) in the nature-circulating agriculture systems.

Chapter 2. Development situation of the domestic and foreign technology

Subject 1. Model development of cows and steers farming(Hanwoo) in the nature-circulating agriculture systems.

1. Development situation of the domestic technology

Since the 1990s, Korea began to sustainable agriculture. Since 2002, showing progress and performance, More research is required, For practical use

2. Development situation of the foreign technology

U.S. soil erosion for sustainable agricultural development has been focused on solving the problem. For 10 years it has invested 17.2 billion U.S. dollars.

The European Union in the 1980s by presenting guidelines for Sustainable Agriculture has continued to expand.

Japan to construct the institutional foundation gives better benefits to farmers Recycling of agricultural

Chapter 3. Research contents and results

Subject 1. Model development of cows and steers farming(Hanwoo) in the nature-circulating agriculture systems.

1. The 3rd project : Model development of cow cattles farming(Hanwoo) in the nature-circulating agriculture systems.

A. Chonnam for local sustainable agriculture practices Exploratory Research

○ Chonnam for local sustainable agriculture practices Exploratory Research on investigation 89.2%, have hope for change.

B. Model development of cow cattles farming(Hanwoo) in the nature-circulating agriculture systems. a Hanwoo-breeding farm facilities and design lay out

- The scale of Hanwoo 100
- Hanwoo calves Room Setup
- Install rangelands
- eaves height : 5.0m

- maximum height : 9.167m
- Central aisle 6m

C. Effects of Feeding of Whole-Crop Barley Silage on the Reproductive Characteristics of Hanwoo Heifers and Cows

This study was carried out between January and December 2008 in the experimental farm of Chunnam National University to investigate the effect of feeding of whole crop barley silage on the reproductive performance of Hanwoo heifers and cows. Two diets, rice straw or whole crop barley silage separately from concentrate were fed 11 Hanwoo heifers and 26 Hanwoo cows. In control group (=CON), heifers (n=6) and cows (n=13) were fed 7kg (/head) rice straw and 4kg (/head) commercial diet. In whole crop barley silage group (=WBC), heifers (n=5) and cows (n=13) were fed 8kg (/head) whole crop barley silage and 1kg (/head) commercial diet.

- a. Conception rates for first service in CON or WBG heifers were 66.7 % (4/6) and 60.0 % (3/5), respectively, and the services per conception cows was 1.5±0.2 for CON and 1.4±0.2 for WBC group.
- b. Days to post-partum insemination was 106.6±26.3 days for CON and 85.6±12.6 days for WBG group, and days to post-partum conception in CON or WBC were 128.4±27.1 and 96.8±16.8 days, respectively.
- c. Post-partum conception rates for first service in CON or WBC were 76.9 % (10/13) and 84.6 % (11/13), respectively, and Caving interval was 418.1±50.7 days for CON and 392.8±20.7 days for WBC group.

2. The 4th project: Model development of cows and steers farming(Hanwoo) in the nature-circulating agriculture systems.

A. Effects of Feeding of Sudangrass Silage on the Reproductive Characteristics of Hanwoo Cows

This study was carried out between November 2008 and October 2009 in the experimental farm of Chunnam National University to investigate the effect of feeding of Sudangrass silage on the reproductive performance of Hanwoo cows. Two diets, rice straw or Sudangrass silage separately from concentrate were fed 19 Hanwoo cows. In control group (=CON), cows (n=9) were fed 5kg (/head) rice straw and 3kg (/head) commercial diet. In Sudangrass silage group (=SGS), cows (n=10) were fed 12.5kg (/head) Sudangrass silage and 1kg (/head) commercial diet.

- a. Days to post-partum insemination were 78.8±25.3 days for CON and 84.7±24.6 days for SGS group and days to post-partum conception in CON or SGS were 90.1±24.1 and 87.7±26.8 days, respectively.
- b. Post-partum conception rates for first service in CON or SGS was 66.7% and 90.0%, respectively, and caving interval was 375.1±46.7 days for CON and 370.2±34.4 days for SGS group.
- c. Body condition scores(BCS) of Hanwoo cows at artificial insemination was 5.36 for

CON group and 4.93 for SGS group.

B. Effects of Whole crop Barley Silage(WBS) Supplementation on Growth

This study was carried out to investigate the effect of feeding whole crop barley silage(WBS) on the growth performance and carcass grade and beef quality of Hanwoo steers. Two diets, rice straw or whole crop barley silage separately from concentrate were fed 13 Hanwoo beef cattle cows. In control group (=CON), beef cattle cows (n=6) were fed 4.2kg (/head) rice straw and 8kg (/head) commercial diet. In whole crop barley silage group (=WBC), beef cattle cows (n=7) were fed 9.8kg (/head) whole crop barley silage and 6kg (/head) commercial diet.

- a. Backfat thickness of Hanwoo cows at artificial insemination was 4.3mm for CON group and 3.0mm for SGS group.
- b. Marbling Score of Hanwoo cows at artificial insemination was 2.8 for CON group and 1.8 for SGS group.
- c. the longissimus dorsi area of Hanwoo cows at artificial insemination was 52cm² for CON group and 51cm² for SGS group.

3. The 5th project: Model development of cows and steers farming(Hanwoo) in the nature-circulating agriculture systems.

A. Effects of Feeding of Italian ryegrass Silage on the Reproductive Characteristics of Hanwoo Cows

This study was carried out between November 2009 and August 2010 in the experimental farm of Chunnam National University to investigate the effect of feeding of Italian ryegrass silage on the reproductive performance of Hanwoo cows. Two diets, rice straw or Italian ryegrass silage separately from concentrate were fed 31 Hanwoo cows. In control group (=CON), cows (n=15) were fed 5kg (/head) rice straw and 3kg (/head) commercial diet. In Italian ryegrass silage group (=IRGS), cows (n=16) were fed 10.0kg (/head) Italian ryegrass silage and 1kg (/head) commercial diet.

- a. Days to post-partum insemination were 70.2±12.84 days for CON and 62.3±8.55 days for IRGS group and days to post-partum conception in CON or IRGS were 75.8±8.99 and 63.6±7.23 days, respectively.
- b. Post-partum conception rates for first service in CON or IRGS was 73.3% and 93.7%, respectively, and caving interval was 361.2±9.92 days for CON and 348.4±7.26 days for IRGS group.
- c. Body condition scores(BCS) of Hanwoo cows at artificial insemination was 5.13±0.29 for CON group and 4.90±0.20 for IRGS group.

B. Effects of Whole crop Barley Silage(WBS) Supplementation on Growth Performance and Meat Quality of Hanwoo steers

This study was carried out to investigate the effect of feeding whole crop barley

silage(WBS) on the growth performance and carcass grade and beef quality of Hanwoo steers. Twelve steers of 12-month-old(average weight 285kg) were allocated and divided into two treatment groups, one supplied with rice straw only and the other with WBS. Free access to water was given to both treatment groups. There were no differences in the final body weight and the body weight gain during the test period. Results of the daily weight gain during the fattening phases are as follows. There was a significant increase during finisher I in the WBS, there was a significant increase during finisher II in the control group, and there was a slight increase during finisher III in the WBS. The yield grade of the WBS groups increased significantly with 15.6% increase in the longissimus dorsi area and 51.7% reduction in back fat thickness. Owing to the 52.9% ($p < 0.05$) improvement in the marbling score of the WBS group, there was a significant difference of 83.5% in the rate of appearance of 1st grade meat. There was no difference in meat yields (%) between treatments owing to WBS supplementation. In the proximate chemical composition of the dry matter, crude protein, and crude ash there was no significant difference between treatments, however, WBS groups were significantly higher for the crude fat. The results regarding physical characteristics of longissimus muscle in WBS groups are as follows. Shear force, pH, and cooking loss showed a slight decrease, meat color showed a slight tendency to improved. USFA ratio increased slightly in the WBS groups, but the difference was not significant. The results regarding palatability traits in WBS groups showed slight tendency of improvement in odor and taste, and a significant difference in the improvement of appearance. Through these results it can be known that feeding WBS for the duration of finisher I was effective in increasing daily weight gain and longissimus muscle, reducing the backfat thickness, improving meat color, meat quality and quantity.

목 차

제 1 절 연구개발과제의 개요	1
1. 연구개발의 목적	1
2. 연구개발의 필요성	1
3. 연구개발 내용 및 범위	2
제 2 절 국내외 기술개발 현황	3
1. 국내기술개발 현황	3
2. 국외기술개발 현황	3
제 3 절 연구개발 수행내용 및 결과	4
1. 3차년도 결과	4
(1) 전남지역 관행농가에 대한 친환경농업 전환 의향 탐색	4
(2) 자원순환시스템에 적합한 남부지역 번식우 사육시설 모델	5
(3) 자원순환시스템에서 생산된 조사료(총체보리사일리지)에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가	29
2. 4차년도 결과	34
(1) 자원순환형에서 생산된 수단그라스사일리지의 사료가치 평가	34
(2) 자원순환시스템에서 생산된 수단그라스사일리지에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가	34
(3) 자원순환시스템에서 생산된 총체보리사일리지에 대한 비육우에 대한 육성단계 평가	34
3. 5차년도 결과	41
(1) 자원순환형에서 생산된 이탈리아라이그라스 사일리지의 사료가치 평가	39
(2) 자원순환시스템에서 생산된 이탈리아라이그라스사일리지에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가	41
(3) 자원순환시스템에서 생산된 총체보리사일리지에 대한 비육우에 대한 비육단계 평가	46
제 4 절 목표달성도 및 관련분야의 기여도	57
1. 평가의 착안점 및 기준	53
2. 연구개발목표의 달성도	58
3. 관련분야의 기술발전 기여도	29
제 5 절 연구개발 성과 및 성과활용 계획	60
제 6 절 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	63
제 7 절 참고문헌	64

제 1 절 연구개발과제의 개요

1. 연구개발의 목적

- 가. 자원순환농업이란 토지와 식물 그리고 가축이 조화를 이루며 환경친화적인 농업으로 경종과 축산이 연계하는 농업으로, 자원생태계의 영속적인 물질순환 기능을 활용하여 작물과 가축이 건강하게 자라게 하고 농축산물의 안정성과 품질을 높이고자 하는 농업으로서 환경적으로 건전하고, 경제적으로 수익이 보장되며 국민의 건강과 안전성을 증진시킬 수 있는 농업을 말한다.
- 나. 자원순환농업은 특정자재의 사용 또는 특정농법에 한정되지 않고 자원계 물질순환의 균형을 추구하는 모든 농업을 포함하는 것으로 가축분뇨(퇴·액비) 등의 유기질 자원을 토양에 환원시켜 토양을 건전하게 유지·보전하면서 농업생산성을 확보코자하는 농업이다.
- 다. 자원순환농업의 장점은 1) 농업 경영적 측면에서는 사료의 자급을 통해 경쟁력 있는 경종-축산 시스템 영위가 가능하며, 2) 사료의 반입과 분뇨의 반출을 억제함으로써 환경적 측면에서는 지표수 및 지하수 오염을 억제할 수 있으며, 3) 생산되는 축산물의 안정성이 높고 생산 제품의 이력 추적이 가능하여 소비자의 만족도를 높일 수 있으며, 4) 국제적인 유기농업 동향에 적극적으로 대응할 수 있다는 것이다.
- 라. 자원순환형 축산은 가축생리에 알맞은 환경에서 가축을 사육하고 여기에서 발생된 분뇨를 자원화하여 토양에 적정수준으로 환원시켜 양질의 사료를 생산 공급하는 순환체제에서 안전하고 깨끗한 축산물을 생산하는 환경친화적인 축산으로 한국형 유기축산이라 할 수 있다.
- 마. 따라서, 본 연구에서는 남부지역에서 경종과 축산이 연계된 자원순환농업시스템에 적합한 번식우 및 비육우 사육시설을 개발 적용하여 모델을 설정하고, 자원순환농업시스템에서 생산된 조사료에 대한 번식우에 대한 번식성적과 비육우에 대한 사양성적, 도체성적 및 육질특성을 평가하고자 한다.

2. 연구개발의 필요성

- 가. 국내 축산업 생산액은 2009년 기준 16.5조원(쌀 생산액(8.6조원)으로 전체 농림업 생산액(42.9조원)의 38.3%를 차지하고 있으며 농업에서 중요한 산업으로 부각하고 있으나 가축분뇨의 부적절한 처리로 인한 토양과 수질 오염, 그리고 악취 등으로 환경오염산업으로 인식되어 비판의 대상이 되고 있다.
- 나. 세계적인 추세가 농업생산과 환경보전을 조화시키는 방향으로 전환해가는 추세이며 우리 농림업에 있어서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 축산업을 지속가능한 산업으로 성장시키기 위해서는 자원환경과 조화되고 소비자로부터 신뢰받을 수 있는 자원순환형 축산경영이 불가피하다.
- 다. 최근에 농업의 국제화로 인하여 농업선진국으로부터 농축산물의 수입개방 압력을 받고 있으며, 국내 축산업의 국제적 경쟁력을 갖추기 위해서는 축산의 규모화를 통한 생산성 향상과 고품질의 축산물 생산기반을 통한 고부가가치화를 동시에 추구하지 않으면 안될 상황이다. 이러한 대내외적인 농업여건의 변화에 능동적으로 대처하고, 국내 축산업을 발전시키기 위한 대안으로 물질순환 체제의 자원순환형 한우사육시설 모델 개발이 필요하다.

라. 특히 한우사육에 있어 번식우 사육농가의 대부분이 조사료를 생산할 수 있는 사료작물포 확보가 미비하여 한우농가에서 발생된 분뇨를 토지에 환원할 수 없을 뿐만 아니라 양질의 조사료 생산이 어려워 벼짚과 농후사료 위주로 사육되고 있어 번식능력이 저하되고 있다.

마. 따라서, 본 연구에서는 남부지역에서 경종과 축산이 연계된 자원순환농업시스템에 적합한 번식우 사육시설을 개발 적용하여 모델을 설정하고, 자원순환농업시스템에서 생산된 조사료에 대한 번식우에 대한 번식성적과 비육우에 대한 사양성적, 도체성적 및 육질특성을 평가하고자 한다.

3. 연구개발 내용 및 범위

가. 연구개발의 최종목표

남부지역 자원순환시스템에서 생산된 조사료를 번식우 및 비육우에 적용 평가하여 자원순환농업 정착에 기여한다.

나. 연차별 연구개발 목표 및 내용

구 분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용	연구 범위
1차년도	2005	미참여		
2차년도	2006	미참여		
3차년도	2007	○남부지역 자원순환시스템에 적합한 한우 번식우 사육시설 탐색 및 설계 ○자원순환시스템에서 생산된 조사료에 대한 한우 번식우 번식성적과 이용실태 평가	○자원순환시스템에 적합한 남부지역 번식우 사육시설 탐색 및 모델 개발 -전라남도 관행축산 농가 사육실태 조사 -자원순환형 번식우의 사육시설 모델 개발 ○자원순환시스템에서 생산된 조사료(총체보리)에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가 -총체보리사일리지에 대한 사료가치 평가 -번식우의 번식성적 조사	○남부지역 한우사육시설 ○총체보리에 대한 번식우 번식성적
4차년도	2008	○남부지역에서 자원순환형으로 생산한 조사료를 번식우 및 육성단계 비육우에 급여시 미치는 효과 조사	○남부지역 자원순환형 조사료(수단그라스)에 대한 번식우의 번식성적 평가 -수단그라스 사일리지 사료가치 평가 -번식우의 번식성적 조사 ○남부지역 자원순환형 조사료(총체보리)에 대한 육성단계 비육우의 사양성적 평가 -총체보리사일리지의 사료가치 평가 -육성단계의 비육우 육성성적 조사	○수단그라스에 대한 번식우의 번식성적 ○총체보리에 대한 비육우 육성단계
5차년도	2009	○남부지역 자원순환시스템에서 생산된 조사료를 번식우 및 비육단계 비육우에 적용 평가	○남부지역 자원순환형 조사료에 대한 번식우의 번식성적 능력 평가 -이탈리안라이그라스에 대한 사료가치 평가 -번식우의 번식성적 조사 ○남부지역 자원순환형 조사료에 대한 비육우의 사양성적 및 도체성적 평가 -비육우 사양성적 및 도체성적 조사	○이탈리안라이그라스에 대한 번식우의 번식성적 ○총체보리에 대한 비육우 비육성적 및 도체성적

제 2 절 국내·외 기술개발 현황

1. 국내기술 현황

가. 우리나라는 1990년대 중반부터 친환경농업과 관련된 사업을 본격적으로 수행하고 있다. 관련 사업은 환경오염부하 경감 대책 사업(1993년부터), 친환경농산물 생산 지원 및 유통활성화 사업(1995년부터), 친환경농업 육성사업(1998년부터), 가축분뇨 처리시설 설치지원사업(1994년부터), 친환경농업 육성법 제정(1997년) 등으로 구분할 수 있다. 이와 같은 노력에 의해 친환경농업 가능성을 확인하였고, 실천 농가 확산 등 가시적인 성과가 있었으며 계량화된 성과로는 1999부터 2002년 사이에 화학비료 사용량이 15% 절감되었으며, 친환경인증 농산물의 비율도 1%에서 3%로 증가하였다. 퇴비 생산과 활용 기술의 측면에서 미부숙퇴비에 대한 문제점 인식은 확산되고 있으며 이를 위해 퇴비 부숙도를 평가할 수 있는 다양한 지표가 개발되고 있다. 이에 반해 이화학성이 매우 불균일한 퇴비의 시용량 설정과 관련된 연구는 미진한 것으로 판단된다. 친환경농업의 핵심인 자원순환농업과 관련해서는 다양한 순환농업모델이 제시되고 있지만, 이를 실제 농가에 적용하여 타당성 분석 및 개선 방안 제시와 같은 연구는 부진한 것으로 평가되고 있다.

2. 국외기술 현황

가. 자원순환농업에서 퇴비 생산 및 이용 기술은 전반적인 축산-경종 시스템과 관련된 다양한 정책과 분리해서 논의할 수 없기 때문에 친환경농업과 관련된 각국의 정책 및 개발 기술을 정리하면 다음과 같다.

(1) 미국은 자원순환농업과 관련하여 우수농지 확보와 초지보전, 그리고 관련 시장 확대를 지속가능농업 발전의 핵심요소로 보고 있으며, 특히 토양보전과 관련하여 토양침식 문제 해결을 핵심정책으로 추진하고 있다. 미국은 1985년 농업법에서 저투입지속농업을 최초로 제시하였으며 이를 위한 구체적인 수단으로 윤작 도입, 병해충종합관리(IPM) 추진, 토양 및 수자원 보전을 위한 보전 경작 방식 도입, 가축분뇨 등을 통한 유기질 비료 사용 확대, 두과작물을 이용한 녹비 이용 촉진, 그리고 경종과 축산의 복합화 등을 제시하고 있으며 관련 기술의 연구 개발을 체계적으로 진행하고 있다. 또한, 2002년에 확정된 농업법을 통해서 지속가능농업의 발전을 위한 프로그램 개발을 위해 10년간 172억 달러를 투입하기로 결정한 바 있다.

(2) 유럽연합은 1980년대 중반부터 지속가능농업 발전을 위한 대책을 수립하고 있다. 1985년에 '농업구조의 효율성 제고를 위한 이사회 규칙'을 제정하여 환경보전지역사업(ESA)을 착수하였는데, 이 사업은 환경과 경관의 보전과 양립하는 농업생산방법의 도입을 촉진하기 위한 보조금 지급 등의 내용을 담고 있다. 1992년에 농업환경규칙을 제정하였으며 1995년부터는 이와 관련하여 농민들에게 보조금을 지급하고 있다. 1998년에는 '지속가능 농업 지침'을 제시하여 회원국의 지속가능농업정책 프로그램 도구로 활용하고 있다.

(3) 일본은 1999년 소위 '환경 3법'인 '지속가능한 농업생산방식 도입 촉진에 관한 법률', '가축배설물 관리 적정화 및 이용 촉진에 관한 법률', '비료 단속법 개정안'을 통과시켜 제도적 기반을 구축하였다. 특히 '지속가능한 농업생산방식 도입 촉진에 관한 법률'에 의거 우수 농민은 'Eco-farmer'로 지정하고 각종 혜택을 부여하고 있다.

제 3 절 연구개발 수행내용 및 결과

1. 연구개발결과-1

가. 3차년도 연구결과

(1) 전남지역 관행농가에 대한 친환경농업 전환 의향 탐색

(가) 관행농가에 대한 친환경농업 전환 의향 탐색

- ① 관행축산농가중 89.2%(전남지역)가 자원순환형 친환경축산으로 전환의향이 있다.
- ② 이유로는 미래농업 대안 및 환경문제 해결방안으로 생각한다.

(나) 친환경축산 여건 분석(SWOT 분석)

강 점(Strength)	약점(Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> ○ 전남의 친환경농업 추진으로 축산농가 참여의지 확산 ○ 깨끗한 자원 환경(물, 공기, 일조권) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가축사육 사육환경 열악 ○ 가축분뇨의 퇴·액비 품질 불균형 등으로 경종농가 사용기피 ○ 친환경축산 모델농가 부재
기 회(Opportunity)	위 험(Threat)
<ul style="list-style-type: none"> ○ 친환경축산물 수요 증가 ○ 정부의 강력한 친환경 정책 추진 ○ 농촌경관을 쾌적하게 하려는 주민의 욕구 ○ 안전축산물에 대한 소비자 욕구증대 ○ 가축분뇨의 유기질비료화 요구 증가로 경종·축산연계 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 생산량 증가로 친환경농축산물 가격하락 ○ 유류, 비료대 인상으로 조사료 생산비 증가 ○ 사료비 인상에 따른 생산비 급등

(다) 자원순환형 한우 사육에서 가장 중요하다고 느끼는 분야는 ?

설 문 내 용	%	비고
자원순환형 조사료 생산 및 이용	16	
남부지역 한우 번식비육 시설	12	
우량 밀소 개량	10	
친환경축산 인증	10	
번식효율 증진	9	
한우의 질병예방 및 방역	6	
깨끗한 목장경영과 가꾸기	6	
한우농가 HACCP	6	
한우 브랜드 전략	6	
초음파측정 및 판독	6	
쇠고기 이력추적시스템	6	
기 타	-	

(2) 자원순환시스템에 적합한 남부지역 번식우 사육시설 모델

(가) 자원순환형 한우 번식우 사육시설 모델 개발 배경

한우사육에 있어 한우 번식우 사육체계가 벗짚과 농후사료 위주로 사육되고 있어 번식성적이 저하되고 있다.

- ① 한우 번식우 사육농가의 대부분이 조사료를 생산할 수 있는 사료작물포 확보가 미비한 실정이다.
- ② 번식우 사육농가에서 발생된 분뇨를 토지에 환원할 수 없어 양질의 자원순환형 퇴비 생산에 대한 인식 부족하다.
- ③ 번식우를 사육하는데 비육우 사육시설을 주로 이용하고 있어 번식성적이 크게 저하되고 있다.
- ④ 기후에 적합한 자원순환형 한우 사육 시설 및 조사료 작부체계 설정이 필요하다.

(나) 자원순환형 한우 번식우 사육시설 모델 개발을 위한 사전 조사 사항

① 남부지역 기후구분 및 특성

- 기후는 기후요소와 기후인자로 구분하여 기후요소는 기온, 강수량, 강수일수, 적설, 구름, 안개, 서리, 일조, 바람 등을, 기후인자는 산맥, 지형, 하천, 해륙분포, 해안거리 등을 기초로 하였다.
- 나주지역은 우리나라의 기후구분상 남부 평지다우형 및 서해안형 온대기후구에 속하며 동위도의 내륙지방에 비해 겨울 강수량이 많고 겨울과 봄에 흐린 날이 많으며 기온의 연교차가 더 작게 나타났다.

② 남부 평지다우형 기후 특징

- 위치는 광주, 나주, 전주, 정읍, 순천지방과 주변 지역으로 노령산맥과 소백산맥의 중간 지역 등이 해당.
- 연평균기온은 12~13℃, 최난월평균기온은 25~26℃, 최한월평균기온은 -1~0℃ 정도.
- 연강수량은 1,280~1,500mm, 최습월강수량은 250~300mm, 최건월강수량은 25~45mm 정도.
- 강수일수는 연간 110~130일 정도.
- 상대습도는 73~75% 내외.
- 바람은 1~2㎞ 정도.
- 운량은 5.2~6.0 분포.
- 일조시간은 2,050~2,500시간, 일조율은 45~58% 정도.
- 연간 눈 내리는 일수는 23~33일, 적설일수도 23~32일 정도.
- 서리일수는 72~93일.
- 얼음일수는 100~110일.
- 우박은 연간 1회 정도.
- 안개는 10~16일.
- 황사는 2~4일.
- 뇌전 일수는 8~10일 정도이나 광주지방은 16일.

③ 남부 서해안형 기후 특징

- 위치는 군산, 부안, 영광, 무안, 목포, 흑산도 및 서해안의 도서지역으로 노령산맥 서쪽 지역 등이 해당.
- 연평균기온은 12~14℃, 최난월평균기온은 26℃ 내외, 최한월평균기온은 -1~1℃ 정도 .
- 연강수량은 1,100~1,300mm, 최습월강수량은 200~270mm, 최건월강수량은 30~40mm 정도.
- 강수일수는 연간 110~120일 내외.
- 상대습도는 76~78%로 타 기후구보다 높은 편.
- 바람은 2~4m/s로 타 기후구보다 2~3m/s 강함.
- 운량은 5.2~5.5 분포.
- 연간 일조시간은 2,110~2,730시간, 일조율은 47~61% 정도로 타 기후구보다 약간 높다.
- 눈 내리는 일수는 23~32일, 적설일수도 24~32일 정도.
- 연간 서리일수는 목포 36일, 부안 84일로 지역차가 큰 편.
- 얼음일수는 목포 72일, 부안 105일로 지역간 차가 심하지만 타 기후구 보다는 적다.
- 우박은 연간 1~2일 정도.
- 안개는 25~41일 정도.
- 황사는 2~3일.
- 뇌전일수는 8~11일.

