

발 간 등 록 번 호

11-1541000-001351-01

비전통 자돈사료자원을 이용한 식이 섬유 공급,
사료가공 및 영양소 함량 조절을 통한
자돈 설사 방지 기술 개발에 관한 연구

(Development of diarrhea prevention technique using fiber
of unconventional feedstuff, feed processing and
manipulation of nutrients concentration in weaning pigs)

피그넷 코리아(주)

농 립 수 산 식 품 부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “비전통 자돈사료자원을 이용한 식이 섬유 공급, 사료가공 및 영양소 함량 조절을 통한 자돈 설사 방지 기술 개발에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2012년 7월 24일

주관연구기관명 : 피 그 넷 코 리 아

주관연구책임자 : 정 용 기

세부연구책임자 : 정 용 기

연 구 원 : 최 명 우

연 구 원 : 조 종 관

위탁연구기관명 : 서 울 대 학 교

위탁연구책임자 : 교 수 김 유 용

연 구 원 : 장 영 달

연 구 원 : 김 영 주

요 약 문

I. 제 목

비전통 자돈사료자원을 이용한 식이 섬유 공급, 사료가공 및 영양소 함량 조절을 통한 자돈 설사 방지 기술 개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 우리나라 양돈업계는 역대 최고의 위기에 직면해 있다. 2011년에 구제역 파동이 발생되었으며, 미국에서의 바이오연료 (biofuel) 이용 증가와 폭발적인 곡물소비량 증가로 인해 전 세계적으로 사료 가격은 나날이 폭등하고 있고, 외국 양돈 선진국과의 FTA 또한 발효되어 그 어느 때보다도 극심한 피해가 확실시 되고 있는 상황이다. 이런 상황에서 외국 양돈 선진국과의 경쟁에서 살아남기 위해 일반 양돈 농가의 생산성을 향상시키기 위한 노력이 계속되고 있지만 아직까지도 특별하게 개선점을 보이지 못하고 있다. 통계청에서 조사한 축산물생산비 자료에 따르면 2006년도 비육돈 두당 생산비 및 농가 수익은 각각 191,221원, 82,412원이었으며 2010년의 경우 각각 282,987원, 58,014원이었다. 위 통계 수치를 보면 4년이라는 시간이 지났지만 생산비가 개선되기는커녕 오히려 수익 대비 차지하는 비중이 큰 폭으로 증가되었다는 것을 알 수 있다. 이러한 생산비 감소의 원인으로는 여러 가지를 들 수 있지만 특히 이유 후 자돈기의 설사로 인한 폐사 및 성장정체가 일반 농가들의 만연한 문제이다. 우리나라의 경우 2004년 사료용 동물약품을 53종에서 25종으로 감축한데 이어 2009년 1월부터 7종의 인수공통 항생제의 사용을 추가적으로 금지시키는 등 2012년부터는 전면 규제 방침을 설정하였기 때문에 이러한 자돈의 폐사 및 성장정체를 막을 수 있는 방안이 현재 전무한 실정이다. 물론 지금까지 생균제, 유·무기산제 및 식물추출물 등 여러 가지 항생제 대체제가 시험대에 올랐지만 아직까지 확실하게 항생제를 대체할 만한 효력을 검증받은 예가 없으며, 가능성 있는 대체물질의 개발은 이미 해외에 우선권을 빼앗긴 상태이다. 이러한 상황에서 최근에 새롭게 주목받고 있는 항생제 대체제가 있는데 바로 식이 섬유소의 공급원과 관련된 부분이다. 식이섬유소를 자돈에게 급여할 경우 대장내의 유용 미생물의 기질 역할을 수행하여 유해 미생물을 대상으로 우점 할 수 있도록 도와주는 역할을 한다. 이렇게 유용 미생물에 의한 우점이 이루어질 경우 박테리아 등의 감염으로 인한 설사를 획기적으로 줄일 수 있으며, 추가적

으로 섬유소가 자돈의 체내에서 유해한 물질을 배출 시켜주는 운반체의 역할도 할 수 있기 때문에 성장 촉진 효과가 나타날 수 있다는 연구결과도 있다. 이러한 거의 연구되지 않은 사료 원료 식이 섬유소 공급원 개발 및 그 이용률 향상을 통한 이유자돈의 설사 방지기술 개발은 기존 항생제 대체 시장에 활기를 불어올 뿐 아니라, 빼앗긴 우선권 획득 및 자돈 사료의 원료 다변화를 통해 곡물가격안정화에도 기여할 것이며, 궁극적으로 현재의 심각한 폐사율을 개선하여 일반 양돈농가의 경쟁력을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 과제 중 1년차에는 자돈의 성장과 설사 방지에 적합한 섬유소 공급원 후보를 선정하는 실험이 진행되었으며, 추가적으로 적정 첨가량 설정 및 항생제 대체효과를 규명하기 위한 연구 및 섬유소 공급원이 자돈의 장내 미생물 균총 및 영양소 소화율에 미치는 영향에 대한 연구가 이루어졌다. 사료 내 섬유소 함량과 섬유소원의 선정 방법이 가장 먼저 소개되었고, 후보로서 sugar beet pulp, oat hull 및 cassava에 대한 기존의 연구내용들이 전반적인 부분을 차지하였다.

1년차 연구과제에서는 선행 연구에서 선정된 섬유소원 sugar beet pulp와 oat hull을 이유자돈 사료에 적용하여 섬유소원의 공급이 자돈에게 미치는 영향 및 적정 첨가량을 설정하며, 항생제 대체제로서의 효과를 검증해보기 위한 실험이 진행되었다. 첫 번째로 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 성장 성적에 미치는 영향에 대하여 일당증체량, 일당사료섭취량 및 사료효율 항목을 통하여 검증해보았고, 두 번째로 영양소 소화율 실험을 수행하여, 동일한 항목이 건물, 조단백, 조회분, 조지방 및 질소축적율에 어떠한 영향을 미치는지 연구를 수행하였다. 이 밖에 사양실험 중간에 혈액샘플을 채취하여 혈중요소태질소(BUN)에 미치는 영향을 통해 단백질이용률을 평가해보았으며, 일반적으로 체내근육에서 대사되며, 에너지를 보관하는 역할을 하는 단백질인 크레아티닌을 분석하여 간접적으로 실험돈의 건강상태를 체크하였다. 면역학적인 지표로는 IGF-1이 조사되었으며, 해부실험을 수행한 이후에 실험돈 도축 샘플을 이용하여, 소장 내 형태학적 변화 및 장내 미생물 균총에 미치는 영향에 대하여 평가하였고, 마지막으로 분변 샘플을 채취하여 휘발성지방산에 미치는 영향을 검증하였다.

2년차 연구과제에서는 섬유소원이 첨가된 자돈사료와 효소제의 첨가가 자돈의 사양성적, 혈액지표, 설사빈도, 장내 미생물 균총 및 영양소소화율에 미치는 영향에 관련하여 실험을 수행하였으며, 사료의 물리적인 가공형태가 자돈의 사양성적, 혈액지표, 설사빈도, 영양소소화율, 분변 내 VFA 및 미생물 조성에 미치는 영향에 대한 검증 실험을 수행하였다.

식이섬유소의 첨가는 그 종류와 사용량에 따라 prebiotics로서 장내 유익균들이 이용하기 좋은 섬유소를 공급하고, 휘발성 지방산 생성과 장내 pH 저감 효과를 통하여 유산균의 증식 및 병원성 미생물의 저하를 유도하여 자돈의 성장 촉진 및 설사 감소효과가 있다는 보고가 있

다. 하지만 섬유소의 높은 급여량은 자돈의 소화율을 저하시키는 요인이 될 수 있기 때문에 지금까지 단위동물의 사료 내에 높은 함량으로 급여하지 않았는데 본 실험에서는 이러한 부분을 보충하기 위하여 효소제를 첨가해 보고 다른 항목에 미치는 영향 및 개선 사항을 평가해 보았다.

3년차 연구과제에서는 단백질의 제한 급여가 자돈의 성장, 설사빈도 및 영양소 소화율에 미치는 영향에 관하여 규명하였으며, 추가적으로 전분질 사료 급여의 자돈의 성장, 설사빈도 및 영양소 소화율에 대한 효과 검증 실험 또한 수행되었다.

영양적 측면에서 제대로 소화되지 않은 사료는 대장 내에서 발효를 일으켜 설사를 유발하게 되며 이러한 부분은 자돈의 성장에 악영향을 미쳐 일반 농가의 생산성을 악화시킬 수 있다. 최근에 일반 사료 회사에서 자돈의 성장 저하를 염려하여 단백질 수준을 높이는 경향이 있는데 소화되지 못한 영양적 부분을 증가시키는 원인이 되고 있다. 이러한 배경을 바탕으로 3년차 실험에서는 자돈을 위한 적정 단백질 수준을 검증하는 실험이 수행되었으며, 자돈의 성장 성적, 설사빈도 및 영양소소화율 외에도 혈중요소태질소, 크레아티닌 및 혈중 인슐린 유사 성장인자에 미치는 영향에 대한 검증 실험 또한 수행되었다. 또한 단백질 원료 사용 함량 이외에 사료 내 전분 사용에 대한 적정 첨가 수준을 실험을 통해 분석하였으며, 종합적으로 양돈 사료가격을 낮추고 자돈의 설사를 방지할 수 있는 방법에 대하여 모색해 보았다.

IV. 연구개발결과

본 1년차 과제에서는 자돈의 성장과 설사 방지에 적합한 섬유소 공급원을 선정하였으며, 선정된 섬유소 공급원의 적정 첨가량 및 항생제 대체 효과를 자돈의 성장, 영양소 소화율, 설사 빈도 및 미생물 군총에 미치는 영향을 분석하여 검증해보았다. 섬유소 공급원은 원료의 수급 가능성, 가격 및 자돈에 미치는 영향 등 다양한 각도에서 분석하여 선정되었으며 최종 선정된 공급원은 sugar beet pulp, oat hull 및 cassava 였다. Sugar beet pulp는 돼지 사료로 사용하기에 너무 섬유소 함량이 높아 모든의 경우에만 제한적으로 사용되던 원료 사료였다. 하지만 최근에 보고된 바에 의하면 이유자돈에서 80~85% 이상의 소화율을 보인다는 보고도 있어 단위 동물 사료 내에서의 가치에 대한 재평가가 시급한 상태이다. Oat hull은 전분을 주성분으로 하는 곡물 원료로서, 조단백질 함량이 약 11% 정도로 옥수수보다 높지만, 필수아미노산 함량이 낮은 것이 특징이다. 지금까지 귀리는 역시 높은 섬유소 함량 때문에 모든의 경우에만 제한적으로 사용되어 왔고 최근에 귀리 내 성분중 하나인 β -glucan의 여러 긍정적인 효과가 밝혀지면서 새로운 원료로서 각광받고 있다. 마지막으로 cassava는 타피오카 또는 만디오키라고 불리는 열대성 근피류 식물로서, 단백질 등의 영양소 함량은 매우 낮으나 가용성 탄수화물 함량이 높아 값싼 에너지 공급원으로 새롭게 각광받고 있는 원료이다. 이 3가지 종류의 원료가 후보로 선정되었으며, 이를 바탕으로 추가 실험을 수행하였다. 일단 1년차 실험에 사용된 원료는 oat hull과 sugar beet pulp 였고, 결과는 다음과 같다. 전 실험기간 (0-5

주)의 성장성적을 살펴보면 phase I, II 에서 성장성적이 가장 높았던 PC처리구의 성장성적이 역시 동일하게 가장 높았으며, 식이섬유를 첨가한 처리구들은 PC 처리구보다 일당 증체량이 낮게 나타났지만 NC 처리구보다는 높았고, sugar beet pulp를 8% 첨가한 SBP8 처리구의 경우 PC 처리구와 동등한 성장성적을 보였다 ($P < 0.05$). 일당 사료섭취량에서는 모든 처리구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 사료 요구율에 있어서는 PC 처리구와 SBP 8 처리구에서 가장 낮게 나타나 1kg 증체를 위한 사료요구량이 낮은 것으로 나타났으며, NC 처리구 에서 가장 높은 사료요구율을 나타내었다. 식이섬유소 공급원 간의 비교에서는 oat hull보다 sugar beet pulp를 첨가한 처리구의 일당증체량이 높게 나타났으나 첨가 수준 간 비교에서는 식이섬유소를 8% 첨가한 처리구들의 성장이 높게 나타났다. 대사 실험 결과, sugar beet pulp의 건물 (dry matter) 소화율이 oat hull에 비해 유의적으로 높은 수치를 나타냈으며, 첨가량에 따라 8% 첨가수준이 2%첨가 수준보다 낮은 영양소 소화율을 나타냈다. 조단백질 (crude protein) 소화율에서 또한 처리구 간 유의적인 차이가 발견되었으며, 섬유소를 각각 8% 첨가한 첨가구들이 기타 처리구들에 비해 낮은 영양소 소화율을 보였다. 혈중 요소태 질소 항목에서는 sugar beet pulp가 oat hull에 비해 5주차에서 유의적으로 낮은 수치를 나타냈고, sugar beet pulp를 8% 급여하였을 경우에 대조구에 비해 유의적으로 높은 혈중 인슐린 유사 성장인자 수치를 나타냈다. 해부 실험 결과, 맹장부위에서 sugar beet pulp를 2 및 8% 첨가한 처리구와 oat hull을 8% 첨가한 처리구의 *Escherichia coli* K88+ CT value가 낮게 나타났으며, 소장 내 형태학적 변화를 현미경으로 관찰한 결과 특별한 차이는 나타나지 않았다. 이 밖에도 질소축적율, 크레아티닌, 분변 내 휘발성 지방산 함량을 분석하였으나 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않아, 섬유소를 첨가하여도 해당 항목에 대하여 악영향을 미치지 않음을 검증하였다.

본 연구 결과, 이유자돈에게 sugar beet pulp를 8% 가량 급여할 경우 성장 성적을 항생제를 사용하지 않고도 개선시킬 수 있으며, 장내 유해 미생물인 *Escherichia coli* K88+의 균수를 줄이는 효과가 있는 것으로 나타났다. 이 밖에 질소축적율, 크레아티닌 및 분변 내 휘발성 지방산에 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 효과적인 항생제 대체제로서 사용될 수 있는 가능성을 보여주었다.

본 2년차 연구에서는 섬유소원이 첨가된 자돈 사료와 효소제의 첨가가 자돈의 사양성적, 혈액지표, 설사빈도, 장내 미생물 균총 및 영양소 소화율에 미치는 영향에 대하여 규명하였고, 추가적으로 사료의 물리적인 가공형태가 자돈의 사양성적, 혈액지표, 설사빈도, 영양소 소화율, 분변 내 VFA 및 미생물 구성에 미치는 영향에 대하여 검증하였다. 사양 실험 결과, 전 실험기간 (0-5 주) 동안의 성장성적에서 PC 처리구와 효소제를 0.05 % 첨가한 A 처리구의 성장성적이 가장 높게 나타났으며, 효소제를 각각 0.1 %, 0.15 % 첨가한 B, C 처리구의 경우 성장성적이 앞의 두 처리구에 비해 낮게 나타난 것을 볼 수 있었다. 이에 반해 사료효율은 효소제의 첨가에 따라 개선되는 경향을 나타냈다 ($P > 0.05$). 설사지수의 경우 2~5 주간의 설사빈도에 있어서는 모든 처리구간 통계적인 유의차가 나타나지 않았지만 효소제를 첨가한 처

리구의 경우 0~2주간에 NC 처리구보다 높은 설사지수를 보였으며 ($P>0.05$), 효소제의 첨가 수준에 따라 linear하게 개선되는 경향이 나타났다 ($P<0.05$). 해부 실험 결과, 처리간에 소장 용모의 높이, 용와의 길이, 그리고 그 비율에 있어 통계적으로 유의적인 차이를 보이지는 않았다 ($P>0.05$). 하지만 NC 처리구에 비해 효소제를 첨가한 처리구의 용모 : 용와의 비율이 quadratic 하게 증가하는 경향이 관찰되었다 ($P<0.05$). 장내 미생물 군총 분석결과 첨가수준에 따라 회장에서 *Lactobacillus casei* ($P<0.05$) 맹장에서 *Bacillus subtilis* ($P<0.05$)를 제외하고 처리구 간에 통계적으로 아무런 차이나 경향도 발견되지 않았다. 회장에서는 효소제를 0.2% 첨가한 C처리구를 제외한 A, B처리구가 NC, PC 처리구보다 대등하거나 낮은 CT-value를 보여 회장 내 *Lactobacillus casei*가 우점하고 있는 것을 볼 수 있었으며, 맹장에서도 마찬가지로 *Bacillus subtilis*가 회장 내 *Lactobacillus casei*에서의 결과와 비슷한 결과를 보였다. 유해 미생물인 *Escherichia coli* K88+의 경우 모든 처리구에서 최소 검출기준 수준보다 낮은 수준을 보여 장관 내 이들의 수는 매우 적은 것으로 나타났다. 이 밖에 추가적으로 측정된 혈중요소태질소, 크레아티닌 및 혈중 인슐린 성장 유사인자 항목에서는 처리구간 특별한 유의적 차이가 나타나지 않았다.

종합적으로 본 실험 결과, 효소제를 첨가할 경우 사양 성적이 개선되는 경향이 있는 것으로 나타났으며, 효소제 첨가에 따른 자돈 설사 감소 효과 또한 검증되었다. 추가적으로 자돈의 형태학적 발달 또한 성장에 적합하게 개선되는 것으로 나타났으며, 유용 미생물의 우점을 증가시켜 장내의 미생물 환경을 긍정적으로 변화시키는 효과 또한 있는 것으로 나타나, 섬유소 공급원과 효소제를 함께 급여할 시 성장 성적을 개선시킬 수 있는 가능성을 확인하였다.

2년차 연구과제 2번째 실험은 위에서 제시된 바와 같이 사료의 물리적인 가공형태에 대한 검증 실험이었다. 사양 실험 결과, 실험 개시 후 14일, 35일 및 실험 전체 5 주간 일당증체량, 일일 사료 섭취량에 있어 어떠한 유의적 차이나 경향도 나타나지 않았다 ($P>0.05$). 유일하게 유의적 차이가 나타난 부분은 0~2 주까지의 사료 요구율로서 mash 처리구와 crumble + mash 처리구가 crumble 처리구에 비해 높은 사료효율을 보였다 ($P<0.05$). 영양소 소화율 실험결과, 건물 (dry matter), 조단백질 (crude protein), 조지방 (crude fat), 조회분 (curde ash), 조섬유 (crude fiber)의 소화율에 있어 모든 처리구에서 어떠한 유의적인 차이도 발견되지 않았으며 ($P>0.05$), 장 내용물 통과속도에 있어서도 특별한 차이가 나타나지 않았다. 여기에 추가적으로 혈중요소태질소, 크레아티닌, 혈중 인슐린 성장인자, 분변 내 대장균 수 및 분변 내 휘발성 지방산 농도가 측정되었지만 사료의 물리적인 가공형태에 따른 특별한 경향을 나타내지 않았다.

위의 결과를 정리해 보면 특별하게 비용이 발생하는 가공처리를 한다고 하여도 성장성적이나 영양소 소화율을 획기적으로 개선하지는 못하는 것으로 나타났으며, 소장의 발달이 미흡한 이유자돈 초기에는 영향을 미칠 수 있으나 이후에는 특별한 영향을 미치지 못하는 경향이 발견되었다. 이 밖에도 사료의 가공형태에 따라 개선될 수 있을 것으로 예상되었던 여러 항목에서도 역시 동일한 수치를 나타내 가공 처리 사용에 재고가 필요한 것으로 사료된다.

3년차 연구과제에서는 단백질의 제한 급여가 자돈의 성장, 설사빈도 및 영양소 소화율에 미치는 영향에 관하여 규명하였으며, 추가적으로 전분질 사료 급여의 자돈의 성장, 설사빈도 및 영양소 소화율에 대한 효과 검증 실험 또한 수행되었다.

일단 3년차 첫 번째 실험에서는 사양실험 결과 1주차 체중에서, 단백질 수준에 따른 quadratic effect가 나타났으며 (quadratic, $P<0.05$), 5주차의 체중결과에서는 사료 내 단백질 수준이 제한됨에 따라 체중이 감소되는 결과를 나타냈다 (linear, $P<0.01$). CON 처리와 P2 처리구의 체중 결과가 P4와 P6 처리구의 체중의 결과보다 유의적으로 높은 경향이 나타났으며 ($P<0.01$), phase II에서 P6 처리구가 다른 처리구에 비해 유의적으로 낮은 ADG 수치를 나타내었고 ($P<0.05$), 추가적으로 linear effect가 나타났다 ($P<0.01$). G:F ratio의 결과에서도 마찬가지로 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라서 linear하게 감소하는 결과를 나타냈고 (linear, $P<0.01$), ADG와 G:F ratio은 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라 함께 낮아지는 경향을 나타냈다 (linear, $P<0.01$). 마지막으로 CON 처리구와 P2 처리구의 성장성적이 P4와 P6 처리구의 성장성적보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P<0.01$). 혈중 인슐린 유사 성장인자의 경우 실험 전 구간, 1주차와 5주차 (linear effect, $P<0.05$), 3주차 (linear effect, $P<0.01$) 결과에서 단백질 수준이 증가함에 따라 혈중 내 IGF-1의 농도가 linear하게 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 단백질 수준의 제한이 혈중 인슐린 유사 성장인자의 농도 감소에 영향을 미치며 4%이상의 단백질 수준의 제한은 이유자돈의 성장에 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다. 영양소 소화율 실험 결과, 건물 (dry matter)의 소화율은 단백질의 제한 수준에 따라 증가하였으며 (linear, $P<0.05$; quadratic $P<0.01$), P4 처리구가 다른 처리구에 비해 가장 높은 소화율을 나타내었다 ($P<0.01$). 반면에 조단백질 (crude protein) 소화율은 사료 내 단백질의 함량이 감소함에 따라 감소하여 나타났으며 (linear effect, $P<0.05$), 조회분 (curde ash) 소화율에 있어서는 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라 증가되는 경향이 나타났다 (linear effect, $P<0.05$; quadratic effect, $P<0.05$). 조지방 (crude fat)의 소화율은 증가하는 경향을 나타내었으며 P4처리구의 조지방 소화율이 가장 높게 나타났다 (quadratic effect, $P=0.08$). 질소 축적률 결과에서는, 분 내 질소농도가 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라 감소하여 나타났으며 (linear effect, $P<0.05$), 측정된 뇨 내 질소농도도 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다 ($P=0.067$). 이 밖에 설사지수, 혈중 요소태질소 및 크레아티닌 항목이 측정되었지만 모든 처리구간에 유의적으로 통계적인 차이를 나타내지 않았다.

종합적으로 단백질 수준을 제한함에 따라 체중이 감소되는 경향이 나타났지만 기존보다 단백질 함량을 2% 낮춘 P2 처리구의 경우 대조구와 비교하여 차이가 없었다. 여기에 추가적으로 다른 항목에서도 특별한 차이를 나타내지 않아 이유 자돈 사료 내에 단백질 수준을 기존보다 일정함량 낮춰도 자돈의 성장성적에 악영향을 미치지 않으며 사료비를 절약할 수 있을 것으로 사료된다.

3년차 두 번째 실험에서는 사양실험 결과 3-4주차의 일당증체량에서 카사바 부산물 첨가

에 따라 성장이 정체되는 linear response가 나타났으며, 3-4주, 5-6주 및 0-6주간의 사료섭취량에서 카사바 부산물의 첨가량이 늘어날수록 수치가 줄어드는 linear response가 나타났다 ($P < 0.05$). 실험 전 기간 동안의 ADFI의 경우 카사바 부산물 사용량에 따라 영향을 받았지만 이 영향이 실험 전 기간 동안의 성장률 및 사료효율에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 설사빈도의 경우, 전체 실험 기간 동안에 명확히 설사라고 할 정도의 증상을 보이는 개체를 보이는 것은 없었다. 수양성 정도를 수치화 하였을 때, 카사바 섭취에 따른 영향이 크게 나타나지 않았으나 0-2주 구간에서 Control 처리구에 비해 카사바 부산물 5%첨가한 C5처리구가 낮은 설사빈도를 나타내었다. 혈중 크레아티닌 (creatinine)의 경우 실험 종료 시 카사바를 가장 많이 첨가한 C15 처리구의 농도가 다른 처리구들에 비해서 유의적으로 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). C15 처리구의 수치적으로 낮은 크레아티닌의 농도는 실험개시 후부터 지속적으로 나타났다. 그러므로 카사바 부산물을 이유자돈 사료 내 15%까지 첨가하는 것은 자돈의 성장에 다소 부정적인 영향을 미칠 수도 있을 것으로 사료된다. 영양소 소화율 실험 결과, 조단백질(crude protein)의 소화율은 카사바 첨가량이 높을수록 증가하였으며 (linear effect, $P < 0.01$), C10 처리구와 C15 처리구가 다른 처리구에 비해 높은 소화율을 나타내었다 ($P < 0.01$). 조지방 (crude fat)의 소화율도 카사바 첨가량이 높을수록 증가하였으며 (linear effect, $P < 0.01$), Control 처리구가 가장 낮은 지방 소화율을 나타내었다 ($P < 0.01$). 질소 섭취량은 카사바 부산물의 첨가가 증가할수록 증가하였으며 (linear effect, $P < 0.01$), Control 처리구에서 가장 질소 섭취량이 적었다 ($P < 0.01$). 분 내 질소의 함량은 C10 처리구와 C15처리구에서 가장 낮았으며 ($P < 0.05$), 뇨 내 질소의 함량은 Control 처리구에서 가장 낮았고 ($P < 0.05$), 질소 축적률은 카사바를 5% 첨가한 처리구에서 가장 낮았다 ($P < 0.01$). 전체적인 영양소 소화율 실험 결과 카사바 부산물 첨가량을 증가시킬수록 조단백질, 조지방 및 조회분 소화율이 향상되는 것으로 나타났으며, 질소 축적율의 경우 C5 처리구 외에서는 카사바 부산물 첨가량 증가에 따라 특별한 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 분 내 미생물 균총 실험에서는 phase I 단계에서 카사바의 첨가 수준이 높아질수록 대조구에 비해서 유해균인 *Salmonella*와 *E.coli*가 유의적으로 높은 것으로 나타났다 ($P < 0.05$). 이러한 경향은 phase 2와 phase 3에서도 발견되어 카사바 부산물의 15% 첨가 수준은 자돈의 설사방지를 하지 못하는 것으로 사료된다. 모든 처리구 중에서 유일하게 C5 첨가 수준의 경우 phase II 구간에서 Control 처리구에 비해 낮은 *Salmonella* 균수를 나타냈으며, 전반적으로 다른 첨가 수준에 비해 Control 처리구에 비해 뒤지지 않는 수를 나타냈다. 분 내 휘발성 지방산 농도결과에서는 C5 처리구의 경우 Control 처리구에 비해 높은 함량을 나타냈으며, C10은 Control 처리구와 동일한 수준을, C15 처리구의 경우 Control 처리구에 비해 낮은 함량을 나타냈다.