④ 나주지역의 기후 특성

㉠ 기온

- 연평균 기온은 12.9℃로 비교적 온화한 편이며 최한월인 1월과 최난월인 8월의 기온 연교차는 25.6℃에 이릅니다.

㉡ 습도

- 우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 비교적 연중 다습한 기후.
-계절적으로는 7월이 가장 습하여 전국적으로 80%이상의 분포를 보이고, 습도가 가장 낮은 4월에도 60%이상의 습도를 유지하고 있다.
-나주지역 습도는 연평균 75%내외.

㉢ 바람

- 우리나라 각 지방의 풍향을 살펴보면 겨울철에는 대체로 북서풍이 많고 여름철에는 남풍이 많으며 봄, 가을에는 뚜렷하게 탁월한 방향이 없다 .
- 나주지역의 평균풍속은 2.4m/sec.

㉣ 강우

- 우리나라의 연간 평균강수량은 1,200~1,300mm 수준이며, 이중 약50%가 7~8월에 집중되고 1일 최대강수량이 200mm를 넘을 때도 있다.
- 나주지역은 연간 강수량 약 1,320mm에 달하며 비교적 많은 편인데, 6-8월의 하계 다우기에 연 강수량의 절반 가량이 집중적으로 내린다. 겨울철에는 한랭다습한 북서기류로 상당히 많

은 눈이 내린다.

㉞ 서리

○ 첫서리는 대략 10월 20일을 전후하여 내리며, 서리가 끝난 날은 4월 20일 무렵.

㉟ 얼음

○ 얼음은 11월 5일경에부터 얼기 시작하여 이듬해 4월 10일이 지나면 얼지 않는다.

㊱ 눈

○ 첫눈은 11월 23일 무렵에 내리고 이듬해 3월 13일 이후에는 대개 눈이 내리지 않는다.

㊲ 안개

○ 연간 안개발생일수는 40일 이상.

○ 장마철에 해당하는 6-7월에는 2일중 하루가 흐린 날씨를 보인다.

(다) 자원순환형 한우 번식우 사육시설 모델 기본 계획

① 입지조건 - 남부지역의 가축사육환경에 적합한 장소를 선정하였다.

○ 채광 시간이 긴 곳. (일출부터 - 일몰까지)

○ 공기의 이동이 좋은 곳.

○ 지하 수위가 낮은 곳.

○ 진입도로 확보가 용이하고 대형차량이 출입이 가능한 곳.

○ 배수가 용이하고 위생상 양호하게 유지시켜 줄 수 있는 평탄한 곳.

○ 경사지의 토사의 유출 및 붕괴에 대비하고 배수가 용이한 곳.

○ 집중 호우에 대비하여 우수가 한곳에 모이지 않는 곳.

② 부지정지

○ 부지정지는 부지의 자원 상태상의 장점은 최대한 살리고 결함은 보완하여 건물을 건축할 수 있도록 터를 잡았다.

③ 축사의 방위

○ 축사의 방위는 동서를 길게 하는 정남향으로 배치.

○ 바람의 방향(풍향)은 고온기에는 주로 남서풍(편서풍)이 불고, 겨울에는 북서풍이 분다.

④ 건물의 배치

○ 기존 건물 특히 기존시험우사와 조화되게 배치.

(라) 자원순환형 한우 번식우 사육시설 모델 개발 세부 계획

① 자원순환형 한우 번식우사 평면계획

○ 한우 번식우 사육에 적합한 자원순환형 번식우사로 계획.

○ 번식우방은 4.5m x 9.0m = 40.5㎡로 평균 3-4두를 사육하도록 하였다.

- 송아지방은 $4.5\text{m} \times 2.5\text{m} = 11.25\text{m}^2$
- 평면의 구성 : 송아지 전용방, 임신경산우, 중앙통로, 육성후보우, 유도시설로 구성.
- 단위모듈의 배치 : 2열 배치
- 통로의 배치 : 중앙에 1열 6.0m 배치(사조폭 2열 \times 80cm +작업차량폭4.4m)
- 건물폭의 결정 : 26.5m
(우사 2열 배치 18.0m+작업통로 6.0m+송아지방 2.5m = 26.5m)
- 기둥간격 : 4.5m(횡방향)
- 건물의 기본모듈결정 : (폭) $26.5\text{m} \times (\text{기둥}1\text{칸}) 4.5\text{m}$
 $\therefore 26.5\text{m} \times 4.5\text{m}$ 를 기본단위로 하다.
- 건물 규모 : $26.5\text{m} \times 54.0\text{m}(12\text{칸}) = 1,431\text{m}^2$
- 사육규모 : 최소 100두 최대 135두

[표 3-1] 자원순환형 한우 번식우사 평면계획 결정

구 분	자원순환형 한우 번식우사
단 위 모 들	우방1열의 폭 $9.0\text{m} \times 4.5\text{m} = 40.5\text{m}^2$, 사육두수 임신우 : 4두
단위모듈 배치	2열 배치
통로 배치	사조 및 작업통로 6.0m
건물 폭	$2.5\text{m} + 9.0\text{m} + 6.0\text{m} + 9.0\text{m} = 26.5\text{m}$
기둥 간격	4.5m
건물기본모듈(1칸)	폭 $26.5\text{m} \times$ 기둥간격 4.5m
건물규모 (바닥면적)	12칸 \times 2열 = 24칸 $26.5\text{m} \times 54.0\text{m} = 1,431.00\text{m}^2$ (433.64평)
사육규모 (사육두수)	96-120두
비 고	환기방식은 자원환기 + 기계식 + 지붕개폐식

② 자원순환형 한우 번식우사 단면계획

- 기초 깊이 : 해당지역에 적합한 동결선 50cm 적용
- 1층 바닥높이 : 우수의 침입방지와 작업차량의 원활한 이동을 위하여 GL+200으로 결정
- 피트 깊이 : 해당없음
- 반자 높이 : 해당없음
- 처마 높이 : 5.0m
- 최고 높이 : 9.167m 지붕경사높이(4.167m)+처마높이(5.0m) = 9.167m
- 지붕경사도 : 원활한 용마루 배기 고려한 4/12경사도를 채택

[표 3-2] 자원순환형 한우 번식우사 단면계획 결정

구 분	한 우 사
기초깊이	해당지역 동결선 이하
1층 바닥높이	GL+200
반자높이	없 음
처마높이	5.0m
최고높이	9.167m
지붕경사도	4/12

③ 자원순환형 한우 번식우사 구조계획

- 구조는 철골구조로 하다.
- 지붕은 칼라폴 단열강판과 투광재(PCR)를 병용.
- 구조형식은 철골구조에서 일반적으로 사용하는 산형라멘 골조형식 선정.
- 구조계산은 남부지역 표준형으로 계산.
- 구조제를 한우사에서는 H형강구조, 파이프트러스구조로 다시 구분.
- 파이프트러스구조에서의 일반구조용 강관을 사용.
- 건물의 내진계획은 축사의 구조가 경량철골구조로 고정하중이 크지 않고 단층건물이므로 본 계산에 내진하중에 대하여는 고려하지 않았다.
- 기둥의 하부접합은 PIN으로 설계.
- 주부재의 연결은 강접합으로 설계.

④ 자원순환형 한우 번식우사 환기계획

- 축사의 환기시스템은 가축으로부터 생산된 열, 습기 그리고 냄새를 연속적으로 배출하고 보다 건조한 외부의 신선한 공기를 보충하여 쾌적한 동물 환경을 유지할 수 있도록 설계하였다.
- 이를 위하여 용마루의 환기 개구부를 설치하여 소의 안락함을 확보하였다.
- 환기방식은 자원 환기방식으로서 바람의 자원 유도력과 부력에 의하여 충분한 공기교환이 이루어지도록 기본설계하였다.
- 강제환기를 위해 송풍기와 지붕개폐장치를 설계하였다.
- 건축물의 형태는 4면이 실내외 조건에 따라 환기를 제어할 수 있는 방식을 선택하였다.
- 벽면의 형태는 수동으로 개폐되는 윈치커튼과 전동문으로 설계하였다.
- 동절기 환기는 최소환기를 할 수 있도록 설계하였다.
- 지붕은 하절기 직사광선에 의한 복사열의 전달을 막기 위해 단열칼라강판으로 설계하였다.
- 개폐식 지붕을 설치하여 평상시는 개방을 하고 우천시에는 폐쇄할 수 있도록 설계하였다.

- 지붕하부에 송풍팬을 설계하였다.
- 용마루 개구부 설계하였다.

⑤ 자원순환형 한우 번식우사 우·오수 설계

- 배수방식은 분류식을 기본으로 하며 우수는 기존구거 또는 농수로에 방류도록 하였다.
- 부지상부에서 유입되는 우수는 집중호우에 대비하여 배수로를 설치하여 기존구거로 연결하였다.

⑥ 자원순환형 한우 번식우사 기계설비 계획

- 한우 번식우 사양관리의 편의성 및 자동화에 필요한 설비 등을 설계하였다.
- 사료자동 배합 및 급이장치를 위한 레일 설계하였다.
- 환기방식은 자원 환기력에 의한 자원환기방식과 송풍 팬 기계방식 혼합 적용하였다.

⑦ 자원순환형 한우 번식우사 급수설비 계획

- 급수원은 지하수 직수와 물저장탱크 급수를 이용도록 설계하였다.
- 급수를 자유로이 하도록 전기가온 2구용 자동 급수통 배치하였다.
- 배관매립은 동결심도 50cm이하에 매립하였다.
- 급수압 : 급수의 원활화를 위해 적정급수압 (0.5~2.0Kg/cm²) 설계하였다.

⑧ 자원순환형 한우 번식우사 난방 계획

- 성우는 자원환경 적응력이 대체로 양호하여 별도의 난방기기는 계획하지 않았다.
- 송아지방은 바닥에 전기코일난방시설을 시공하고 별도의 송아지허치를 설치하여 허치내에 보온등을 배치하였다.

⑨ 자원순환형 한우 번식우사 전기설비 계획

- 송아지방 난방, 사료자동급여장비, 송풍팬, 지붕개폐장치, 원치커튼, 전동도아 및 전등 사용 필요한 전기설비를 계획하였다.

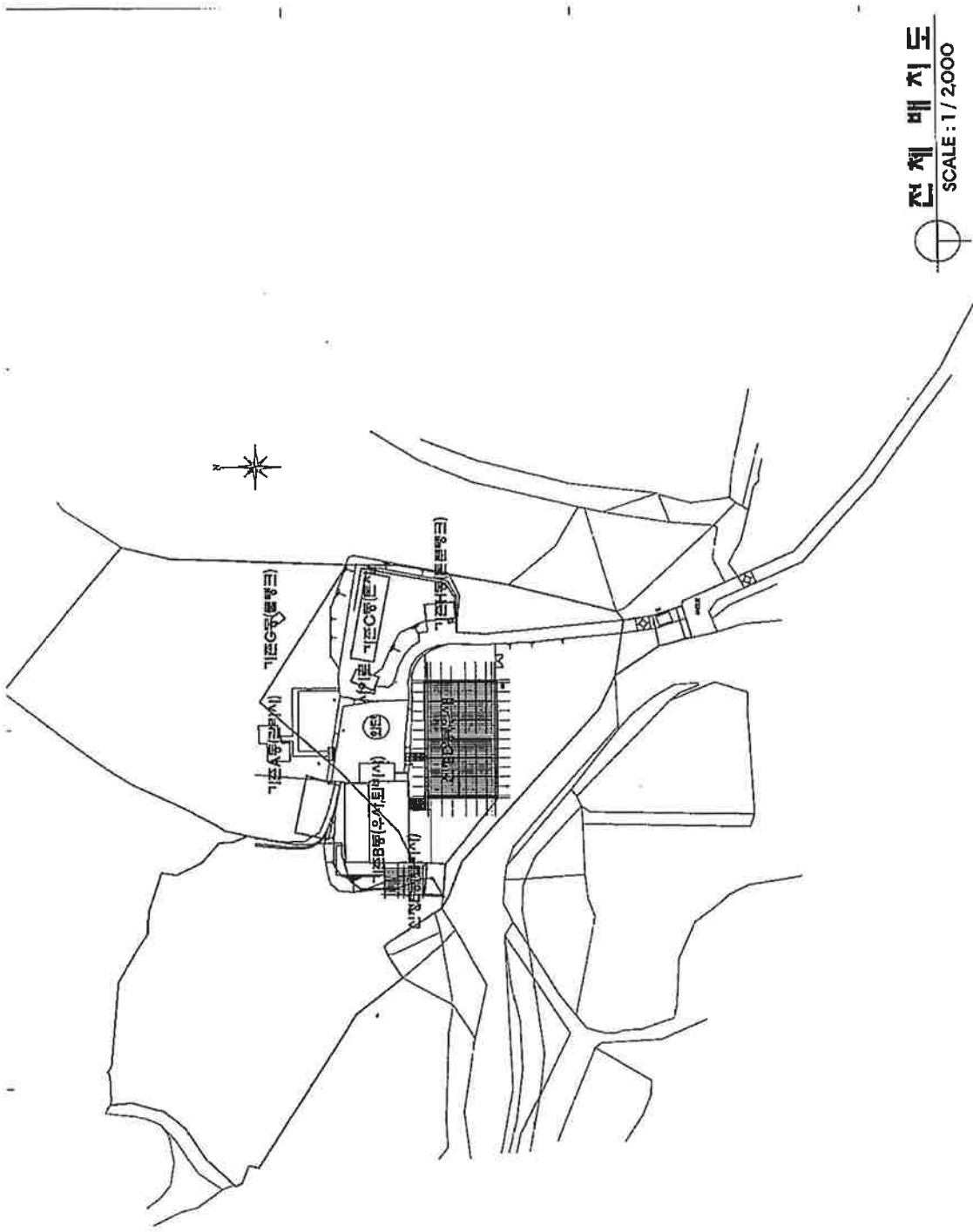
⑩ 자원순환형 한우 번식우사 기타설비 계획

- 소방법에 준하는 설비계획하였다.
- 원격감시에 필요한 설비 계획하였다.

⑪ 자원순환형 한우 번식우사 유도시설 계획

- 개체관리 및 체중측정을 위해 유도시설내에 우형기와 출하대 설치하였다.
- 자원순환형 한우 번식우사 부대시설 계획하였다.
- 자원순환형 한우 사육에 적합한 운동장과 방목장을 설치하였다.
- 자원순환형 퇴비생산에 적합한 발효퇴비사를 설치하였다.

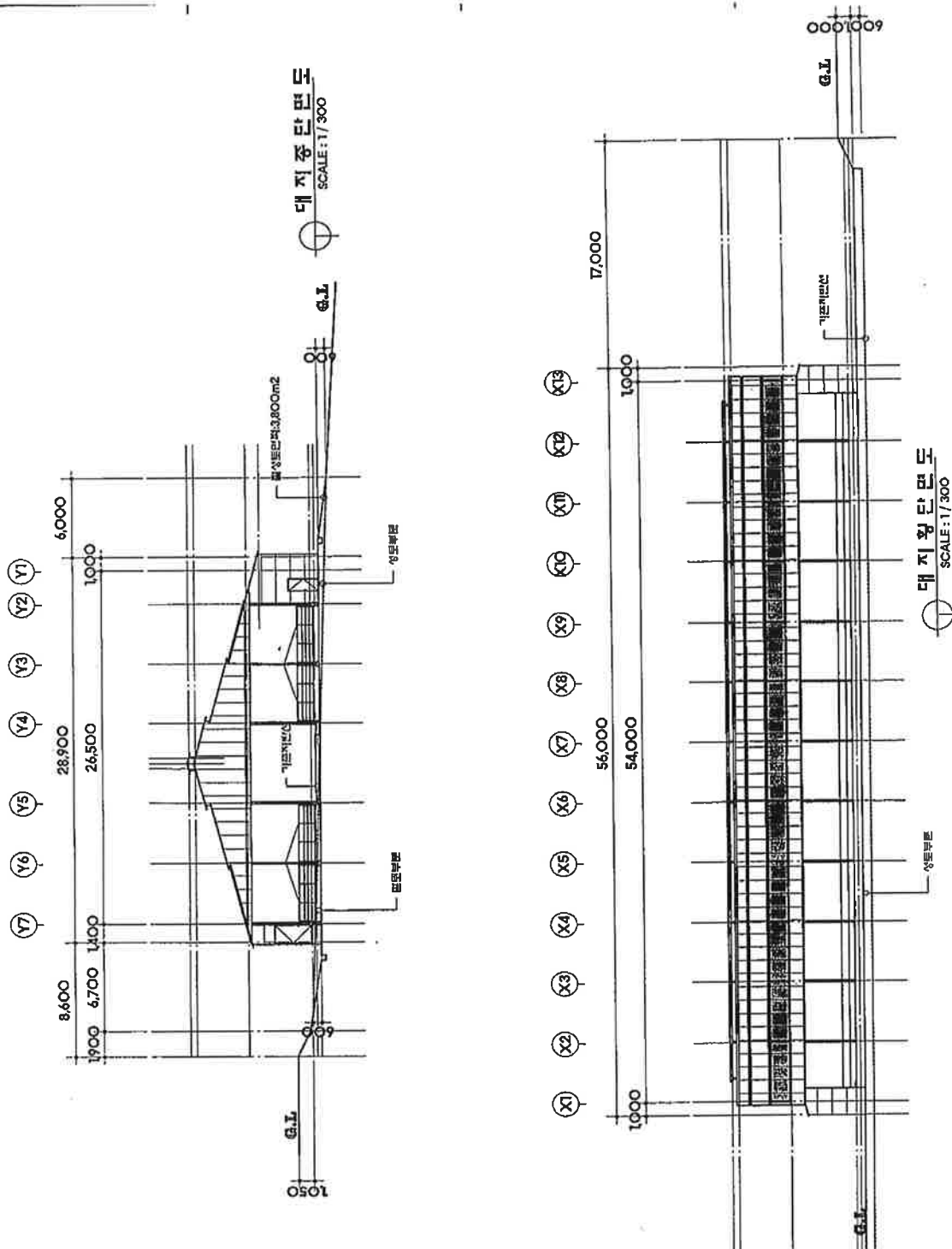
- (마) 자원순환형 한우 번식우 사육시설 모델 설계도
 ① 자원순환형 한우 번식우 사육시설 배치도



전체 배치도
 SCALE: 1/2000

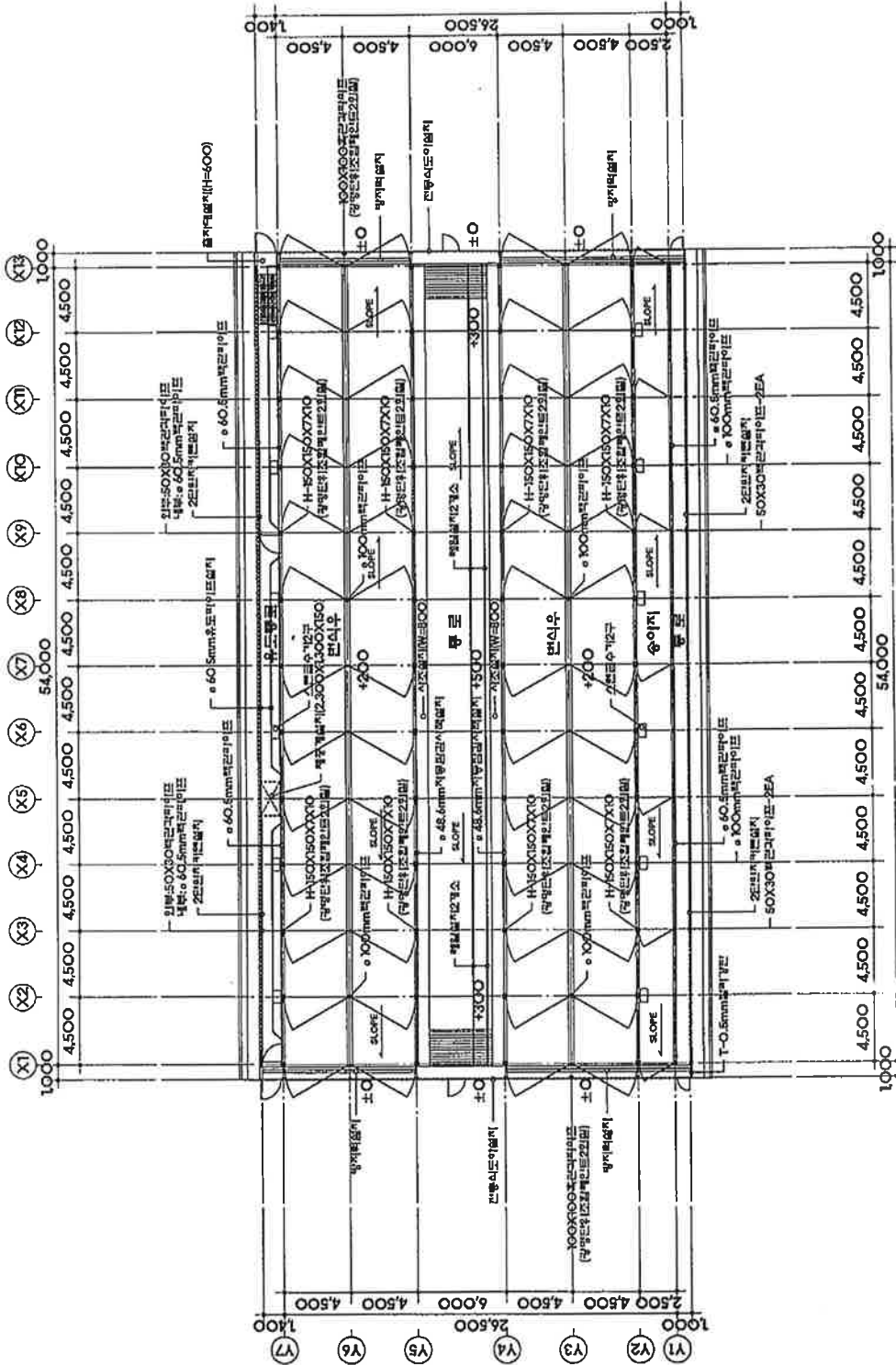
[그림 3-1] 자원순환형 한우 번식우 사육시설 배치도

② 자원순환형 한우 번식우 사육시설 대지단면도



[그림 3-2] 자원순환형 한우 번식우 사육시설 대지단면도

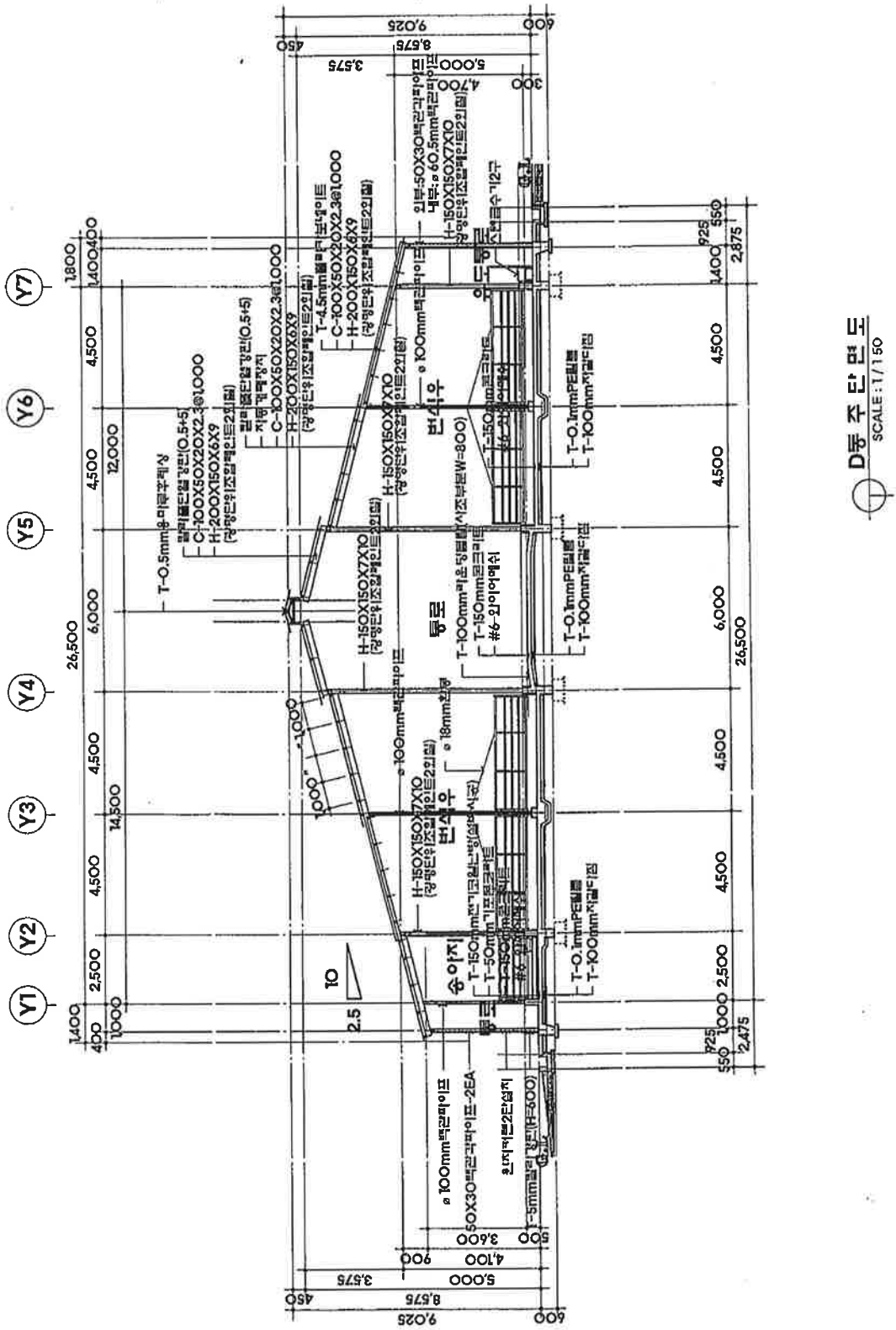
③ 자원순환형 번식우 사육시설 평면도



D형 입중 평면도
 SCALE : 1 / 300
 AREA : 1,43 100M2(432.87PY)

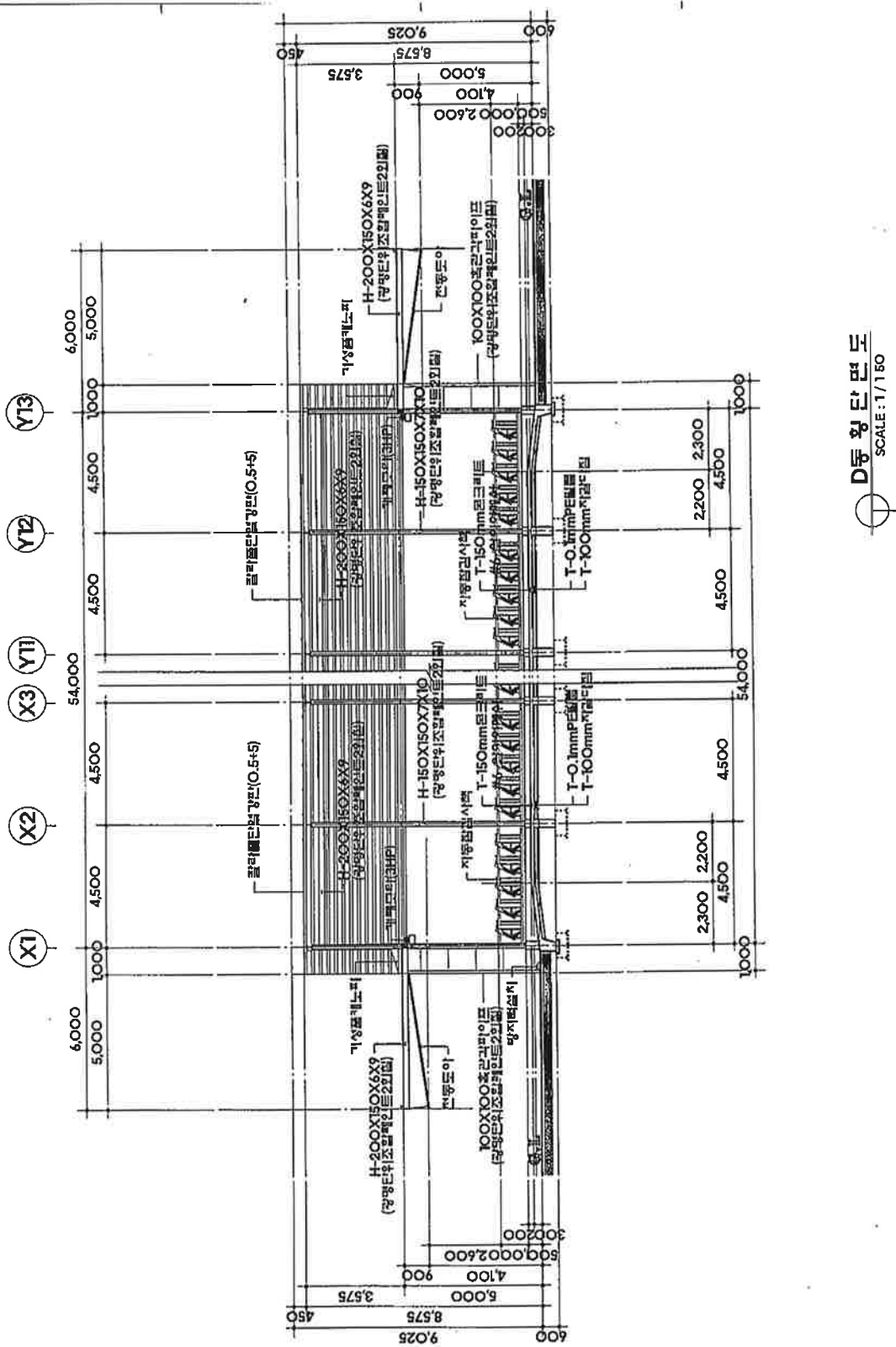
[그림 3-3] 자원순환형 번식우 사육시설 평면도

④ 자원순환형 번식우 사육시설 주단면도



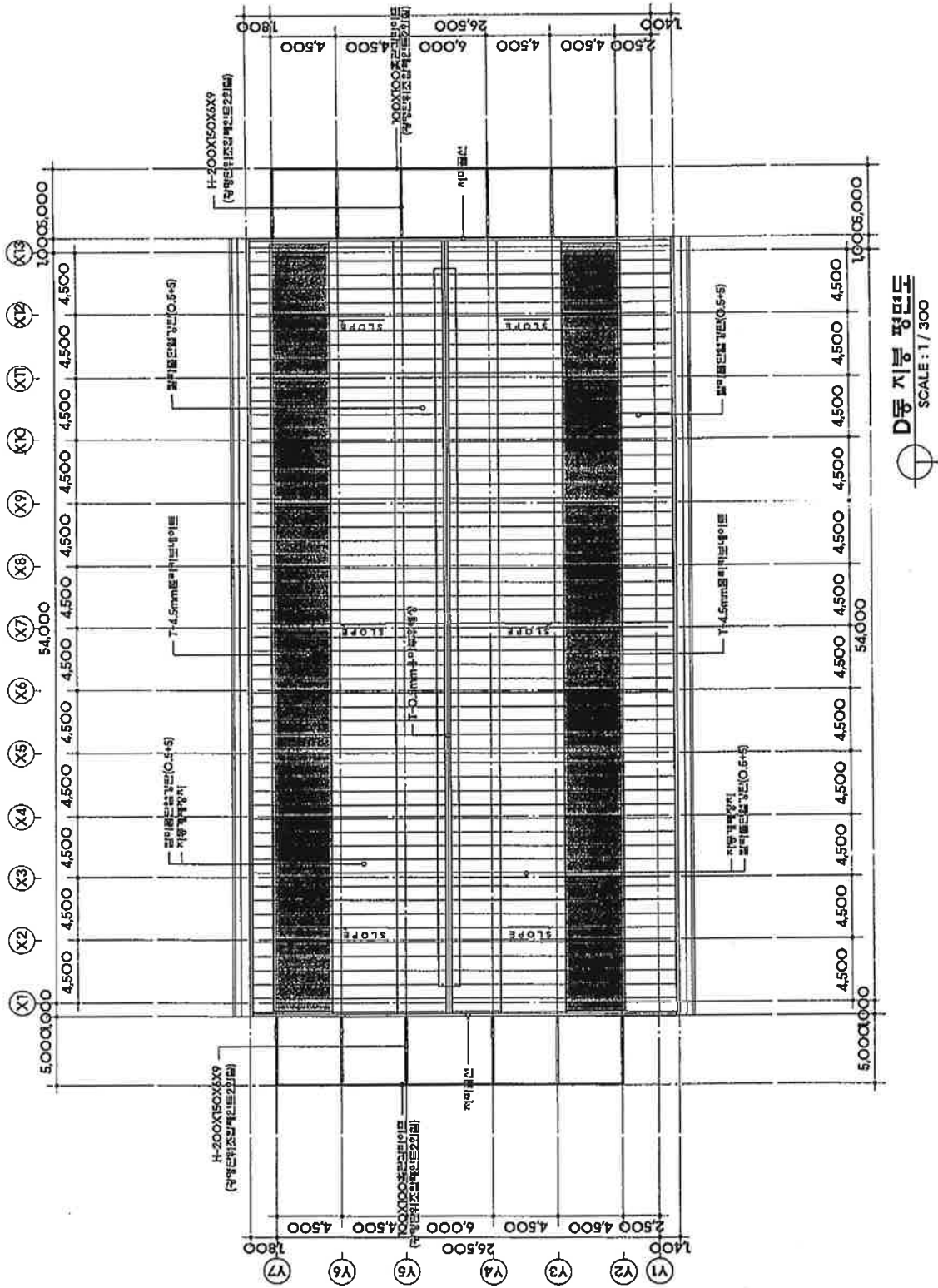
[그림 3-4] 자원순환형 번식우 사육시설 주단면도

⑤ 자원순환형 번식우 사육시설 횡단면도



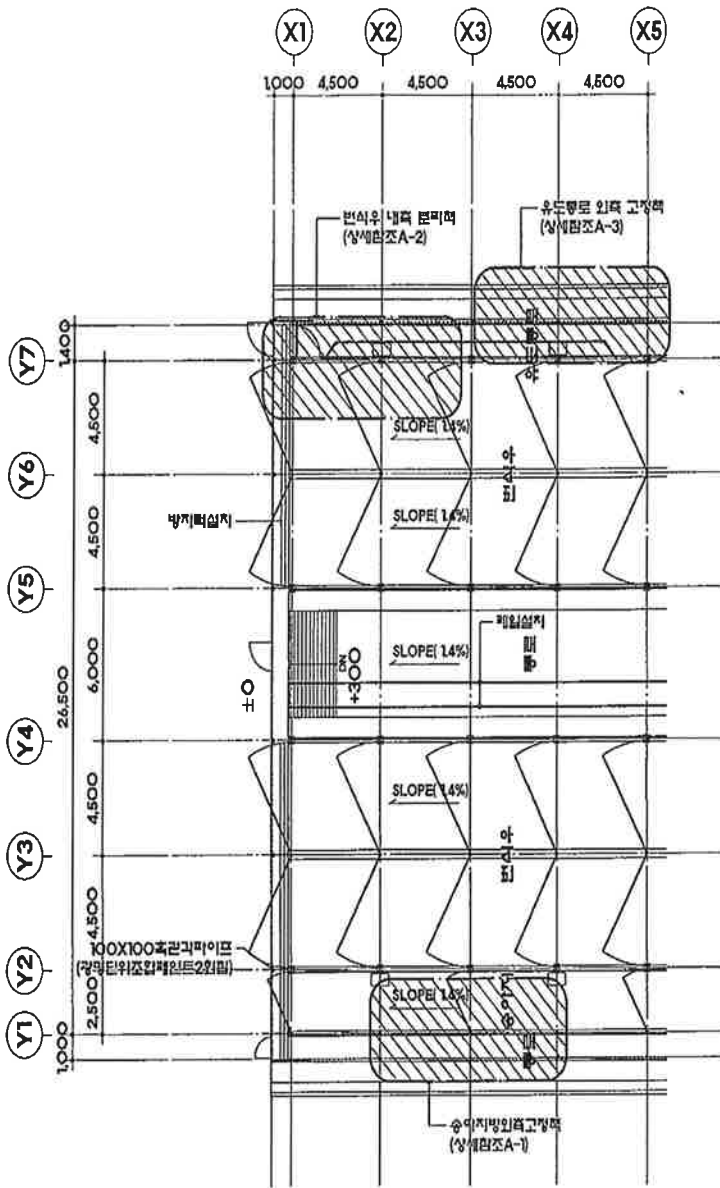
[그림 3-5] 자원순환형 번식우 사육시설 횡단면도

⑥ 자원순환형 번식우 사육시설 횡단면도



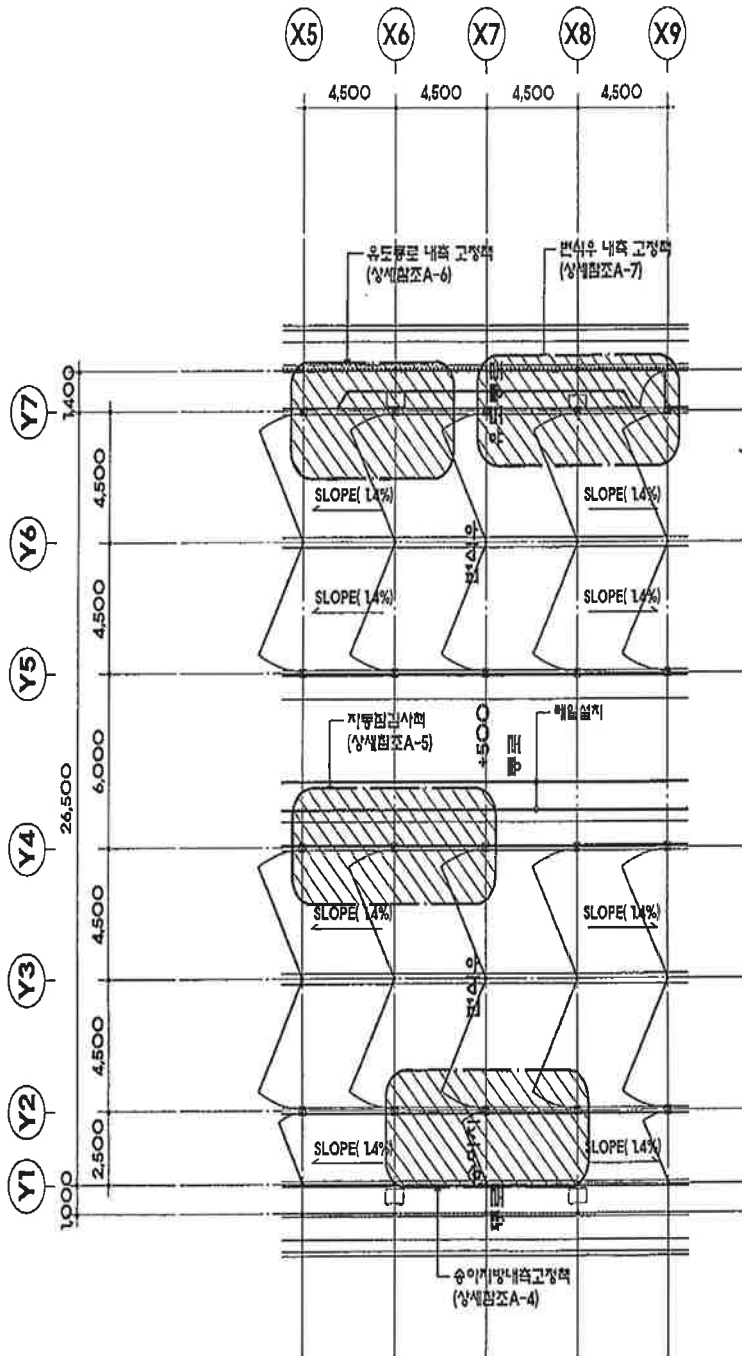
[그림 3-6] 자원순환형 번식우 사육시설 횡단면도

⑦ 자원순환형 번식우 사육시설 평면상세도



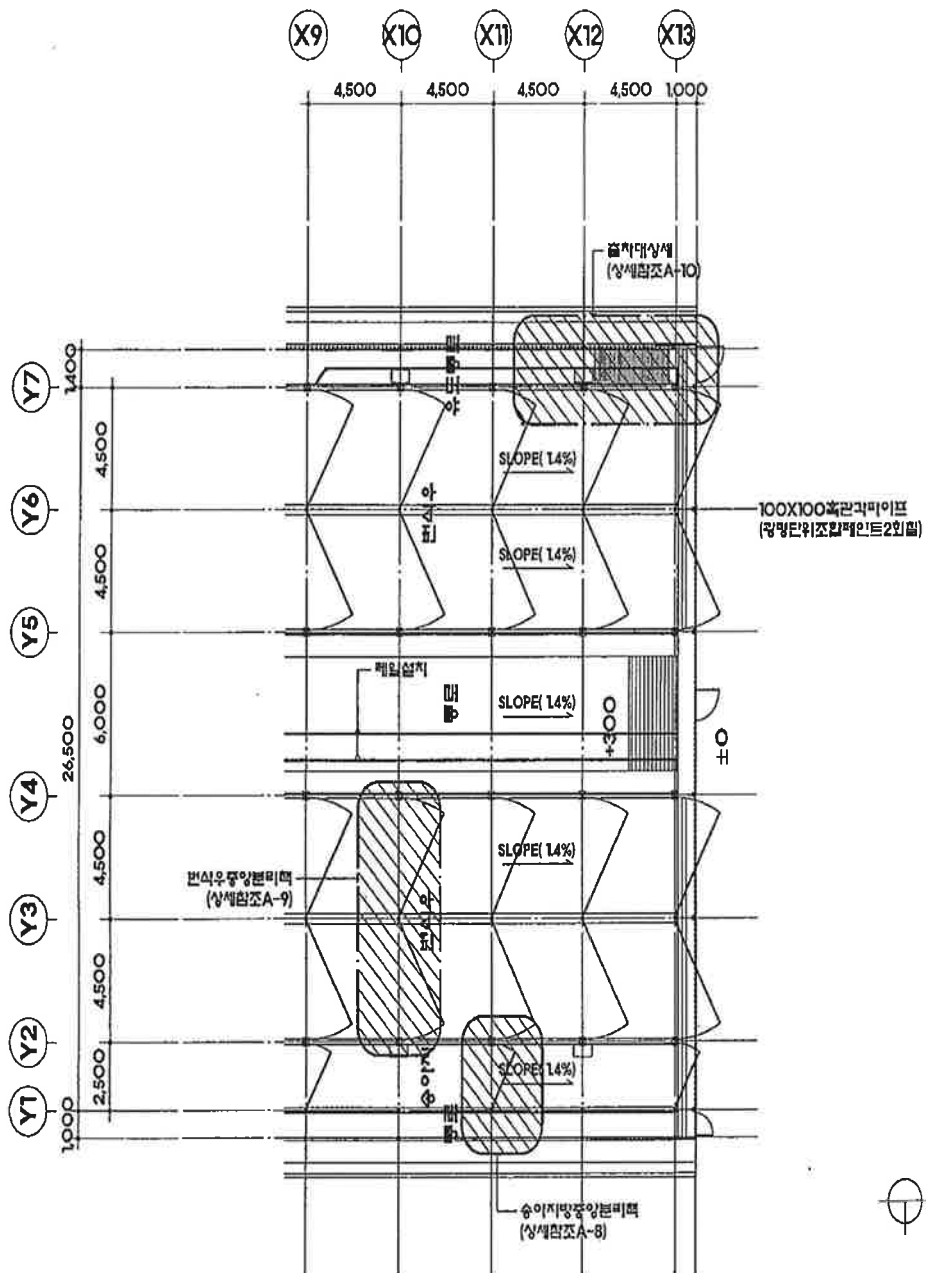
D동 평면 상세도-1
SCALE: 1/200

[그림 3-7] 자원순환형 번식우 사육시설 평면상세도-1



D동 정면 상세도-2
SCALE: 1/200

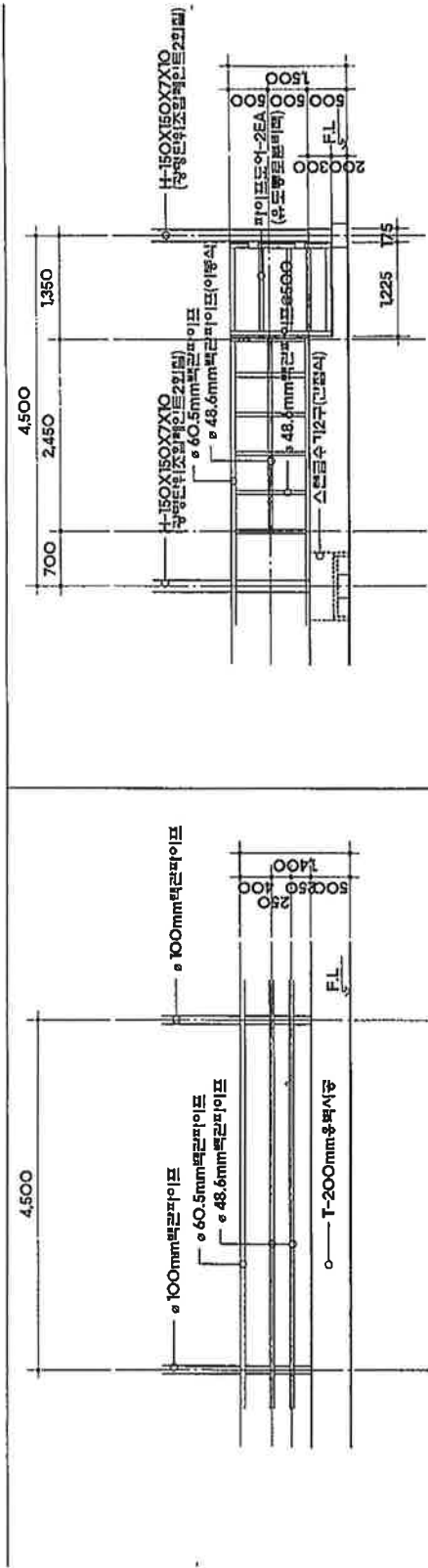
[그림 3-8] 자원순환형 변식우 사육시설 평면상세도-2



D동 평면 상세도-3
SCALE : 1 / 200

[그림 3-9] 자원순환형 번식우 사육시설 평면상세도-3

D동 고정책 및 블리책 상세도-1

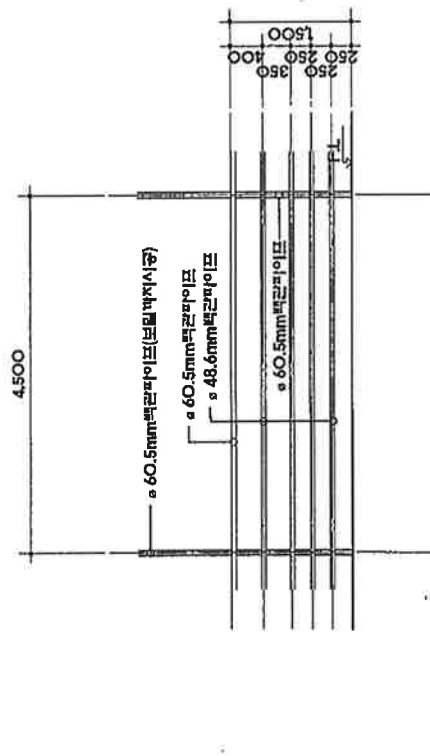


A-1

송이지방 외측 고정책 상세도

A-2

번식우 내측 블리책 상세도



A-3

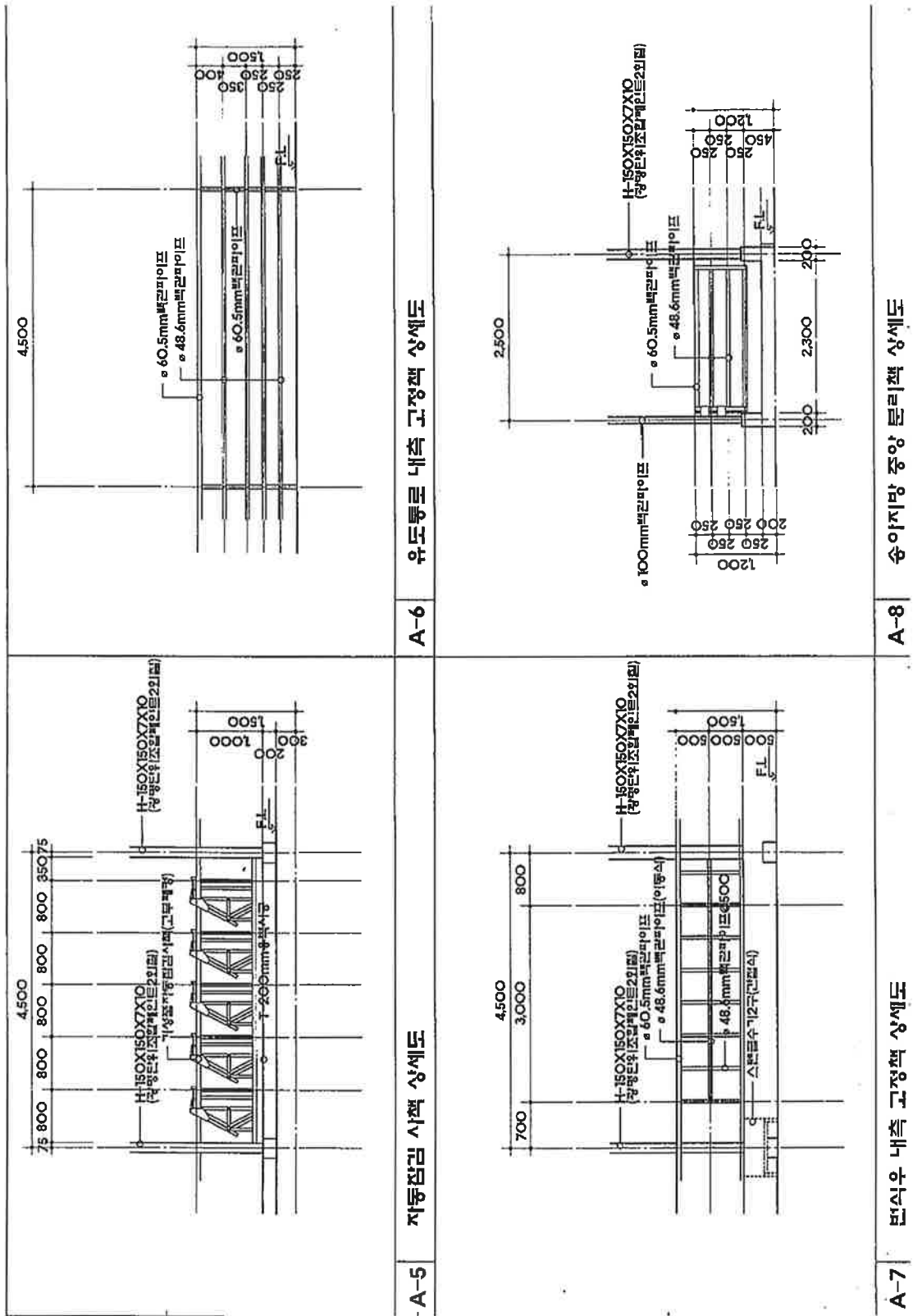
유도통리 외측 고정책 상세도

A-4

송이지방 내측 고정책 상세도

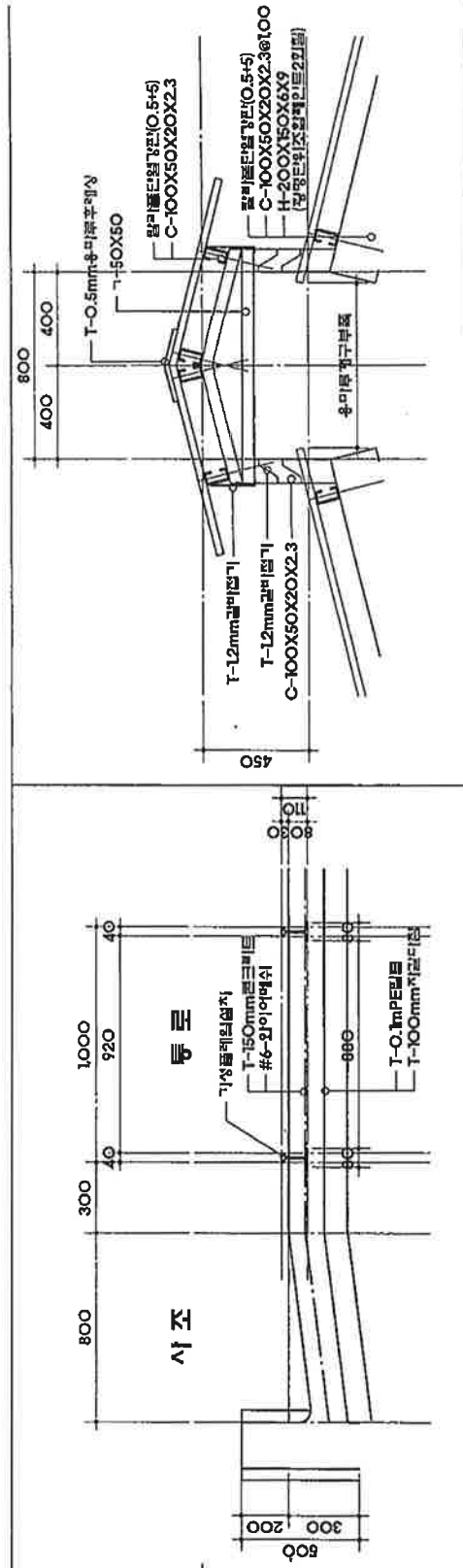
[그림 3-10] 자원순환형 번식우 사육시설 평면상세도-4

고정책 및 톨리책 상세도-2

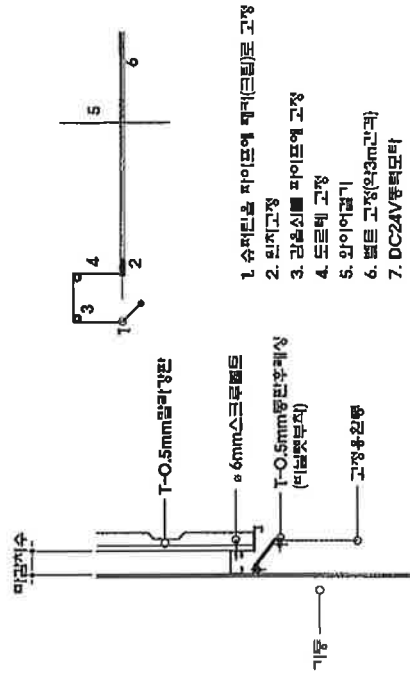


[그림 3-12] 자원순환형 번식우 사육시설 평면상세도-6

D동 부분 상세도 - 1