종합적으로 사료 내 카사바의 함량이 증가함에 따라 사료섭취량이 감소되는 경향이 나타났지만, 영양소 소화율 및 설사 빈도, 분 내 휘발성 지방산 농도 실험 결과를 분석해 보면 C5 처리구가 Control 처리구에 비해 여러 측면에서 개선된 경향을 나타낸 경우가 많아 카사바 5%의 첨가는 자돈의 설사방지 및 건강성에 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

마지막으로 3차 년도에 진행했던 실험 결과를 바탕으로 자돈의 설사 방지 및 성장 촉진을 위한 무항생제 사료 제안 모델을 제시 하고 경제성을 분석하였다. 섬유소 공급원으로서의 자돈 사료 내 sugar beet pulp 8% 첨가 수준은 설사 유발 인자이며 장내 유해 미생물의 일종인 *Escherichia coli* K88+의 균수를 저감시키는 것으로 나타났다. 자돈기 효소제 첨가 모델에서는 실제 실험에 사용된 효소제 첨가 수준은 0.5, 1.0 및 1.5% 였지만, 0.5% 수준에서도 충분히 효과를 보이는 것으로 나타났다. 원료사료의 섬유소원 공급 효과 및 0.5% 효소제의 추가적인 보충작용으로 인해 영양소 소화율 저하 없이 자돈의 설사 및 소장 발달을 효과적으로 개선시킬 수 있다. 다음은 단백질 수준 제한 모델로서, 자돈기의 각 phase의 단백질 요구량을 모두 2%씩 저감시킨 개선안이다. 실험 결과 2% 정도 기존에 비해 단백질 수준을 저하시켜도 이유 자돈의 성장성적에 악영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 영양소가 과다 섭취될 경우 체내에 효과적으로 흡수되지 못한 영양소가 체외로 배출되어 설사를 유발 시키는 요인이 될 수 있다는 선행 실험의 결과를 감안하였을 때 해당 제안 모델은 이유 자돈 설사 저감의 또 다른 방안으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 마지막으로 카사바는 기본적으로 저항 전분을 높은 함량 포함하고 있기 때문에 VFA 조절 및 소화물의 통과 속도를 조절하는데 탁월한 효과가 있는 것으로 일반적으로 보고되고 있다. 카사바 5% 첨가 수준에서는 대조구에 비해 개선된 VFA 생성량 및 초기 설사 발생률을 나타내 자돈의 설사 방지 모델로서 사용될 수 있는 가능성이 있는 것으로 사료된다. 각 모델을 기초로 하여 각 사료비와 성장성적으로 바탕으로 경제성 분석 결과, 4개의 제안 모델 중 카사바 부산물 모델의 경우 성장 성적에서의 차이가 크지 않아 kg 증체 당 사료비에 차이가 없는 것으로 나타났으나, 자돈기만 고려하였을 때 섬유소 첨가 모델을 사용 할 경우 kg 증체 당 사료비를 34원 절감할 수 있는 것으로 나타났으며, 두당 680원, 국내 총수익으로 계산할 경우 99억 4천만원의 수익을 올릴 수 있는 것으로 나타났다. 효소제 모델의 경우 kg 증체 당 사료비를 25원 절감할 수 있는 것으로 나타났으며, 두당 500원 및 국내 총수익 환산 73억 1천만원의 사료비를 절약할 수 있는 것으로 나타났다. 마지막으로 단백질 제한 모델을 적용시킬 경우 kg 증체 당 사료비를 55원, 국내 총수익 환산 160억원의 사료비를 절감할 수 있는 것으로 나타나 관련하여 자돈 구간의 사료비를 획기적으로 저감시킬 수 있을 것으로 예상된다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1년차 연구 본 실험에서 증명된 섬유소 공급원은 sugar beet pulp로서 8% 가량 급여할 경우 성장 성적을 항생제를 사용하지 않아도 개선시킬 수 있으며, 장내 유해 미생물 균총 수를 줄일 수 있는 것으로 나타나 설사 예방에도 효과적일 것으로 예상된다. 여기에 추가적으로 현재 논란이 많았던 oat hull 원료의 경우 기존에 알려진 바와 같이 특별한 성장 개선 효과를 가지지는 못한 것으로 나타났고, 많은 함량 사용할 경우 영양소 소화율 등 여러 항목에 부정적인 영향을 미칠 수 있어 일선 사료회사에서 사용할 시 첨가 함량에 주의해야 할 것으로 보

인다. 위 실험 결과는 일반 사료회사 및 양돈 농가에서 섬유소 공급원을 양돈 사료에 첨가할 시 큰 도움이 될 수 있을 것으로 예상되며, 항생제 대체제로서 사용할 수 있는 섬유소 공급 수준과 항목에 대한 시행착오를 줄여 산업 전반의 생산성을 향상시킬 수 있는 계기가 될 것으로 예상된다. 2년차 연구에서는 효소제를 섬유소원과 함께 첨가할 경우 사양 성적이 개선될 수 있다는 가능성이 검증되었으며, 효소제 첨가에 따른 자돈 설사 저감 효과 또한 검증되었다. 여기에 추가적으로 자돈의 형태학적 발달 또한 성장에 적합하게 개선되는 것으로 나타났으며, 유용 미생물의 우점을 증가시켜 장내의 미생물 환경을 긍정적으로 변화시킬 수 있다는 기존의 연구 결과 또한 검증되었다. 위 실험 결과는 자돈 설사 저감과 관련하여 기존에 섬유소원을 사용할 수 없었던 소화율 문제를 효소제를 통해 개선할 수 있다는 가능성을 보여주는 결과로 일선 사료회사에 배포되어 활용될 경우 자돈 설사로 인한 폐사율 증가와 관련하여 고통 받고 있던 일반 양돈 농가의 경제성 및 수익성을 획기적으로 개선시킬 수 있을 것으로 기대된다. 2년차 2번째 연구에서는 사료의 물리적인 가공형태에 따라 성장성적이거나 영양소 소화율이 크게 개선되지는 못하는 것으로 나타났으며, 다른 항목에도 역시 특별한 영향을 미치지 않는다는 결과를 보였다. 지금까지 일반 사료회사에서는 소화율을 향상시킬 수 있다는 것을 계기로 사료 원료에 대한 추가 가공을 임의적으로 수행하고 있었다. 이는 사료 값을 상승시키는 원인중의 하나로 작용될 수 있으며, 현재 고 비용 사료의 원인이기도 하다. 가공처리를 하지 않은 경우에도 특별한 차이가 없다는 본 연구결과가 배포 될 시 이러한 무의미한 가공과정은 줄어들 것이며, 추가적으로 사료비를 낮추고, 일반 농가의 가격 경쟁력을 향상시킬 수 있는 토대가 될 것으로 예상된다. 3년차 첫 번째 실험에서는 기존보다 단백질 함량을 2% 정도 낮추어도 기존의 사료와 비교하여 성장에 특별한 차이를 나타내지 않았다는 결과를 얻었다. 단백질 공급 원료는 다른 사료 원료에 비해 월등히 높은 가격을 가지고 있어, 위 결과를 토대로 일정 부분 단백질 함량을 낮춘다면 추가적으로 사료비를 낮출 수 있을 것으로 예상된다. 그리고 3년차 두 번째 실험에서는 5%수준의 카사바는 성장에 특별히 부정적인 영향을 미치지 않고 분 내 VFA의 발생을 증대시켜 자돈의 장 건강성에 도움을 주고, 자돈의 설사발생을 감소시킨다는 결과를 얻었다. 비록 카사바의 첨가는 증체에는 크게 도움이 되지 않아 경제성 분석 시 사료비 절감 효과는 제시할 수 없으나, 우리나라의 자돈 폐사율이 높은 점을 고려하면 일반 농가에서 자돈 설사발생으로 인한 폐사율 감소로 인한 경제적 소득 증대에 도움이 될 것으로 예상된다.

본 연구과제를 통하여 얻어진 모든 실험 결과는 논문화되어 유명저널에 제출될 예정이며, 검증받은 항목을 토대로 참여업체에서는 실험결과를 자돈 설사의 발생을 저감시키기 위한 무항생제 사료생산에 도입할 예정이고, 일반농가에 배포하여 섬유소 공급원 및 효소제를 양돈 사료 내에 첨가할 시와 자돈 설사 저감 방안과 관련하여 참고할 수 있는 가이드로서 제공할 예정이다.

SUMMARY

(영문요약문)

One of the main issues affecting profitability of the swine industry in Korea will be lowered production efficiency resulting from the growth check after weaning. Weaning pigs require an intensive management, diets contained high nutrients and well-prepared facilities compared to growing/finishing pigs. Weaning pigs are very susceptible to gastrointestinal disorders and digestive disturbances as a result of their immature digestive system when hard grain based diet was provided instead of liquid type of milk. Consequently scours are observed very frequently after weaning which induced retarded growth, increased mortality as well as high production cost. Because of these problems, dietary antibiotics was widely supplemented in weaning pigs' diet to improve growth rate and prevent diarrhea(Hays, 1978; Zimmerman, 1986; Cromwell, 1991). However, increased public concern about food safety in animal origin and antibiotic resistance issues resulted in trying to search for alternative materials toward antibiotics in animal diet.

The possible development of bacterial resistance due to the use of antibiotic growth promoters (AGP) for growth promotion has resulted in the ban of AGP in EU from Jan. 1 2006. Although this decision can be seen as a precautionary measure in the interest of human health, the ban of AGP could lead to a deterioration of animal health such as increased diarrhea, weight loss and mortality particularly in postweaning pigs.

A lot of alternative materials toward antibiotics in animal diet were evaluated by many researchers. Although there were several studies reporting possibility as an alternative materials, the results were inconsistent among the studies. Therefore, this study was conducted to try to find the method for decreasing diarrhea incidence and reduce growth check in weaning pigs without using antibiotics in their diets.

In the first year study, the alternative materials toward antibiotics for decreasing incidence of diarrhea were selected by the results of previous experiments. The selection criteria were yield, cost and the effects on growth performance and other parameters to evaluate the condition of the weaning pigs. Among various ingredients, sugar beet pulp, oat hull and cassava were considered but sugar beet pulp has been supplemented limitedly in the swine feed industry because of the high fiber contents which was not able to be digested by endogenous enzyme of monogastric animals.

However, a few studies suggested that the weaning pigs are able to digest sugar beet pulp and its digestibility was approximately 80 to 85% without any detrimental effect on their growth. Consequently reevaluation about sugar beet pulp as a source of ingredient is needed. The oat hull contained higher levels of starch and crude protein than those of corn, but essential amino acids are relatively low. This ingredient was reluctant to use in the swine feed industry because it contained high level of undigestible fiber. However, a positive effect of undigestible fiber was suggested because health status of weaning pigs was improved when β -glucan by oat hull contained diet was provided. The last candidate ingredient was cassava which contained low protein and high soluble starch.

Based upon the characteristics of these ingredients, a study was conducted to evaluate effects of different levels and sources of dietary fiber on the growth performance, nutrient digestibility, diarrhea incidence and intestinal microflora in weaning pigs. A total of 240 weaning pigs ([Yorkshire \times Landrace] \times Duroc), averaging body weight of 8.69 ± 0.45 kg, were allotted to 6 treatments by sex and body weight in 5 replicates with eight pigs per pen by RCB design. The treatments were 1) negative control (NC: basal diet), 2) positive control (PC: basal diet + antibiotics), 3) SBP2 (basal diet + sugar beet pulp 2 % supplementation), 4) SBP8 (basal diet + sugar beet pulp 8 % supplementation), 5) OH2 (basal diet + oat hull 2 % supplementation), 6) OH8 (basal diet + oat hull 8 % supplementation). All nutrient except dietary fiber were met or exceeded the nutrient requirement of NRC (1998). In the results of growth trial, the pigs fed PC and SBP8 diets showed high growth performance compared to other treatments during the whole experimental period ($P<0.05$). The feed efficiency was also improved by providing these two diets and the piglets fed NC diet showed high feed to gain ratio compared to other treatments. Sugar beet pulp treatment diet showed high digestibility of dry matter compared to oat hull diet but digestibility was generally decreased as dietary fiber content was increased ($P<0.05$). The BUN values in the 5 weeks were lower when pigs were fed SBP diet than those of OH diets and the IGF-1 was increased by the supplementation of SBP8 diet compared to control diet ($P<0.05$). In the results of anatomy, *Escherichia coli* K88+ CT values of the piglets fed SBP2, SBP8 and OH8 were lowered than those of other treatment diets. However, dietary treatment did not influence on intestinal morphology, nitrogen retention, creatinine and fecal volatile fatty acid contents. These results demonstrated that sugar beet pulp up to 8 % can be supplemented in corn-soybean meal diet without any detrimental effects

on growth performance for weaning pigs. Moreover, health status of pig was improved when a diet contained high fiber was provided to weaning pigs consequently this kind of ingredient resulted in reduction of using dietary antibiotics in young animals.

In the second year, an experiment was conducted to investigate effects of supplementation of dietary fiber source and enzyme complex on the growth performance, blood profile, diarrhea incidence, nutrient digestibility, fecal VFA contents and intestinal microflora of weaning pigs. A total of 140 weaning pigs ([Yorkshire×Landrace]×Duroc), averaging body weight of $7.30\pm 1.83\text{kg}$, were assigned in a 5 treatments in 7 replicates with 4 pigs per pen by RCB design. Experimental diets were formulated for two phase and the treatments were 1) negative control (NC; basal diet), 2) positive control (PC; basal diet + antibiotics 0.1 % supplementation), 3) A (basal diet + enzyme complex 0.05 % supplementation), 4) B (basal diet + enzyme complex 0.1 % supplementation), 5) C (basal diet + enzyme complex 0.15 % supplementation). The enzyme complex mainly contains the enzyme to digest β -glucan and xylan and all diets were formulated to meet or exceed nutrient requirement of NRC (1998). In the results of growth trial, the ADG and body weight of piglets fed PC and A diets were higher than other treatments ($P<0.05$) and there was a tendency that the feed efficiency was improved when the enzyme complex was supplemented ($P>0.05$). There was no significant difference on the results of diarrhea incidence from 2 to 5 weeks, but that was improved from 0 to 2 weeks, resulting in improved diarrhea incidence of the piglets fed enzyme complex ($P<0.05$). In the results of anatomy, the effects of diets and supplementing enzyme on intestinal morphology were not found, but there was a tendency that the crypt:depth ratio was increased quadratically as the enzyme supplemented ($P>0.05$). The piglets fed A or B diets showed higher ileal CT value of *Lactobacillus casei* ($P<0.05$) and cecal CT value of *Bacillus subtilis* ($P<0.05$) relative to those of NC or PC diets. There was no significant difference on the results of BUN, blood creatinine and blood IGF-1. Based upon these results, it could be suggested that the growth and diarrhea incidence of weaning pigs are improved by the supplementation of enzyme complex and the positive effects on intestinal morphology and intestinal microflora are also expected. Another experiment was conducted to evaluate the effects of form of feed on the growth performance, blood profile, diarrhea incidence, nutrient digestibility, fecal VFA contents and intestinal microflora of weaning pigs. Total 288 weaning pigs

([Yorkshire×Landrace]×Duroc) were allotted to 3 treatments based on body weight and sex by RCB design in 6 replicates with 16 pigs per pen. Treatments were 1) crumble (the crumbled diet containing high dietary fiber), 2) mash (the mashed diet containing high dietary fiber), 3) crumble + mash (the complex of previous two diets). Experimental diets were formulated for two phase. Throughout the experiment, average daily gain and average daily feed intake were not affected by treatments ($P>0.05$). However, the feed efficiency from 0 to 2 weeks was higher in the piglets fed mash and crumble + mash diets than that of crumble diet ($P<0.05$). In the results of digestibility trial, there was no significant difference on all nutrients and this trend also remained similarly in the results of passage rate, blood urea nitrogen, blood creatinine, blood IGF-1, fecal *E. coli* and fecal VFA contents. These results suggested that the growth performance and nutrient digestibility of weaning pigs were not improved clearly by the form of feed and there is no need for increasing feed cost by this processing.

In the third year, evaluation of the effect of different dietary protein levels on the growth performance, diarrhea incidence and nutrient digestibility in weaning pigs. A total of 128 weaning pigs ([Yorkshire×Landrace]×Duroc), averaging body weight of $7.68\pm 0.20\text{kg}$, were assigned in a 4 treatments in 8 replicates with 4 pigs per pen by RCB design. The treatments were 1) control (basal diet, NRC requirement), 2) P2 (2 % lower protein level than basal diet), 3) P4 (4 % lower protein level than basal diet), 4) P6 (6 % lower protein level than basal diet). Experimental diets were formulated for three phase and all nutrient requirement except protein were met or exceeded NRC requirement (1998). In a growth trial, there were quadratic protein level response in body weight of first week ($P<0.05$) and linear protein level response in body weight of 5 week ($P<0.01$). The piglets fed CON and P2 diets showed higher body weight than those of P4 and P6 diets ($P<0.01$) and the P6 diet affected negatively on ADG from 1 to 3 weeks, resulting in linear protein level response ($P<0.01$). This trend also remained in the results of feed efficiency, resulting in linear protein level response ($P<0.01$). Blood IGF-1 concentration ($P<0.01$) and protein digestibility ($P<0.05$) were increased linearly as protein level increased and the nutrient digestibility of dry matter was decreased linearly when protein level was increased ($P<0.05$). The nitrogen retention was affected by the protein level with linear level response ($P<0.05$) and there was no significant difference on the results of diarrhea incidence, blood urea nitrogen and blood creatinine. Based upon these results, it can be suggested that although the growth

performance of weaning pigs were suppressed when protein level was decreased, the diet containing 2 % lower protein level than basal diet could replace the control diet without any worry of growth check.

From these experiments, it is shown that the production cost of swine industry could be lowered by the application of sugar beet pulp up to 8 %, enzyme complex expected to decrease diarrhea incidence, the limited feed processing and decreased protein levels of diet in weaning pigs.

In the third year, an experiment was conducted to demonstrate the effect of different levels of cassava on the growth performance, diarrhea incidence, nutrient digestibility, fecal microflora and fecal volatile fatty acid concentration in weaning pigs. A total of 128 weaning pigs ([Yorkshire×Landrace]×Duroc), averaging body weight of 7.98 ± 0.83 kg, were assigned in a 4 treatments in 8 replicates with 4 pigs per pen by RCB design. The treatments were 1) control (basal diet, NRC requirement), 2) C5 (basal diet + 5% cassava), 3) C10 (basal diet + 10% cassava), 4) C15 (basal diet + 15% cassava). Experimental diets were formulated for three phase and all nutrients except protein were met or exceeded NRC requirement (1998). In a growth trial, there were linear response in ADG from 3 to 4 week and linear response in ADFI of 3 to 4 week, 5 to 6 week and overall ($P < 0.05$). In total experimental period, ADFI was decreased as cassava level increased while G/F ratio was not affected by cassava levels. In diarrhea score result, the piglets fed C5 diets showed lower diarrhea frequency than Control diets ($P < 0.01$). The blood creatinine value in the total experimental period was lower when the pigs fed C15 diet than those of other treatment diets. It means the use of 15% of cassava could affect negatively on growth of piglet. However there are no significant differences on the results of BUN and IGF-1 values. And crude protein digestibility, crude fat digestibility, nitrogen intake were increased linearly as cassava level increased ($P < 0.01$) and the nitrogen retention was not affected by cassava level excepting C5 treatment ($P < 0.01$). In the result of fecal microflora, only C5 treatment showed lower number of *Sallmonella* than control treatment in the phase 2 ($P < 0.01$). However there are no positive effect by dietary cassava level in the number of *E. coli* and *Lactobacillus*. In fecal VFA concentration result, C5 treatment showed higher value than control treatment while C15 treatment showed lower value than control treatment. In many result of C5 treatment was improved than control treatment. Based upon these results, 5% of cassava can be suggested to reduce the incidence of diarrhea of weaning pigs.

Through previous results, models for reduction of incidence of diarrhea in piglets were suggested and analyzed by economical and practical aspects. Addition of 8% sugar beet pulp as a fiber source in piglet's diet reduced the number of *Escherichia coli* K88+ which was one of factors causing piglet's diarrhea. In enzyme addition model, supplementation 0.5% enzyme revealed positive effect enough on piglet growth. In case used fiber source in piglet diet, addition of 0.5% enzyme improved of piglet without impairment of nutritional digestibility. The third protein restriction model was reduced 2% of crude protein level in each phase of piglet diet. In the results, growth performance of piglet was not influenced by 2% of crude protein restriction in piglet diet. Provided excess nutrients, piglet cannot absorb nutrients efficiently and excretes undigested nutrients causing diarrhea. Considering previous results, this model could be used for the methods reducing incidence of diarrhea in piglet. The last cassava model, 5% cassava level increased VFA concentration in the intestine and reduced incidence of diarrhea in the early stage of post weaning. It has been reported that cassava containing high level of resistant starch control production of VFA and the passage rate of the chyme in the intestine. For this reason, 5% cassava level could be utilized in piglet diet for reducing incidence of diarrhea.

In economical analysis result depended on growth performance, there was no economical profit in the cassava model out of four kinds of models. However, fiber source model could save approximately 34 won per kilogram of carcass weight, 680 won per head which meant about 9,940 million won per year could be reduced in production cost of swine farms in Korea. In enzyme model, it can save about 25 won per kilogram of carcass weight, 500 won per head and totally about 7,310 million won per year could be reduced in feed cost. And the last protein restriction model could save 55 won per kilogram of carcass weight, 16 billion won per year. These models could be expected innovative financing method for reduction of production cost in postweaning period. These results demonstrated that dietary ingredients can be utilized for development of diarrhea prevention technique and non-antibiotic feed production in industries and practical farms without using antibiotics in animal feed.