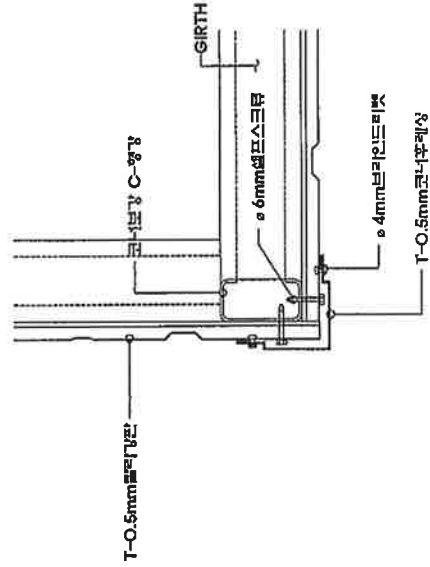


통로부분 레일 상세도



외치커튼 상세도

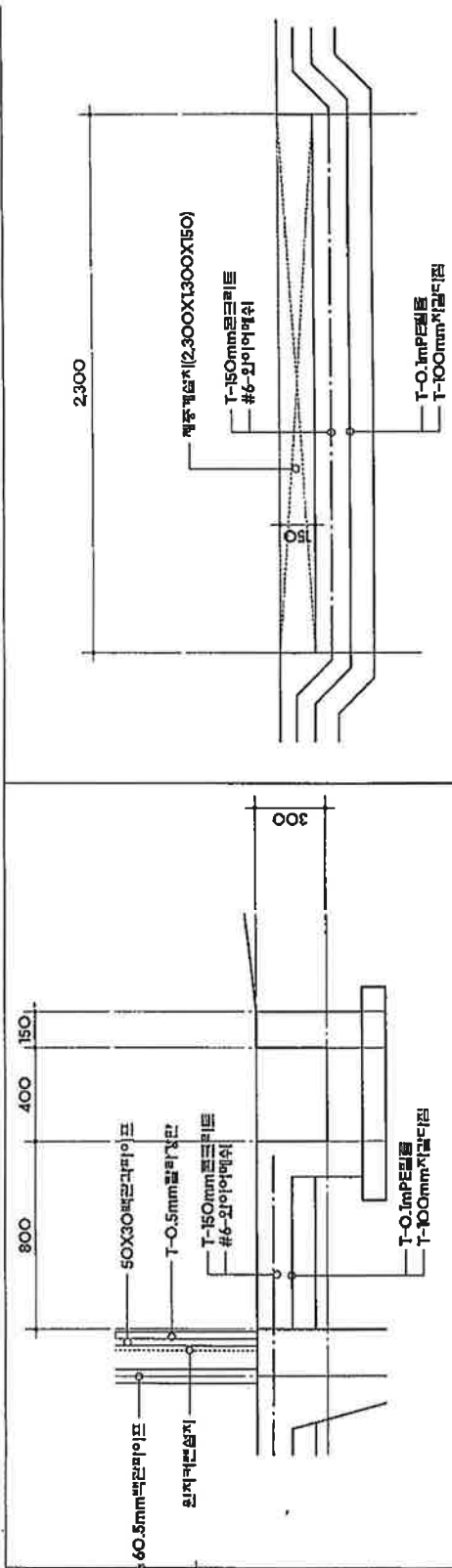
진정 통풍구 상세도



코너부분 상세도

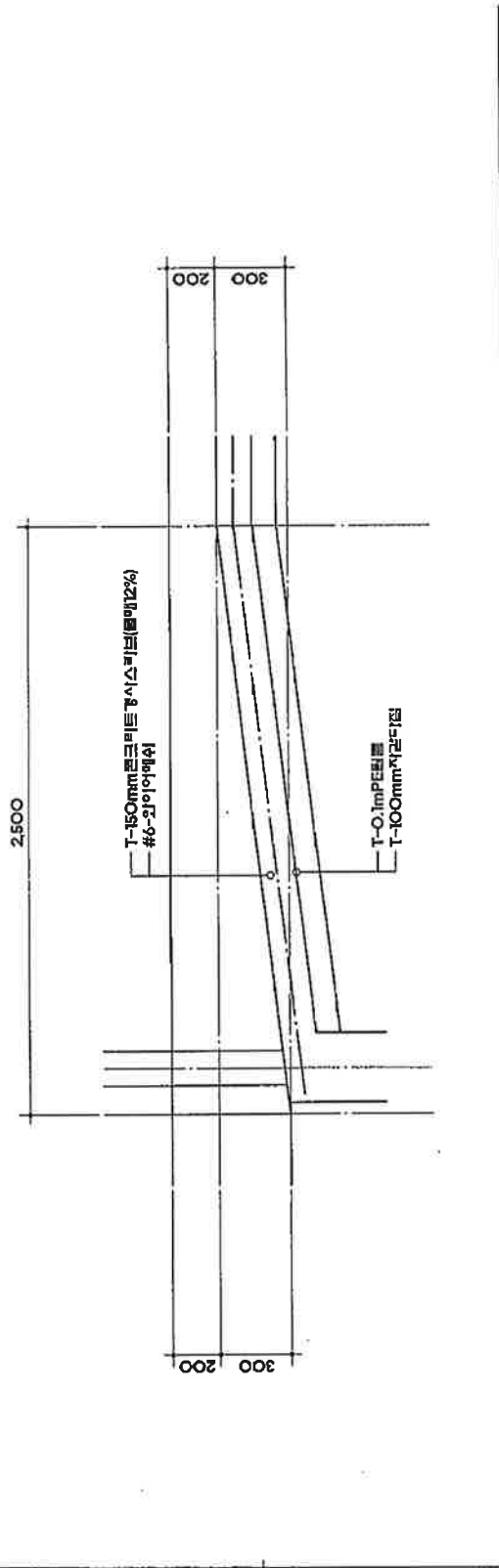
[그림 3-13] 자원순환형 번식우 사육시설 평면상세도-7

D동 부품 상세도 - 2



U형 측구 상세도

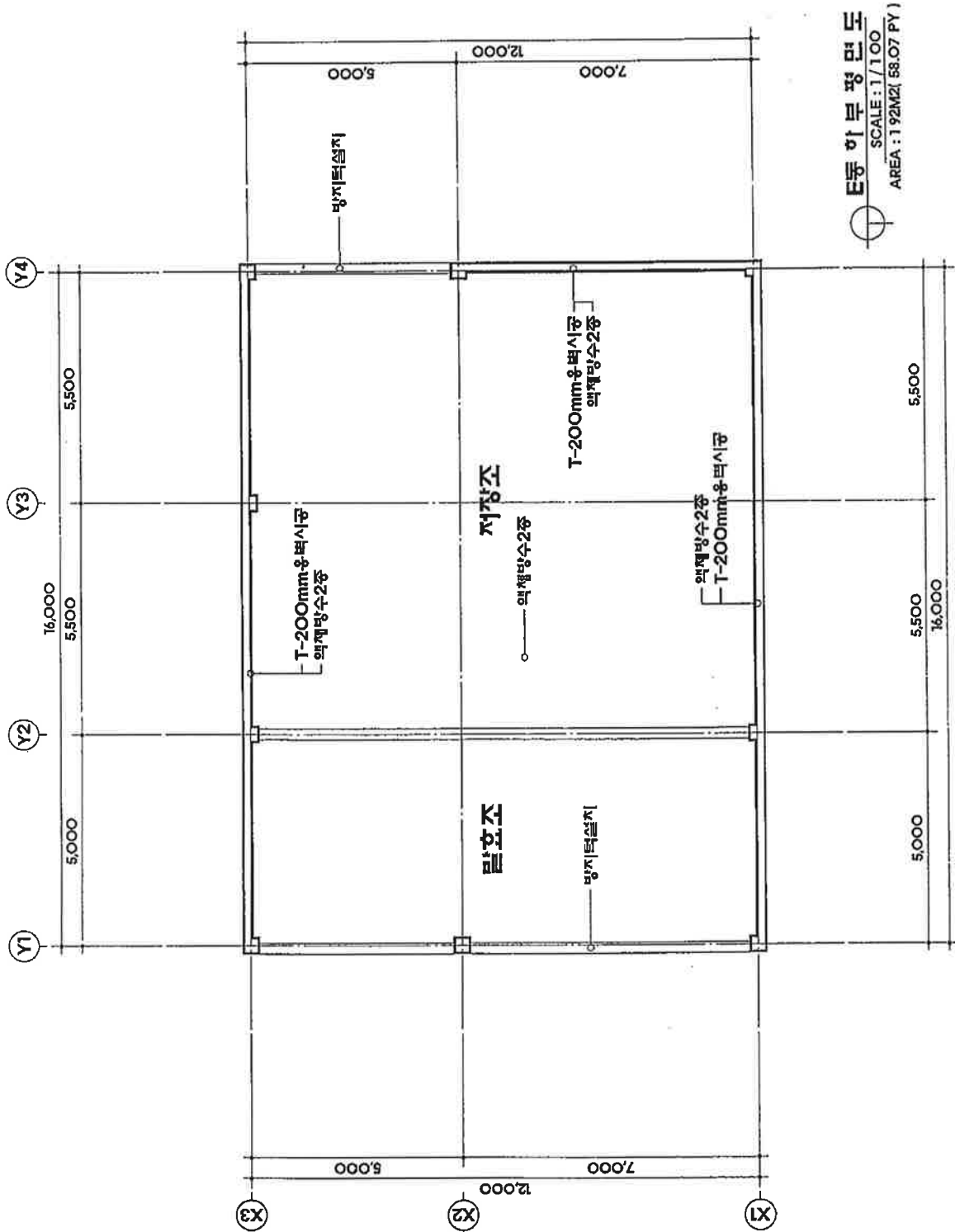
제중계 부품 상세도



제중계 부품 상세도

[그림 3-14] 자원순환형 번식우 사육시설 평면상세도-8

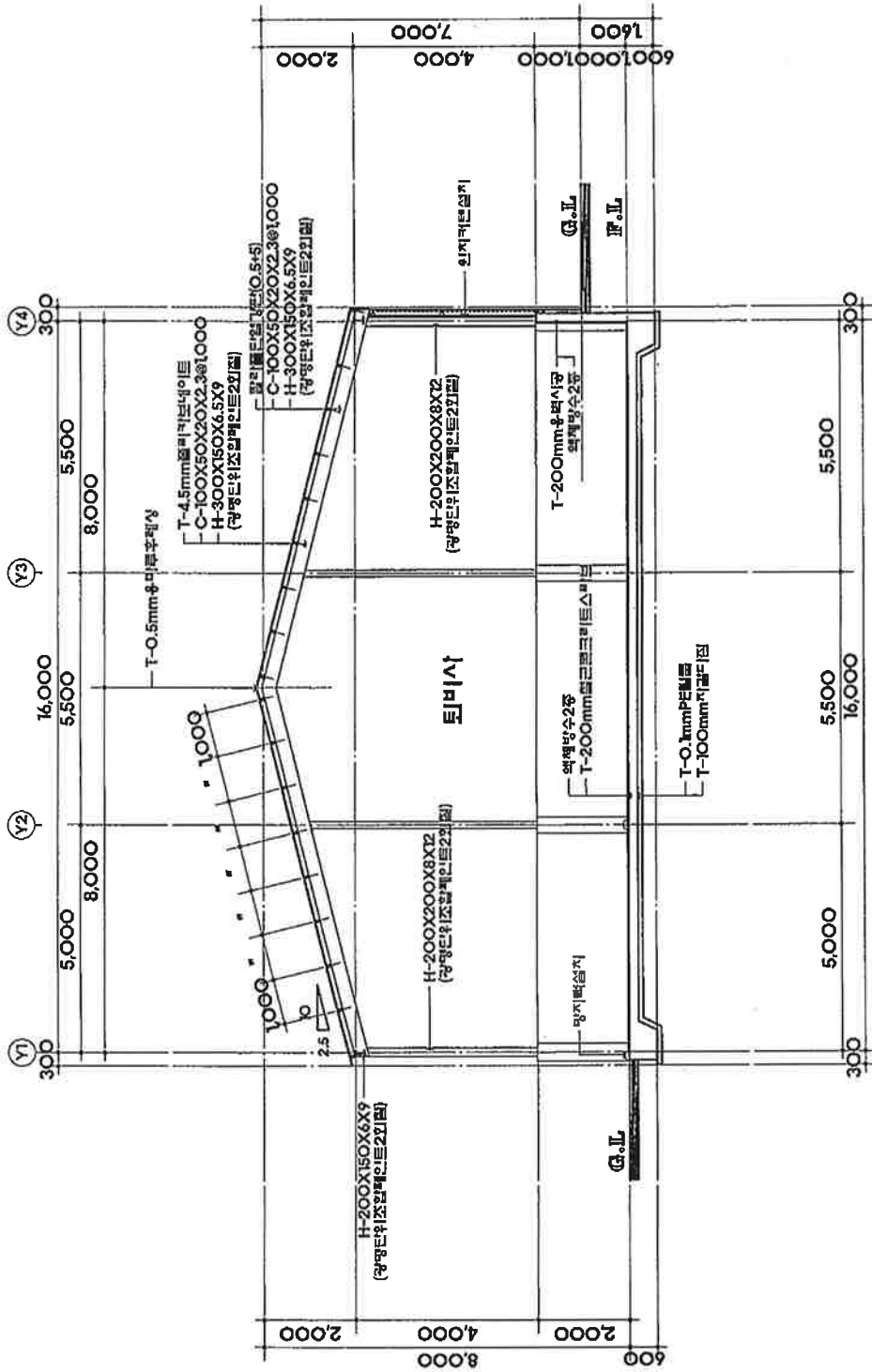
⑧ 자원순환형 번식우 사육시설 퇴비사 평면도



퇴비사 평면도
SCALE: 1/100
AREA: 1 92M²(58.07 PY)

[그림 3-15] 자원순환형 번식우 사육시설 퇴비사 평면도

⑨ 자원순환형 번식우 사육시설 퇴비사 주단면도

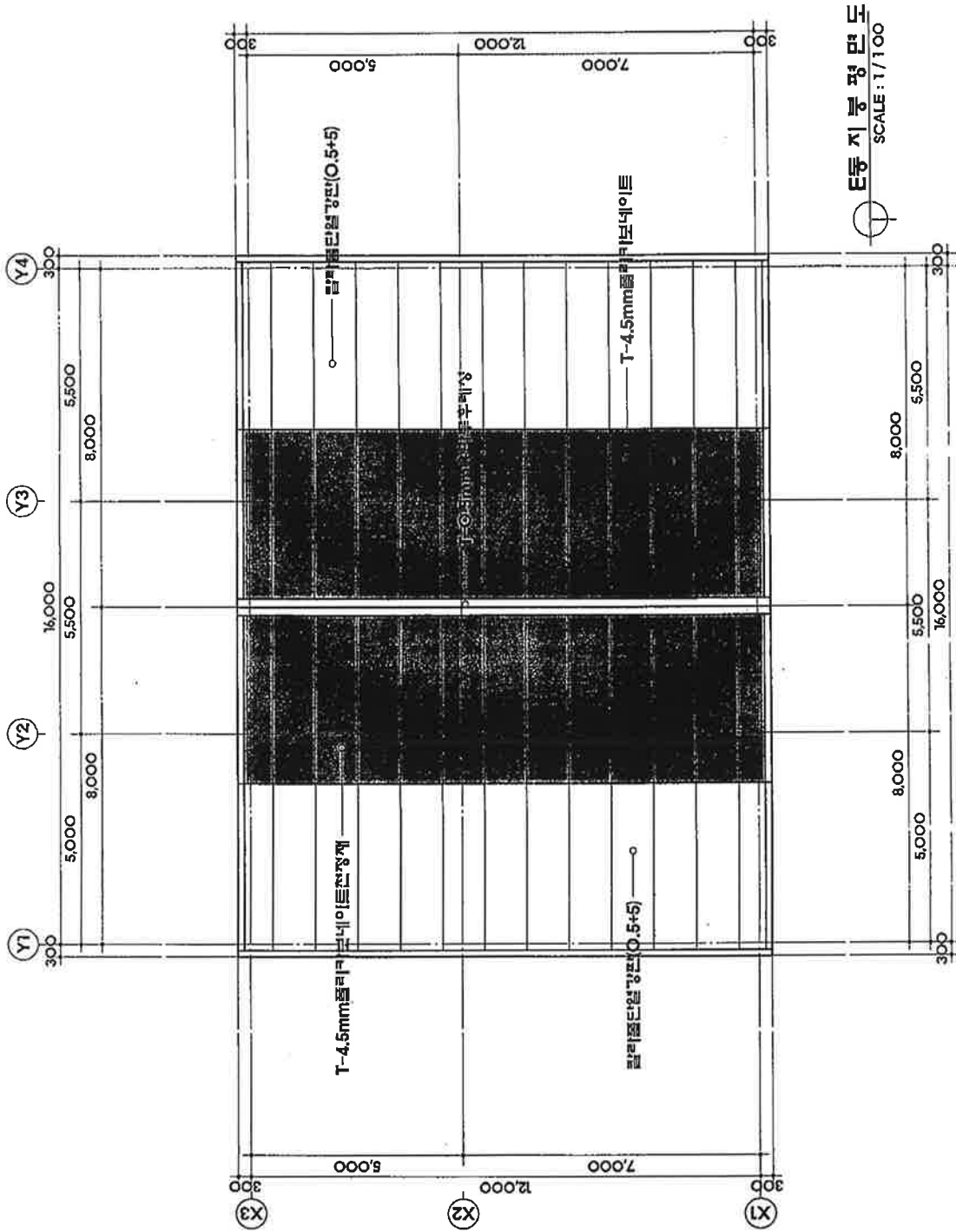


퇴비사 주단면도
SCALE: 1/100

(8)자

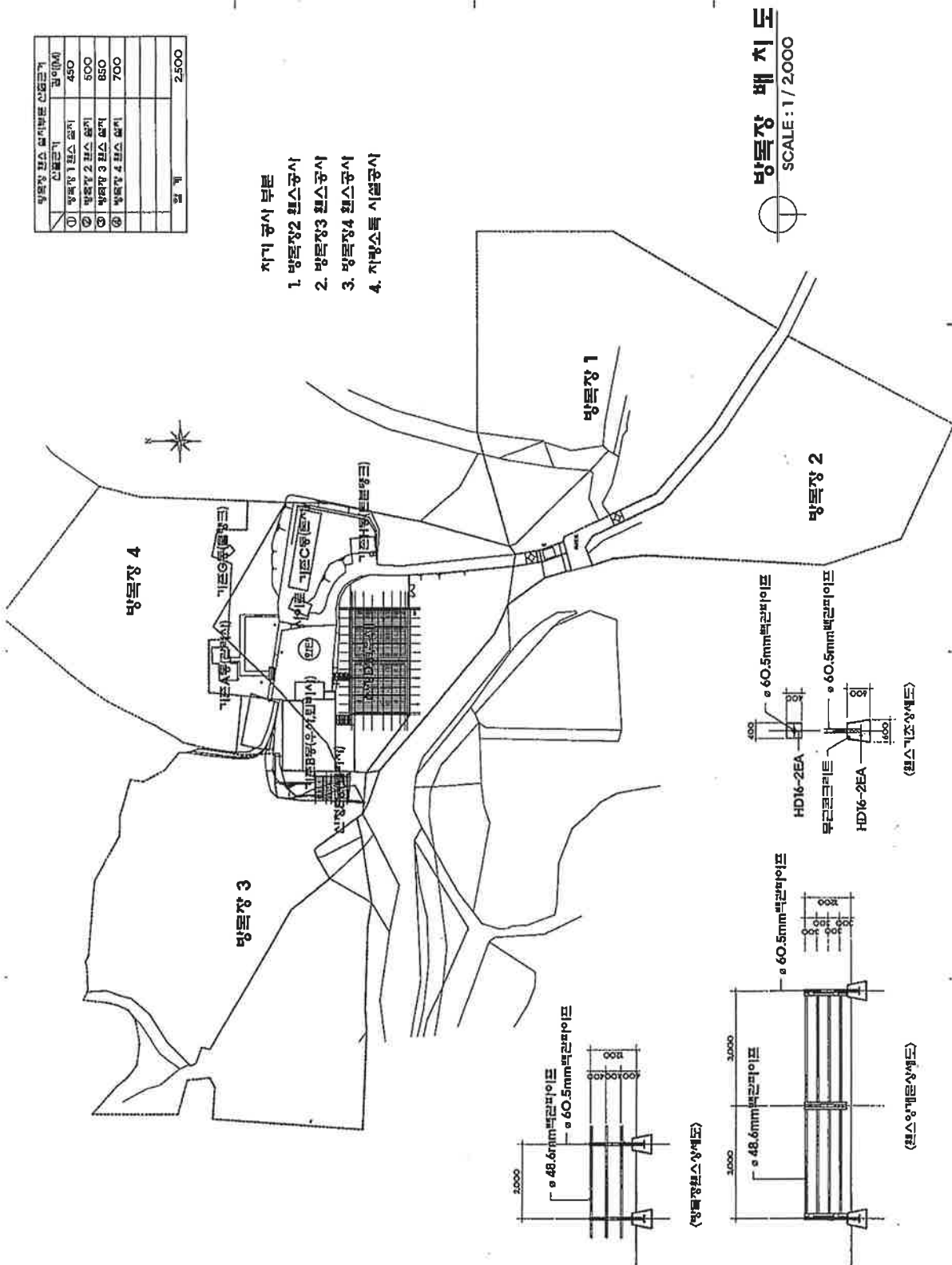
[그림 3-16] 자원순환형 번식우 사육시설 퇴비사 주단면도

⑩ 자원순환형 번식우 사육시설 퇴비사 지붕평면도



[그림 3-17] 자원순환형 번식우 사육시설 퇴비사 지붕평면도

① 자원순환형 번식우 사육시설 방목장 배치도



[그림 3-18] 자원순환형 번식우 사육시설 방목장 배치도

(3) 자원순환시스템에서 생산된 조사료(총체보리사일리지)에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가
 (가) 자원순환형에서 생산된 총체보리사일리지의 사료가치 평가

① 총체보리사일리지의 사료가치

- 청보리사일리지의 사료가치는 표 3-3에 나타난 바와 같이 조단백질 9.95, RFV 108.4 및 TDN 69.5로 사료가치가 양질의 조사료자원으로 평가.

[표 3-3] 총체보리사일리지의 사료가치

구 분	조단백질	ADF	NDF	RFV	TDN
총체보리사일리지	9.95	24.6	49.2	108.4	69.5

(나) 총체보리사일리지 급여가 한우 미경산우 및 경산우의 번식성적에 미치는 영향

① 이론적 실험적 접근방법

우리나라는 사육하고 있는 가축의 두수에 비해 조사료가 부족한 실정으로 매년 많은 량의 건초가 수입되고 있으나 근래에는 농가의 사료비 절감을 통한 소득 증대와 정부의 외화 절감 노력에 힘입어 자급사료 재배면적이 확대되고 있다. 특히 겨울철 논을 기반으로 한 사료용 보리와 이탈리아라이그라스의 재배면적이 늘어나고 있고 원형근포 사일리지의 제조 방법이 영농현장에 보급되면서 경종농가와 축산농가를 연계한 다양한 형태의 자급조사료 생산 체계가 구축되고 있다. 답리작 사료작물 중에서도 총체보리의 재배면적은 2008년에 23,000ha로 확대되었고, 재배기술이 보급되면서 사일리지 총생산량도 2007년도에 99천톤에서 2008년도에 184천톤으로 증가되었다(농림수산식품부, 2009). 총체보리는 영양가가 매우 높고 건물수량에 있어서도 이탈리아라이그라스와 비슷한 수준이며 TDN 함량이 약 65%이고 에너지 함량도 황숙기로 갈수록 증가한다(Kim et al., 2003a, 2003b). 또한 총체보리 사일리지는 겨울철 착유우의 높은 에너지 요구량도 충족시킬 수 있을 정도로 보리 알곡 내에 에너지 함량이 높고(Manninen 등, 2005, 2008) 사료비 절감, 분만간격 단축 등을 통한 총체보리에 대한 소득 향상 효과도 큰 것으로 보고되고 있다(국립식량과학원 시험연구보고서, 2007). 총체보리의 효과에 대한 연구결과들이 발표되면서 최근에는 거세우, 착유우, 염소 등에 총체보리 사일리지를 급여하여 그 효과를 구명하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 거세한우에 있어서 총체보리 사일리지를 급여할 경우에 전기간에서 걸쳐서 일반관행구에 비하여 증체가 8% 정도 더 되고, 배합사료가 28%나 절감되는 효과가 있었다고 보고되었고(농촌진흥청, 2006), 총체보리 위주의 섬유질배합사료를 젖소 착유우에 급여할 경우에 산유량이 13% 정도 증가되고 유단백, 유당, 무지고형분이 4.5-23.8% 증가되었으며 체세포수가 48% 이상 감소하여 위생적이고 안전한 고품질 우유를 생산할 수 있었다고 하였다(농촌진흥청, 2008). 또한 흑염소에 있어서도 증체량 및 일당증체량이 벚짚에 비하여 총체보리 사일리지를 급여하는 경우에 유의적으로 높았다고 보고하고 있다(황보 등, 2008). 그러나 총체보리 사일리지를 한우 번식우에 급여하였을 경우에 번식성적에 미치는 효과를 구명한 보고서는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 한우 번식우에 대한 총체보리 사일리지의 급여 효과를 구명코자 시험을 수행하였다.

② 재료 및 방법

㉑ 시험장소 및 공시동물

2007년 11월부터 동년 2008년 10월까지 1년간 전남대학교 자원순환형 한우 번식우사에서 한우 미경산우 및 경산우를 공시하였다. 미경산우는 대조구 6두, 처리구 5두 합계 11두를 공시하였고, 경산우는 대조구 및 처리구 공히 13두씩 합계 26두를 공시하여 수행하였다.

㉒ 사료급여

시험축이 너무 비만이 되지 않도록 사양하기 위하여 배합사료는 대조구의 경우 1일 두당 4kg, 처리구의 경우 1kg을 1일 2회로 나누어 급여하였고, 조사료는 대조구의 경우 벧짚을 1일 두당 7kg, 처리구의 경우 총채보리 사일리지 8kg으로 제한하여 급여하였다.

㉓ 번식시기

미경산우는 생후 17.8개월령부터 번식에 공용하였고 경산우는 분만 후 40일 이후 자원적으로 발정이 발현된 개체에 대하여 인공수정을 실시하였다.

㉔ 발정발견 및 인공수정

발정은 1일 3회 육안으로 승가허용 여부를 판정하고 질점액의 유출, 질부의 팽윤 등의 이차증상을 동반하여 승가행위를 보이면 발정이라 판정하였다. 분만 후 40일의 잠정적 수정대기 기간 (voluntary waiting period)을 지나 발정을 보이는 개체에 대한 인공수정은 인공수정사에 의해 AMPM법으로 실시하였다. 수정후 60일이 경과하면 직장검사법에 의해 임신여부를 판정하였다.

㉕ 조사방법

번식성적은 다음과 같은 기준을 적용하여 조사하였다. 분만 후 첫 수정일수는 분만 후 218일까지 수정한 개체중 분만일로 부터 첫 수정일까지의 경과일수로 하였고, 분만 후 수태까지의 일수는 분만 후 218일까지 수정한 개체중 분만일로 부터 수태일까지의 경과일수로 하였으며, 첫 수정시 수태율은 첫 수정 후 수태된 개체수를 218일 이내에 수정한 소의 수로 나누어 계산하였다. 그리고 수태당 수정횟수는 218일까지 수정을 실시한 총개체중 수태된 개체수를 총수정횟수로 나누어 계산하였다.

㉖ 통계분석

본 연구에서 얻어진 실험자료의 통계처리는 MINITABTM 을 이용하여 평균간의 유의성을 검정하였다.

③ 결과 및 고찰

[Table 3-4] Age of day at first service in heifer

Treatment ^a	No. of head	Age of day at first service
CON	6	581.0±31.0
WBS	5	531.2±21.1

^aCON = Control and WBS = Whole crop Barley Silage

생후 첫 수정일수는 표 3-4에서 나타낸 것과 같이 조사료로서 볏짚(대조구)을 급여한 경우에 581.0±31.0일령, 총체보리사일리지(처리구)를 급여한 경우에 531.2±21.1일령으로 대조구와 처리구간에 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

한우개량농가육성사업보고서(2008)에서 한우 미경산우 174,792두에 대한 초수정일령이 496.3일이라고 하였는데 이는 본 연구의 531.2-581.0일보다는 빠른 결과를 나타내었고, 백 등(1998)은 한우번식 실태조사에서 184두에 대한 초종부일령이 443.0일이었다고 보고하여 본 연구결과와는 차이를 나타내었다. 그리고 국립식량과학원 시험연구보고서(2005)의 한우 미경산우에 대한 총체보리사일리지 급여효과를 분석한 결과에서 초종부일령이 대조구 및 시험구가 각각 14.4개월령 및 13.9개월령이었다고 보고하여 본 연구결과와 차이를 나타내었는데 이는 초종부 시점의 설정이 다르기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 처리구가 대조구에 비하여 다소 단축된 결과에서는 비슷한 경향을 나타내었다.

[Table 3-5] Conception rates for first service in heifer

Treatment	No. of head	Conception for first service	
		n	%
CON	6	4	66.7
WBS	5	3	60.0

미경산우의 첫 수정 시 수태율은 표 3-5에서 보는 바와 같이 대조구가 66.7%(4/6), 처리구가 60.0%(3/5)로 대조구가 다소 높은 경향을 나타내었다.

[Table 3-6] Services per conception in heifer

Treatment	No. of head	Services per conception (times)
CON	6	1.5±0.2
WBS	5	1.4±0.2

미경산우의 수태당 수정횟수는 표 3-6에서 보는 바와 같이 대조구가 1.5±0.2회, 처리구가 1.4±0.2회였다. 한(1988)은 967두의 한우 미경산우에 대하여 수태당 수정횟수를 조사한 결과 1.61회였다고 하였는데 이는 본 연구에서 조사된 대조구 및 처리구의 수태당 수정횟수 1.4-1.5회 보다 더 많은 결과였으며, 백 등(1998)은 한우번식 실태조사에서 184두에 대한 수태당 수정횟수가 1.56회였다고 보고하였는데 이는 본 연구의 대조구와는 비슷한 경향이고 처리구보다는 낮은 결과였다. 그리고 국립식량과학원 시험연구보고서(2005)에서는 미경산우에 대한 수태당 수정횟수가 대조구 1.1회 및 시험구 1.8회였다고 보고하였는데, 이는 시험구의 수태당 수정횟수가 0.7회 높은 결과로 본 연구의 대조구 1.5회 및 처리구 1.4회의 차이보다는 큰 경향을 나타내었다.

[Table 3-7] Days to post-partum insemination

Treatment	No. of head	Days to post-partum 1st insemination (days)
CON	13	106.6±26.3
WBS	13	85.6±12.6

분만 후 첫 수정까지의 일수는 표 3-7에서 보는 바와 같이 대조구가 106.6±26.3일, 처리구가 85.6±12.6일이었으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 한(1988)이 한우 3,639두에 대하여 분만 후 첫 수정까지의 일수를 조사한 결과 78.7일이었다고 하였는데 이는 본 연구에서 조사된 처리구의 85.6일보다 더 빠른 결과였다. 그리고 백 등(1998)은 한우번식 실태조사에서 486두에 대한 발정재귀일수가 70.1일이었다고 보고하였는데, 이는 본 연구의 처리구 85.6일보다 빠른 결과를 보여주었다.

[Table 3-8] Days to postpartum conception

Treatment	No. of head	Days to 1st conception (days)
CON	13	128.4±27.1
WBS	13	96.8±16.8

분만 후 수태까지의 일수는 표 3-8에서 보는 바와 같이 대조구가 128.4±27.1일, 처리구가 96.8±16.8일이었으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 한(1988)은 한우 3,750두에 대하여 분만 후 수태까지의 일수를 조사한 결과 96.3일이었다고 하였는데 이는 본 연구에서 조사된 96.8일과 비슷한 결과였고, 백 등(1998)은 한우번식 실태조사에서 486두에 대한 분만 후 수태일수가 91.2일이었다고 보고하였는데, 이는 본 연구의 처리구와는 비슷한 경향이고 대조구보다는 빠른 결과였다. 그리고 국립식량과학원 시험연구보고서(2005)에 따르면 한우 경산우에 대한 총체보리사일리지 급여효과를 분석한 결과 1차년도에 있어서 대조구 및 시험구가 각각 54일 및 92일이었으나 2차년도에서는 대조구 및 시험구가 각각 76일 및 59일로 처리구가 공태기간이 개선되는 경향을 나타내었다고 하였는데, 1차년도의 성적은 본 연구결과와 다른 경향이었으나 2차년도의 성적은 처리구가 대조구에 비하여 다소 단축된 본 연구결과와 비슷한 경향을 나타내었다.

[Table 3-9] Post-partum conception rates for first service

Treatment	No. of head	Conception rates for first service	
		n	%
CON	13	10	76.9
WBS	13	11	84.6

분만 후 첫 수정 시 수태율은 표 3-9에서 보는 바와 같이 대조구가 76.9%(10/13), 처리구가 84.6%(11/13)로 처리구가 대조구에 비하여 다소 높은 경향을 나타내었다.

[Table 3-10] Services per conception postpartum

Treatment	No. of head	Services per conception (times)
CON	13	1.4±0.2
WBS	12	1.3±0.2

분만 후 수태당 수정횟수는 표 3-10에서 보는 바와 같이 대조구가 1.4±0.2회, 처리구가 1.3±0.2회였다. 한(1988)은 한우 경산우 3,657두에 대하여 분만 후 수태당 수정횟수를 조사한 결과 1.46회였다고 하였는데, 이는 본 연구에서 조사된 대조구의 1.4회와 비슷한 결과였으며, 백 등(1998)은 한우번식 실태조사에서 670두에 대한 분만 후 수태당 수정횟수가 1.53회였다고 보고하였는데, 이는 본 연구의 수태당 수정횟수보다 높은 결과였다. 그리고 한우개량농가육성사업보고서(2008)에 따르면 한우 470,559두에 대한 수태당 수정횟수가 1.49회라고 하였는데, 이는 본 연구의 대조구 1.4회와는 비슷하고, 처리구 1.3회보다는 높은 결과를 보여 주었다.

[Table 3-11] Calving interval

Treatment	No. of head	Calving interval (days)
CON	7	418.1±50.7
WBS	10	392.8±20.7

분만간격은 표 3-11에서 보는 바와 같이 대조구가 418.1±50.7일, 처리구가 392.8±20.7일로 대조구와 처리구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 한(1988)은 한우 경산우 3,498두에 대하여 분만간격을 조사한 결과 383.5일이었다고 하였는데, 이는 본 연구에서 조사된 대조구 및 처리구의 분만간격보다 더 단축된 결과였고, 백 등(1998)은 한우번식 실태조사에서 486두에 대한 분만간격이 375.3일이었다고 보고하였는데, 이는 본 연구의 처리구와는 비슷한 경향이고 대조구보다는 단축된 결과였다. 그리고 한우개량농가육성사업보고서(2008)에 따르면 한우 경산우 156,934두에 대한 분만간격이 408.4일이라고 하였는데, 이는 본 연구의 대조구 418.1일보다는 약간 단축되고, 처리구 392.8일보다는 약간 늦은 결과였다. 국립식량과학원 시험연구보고서(2005)에 따르면 한우 경산우에 대한 총체보리사일리지 급여효과를 분석한 결과 1차년도에 있어서 대조구 및 시험구가 각각 333일 및 387일로 대조구가 시험구에 비해 단축되었으나 2차년도에서는 대조구 및 시험구가 각각 360일 및 343일로 처리구의 분만간격이 대조구에 비하여 개선되는 경향을 나타내었다고 하였는데, 1차년도의 성적은 본 연구결과와 다른 경향이었으나 2차년도의 성적은 처리구가 대조구에 비하여 다소 단축된 본 연구결과와 비슷한 경향을 나타내었다고 보고하였다.

④ 적요

본 연구는 총체보리 사일리지 급여가 한우 미경산우 및 경산우의 번식성적에 미치는 영향을 구명하기 위하여 2008년 1월부터 동년 12월까지 전남대학교 자원순환형 한우 번식우사에서 번식성적을 조사하기 위하여 미경산우는 대조구 6두, 처리구 5두 합계 11두를 공시하였고, 경산우는 대조구 및 처리구 공히 13두씩 합계 26두를 공시하였다. 그리고 조사료는 대조구의 경우 볏짚을 1일 두당 7kg, 처리구의 경우 총체보리 사일리지 8kg을 제한급여하였고, 배합사료는 대

조구의 경우 1일 두당 4kg, 처리구의 경우 1kg을 1일 2회로 나누어 급여하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- ㉓ 미경산우의 첫 수정 시 수태율은 대조구가 66.7%(4/6), 처리구가 60.0%(3/5)였고, 미경산우의 수태당 수정횟수는 대조구가 1.5±0.2회, 처리구가 1.4±0.2회였다.
- ㉔ 분만 후 첫 수정까지의 일수는 대조구가 106.6±26.3일, 처리구가 85.6±12.6일이었고, 분만 후 수태까지의 일수는 대조구가 128.4±27.1일, 처리구가 96.8±16.8일이었다.
- ㉕ 분만 후 첫 수정 시 수태율은 대조구가 76.9%(10/13), 처리구가 84.6%(11/13)였고, 분만간격은 대조구가 418.1±50.7일, 처리구가 392.8±20.7일이었다.

2. 연구개발결과-2

나. 4차년도 연구결과

(1) 자원순환형에서 생산된 수단그라스사일리지의 사료가치 평가

(가) 수단그라스사일리지의 사료가치

- 자원순환형으로 생산된 수단그라스 사일리지의 평가 결과는 표 3-12와 같이 조단백질과 가스화영양소총량이 각각 8.15 및 64.0으로 양질의 조사료자원으로 평가되었다.

[표 3-12] 수단그라스사일리지의 사료가치

구 분	조단백질	산성세제 불용섭유	중성세제 불용섭유	상대 사료가치	가스화영양소 총량	pH
수단그라스 (사일리지)	8.15	40.2	65.3	83.0	64.0	4

(2) 자원순환시스템에서 생산된 수단그라스사일리지에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가

(가) 이론적 실험적 접근방법

우리 민족과 함께 살아온 한우가 수입산 먹거리에 의존하고 있고, 매년 1,600만톤 이상의 배합사료 원료와 수입 조사료가 80만톤 이상 수입되고 있다. 현재 안전한 축산물 먹거리 생산과 한우산업의 발전을 위해서는 사료자원의 생산을 자급화하고 이용기술의 개발을 위한 노력이 필요한 시기이다. 다행스러운 것은 최근에 정부의 조사료생산 지원정책과 축산인들의 노력에 힘입어 조사료 생산면적이 크게 증가하고 있으며, 조사료원이 벼짚 위주에서 청보리, 이탈리아라이그라스, 옥수수, 수단그라스 등 양질의 조사료로 다양해지고, 조사료 자급율이 향상되어 84% 정도에 이르고 있다(농식품부, 2009).

양질의 조사료 생산과 이용성이 높아지면서 기존의 배합사료와 볏짚급여 사양방법에서 양질의 조사료와 배합사료 급여 사양으로 한우 사양관리 방법이 변화하고 있다. 이러한 변화와 함께 양질 조사료의 효율적인 이용을 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 지 등(2010)은 소에 의한 다양한 사일리지의 이용률 및 TDN 평가를 하였으며, 서 등(2010)은 이탈리아 라이그라스와 청보리의 이른 봄 단파 및 혼파 재배 시 생산성과 사료가치를 비교 분석하였고, 박 등(2008)은 청보리, 귀리, 밀, 트리티케일(triticale)의 단위 면적 당 건물수량과 함께 이들 사료작물의 성분 함량을 기준으로 사료가치를 평가 하는 등 사료 작물에 대한 평가가 활발히 이루어지고 있다.

수수x수단그라스는 우리나라에서 옥수수 다음으로 많이 재배되고 있는 청예용 사료작물로 그 중요성은 매우 높고(서 등, 1999), 주년 조사료 생산을 위한 작부체계에서 하계작물로서는 청예 수량이 가장 많으며, 건물수량도 옥수수 다음으로 많은 것으로 보고되고 있다(강 등, 2009). 또한 경지 활용차원에서 논에서 재배가 가능한 여름철 사료작물 중 대표적인 것으로 옥수수와 수수x수단그라스 교잡종을 들 수 있는데, 옥수수보다는 수수x수단그라스 교잡종이 습해에 다소 강하여 벼 대체작물로 이용하기 위하여 검토되고 있다(임 등, 2006).

한우 번식우의 번식효율 증진을 위해서는 양질의 조사료를 생산·급여하고 최적의 사양관리를 하였을 때 번식효율의 개선을 기대할 수 있다고 한다(농촌진흥청 국립축산과학원, 2008). 그리고 조사료원으로 많이 이용되고 있는 수단그라스, 청보리, 이탈리아라이그라스와 옥수수 등에 대한 사료가치 평가가 다양한 형태로 이루어지고 있는 시점에서, 본 연구는 수단그라스 사일리지 급여가 한우 번식우의 번식효율 개선에 미치는 효과를 구명하고자 수행하였다.

(나) 재료 및 방법

① 시험장소 및 공시동물

번식우에 대한 사양시험은 2008년 11월부터 2009년 10월까지 1년간 전남대학교 실습농장의 한우 번식우사에서 수행하였으며, 공시축은 대조구 9두, 처리구 10두로 총 19두를 공시하였다.

② 사료급여

시험축이 너무 비만이 되지 않도록 사양하기 위하여 배합사료는 대조구의 경우 1일 두당 3kg, 처리구의 경우 1kg을 1일 2회로 나누어 급여하였고, 조사료는 대조구의 경우 볏짚을 1일 두당 5.0kg, 처리구의 경우 수단그라스 사일리지 12.5kg으로 제한하여 급여하였다.

③ 번식시기

분만 후 40일 이후 자원적으로 발정이 발현된 개체에 대하여 인공수정을 실시하였다.

④ 발정발견 및 인공수정

발정은 1일 3회 육안으로 승가허용 여부를 판정하고 질점액의 유출, 질부의 팽윤 등의 이차증상을 동반하여 승가행위를 보이면 발정이라 판정하였다. 분만 후 40일의 잠정적 수정대기 기간 (voluntary waiting period)을 지나 발정을 보이는 개체에 대해 인공수정사에 의해 직장질법으로 인공수정을 실시하였다. 수정후 60일이 경과하면 직장검사법에 의해 임신여부를 판정하였다.

⑤ 조사방법

번식성적은 다음과 같은 기준을 적용하여 조사하였다. 분만 후 첫 수정일수는 분만 후 218일까지 수정한 개체 중 분만일로 부터 첫 수정일까지의 경과일수로 하였고, 분만 후 수태까지의 일수는 분만 후 218일까지 수정한 개체 중 분만일로 부터 수태일까지의 경과일수로 하였으며, 첫 수정시 수태율은 첫 수정 후 수태된 개체수를 218일 이내에 수정한 소의 수로 나누어 계산하였다. 그리고 수태당 수정횟수는 218일까지 수정을 실시한 총 개체중 수태된 개체수를 총 수정

횃수로 나누어 계산하였다.

⑥ 번식우 신체충실지수(BCS) 측정방법

측정기준은 미국 육우개량협회(BIF, 1996)와 Whitman(1975)의 1-9단계를 적용한 최 등(2004)의 방법을 이용하여 인공수정 시점에서 공시축의 신체충실지수를 측정하였다.

⑦ 통계분석

본 연구에서 얻어진 실험자료의 통계처리는 MINITABTM 을 이용하여 평균간의 유의성을 검정하였다.

(다) 결과

[Table 3-13] Days to post-partum first insemination

Treatment ^a	No. of head	Days to post-partum 1st insemination (days) ^b	
		Mean ± SD	
CON	9	78.8 ± 25.3	
SGS	10	84.7 ± 24.6	

^aCON = Control and SGS = Sudan Grass Silage

분만 후 첫 수정까지의 일수는 Table 3-13에서 보는 바와 같이 대조구가 78.8±25.3일, 처리구가 84.7±24.6일이었으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 한(1988)의 보고에 의하면 한우 3,639두에 대하여 분만 후 첫 수정까지의 일수를 조사한 결과는 78.7일이었으며, 이는 본 연구에서 조사된 대조구 및 처리구의 78.8~84.7일과 유사한 결과이고, 백 등(1998)의 한우번식우에 대한 실태조사 결과에서는 486두에 대한 분만 후 첫 수정까지의 일수 70.1일 및 한 등(2002)의 64.97일 보다는 본 연구의 대조구 및 처리구의 결과가 다소 늦은 경향을 나타내었다.

[Table 3-14] Days to postpartum conception

Treatment	No. of head	Days to conception (days)	
		Mean ± SD	
CON	9	90.1 ± 24.1	
SGS	10	87.7 ± 26.8	

분만 후 수태까지의 일수는 Table 3-14에서 보는 바와 같이 대조구가 90.1±24.1일, 처리구가 87.7±26.8일이었으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

한(1988)은 한우 3,750두에 대하여 분만 후 수태까지의 일수를 조사한 결과 96.3일이었고, 백 등(1998)은 486두에 대한 분만 후 수태일수가 91.2일이었다고 보고하였는데, 이는 본 연구의 대조구 및 처리구의 87.7~90.1일과 큰 차이를 나타내지 않은 결과였다.

[Table 3-15] Post-partum conception rates for first service

Treatment	No. of head	Conception rates for first service	
		n	%
CON	9	6	66.7 ^b
SGS	10	9	90.0 ^a

분만 후 첫 수정 시 수태율은 Table 3-15에서 보는 바와 같이 대조구가 66.7%, 처리구가 90.0%로 처리구와 대조구간에 유의적인 차이를 나타내었다.

[Table 3-16] Services per conception postpartum

Treatment	No. of head	Services per conception (times)
		Mean \pm SD
CON	9	1.56 \pm 0.3
SGS	10	1.10 \pm 0.2

분만 후 수태당 수정횟수는 Table 3-16에서 보는 바와 같이 대조구가 1.56 \pm 0.3회, 처리구가 1.10 \pm 0.2회였다. 한(1988)은 한우 경산우 3,657두에 대하여 분만 후 수태당 수정횟수를 조사한 결과 1.46회, 백 등(1998)은 한우번식 실태조사에서 670두에 대해 조사한 결과 1.53회 및 한우 개량농가육성사업보고서(2008)는 1.49회라고 보고하였는데, 이는 본 연구의 대조구 1.56회와는 큰 차이가 없었으나, 처리구의 1.10회 보다는 약간 높은 경향을 나타내었다.

[Table 3-17] Calving interval

Treatment	No. of head	Calving interval (days)
		Mean \pm SD
CON	9	375.1 \pm 46.7
SGS	10	370.2 \pm 34.4

분만간격은 Table 3-17에서 보는 바와 같이 대조구가 375.1 \pm 46.7일, 처리구가 370.2 \pm 34.4일로 대조구와 처리구간에 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

본 연구의 분만간격 370.2~375.1일은 한(2002)의 한우개량단지 평균 분만간격 355.9일 및 국립식량과학원 시험연구보고서(2005)의 360일보다는 약간 늦은 경향이었고, 백 등(1998)의 375.3일과는 유사하였으며, 한 등(1987)의 383.46일, 한(1988)의 383.5일, 김 등(1993)의 388.6일 및 농협중앙회 한우개량농가육성사업보고서(2008)의 408.4일보다는 다소 빠른 경향을 나타내었다.

[Table 3-18] Body condition score(BCS) at artificial insemination

Treatment	No. of head	BCS
CON	9	5.36
SGS	10	4.93

번식우의 인공수정시 신체충실지수는 Table 3-18에서 보는 바와 같이 대조구가 신체충실지수 5.36 처리구가 4.93이었다. 최 등(2004)은 번식우의 신체충실지수가 4와 5일 때 가장 적당하다고 하였는데, 대조구의 경우 신체충실지수 5 이상이었고, 처리구의 경우 4~5 사이에 포함되는 수치를 나타내었다.