CONTENTS

(영 문 목 차)

1. Introduction of the research	24
1) The needs and aims of the research	24
a. The aims of the research	24
b. The needs of the research	25
2. The internal and external research status	27
1) The internal research status	27
2) The external research status	29
3. Experiments and results of the research	32
1) The adoption of proper fiber source in diet to prevent diarrhea and improve growth performance of piglet	32
a. Introduction	32
b. Body	33
2) The evaluation of fiber source as an alternative antibiotics and establishment of optimal level of fiber source in piglet's diet	37
a. Introduction	37
b. Materials and methods	38
c. Results and discussion	45
3) The effects of enzyme in piglet's diet contained fiber source on growth performance, diarrhea score, blood profiles, nutrient digestibility, fecal VFA concentration and intestinal microflora in weaning pigs	56
a. Introduction	56
b. Materials and methods	57
c. Results and discussion	64
4) The effects of form of feed on growth performance, diarrhea score, blood profiles, nutrient digestibility, fecal VFA concentration and intestinal microflora in weaning pigs	78
a. Introduction	78
b. Materials and methods	79
c. Results and discussion	83
5) The effects of protein restriction on growth performance, diarrhea score, blood profiles	

and nutrient digestibility in weaning pigs	93
a. Introduction	93
b. Materials and methods	94
c. Results and discussion	99
6) The effects of starch source (cassava) growth performance, diarrhea score, blood profiles, nutrient digestibility, fecal VFA concentration and intestinal microflora in weaning pigs	106
a. Introduction	106
b. Materials and methods	107
c. Results and discussion	113
7) Development of diarrhea prevention technique and non-antibiotic feed production using feedstuff, feed processing and manipulation of nutritional concentration	121
a. Introduction	121
b. Materials and methods	122
c. Results and discussion	123
4. The accomplishment and contribution of the research	130
5. Planned use of the research	138
6. Collection of related foreign science technology about the research	140
7. Reference	146

목 차

제 1 장 연구 개발 과제의 개요	24
제 1 절 연구 개발의 목적 및 필요성	24
제 1 항 연구개발의 목적	24
제 2 항 연구 개발의 필요성	25
제 2 장 국내외 기술개발 현황	27
제 1 절 국내 연구 현황	27
제 2 절 국외 연구 현황	29
제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과	32
제 1 절 자돈의 성장과 설사방지에 적합한 섬유소 공급원의 선정	32
제 1 항 서 론	32
제 2 항 본 론	33
제 2 절 섬유소 공급원의 적정 첨가량 설정 및 항생제 대체 효과 규명	38
제 1 항 서 론	37
제 2 항 실험 방법 및 재료	38
제 3 항 연구 결과 및 고찰	45
제 3 절 효소제의 급여가 섬유소원이 첨가된 사료를 섭취한 자돈의 성장, 혈액지표, 설사빈도, 장 내 미생물 균총 및 영양소 소화율에 미치는 영향	56
제 1 항 서 론	56
제 2 항 실험 방법 및 재료	57
제 3 항 연구 결과 및 고찰	64
제 4 절 사료의 물리적 가공형태가 자돈의 성장과 혈액지표, 설사빈도, 영양소 소화율 및 분변 내 VFA, 미생물 조성에 미치는 영향	78
제 1 항 서 론	78
제 2 항 실험 방법 및 재료	79
제 3 항 연구 결과 및 고찰	83
제 5 절 단백질의 제한급여가 자돈의 성장, 설사빈도, 혈액지표 및 영양소 소화율에 미치는 영향	93
제 1 항 서 론	93
제 2 항 실험 방법 및 재료	94

제 3 항 연구 결과 및 고찰	99
제 6 절 전분질 사료 (카사바)의 급여가 자돈의 성장, 혈액성상 설사빈도, 영양소 소화율 및 분변 내 VFA, 미생물 조성에 미치는 영향에 미치는 영향	106
제 1 항 서 론	106
제 2 항 실험 방법 및 재료	107
제 3 항 연구 결과 및 고찰	113
제 7 절 사료의 원료와 영양소 함량 및 가공을 통한 자돈 설사 방지 기술의 개발과 무항생제 사료 생산 가능성 제시	121
제 1 항 서 론	121
제 2 항 실험 방법 및 재료	122
제 3 항 연구 결과 및 고찰	123
제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	130
제 5 장 연구 개발 결과의 활용 계획	138
제 6 장 연구 개발 과정에서 수집한 해외 과학기술정보	140
제 7 장 참고 문헌	146

목 차 <표>

표 1 우리나라 농림업 생산액의 순위에 따른 품목별 비교	28
표 2 측정별 폐사율 및 피해액	28
표 3 2009년 1월부터 규제되는 항생제 목록	29
표 4 EU에서 인증한 자돈용 사료첨가제 개수	30
표 5 EU에서 인증한 EU소속 국가에서 양돈용으로 판매되고 있는 생균제 균주	31
표 6 각 원료사료의 섬유소 함량	34
표 7 실험 사료 배합비 (phase I)	40
표 8 실험 사료 배합비 (phase II)	41
표 9 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 성장에 미치는 영향	47
표 10 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 영양소 소화율 및 질소 축적율에 미치는 영향	48
표 11 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 혈중요소태질소 (BUN)에 미치는 영향	49
표 12 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 크레아티닌 (creatinine)에 미치는 영향	50
표 13 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 IGF-1에 미치는 영향	51
표 14 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 장관의 형태학적 변화에 미치는 영향	52
표 15 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 장내 미생물 균총에 미치는 영향	54
표 16 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 분변 내 VFA 조성에 미치는 영향	55
표 17 실험사료 배합비 (phase I)	59
표 18 실험사료 배합비 (phase II)	60
표 19 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 이유자돈의 성장에 미치는 영향	66
표 20 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 이유자돈의 설사지수에 미치는 영향	68
표 21 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 혈중요소태질소 (BUN)에 미치는 영향	69
표 22 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 크레아티닌 (creatinine)에 미치는 영향	69
표 23 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 혈중 인슐린 유사 성장인자 (IGF-1)에 미치는 영향	70
표 24 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 장관의 형태학적 변화에 미치는 영향	72
표 25 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 장내 미생물 균총 (CT-value)에 미치는 영향	74

표 26	섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 직장 내 휘발성지방산 농도에 미치는 영향	76
표 27	섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 영양소소화율에 미치는 영향	77
표 28	실험사료 배합비 (phase I, II)	80
표 29	사료의 가공형태에 따른 섬유소 공급원의 첨가가 성장성적에 미치는 영향	84
표 30	사료의 가공형태에 따른 섬유소 공급원의 첨가가 혈중요소태질소 (BUN)에 미치는 영향	85
표 31	사료의 가공형태에 따른 섬유소 공급원의 첨가가 크레아티닌 (creatinine)에 미치는 영향	86
표 32	사료의 가공형태에 따른 섬유소 공급원의 첨가가 혈중 인슐린 유사 성장인자 (IGF-1)에 미치는 영향	87
표 33	사료의 물리적 가공 형태가 자돈의 영양소 소화율에 미치는 영향	89
표 34	사료의 가공형태에 따른 섬유소 공급원의 첨가가 자돈의 장 내용물 통과속도에 미치는 영향	89
표 35	사료의 가공형태에 따른 섬유소 공급원의 첨가가 분변 내 대장균에 미치는 영향	90
표 36	사료의 물리적 가공 형태가 자돈의 분변 내 VFA 조성에 미치는 영향	92
표 37	실험사료 배합비 (phase I)	95
표 38	실험사료 배합비 (phase II)	96
표 39	실험사료 배합비 (phase III)	97
표 40	사료 내 단백질 수준의 제한이 이유자돈의 성장에 미치는 영향	101
표 41	사료 내 단백질 수준의 제한이 이유자돈의 영양소 소화율 및 질소 이용률에 미치는 영향	105
표 42	실험사료 배합비 및 화학적 조성 (phase I, d 0 to 14)	108
표 43	실험사료 배합비 및 화학적 조성 (phase II, d 14 to 28)	109
표 44	실험사료 배합비 및 화학적 조성 (phase III, d 28 to 42)	110
표 45	이유자돈 사료 내 카사바 부산물의 첨가가 이유자돈의 성장성적에 미치는 영향	114
표 46	이유자돈 사료 내 카사바 부산물의 첨가가 이유자돈의 영양소 소화율에 미치는 영향	115
표 47	이유자돈 사료 내 카사바 부산물의 첨가가 이유자돈의 설사빈도에 미치는 영향	116
표 48	이유자돈 사료 내 카사바 부산물의 첨가가 이유자돈의 분 내 미생물 균총에 미치는 영향	117
표 49	카사바의 수준별 첨가가 직장 내 휘발성지방산 농도에 미치는 영향	118
표 50	이유자돈 사료 내 카사바 부산물의 첨가가 이유자돈의 혈액성상에 미치는 영향	120
표 51	섬유소 첨가원으로서의 sugar beet pulp 모델 (자돈기 8% 첨가)	124
표 52	자돈기 효소제 첨가 모델 및 적정 첨가 수준 (0.05%)	125
표 53	단백질 수준 제한 모델 (기존 대비 2% 감소)	126

표 54 카사바 부산물 첨가 모델 (자돈기 5% 수준 첨가)	127
표 55 경제성 분석 결과	129
표 56 귀리피의 화학적 구성성분	141
표 57 효소제의 첨가에 따른 소화율 개선 사례	142

목 차 <그림>

그림 1 우리나라 양돈농가 현황	26
그림 2 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 장관의 형태학적 변화에 미치는 영향 ..	72
그림 3 사료 내 단백질 수준의 제한이 이유자돈의 혈중요소태질소 (BUN)에 미치는 영향	102
그림 4 사료 내 단백질 수준의 제한이 이유자돈의 크레아티닌 (creatinine)에 미치는 영향	103
그림 5 사료 내 단백질 수준의 제한이 이유자돈의 혈중 인슐린 유사 성장인자 (IGF-1)에 미치는 영향	104

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구 개발의 목적 및 필요성

제 1 항 연구개발의 목적

현재 국내 양돈 산업은 한미 FTA 협상 타결로 인한 수입육의 개방과 매년 치솟는 돼지의 폐사율로 상당히 어려움을 겪고 있다. 통계청에서 조사한 축산물생산비 자료에 따르면 2006년도 비육돈 두당 생산비 및 농가 수익은 각각 191,221원, 82,412원 이었으며 2010년의 경우 각각 282,987원, 58,014원으로 4년이라는 시간이 지났지만 생산비가 개선되기는커녕 오히려 수익 대비 차지하는 비중이 큰 폭으로 증가되었다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상이 발생하는 이유로는 여러 가지를 들 수 있겠지만 특히 항생제 사용 금지에 따른 자돈기의 폐사율 증가가 큰 부분을 차지하고 있다. 돼지에 있어서 이유와 더불어 자돈기의 관리의 폐사율과 직결되며, 이는 이후 복당 출하두수 (MSY)에 지대한 영향을 미친다. 특히 현재 양돈 농가에서는 체감 폐사율이 30%가 넘는다고 보고되고 있으며, 이는 이유자돈의 소모성 질병, 즉 4P (PED, PRRS, PRDC, PMWS)가 빈번히 발생하기 때문으로 추정된다. 돼지 소모성 질병의 주된 병변으로 설사를 들 수 있는데 이유자돈에 있어서 액상 사료 (모유)의 섭취가 고형 사료 (사료)로 바뀌면서 발생하는 경우가 많으며, 이에 관해 병원성 미생물과 관련이 높다는 다양한 연구결과가 보고되고 있다. 따라서 정부와 학계, 산업계 및 양축 농가에서는 미생물에 의한 질병발생을 감소시키기 위해 다양한 연구와 노력이 이루어지고 있다.

돼지의 소화기관 내에 출생할 당시 미생물이 존재하지 않지만, 분만 후 3시간 이내부터 모돈의 분변이나 주위 환경에 의해 미생물을 섭취하게 되어, 이 후 자돈의 소화관 내에 미생물 군총이 형성된다 (Ducluzeau, 1983). 모유를 섭취하는 포유기에는 모돈에 의한 수동 면역과 소화기관에 부담을 주지 않는 액상의 모유 섭취로 설사 발생 빈도가 낮다. 시간이 경과하고 이유를 하면서 소화기관에 우점하는 미생물 군총이 변하게 되고, 이러한 미생물들은 숙주동물인 자돈과 많은 상호작용을 한다. 장내 미생물의 가장 큰 역할은 경쟁적 배제 (competitive exclusion) 를 통한 외부 병원균의 침입을 억제한다는 것이다. 또한 미생물의 장관 내 정착은 영양소의 흡수 및 소화기관의 건강에 매우 중요하고, 독성 물질의 생성을 억제하며, 소화효소 및 비타민 B 군을 생성하여 가축의 영양, 면역기능 및 생리기능에 많은 영향을 미친다. 또한 많은 소화 장애 및 결핍이 장내 미생물 군총의 불균형에 기인한다고 보고되고 있다. 특히 돼지의 건강 상태에 따라서 소화기관 내 우점하는 미생물 군총도 변화하는데, 건강한 돼지일수록 직장 내 *Bacteriodes*, *Streptococci* 및 *Lactobacilli* 종의 비율이 높고, 병에 걸린 돼지일수록 *Anaerovibrio*, *Selenomonas* 및 *E. coli*의 비율이 높다 (Robinson, 1984). 이유 후에는 고형 사료의 섭취와 수동 면역의 제거, 환경 (돈사 이동, 온도 등) 변화 및 사회적 행동

등에 따라 설사 발생 빈도가 높아지게 된다. 특히 자돈에게 현재 가장 문제가 되고 있는 설사의 경우, 병원성 미생물, 즉 *E. coli*가 주원인이다. 따라서 자돈의 장내에 유익한 미생물 균총이 형성되는 것은 이유 후 자돈사양에 있어서 생산성을 향상시키는데 중요한 요인 중 하나가 될 수 있다. 이 시점에 이유자돈의 장내에 유익한 미생물이 정착될 수 있다면 설사를 유발하는 해로운 미생물들의 성장을 억제할 수 있을 것이다. 또한 이를 통하여 자돈의 설사 방지를 위해 첨가되었던 항생제 (antibiotics)를 대체할 수 있을 것으로 사료된다. 현재 양돈장에서는 이유 자돈의 설사를 방지하기 위한 여러 방법이 사용되고 있지만, 아직까지 특별하게 그 효용이 검증된 경우가 없어 관련된 실험 수행이 매우 시급한 상황이다.

이유 후 자돈의 장내에 유익한 미생물을 정착시키기 위한 방법 중 하나로 사료 내 섬유소를 소량 첨가하는 것이 있다. 과거 연구 결과에 의하면 섬유소가 많은 사료를 급여한 돼지에게서 대장균성 부종이 발생하지 않았고 (Smith와 Halls, 1968), 조섬유 함량이 높은 사료를 섭취한 3주령 이유자돈에게서 심한 설사가 감소하였고, 설사 발생 기간 또한 감소하였다 (Ball과 Aherne, 1982). Drochner 등 (1978)은 사료 내 조섬유가 돼지의 소화기관 내 박테리아의 활성을 감소시킨다고 보고하였다. 이러한 섬유소의 효과에 대한 작용 기작은 아직 명확히 밝혀지지 않았지만, 일반적으로 섬유소 분해 미생물의 활성이 증가하여 장내 pH가 감소하고 이에 따라 유해한 미생물의 활성이 감소한다는 이론과, 섬유소의 물리적 특징으로 인하여 미생물의 장내 상피세포에 부착이 방해되어 장내에 서식하지 못한다는 이론 등이 있다. 본 실험은 이러한 배경을 바탕으로 식이 섬유소 공급 원료를 이유자돈 사료 내에 첨가하였을 경우 자돈의 성장 및 생리에 미치는 영향을 객관적으로 분석하고, 추가적으로 섬유소 첨가에 따른 효과를 극대화하기 위한 여러 방법들에 대해 검증 해 보았다.

제 2 항 연구개발의 필요성

현재 우리나라는 외부적으로는 FTA, 미국산 쇠고기 수입재개로 양돈 산업에 있어 어려움을 겪고 있고, 내부적으로는 가축분뇨 처리, 사료가격 폭등, 소모성 질환 및 설사로 인한 폐사율 급증 등의 삼중고로 인해 국내 양돈농가의 극심한 피해가 확실시 되고 있는 상황에 있다. 그리고 최근 예상치 못한 FMD의 확산으로 축산관련업 전체가 큰 시련을 겪었다. 지금까지 우리나라 양돈 산업의 생산성을 악화시켰던 주된 원인 중 하나는 이유 후 자돈기의 설사 문제로서 폐사 및 성장정체에 주된 원인이 되며, 현재 양돈 농가들이 만성적으로 겪고 있는 현상이다. 우리나라의 돈육 가격은 특이적인 국내소비자의 돈육 소비 경향 덕분에 높게 유지되고 있으나, 높은 자돈의 폐사율로 인해 흑자를 기록하는 농가는 그리 많지 않은 실정이며, 해가 거듭될수록 양돈 농가수는 급격히 감소하고, 국내 양돈업의 경쟁력은 점차 퇴보되고 있는 상황이다.

국내에서는 외국의 동향에 따라, 식육에 잔류된 화학성 약품이 소비자가 식육을 섭취하는 과정에서 체내에 축적될 가능성에 대한 우려의 목소리가 높아졌다. 그 결과, 2004년 사료용

동물약품을 53종에서 25종으로 감축한데 이어, 2009년 1월부터 7종의 인수공통 항생제의 사용을 추가적으로 금지시켰고, 2011년 7월부터 동물용 사료 내 항생제의 첨가를 전면 규제하기에 이르렀다. 그동안 항생제는 동물의 소화기 및 호흡기 질병의 예방을 위해 사용되어 왔으며 다른 물질에 비해 그 효과가 크게 나타났다. 하지만 동물의 사료 내 항생제의 첨가를 규제하는 이러한 변화는 이유자돈의 폐사율을 증가시키는 요인이 되며, 자돈의 설사발생에도 부정적 영향을 미칠 것으로 예상된다. 동물용 사료 내 항생제 첨가 규제에 대처하기 위해 이미 다수의 항생제 대체물질에 대한 평가 실험이 수행되어 왔으나, 그 목적에 비해 뚜렷한 효과를 보이는 물질을 찾기 어렵고, 가능성 있는 대체물질의 개발은 이미 해외에 우선권을 빼앗긴 상황이다. 앞으로 외국의 양돈 선진국과 비교하여 가격 경쟁력을 확보하기 위해 우리나라에서도 항생제의 효과를 대체할 수 있는 자돈의 설사 방지 기술의 개발이 시급하다.

따라서 본 연구에서는 거의 연구되지 않은 사료원료 식이 섬유소 공급원을 개발하여 그 이용률 향상을 통해 이유자돈의 설사 방지 기술의 개발하고자 한다. 본 연구의 목적과 결과는 기존 항생제 대체 시장에 활기를 불어올 뿐만 아니라, 양돈 생산성에 있어 경쟁력 획득 및 자돈사료 원료의 다변화를 통해 곡물가격안정화에도 기여할 것이며, 궁극적으로 현재의 심각한 폐사율 개선에 보다 근본적인 해결책을 제시할 수 있는 계기가 될 것이다.

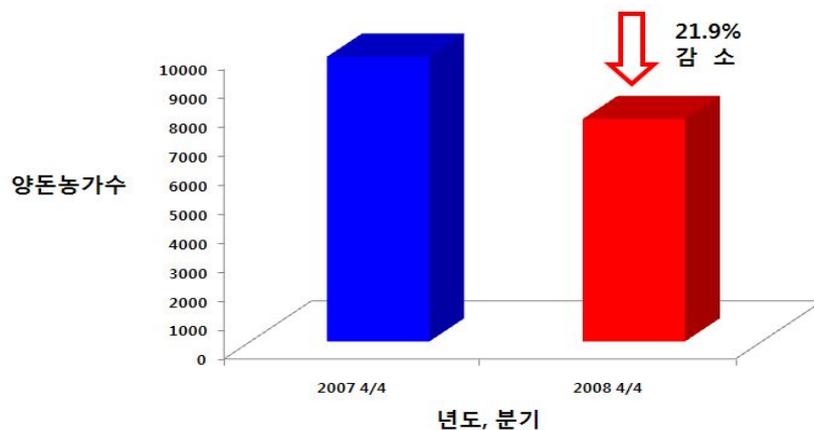


그림 1. 우리나라 양돈농가 현황 (통계청, 2009)

제 2 장 국내외 기술개발 현황

자돈은 이유 후 모유에서 고품사료로 이전되며 물리적으로 큰 변화 (소화율, 구조, 조성, 맛 및 향기)를 겪게 되는데 이러한 사료의 변화는 장의 용모를 탈락 시키며 장내 미생물의 균총을 변화시키고 설사를 유발시키는 원인이 되고 있다 (Le-Dvidich와 Herpin, 1994). 이유자돈의 설사는 추가적으로 사료섭취량 감소 및 성장정체를 유발하며, 폐사율을 향상시키는 가장 큰 원인이었지만 (Leibbrandt 등, 1975; Nyachoti 등, 2006) 지금까지는 항생제 사용 등을 통해 그나마 제한적으로 발생되어 왔다 (Verstegen와 Williams, 2002). 이러한 상황에서 전 세계적으로 항생제의 내성과 잔류에 대한 우려가 높아져 항생제 사용에 대한 경각심이 급증되었으며 우리나라에서도 전면적인 항생제 사용 금지 조치가 내려지게 되었다. 항생제 사용의 금지는 지금까지 이유자돈의 설사를 제한하여 왔던 가장 큰 요인의 부재를 의미하는 것으로 관련하여 대체하기 위한 다른 방안에 대한 연구가 매우 시급한 실정이다.

EU의 경우 2006년부터 이미 가축 사료 내에 항생제 사용을 전면적으로 금지하였고, 이에 따라 그 이전부터 수많은 연구가 여러 물질의 항생제 대체제로서의 효능을 검증하기 위해 수행되었다. 항생제 대체제 후보로서 제시된 물질로 유·무기산제, 식물추출물, 생균제 및 면역증강물질 등 여러 가지가 제시되었고, 실제로 EU의 인증을 받은 첨가제도 몇 존재하지만 아직까지 확실하게 항생제를 대체할 수 있는 것으로 평가되고 있는 물질은 없다. 이러한 상황에서 최근에 식이 섬유 공급원이 새로운 항생제 대체제 후보로서 거론되고 있으며, 검증 실험을 수행하여 효과를 입증할 수 있을 경우 기존에 이루어졌던 외국의 연구에 한 발 더 따라갈 수 있는 계기가 될 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구는 이러한 배경을 통해 수행되었으며, 거의 연구되지 않은 사료원료 식이 섬유소 공급원을 개발하여 그 이용률 향상을 통해 이유자돈의 설사 방지 기술을 개발하고자 한다. 본 연구의 목적과 결과는 기존 항생제 대체 시장에 활기를 불어올 뿐만 아니라, 양돈 생산성에 있어 경쟁력 획득 및 자돈사료 원료의 다변화를 통해 곡물가격안정화에도 기여할 것이며, 궁극적으로 현재의 심각한 폐사율 개선에 보다 근본적인 해결책을 제시할 수 있는 계기가 될 것이다.

제 1 절 국내연구 현황

우리나라 양돈산업은 농림업부문의 모든 산업 중에서 쌀 다음으로 높은 3조 3천억 원의 생산액을 보이며 축산업에서는 가장 규모가 큰 중요한 산업이며, 축산부분에서는 1위인 전락 산업으로 자리하고 있다. 하지만, 축산 분야에 있어 큰 규모를 나타내고 있음에도 불구하고 현재 우리나라는 FTA, 미국산 쇠고기 수입재개, 가축분뇨 처리, 사료가격 폭등, 소모성 질환

등으로 인해 해외 양돈 선진국에 비해 매우 낮은 생산성을 유지하고 있다. 전 세계적으로 문제시 되고 있는 돈콜레라, 구제역 등의 질병뿐만 아니라 우리나라에는 특히 4P (PMWS, PED, PRRS, PRDC)로 알려진 다양한 질병이 확산되고 있으며 관련하여 양축농가들의 피해가 급증하고 있고, 이러한 현상으로 인해 실제 사육두수가 증가하였음에도 불구하고 출하두수는 오히려 줄어드는 현상이 나타나고 있다. 실제로 국내 소비자의 높은 수요로 인해 2004년 이후 돈가가 높게 지속되었으나, 농가의 수익성은 전혀 개선되고 있지 못한 상황이다.

낮은 생산성과 돼지 소모성 질환의 발생으로 이유 후 폐사율이 40~50%에 달하는 상황에서 동물용 사료 내 항생제의 첨가 금지는 이유 후 자돈기의 설사로 인한 폐사 및 성장정체를 더욱 악화시키는 요인이 될 것으로 예상된다. 국내에서는 이미 2004년 사료용 동물약품을 53종에서 25종으로 감축한데 이어, 2009년 1월부터 7종의 인수공통 항생제의 사용을 추가적으로 금지하였고, 2011년 7월부터 동물용 사료 내 항생제 첨가가 전면적으로 금지되었다.

현재 생균제 (probiotics), 효소제 (enzymes), 유·무기산제 (organic· inorganic acidifier), 식물 추출물 (plant extracts), 허브 (herbs), 비전분성다당류 (non-starch polysaccharides), 올리고당 (oligosaccharides), 뉴클레오타이드 (nucleotides), 비타민 (vitamin), 광물질 (mineral) 등 많은 종류의 물질들이 항생제 대체제의 후보로서 그 효과가 시험되었다. 사료 내 항생제의 규제는 국내의 여러 항생제 대체제에 관한 연구를 활성화 시켰으나, 현재 그 효능이 구체적으로 증명되지 않은 것들이 대부분이다. 또한, 첨가제로서의 항생제 대체제의 개발에 비해 원료사료의 변화 및 가공을 통한 사료의 물리 화학적 변화와 영양소의 조절을 통한 연구는 이루어지고 있지 않는 실정이다.

표 1. 우리나라 농림업생산액의 순위에 따른 품목별 비교 (단위:10억원)

순 위	품 목	2006 (A)	2007 (B)	증감율 (A/B,%)
1	미 곡	8,405.7	7,857.5	- 6.52
2	돼 지	3,609.3	3319.7	- 8.02

(농림부, 2009)

표 2. 축종별 폐사율 및 피해액 (2005년)

축종	돼지	한·육우	젖소	닭
폐사율 (%)	18.5 ~ 31.5	1.28~5.39	2.7~6.83	8.3
피해액 (억원)	6,953(최소) ~11,840(최대)	403~1,695	427~1,081	685

(농촌경제연구원, 2006)

표 3. 2009년 1월부터 규제되는 항생제 목록

구 분	품 목
테트라사이클린 계열	클로르테트라사이클린, 옥시테트라사이클린 4급암모늄
인수공용 항생제	바시트라신아연, 황산클리스틴, 황산네오마이신, 염산린코마이신, 페니실린

(농림부, 2008)

제 2 절 국외연구 현황

유럽에서는 인체 내 항생제 잔류의 문제를 해결하기 위해 2006년부터 동물용 사료 내 항생제 첨가를 금지하였다. 이러한 흐름에 따라 다른 양돈 선진국들도 관련법안을 시행하는 것에 대해 고려하기 시작하였고, 소비자들의 식육 내 항생제 잔류에 따른 우려와 항생제 첨가 금지에 대한 인식이 확산되었다. 미국의 경우, 1997년에 농무부 (USDA)에서 유기농으로 생산된 식육의 표시제한을 개선하면서부터 무항생제 유기축산이 폭발적으로 확대되어 6개주(州)의 관계기관과 26개의 개인 인증기관에서 2001년부터 인증서비스를 시작하였다. 이러한 현상은 무항생제에 대한 요구가 높아지고 있음을 의미한다. 국가 단위의 정책뿐만 아니라 호주의 경우에는 호주 유기쇠고기를 대표하는 OBE 회사에서도 무항생제 식육생산에 참여하고 있다. 1995년에 31개 생산자가 공동으로 조직한 OBE 회사는 항생제나 화학물질을 사용하지 않고 자연의 들풀이나 약초를 사료로 이용하여 돼지를 육성하고 있는 것으로 알려져 있다. 이처럼 우리나라의 인식보다 해외에서의 항생제 대체에 대해 더 많은 노력이 이루어지고 있는 상황이다.

항생제의 사용을 금지하는 대신, EU연합은 2001년 성장촉진제 및 항생제 대체물질로 potassium diformate를 최초로 승인 (EC No. 1334/2001)하였고, 13 종의 생균제를 항생제 대체물질로 승인하였다. 항생제 첨가 금지에 따른 상황에 대처하기 위해 다수의 항생제 대체물질 후보에 대한 검증 실험이 수행되어왔으나, 그 목적에 비해 뚜렷한 효과를 보이는 물질을 찾기 어려운 상황이며, 가능성 있는 대체물질의 개발은 해외에서 이미 선행되고 있다 (표 4, 표 5).

현재 해외에서 항생제 대체물질로서 활발하게 연구되고 있는 후보는 생균제 (probiotics)와 프리바이오틱스 (prebiotics)로 빠르게 상품화 되고 있으며, 여러 제품이 시중에 이미 나와 있는 상황이다. 생균제는 숙주의 장내 미생물 균총의 균형을 유지시킴으로써 숙주 동물에게 이로운 영향을 미칠 수 있는 살아있는 미생물 사료 첨가제로서 현재 빠른 상품의 확산에 비해 첨가 효과에 대한 의견이 일관적이지 못한 실정이다.

이와 비슷한 작용 기작을 가지고 있는 프리바이오틱스는 생균제를 직접 공급하지 않고, 동

물에게 유용한 미생물이 분해할 수 있는 기질을 공급하는 개념이다. 선택적으로 유익한 박테리아의 성장을 촉진하고, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, 및 *Clostridia spp.*와 같은 병원성 미생물을 억제하는 것으로 알려져 있으나, 작용 및 유용성에 대하여 명확하게 확인되지 않은 것으로 보고되어 있다. 최근에는 선진국에서 전통적인 약리적 효과가 있는 것으로 알려져 있는 제 3국의 식물에 대한 특허를 선점하는 등 식물 추출물 (plant extracts)이나 허브 (herbs)에 대한 관심도 높아지고 있다. 하지만 국내에서와 마찬가지로 섬유소가 많은 원료인 귀리나 카사바 (cassava)에 대한 연구는 부족한 편이며, 자돈설사 방지 목적으로서 제공된 섬유소의 이용성을 증진시키기 위한 효소제나 가공형태에 대한 내용은 거의 연구가 이루어져 있지 않은 실정이다.

표 4. EU에서 인증한 자돈용 사료첨가제 개수 ('06. 4. 30)

	Linked to a Person		Not-linked	
	4 Years	10 Years	4 Years	Unlimited
Antibiotics	·	·	·	·
Growth Promoters	1	·	·	·
Antioxidants	·	·	·	15
Appetizers	·	·	·	4
Emulsifiers	·	·	·	52
Preservatives	·	·	·	35
Binders	·	·	3	17
Vitamins	·	·	·	4
Acidity Regulators	1	·	·	·
Micro-organisms	·	·	11	3
Enzymes	·	·	31	1
Trace Elements	·	·	·	48
Colorants	·	·	·	3
Total	2	·	45	182

(EU Council Directive 70/524/EEC)

표 5. EU에서 인증한 EU소속 국가에서 양돈용으로 판매되고 있는 생균제 균주

Brand name and EC nbr	Micro-organism	Authorized for
(1) Toyocerin	Bacillus cereus var. toyoi	Piglet, sow, fattening pig
(3) Biosaf Sc47	Saccharomyces cerevisiae	Piglet (0 -4 months) and sow
(6) Levucell SB	S. cerevisiae	Piglet and sow
(9) Bactocell	Pediococcus acidilactici	Piglet and fattening pig
(10) Cylactin	Enterococcus faecium	Piglet, sow and fattening pig
(11) Microferm	E. faecium	Piglet
(12) Biacton	Lactobacillus farciminis	Piglet
(13) Oralin	E. faecium	Piglet
(14) Biosprint	S. cerevisiae	Piglet and fattening pig
(15) Lactiferm	E. faecium	Piglet
(16) Bonvital	E. faecium	Piglet
(18) Fecinor plus	E. faecium	Piglet
(20) Bioplus 2B	B. licheniformis et B. subtilis	Sow, piglet and fattening pig

REGLEMENT (CE) N° 2200/2001 DE LA COMMISSION du 17 October 2001 (JOCE L299/1 du 15.11.2001)

제 3 장 연구수행개발 내용 및 결과

제 1 절 자돈의 성장과 설사 방지에 적합한 섬유소 공급원의 선정

제 1 항 서론

자돈은 이유 후 모유에서 고품사료로 이전되며 물리적으로 큰 변화 (영양소 소화율, 구조, 조성, 맛, 향기)를 겪게 되는데, 이 시기의 급진적인 사료의 변화는 장의 용모를 탈락 시키고 장내 미생물의 균총을 변화시켜 자돈의 설사를 유발한다 (Le-Davidich와 Herpin, 1994). 그리고 사료의 변화와 함께 수동 면역의 제거, 환경 (돈사 이동, 온도 등) 변화 및 사회적 행동 등의 요인에 따라 설사 발생 빈도는 높아지게 된다. 특히, 이유자돈에게 가장 문제가 되고 있는 설사의 경우 병원성 미생물, 즉 *E. coli*가 주원인으로 작용한다. 자돈의 장내에 *E. coli*와 같은 병원성 미생물을 감소하고 유익한 미생물 균총이 형성되면 이유 후 자돈사양에 있어서 설사의 발생을 감소시키고 생산성을 향상시킬 수 있다. 자돈의 설사문제를 개선하기 위해 사료첨가제로 사용된 항생제는 장내 유해한 미생물을 억제해 왔으나, 2000년 이후 덴마크에서 성장증진을 목적으로 한 항생제 사용이 금지되면서 자돈의 이유 후 설사발생이 급증하였다는 연구 보고가 있다 (Callesen, 2004). 마찬가지로 2012년 사료 내 항생제 첨가금지가 법적으로 고시된 우리나라에서도 자돈의 설사 문제를 해결하기 위한 대책이 시급히 요구되고 있다.

섬유소는 과거 많은 연구들에서 돼지의 성장을 억제한다고 보고되었지만 근래에는 섬유소의 종류와 양에 따라 돼지의 성장에 도움이 된다는 새로운 가능성이 제기되었다. Furfurtooligosaccharide, mannan-oligosaccharide, β -glucan와 같은 섬유소는 prebiotics로서의 접근되고 있으며, 가용성 식이섬유 (SDF; soluble dietary fiber)와 불용성식이섬유 (IDF; insoluble dietary fiber) 비율이 설사에 미치는 영향에 대한 연구 또한 이루어지고 있다. Trowell 등 (1976)은 소화관의 분비물에 의해 소화되지 않는 lignin과 polysaccharide를 섬유소로 정의하였으며, 이것은 dietary polysaccharide는 전분 (starch)과 비전분성다당류 (NSP)로 분류되는데, 일반적으로 섬유소라 함은 NSP로 지칭하기도 한다. Total dietary fiber (TDF)와, TDF를 구성하는 가용성 식이섬유 및 불용성식이섬유는 단위동물에서 NSP를 측정하는데 가장 유용한 방법으로 받아들여지고 있는데, 이는 이러한 분류가 소화와 영양소 대사에 영향을 미치는 가용성 NSP인 pectines, β -glucan, fructan 및 기타 가용성 당류들을 가용성 식이섬유로 분류할 수 있기 때문이다.

식이 섬유소는 그 종류와 사용량에 따라 prebiotics로서 장내 유익균들이 이용하기 좋은 섬유소로 작용한다. 섬유소의 공급은 미생물이 대사산물인 휘발성 지방산 (volatile fatty acid; VFA)과 젖산이 생성되도록 하여 장관 내 pH가 저하되게 하고 유산균의 증식 및 병원성 미생물의 감소가 유도한다. 게다가 제공된 섬유소는 대장균에게 부착부위 (binding site)

를 제공하여 분으로의 배출을 유도하는 등 (Koopman 등, 1999)의 긍정적인 기능을 한다. 과거 연구 결과에 의하면 섬유소 함량이 높은 사료의 급여는 대장균성 부종을 억제하는 작용을 나타내었고 (Smith와 Halls, 1968), 조섬유 함량이 높은 사료를 섭취한 3주령 이유자돈에게서 설사빈도와 설사 발생기간이 감소하였다는 연구가 있다 (Ball과 Aherne, 1982). 또한 Drochner 등 (1978)은 사료 내 조섬유가 돼지의 소화기관 내 박테리아의 활성을 감소시킨다고 보고하였으며, 이와 같은 맥락으로 다른 연구결과에서는 사료 내 조섬유의 첨가가 유해 미생물인 *Escherichia coli*와 *Clostridium perfringens*의 성장을 억제하였다는 보고가 있다 (Wang과 Gibson, 1993).

따라서 이유자돈 사료 내 식이섬유의 첨가는 장내 유익균의 활성을 증가시키고 유해균의 활성을 억제시켜 이유자돈의 건강상태 및 설사 방지에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 사료되며, 자돈 사료에 있어 유효한 섬유소원을 결정하고 섬유소 함량을 결정하는 것은 반드시 규명되어야 할 부분이다. 따라서 본 연구에서는 이유자돈 사료 내 첨가할 수 있는 섬유소 공급원들을 살펴보고 이들의 영양적 조성 및 이용연구를 통한 최적의 섬유소 공급원을 찾아보고자 한다.

제 2 항 본문

가. 사료 내 섬유소 함량과 섬유소원의 선정

단위동물 사료에서 섬유소를 정의하고 정량하는 것은 복잡하고 다양한 polysaccharide가 관련되어 있기 때문에 어려운 과정이다 (Low, 1993; Grieshop 등, 2001). 섬유소의 분류에는 다양한 방법이 있는데, 대표적인 분류로는 Weende법과 Van Soest법, Total Dietary Fiber 등이 존재하며 각 분석법에 따른 원료사료들의 섬유소함량을 표 6에 나타내었다.

본 연구에서는 식이섬유 중 장내 미생물 군총의 안정화와 설사방지에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 사료되는 SDF를 기준으로 하여 sugar beet pulp를 선정하였고, SDF가 높음과 동시에 β -glucan으로 인해 알려져 있지만, 다른 원료들에 비해 섬유소원으로서의 기능이 상대적으로 덜 알려져 있는 원료사료인 귀리피 (oat hull)를 선정하였다. 또한 저항전분이 많이 함유된 cassava를 선정하여 이들에 대한 영양학적 가치를 탐색하였다. 이들 원료사료의 특성은 다음과 같다.

표 6. 각 원료사료의 섬유소 함량 (Lee 등, 2003)

Feed Ingredient	CF, %	NDF, %	ADF, %	TDF, %	SDF, %	IDF, %
Corn	2.6	9.0	3.0	6.4	1.7	4.7
SBM 44% CP	7.0	13.3	9.4	33.1	1.6	31.5
SBM 47% CP	3.0	8.9	5.4	27.6	1.4	26.2
Alfalfa	26.2	45.0	35.0	56.7	4.2	52.4
Oat bran	—	19.2	—	15.8	7.5	8.3
DDGS	9.9	44.0	18.0	42.9	0.7	42.2
Oat straw	40.5	70.0	47.0	76.6	2.2	74.4
Soybean hulls	40.1	67.0	50.0	83.9	8.4	75.5
Wheat straw	41.6	85.0	54.0	71.5	0.5	71.0
Corn straw	34.4	67.0	39.0	77.3	2.9	74.4
Sugar beet pulp	19.8	54.0	33.0	65.6	11.7	53.9
Potato pulp	—	—	—	33.3	11.0	22.3

(1) Sugar beet pulp

Sugar beet (사탕무)는 가공되지 않은 사탕무 자체를 말하는 것으로 다른 특정 지역에서는 그대로 sugar beet의 뿌리를 돼지에 급여하기도 한다. 뿌리 자체의 높은 수분함량 때문에 비육돈이나 모돈의 사료에 주로 사용된다. 건조된 sugar beet의 뿌리는 어린 자돈에게 상당히 높은 수준의 이용성을 나타낸다. 대부분의 sugar beet는 설탕제조를 위해 재배되지만 때로는 소나 돼지와 같은 가축에게 급여할 목적으로 경작되기도 한다. 하지만 그 경도가 높아서 사료로 이용될 때에는 얇게 박을 만들거나 분쇄한 후 이용되어야 한다. Sugar beet에서 설탕을 추출하고 나면 크게 두 종류의 부산물이 생산되는데 바로 sugar beet pulp와 sugar beet molasses (사탕무 당밀)이다. 이 두 가지의 부산물은 동물용 사료제조에 많이 쓰이고 있다. Sugar beet pulp (사탕무박, OECD 2002)는 설탕제조과정에서 생산되는데 공장으로 이송된 sugar beet는 세척하고, 얇게 썰고 나서 물에 담궈 대부분의 설탕을 추출한다. 이러한 추출과정 후 남은 찌꺼기를 sugar beet pulp라 한다. 이 상태의 sugar beet pulp는 수분함량이 약 800~850g/kg이며, 외국에서는 이러한 상태 그대로 원료사료로 판매되기도 하지만 운송 상의 어려움으로 인해 건조 (수분함량: 100g/kg) 되어 판매된다. 이렇게 추출되고 건조되기 때문에 수용성 영양소 (water-soluble nutrients)들이 빠져나가기 때문에 건조된 sugar beet pulp에는 비전분성다당류 (Non-starch polysaccharide) 및 조섬유 함량 (약 200 g/kg-건물)이 높게 나타난다. 이러한 특성 때문에 조단백질이나 인의 비율은 건물 1kg 당 약 100g정도만이 함유되어 있다.

Sugar beet pulp는 영양소구성의 특징 때문에 돼지 사료로 사용하기에 너무 섬유소 함량이 높아 모돈의 사료에서만 일부 사용되고 있을 뿐이다. 하지만 최근 일련의 연구결과들은

sugar beet pulp의 섬유소는 돼지에 있어 이용성이 높을 뿐만 아니라 이유자돈에서의 영양소 소화율이 80~85%에 달한다는 보고가 있다. 이러한 높은 이용성으로 인해 육성돈에서는 약 15%, 비육돈에서는 20%까지 사용하여도 어떠한 성장의 차이를 보이지 않는다는 보고도 있다.

(2) Oat hull (귀리피)

이유자돈에 대한 식이 섬유소의 역할에 대한 연구는 주로 구성이 다른 섬유소원의 공급 및 첨가수준을 이용한 연구가 주로 이루어져 왔으나 (Li, 1994), 귀리 (oat)의 수용성 (Soluble Dietary Fiber; SDF) 및 불용성 식이 섬유소 (Insoluble dietary fiber; IDF) 측면에서의 설사 방지 및 성장에 미치는 효과에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

가축사료 원료로써 귀리의 이용을 살펴보면, 귀리 (*Avena* spp. L.; oat)는 높은 섬유소 함량으로 인해 임신모돈 사료에 일부 사용되어 왔다. 이유자돈 사료로의 이용은 가공된 (익스트루전, 익스팬드) 귀리가 자돈사료에 소량 급여되기도 하며 (Morris, 1989), 과거 1970년대 단순 분쇄 첨가로 인한 자돈의 성장 개선 및 설사감소 효과가 보고된 적은 있으나 (Mahan과 Newland, 1976; Moser, 1977; Rivera, 1978), 이들에 대한 연구의 효과는 매우 미미하며, 그 이후 이유 자돈 설사방지 관련 섬유소에 대한 새로운 관점에서의 고찰은 거의 이루어지지 않았다.

일반적으로 귀리는 다른 곡류와 마찬가지로 주성분은 전분 (starch, SDF)이고, 조단백질 함량은 약 11% 정도로 옥수수보다는 우수하나 필수아미노산의 함량은 낮다. 하지만 전분의 함량 (12.3%)이 높아서 육성-비육돈 사료의 경우 극히 일부분의 옥수수를 대체할 수 있다고 보고되었다 (Morrison, 1965; Johnson 등, 1959). 품종에 따라 껍질의 비율에 큰 차이가 있으나 대략 전체의 약 30% 정도를 차지한다.

귀리피의 구성물질 중 β -glucan은 기능성 식품소재로서 많은 관심을 끌고 있으며 (Maier 등, 2000), 귀리 β -glucan은 구조적으로 (1 \rightarrow 3)(1 \rightarrow 4)- β -D-glucan으로 가지가 없는 비전분성 다당류로서 귀리의 배유 및 호분층에 다량 함유되어 있다. 통귀리의 경우 일반적으로 약 4%가량의 β -glucan을 포함하고 있으며, 귀리피의 경우 (oat bran) 약 7~10% 정도의 β -glucan을 함유하고 있다. 또한 특별한 공정으로 처리된 경우에는 이것의 함량이 19%이상인 것도 존재한다 (Wood 등, 1989). 귀리의 β -glucan은 수용성과 불용성으로 구분되는데, 약 80%가 수용성으로 혈중 콜레스테롤 감소효과가 우수하며 (Estrada 등, 1999), 위 내용물의 점성을 증가시키고, 위 공복시간을 지연시키며, 포도당을 흡착하여 배설하므로 혈당증가와 포도당 부하에 따른 인슐린 분비를 감소시킨다. 한편 불용성은 보수성이 우수하여 대장에서 박테리아 분해에 저항성을 갖기 때문에 변의 장 통과시간을 단축시키며 동시에 배변량을 증가시키는 것으로 보고되었다 (Bell 등, 1999). 일반적으로 돼지에 β -glucan을 급여하였을 경우, 특이적 면역과 비특이적 면역을 촉진시킴으로써 (Chen과

Ainsworth, 1992; Jeney와 Anderson, 1993), 성장의 개선에 효과가 있다고 알려져 있다 (Schoenherr 등, 1944).

(3) Cassava

Cassava (카사바)는 타피오카 (tapioca) 또는 만디오카 (mandioca)라고 불리는 열대성 근피류 식물로써, 단위면적당 건물생산량이 매우 높고, 단백질 등의 영양소 함량은 매우 낮으나, 가용성 탄수화물함량이 높아 옥수수 등의 곡류사료보다 오히려 값싼 에너지 공급원이라는 점에서 원료사료로써 각광 받고 있다. 카사바칩 (cassava whole root chip)은 저장성이 우수하며 건조과정중에 독소가 저감되는 특징이 있다. 영양소 함량 중 전분이 가장 주된 성분인데 (Gomez, 1979), 가장 상업적으로 널리 쓰이는 가공법은 통째로 건조시켜 칩을 만들거나 분쇄하여 사료로 사용하는 것이며, 영양소의 파괴 없이 장기간 보관이 가능하다. 카사바 고품질의 주성분은 전분으로써 생물의 경우 25~30%를 차지하고 건조 타피오카의 가용무질소물 함량은 70~80% 정도이며, 대사에너지 함량도 3,090~3,430 kcal/kg으로 가격 대비 효율은 옥수수보다 좋은 것으로 나타났다. 그러나 단백질이나 칼슘, 인 등의 광물질 및 비타민의 함량은 상당히 낮고 단백질의 아미노산 조성이나 소화율도 불량하다. 게다가 외피에 리나마린 (linamarin)이라는 배당체가 0.01~0.04% 정도 함유되어있어, 이것이 분해되면 독성이 매우 강한 청산을 생성시켜 이유자돈에게 해를 끼칠 가능성이 있다.

저항 전분 (resistant starch)이란 일반 전분 내에 존재하는 성분으로서, 열처리 등의 가공을 통해 그 함량을 조절할 수 있는데 제 3의 식이섬유라는 표현이 있을 정도로 자돈의 장내의 휘발성지방산 조절과 소화물의 통과 속도를 조절하는 등의 효과가 탁월한 것으로 알려져 있다 (Bahndari, 2009). 이러한 저항전분은 적정 함량 첨가 시 항생제 처리구보다 높은 설사 방지 효과를 보임으로써 prebiotics로서의 항생제 대체제 효과를 기대할 수 있다고 밝혀졌다 (Bahndari, 2009). 제 3의 식이섬유라 불리는 저항전분은 cassava에 많이 들어있는데 cassava는 가공 형태에 따라 전체 전분의 함량이 70~80%인 것으로 알려졌으며, cassava의 전분 중 저항 전분의 함량은 약 70~80%정도인 것으로 보고되어 있다 (Calvin, 2006).

Cassava의 첨가효과를 살펴보면 Chalorklang 등 (2000)은 쌀과 비교하였을 때 증체량과 사료효율이 카사바의 첨가 결과와 비슷하다고 보고하였다. 이유자돈에 있어서 카사바의 첨가는 소화율도 높고 설사를 감소시키며, 자돈의 건강상 부정적인 영향은 거의 없었다고 발표하였다. 이는 카사바의 부드러운 전분질이 80% 이상 아밀로펙틴 (amylopectin)으로 이루어져 있어 자돈에 있어서도 이용률이 높은 것으로 보인다. 게다가 다른 곡물 원료사료보다 장관 내 젤라틴화 (gelatinization)나 소화가 잘되어 비병원성 미생물의 증식을 촉진시켜 VFA를 생성, pH를 저하시키는 작용으로 병원성 미생물의 감소를 유도한다는 보고도 있다.

카사바의 저항전분의 특성으로 이들의 품질만 보증된다면 이유자돈에 있어 기호성이 높고

적응이 쉬운 사료원료가 될 수 있을 것으로 생각되며, 가격도 다른 원료에 비해 저렴하므로 이들에 대한 영양소 함량 및 성상에 대한 정확한 성분이 제시된다면 이유자돈의 설사 방지에 탁월하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구 1을 토대로 선정된 sugar beet pulp, oat hull, cassava는 자연산 섬유소 공급원으로 이유자돈 사료원료로는 거의 시도되지 않은 천연물질이라고 할 수 있다. 이들의 첨가수준에 대한 규명이 아직 이루어지지 않은 상황에서 이들에 대한 검증실험은 학술적·경제적·산업적으로 매우 가치가 있는 연구라 생각된다. 따라서 본 연구를 토대로 선정된 섬유소 공급원의 검증실험을 진행하고자 한다.

제 2 절 섬유소 공급원의 적정 첨가량 설정 및 항생제 대체 효과 규명

제 1 항 서론

현재 우리나라의 양돈 산업에 있어 가장 큰 문제 중 하나는 자돈의 출생 후 출하까지의 성장단계에서 폐사율이 다른 양돈 선진국에 비해서 높은 실정으로, 2008년의 양돈폐사율의 경우 23.8%로 이 단계에서 폐사율을 낮추기 위한 연구가 절실히 필요하다. 일반적으로 이유자돈이 이유 시 이유스트레스로 인한 성장 지체 및 설사 등이 발생하게 되는데, 이러한 현상은 이유 시점의 자돈의 위에서 충분한 양의 염산이 분비되지 않아 위내 pH가 높고 사료와 함께 외부로부터 유입된 유해미생물들의 증식 (Cranwell 등, 1976)과 동시에 소화관 내 용모의 탈락 결과로 발생하는 것이라 할 수 있다 (Nabuurs 등, 1993). 위와 같은 결과로 이유자돈에서는 빈번한 설사와 탈수현상이 자주 관찰되며, 심한 경우에는 높은 폐사율을 나타낼 뿐만 아니라 음의 성장 및 많은 위축돈의 발생으로 양축농가에게 큰 피해를 주고 있다. 이를 줄이기 위해 최근까지 항생제의 사용이 이루어졌으나, 2011년 7월 이후로 양돈배합사료 내 항생제의 첨가가 전면 금지되었으며, 이로 인해 항생제 대체제인 생균제, 천연추출물, 효소제, prebiotics 등 다양한 제제들에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 이들의 사용으로 인한 지속적이고 유효한 효과들에 대한 연구가 미진하고 검증된 제제들이 없는 상황에서 최근에는 항생제를 대체하기 위한 첨가제에 대한 연구보다는 근본적인 사양관리개선, 영양적 조절을 통한 항생제 대체 연구 및 성장 극대화 및 설사 감소에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

이유 후 자돈의 장내에 유익한 미생물을 정착시켜 자돈설사를 방지하기 위한 방법 중 하나로 사료 내 식이섬유소를 소량 첨가하는 것이다. 과거 연구 결과에 의하면 섬유소가 많은 사료를 급여한 돼지에게서 대장균성 부종이 발생하지 않았고 (Smith와 Halls, 1968), 조섬유 함량이 높은 사료를 섭취한 3주령 이유자돈에게서 심한 설사가 감소하였으며, 설사 발생 기간 또한 감소하였다 (Ball과 Aherne, 1982). Drochner 등 (1978)은 사료 내 조섬유가 돼지의 소화기관 내 박테리아의 활성을 감소시킨다고 보고하였다. 이러한 식이섬유소의 효과에 대한 작용 기작은 아직 명확히 밝혀지지 않았지만, 일반적으로 식이섬유소 분해 미생물의 활성이 증가하여 장내 pH가 감소하고 이에 따라 유해한 미생물의 활성이 감소한다는 이론과, 섬유소의 물리적 특징으로 인하여 미생물의 장내 상피세포에 부착이 방해되어 장내에 서식하지 못한다는 이론 등이 있다. 따라서 이유자돈 내 섬유소를 첨가하면 장내 유익균의 활성을 증가시키고 유해균의 활성을 억제시켜 자돈의 건강상태 및 생산성이 향상될 것이라고 알려져 있다.