(라) 고찰

한우산업의 발전을 위해서는 한우 사육농가들의 생산기반을 강화하고 더욱 발전시켜야 하며, 특히 한우 번식우에서 양질조사료를 이용한 우량 송아지 생산기술은 매우 중요하다고 할 수 있다. 번식우의 정상적인 번식활동을 위해서는 적정 영양수준을 고려해야 한다(Maynard 등, 1979). 즉 번식용 암소의 건강유지와 태아의 발육, 젖먹이 어미소의 분만 후 자궁회복과 건강유지, 송아지에게 수유할 젖생산에 필요한 충분한 영양분의 공급(Kunkle 등, 1993) 등 번식단계에 따라 조사료를 이용하는 데는 영양적 지표가 필요하다. 수단그라스 사일리지를 한우 번식우에 급여하였을 때 분만 후 첫 수정까지의 일수가 대조구 78.8±25.3일 및 처리구 85.1±22.6일로 유의적인 차이가 나타나지 않았고, 분만 후 수태까지의 일수도 대조구 90.1±24.1일 및 처리구 87.7±26.8일로 구간에 차이를 나타내지 않았으며, 수태당 수정횟수도 대조구 1.56±0.2회, 처리구 1.10±0.2회로 구간에 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 그러나 수단그라스 사일리지를 한우 번식우에 급여하였을 때 분만 후 첫 수정 시 수태율이 대조구 66.7% 및 처리구 90.9%로 처리구가 대조구에 비하여 24.2% 높은 것으로 나타났다(p<0.05).

인공수정 시점에서의 번식우 신체충실지수는 대조구 5.36 처리구 4.93로, 최 등(2004)이 제시한 번식우의 적정 신체충실지수인 4와 5와 비교하여 볼 때, 대조구의 경우 신체충실지수 5 이상이었고, 처리구의 경우 4~5 사이에 포함되는 결과였다. 또한 Kunkle 등(1993)은 번식우의 신체충실지수가 4.5~5.4가 되도록 사양관리 시 번식효율 개선 및 경제적 이익을 기대할 수 있다고 하였는데, 이는 본 연구에서 얻은 분만 후 첫 수정시 수태율에 있어서 처리구의 90.9%는 물론 대조구의 66.7%도 양호한 결과로써 적정 신체충실지수의 유지와도 관련이 있는 것으로 사료된다.

이상에서 조사료의 이용성을 높이기 위한 일환으로써 수단그라스 사일리지를 한우 번식우에 급여하여 분만 후 첫 수정까지의 일수, 분만 후 수태까지의 일수, 분만 후 첫 수정 시 수태율, 분만 후 수태당 수정횟수, 분만간격 및 번식우의 평균 신체충실지수 변화를 살펴보았는데 수단그라스 사일리지를 급여할 때는 주기적인 신체충실지수 측정을 통하여 야위거나 과비되지 않도록 사양관리를 하는 것이 중요할 것으로 사료된다.

(마) 적요

수단그라스사일리지 급여가 한우 경산우의 번식성적에 미치는 영향을 구명하기 위하여 2008년 11월부터 2009년 10월까지 1년간 전남대학교 한우대표실습장의 한우 번식우사에서 번식성적을 조사하기 위하여 번식우를 대조구 9두 및 처리구 10두 총 19두를 공시 하였다. 그리고 번식우 1두당 1일 대조구는 두당 농후사료 3kg과 볏짚 5kg을 처리구는 농후사료 1kg과 수단그라스사일리지 12.5kg을 급여하며 번식 상황 및 신체충실지수 변화를 조사하였으며, 시험결과는 다음과 같다.

- ① 분만 후 첫 수정까지의 일수는 대조구가 78.8±25.3일, 처리구가 84.7±24.6일이었고, 분만 후 수태까지의 일수는 대조구가 90.1±24.1일, 처리구가 87.7±26.8일 이었다.
- ② 분만 후 첫 수정 시 수태율은 대조구가 66.7%, 처리구가 90.0%였고, 분만간격은 대조구가 375.1±46.7일, 처리구가 370.2±34.4 일로 조사되었다.
- ③ 인공수정시 처리구별 번식우의 신체충실지수는 대조구가 5.36이고, 처리구는 4.93이었다.

(3) 자원순환시스템에서 생산된 총체보리사일리지에 대한 비육우에 대한 육성단계 평가

(가) 자원순환형으로 생산된 총체보리사일리지의 사료가치 평가

① 총체보리사일리지의 사료가치

- 청보리 사일리지에 대한 사료가치는 표 3-19에서 보는 바와 같이 조단백질 함량은 9.95로 양질의 조사료자원으로 평가됨.

[표 3-19] 총체보리사일리지의 사료가치

구분	조단백질	산성세제 불용섬유	중성세제 불용섬유	상대사료가치	가소화영양소 총량
청보리 (사일리지)	9.95	24.6	49.2	108.4	69.5

(나) 남부지역 자원순환형 조사료에 대한 육성단계 비육우의 사양성적 평가

① 육성단계 비육우의 사양성적

청보리 사일리지에 대한 비육우 육성단계 사양성적은 표 3-20과 같다.

본 연구는 자원순환형으로 생산된 총체보리사일리지 급여가 육성우의 육성기시에 미치는 효과를 조사하고자, 2008년 11월부터 2009년 8월까지 전남대학교 자연순환형 한우 비육우사에서 관행구는 10.4월령 6두, 처리구는 9.7월령 7두로 총 거세육성 한우 13두를 공시하여, 육성우 1두당 1일 대조구는 농후사료 8kg과 볏짚 4.2kg을 처리구는 농후사료 6kg과 총체보리사일리지 9.8kg을 급여하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 개시체중은 관행사육구 10.4개월령 및 250.2kg, 자원순환사육구 9.7개월 및 228.3kg이었다.
- 증체량 및 일당증체량은 관행사육구 180.0kg 및 0.566kg, 자원순환사육구 180.5kg 및 0.568kg이었다.
- 육성단계 비육우에 대한 자원순환형 청보리사일리지 급여는 증체량 및 일당증체량의 차이는 없는 반면에 농후사료 절감효과를 기대할 수 있었다.

[표 3-20] 총체보리 사일리지 급여한 비육우에 대한 육성성적

구 분	관행사육구	자원순환사육구
개시월령	10.4	9.7
개시체중(kg)	250.2	228.3
종료체중(kg)	431.6	409.9
증체량(318일, kg)	180.0	180.5
일당증체량(kg)	0.566	0.568
농후사료 섭취량(일/kg)	8.0	6.0
조사료 섭취량(일/kg)	4.2	9.8



② 육성단계 비육우 초음파 육질성적

청보리 사일리지에 대한 비육우 육성단계 초음파 육질성적은 표 3-21과 같았다.

본 연구는 자원순환형으로 생산된 총체보리사일리지 급여가 육성우의 육성기시에 등지방 두께, 근내지방도 및 등심단면적에 미치는 효과를 조사하고자, 2008년 11월부터 2009년 8월까지 전남대학교 자연순환형 한우 비육우사에서 관행구는 10.4월령 6두, 처리구는 9.7월령 7두로 총 거세 육성 한우 13두를 공시하여, 육성우 1두당 1일 대조구는 농후사료 8kg과 볏짚 4.2kg을 처리구는 농후사료 6kg과 총체보리사일리지 9.8kg을 급여하고, 실험 기간동안 초음파육질 진단기를 이용하여 육성우의 등지방 두께, 근내지방도, 등심단면적의 변화를 조사하여, 관행사육구는 20.5개월령, 자원순환형사육구는 19.7개월령의 초음파 측정 시험결과는 다음과 같다.

- 비육단계 육성우의 등지방 두께는 관행사육구 3.4mm, 자원순환사육구 3.0mm이었다.
- 비육단계 육성우의 근내지방도는 관행사육구 2.8, 자원순환사육구 1.8이었다.
- 비육단계 육성우의 등심단면적은 관행사육구 52cm², 자원순환사육구 51cm²이었다.

[표 3-21] 총체보리 사일리지 급여한 비육우에 대한 초음파 육질성적

초음파 결과	관행사육구	자원순환사육구
체중(kg)	431.6	409.9
개월령(개월)	20.5	19.7
등지방 두께(mm)	3.4	3.0
근내지방도	2.8	1.8
등심단면적(cm ²)	52	51
초음파 영상		

③ 고찰

남부지역 자원순환형 조사료에 대한 육성단계 비육우의 사양성적 분석결과 양질의 총체보리조사료 급여가 육성단계 한우의 증체량 및 일당증체량에 큰 변화를 가져오지는 않았으나, 농후사료 비용 절감과 한우의 반추위 능력 발달에 도움이 될 것으로 사료되며, 초음파 육질진단 결과 성장단계 불필요한 등지방 및 근내지방의 축적일 줄고 등심단면적 향상 및 성장 발달에 도움이 될 것으로 사료된다.

3. 연구개발결과-3

다. 5차년도 연구결과

(1) 자원순환형에서 생산된 이탈리아라이그라스 사일리지의 사료가치 평가

(가) 이탈리아라이그라스 사일리지 사료가치

- 자원순환형으로 생산된 이탈리아라이그라스 사일리지의 평가는 표 3-22와 같이 조단백질과 가소화영양소총량이 각각 10.43 및 62.0으로 양질의 조사료자원으로 평가되었다.

[표 3-22] 이탈리아라이그라스 사일리지 사료가치

구 분	조단백질	산성세제 불용섬유	중성세제 불용섬유	상대 사료가치	가소화영양소총량
이탈리아라이그라스 사일리지	10.43	41.5	60.82	99	62.0

(2) 자원순환시스템에서 생산된 이탈리아라이그라스사일리지에 대한 번식우 번식성적과 이용실태 평가

(가) 이론적 실험적 접근방법

재 축산물의 시장개방 가속화, 국내 축산물 브랜드광역화 및 브랜드간 경쟁 심화, 사료가격 불안, 가축분뇨 문제 등 축산여건의 악화가 가중되고 있는가 하면, 소비자들의 안전한하고 좋은 품질의 먹거리 요구에 따른 축산물 원산지 확인 및 직거래 형태의 인터넷쇼핑몰 증가 등 유통 경로 다원화로 새로운 활로가 생기고 있는 시점으로, 지속 가능한 축산업으로의 변화와 안전한 식품에 대한 소비자 수요에의 부응과 저탄소 녹색축산을 통한 외국농축산물과의 차별화 및 고부가가치 창출을 위한 축산업의 발전 및 변화가 절실한 시점이다. 2009년 통계청 자료에 따르면 한우는 우리나라 농촌경제 농림업 생산액 중 8.9%를 차지하는 가축으로 우리나라를 대표하는 축종이라 할 수 있겠다. 통계청 2009년 축산물생산비 조사결과 보도자료에 따르면 한우번식우의 번식률은 78.6%이며, 수익성은 -686,121원, 송아지 생산비는 2,467,250원으로 이중 사료비가 1,164,662원이다. 한우 번식우의 번식효율 증진을 위해서는 양질의 조사료를 생산·급여하고 최적의 사양관리를 하였을 때 번식효율의 개선을 기대할 수 있다고 한다(농촌진흥청 국립축산과학원, 2008).

우리 민족과 함께해온 한우사업의 안정과 발전을 위해 번식우의 번식률을 높이고, 송아지 생산비 등을 줄이기 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 지 등(2010)의 소에 의한 다양한 사일리지의 이용률 및 TDN 평가, 강 등(2003)의 농후사료 급여수준 및 방목이 추계분만 한우 암송아지의 성장발육, 사료이용성 및 번식능력에 미치는 효과, 서 등(2010)의 이탈리아 라이그라스와 청보리의 이른 봄 단파 및 혼파 재배 시 생산성과 사료가치 비교 분석 등 많은 연구가 활발히 이루어져, 조사료 자급율이 84%에 이르고 있다(농식품부, 2009).

이탈리아라이그라스는 내습성이 강하여 배수가 양호한 논토양에서 생육이 좋아 답리작 재배가치가 높은 작물이며, 초기생육이 빠르고 여러 번 수확이 가능해 건물 생산성이 우수하며, 조사료로서 품질이 매우 우수하여 가축의 기서성이 우수 하다. 특히 남부지방의 답리작으로 많이 재배되고 있는 사료작물이다(이 등, 1992).

번식우의 번식효율 및 사료비 절감을 위한 조사료원으로 많이 이용되고 있는 이탈리아라이그라스, 청보리, 수단그라스와 옥수수 등에 대한 사료가치 평가가 다양한 형태로 이루어지고 있는 시점에서, 본 연구는 이탈리아라이그라스 사일리지 급여가 한우 번식우의 번식효율 개선에 미치는 효과를 구명하고자 수행하였다.

(나) 재료 및 방법

① 시험장소 및 공시동물

번식우에 대한 사양시험은 2009년 11월부터 2010년 8월까지 전남대학교 실습농장의 한우 번식우사에서 수행하였으며, 공시축은 대조구 15두, 처리구 16두로 총 31두를 공시하였다.

② 사료급여

시험축이 너무 비만이 되지 않도록 사양하기 위하여 배합사료는 대조구의 경우 1일 두당 3kg, 처리구의 경우 1kg을 1일 2회로 나누어 급여하였고, 조사료는 대조구의 경우 볏짚을 1일 두당 5.0kg, 처리구의 경우 이탈리아라이그라스 사일리지 10.0kg으로 제한하여 급여하였다.

③ 번식시기

분만 후 40일 이후 자연적으로 발정이 발현된 개체에 대하여 인공수정을 실시하였다.

④ 발정발견 및 인공수정

발정은 1일 3회 육안으로 증가허용 여부를 판정하고 질점액의 유출, 질부의 팽윤 등의 이차증상을 동반하여 증가행위를 보이면 발정이라 판정하였다. 분만 후 40일의 잠정적 수정대기 기간 (voluntary waiting period)을 지나 발정을 보이는 개체에 대해 인공수정사에 의해 직장질법으로 인공수정을 실시하였다. 수정후 60일이 경과하면 직장검사법에 의해 임신여부를 판정하였다.

⑤ 조사방법

번식성적은 다음과 같은 기준을 적용하여 조사하였다. 분만 후 첫 수정일 수는 분만 후 218일까지 수정한 개체 중 분만일로부터 첫 수정일까지의 경과일수로 하였고, 분만 후 수태까지의 일수는 분만 후 218일까지 수정한 개체 중 분만일로부터 수태일까지의 경과일수로 하였으며, 첫 수정시 수태율은 첫 수정 후 수태된 개체수를 218일 이내에 수정한 소의 수로 나누어 계산하였다. 그리고 수태당 수정횟수는 218일까지 수정을 실시한 총 개체중 수태된 개체수를 총 수정횟수로 나누어 계산하였다.

⑥ 번식우 신체충실지수(BCS)측정방법

측정기준은 미국 육우개량협회(BIF, 1996)와 Whitman(1975)의 1-9단계를 적용한 최등(2004)의 방법을 이용하여 인공수정 시점에서 공시축의 신체충실지수를 측정하였다.

⑦ 통계분석

본 연구에서 얻어진 실험자료의 통계처리는 MINITAB™을 이용하여 평균간의 유의성을 검정하였다.

(다) 연구결과

[Table 3-23] Days to post-partum first insemination

Treatment ^a	No. of head	Days to post-partum 1st insemination (days) ^b	
		Mean ± SD	
CON	15	70.2 ± 12.8	
IRGS	16	62.3 ± 8.55	

^aCON = Control and IRGS = Italian ryegrass Silage

분만 후 첫 수정까지의 일수는 Table 3-23에서 보는 바와 같이 대조구가 70.2±12.8일, 처리구가 62.3±8.55일이었으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 백 등(1998)의 한우번식우에 대한 실태조사 결과에서 486두에 대한 분만 후 첫 수정까지의 일수 70.1일 및 한 등(2002)은 64.97일이었는데, 이는 본 연구에서 조사된 대조구 및 처리구의 70.2~62.3일과 유사한 결과이고, 한(1988)의

한우 3,639두에 대한 분만 후 첫 수정까지의 일수를 조사한 결과 78.7일보다는 본 연구의 대조구 및 처리구의 결과가 다소 빠른 경향을 나타내었다.

[Table 3-24] Days to postpartum conception

Treatment	No. of head	Days to conception (days)	
		Mean ± SD	
CON	15	75.8 ± 8.99	
IRGS	16	63.6 ± 7.23	

분만 후 수태까지의 일수는 Table 3-24에서 보는 바와 같이 대조구가 75.8±8.99일, 처리구가 63.6±7.23일이었으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

한(1988)은 한우 3,750두에 대하여 분만 후 수태까지의 일수를 조사한 결과 96.3일이었고, 백 등(1998)은 486두에 대한 분만 후 수태일수가 91.2일이었다고 보고하였는데, 이는 본 연구의 대조구 및 처리구의 75.8, 63.6일이 다소 빠른 경향을 나타내었다.

[Table 3-25] Post-partum conception rates for first service

Treatment	No. of head	Conception rates for first service	
		n	%
CON	15	11	73.3
IRGS	16	15	93.7

분만 후 첫 수정 시 수태율은 Table 3-25에서 보는 바와 같이 대조구가 73.3%, 처리구가 93.7%로 처리구와 대조구간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

[Table 3-26] Services per conception postpartum

Treatment	No. of head	Services per conception (times)	
		Mean ± SD	
CON	15	1.27 ± 0.46	
IRGS	16	1.06 ± 0.25	

분만 후 수태 당 수정횟수는 Table 3-26에서 보는 바와 같이 대조구가 1.27±0.46회, 처리구가 1.06±0.25회였다. 한(1988)은 한우 경산우 3,657두에 대하여 분만 후 수태 당 수정횟수를 조사한 결과 1.46회, 백 등(1998)은 한우 번식 실태조사에서 670두에 대해 조사한 결과 1.53회 및 한우 개량농가 육성사업보고서(2008)는 1.49회라고 보고하였는데, 이는 본 연구의 대조구 1.27회와는 큰 차이가 없었으나, 처리구의 1.06회 보다는 약간 높은 경향을 나타내었다.

[Table 3-27] Calving interval

Treatment	No. of head	Calving interval (days)
		Mean \pm SD
CON	15	361.2 \pm 9.92
IRGS	16	348.4 \pm 7.26

분만 간격은 Table 3-27에서 보는 바와 같이 대조구가 361.2 \pm 9.92일, 처리구가 348.4 \pm 7.26일로 대조구와 처리 구간에 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

본 연구의 분만 간격 348.4~361.2일은 한(2002)의 한우개량 단지 평균 분만 간격 355.9일 및 국립식량과학원 시험연구보고서(2005)의 360일과 유사한 경향이었고, 백등(1998)의 375.3일, 한 등(1987)의 383.46일, 한(1988)의 383.5일, 김 등(1993)의 388.55일 및 농협중앙회 한우개량농가 육성사업보고서(2008)의 408.4일보다는 다소 빠른 경향을 나타내었다.

[Table 3-28] Body condition score(BCS) at artificial insemination

Treatment	No. of head	BCS
CON	15	5.13 \pm 0.29
IRGS	16	4.90 \pm 0.20

번식우의 인공수정시 신체충실지수는 Table 3-28에서 보는 바와 같이 대조구가 신체충실지수 5.13 처리구가 4.90이었다. 최 등(2004)은 번식우의 신체충실지수가 4와 5일 때 가장 적당하다고 하였는데, 대조구의 경우 신체충실지수 5 이상이었고, 처리구의 경우 4~5 사이에 포함되는 수치를 나타내었다.

(라) 고찰

한우산업의 생산기반을 강화를 위해서는 한우 번식우 농가들의 우량송아지 생산 기술이 높아져야 한다. 특히 한우 번식우에서 양질조사료를 이용한 1년 1두 송아지 생산은 매우 중요하다. 양질조사료를 이용한 번식우 적정 영양수준을 고려(Maynard 등, 1979)하고 번식우의 번식효율을 높여야 한다. 즉 번식우의 건강유지와 태아발육, 젖먹이 어미소의 자궁회복과 건강유지, 송아지 수유 등에 필요한 충분한 영양분의 공급(Kunkle 등, 1993) 등 번식단계에 따른 관리가 우선된다. 그리고 양질조사료를 이용 하기 위해서는 조사료의 특성에 따른 영양적 지표가 필요하다.

이탈리안 라이그라스 사일리지를 한우 번식우에 급여하였을 때 분만 후 첫 수정까지의 일수가 대조구 70.2 \pm 12.84일 및 처리구 85.1 \pm 22.6일로 유의적인 차이가 나타나지 않았고, 분만 후 수태까지의 일수도 대조구 75.8 \pm 8.99일 및 처리구 63.6 \pm 7.23일로 구간에 차이를 나타내지 않았으며, 수태 당 수정횟수도 대조구 1.27 \pm 0.2회, 처리구 1.06 \pm 0.2회로 구간에 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 그리고 이탈리안 라이그라스 사일리지를 한우 번식우에 급여하였을 때 분만 후 첫 수

정 시 수태율이 대조구 73.3% 및 처리구 93.7%로 처리구가 대조구에 비하여 24.2% 높은 것으로 나타났으나 구간에 차이는 없었다.

인공수정 시점에서의 번식우 신체충실지수는 대조구 5.13 처리구 4.90로, 최 등(2004)이 제시한 번식우의 적정 신체충실지수인 4와 5와 비교하여 볼 때, 대조구의 경우 신체충실지수 5 이상이었고, 처리구의 경우 4~5 사이에 포함되는 결과였다. 또한 Kunkle 등(1993)은 번식우의 신체충실지수가 4.5~5.4가 되도록 사양관리 시 번식효율 개선 및 경제적 이익을 기대할 수 있다고 하였는데, 이는 본 연구에서 얻은 분만 후 첫 수정시 수태율에 있어서 처리구의 93.7%는 물론 대조구의 73.3%도 양호한 결과로써 적정 신체충실지수의 유지와도 관련이 있는 것으로 사료된다.

이상에서 조사료의 이용성을 높이기 위한 일환으로써 이탈리아 라이그라스 사일리지를 한우 번식우에 급여하여 분만 후 첫 수정까지의 일수, 분만 후 수태까지의 일수, 분만 후 첫 수정시 수태율, 분만 후 수태당 수정횟수, 분만 간격 및 번식우의 평균 신체충실지수 변화를 살펴 보았는데 이탈리아 라이그라스 사일리지를 급여할 때는 주기적인 신체충실지수 측정을 통하여 야위거나 과비되지 않도록 사양관리를 하는 것이 중요할 것으로 사료되며, 번식우 농가들의 양질조사료를 이용한 1년 1두 송아지 생산이 빠른 게 정착되었으면 한다.

(마) 적요

이탈리아라이그라스사일리지 급여가 한우 경산우의 번식성적에 미치는 영향을 구명하기 위하여 2009년 11월부터 2010년 8월까지 전남대학교 한우대표실습장의 한우 번식우사에서 번식성적을 조사하기 위하여 번식우를 대조구 15두 및 처리구 16두 총 31두를 공시 하였다. 그리고 번식우 1두당 1일 대조구는 두당 농후사료 3kg과 볏짚 5kg을 처리구는 농후사료 1kg과 이탈리아 라이그라스사일리지 10.0kg을 급여하며 번식 상황 및 신체충실지수 변화를 조사하였으며, 시험결과는 다음과 같다.

- ① 분만 후 첫 수정까지의 일수는 대조구가 70.2 ± 12.84 일, 처리구가 62.3 ± 8.55 일이었고, 분만 후 수태까지의 일수는 대조구가 75.8 ± 8.99 일, 처리구가 63.6 ± 7.23 일 이었다.
- ② 분만 후 첫 수정 시 수태율은 대조구가 73.3%, 처리구가 93.7%였고, 분만간격은 대조구가 361.2 ± 9.92 일, 처리구가 348.4 ± 7.26 일로 조사되었다.
- ③ 인공수정시 처리구별 번식우의 신체충실지수는 대조구가 5.13 ± 0.29 이고, 처리구는 4.90 ± 0.20 이었다.

(3) 자원순환시스템에서 생산된 총체보리사일리지에 대한 비육우에 대한 비육단계 평가

(가) 이론적 실험적 접근방법

최근 우리나라의 한우산업은 사료비의 상승과 국내쇠고기의 가격 불안정, 외국 쇠고기 수입등으로 많은 어려움에 처해 있다. 우리나라는 사육하고 있는 반추가축의 사육두수에 비해 조사료가 매우 부족한 실정으로 2009년 조사료 중 국내산은 4백37만3천톤(84%), 수입은 83만톤(16%)으로 국내산 조사료 가운데 볏짚 등 품질이 낮은 조사료가 52%(2백27만2천톤)를 차지하고 있는 것으로 나타났다(농림수산식품부, 2009). 근래에는 농가의 사료비 절감을 통한 소득 증대와 정부의 외화 절감 노력에 힘입어 자급사료 재배면적이 확대되고 있는데, 농식품부에 따르면 국

내 총 사료작물 재배면적은 2007년 12만3000ha, 2008년 15만2000ha이며 그 중 청보리 생산면적은 2007년 1만2000ha, 2008년 2만3000ha인 것으로 보고하고 있으며, 2009년도에는 국내 총 사료작물 재배면적이 19만3000ha, 청보리 4만ha가 재배되었으며 사일리지 총생산량도 2007년도에 99천톤에서 2008년도에 184천톤으로 증가되었다(농림수산식품부, 2009). 겨울철 논을 이용한 사일리지용 총체보리의 재배는 조사료생산은 물론 농가소득 향상 및 토지이용률 증가 국토의 공익적 기능이나 국민 정서 함양에도 크게 기여하고 있다. 답리작 총체보리는 벼가 수확된 이후의 가을부터 다음해 봄까지 재배되는 겨울작물에 속하므로 여름재배 사료작물에 비해 제초 및 병충해가 적어 친환경적인 고품질의 한우고기를 생산할 수 있는 장점을 가지고 있다. 총체보리는 영양가가 매우 높고 건물수량에 있어서도 이탈리아라이그라스와 비슷한 수준이며 TDN 함량이 약 65%이고 에너지 함량도 황숙기로 갈수록 증가한다(김 등, 2003).