Sugar beet pulp에는 높은 수준의 비전분성다당류 (non-starch polysaccharide) 및 조섬유 함량 (약 200 g/kg, 건물)이 들어 있다. 선행연구에서 sugar beet pulp 또는 비전분성다당류가 다량 함유된 원료를 이유자돈 사료 내 첨가하였을 때 이유자돈 설사 발생이 감소하

였다는 보고를 하였다 (Ball과 Aherne, 1982; Göransson 등, 1995). 또한 귀리피의 구성물질 중 β -glucan은 기능성 식품소재로서 많은 관심을 끌고 있으며 (Maier 등, 2000), 귀리의 β -glucan은 약 80%가 수용성으로 혈중 콜레스테롤 감소효과가 우수하며 (Estrada 등, 1999), 위 내용물의 점성을 증가시키고, 위 공복시간을 지연시키며, 포도당을 흡착하여 배설하므로 혈당증가와 포도당 부하에 따른 인슐린 분비를 감소시킨다. 한편, 섬유의 불용성은 보수성이 우수하여 대장에서 박테리아 분해에 저항성을 갖기 때문에 변의 장 통과시간을 단축시키며 동시에 배변량을 증가시키는 것으로 보고되었다 (Bell 등, 1999). 따라서 본 연구에서는 선행 연구에서 선정된 섬유소원 sugar beet pulp와 oat hull을 이유자돈사료에 적용하여 섬유소원의 공급이 자돈의 성장, 영양소 소화율, 혈액성상, 장내형태학적 변화, 장내미생물 균총 및 분변 내 VFA 함량 등 전반적인 조사항목을 통하여 이들의 적정 첨가량 설정과 동시에 항생제 대체재로서의 효과를 검증하고자 한다.

제 2 항 실험 방법 및 재료

가. 실험동물 및 실험설계 (Experimental animal and experimental design)

28±2일령에 이유한 평균체중 8.69±0.45kg의 삼원교잡종 ([Yorkshire×Landrace]×Duroc) 240두를 공시하여, phase I 2주, phase II 3주로 총 5주간 사양시험을 수행하였다. 전체 6처리 5반복으로 돈방 당 8두씩 성별과 체중에 따라 난괴법 (RCBD; Randomized Completely Block Design)으로 배치하였다. 실험의 처리구는 다음과 같다 : 1) Negative Control (NC; Basal diet), 2) Positive Control (PC; Basal diet + antibiotic), 3) SBP2 (Basal diet + sugar beet pulp 2 % 첨가), 4) SBP8 (Basal diet + sugar beet pulp 8 % 첨가), 5) OH2 (Basal diet + oat hull 2 % 첨가), 6) OH8 (Basal diet + oat hull 8 % 첨가)였다. Sugar beet pulp와 oat hull의 첨가수준에 따른 섬유소 함량을 제외한 다른 모든 영양소의 함량은 동일하게 하였으며, NRC (1998) 사양표준 요구량보다 같거나 높게 설정하였다.

나. 실험사료 (Feeding program)

옥수수 및 대두박을 실험사료의 기초사료 (basal diet)로 이용하였으며, 각 사육 시기에 맞추어 배합을 실시하였다. 총 6가지의 사료가 배합되어 단계별 자돈사양 프로그램에 따라 급여되었다. 총 35일간의 자돈기 사양시험 기간 동안 급여한 실험사료의 정미에너지가 (net energy)는 phase I (0-2 주) 2,562 NE kcal/kg, phase II (2-5 주) 2,547 NE kcal/kg로 각각 설정하여 사양시험, 영양소 소화율 대사시험, 해부시험에 이용하였다. Phase I (0-2 주), phase II (2-5주)의 단계별 사료들의 조단백질 함량은 각각 20.57%, 19.87% 이었다.

Sugar beet pulp와 oat hull은 입자도를 잘게 분쇄하여 첨가하였으며, 처리별로 Sugar beet pulp와 oat hull의 첨가 수준이 높아짐에 따라 옥수수 (corn), 대두박 (soy bean meal), 식물유 (vegetable oil)를 조절하여 각 처리별 주요 영양소 함량의 차이가 없게 하였다. 항생제는 PC 처리구에만 아프라마이신, 티아몰린을 사양 시기 및 처리구에 따라 각각 다른 함량 (phase I, II ; 아프라마이신 0.10%, 티아몰린 0.04%)을 첨가하였으며, 섬유소 처리구의 경우 모든 사양 시기에 sugar beet pulp와 oat hull을 각각 2, 8%를 급여하였다. 주요 실험사료의 원료 및 화학적 조성은 표 7 (phase I), 표 8 (phase II)에 제시된 바와 같다.

표 7. 실험 사료 배합비 (phase I)

Ingredients	NC	PC	SBP2	SBP8	OH2	OH8
Corn-wheat	22.83	22.73	20.70	16.12	21.16	16.56
Corn Ext	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
Wheat flour	10.67	10.67	10.67	10.67	10.67	10.67
Full fat soya	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
SBM (dehull)	18.53	18.53	18.60	17.25	18.20	17.13
Sugar beet pulp	-	-	2.00	8.00	-	-
Oat hull	-	-	-	-	2.00	8.00
White fish meal	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Vegetable oil	3.07	3.07	3.13	3.60	3.07	3.20
Whey powder	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27
MCP	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07
Limestone	1.27	1.27	1.27	0.73	1.27	0.80
DL-methionine	0.09	0.09	0.10	0.11	0.09	0.09
L-lysine	0.17	0.17	0.16	0.15	0.17	0.18
Threonine	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Mineral-P ¹	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Vitamin-P ²	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Choline	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Antibiotic	-	0.10	-	-	-	-
Chemical composition						
NE, kcal/kg	2,574	2,572	2,560	2,552	2,563	2,548
Crude protein, %	20.66	20.66	20.72	20.28	20.61	20.47
Lysine, %	1.33	1.33	1.33	1.31	1.32	1.33
Crude fat, %	7.08	7.07	7.09	7.42	7.09	7.28
Crude fiber, %	2.52	2.52	2.86	3.86	2.68	3.17
Ca, %	0.98	0.98	0.98	0.80	0.97	0.80
P, %	0.75	0.75	0.75	0.73	0.75	0.75

¹ Provided per kilogram of complete diet: 12,000 IU vitamin A, 2,400 IU vitamin D₃, 60 mg vitamin E, 2.25 mg vitamin B₁, 5.7 mg vitamin B₂, 4.5 mg vitamin B₆, 0.036 mg vitamin B₁₂, 3.6 mg vitamin K₃, 27 mg pantothenic acid, 34.5 mg niacin, 0.19 mg biotin, 2.25 mg folic acid, 7.2 mg.

² Provided per kilogram of complete diet: 159.2 mg Fe, 126.8 mg Cu, 89.1 mg Zn, 31 mg Mn, 0.37 mg I, 0.33 mg Co, 0.17 mg Se.

표 8. 실험 사료 배합비 (phase II)

Ingredients	NC	PC	SBP2	SBP8	OH2	OH8
Corn-wheat	42.10	42.06	39.72	32.63	40.16	34.52
Corn Ext	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Wheat flour	10.67	10.67	10.67	10.67	10.67	10.67
Full fat soya	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
SBM (dehull)	16.73	16.73	16.87	17.07	16.47	15.47
Sugar beet pulp	—	—	2.00	8.00	—	—
Oat hull	—	—	—	—	2.00	8.00
White fish meal	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
Vegetable oil	2.40	2.40	2.67	3.60	2.60	3.20
MCP	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
Limestone	0.73	0.73	0.70	0.67	0.73	0.77
Salt	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Cheese powder	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
DL-methionine	0.07	0.07	0.08	0.09	0.07	0.07
L-lysine	0.19	0.19	0.19	0.18	0.19	0.21
Threonine	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06
Mineral-P ¹	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Vitamin-P ²	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Choline	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Antibiotic	—	0.04	—	—	—	—
Chemical composition						
NE, kcal/kg	2,549	2,548	2,546	2,546	2,548	2,547
Crude protein, %	19.88	19.87	19.95	20.04	19.84	19.64
Lysine, %	1.27	1.27	1.28	1.30	1.26	1.27
Crude fat, %	7.65	7.65	7.86	8.61	7.86	8.48
Crude fiber, %	2.83	2.83	3.17	4.18	2.97	3.38
Ca, %	0.77	0.77	0.76	0.76	0.77	0.77
P, %	0.76	0.76	0.76	0.74	0.76	0.76

¹ Provided per kilogram of complete diet: 12,000 IU vitamin A, 2,400 IU vitamin D₃, 60 mg vitamin E, 2.25 mg vitamin B₁, 5.7 mg vitamin B₂, 4.5 mg vitamin B₆, 0.036 mg vitamin B₁₂, 3.6 mg vitamin K₃, 27 mg pantothenic acid, 34.5 mg niacin, 0.19 mg biotin, 2.25 mg folic acid, 7.2 mg.

² Provided per kilogram of complete diet: 159.2 mg Fe, 126.8 mg Cu, 89.1 mg Zn, 31 mg Mn, 0.37 mg I, 0.33 mg Co, 0.17 mg Se.

다. 사양실험 (Housing)

사양실험 기간은 총 5주간 진행되었으며, 실험돈은 $0.90 \times 2.15\text{m}^2$ 크기의 돈방에서 사육되었다. 각 돈방에는 하나의 사료 급이기와 8개의 니플 급수기가 설치되어 있었으며 전체 실험 기간 동안 물과 사료는 무제한 자유 채식 (*ad libitum*)하도록 하였다. 자돈기에 돈방 온도는 실험개시 후 첫 일주일간은 30°C 를 유지하였으며, 매주 1°C 씩 낮추어 자돈기 5주차에는 26°C 를 유지하게 하였다. 체중 및 사료 섭취량은 사육 단계 및 사료 종류의 변동 시점을 고려하여 자돈 개시 시점 (initial), 2주차 (phase I), 5주차 (phase II)에 측정하여 일당증체량 (average daily gain; ADG), 일당사료섭취량 (average daily feed intake; ADFI), 사료요구율 (Feed per gain ratio; F:G ratio)을 계산하였다.

라. 혈액 정상 (Blood assay)

혈액은 각 시기 (phase)별 처리 당 6두씩을 선발하여 경정맥에서 채취, BUN (blood urea nitrogen), creatinine, IGF-1을 분석하였다. 혈액은 disposable culture tube에 포집하여 3,000rpm, 4°C 상태로 15분 동안 원심분리 하였다. 그 후 micro tube 보관용기에 혈청만을 분리하여 분석 시까지 -20°C 로 보관하였다. BUN, creatinine은 자동생화학 분석기 ADVIA 1650, Japan을 이용하여 분석하였고 IGF-1은 Immulite 2000, USA를 이용하여 분석하였다.

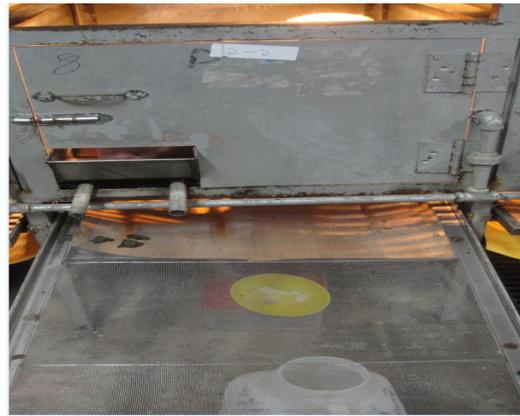
마. 영양소 소화율 (Nutrient digestibility)

섬유소원인 sugar beet pulp와 oat hull의 수준별 급여가 이유자돈의 영양소 소화율에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 이유자돈은 평균체중 $16.63 \pm 1.64\text{kg}$ 의 거세돈 18두를 6처리 3반복에 완전임의배치법으로 1마리씩 넣어 배치하였다. 실험의 처리구는 다음과 같다 : 1) Negative Control (NC; Basal diet), 2) Positive Control (PC; Basal diet + 항생제), 3) SBP2 (Basal diet + sugar beet pulp 2 % 첨가), 4) SBP8 (Basal diet + sugar beet pulp 8 % 첨가), 5) OH2 (Basal diet + oat hull 2 % 첨가), 6) OH8 (Basal diet + oat hull 8 % 첨가)이었다.

소화율 실험은 전분 채취법으로 진행되었으며, 적응기 (adaptation period) 6일과 본실험기 (collection period) 5일, 총 11일 동안 수행하였다. 5일 간의 본 실험기 동안 하루에 한 번씩 동일한 시간에 분과 뇨를 채취하였고, 실험사료는 평균 체중을 기준으로 1.0%를 정량하여 하루에 두 번씩 (07:00와 19:00) 제한 급여하였다. 본 실험 기간 동안 채취된 분은 플라스틱 백에 넣어 냉동보관 (-20°C)하였으며, 건조기에서 60°C 에 72시간 동안 건조한 후 스크린 직경이 1mm인 wiley mill을 이용하여 분쇄하였다. 채취된 뇨는 암모니아의 휘산을 방지하기

위해 10% H₂SO₄ 50ml을 미리 부어 놓은 플라스틱 통에 매일 채취 하였으며, glass wool을 통하여 이물질을 걸러 부피를 측정 한 후, 즉시 냉동 보관 (-20℃) 하였으며, 질소 이용률 분석을 위해 사용되었다. 사료, 분 및 뇨의 일반성분 (건물, 조단백질, 조지방 및 조회분)은 AOAC (1995)방법에 따라 분석하였고, 영양소 소화율과 질소 이용율을 측정하기 위해 이용되었다.

(1) 소화율 실험의 과정



위의 사진은 자돈 사료 내 섬유소를 이용한 이유자돈의 영양소 소화율 대사실험 사진으로 자돈 사료 내 섬유소의 첨가에 따른 영양소 소화율을 알아보기 위해 대사실험을 수행하였다. 실험돈의 배치는 완전임의배치법을 사용해 임의로 배치하였다 (좌). 식수통에는 대사실험 기간 sampling 한 뇨를 수집하였으며, 비닐 지퍼백에는 분을 sampling하여 냉동 보관하였다. 분과 뇨의 채집은 분은 대사틀 아래에 있는 철망 스크린에 모이게 되고 뇨는 바닥을 타고 흘러내려 뇨통에 모이게 된다. 이물질은 깔대기에서 선별하여 분리할 수 있도록 하였다 (우).



영양소소화율 대사실험과정에서 분과 뇨의 수집과정으로 뇨는 스크린을 투과하여 뇨통으로 흘러들어가게 되는데 뇨통에서 모인 뇨를 식수통에 수집한다 (좌). 오른쪽 사진은 실험돈의

대사실험과정으로 대사틀 당 1마리씩 배치된 모습이다 (우). 대사틀은 분과 뇨의 정량적인 분리채취를 가능하게 하여야 함은 물론이고, 실험돈의 자유로운 움직임 (적어도 서거나 앉는 정도)이 허용되어야 한다. 위의 방법을 통하여 영양소 소화율 실험을 진행하였다.

바. 해부실험 (Anatomy trial)

해부실험을 위하여 21 ± 3 일령에 이유향 평균체중 $5.15 \pm 0.23\text{kg}$ 의 삼원교잡종 ([Yorkshire \times Landrace] \times Duroc) 이유자돈 18두를 공시하여 처리 당 5두씩 총 21일간 실험사료를 처리별로 급여한 후 그 중에서 3두를 선발하여 해부 를 실시하였다 (평균체중 7.21 ± 1.33 kg). 선발된 실험돈은 하루 전에 각 개체별로 대사틀에 배치되었고, 12시간 절식 후 해부 전 3시간에 동일량의 사료와 물을 채식토록 하였다. 도살 후 소장 (small intestine), 대장 (large intestine), 직장 (rectum)을 분리하였다. 소장의 십이지장 (duodenum), 공장 (jejunum), 회장 (ilium) 부위를 2cm 길이로 채취한 후 10% neutral buffered formalin에 고정하였다가 alcohol과 xylene step 과정을 거쳐 탈수하여 hematoxylin과 eosin (HE)-stained section ($4\mu\text{m}$)으로 만들어 융모 (villi) 및 융와 (crypt)를 관찰하여 형태학적 특징 (morphology)을 조사하였다. Real-time PCR을 이용한 장내 미생물 균총 조사 및 장내 미생물로 인한 휘발성지방산 발생량을 알아보기 위해 회장 (ileum), 맹장 (cecum), 횡행결장 (transverse colon), 직장 (rectum)에서 소화물을 채취하여 -80°C 상태로 보관하였다.

사. 장내 미생물 균총 분석

국내 자돈의 장내에서 검출 되는 미생물 균총의 특징을 조사하여, 자돈의 장내에 존재하는 유익균과 유해균에 대한 분류와 이 중 다수를 차지하는 종에 대한 미생물 선정 후 각각의 미생물 특징을 조사하였다. 이 중 자돈의 장내에서 다수를 차지하는 총 5종에 대해 선정한 후, PCR 분석을 위한 돼지 장내 미생물 중 특이적인 primer를 제작하였다. 일반적인 PCR에 사용되는 specific primer는 real time PCR을 수행하기에는 PCR product size가 커서 PCR efficiency를 떨어뜨리기 때문에 DNA 정량에 error로 작용할 가능성이 있으며, 따라서 2종에 대하여 이를 방지할 수 있는 PCR product size가 작은 real time PCR에 맞는 primer를 제작하였다. 비특이적인 band와 primer dimer의 형성은 실험 오차를 발생시키기 때문에 RT-primer 제작 후, target DNA 이외의 비특이적인 band가 나타나는지를 확인하였다.

Real time primer를 이용하여 순수 배양된 target 미생물의 genomic DNA와 함께 PCR 실험을 실시하여 target 미생물의 특이적인 band를 증폭시키고 이를 PCR product purification kit (iNtRON biotechnology, INC) 이용하여 정제한 후, 증폭된 DNA 단편을 준비된 Vector (pGEM-T easy vector system, promega)에 삽입하였다. 이후 특정 단편이 삽입된 plasmid를 준비된 competent cell 에 transformation 시킨다. 이후 transformation

된 competent cell을 계대 배양하여 특정 DNA 단편이 삽입된 plasmid (plasmid DNA purification kit, iNtRON biotechnology)를 대량 추출하여 DNA 농도를 측정한다. 이 후 standard plasmid DNA를 농도별로 희석하는 serial dilution을 실시하여 sample과 함께 real time PCR을 수행하였다.

아. 화학 분석 및 통계 분석 (Chemical and statistical analysis)

본 실험의 data는 SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC)의 MIXED procedure를 이용하여 난괴법 실험 design으로서 통계분석을 실시하였다. 성장성적 data의 경우 한 돈방이 experimental unit으로, 반면 영양소 소화율, 혈액성상, 조직학적 측정, 장내 미생물 균총, 휘발성지방산 농도의 경우 실험돈 1두가 experimental unit으로 설정되었다. MIXED procedures model에 있어 처리구 (treatment)가 fixed variable로, 반복 (replication)은 random variable로 설정되었다. 유의적 차이는 SAS (Saxton, 1998)의 PDMIX800 macro를 이용하여 문자로 구분되었다. 모든 통계적 분석에 있어 유의적 차이를 검정하기 위한 α 수준은 0.05이었다.

제 3 항 연구 결과 및 고찰

가. 성장성적(Growth performance)

이유자돈 사료 내 섬유소의 공급원 및 첨가 수준의 차이가 이유자돈의 성장능력에 미치는 영향에 대한 결과에 대해서 표 9에 나타내었다. Phase I의 성장성적을 살펴보면 일당증체량 (ADG), 일당사료섭취량 (ADFI), 사료요구율 (F/G)에서 항생제를 0.1% 첨가한 PC 처리구의 성장능력이 유의적으로 높게 나타났다 ($P < 0.05$). 또한 섬유소원을 공급한 sugar beet pulp와 oat hull을 첨가한 처리구의 성장성적이 낮은 것이 관찰되었다. 이유자돈은 이유 시에 lactase 소화효소가 활성이 높은 반면, 다른 영양소를 분해하는 효소들의 분비량은 이유 후에 점차 증가하는데 섬유소의 첨가로 인하여 분비된 효소가 체내에서 제대로 활용되지 못하였으며, 이로 인해 성장이 PC 처리구에 비해 뒤쳐진 것으로 생각된다.

Phase II의 성장성적을 살펴보면 phase I과 같이 PC 처리구의 성장성적이 가장 높게 나타났다. 그러나 섬유소를 첨가한 처리구와의 비교에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았으며 phase I보다는 phase II에서 섬유소의 첨가로 인해 성장 성적이 개선되는 것을 관찰할 수가 있었다. 식이섬유소를 첨가한 처리구의 경우 항생제를 첨가하지 않은 NC 처리구보다 성장성적이 높게 나타났다. 또한 sugar beet pulp를 8% 첨가한 SBP8 처리구의 경우 PC 처리구와 동등한 성장성적을 보였다.

전 실험기간 (0-5 주)의 성장성적을 살펴보면 phase I, II에서 성장성적이 가장 높았던 PC처리구의 성장 성적이 가장 높았으며, 식이섬유를 첨가한 처리구들은 PC 처리구보다 일당 증체량이 낮게 나타났지만 NC 처리구에 비해 높게 나타났으며, sugar beet pulp를 8% 첨가한 SBP8 처리구의 경우 PC 처리구와 동등한 성장 성적을 보였다 ($P < 0.05$). 또한 식이섬유 소 공급원 종류의 차이에도 불구하고 8%첨가 수준이 2%첨가 수준보다 일당증체량이 수치상 높게 나타났으며, 이는 phase I 기간 동안의 일당 증체량의 차이에서 기인한 것으로 판단된다. 일당사료섭취량에서는 모든 처리구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 사료요구율에 있어서는 PC 처리구와 SBP8 처리구에서 가장 낮게 나타나 1kg 증체를 위한 사료요구량이 낮은 것으로 나타났으며, 처리구 (NC)에서 가장 높은 사료요구율을 나타내었다. 식이섬유 소 공급원 간의 비교에서는 oat hull보다 sugar beet pulp를 첨가한 처리구의 일당증체량이 높게 나타났으나 첨가 수준 간 비교에서는 식이섬유소를 8% 첨가한 처리구들의 성장이 높게 나타났다.

본 연구 결과를 바탕으로 이유자돈에게 섬유소의 첨가는 항생제를 첨가한 처리구보다 성장 성적이 낮게 나타났지만 SBP8 처리구의 이유 자돈이 PC 처리구의 자돈과 대등한 성장성적을 나타내어 sugar beet pulp의 자돈사료 내 첨가는 항생제를 대체할 수 있는 가능성을 보였다. 이러한 결과는 소맥 (wheat) 위주의 사료에 SBP를 6 % 첨가하였을 때 이유자돈의 성장 성적이 개선되었다는 Lizardo 등 (1997)의 결과와 비슷하다. 표 4에 나타나 있듯이 sugar beet pulp의 사료 내 첨가로 인한 성장은 특히 2~5주간에서 유의적으로 나타났다. 이는 이유 후에 자돈의 미성숙한 장관이 발달하는 동시에 sugar beet pulp의 섬유소원이 장내 환경에 긍정적 영향을 미쳐 결과적으로 성장능력 개선에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 사료된다. 본 실험에서 사용된 oat hull의 경우 전 기간 동안의 사양성적이 NC와 차이가 없었는데, 2~4%까지의 귀리피 (oat hull)을 자돈 사료에 사용하였던 López 등 (2003)과 Mateos 등 (2006)의 연구결과와 일치하는 결과를 보였다. 일반적으로 oat hull은 불용성 식이섬유소 및 리그닌 함량이 높은 특징을 지니고 있는데 (Bach Knudsen, 1997; Manthey 등, 1999), 이들의 첨가는 sugar beet pulp보다 낮은 사료이용율을 나타내는 것으로 나타났다. 이는 oat hull 보다는 sugar beet pulp가 이유자돈 사료 내 섬유소 공급원으로 더욱 적합함을 나타낸다.

결론적으로 본 연구결과를 산업체에서 적극 활용하기 위해서는 oat hull과 sugar beet pulp의 수준을 좀 더 세분화된 수준별 실험을 추가적으로 진행하여 적정 첨가수준을 규명해야 할 것으로 사료된다.

표 9. 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 성장에 미치는 영향

Item ¹	NC	PC	SBP2	SBP8	OH2	OH8	SEM ²
Phase I (0~2 week)							
ADG, g	323 ^c	369 ^a	324 ^c	347 ^b	324 ^c	329 ^{bc}	3.968
ADFI, g	494 ^b	533 ^a	491 ^b	503 ^b	480 ^b	500 ^b	4.573
F/G	1.53 ^a	1.44 ^b	1.52 ^{ab}	1.45 ^{ab}	1.48 ^{ab}	1.52 ^{ab}	0.011
Phase II (2~5 week)							
ADG, g	548 ^b	584 ^a	566 ^{ab}	583 ^a	561 ^{ab}	570 ^{ab}	4.177
ADFI, g	975	993	986	990	974	975	5.544
F/G	1.78 ^a	1.70 ^b	1.74 ^{ab}	1.70 ^b	1.73 ^{ab}	1.71 ^{ab}	0.010
Overall (0~5 week)							
ADG, g	458 ^c	498 ^a	469 ^c	489 ^{ab}	467 ^c	474 ^{bc}	3.407
ADFI, g	783	809	788	795	776	785	4.333
F/G	1.71 ^a	1.62 ^c	1.68 ^{ab}	1.63 ^c	1.66 ^{abc}	1.66 ^{bc}	0.008

¹ NC: control diet, PC: antibiotic, SBP2: sugar beet pulp 2%, SBP8: sugar beet pulp 8%, OH2: oats hull 2%, OH8: oat hull 8%.

² Standard error of means.

^{abc} Values with different superscripts in the same row are significantly (P<0.05).

나. 영양소 소화율 (Nutrient digestibility)

이유자돈 사료 내 섬유소의 종류 및 수준별 첨가가 이유자돈의 영양소 소화율 및 질소축적율에 미치는 결과에 대해서 표 10에 나타내었다. 영양소 소화율은 물리적이고 화학적인 사료의 구성성분 (Le Goff와 Noblet, 2001), 사료가공과정 (Lahaye 등, 2004), 개체 간의 차이와 사료급여 수준 (Noble과 Shi, 1994) 등에 의해 달라질 수 있다. Van Soest (1982)의 논문에 따르면 식이 섬유소의 구성성분에 따라 건물, 단백질 등의 소화율이 크게 영향을 받는다 고 하였고 또한 대장 내 소화물의 통과속도도 달라진다고 하였다. 또한 Rijnen 등 (2001)의 연구결과에 따르면 모든 사료 내 sugar beet pulp를 0, 10, 20, 30% 첨가함에 따라 비전분성다당류의 소화율이 각각 70.6, 74.3, 78.4, 80.6 %였다. Varel 등 (1984)에 의하면 단위 동물인 돼지의 장내에도 *Fibrovacter succinogenes*나 *Ruminococcus flavefaciens* 와 같은 섬유소 분해 미생물 (cellulolytic bacteria)가 서식하며, 섬유소의 이용율이 좋거나 비전분성 다당류의 함량이 많은 경우 (예: Sugar beet pulp) 그 활력이 증가하고 휘발성 지방산의 생성량도 증가한다고 하였다. 과도하고 부적절한 섬유소의 급여는 영양소 소화율을 감소시키고, 소화기관에 무리를 줄 수 있다. 그러나 적정 수준의 소화가 잘되는 섬유소의 급여는 생체의 영양소 이용에는 부정적인 영향을 주지 않으며 영양적 보상 및 prebiotics의 기작을 통해 유익하게 작용할 수 있다.

본 실험결과 건물 (dry matter)의 소화율에서 처리구 간 유의적 차이가 발견되었으며, sugar beet pulp의 급여가 oat hull의 급여에 비해 높은 건물소화율을 보였다. 또한 oat hull의 경우 첨가량에 따라 8%첨가 수준이 2%첨가 수준보다 낮은 영양소 소화율을 나타냈다. 조 단백질 (crude protein) 소화율에서 또한 처리구 간 유의적인 차이가 발견되었으며, 섬유소원

을 각각 8% 첨가한 첨가구들이 기타 처리구들에 비해 낮은 영양소 소화율을 보였다. 그리고 sugar beet pulp를 첨가한 처리구의 조회분 (crude ash) 소화율이 낮은 경향을 나타내었다. 결론적으로 영양소 소화율의 실험결과를 보았을 때 전반적으로 oat hull 8% 첨가는 사료의 소화율을 감소시키는 것으로 사료된다.

본 실험의 결과는 섬유소함량의 증가에 따라 fecal CP, DM의 소화율이 감소하였다는 wilfart 등 (2007)의 결과와 유사하며, Calvert (1991)가 보고한 연구에서 역시 높은 수준의 섬유소는 광물질, 질소, 에너지 이용율을 저하시킬 수 있다고 보고하였다. 게다가, 불용성 식이섬유소는 어린 유축일수록 그 이용율이 떨어진다고 보고하였는데 (Shi와 Noblet, 1993), 불용성 식이섬유소 함량이 높은 oat hull을 자돈사료에 사용한 본 연구에는 불용성 식이섬유소의 소화율에 대한 감소효과에 대한 보고와 일치하는 결과를 확인할 수 있었다.

질소축적량의 경우 각 식이섬유소원 첨가구의 질소축적량의 대조구들에 비해 높게 나타났는데, 이는 대조구 사료들의 분석치가 예상치보다 낮게 나타났기 때문으로 사료된다. 질소축적율의 경우 분을 통한 질소 배출량에서 섬유소원의 첨가수준에 따라 질소 배출량이 증가되는 것으로 나타났다. 또한 대조구의 사료분석치가 낮게 나타났다는 점을 감안하더라도 NC와 PC 대조구와 비교했을 시 섬유소원의 첨가가 분을 통한 질소의 배출량을 크게 증가시키는 것으로 나타났다.

표 10. 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 영양소 소화율 및 질소 축적율에 미치는 영향

Item ¹	NC	PC	SBP2	SBP8	OH2	OH8	SEM ²
Nutrient digestibility, %							
Dry matter	91.06 ^{ab}	92.46 ^a	91.73 ^a	91.45 ^a	91.43 ^a	89.50 ^b	1.468
Crude protein	93.94 ^{ab}	93.41 ^{ab}	90.25 ^{bc}	88.93 ^c	90.16 ^{bc}	88.24 ^c	2.914
Crude ash	59.83 ^c	67.83 ^a	61.34 ^{bc}	67.39 ^{ab}	62.00 ^{abc}	56.20 ^c	6.487
Crude fat	84.63	88.28	88.99	86.77	87.35	86.58	2.661
Nitrogen retention/day, g							
N intake	6.45	7.08	7.52	7.74	7.63	7.77	
N-feces	0.39 ^B	0.47 ^B	0.73 ^A	0.86 ^A	0.75 ^A	0.91 ^A	0.243
N-urine	0.90	0.96	0.93	0.93	0.83	0.81	0.119
N-retention	5.16 ^C	5.65 ^B	5.85 ^{AB}	5.95 ^{AB}	6.05 ^A	6.04 ^A	0.376

¹ NC: control diet, PC: antibiotic, SBP2: sugar beet pulp 2%, SBP8: sugar beet pulp 8%, OH2: oats hull 2%, OH8: oat hull 8%.

² Standard error of means.

^{abc} Values with different superscripts in the same row are significantly (P<0.05).

^{ABC} Values with different superscripts in the same row are significantly (P<0.01).

다. 혈중요소태질소 (Blood Urea Nitrogen)

이유자돈 사료 내 섬유소의 종류 및 수준별 첨가가 이유자돈의 BUN (blood urea nitrogen)에 미치는 결과에 대해서 표 11에 나타내었다. 본 실험결과 사양실험 기간 동안 전 실험개체의 BUN 농도 범위는 9.3~16.5mg/dl로 일반적인 BUN value를 나타내었다.

BUN은 아미노산의 이용에 대한 대표적인 지표로 쓰이는데 (Eggum, 1970), BUN은 단백질 섭취와 그 품질에 직접적인 연관성을 가지며 (Eggum, 1970; Hahn 등, 1995), 섭취한 질소의 체내 유지에 관여한다 (Whang과 Easter, 2000).

일반적으로 BUN value는 일당증체량 및 사료효율과 negative correlation을 갖는 것으로 알려졌으나 (Hahn 등, 1995) 본 실험에서는 성장성적과 BUN value는 연관성을 나타내지 못하였다. BUN value를 살펴보면, 항생제 무첨가구인 NC처리구가 낮게 나타났으며, 처리구나 섬유소 종류 및 첨가수준에 따른 뚜렷한 경향은 볼 수 없었으나, 5주차에서 섬유소간 비교 시 사료 내 sugar beet pulp의 첨가는 NC처리구의 질소의 이용성과 유의적 차이를 나타내지 않았지만 oat hull 8% 첨가구의 경우에는 NC처리구의 결과보다 BUN value가 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.049). 비록 BUN value가 일당증체량 및 사료효율과 negative correlation을 갖지만 본 실험결과에서 나타난 BUN value를 정확하게 해석하기 위해서는 성장성적 보다는 영양소 소화율 결과와 연관시켜야 할 것으로 사료된다.

표 11. 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 혈중요소태질소 (BUN)에 미치는 영향

Item ¹	NC	PC	SBP2	SBP8	OH2	OH8	SEM ²
BUN (mg/dL)							
Initial	9.91	9.91	9.91	9.91	9.91	9.91	—
2 week	14.30 ^c	14.86 ^{bc}	15.14 ^{ab}	14.74 ^{bc}	14.42 ^c	15.46 ^a	0.099
5 week	12.74 ^b	13.42 ^{ab}	13.18 ^{ab}	12.52 ^b	12.88 ^b	14.02 ^a	0.139

¹ NC: control diet, PC: antibiotic, SBP2: sugar beet pulp 2%, SBP8: sugar beet pulp 8%, OH2: oats hull 2%, OH8: oat hull 8%.

² Standard error of means.

^{abc} Values with different superscripts in the same row are significantly (P<0.05).

라. 크레아티닌 (Creatinine)

자돈 사료 내 섬유소의 종류 및 수준별 첨가가 이유자돈의 크레아티닌 (creatinine)에 미치는 결과에 대해서 표 12에 나타내었다. 본 실험결과 혈액 내 크레아티닌 농도는 2주차에 식이섬유를 첨가한 처리구들에서 크레아티닌의 수치가 높게 나타났으나 처리구간 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 또한 5주차에 있어서도 처리구간 뚜렷한 경향은 발견할 수 없었다.

일반적으로 크레아티닌은 뇌, 근육, 심장에서 에너지를 보관하는 역할을 하는 단백질인 크레아틴으로 전변된다. 이들의 대사과정에서 생성된 노폐물이 크레아티닌이다. 이들 크레아티닌은 체내 근육에서만 생성되며, 콩팥을 통하여 배설되는데 체내에 콩팥기능이 나빠지면 혈중 크레아티닌이 상승하게 된다. 따라서 크레아티닌을 가축의 건강지표를 나타낸다고 할 수 있다. 본 실험결과 사료 내 sugar beet pulp와 oat hull의 첨가는 체내 소화기관 및 대사작용에 부정적인 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

표 12. 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 크레아티닌 (creatinine)에 미치는 영향

Item ¹	NC	PC	SBP2	SBP8	OH2	OH8	SEM ²
Creatinine (mg/dL)							
Initial	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	-
2 week	1.12	1.12	1.16	1.16	1.18	1.18	0.016
5 week	1.16	1.18	1.12	1.18	1.16	1.20	0.020

¹ NC: control diet, PC: antibiotic, SBP2: sugar beet pulp 2%, SBP8: sugar beet pulp 8%, OH2: oats hull 2%, OH8: oat hull 8%.

² Standard error of means.

마. 혈중 인슐린 유사 성장인자 (IGF-1)

자돈 사료 내 섬유소의 종류 및 수준별 첨가가 이유자돈의 혈 중 인슐린 유사 성장인자 (IGF-1; insulin like growth factor-1)에 미치는 결과에 대해서 표 13에 나타내었다. 인슐린 유사 성장인자는 구조와 기능이 인슐린과 상당부분 유사하지만 인슐린과는 달리 성장에 관여를 하며 성장이 필요한 세포에 에너지를 공급한다. 인슐린 유사 성장인자는 성장호르몬의 자극으로 분비되며 조직들의 성장과 분화에 관여하는 인자로 심혈관계의 구조와 기능의 조절에도 중요하고 뼈의 성장에도 매우 중요한 역할을 한다 (Bayes-Genis, 2000). 일반적으로 영양 상태에 의해 크게 좌우되며 영양상태가 불량할 경우 인슐린 유사 성장인자의 분비가 감소하게 된다.

본 실험의 결과에 의하면 2주차와 5주차에서 처리구 간의 유의적인 차이가 나타났다. 2주차에 sugar beet pulp 8% 첨가구가 가장 높은 혈중 IGF-1 농도를 보였으며, 항생제 처리구의 경우 무항생제 처리구와 차이를 보이지 않았다. 5주차에도 2주차와 마찬가지로 항생제 처리구와 무항생제 처리구간의 차이는 나타나지 않았지만, sugar beet pulp의 첨가가 oat hull의 첨가에 비해 높은 혈중 IGF-1 농도를 보였다. 5주차에 sugar beet pulp와 oat hull의 급여 처리구들이 모두 무항생제 처리구보다 높은 결과를 보였으며, 이는 항생제 처리구의 결과를 제외하고는 사양성적의 결과와 어느 정도 유사한 것으로 사료된다.

표 13. 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 IGF-1에 미치는 영향

Item ¹	NC	PC	SBP2	SBP8	OH2	OH8	SEM ²
IGF-1 (mg/mL)							
Initial	113	113	113	113	113	113	-
2 week	155 ^b	158 ^b	146 ^c	171 ^a	153 ^{bc}	159 ^b	1.691
5 week	202 ^c	206 ^{bc}	224 ^{ab}	236 ^a	213 ^{bc}	207 ^{bc}	3.087

¹ NC: control diet, PC: antibiotic, SBP2: sugar beet pulp 2%, SBP8: sugar beet pulp 8%, OH2: oats hull 2%, OH8: oat hull 8%.

² Standard error of means.

^{abc} Values with different superscripts in the same row are significantly (P<0.05).

바. 소장 내 형태학적 변화 (Intestinal morphology)

표 14에 용모의 높이, 용와의 깊이 그리고 그 둘의 비율 (villi height : crypt depth)을 표기하였다. 본 실험결과 사료 내 sugar beet pulp와 oat hull의 첨가에 따른 처리 간에 용모의 높이, 용와의 깊이, 그리고 그 비율에 있어 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 그러나 NC 처리구에 비해 OH2 처리구를 제외한 SBP2, SBP8, OH8의 용모의 높이와 비율이 증가하는 경향이 관찰되었다. 특히 sugar beet pulp를 8% 첨가한 SBP8 처리구의 경우 용모의 크기가 크고 용모의 높이가 작아 그 비율이 높은 것을 볼 수 있었으나 유의적으로 차이는 없었다. 이러한 결과가 나타난 이유로는 사료 내 첨가한 SBP가 장내표면의 상피세포를 자극하여 손상된 용모를 탈락시키고, 영양소의 공급을 원활히 하여 용모의 복원 및 발달을 촉진하였기 때문인 것으로 사료된다.

일반적으로 자돈의 소장 용모 형태는 이유 후 섭취한 고형 사료의 영향으로 약간 짧아지고 중간부분이 굽어진 혀의 모양을 하고 있다. Cera 등 (1998)에 의하면 용모의 길이는 이유 후 3일 안에 급격히 감소하며, 그 후 천천히 발달한다고 보고하였다. Mathew 등 (1994)과 Jin 등 (1996)은 높은 수준의 식이 섬유소를 첨가하였을 때 용모의 높이는 약간 감소하였으나 용와의 깊이는 더 깊어진다고 보고하였다. 반면, Moore 등 (1988)은 높은 수준의 섬유소를 급여해도 육성돈의 공장부위 용모에 어떠한 영향도 주지 않는다고 하였으며, 조기 이유한 자돈의 경우 공장과 회장부위의 용모 길이가 약 15%까지 감소되었다는 보고를 하였다. 본 연구에서는 위의 연구결과와 상반된 결과를 보여주었는데 이는, 본 실험에서 사용한 sugar beet pulp와 oat hull 그 입자도를 매우 작게 분쇄하였는데, 이러한 입자도의 차이와 섬유소 원료상의 차이 때문에 소장의 형태학적 변화에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

표 14. 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 장관의 형태학적 변화에 미치는 영향

Item ¹	NC	PC	SBP2	SBP8	OH2	OH8	SEM ²
Morphological growth (d 21, μm)							
Villi height (VH)	411	421	430	417	397	418	1.53
Crypt depth (CD)	209	207	195	201	206	201	1.77
V:C ratio	1.97	2.05	2.22	2.08	1.94	2.08	0.02

¹ NC: control diet, PC: antibiotic, SBP2: sugar beet pulp 2%, SBP8: sugar beet pulp 8%, OH2: oats hull 2%, OH8: oat hull 8%.

² Standard error of means.

사. 장내 미생물 균총 (Intestinal microflora)

일반적으로 이유자돈의 미생물 균총으로는 *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Bacillus subtilis*, *Streptococcus bovis*, *E.coli* K88의 순서로 미생물 수가 높은 것을 알 수 있으며, 유익균이 유해균 보다 우점하고 있고, 유산균인 *Lactobacillus spp.*가 더 많은 수가 서식하고 있다. 건강한 돼지 일수록 직장 내 *Bacteriodes*, *Streptococci* 및 *Lactobacilli* 종의 비율이 높고, 병에 걸린 돼지일수록 *Anaerovibrio*, *Selenomonas* 및 *E. coli*의 비율이 높다고 알려져 있다(Robinson, 1984).

장내 미생물 균총을 조사하고자 공장, 회장, 맹장, 대장, 직장 내 소화물의 건물 1g당 존재하는 *Lactobacillus casei*, *Bacillus subtilis*, *Streptococcus bovis*, 및 *Escherichia coli* K88+ 각각의 미생물 균총수를 real time PCR 기법을 이용해 분석하였고, 표 15에 나타나있다. 본 실험결과 맹장부위의 *Escherichia coli* K88+을 제외한 나머지 부위 및 다른 미생물에서의 처리구간 비교에서 어떠한 경향이나 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 맹장부위에서는 sugar beet pulp를 2 및 8% 첨가한 처리구와 oat hull을 8% 첨가한 처리구의 *Escherichia coli* K88+의 CT value가 낮게 나타난 결과를 통해 식이섬유를 자돈사료 내 첨가 시 유해 미생물인 *Escherichia coli* K88+의 균총수를 억제시켜 미생물 균총에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 가설을 검증하였다. 또한 다른 미생물 균총에서는 변화가 없는 것으로 보아, 장내 일반적으로 존재하는 미생물 균총이 크게 바뀌지 않았음을 나타내는 결과를 보였다. 이러한 병원성 대장균의 증식 억제효과는 대장균이 mucosal receptor에 부착하는 것을 막고 소화물에 부착할 수 있는 binding sites를 제공하여 나타난 것으로 장기간 섬유소 원료가 들어간 사료를 섭취할 경우 장관 내 유해 미생물 균총 수를 줄일 수 있다는 기존의 연구 결과와 동일한 결과였다 (Ishihara 등 2000; Naughton 등 2001). 본 해부 실험 결과를 종합해보면, 이유자돈 사료 내 sugar beet pulp와 oat hull의 첨가는 장내미생물 균총 조성에 있어 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다.

표 15. 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 장내 미생물 균총에 미치는 영향

Item ¹	NC	PC	SBP2	SBP8	OH2	OH8	SEM ²
Ileum							
<i>Lactobacillus casei</i>	27.49	27.47	27.94	28.33	27.91	27.77	0.13
<i>Lactobacillus plantarum</i>	26.99	27.10	27.18	26.92	27.22	26.84	0.06
<i>Bacillus subtilis</i>	20.85	20.64	19.92	19.84	21.11	19.64	0.22
<i>Streptococcus bovis</i>	22.26	22.26	21.51	21.67	20.67	21.68	0.78
<i>E. coli K88+</i>	31.12	31.36	31.52	31.16	31.12	31.04	0.09
Cecum							
<i>Lactobacillus casei</i>	26.85	26.74	27.22	26.96	27.05	26.76	0.09
<i>Lactobacillus plantarum</i>	22.74	22.98	23.06	22.82	23.05	22.92	0.08
<i>Bacillus subtilis</i>	20.29	20.30	20.50	20.06	19.63	21.09	0.15
<i>Streptococcus bovis</i>	21.34	22.18	22.36	22.17	22.25	22.31	0.15
<i>E. coli K88+</i>	30.99 ^a	30.89 ^{ab}	30.47 ^b	30.45 ^b	30.91 ^a	30.31 ^b	0.08
Colon							
<i>Lactobacillus casei</i>	26.21	26.00	26.10	25.82	26.26	25.82	0.08
<i>Lactobacillus plantarum</i>	18.48	18.29	18.66	18.40	18.44	17.97	0.08
<i>Bacillus subtilis</i>	19.69	20.60	20.67	19.99	20.56	20.63	0.16
<i>Streptococcus bovis</i>	20.94	21.31	22.61	20.81	21.40	22.02	0.25
<i>E. coli K88+</i>	30.21	29.96	29.76	30.26	30.21	30.03	0.06
Rectum							
<i>Lactobacillus casei</i>	25.10	25.36	24.99	25.33	25.51	24.93	0.11
<i>Lactobacillus plantarum</i>	18.41	18.81	18.36	18.54	18.76	18.31	0.10
<i>Bacillus subtilis</i>	20.26	20.32	20.44	20.07	19.73	21.15	0.15
<i>Streptococcus bovis</i>	21.23	21.27	21.31	21.64	21.25	21.57	0.12
<i>E. coli K88+</i>	29.92	29.52	29.29	29.27	29.40	29.71	0.09

¹ NC: control diet, PC: antibiotic, SBP2: sugar beet pulp 2%, SBP8: sugar beet pulp 8%, OH2: oats hull 2%, OH8: oat hull 8%.

² Standard error of means.

^{abc} Values with different superscripts in the same row are significantly (P<0.05).

아. 분변 내 휘발성 지방산 (Fecal volatile fatty acid) 농도

이유자돈 사료 내 sugar beet pulp와 oat hull의 첨가에 따른 분변 내 휘발성지방산 농도에 미치는 영향을 표 16에 나타내었다. 본 연구결과 처리구간 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 어떠한 경향도 발견되지 않았다.

많은 연구들에서 항생제 대체제로서 많은 종류의 물질들이 거론되고 있는데, 그 중 하나가 “prebiotics” 이다. Prebiotics의 작용 기작은 장내 유익균들이 이용하기 쉬운 섬유소를 공급하고 그것을 이용한 후 생성되는 휘발성 지방산 (VFA; volatile fatty acid)이 장관 내 pH를 저하시켜 유산균의 증식 및 병원성 미생물의 감소를 촉진하는 것이다. 결과적으로 유익균이 병원성 미생물과 영양적으로 경쟁하게 되어 미생물 균총을 조절하게 된다. 그와 더불어 특히 섬유소원이 *E. coli*에 binding site를 제공하여 장관벽에 부착하기 보다는 소화물의 섬유소에 부착하게 하여 분으로의 배출을 유도하며 (Koopman 등, 1999), 장관 내 영양소 공급 및 분비물의 분비를 촉진하여 장 표면세포의 분화를 용이하게 한다 (Jin 등, 1994). 또한 휘발성 지방산중 isobutyrate와 isovalerate와 같은 휘발성 지방산과 amine의 증가는 자돈의 이유 후 설사의 원인이 된다고 보고되었다 (Bolduan 등, 1988). Gaskin 등 (2001)의 연구 결과에 의하면, 이유 후 자돈 장관내 소화물 중 isobutyrate와 isovalerate와 같은 휘발성 지방산과 암모니아와 같은 아민류 생성은 이유 후 대장균증 (*post-weaning colibacillosis*)과 같은 설사증세와 소화기의 장애를 일으킨다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 sugar beet pulp와 oat hull의 첨가에 따른 분변 내 휘발성지방산 농도에 어떠한 변화나 영향이 발견되지 않았다.

표 16. 이유자돈 사료 내 섬유소의 형태 및 첨가수준에 따른 급여가 분변 내 VFA 조성에 미치는 영향

Item ¹	NC	PC	SBP2	SBP8	OH2	OH8	SEM ²
VFA concentration (mmol/ml)							
acetate	60.87	64.51	52.63	53.55	58.51	49.50	1.42
propionate	23.28	25.25	22.90	23.59	23.00	22.21	2.67
butyrate	16.29	16.31	17.27	17.19	19.67	16.03	0.27
valerate	2.42	2.56	3.93	3.74	3.09	3.94	0.51
I-butyrate	2.99	2.76	3.56	3.67	1.84	3.99	0.40
I-valerate	3.69	3.26	4.62	4.90	2.21	5.34	0.22

¹ NC: control diet, PC: antibiotic, SBP2: sugar beet pulp 2%, SBP8: sugar beet pulp 8%, OH2: oats hull 2%, OH8: oat hull 8%.

² Standard error of means.