총체보리 사일리지는 겨울철 착유우의 높은 에너지 요구량도 충족시킬 수 있을 정도로 보리 알곡 내에 에너지 함량이 높고(Manninen et al., 2008) 사료비 절감, 분만간격 단축 등을 통한 총체보리에 대한 소득 향상 효과도 큰 것으로 보고되고 있다(국립식량과학원 시험연구보고서, 2007). 총체보리의 효과에 대한 연구결과들이 발표되면서 최근에는 거세우, 착유우, 염소 등에 총체보리 사일리지를 급여하여 그 효과를 구명하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 거세한우에 있어서 총체보리 사일리지를 급여할 경우에 전기간에서 걸쳐서 일반관행구에 비하여 증체가 8% 정도 더 되고, 배합사료가 28%나 절감되는 효과가 있었다고 보고되었고, 총체보리 위주의 섬유질배합사료를 육성기에 있는 거세한우에 급여하였을때 일당증체량은 관행구와 대등하지만 도체등급에서 육량과 육질등급이 높게 나타났으며, 등지방 두께와 배최근단면적이 개선되는 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 총체보리 위주의 섬유질배합사료를 젖소 착유우에 급여할 경우에 산유량이 13% 정도 증가되고 유단백, 유당, 무지고형분이 4.5~23.8% 증가되었으며 체세포수가 48% 이상 감소하여 위생적이고 안전한 고품질 우유를 생산할 수 있었다고 하였다(농촌진흥청, 2009). 흑염소에 있어서도 증체량 및 일당증체량이 벼짚에 비하여 총체보리 사일리지를 급여하는 경우에 유의적으로 높았다고 보고하고 있다(황보 등, 2008). 또한 총체보리 사일리지를 한우 번식우에 급여하였을때 분만 후 첫 수정일 및 수태일이 단축되었으며 수태율은 개선되었다고 하였다(문 등 2008).

이와 같이 답리작 총체보리 재배와 한우사육은 경종과 축산을 연계한 자원순환농업체계를 손쉽게 구축할 수 있다. 자원생태계의 영속적인 물질순환기능을 활용하여 작물과 가축이 건강하게 자라게 하고 농축산물의 안전성과 품질을 높이고자 하는 자원순환농업은 특정자재의 사용 또는 특정농법에 한정되지 않고 자원계 물질순환의 균형을 추구하는 모든 농업을 의미하며 구체적으로 가축분뇨 퇴액비 등 유기질 자원을 토양에 환원시켜 토양을 건전하게 유지 보전하면서 농업생산성을 확보하고자 하는 농업을 의미한다. 자원순환농업의 모형은 토양작물(식물) 가축(동물)을 연계하는 동적시스템으로 먼저 국토의 효율적인 개발과 경지이용을 통하여 부존 식물자원을 최대한으로 활용할 수 있고, 나아가 생산되는 육류의 안정성이 높아 소비자의 육구를 충족시킬 수 있으며, 소비자 입장에서 사육방식과 생산된 제품의 추적이 가능하며, 가축분뇨를 식량과 사료자원의 생산에 필요한 유지자원으로 활용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 연구는 자원순환형으로 생산된 총체보리사일리지를 거세한우에 급여하였을때 성장, 도체성적 및 육질에 미치는 영향을 구명코자 시험을 수행하였다.

(나) 재료 및 방법

① 시험재료 및 사양관리

자원순환형 일관사육시스템에서 사육된 12개월령 한우 거세우(평균체중 285±10.5kg) 12두를 공시하였다. 사양시험은 2008년 11월부터 2010년 4월까지 18개월간 전남대학교 나주실습장에서 실시하였으며, 시험도살은 농협중앙회 나주축산물공판장에서 수행하였다. 시험사료는 비육전기(13~18개월령까지)는 큰소비육전기 후레이크사료를 체중의 1.8% 급여하였으며, 비육후기(19개월~29개월령)는 큰소비육후기 후레이크 사료를 자유채식하게 하였다. 시험사료의 일반성분은 AOAC(2000) 방법으로 분석하였으며 그 화학적 성분은 Table 3-29와 같다. 한우 거세우 12두는 자원순환형 깔짚우사에 2개 시험구에 3두씩 완전임의 배치하였으며, 대조구는 관행사육 방식으로 농후사료 + 일반 볏짚을 급여하였으며, 총채보리사일리지 급여구는 자원순환형으로 생산된 총채보리사일리지를 급여하였다. 시험축은 자원순환형 비육우 깔짚우사에서 사양했으며, 사료 급여는 오전 9시와 오후 5시로 하루 2회 나누어 급여하였으며, 미네랄블럭과 물은 자유급여하였다.

[Table 3-29] Chemical composition of experiment diets (% , as-fed basis)

Items	Concentrates			Roughages	
	Finisher I	Finisher II	Finisher III	Rice straw	WBS
Moisture	14.2	14.3	14.5	11.4	73.4
Crude protein	12.7	10.5	10.0	3.7	3.2
Ether extract	3.2	3.2	3.4	0.9	0.7
Crude fiber	4.0	3.1	3.2	27.9	6.7
Crude ash	4.1	3.5	3.6	14.3	2.1
Calcium	0.4	0.5	0.5	0.1	0.1
Phosphorus	0.4	0.4	0.5	0.4	0.1
TDN ¹⁾	71.4	72.5	73.1	38.7	18.2

1) Total digestible nutrients

② 체중, 사료섭취량 및 사료요구율

체중은 시험개시 체중과 비육전기, 중기 및 시험종료 체중으로 측정하였으며, 사료섭취량은 체중 측정일에 아침 사료를 급여하기 전에 전날에 급여한 사료의 잔량을 측정하는 방법으로 계산하였고, 사료요구율은 사료섭취량에 증체량을 나누어 계산하였다.

③ 도체성적 및 부분육 성적

사양시험 종료 후 농협중앙회 나주축산물 공판장에 출하하여 도축하였다. 소 도체의 육량 및 육질평가는 농림부 고시 제2004-66호의 축산물등급판정 세부기준(2004)에 준하여 실시하였으며, 부분육 생산 성적은 농림부 고시 제2005-50호의 식육의 부위별, 등급별 및 종류별 구분방법(2005)에 준하여 실시하였다.

④육 시료 채취 및 이화학적 성분 분석

분석용 시료는 제11~13 흉추 부위의 배최장근에서 시료를 채취하였으며, 육질분석용 시료는 배최장근을 채취하며 각 실험은 3반복으로 실시하였다. 수분, 조단백질, 조지방 및 조회분은 AOAC(1998)법에 준하여 분석하였으며, 콜레스테롤 함량은 배최장근 부위에서 시료를 채취하여 Boehringer Mannheim Cholesterol Assay Kit용액을 이용하여 Boehringer Mannheim Procedure에 준하여 분석하였다.

⑤물리적 특성

pH 측정은 skin pH meter(Orion, model 520A, U.S.A)를 이용하여 측정하였으며, 가열감량 측정은 육의 내부온도가 75℃에서 10분간 유지되도록 가열한 다음 가열 전·후 중량 차를 이용하여 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$\text{가열감량(\%)} = \frac{\text{가열전 시료의 중량} - \text{가열후 시료의 중량}}{\text{가열전 시료의 중량}} \times 100$$

전단력 측정은 배최장근을 2.5cm로 절단하여 지퍼백에 밀봉한 후 육의 내부온도 75℃에서 10분간 유지되도록 가열한 다음 1시간 동안 상온에 방치하였다. 근섬유방향으로 직경 1.8cm 코아로 연도측정용 시료를 채취하였다. 각각의 코아 시료는 TA. XT2 Texture Analyzer(Texture Technologies Group, Scarsdale, NY)가 달린 Warner-Bratzler로 약 180 mm/min의 속도로 절단하였다. 전단력 요구조건은 각각의 코아 시료들의 전단에 필요한 최대힘의 평균값으로 하였다. 육색 측정은 배최장근의 절단면을 공기중에 30분 정도 방치시킨 후 Chroma meter (Minolta Co, CR 301)를 이용하여 명도(L), 적색도(a) 및 황색도(b)를 Commission International de Leclairage(CIE) 값으로 측정하였다. 표준판은 Y=92.40, x=0.3136, y=0.3196의 백색타일을 사용하였다.

⑥지방산 분석

배최장근의 지방산 조성은 Lepage와 Roy(1986) 방법에 따라 세절된 시료 5g을 chloroform(2)과 methanol(1)로 혼합한 용매를 넣고 homogenizer로 10,000rpm에서 2분간 혼합하여 조직내 지방을 추출하였으며, 지방추출 후 원심분리(3,000rpm, 10분, 4℃)한 후 100ml 매스실린더에 여과하여 하층액을 round flask에 넣고 50℃에서 순수지방을 추출하였으며, 그 후 methylation tube에 일정량의 지방을 취하여 넣고 BF₃(Boron trifluoride-methanol)을 3ml 첨가하여 90℃에서 1시간 반응시켰다. 상온에서 방열시킨 methylation tube에 hexane과 증류수를 각각 3ml씩 첨가한 후 상층부 hexane층을 GC autosample병에 옮겨 Table 3-30과 같은 조건으로 시료자동주입 장치가 장착된 가스크로마토그래피(Varian 3400)로 지방산을 분석하였다.

[Table 3-30] Condition of gas chromatography for fatty acid

Items	Analysis conditions
Column	Supelcowax 10, 30m x 0.53mm ID, 1.0 μ m film thickness
Detector	Flame Ionization Detector
Carrier gas	Nitrogen (99.99%, Research purity)
Injection port temperature	210 °C
Column temperature	165. C(2min) to 240. C at 3. C/min
Detector port temperature	240 °C
Injection volume	1.0 μ l
Split ratio	100:1

⑦관능특성

관능특성 평가는 훈련인 10인의 심사원에 의해 냄새, 외관 및 맛을 9점법에 의해 실시하였다. 즉, 대조구의 신선육을 5점 기준으로 하여 처리구가 대조구보다 더 좋은 경우 6~8점, 가장 좋은 경우는 9점, 그리고 처리구가 대조구보다 더 나쁜 경우는 1~4점, 가장 나쁜 경우는 1점으로 등급을 매겼다.

⑧통계분석

본 시험에서 얻어진 성적들은 SAS package(2004)를 이용하여 분산분석과 t-검정을 실시하여 처리구간의 유의성($p < 0.05$)을 검증하였다.

(다) 결과 및 고찰

①비육능력 및 사료이용성

비육기간 동안 총체보리사일리지를 급여한 거세 한우에 대한 체중 및 사료요구율은 Table 3-31에 나타내었다. 29개월령 종료시 평균체중은 대조구와 총체보리사일리지 급여구에서 각각 708.24 및 694.51kg으로 시험구간에 차이는 없었다. 총중체량은 대조구와 총체보리사일리지 급여구에서 각각 419.62 및 409.34kg으로 시험구간에 차이는 없었다. 사료섭취량은 대조구와 총체보리사일리지 급여구에서 각각 8.42 및 9.06kg으로 총체보리사일리지 급여구에서 7.6% 증가하였다. 사료요구율은 대조구와 총체보리사일리지 급여구에서 각각 9.62 및 10.56kg으로 총체보리사일리지 급여구에서 9.8% 높게 나타났다. 비육단계별 일당중체량을 살펴보면 비육전기(12~16개월령)에는 대조구 및 총체보리사일리지 급여구가 각각 0.367kg 및 0.778kg으로 총체보리사일리지 급여구에서 유의적으로 증가하였으며, 비육중기(17~21개월령)에 대조구 및 총체보리사일리지 급여구가 각각 1.148kg 및 0.695kg으로 대조구에서 유의적으로 높게 나타났으며, 비육후기에는 대조구 및 총체보리사일리지 급여구가 각각 0.847kg 및 0.885kg으로 처리구간에 차이

가 없었다.

이러한 결과는 비육기간 동안 자원순환형으로 생산된 총체보리사일리지 위주의 급여가 비육전기에 산육 생산에 효과적인 양질의 조사료 공급원으로 작용한 것으로 사료되었는데, Mowat and Slumskie(1971)와 White and Reynolds(1969)의 연구에서 거세우에게 양질조사료 급여하였을 때 증체량 및 일당증체량이 증가하였다는 결과와 일치하였다. 또한 조 등(2000), 이 등(1984), Bolsen 등(1976), Mowat and Slumskie(1971)이 보고한 육우에게 보리담금먹이를 급여하였을 때 일당증체량이 증가하였다는 연구결과와 유사하였다.

[Table 3-31] Effects of whole crop barley silage(WBS) supplementation on growth performance of Hanwoo steers

Items	Control	WBS
Initial body wt. (kg)	289.02±12.07	285.10±11.24
Final body wt. (kg)	708.04±15.24	694.51±11.35
Body wt. gain (kg)	419.62±9.65	409.34±5.78
Daily wt. gain (kg/day)	0.873±0.07	0.852±0.04
Feed intake (kg/day)	8.42±0.12	9.06±0.10
Feed conversion	9.62±0.59	10.56±0.44
(Feed/gain, kg/kg)		

Values mean±SE.

②도체성적

총체보리사일리를 급여한 한우 거세우에 대한 도체성적은 Table 3-32에 나타내었다. 한우 거세우에 대하여 비육기간 동안 총체보리사일리지 급여에 의한 도체중은 대조구 및 총체보리사일리지 급여구가 각각 417.24kg 및 424.15kg으로 총체보리사일리지 급여에 의해 1.7% 증가하였으나 유의적인 차이는 없었다. 육량등급 중 육량을 결정하는데 정(+)의 상관관계가 있는 배최장근단면적은 대조구 88.46cm²에 비해 15.6% 증가한 102.28cm²를 나타냈으며, 육량을 결정하는데 부(-)의 상관관계가 있는 등지방두께도 대조구 11.01mm에 비해 51.7% 감소한 5.32mm로 유의적인 차이를 나타내었다. 육량지수와 육량등급에서도 대조구에 비해 총체보리사일리지 급여에 의해 유의적인 차이를 나타내었다. 육질등급의 가장 중요한 요인으로 작용하는 근내지방도는 대조구 5.41에 비해 52.9% 증가한 8.25로 유의적으로 개선되는 효과를 나타냈다. 육색은 약간 낮은 경향을 나타내었지만 지방색, 조직감 및 성숙도에서는 시험구간에 차이가 없었다. 육질등급은 대조구 2.50에 비해 총체보리급여구 4.00으로 유의적으로 개선되는 효과를 나타내었다. 따라서 1등급 이상 출현율은 총체보리사일리지 급여구에서 83.5%를 나타내었다. 이러한 결과는 청보리사일리지에 대한 급여효과에 대한 황 등(2008)이 청보리사일리지에 대한 가축급여 효과가 있었다는 보고도 유사하였으며, 비육 전기간 동안 양질 조사료를 충분히 섭취하여 등심단면적이 증가하였으며 등지방 두께는 감소한 것으로 사료되었다(김과 서, 2006; Mowat and Slumskie, 1971).

[Table 3-32] Effect of whole crop barley silage(WBS) supplementation on carcass grading characteristics of Hanwoo steers

Items	Control	WBS
Yield grade		
Carcass weight (kg)	417.24±12.36	424.15±7.36
Longissimus dosi area (cm ²)	88.46±3.0 ^b	102.28±2.50 ^a
Back fat thickness (mm)	11.01±1.34 ^a	5.32±0.92 ^b
Yield index	65.97±0.85 ^b	71.37±0.96 ^a
Yield grade ¹⁾	2.00±0.34 ^b	2.50±0.21 ^a
Quality grade		
Marbling score ²⁾	5.41±0.41 ^b	8.25±0.52 ^a
Meat color ³⁾	5.00±0.20	4.00±0.33
Fat color ⁴⁾	3.00±0.01	3.00±0.01
Firmness ⁵⁾	1.00±0.01	1.00±0.01
Maturity ⁶⁾	2.00±0.01	2.00±0.01
Quality grade ⁷⁾	2.50±0.01 ^b	3.83±0.02 ^a

Values mean±SE.

a,b: Values with different superscripts in the same row differ at p<0.05.

1) A grade = 3, B grade = 2, C grade = 1.

2) higher numbers for better quality.

3) 1 = light red, 7 = dark red.

4) 1 = white, 7 = yellow.

5), 6) low numbers for better quality.

7) 1++ grade = 5, 1+ grade = 4, 1 grade = 3, 2 grade = 2, 1 grade = 1.

③부분육 성적

총체보리사일리지를 급여한 한우 거세우를 도축한 후 혈액, 머리, 다리, 가죽 및 내장 등을 제거한 후 24시간 냉장하여 10개 부위로 발골 분할한 부분육 생산 성적은 Table 3-33에 나타내었다. 한우 거세우의 고급육 부위로 취급되는 안심, 등심 및 채끝의 생산율은 대조구와 총체보리사일리지 급여구에서 각각 14.43kg 및 14.88kg으로 처리구간에 차이는 없었다. 거래정육율에서는 대조구에 비해 총체보리사일리지 급여구가 3.7% 증가하였으며, 지방 생산율은 대조구에 비해 17.0% 감소하였다. 도체 성분은 정육, 지방 및 뼈로 구성되는데 정육의 비율이 높고 뼈와 지방의 비율이 낮은 도체가 선호의 대상이며 고급육 생산의 지표가 되고 있는데, 거세한우의 육성기와 비육기 사육기간 동안 양질의 총체보리사일리지를 급여하는 것이 고급육 생산에 보다 효과적인 것으로 사료되었다.

[Table 3-33] Effect of whole crop barley silage(WBS) supplementation on meat yields(%) of Hanwoo steers

Items	Control	WBS
An-Sim	1.83±0.05	1.82±0.06
Deung-Sim	10.12±0.74	10.74±0.53
Che-Keut	2.39±0.09	2.32±1.01
Mock-Sim	3.99±0.02	4.39±0.03
Ab-Da-Ri	7.00±0.02	7.57±0.31
Woo-Dun	6.05±0.11	6.22±0.08
Seol-Do	9.60±0.15	9.78±0.17
Yang-Gi	10.42±0.05	10.95±0.10
Sa-Tae	4.44±0.08	4.49±0.09
Gal-Bi	13.85±0.30	14.01±0.51
Retail cut	69.69±1.21	72.29±1.37
Bone	15.0±0.40	15.0±0.61
Fat	15.31±0.52	12.71±0.34

Values mean±SE.

④육의 일반성분 및 콜레스테롤 함량

총체보리사일리지 급여한 거세우의 배최장근에 일반성분은 Table 3-34에 나타내었다. 총체보리사일리지 급여에 의해 수분함량은 대조구에 비해 약간 낮은 경향이였다. 조지방 함량은 대조구 및 총체보리사일리지 급여구가 각각 13.56% 및 16.15%로 총체보리사일리지 급여구에서 유의적인 차이를 나타내었다. 조단백질과 조회분은 처리구간에 차이가 없었다. 콜레스테롤 함량은 대조구 및 총체보리사일리지 급여구가 각각 67.58mg 및 65.24mg로 총체보리사일리지 급여에 의해 3.5% 감소한 경향을 나타내었다. 일반적으로 배최장근내의 근내지방도가 증가하면 조지방 함량이 높게 나타나는데(이, 1997),본 연구에서도 유사한 경향이였으며 육성기 및 비육기에 총체보리사일리지 급여가 배최장근내 콜레스테롤 함량에도 다소 영향함을 알 수 있었다.

[Table 3-34] Effect of whole crop barley silage(WBS) supplementation on proximate chemical composition and cholesterol in longissimus muscle of Hanwoo steers

Items	Control	WBS
Moisture (%)	66.48±2.30	65.86±1.93
Crude protein(%)	19.13±0.60	18.20±0.57
Crude fat(%)	13.56±0.31 ^b	16.15±0.20 ^a
Ash (%)	0.81±0.01	0.79±0.03
Cholesterol (mg/100g)	67.58±3.11	65.24±5.24

Values mean±SE.

a,b: Values with different superscripts in the same row differ at p<0.05.

⑤육의 물리적 특성

총채보리사일리지 급여한 거세우 등심근육의 물리적 특성에서 표 3-35에서 보는 바와 같이 pH는 대조구에 비해 약간 낮은 경향이였다. 육색은 명도가 대조구 37.53에 비해 총채보리사일리지 급여구가 40.22로 7.2% 개선되었으나 통계적인 차이는 없었다. 육의 보수력을 측정하는 가열감량은 대조구25.31에 비해 총채보리사일리지 급여구23.04로 9.0% 감소하게 나타났으나 통계적인 차이는 없었다. 외국에서 소비자들의 고기 품질평가와 선호도에 가장 크게 영향하는 요소 중의 하나인 육의 연도를 기계적으로 측정하는 전단력은 대조구 3.78에 비해 총채보리사일리지 급여구 3.21로 15.1% 개선되었으나 통계적인 차이는 없었다. 이러한 결과는 이(1997) 및 Armbruster(1983)은 근내지방도가 증가할수록 육색이 개선되고 전단력이 향상되며 가열감량은 낮아진다는 보고와 유사한 경향이였다.

[Table 3-35] Effect of whole crop barley silage(WBS) supplementation on physical characteristics in longissimus muscle of Hanwoo steers

Items	Control	WBS
pH	5.52±0.02	5.51±0.01
Lightness (L)	37.53±0.32	40.22±0.52
Redness (a)	24.32±0.21	23.61±0.18
Yellow (b)	9.85±0.05	10.02±0.13
Cooking loss (%)	25.31±0.07	23.04±0.15
Shear force (kg/cm ²)	3.78±0.02	3.21±0.01

Values mean±SE.

⑥지방산 조성

총채보리사일리지를 급여한 한우 거세우 배최장근의 지방산 조성은Table 3-36에 나타내었다. 쇠고기에서 다중성과 부(-)의 상관관계에 있으며 대표적인 포화지방산으로 미리스트산과 팔미트산은 대조구와 총채보리사일리지 급여구가 각각 31.68% 및 31.21%로 처리구간에 차이가 없었다. 쇠고기 맛의 향상과 심장병 예방에 효과적인 지방산인 올레인산은 대조구와 총채보리사일리지 급여구가 각각 48.01% 및 50.76%으로 총채보리사일리지 급여구에서 증가하는 경향이였으나 통계적인 차이는 없었다.

[Table 3-36] Effect of whole crop barley silage(WBS) supplementation on fatty acid composition in longissimus muscle of Hanwoo steers

Items	Control	WBS
Myristic acid(C14:0)	3.57±0.16	3.22±0.19
Myristoleic acid(C14:1)	1.06±0.01	0.95±0.12
Palmitic acid(C16:0)	28.11±0.75	27.99±0.57
Palmitoleic acid(C16:1 n7)	4.84±0.05	5.10±0.29
Stearic acid(C18:0)	11.40±0.09	10.24±0.25
Oleic acid(C18:1 n9)	48.01±0.72	50.76±1.14
Linoleic acid(C18:2 n6)	3.02±0.31	3.50±0.26
Other	0.16±0.08	0.23±0.13
Total	100.00	100.00
SFA ¹⁾	43.07±2.01	41.45±0.97
USFA ²⁾	56.93±2.11	58.55±1.65
USFA/SFA ratio	1.32±0.01	1.41±0.03

Values mean±SE.

⑦관능특성

총체보리사일리지를 급여한 한우 거세우 등심육에 대한 냄새, 외관 및 맛에 대한 평가는 Table 3-37에 나타내었다. 냄새는 신선육 상태에서 한우고기 특유의 이취, 혈액취 및 불결취 등을 판별하는 평가방법으로 총체보리사일지 급여구에 의해 약간 개선되는 경향이였다. 신선육 상태에서 소비자들이 선호하는 육색과 고기의 무름 정도 등을 판별하는 외관에서는 대조구 및 총체보리사일리지 급여구가 각각 5.10 및 6.75으로 총체보리사일리지 급여구에서 유의적으로 개선되는 효과를 나타내었다. 한우고기를 일정한 온도로 가열하여 입안에서 느끼는 향, 풍미, 다즙성 및 조직감 등을 종합적으로 판단하는 맛의 평가에서는 대조구 및 총체보리사일리지 급여구가 각각 5.05 및 5.70으로 총체보리사일리지 급여에 의해 약간 개선되는 경향이였다.

[Table 3-37] Effect of whole crop barley silage(WBS) on palatability traits of longissimus muscle in Hanwoo steers

Items	Control	WBS
Oder	5.03±0.07	5.55±0.75
Appearance	5.10±0.06 ^b	6.75±0.90 ^a
Taste	5.05±0.03	5.70±0.03

Values mean±SE.

a,b: Values with different superscripts in the same row differ at p<0.05.

(라) 적요

본 연구는 자원순환형으로 생산된 총체보리사일리지 급여에 대한 거세한우 성장, 도체성적 및 육질에 미치는 효과를 조사하고자 실시하였다. 12개월된 거세 한우(평균체중 285kg) 12두를 공시하여, 대조구는 관행사육 방식(농후사료 + 일반 볏짚급여)으로 사육하였으며, 총체보리사일리지 급여구는 자원순환형으로 생산된 총체보리사일리지 위주로 사육하였다. 시험기간 동안의 종료체중 및 총증체량은 처리간에 차이는 없었지만 비육단계별 일당증체량에서 비육전기에는 총체보리사일리지 급여구에서 유의적으로 증가하였으며, 비육중기에는 대조구에서 유의적으로 증가하였으며, 비육후기에는 총체보리사일리지 급여구에서 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

총체보리사일리지 급여에 의해 도체성적의 육량등급은 배최장근단면적의 15.6% 증가와 등지방두께의 51.7% 감소로 유의적으로 증가하였다. 총체보리사일리지 급여에 육질의 근내지방도가 52.9% 개선되어($p < 0.05$) 1등급 출현율이 83.5%의 유의적인 차이를 나타내었다. 부분육은 처리간에 차이가 없었다.

총체보리사일리지 급여에 의해 배최장근내에 육의 이화적성분의 변화는 수분, 조단백질, 조회분 및 콜레스테롤 함량은 처리구간에 차이가 없었지만 조지방함량이 유의적으로 증가하였다. 총체보리사일리지 급여에 의한 물리적 특성은 pH, 가열감량 및 연도는 약간 감소하는 경향을 나타내었으며 육색은 약간 개선되는 경향이였다.

총체보리사일리지 급여에 의해 불포화 지방산 비율이 약간 증가하였으나 유의적인 차이는 없었다.

총체보리사일리지 급여에 의한 관능평가에서 냄새와 맛은 약간 개선되는 경향이였으며, 외관의 개선 효과는 유의적인 차이를 나타내었다.

이러한 결과는 비육기간동안 총체보리사일리지 급여로 인해 비육전기 일당증체량의 증가와 등심단면적의 증가, 등지방 두께의 감소 등의 육량 및 육질 그리고 육색 등이 개선하는 효과가 있음을 알 수 있었다.