제 3 절 섬유소원이 첨가된 자돈사료의 이용성 극대화를 위한 효소제의 첨가가 자돈의 성장과 설사빈도, 혈액성상, 소장의 형태학적 성상, 직장 내 휘발성지방산 농도 및 영양소 소화율에 미치는 영향

제 1 항 서론

자돈은 이유 후 모유에서 고품사료로 이전되며 물리적으로 큰 변화(소화율, 구조, 조성, 맛, 향기)를 겪게 되는데 이러한 사료의 변화는 장의 용모를 탈락 시키며, 장내 미생물의 균총을 변화시키고 이러한 급진적인 변화로 인해 자돈에 설사를 유발시킨다(Le-Dividich와 Herpin, 1994). 또한 수동 면역의 제거, 환경(돈사 이동, 온도 등) 변화 및 사회적 행동 등에 따라 이유 후 설사 발생 빈도가 높아지게 된다.

사료 원료 중 섬유소는 과거 많은 연구들에서 일반적으로 돼지의 성장을 억제한다고 보고되었지만, 최근에는 섬유소의 종류와 양에 따라 새로운 가능성이 제기되었으며, furcto-oligosaccharide, mannan-oligosaccharide, β -glucan와 같은 prebiotics로서의 접근 및 가용성 식이섬유(soluble dietary fiber; SDF, 불용성식이섬유(insoluble dietary fiber; IDF) 비율이 설사에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되고 있다.

식이 섬유소의 첨가는 그 종류와 사용량에 따라 prebiotics로서 장내 유익균들이 이용하기 좋은 섬유소를 공급하고, 미생물의 대사산물인 휘발성 지방산(volatile fatty acid; VFA)과 젖산이 장관 내 pH를 저하시켜 유산균의 증식 및 병원성 미생물의 저하를 유도하며, 대장균에 부착부위(binding site)를 제공하여 분으로의 배출을 유도하는 등(Koopman 등, 1999)의 기능을 한다. 이들 식이섬유 원료들 중 이유자돈 사료로써 가능성이 높은 원료는 보리로 이는 단순 분쇄 첨가로 인한 자돈의 성장 및 설사 감소 효과가 보고된 적은 있으나, 설사방지 관련 섬유소에 대한 새로운 관점에서의 고찰은 거의 이루어지지 않은 상황이다.

보리에는 β -glucan이 함유되어 있는데 이들은 기능성 식품소재로서 많은 관심을 끌고 있다(Maier 등, 2000). 귀리 β -glucan은 수용성과 불용성으로 구분되는데, 약 80%가 수용성으로 혈중 콜레스테롤 감소효과가 우수하며(Estrada 등, 1999), 위 내용물의 점성을 증가시키고, 위 공복시간을 지연시키며, 포도당을 흡착하여 배설하므로 혈당증가와 포도당 부하에 따른 인슐린 분비 저해능력을 보유하고 있으며, 한편 불용성 β -glucan은 보수성이 우수하여 대장에서 박테리아 분해에 저항성을 갖기 때문에 변의 장 통과시간을 단축시키며 동시에 배변량을 증가시키는 것으로 알려져 있다 (Bell 등, 1999). 이러한 섬유소 특징을 가지고 있는 귀리는 미생물 균총 조절 및 장의 형태학적 발달에 유익하기도 하나, 한편으로는 수용성 섬유소에 의해 장 내용물의 점도(viscosity)를 증가시켜 사료섭취량 및 영양소 소화율을 감소시킬 우려 또한 있다고 사료된다. 따라서 사료를 효율적으로 이용할 수 있게 도와주는 효소제의 첨

가는 소화력을 증진시켜 식이성 설사를 예방할 수 있고 성장문제 개선에 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다. 보리를 사용할 경우 통상 xylanase와 β -glucanase의 복합효소제를 사용하여 그러한 이용을 개선 효과를 꾀할 수 있지만 영양소 이용 뿐 아니라 설사방지 측면에서의 측면을 고려하기 위해서는 첨가수준에 대한 조사 및 검토가 필수적이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이유자돈의 섬유소원을 활용하기 위한 xylanase와 β -glucanase가 혼합된 복합 효소제를 첨가하였을 때, 이들이 성장성적, 설사빈도, 혈액성상, 영양소 소화율 및 장내 미생물 균총에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

제 2 항 실험 방법 및 재료

가. 실험동물 및 실험설계 (Experimental animal and housing)

5주간의 사양실험을 위하여 24 ± 3 일령에 이유한 평균체중 7.30 ± 1.83 kg의 삼원교잡종 ([Yorkshire \times Landrace] \times Duroc) 이유자돈 140두를 5처리 7반복에 체중과 성별을 고려하여 난피법 (Randomized Completely Block Design; RCBD)으로 돈방당 4두씩 배치하였다. 모든 실험돈은 돈방당 4두씩 배치되었으며, 돈방은 반 콘크리트-슬롯 바닥 (0.9×2.4 m²) 구조로 각각 하나의 사료 급이기와 니플 급수기가 설치되어있어 실험기간 동안 물과 사료를 자유 채식 (*ad libitum*)토록 하였다. 실험의 처리구는 다음과 같다 : 1) Negative Control (NC; Basal diet), 2) Positive Control (PC; Basal diet + 항생제 0.1 % 첨가), 3) A 처리구(Basal diet + 효소제 0.05 % 첨가), 4) B 처리구(Basal diet + 효소제 0.1 % 첨가), 5) C 처리구(Basal diet + 효소제 0.15 % 첨가)였다. 식이섬유원인 보리는 모든 처리구에 동등한 함량을 첨가하였고 다른 모든 영양소의 함량은 처리별로 차이없게 하였으며, NRC 사양표준(1998)에 따라 충족시켰다. 돈방 온도는 실험 개시 후 첫 일주일간은 30 °C를 유지하였으며, 매주 1 °C씩 낮추어 마지막 5주째에는 26 °C가 되게 하였다. 체중과 사료섭취량을 매주 측정하여, 일당증체량 (average daily gain; ADG), 일당사료섭취량 (average daily feed intake; ADFI), 사료효율 (Gain:feed ratio; G:F ratio)을 구하였다.

나. 실험사료 (Experimental diet)

옥수수-대두박-보리를 실험사료의 기초사료 (basal diet)로 이용하였으며, 각 사육 시기에 맞추어 배합을 실시하였다. 총 35일간의 자돈기 실험 기간 동안 급여한 실험사료의 ME (대사에너지)는 phase I (0 - 2 주)과 phase II (2 - 5 주)가 약 3,265 kcal/kg 였으며, phase I, phase II의 단계별 사료들의 조단백질 함량은 각각 20.57 %, 19.87 % 이었다. 본 실험에 사용된 보리는 입자도를 잘게 분쇄하여 첨가하였으며, 이들의 첨가수준은 24 %로 모든 처리구에 동등하게 첨가하였다. 또한 본 실험에 사용된 효소제는 주로 xylan과 β

-glucan을 분해하는 복합 효소제를 첨가하였으며 각각의 첨가수준에 따라 0.05, 0.10, 0.15 %씩 첨가하였다.

효소제의 경우 열처리, 익스트루전 등 가공방법에 따른 여러 가지 환경변이로 인하여 효소제의 역가가 떨어질 수 있는 문제점이 있다. 따라서 본 실험의 경우 사료 배합 시 효소제를 첨가한 이후 열처리 과정은 거치지 않았으며, 제조된 실험사료의 경우 열과 공기 중의 접촉을 최대한 자제하여 이들의 효과가 최대로 발휘할 수 있도록 실험사료를 배합하였다. 주요 실험사료의 원료 및 화학적 농도는 표 17 (phase I), 표 18 (phase II)에 제시된 바와 같다.

표 17. 실험사료 배합비 (phase I)

	NC ¹	PC	A	B	C
Ingredient, %					
Corn	17.74	17.27	17.55	17.27	17.00
SBM-44	32.61	32.59	32.59	32.59	32.59
HP300 ²	7.81	7.82	7.83	7.82	7.82
Whey powder	3.20	3.50	3.30	3.50	3.68
Lactose	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Barley	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
Soy-oil	0.00	0.08	0.04	0.08	0.12
MCP	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Limestone	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
L-Lysine · HCl	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
DL-methionine	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Vit. Mix ³	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Min. Mix ⁴	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Salt	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Choline-Cl(25%)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
ZnO	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Enzyme complex	0.00	0.00	0.05	0.10	0.15
Antibiotics ⁵	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
Sum	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Calculated composition					
ME, kcal/kg	3,265.00	3,265.00	3,265.00	3,265.00	3,265.00
Crude protein, %	23.70	23.70	23.70	23.70	23.70
Lysine, %	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
Methionine, %	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Ca, %	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
P, %	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65

¹ Diets contained 0, 0.05, 0.10, 0.15 % enzyme complex on an as fed basis and were fed *ad libitum* from d 1 to 14 of the experiment.

² HP300 (Hamlet protein, Horsens, Denmark).

³ Provided the following quantities of vitamins per kg of complete diet: vitamin A, 8,000 IU; vitamin D₃, 1,600 IU; vitamin E, 32 IU; D-biotin, 64 g; riboflavin, 3.2 mg; calcium pantothenic acid, 8 mg; niacin, 16 mg; vitamin B₁₂, 12 g; vitamin K, 2.4 mg.

⁴ Provided the following quantities of minerals per kg of complete diet: Se, 0.1 mg; I, 0.3 mg; Mn, 24.8 mg; Cu · SO₄, 54.1 mg; Fe, 127.3 mg; Zn, 84.7 mg; Co, 0.3 mg.

⁵ Antibiotic : Avilamycin 20 mg/kg.

표 18. 실험사료 배합비 (phase II)

	NC ¹	PC	A	B	C
Ingredient, %					
Corn	36.02	35.84	35.93	35.84	35.71
SBM-44	29.78	29.68	29.73	29.68	29.66
HP300 ²	3.17	3.27	3.22	3.27	3.31
Lactose	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Barley	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
Soy-oil	0.74	0.82	0.78	0.82	0.87
MCP	0.89	0.89	0.89	0.89	0.90
Limestone	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
L-Lysine · HCl	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Vit. Mix ³	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Min. Mix ⁴	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Salt	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Choline-Cl(25%)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
ZnO	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Enzyme complex	—	—	0.05	0.10	0.15
Antibiotics ⁵	—	0.10	—	—	—
Sum	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Calculated composition					
ME, kcal/kg	3,265.00	3,265.00	3,265.00	3,265.00	3,265.00
Crude protein, %	23.70	23.70	23.70	23.70	23.70
Lysine, %	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
Methionine, %	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Ca, %	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
P, %	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65

¹ Diets contained 0, 0.05, 0.10, 0.15% enzyme complex on an as fed basis and were fed *ad libitum* from d 14 to 35 of the experiment.

² HP300 (Hamlet protein, Horsens, Denmark)

³ Provided the following quantities of vitamins per kg of complete diet: vitamin A, 8,000 IU; vitamin D₃, 1,600 IU; vitamin E, 32 IU; D-biotin, 64 g; riboflavin, 3.2 mg; calcium pantothenic acid, 8 mg; niacin, 16 mg; vitamin B₁₂, 12 g; vitamin K, 2.4 mg.

⁴ Provided the following quantities of minerals per kg of complete diet: Se, 0.1 mg; I, 0.3 mg; Mn, 24.8 mg; Cu · SO₄, 54.1 mg; Fe, 127.3 mg; Zn, 84.7 mg; Co, 0.3 mg.

⁵ Antibiotic : Avilamycin 20 mg/kg.

다. 설사지수 (Diarrhea score)

설사 빈도나 정도를 조사하는 방법은 다양하게 존재하나 가장 널리 쓰이는 방법은 분의 색깔, 연도, 수분함량 및 실험돈의 상태를 3단계 혹은 5단계로 구분하여 점수를 부여하여 판단하게 되는데 이는 자칫 실험자의 의도가 반영되거나 객관적이지 못할 수 있는 위험이 있다. 따라서 정확한 설사빈도 측정을 위하여, 실험개시 후 매일 오전에 사양 실험돈을 대상으로 실시하였으며, 각 돈방별로 4두의 자돈들을 대상으로 전 실험기간 동안 일일 1회 설사지수를 측정하였다. 분변의 굳기에 따라 1~5의 점수를 부여했으며, 매우 딱딱함 (5), 딱딱함 (4), 무름 (3), 매우 무름 (2), 액상 (1)로 돈방 당 4두의 평균을 감안하여 측정하였다. 모든 설사지수의 측정은 최대한 객관성을 유지하기 위하여 한 담당자에 의해 수행되었다.

라. 혈액성상 (Blood profile)

혈액은 각 시기 (phase)별 처리 당 6두씩을 선발하여 경정맥에서 채취, BUN (blood urea nitrogen), creatinine, IGF-1를 분석하였다. 혈액은 disposable culture tube에 포집하여 3,000 rpm, 4 °C 상태로 15분 동안 원심분리 하였다. 그 후 micro tube 보관용기에 혈청만을 분리하여 분석 시까지 -20 °C로 보관하였다. BUN, creatinine, IGF-1은 자동생화학 분석기 ADVIA 1650, Japan을 이용하여 분석하였다.

마. 해부실험 (Anatomy)

해부실험을 위하여 28 일령에 이유한 평균체중 $6.36 \pm 0.92\text{kg}$ 의 삼원교잡종 ([Yorkshire \times Landrace] \times Duroc) 이유자돈 35두를 공시하여 처리 당 5두씩 총 35일간 실험사료를 처리별로 급여한 후, 그 중 4두씩을 선발하여 해부를 실시하였다 (평균체중 $15.74 \pm 1.03\text{kg}$). 모든 실험돈은 돈방당 5두씩 배치되었으며, 돈방은 반 콘크리트-슬롯 바닥 ($0.90 \times 2.40\text{m}^2$) 구조로 각각 하나의 사료 급이기와 니플 급수기가 설치되어있어 실험기간 동안 물과 사료를 자유 채식토록 하였다. 이 후 4두씩을 선발하여 해부를 실시하였다 (평균체중 $15.74 \pm 1.03\text{kg}$). 선발된 실험돈은 하루 전에 각 개체별로 대사들에 배치되었고, 12시간 절식 후 도살 후 소장 (small intestine), 대장 (large intestine), 직장 (rectum)을 분리하였다. 소장의 공장 (jejunum) 부위를 2 cm 길이로 채취한 후 10% neutral buffered formalin에 고정하였다가 alcohol과 xylene step과정을 거쳐 탈수하여 hematoxylin과 eosin (HE)-stained section ($4\mu\text{m}$)으로 만들어 융모 (villi) 및 융와 (crypt)를 관찰하여 형태학적 특징 (morphology)을 조사하였다. Real-time PCR을 이용한 장내 미생물 군총 조사를 위해

회장 (ileum), 맹장 (cecum), 결장 (colon), 직장 (rectum)에서 소화물을 채취하여 -80°C 상태로 보관하였으며, 장내 미생물의 생성물인 VFA를 분석하기 위해 분변을 채취하였다.

바. 장내 미생물 균총 분석 (Intestinal microflora)

자돈의 장내에서 검출 되는 미생물 균총의 특징을 조사하여, 자돈의 장내에 존재하는 유익균과 유해균에 대한 분류와 이 중 다수를 차지하는 종에 대한 미생물 선정 후 각각의 미생물 특징을 조사하였다. 이 중 자돈의 장내에서 다수를 차지하는 총 4종에 대해 선정한 후, PCR 분석을 위한 돼지 장내 미생물 중 특이적인 primer를 제작하였다. 일반적인 PCR에 사용되는 specific primer는 real time PCR을 수행하기에는 PCR product size가 커서 PCR efficiency를 떨어뜨리기 때문에 DNA 정량에 error로 작용할 가능성이 있으며, 따라서 2종에 대하여 이를 방지할 수 있는 PCR product size가 작은 real time PCR에 맞는 primer를 제작하였다. 비특이적인 band와 primer dimer의 형성은 실험 오차를 발생시키기 때문에 RT-primer 제작 후, target DNA 이외의 비 특이적인 band가 나타나는지를 확인하였다.

Real time primer를 이용하여 순수 배양된 target 미생물의 genomic DNA와 함께 PCR 실험을 실시하여 target 미생물의 특이적인 band를 증폭시키고 이를 PCR product purification kit (iNtRON biotechnology, INC) 이용하여 정제한 후, 증폭된 DNA 단편을 준비된 vector (pGEM-T easy vector system, promega)에 삽입하였다. 이후 특정 단편이 삽입된 plasmid를 준비된 competent cell 에 transformation을 실시한다. 이후 transformation 된 competent cell을 계대 배양하여 특정 DNA 단편이 삽입된 plasmid (plasmid DNA purification kit, iNtRON biotechnology)를 대량 추출하여 DNA 농도를 측정한다. 이 후 standard plasmid DNA를 농도별로 희석하는 serial dilution을 실시하여 sample과 함께 real time PCR을 수행하였다.

사. 조직 분석 (Histological analysis)

Formalin 속의 공장 조직은 분석을 위해 paraffin에 고정된 후 $4\mu\text{m}$ 두께로 절단되었으며, haematoxylin과 eosin으로 염색되었다 (Owusu-Asiedu 등, 2003). 각 절편은 Permount (Fisher, Pittsburgh, PA)를 이용하여 cover slips에 장착된 후, 광학현미경 (Carl Zeiss, Thornwood, NY)을 이용하여 확대 촬영되었다. 각 공장 조직 당 2개의 절편에서, 각각 3개의 융모 높이 (villous height)와 8개의 융와 깊이 (crypt depth)의 평균값을 측정하여 조직 분석을 위한 experimental unit으로 사용하였다.

아. 직장 내 휘발성지방산 농도 (Rectal VFA concentration)

직장 내 휘발성지방산 농도를 알아보기 위해 실험을 수행하였다. 직장의 VFA 측정은 해부 실험을 통해 수집된 직장을 대상으로 수집하였으며, 휘발성지방산의 휘발성 특징으로 인한 증발을 막고, 공기와의 접촉을 피하도록 채취된 분은 신속히 액체 질소 통에 넣어 급속 동결을 한 후 $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 동결보관 하였다. 동결시킨 샘플의 직장 내용물을 2 g씩 채취하여 8 ml의 증류수에 희석시킨 후 HCl (concentrate HCl) 2방울을 떨어뜨린다. 이후 원심분리 (17,400 g, 10min, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$)를 하여 상층액을 0.22 μm 필터 vial (Suprelco, Cat. No 27265, Bellfonte, PA)에 담아서 gas chromatography (Hewlett Packard, HP 6890 Series GC System)를 이용하여 측정하였다. Standard의 농도는 10mmol/ml이며 acetate, propionate, isobutyrate, butyrate, isovalerate, valerate를 측정하였다 (L. D. Topping 등, 2001., E. R. Otto., 2003).

자. 영양소소화율 (Nutrient digestibility)

섬유소 사료에 효소제의 급여가 이유자돈의 영양소 소화율에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 이유자돈은 평균체중 $10.63 \pm 1.24\text{ kg}$ 의 거세돈 20두를 5처리 4반복에 완전임의배치법으로 1마리씩 넣어 배치하였다. 실험의 처리구는 다음과 같다 : 1) Negative Control (NC; Basal diet), 2) Positive Control (PC; Basal diet + 항생제 0.1 % 첨가), 3) A 처리구 (Basal diet + 효소제 0.05 % 첨가), 4) B 처리구 (Basal diet + 효소제 0.1 % 첨가), 5) C 처리구 (Basal diet + 효소제 0.15 % 첨가)였다.

소화율 실험은 전분 채취법 (total collection)으로 진행되었으며 적응기 (adaptation period) 5일과 본실험기 (collection period) 5일, 총 10일 동안 수행하였다. 5일 간의 본실험기 동안 하루에 한 번씩 동일한 시간에 분과 뇨를 채취하였고, 실험사료는 평균 체중을 기준으로 1.0 %를 정량하여 하루에 두 번씩 (07:00과 19:00) 제한 급여하였으며, 물은 자유 급여하였다. 본 실험 기간 동안 채취된 분은 플라스틱 백에 넣어 냉동보관 ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$)하였으며, 건조기에서 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에 72시간 동안 건조한 후 스크린 직경이 1mm인 wiley mill을 이용하여 분쇄하였다. 채취된 뇨는 암모니아의 휘산을 방지하기 위해 10 % H_2SO_4 50ml을 미리 부어 놓은 플라스틱 통에 매일 채취 하였으며, glass wool을 통하여 이물질을 걸러 부피를 측정한 후, 즉시 냉동 보관 ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$)하였으며, 질소 이용률 분석을 위해 사용되었다. 사료, 분 및 뇨의 일반성분 (건물, 조단백질, 조지방 및 조회분)은 AOAC (1990)방법에 따라 분석하였고, 영양소 소화율과 질소 이용율을 측정하기 위해 이용되었다.

차. 통계분석 (Statistical analysis)

본 실험의 data는 SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC)의 MIXED procedure를 이용하여 난괴법 실험 design으로서 통계분석을 실시하였다. 성장성적, 설사지수 data의 경우 한 돈방이

experimental unit으로, 반면 혈액성상, 장내 미생물 균총, 소장의 형태학적 관찰, 직장 내 휘발성지방산 농도 및 영양소 소화율의 경우 실험돈 1두가 experimental unit으로 설정하였다. 유의적 차이는 SAS (Saxton, 1998)의 PDMIX800 macro를 이용하여 문자로 구분되었다. 효소제의 첨가수준에 따른 linear 또는 quadratic 효과는 orthogonal polynomial contrasts에 의해 검정되었다. 모든 통계적 분석에 있어 유의적 차이를 검정하기 위한 α 수준은 0.05이었다.

제 3 항 연구 결과 및 고찰

가. 성장성적(Growth performance)

자돈 사료 내 섬유소 공급원 효소제의 첨가 수준의 차이가 이유자돈의 성장능력에 미치는 영향을 표 19에 나타내었다. Phase 1의 성장성적을 살펴보면 일당증체량 (ADG), 일당사료 섭취량 (ADFI), 사료효율 (G:F ratio)에서 모든 처리구에서 통계적인 유의차나 복합효소제의 첨가수준에 따른 경향이 나타나지 않았다 ($P < 0.05$). 항생제를 첨가한 PC 처리구가 높은 성장성적을 보였으며, 효소제를 첨가한 처리구의 경우 항생제를 첨가한 PC 처리구에 비해 낮은 성장성적을 나타내었다. 그러나 사료효율을 살펴보면 비록 통계적인 유의차를 나타내지는 않았으나 효소제의 첨가는 사료효율을 향상시키는 것으로 나타났다 ($P > 0.05$).

Phase 2의 성장성적을 살펴보면 phase 1과 같이 모든 성장항목에서 어떠한 경향이나 유의적 차이가 없이 비슷한 효과를 나타냈으며, 항생제를 0.1 % 첨가한 PC 처리구의 성장능력이 수치상 높게 나타났다 ($P > 0.05$). 그러나 효소제를 0.05 % 첨가한 A 처리구의 경우 항생제를 첨가한 PC 처리구보다 높은 성장성적을 나타낸 것을 볼 수 있었다. 또한 phase 1과 마찬가지로 효소제의 첨가에 따라 사료 효율이 개선되는 것을 관찰할 수가 있었다.

전 실험기간 (0 - 5 주)의 성장성적을 살펴보면 phase 1, 2에서 성장성적이 가장 높았던 PC 처리구와 효소제를 0.05 % 첨가한 A 처리구의 성장성적이 높게 나타났으며, 효소제를 0.1 %, 0.15 % 첨가한 B, C 처리구의 경우 성장성적이 앞의 두 처리구에 비해 낮게 나타난 것을 볼 수 있다. 그러나 본 사양실험결과 이유자돈 사료 내 효소제의 첨가는 사료효율을 증가시키는 것으로 나타났다 ($P > 0.05$). 본 연구 결과를 바탕으로 섬유소원이 다소 포함된 이유자돈 사료에 효소제의 첨가는 항생제를 첨가한 처리구보다 성장성적이 낮게 나타났지만 효소제를 0.05 %를 첨가한 A 처리구의 이유 자돈이 PC 처리구의 자돈과 대등한 성장성적을 나타내어 옥수수-대두박-보리위주의 자돈사료 내 0.05 %의 효소제 첨가는 항생제를 대체할 수 있는 가능성을 보였으며, 섬유소를 첨가한 사료에 효소제의 첨가는 이유자돈의 사료이용성

을 높여준 것으로 보인다.

비록 사양실험 결과 성장성적에 있어 효소제의 첨가에 따른 효과가 뚜렷이 나타나지 않았는데 이는 원료사료의 조성, 돼지의 연령, 효소의 열안전성, 산안전성 등 많은 요인에 의해 효소제의 효과에 영향을 받은 것으로 판단된다. 따라서 사료 내 이들을 활용하기 위해서는 앞에서 언급한 항목들에 대한 효소제의 효과를 정확히 파악해야 할 것이다.