제 4 절 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 평가의 착안점 및 기준

구분	연도	세부연구목표	가중치	평가의 착안점 및 기준
3차 년도	2007	남부지역 자원순환시스템에 적합한 한우 번식우 사육시설 탐색 및 설계	40 %	자원순환시스템에 적합한 남부지역 번식우 사육시설 탐색이 적절히 잘 되었는가?
		자원순환시스템에서 생산된 조사료에 대한 한우 번식우 번식성적 과 이용실태 평가	60 %	자원순환형 조사료가 번식우의 기호성과 번식성적에 대한 조사가 적절한가?
4차 년도	2008	남부지역 자원순환형 조사료에 대한 번식우의 번식능력 평가	50 %	남부지역 자원순환형 조사료에 대한 번식우의 번식능력 평가가 적절히 잘 되었는가?
		남부지역 자원순환형 조사료에 대한 육성단계 비육우의 사양성적 평가	50 %	남부지역 자원순환형 조사료에 대한 육성단계 비육우의 사양성적 평가가 적절히 잘 되었는가?
5차 년도	2009	남부지역에 적합한 작부체계에서 생산된 자원순환형 조사료가 번식우의 번식성적에 미치는 영향 평가	50 %	남부지역에 적합한 작부체계에서 생산된 자원순환형 조사료가 번식우 번식성적에 미치는 영향 평가가 적절히 잘 되었는가?
		남부지역에 적합한 작부체계에서 생산된 자원순환형 조사료가 비육우의 사양성적 및 도체성적에 미치는 영향 평가	50 %	남부지역에 적합한 작부체계에서 생산된 자원순환형 조사료가 비육우의 사양성적 및 도체성적 평가에 적절히 잘 되었는가?
최종 평가		자원순환농업시스템 구축에 적합한 남부지역에서 생산된 조사료에 대한 한우 번식우 및 비육우의 번식 및 사양성적 평가	100 %	자원순환농업시스템 구축에 적합한 남부지역에서 생산된 조사료에 대한 한우 번식우 및 비육우의 번식 및 사양성적 평가가 적절히 잘되었는가?

나. 연구개발목표의 달성도

목 표	연구개발 수행내용	달성도(%)
자원순환시스템에 적합한 남부지역 번식우 사육시설 모델 개발	-전라남도 친환경축산 여건 분석 -남부지역 한우 번식우 사육시설 번식우사 평면도(안) 및 주단면도(안) 도출 -남부지역 한우 번식우 사육시설 퇴비사 평면도(안) 및 주단면도(안) 도출	100
자원순환형 조사료가 번식우에 미치는 효과 조사	-청보리사일리지 및 벧짚의 사료가치, 급여량 및 사료비 조사 -미경산우 번식성적 조사 -경산우 번식성적 조사	100
남부지역 자원순환형 조사료에 대한 번식우의 번식성적 평가	-번식성적 조사	100
남부지역 자원순환형 조사료에 대한 육성단계 비육우의 사양성적 평가	-비육우 육성단계 사양성적 조사	100
남부지역 자원순환형 조사료에 대한 번식우의 번식성적 평가	-번식성적 조사	100
남부지역 자원순환형 조사료에 대한 비육우의 사양성적, 도체성적, 육질특성 평가	-비육우 비육단계 비육우 사양성적 조사 -도체성적, 육질특성 조사	100

다. 관련분야의 기술발전 기여도

기술 분야	기술 발전기여 및 활용 내용	생산성 향상 기여도(%)
한우 사육 시설	<p>-전라남도 축산업 여건 분석을 통한 시설, 번식 및 비육기술 개발을 통한 농가 보급 필요성 확인 함.</p> <p>-자원순환시스템에 적합한 남부지역 번식우 사육시설 모델개발을 통한 한우농가들의 시설현대화로 생산비 절감 및 생산성 향상에 모델을 제시 함.</p> <p>-남부지역 한우 번식우 사육시설 번식우사 평면도(안) 및 주단면도(안) 도출을 통한 최적 시설 기술을 보급 함.</p> <p>-남부지역 한우 번식우 사육시설 퇴비사 평면도(안) 및 주단면도(안) 도출을 통한 번식우의 번식효율을 높이고 송아지의 생산성을 높이기 위한 기술을 발전 보급 함.</p>	<p>-자원순환형 한우 사육시설을 이요한 생산비 절감, 번식효율 개선 및 송아지 생산성 향상 등 평균 생산성을 10%이상 높이는 기술을 보급, 활용 하도록 농가교육에 적극 활용하여 교육 대상 농가들의 소득 향상에 기여함.</p>
자원순환형 조사료를 이용한 번식우 번식 모델	<p>-총채보리사일리지, 수단그라스, 이탈리아라이그라스의 한우 번식우 급여량의 기준을 제시함으로써 한우 번식우 사육시 자원순환형 조사료의 급여량을 적정량으로 이용하여 농후사료비 절감 및 번식우의 번식생리 정상화 활용에 기여 함.</p> <p>-미경산우 번식성적에 있어 자원순환형 조사료의 활용이 중하나 영양적인 문제점을 해결해야 함을 제시함으로써 번식우 농가들의 시행착오를 줄임.</p> <p>-경산우 번식성적에 있어 총채보리사일리지, 수단그라스, 이탈리아라이그라스의 자원순환형 조사료의 활용 가치를 인지시키고, 번식효율 개선에 꼭 활용해야하는 급여 기술을 보급 함.</p>	<p>대표적인 자원순환형 사료작물의 적정 급여량과 사육 방법을 제시함으로써 번식우 농가들의 번식효율을 10%이상의 향상에 기여함.</p>
자원순환형 조사료에 대한 한우 비육우 비육 모델	<p>-한우 비육우 비육단계에 자원순환형 총채보리사일리지의 급여량 및 사육방향을 제시하고 총채보리사일리지 급여시 비육전기 일당증체량의 증가와 등심단면적의 증가, 등지방 두께의 감소의 효과를 규명하여 한우비육우 사육농가의 총채보리사일리지를 이용한 비육기술을 보급 함.</p> <p>-총채보리사일리지의 급여시 육량 및 육질 그리고 육색 등이 개선하는 효과가 있음을 증명하여 기술을 한우 비육우 사육 농가에게 홍보 활용 함.</p>	<p>대표적인 자원순환형 사료작물의 총채보리사일리지를 이용한 한우 비육우의 육성기, 비육전기 및 비육후기 적정 사용방법을 발전시켜 한우 비육우 농가들의 비육우 생산비의 절감 5% 및 소득 향상 5%에 기여함.</p>

제 5 절 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 연구개발 성과

가. 학술지 게재 논문 실적

연번	논문제목	제재학술지명 (약자)	제재년도	권: 쪽수	SCI 구분	Impact Factor	제1저자	교신저자	공동저자	외국인 공동저자
1	Effects of Feeding of Whole-Crop Barley Silage on the Reproductive Characteristics of Hanwoo Heifers and Cows	Reprod Dev Biol	2009,09	33(3)179 ~182	KSCI	-	S J Moon	S J Moon	K Kook, K Y Jang, K S Baek, W S Lee, W H Kim, K H Kim	
2	Effects of Feeding of Sudangrass Silage on the Reproductive Characteristics of Hanwoo Cows	Reprod Dev Biol	2010	34(3) : 213-216	KSCI		K H Kim	K Y Jang	S J Moon, K Kook, K S Baek, W S Lee, W H Kim, K Y Jang	

2. 학술대회 실적

연번	저자명	논문 제목	학술대회 명칭	학술대회개최기간 및장소	발표형태
1	국길, 백광수, 장기영, 김광현, 문승주	총체보리사일리지 급여가 한우 미경산우 및 경산우의 번식성적에 미치는 영향	2009 한국동물자원과학회	2009.06.25-26 순천대학교	포스터

3. 교육실적

연번	교육일자	교육명	교재명	장소	참석대상 (인원:명)	주요내용	기대효과
1	2008.02.25-2008.02.27	합평천지한우 두항생제 교육	합평천지 무항생제 한우반	전남대학교	전라남도 한우 사육 농가 (100명)	자연순환 시스템 한우 사육 및 운영	자연순환 및 친환경 축산 보급
2	2008.03.-2009.02	지역농업특성화교육 녹색한우광역 브랜드반	녹색한우광역 브랜드반	전남대학교	전라남도 한우 사육 농가 (25명)	자연순환 시스템 한우 사육 및 운영	자연순환 및 친환경 축산 보급
3	2008.07.01-2008.07.31	친환경축산 교육프로그램 운영	친환경 한우반	전남대학교	전라남도 한우 사육 농가 (179명)	자연순환 시스템 한우 사육 및 운영	자연순환 및 친환경 축산 보급
4	2008.07.22-23	자연순환농업시스템에서 번식우 사육모델 현장교육	현장교육	전남대학교 농업생명과학대학 대강당, 나주봉황동물사육장 자연순환형 한우사	전라남도 한우사육농가 (75명)	자연순환농업시스템에서 한우 사육, 한우 초음파 측정 및 관독, 자연순환형 번식우 관리, 총체보리, 사일리지 번식우 이용	자연순환농업시스템에서 번식우 사육모델 현장 교육을 통한 사육시설 개선, 자연순환농업시스템에서 번식우 사육모델 현장 교육을 통한 친환경축산 참여 확대
5	2008.09.11-2009.02.12	생명농업전문경영자육성	자연순환형 한우반	전남대학교	전라남도 한우 사육 농가 (31명)	자연순환 전라남도 녹색축산 핵심농가 육성	자연순환 및 친환경 축산 보급
6	2009.03.-07.	전남농업다이스터대학교 육	축산학과 한우 전공	전남대학교	전라남도 한우 사육 농가 (30명)	자연순환 시스템 한우 사육 및 운영	자연순환 및 친환경 축산 보급
7	2009.08.12-30	전남농업다이스터대학교 육	현장실습1	전남대학교 및 나주한우실습장	교육생	한우 사육 및 사양관리	자연순환 및 친환경 축산 보급
8	2009.08-2009.11	전남농업다이스터대학교 육	현장실습 한우의 사료 및 영양생리 한우산업의 현황과 전망 한우사육시설	전남대학교 및 나주한우실습장	교육생	원료사료 및 가공사료 식별, 남부지역자연순환 및 친환경 축산 보급 환경 다변화에 따른 우사 설계 전 검토 사항 한우에 대한 TMR 적용	자연순환 및 친환경 축산 보급

연번	연월	주요내용	과 분요치리	주요내용	담당자	경종과 축산이 연계한 자연순환형 번식우편우산업 발전전략 등	주요성과
9	2009.11.-12.	녹색한우 농가조직화 포럼 8개 축협 순회 교육	자체원고(ppt)	해당지역 축협 회의실 12월 2일 강진완도축협, 3일 목부신축협, 4일 영암축협, 8일 나주축협, 9일 해남축협, 10일 화순축협, 15일 광주축협, 16일 장성축협	녹색한우풀러 스터사업단 지역별 농가	송아지 손실방지 포인트 녹색한우 고급육생산 주요 포인트	녹색한우 농가 조직화
10	2009.11.24 - 2009.12.22	녹색한우 선도농가 전문 교육	자체원고(ppt)	WPL 국가대표 나주 한우실습장, 제주도	교육생	송아지 사양관리 및 손실방 지 등	한우 사육 및 사양관리 기 술 습득
11	2010.07.-08.	전남농업마이스터대학	자연순환형 한 우사육매뉴얼	전남대학교 및 나주한우실습장	전남농업마이 스터대학 한 우반과정생	생균제 활용, 한우생리, 이 력관리, 초음파측정 등의 현장실습	목장의 사양관리 기술을 습 득
12	2010.01.-05.	전남농업마이스터대학	한우 사육 매 뉴얼	전남대학교 및 나주한우실습장	전남농업마이 스터대학 한 우반과정생	한우의 출생에서 번식, 비 육, 출하까지의 자연순환형 시스템	자연순환형 한우 생산 시스 템에 대한 이해와 실제를 통해 기술을 습득

4. 기술이전, 거래 실적

연번	기술실시계약명	기술실시 대상 업체 및 농가명	기술실시계약일	기술이전금액
1	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	강진군 축산업 농가 (이영)	2009-08-01	무상
2	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	극성군 축산업 농가 (김재선)	2009-08-01	무상
3	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	나주시 축산업 농가(김준모, 방극성, 백태훈, 이철동)	2009-08-01	무상
4	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	담양군 축산업 농가 (김대열, 남팔원, 송인주)	2009-08-01	무상
5	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	두안군 축산업 농가(김달태, 박황배, 임현석, 최광수)	2009-08-01	무상
6	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	영암군축산업농가(김태성, 이남철, 이연순, 조형일, 조희석)	2009-08-01	무상
7	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	완도군 축산업 농가 (김종미, 박남필)	2009-08-01	무상
8	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	장성군 축산업 농가(고재수, 김용기, 임은숙, 채규수)	2009-08-01	무상
9	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	함평군 축산업 농가(김상길, 서해경, 이태영, 정정숙, 허정임)	2009-08-01	무상
10	경종과 축산이 연계하는 자연순환농업모델 개발	화순군 축산업 농가 (김성철)	2009-08-01	무상

5. 인력양성

연번	인력양성연도 (졸업연도)	인력양성내용	성명	학위
1	2010	총체보리 사일리지 급여가 한우 미경산우 및 경산우의 번식성적에 미치는 영향	장기영	석사
2	2010	시나리오별 양분 순환 구조 분석	장기영	학사

6. 성과물 제작

연번	활용일자	구분	활용명칭	활용내역
1	2009	교육교재	자연순환형 한우 컨설팅 및 실무 발간	2009년도 영농활용 및 현장실습, 교육에 활용
2	2009	교육교재	남부지역 자연순환형 한우사육 시설설계 및 시공실무 발간	전남지역 친환경 선도 농가 영농활용 및 교육 자료로 활용
3	2008	교육교재	친환경축산(무항생제한우)인증·경영관리실무	전남지역 친환경 선도 농가 영농활용 및 교육 자료로 활용
4	2008	교육교재	친환경축산(한우)컨설팅과 사양관리	전남지역 친환경 선도 농가 영농활용 및 교육 자료로 활용
5	2008	교육교재	대품녹색한우 컨설팅 및 사양관리	전남지역 친환경 선도 농가 영농활용 및 교육 자료로 활용
6	2010	교육교재	명품 녹색한우 선도농가 지도 및 컨설팅	전남지역 친환경 선도 농가 영농활용 및 교육 자료로 활용
7	2010	교육교재	녹색한우 목장 기본실무	전남지역 친환경 선도 농가 영농활용 및 교육 자료로 활용
8	2008 2009 2010	교육교재	전라남도 친환경축산 교육 한우반 교육교재	전남지역 친환경 선도 농가 영농활용 및 교육 자료로 활용
9	2009 2010	교육교재	녹색한우 농가교육교재	전남지역 친환경 선도 농가 영농활용 및 교육 자료로 활용
10	2010.10.	교육교재	한우목장 기술지원 컨설팅	전남지역 친환경 선도 농가 영농활용 및 교육 자료로 활용

2. 성과활용 계획

(1) 산업체 기술이전

- 자원순환형 한우 번식우 사육모델 및 비육우 사육 모델 기술이전 추진

(2) 학술대회 학술발표 계획

- 자원순환시스템에서 생산된 수단그라스사일리지에 대한 번식성적과 이용 논문 투고
- 자원순환시스템에서 생산된 이탈리아안라이그라스사일리지에 대한 번식우 번식성적과 이용 논문 투고
- 자원순환시스템에서 생산된 총체보리사일리지에 대한 비육우에 대한 비육단계 논문 투고

(3) 실무책자 발간 계획

- 자원순환형 한우 목장 관리기술 매뉴얼 (전남대학교 친환경농업연구사업단 2010년)
- 친환경연구사업단 한우농가 기술 지원 컨설팅 보고서(전남대학교출판부 2010년)
- 전라남도 친환경축산 교육 한우반 실무교육교재 작성에 활용
- 지역한우 농가 교육시 실무교육 교재 발간에 활용

(4)영농활용 및 교육 계획

- 자원순환형 한우 목장 시스템을 영농활용 및 학생교육에 활용

(5)인력양성 계획

- 자원순환형 한우 사육 현장실습 학사 양성에 활용

제 6 절 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 자원순환농업시스템에서 번식우 및 비육우 사육 모델 개발

가. 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

(1) 유럽연합 국가에서는 축산농가에 대한 친환경 직접지불의 조건으로 동물복지 이행 하며, 유럽·미국 등 선진국에서 유기축산물 및 동물복지형 축산물의 소비가 증가하고, 소비자단체나 동물보호단체에서 축산물에 대한 생산·도축과정에 관여하여 생산물에 대한 수입규제 등을 하고자 하는 추세이다. 결국 유럽연합은 환경보전형 농업으로 토지관리를 엄격하게 하는 반면 농업이 사회에 기여하는 공익에 대한 보상을 강화 하고 있다.

(2) 북구 유럽은 방목 및 목초사일리지를 이용하여 사육하는 방법이 점차 확대되고 있는 추세이다.

(3) 일본화우 생산 기술

- 번식우사육에 있어 평균 20두 내외의 화우 사육농가가 가장 많으며, 번식우 운동장과 방목장을 가추고 사육.
- 번식우 및 비육우 사육시 12개월령 및 22개월령에 발굽손질을 통해 생산성을 높이고 있다.
- 번식우 질병관리를 공제를 통해 기관의 수의사가 전담하여 예방백신을 접종.
- 화우의 암소 평균 번식 산차가 10산인 점에 한우 번식우의 유전적 능력 평가를 통한 다산 기술 보급이 필요.
- 일본 흑모화우의 파다 지방교잡 사례를 검토하고, 한우의 맛과 풍미를 차별화하기 위한 지자체별 중모우 선발이 필요.
- 수정란 이식에 신선란, 동결란, 체외수정란 등을 이용한 우량 송아지 생산에 국가기관의 적극적인 지원과 개입이 이루어지고 있다.
- 일본 화우농가들은 농가 경영 개선에만 집중 하도록 제도적으로 지원.
- 양질의 건초를 이용한 화우의 소화기관 발달을 최적화 하고자 노력 하고 있다.
- 깔짚 재활용을 위한 깔짚 활용 및 외부로부터의 질병 유입 방지를 위한 HACCP적 차단 방역 및 생산에 힘쓰고 있다.

제 7 절 참고문헌

- 강달순, 김대호, 신현열, 손길만, 노치용, 김정곤 (2009) 경남지방에서 조사료 주년생산 작부체계에 관한 연구. 초지조사료지. 29(2): 137~152.
- 김원호, 서성 (2006) 총체보리를 중심으로 한 동계사료작물의 재배 및 이용기술. 한초지. 한국초지학회 2006년도 학술 심포지움 37-57.
- 김원호, 서성, 윤세형, 김기용, 조영무, 박태일, 고종민, 박근제 (2003) 사일리지용 우량 보리품종 선발 2. 사료가치 및TDN 수량. 한초지 23(4): 283-288.
- 농림부 (2004) 축산물등급판정세부기준. 농림부고시 제2004-66호.
- 농림부 (2005) 식육의 부위별 등급별 및 종류별 구분방법. 농림부고시 제2005-50호.
- 농촌진흥청 (2009) (조사료 자급률 향상을 위한)사료비 절감특성화사업 지침서 농촌진흥청.
- 문승주, 국길, 장기영, 백광수, 이왕식, 김원호, 김광현 (2008) 총체보리 사일리지 급여가 한우 미경산우 및 경산우의 번식성적에 미치는 영향. 한국동물번식학회지 33(3): 179-182.
- 박형수, 황경준, 박남건, 최기준, 이종경, 천동원, 고문석 (2008) 제주지역에서 동계사료 작물의 사초생산성 및 사료가치 비교. 초지조사료지. 28: 215~220.
- 백광수, 고용규, 성환후, 이명식, 류일선, 정진관, 나승환 (1998) 산차가 한우번식에 미치는 영향에 대한 조사 연구. 한국가축번식학회지 22(4): 359-366.
- 사료비 절감을 위한 청보리·IRG 생산과 이용 (2008) 농촌진흥청.
- 서성, 김종근, 정의수, 강우성, 신재순, 김정갑 (1999) 가축분 시용조건에서 주요 수수×수단그라스 교잡종의 생산량과 사료가치 비교 연구. 한초지. 19(1): 57~62.
- 서성, 정의수, 김기용, 최기준, 안종남, 한종석, 박현경, 김용수 (2010) 이탈리아인 라이그라스와 청보리의 이른 봄 단파 및 혼파 재배 시 생산성과 사료가치 비교. 초지조사료지. 30(2): 115~120.
- 시험연구보고서 (2005) 한우 거세우 및 번식우에 대한 총체보리 사일리지 급여효과 현장접목 연구. 국립식량과학원. 농촌진흥청.
- 이종문 (1997) 한우의 성 및 출하체중에 따른 도체특성과 등급. 충북대학교 박사학위논문,
- 이희석, 김동철, 백윤기, 정창조, 정재준 (1984) 육성우에 대한 whole barley crop silage 이용에 관한 연구. 한국축산학회지. 26(4): 396-400.
- 임영철, 윤세형, 김원호, 김종근, 신재순, 정민용, 서성, 육완방 (2006) 논에서 수수×수단그라스 교잡종 지배시 가축분뇨 이용이 생육특성, 수량, 사료가치 및 NO₃-N의 용탈에 미치는 영향. 한초지. 26(4): 233~238.
- 조사료 생산·이용 활성화 대책 (2009) 농림수산식품부.
- 조원모, 조영무, 홍성구, 정의수, 이종문, 윤상기 (2000) 보리 총체담금먹이 급여가 거세한우의 발육, 사료이용성 및 육질에 미치는 영향. 동물자원지 42(2): 181-188.
- 지병주, 김광림, Judder Shinekhuu, Wei-ze Oin, 오영균, 손용석, 서성, 송만강 (2010) 소에 의한 다양한 사일리지의 이용율 및 TDN 평가. 초지조사료지. 30(2): 169~178.
- 총체보리 사료화 기술서 (2006) 발간등록번호 11-1390661-000054-01. 농촌진흥청 축산연구소·전북한우협동조합.
- 최성복, 최연호, 이지웅, 백광수, 김영근, 손삼규, 김내수 (2004) 한우 번우의 Body Condition

- Score가 번식형질에 미치는 영향. 동물자원지. 46(1): 31~38.
- 한광진 (2002) 한우의 번식형질에 대한 환경요인의 효과. 동물자원지. 44(2): 191~200.
- 한우개량농가육성사업보고서 (2008) 농협중앙회. p33-35.
- 한찬규 (1988) 한우의 번식실태와 분만전 사양조건이 번식과 혈장성분에 미치는 영향. 중앙대학교 대학원 박사학위논문.
- 한찬규, 박진홍, 이남형, 박영일 (1987) 한우의 번식실태 조사. 한축지. 29(12): 566.
- 황보순, 최순호, 김상우, 김원호, 손동수, 조익환 (2008) 청보리 사일리지 급여 시에 농후사료 급여수준이 육성기 흑염소의 발육과 육질에 미치는 영향. 동물자원지 50(4): 527-534.
- 황보순, 최순호, 김원호, 손동수, 조익환 (2008) 청보리 사일리지 급여 시에 농후사료 급여수준이 육성기 흑염소의 발육과 육질에 미치는 영향. 한국동물자원과학회지 50(4): 1-10.
- AOAC (2000) Official methods of analysis. 17th ed, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, pp. 13-15.
- Armbruster G, Nour AYM, Thonney ML, Stouffer JR (1983) Changes in cooking losses and sensory attributes of Angus and Holstein beef with increasing carcass weight, marbling score or longissimus ether extract. J. Food Sci. 48: 835-840.
- Bolsen KK, Berger LL, Conway KL, Riley JG (1976) Wheat, barley and corn silage for growing steers and lams. J. Anim. Sci. 42: 185-191.
- Kim WH, Seo S, Yoon SH, Kim KY, Cho YM, Park TI, Koh JM, Park GJ (2003a) Selection of promising barley cultivar for silage 2. Nutrient value and total digestible nutrient yield. J. Korean Grassl. Sci. 23(4): 283-233.
- Kim WH, Shin JS, Seo S, Chung ES, Rim YC, Park JG, Choi SH, Lee KJ, Ryu GC (2003b) Whole crop silage making of barley produced in paddy field of central and northern region. J. Korean Grassl. Sci. 23(4): 289-292.
- Kunkle WE, Sand RS, Rae DO (1993) Effect of body condition on productivity in beef cattle. Florida Cooperative Extension Service Bulletin. B-13.
- Larry V. Cundiff Chairman, Beef Improvement Federation (1996) BIF guidelines for uniform beef improvement programs.
- Lepage G, Roy CC (1986) Direct transesterification of all classes of lipid in a one-step reaction. J. Lipid Research. 27: 114-120.
- Manninen M, Sankari S, Jauhiainen T, Kivinen, Anttila P, Soveri T (2008) Effects of outdoor winter housing and feeding level on performance and blood metabolites of suckler cows fed whole-crop barley silage. Livestock Science 115: 179-194.
- Manninen M, Virkajarvi P, Jauhiainen L (2005) Effect of whole-crop barley and oat silages on the performance of mature suckler cows and their progeny in outdoor winter feeding. Animal Feed Science and Technology. 121: 227-242.
- Maynard LA, Loosli JK, Hintz HF, Warner RG (1979) The expanding field of nutrition. In: Animal Nutrition 7th edition McGraw-Hill Co., New York, NY.
- Minitab14 (2009) Minitab Handbook. Minitab Inc.
- Mowat DM, Slumskie RA (1971) Barley silage, ground whole plant barley and corn silage for finishing beef cattle. Can. J. Anim. Sci. 51: 201-207.

SAS (2004) SAS user's guide; Statistics. SAS for Windows, Version 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

White TW, Reynolds WL (1969) Various sources and levels of roughage in steer rations. J. Anim. Sci. 29: 705-710.

Whitman RW (1975) Weight change, body condition and beef cow reproduction. Ph.D. Dissertation. Colorado State Univ., fort Collins.