많은 연구에서 밝혀졌듯이 사료 내 효소제를 첨가하는 주된 목적은 이유자돈의 내생 소화 효소에 의해 분해하기 어려운 탄수화물과 단백질의 이용성을 높일 수 있으며, 이유자돈의 소화기관에서 분비하는 내생 효소들이 분해 할 수 없는 원료사료 성분의 특정 결합부위를 분해 시킴으로서 더 작은 분자 단위의 영양소가 다시 내생효소들에 의해 세분화하여 에너지 이용성을 높일 수 있다. 이로 인해 영양적 가치가 낮은 섬유소원을 효과적으로 이용 가능하도록 도와주며, 마지막으로 이유자돈의 소화체계가 완전히 정착되지 않은 상황에서 소화성 장애를 극복하여 설사 등으로 나타날 수 있는 성장정체 문제를 극복할 수 있다고 보고되었다. 결과적으로 가축의 성장과 사료효율을 개선하기 위하여 첨가하는 사료 첨가제로서, 이유자돈 사료 내 자돈이 이들을 최대한으로 활용하고 성장에 이용하기 위해 첨가하는 것이라 할 수 있다. Hesselman과 Aman (1986)의 연구에서는 보리를 위주로 한 사료에 β -glucanase를 첨가하면 육계의 증체율과 사료효율을 개선시킨다고 보고하였다. 이러한 이유로는 효소의 첨가로 보리배유와 내배유외층 세포벽에 있는 (1-3)(1-4) β -glucans를 파괴하여 이들의 이용성을 증가시킨 것으로 판단된다. 이유자돈은 생리적으로 이유 시에 lactase 소화효소가 활성이 높은 반면, 다른 영양소를 분해하는 효소들의 분비량은 이유 후에 점차 증가하며, 특히 섬유소원의 물질을 다량 첨가 시 영양소 소화율을 감소시켜 성장을 저해한다는 많은 연구결과가 있다. 이에 따라 이유자돈의 소화체계가 완전히 정립되어 있지 않은 상황에서 이유자돈 사료에 효소제를 첨가해 주는 것은 매우 의미가 있을 것으로 사료된다.

표 19. 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 이유자돈의 성장에 미치는 영향^{1,2}

Criteria	NC	PC	A	B	C	SEM ³
Body weight (kg)						
Initial	7.30	7.30	7.30	7.32	7.29	0.16
2 week	9.82	9.85	9.69	9.77	9.72	0.18
5 week	16.99	17.13	17.08	16.92	16.78	0.29
Average daily gain (g)						
0 – 2 week	180	182	171	175	173	4.79
2 – 5 week	342	347	348	339	333	7.78
0 – 5 week	277	281	280	275	270	5.57
Average daily feed intake (g)						
0 – 2 week	243	248	228	235	222	4.65
2 – 5 week	694	699	691	664	659	17.39
0 – 5 week	468	474	459	450	440	10.10
G:F ratio (%)						
0 – 2 week	0.742	0.733	0.750	0.747	0.780	0.01
2 – 5 week	0.492	0.496	0.504	0.510	0.505	0.01
0 – 5 week	0.592	0.593	0.609	0.611	0.614	0.01

¹ Least squares means for seven pens/treatment with four pigs/pen.

² A total of 140 crossbred pigs was fed from average initial body weight 7.30 ± 1.83 kg and the average of final weight was 16.98 ± 3.23 kg.

³ Standard error of means.

나. 설사지수 (Diarrhea score)

자돈 사료 내 섬유소 공급원 및 효소제의 첨가 수준의 차이가 이유자돈의 설사지수에 미치는 영향을 표 20에 나타내었다. 본 연구의 결과 0 - 2 주까지의 설사빈도를 살펴보면 이 기간 동안 설사지수에 큰 영향을 미친 실험처리가 없었으며, 어떠한 통계적 유의차나 경향은 나타나지 않았다 ($P>0.05$). 그러나 효소제의 첨가수준이 증가함에 따라 설사지수가 linear하게 높아지는 경향이 나타났다 ($P<0.05$). 그러나 2 - 5 주까지의 설사지수에 있어서는 항생제를 첨가한 PC 처리구가 유의적으로 높은 수치를 보였으며, 효소제를 0.05 % 첨가한 A 처리구가 PC 처리구와 동등한 설사지수를 나타내었으며, 항생제와 효소제를 아무것도 첨가하지 않은 NC 처리구가 유의적으로 낮은 설사지수를 보였다($P<0.05$). 또한 이 시기에 설사지수는 0 - 2 주의 설사지수에 비해 낮은 모습을 볼 수 있는데, 이는 이유자돈의 과식성 설사로 인하여 설사지수가 낮게 나타난 것으로 사료된다. 전반적으로 2 - 5 주간의 설사빈도에 있어서는 모든 처리구간 통계적인 유의차가 나타나지 않았지만 효소제를 첨가한 처리구의 경우 NC 처리구보다 높은 설사지수를 보였으며 ($P>0.05$), 효소제의 첨가수준에 따라 linear하게 증가하는 경향이 나타났다 ($P<0.05$). 결과적으로 섬유소원 사료 내 효소제의 첨가는 이유자돈의 설사를 어느 정도 완화시키는 것으로 나타났다.

몇몇의 연구결과들은 섬유소원 또는 비전분성다당류를 사료 내 첨가하였을 때 자돈 설사 발생이 감소하였다는 보고를 하였다 (Ball과 Aherne, 1982; Göransson 등, 1995). 혈액내의 콜레스테롤과 중성지방을 낮추어 고지혈증과 동맥경화를 예방하여 이유자돈사료의 식이섬유 첨가는 영양소 공급측면보다는 소장에서의 독소 흡착에 따른 하리감소 및 결장에서의 유기산 생산과 prebiotic 관점에서 접근이 이루어지고 있다 (Moller, 1993). 이에 반면 일반적으로 이유자돈 사료 내 높은 섬유소원의 첨가는 성장의 저해 및 이유자돈에게 흔히 나타나는 설사로 이어져 양돈사료 내 이들 섬유소원의 공급을 제한하고 있으며, 첨가하더라도 일정수준의 효소제를 공급하여, 섬유소원이 prebiotic 기능 외에 체내에서 이용되지 않는 섬유소원을 효소제가 분해하여 이를 이유자돈이 에너지원으로 이용할 수 있도록 많은 연구가 진행 중이다.

비록 본 연구에서는 섬유소원 사료 내 효소제의 첨가에 따른 설사효과를 나타내지 못하였지만 설사에 대한 이들의 효과를 보기 위해서는 추가적으로 깨끗한 환경 (clean nursery) 보다는 더러운 환경 (dirty nursery)을 조성하거나, 의도적인 병원균의 감염을 유발하는 상태에서 연구를 진행한다면 섬유소원 사료 내 효소제 첨가에 따른 설사효과를 규명할 수 있을 것으로 사료된다.

표 20. 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 이유자돈의 설사지수에 미치는 영향^{1,2}

Criteria	NC	PC	A	B	C	SEM ³
Diarrhea score						
0 - 2 week ^e	3.18	3.26	3.22	3.28	3.34	0.02
2 - 5 week	2.61 ^d	2.78 ^a	2.74 ^{ab}	2.66 ^{cd}	2.70 ^{bc}	0.02
0 - 5 week ^e	2.90	3.02	2.98	2.97	3.02	0.01

¹ Least squares means for seven pens/treatment with four pigs/pen.

² A total of 140 crossbred pigs was fed from average initial body weight 7.30 ± 1.83 kg and the average of final weight was 16.98 ± 3.23 kg.

³ Standard error of mean.

^{abcd} Least squares means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

^e Linear dietary response ($P < 0.05$).

다. 혈액성상

(1) 혈중 요소태질소 (Blood urea nitrogen)

자돈 사료 내 섬유소 공급원 및 효소제의 첨가 수준의 차이가 이유자돈의 BUN (blood urea nitrogen)에 미치는 결과에 대해서 표 21에 나타내었다. 본 실험결과 10.5 ~ 19.9 mg/dL로 일반적인 BUN value를 나타내었다. 항생제 첨가 유무 및 효소제 첨가수준에 따른 뚜렷한 경향은 볼 수 없었다 ($P > 0.05$). BUN (blood urea nitrogen)은 단백질 섭취와 그 품질에 직접적인 연관성을 가지며, 동물의 아미노산의 이용에 대한 대표적인 지표로 이용되어 왔다 (Eggum, 1970). Bergner (1997)는 혈청 내 Urea의 농도가 사료의 생물가 (biological value)와 역의 상관관계가 있다고 밝혔으며, 또한 BUN은 체내의 식이아미노산 균형과 역의 상관관계 (negative correlation)가 있는 것으로 알려져 왔다 (Eggum, 1970., Hahn 등, 1995). 따라서 BUN은 동물의 단백질 요구량을 결정하거나 (Hatori 등, 1994., Cai 등, 1996), 단일 아미노산의 요구량을 결정하는데 (Taylor 등, 1982., Coma 등 1995) 반응지표로서 사용되어 왔다. 또한 질소 대사 (nitrogen metabolism)는 식이 아미노산 농도에 따라 빠르게 변하는 것으로 알려져 있는데 (Fuller 등, 1979), 많은 연구들에서, BUN이 오랜 기간 동안 사료를 섭취하였을 때 아미노산에 대한 이용율을 대변할 수 있다는 것이 밝혀졌다 (Nam 등, 1995). BUN value는 일당증체량 및 사료효율과 negative correlation을 갖는 것으로 알려졌으나 (Hahn 등, 1995) 본 실험에서는 성장성적과 BUN value는 연관성을 나타내지 못하였다.

표 21. 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 혈중요소태질소 (BUN)에 미치는 영향¹

Criteria	NC	PC	A	B	C	SEM ²
BUN (mg/dL)						
Initial	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	—
2 week	18.7	16.9	18.9	16.3	17.5	0.67
5 week	17.7	19.9	18.6	18.8	17.9	0.45

¹ A total of 140 crossbred pigs was fed from average initial body weight 7.30 ± 1.83 kg and the average of final weight was 16.98 ± 3.23 kg.

² Standard error of mean.

(2) 크레아티닌 (Creatinine)

자돈 사료 내 섬유소 공급원 및 효소제의 첨가 수준의 차이가 이유자돈의 크레아티닌 (creatinine)에 미치는 결과에 대해서 표 22에 나타내었다. 본 실험결과 혈액 내 크레아티닌 농도는 2주차에 효소제를 0.1 % 첨가한 B 처리구에서 크레아티닌의 수치가 높게 나타났으나 처리구간 유의적인 차이는 나타나지 않았다 ($P>0.05$). 5주차에 있어서도 항생제를 첨가한 PC 처리구가 낮게 나타났으나 처리구간 뚜렷한 경향은 발견할 수 없었다 ($P>0.05$). 일반적으로 크레아티닌은 체내근육이 대사되면 뇌, 근육, 심장에서 에너지를 보관하는 역할을 하는 단백질인 크레아틴으로 전변되고 이들의 대사과정에서 생성된 노폐물이 크레아티닌이다. 이들 크레아티닌은 체내 근육에서만 생성되며 콩팥을 통하여 배설된다. 그러나 체내에 콩팥기능이 나빠지면 혈중 크레아티닌이 상승하게 된다. 따라서 크레아티닌을 가축의 건강지표로 측정한다. 결과적으로 본 연구를 통해 섬유소원 사료 내 효소제의 첨가 유무 및 첨가수준은 혈액 내 크레아티닌에 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

표 22. 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 크레아티닌(creatinine)에 미치는 영향¹

Criteria	NC	PC	A	B	C	SEM ²
Creatinine (mg/dL)						
Initial	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	—
2 week	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	0.03
5 week	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	0.02

¹ A total of 140 crossbred pigs was fed from average initial body weight 7.30 ± 1.83 kg and the average of final weight was 16.98 ± 3.23 kg.

² Standard error of mean.

(3) 혈중 인슐린 유사 성장인자 (IGF-1)

자돈 사료 내 섬유소 공급원 및 효소제의 첨가 수준의 차이가 이유자돈의 혈중 인슐린 유사 성장인자 (IGF-1)에 미치는 결과에 대해 표 23에 나타내었다. 본 실험결과 섬유소원 사료 내 효소제의 첨가는 혈중 인슐린 유사 성장인자에 유의적인 영향을 나타내지 않았다 ($P>0.05$). 비록 효소제를 0.15 % 첨가한 C 처리구의 경우 실험개시 후 2주와 5주차의 혈중 인슐린 유사 성장인자가 높게 나타났으나, 효소제의 첨가에 따른 효과는 나타나지 않았으며, 5 주차에서 효소제를 0.1 %를 첨가한 B 처리구의 경우 혈중 인슐린 유사 성장인자 수치가 낮게 나타나 효소제와 혈중 인슐린 유사 성장인자의 상호적 효과는 보이지 않아 이들에 대한 상호관계에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

인슐린 유사 성장인자는 구조와 기능이 인슐린과 상당부분 유사하지만 인슐린과는 달리 성장에 관여를 하며 성장이 필요한 세포에 에너지를 공급한다. 인슐린 유사 성장인자는 성장호르몬의 자극으로 분비되며 조직들의 성장과 분화에 관여하는 인자로 심혈관계의 구조와 기능의 조절에도 중요하고 뼈의 성장에도 매우 중요한 역할을 한다 (Bayes-Genis, 2000). IGF-1은 영양상태에 의해 크게 좌우되며 영양상태가 불량할 경우 인슐린 유사 성장인자의 분비가 감소하게 된다. 자돈에 있어 이유 시 이유일령에 관계없이 혈장 IGF-1이 감소된다고 알려져 있으며, 혈중 IGF-1은 이유 전의 에너지 섭취에 이르게 되는 때와 비슷한 때인 이유 후 1 - 2 주까지는 이유 전 수준으로 돌아가지 않는다고 알려져 있다. 본 연구에서도 이유 이후 혈중 인슐린 유사 성장인자가 증가하는 경향을 나타내었다.

표 23. 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 혈중 인슐린 유사 성장인자(IGF-1)에 미치는 영향¹

Criteria	NC	PC	A	B	C	SEM ²
IGF-1 (mg/dL)						
Initial	59.5	59.5	59.5	59.5	59.5	-
2 week	62.4	55.2	49.5	54.3	68.5	3.60
5 week	64.8	78.6	61.8	45.3	68.3	4.42

¹ A total of 140 crossbred pigs was fed from average initial body weight 7.30 ± 1.83 kg and the average of final weight was 16.98 ± 3.23 kg.

² Standard error of mean.

라. 소장의 용모 높이 및 용와깊이 (Villi height and crypt depth)

섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 소장의 용모 높이 및 용와깊이에 미치는 영향을 표 24, 그림 2에 나타내었다. 일반적으로 자돈의 소장 용모 형태는 이유 후 섭취한 고형 사료의 영향으로 약간 짧아지고 중간부분이 굽어진 혀의 모양을 하고 있다. Cera 등 (1998)에 의하면 용모의 길이는 이유 후 3일 안에 급격히 감소하며, 그 후 천천히 발달한다고 보고하였다. 처리간에 용모의 높이, 용와의 길이, 그리고 그 비율에 있어 통계적으로 유의적인 차이를 보이지는 않았다 ($P>0.05$). 하지만 NC 처리구에 비해 효소제를 첨가한 처리구의 용모: 용와의 비율이 quadratic 하게 증가하는 경향이 관찰되었다 ($P<0.05$). 일반적으로 용모: 용와의 비율은 돼지의 성장과 관련이 있다는 연구결과가 있는데, 제 1 세부과제 실험 1의 성장성적 과 비교 시 이유자돈의 성장이 증가됨에 따라 용모 : 용와 비율이 증가된 것을 볼 수 있었으며 이는 이전의 연구와 일치하는 결과를 나타냈었다. 본 실험에서 효소제의 첨가에 따라 용모: 용와의 비율이 증가한 이유로는 섬유소 사료 내 첨가한 효소제가 β -glucan 및 xylan을 분해하여 에너지원으로 쓰이는 동시에 일정부분의 섬유소원이 용모를 자극하여 손상된 용모의 탈락 및 영양소의 공급을 원활히 하여 용모의 복원 및 발달을 촉진하였기 때문인 것으로 보인다.

Jin 등 (1996) 과 Mathew 등 (1994)은 높은 수준의 식이 섬유소를 첨가하였을 때 용모의 높이는 약간 감소하였으나 용와의 깊이는 더 깊어진다고 하였으나 이에 반면, Moore 등 (1988)은 높은 수준의 섬유소를 급여해도 육성돈의 공장부위 용모에 어떠한 영향도 주지 않는다고 하였으며, 조기 이유한 자돈의 경우 공장과 회장부위의 용모 길이가 약 15%까지 감소되었다는 보고를 하였다. 최근의 연구에서 섬유소원이 장관의 형태학적 변화에 미치는 영향에 대해서는 많은 연구가 진행되고 있으나, 섬유소원 사료 내 효소제의 첨가에 따른 장관의 형태학적 변화에 대한 작용기작에 대해서는 아직 명확하게 규명되지 않은 상황이다. 따라서 이들 효소제에 대한 효과에 대해서는 추가적인 연구가 필요함을 시사한다.

표 24. 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 장관의 형태학적 변화에 미치는 영향^{1,2}

Criteria	NC	PC	A	B	C	SEM ⁴
Jejunum (μm)³						
Villous height (VH)	558.17	616.25	633.00	597.29	605.25	7.64
Crypt depth (CD)	289.08	284.42	283.17	258.50	294.80	5.54
V:C ratio ^a	1.94	2.19	2.27	2.33	2.08	0.04

¹ Least squares means for four pigs/treatment in an individual pen.

² All pigs, average body weight 15.74 ± 1.03 kg, were anatomized at d 35 of experiment.

³ Morphology measurements were done in three parts of middle jejunum.

⁴ Standard error of means.

^a Quadratic dietary response ($P < 0.05$).

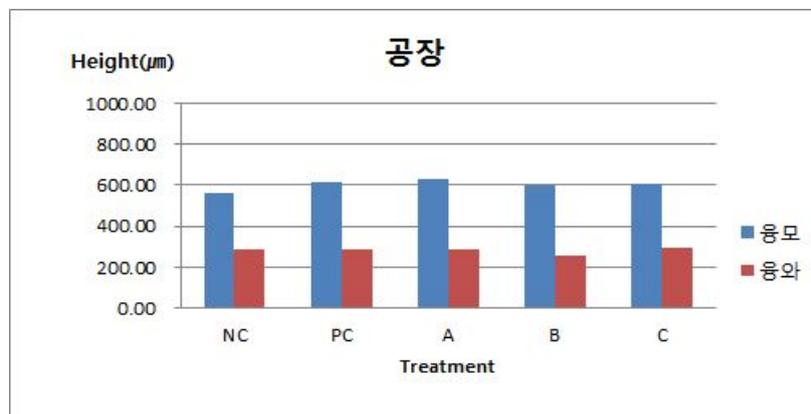


그림 2. 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 장관의 형태학적 변화에 미치는 영향

마. 장내 미생물 군총 (Intestinal microflora)

장내 미생물 군총을 조사하고자 회장, 맹장, 대장, 직장 내 소화물의 건물 1g당 존재하는 *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Bacillus subtilis*, *Streptococcus bovis*, 및 *Escherichia coli* K88+의 각각의 미생물 군총수가 표 25에 나타내었다. 분석결과 첨가수준에 따라 회장에서의 *Lactobacillus casei* ($P<0.05$) 맹장에서 *Bacillus subtilis* ($P<0.05$)를 제외하고 처리구 간에 통계적으로 아무런 차이나 경향도 발견되지 않았다. 회장에서는 효소제를 0.2%를 첨가한 C처리구를 제외한 A, B처리구가 NC, PC 처리구보다 대등하거나 낮은 CT-value를 보여 회장 내 *Lactobacillus casei*가 우점하고 있는 것을 볼 수 있었으며, 맹장에서도 마찬가지로 *Bacillus subtilis*가 회장 내 *Lactobacillus casei*에서의 결과와 비슷한 결과를 보였다. 유해 미생물인 *Escherichia coli* K88+에서는 모든 처리구에서 최소 검출기준 수준보다 낮은 수준을 보여 장관 내 이들의 수는 매우 적은 것으로 나타났다. 효소제의 첨가에 따른 linear, quadratic response 통계분석에서는 이들의 첨가수준에 따른 유의적인 차이는 발견되지 않았다.

돼지의 대장에는 많은 수의 다양한 박테리아가 서식하고 있으며, 주요 박테리아로는 *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Bacteroides*, *Prevotella*, *Eubacterium*, *Fusobacterium*, *Eptostreptococcus*, *Selenomonas*, *Megasphaera*, 및 *Veillonella*가 있다 (Jensen, 2001). 본 연구에서는 돼지 장 내에서 많이 서식하는 종인 박테리아인 *L. casei*, *B. subtilis*, *S. bovis*와 독소를 생성하는 병원성 대장균인 *E. coli* K88+을 공장, 회장, 맹장, 대장, 직장 내 소화물에서 조사하였다. 군총수를 조사하기 위해 사용한 정량적 real time PCR은 호기적·혐기적 조건에서 장 내용물의 건조여부와 상관없이 소량의 DNA만으로도 특정 박테리아를 정량할 수 있다는 장점이 있다. 본 실험에서는 효소제의 첨가수준에 따른 장내미생물 군총 조성에 큰 영향을 미치지 않았다. 이러한 결과는 아마도 실험사료에 첨가된 보리를 곱게 분쇄하여 급여하였으며, 또한 이유 후 5주령의 이유자돈을 실험돈으로 사용하였기 때문에 식이 섬유소를 분해하는 박테리아의 효소 활력이 증가되어 효소제의 작용에 따른 영향을 감소시킨 것으로 판단된다. 본 연구결과 병원성 미생물인 *E. coli* K88+이 소화기관에서 검출되지 않았는데, 이러한 결과는 선행연구의 결과인 불용성 식이 섬유소를 자돈 사료에 사용한 이전의 연구결과와 일치한다 (Bertschinger와 Eggenberger, 1978; Mateos 등, 2006). 이러한 병원성 대장균의 증식 억제 효과는 대장균이 mucosal receptor에 부착하는 것을 막고 소화물에 부착할 수 있는 binding sites를 제공하여 본 실험에서와 같이 장기간 식이 섬유소 원료가 들어간 사료를 섭취할 경우 장관 내 유해 미생물 군총 수를 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다 (Ishihara 등 2000; Naughton 등 2001). 또한 소화물에 fiber의 존재가 *E. coli* K88+에 binding site를 제공하여 체외 배설을 유도한다는 연구가 있는데 (Koopman 등, 1999), 본 연구의 결과를 기준으로 볼 때, 모든 부위에서 처리구 내에서 *E. coli* K88+이 발견되지 않은 것으로 보아 식이 섬유소에 의한 저감효과로 사료된다. 결과적으로 본 실험결과 효소제에 따른 장내 미

생물 균총에 큰 영향은 없었으나 회장과 맹장에서 유익균의 증가는 결과적으로 효소제의 첨가에 따라 장내 미생물 균총에 일정부분 개선효과가 있는 것으로 판단된다.

표 25. 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 장내 미생물 균총 (CT-value)에 미치는 영향

Item	NC	PC	A	B	C	SEM ³
Ileum						
<i>Lactobacillus casei</i>	21.49 ^b	22.83 ^{ab}	22.23 ^{ab}	21.49 ^b	23.61 ^a	0.23
<i>Lactobacillus plantarum</i>	19.96	20.09	19.37	19.58	19.85	0.32
<i>Bacillus subtilis</i>	20.82	21.90	21.10	22.79	21.76	0.43
<i>Streptococcus bovis</i>	25.86	26.05	26.31	26.27	26.01	0.14
<i>E. coli K88+</i>	ND	ND	ND	ND	ND	—
Cecum						
<i>Lactobacillus casei</i>	21.81	21.49	21.88	21.87	23.44	0.27
<i>Lactobacillus plantarum</i>	18.14	17.60	17.42	17.11	16.96	0.21
<i>Bacillus subtilis</i>	21.95 ^{ab}	20.30 ^c	20.44 ^{bc}	21.41 ^{abc}	22.57 ^a	0.28
<i>Streptococcus bovis</i>	26.44	26.35	36.30	25.71	25.90	0.27
<i>E. coli K88+</i>	ND	ND	ND	ND	ND	—
Colon						
<i>Lactobacillus casei</i>	17.75	18.70	18.13	17.85	18.45	0.17
<i>Lactobacillus plantarum</i>	18.82	20.04	20.58	20.38	19.92	0.29
<i>Bacillus subtilis</i>	20.77	19.08	19.86	20.71	20.62	0.26
<i>Streptococcus bovis</i>	25.89	26.63	26.00	26.25	26.40	0.44
<i>E. coli K88+</i>	ND	ND	ND	ND	ND	—
Rectum						
<i>Lactobacillus casei</i>	18.53	18.38	18.25	17.81	18.90	0.31
<i>Lactobacillus plantarum</i>	21.00	19.91	20.23	19.53	19.92	0.24
<i>Bacillus subtilis</i>	19.28	18.67	18.55	18.74	19.10	0.23
<i>Streptococcus bovis</i>	25.88	25.54	25.32	26.37	25.07	0.58
<i>E. coli K88+</i>	ND	ND	ND	ND	ND	—

¹ Least squares means for four pigs/treatment in an individual pen.

² All pigs, average body weight 15.74 ± 1.03 kg, were anatomized at d 35 of experiment.

³ Standard error of means.

^{abc} Least squares means in the same row with different superscripts differ (P<0.05).

ND Not detected.

바. 직장 내 VFA 농도 (Rectal VFA concentration)

섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 이유자돈의 직장 내 VFA 농도에 미치는 영향을 표 26에 나타내었다. 자돈기 5주 동안 전체 처리구를 비교하였을 때 모든 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았으나 ($P>0.05$), propionate에서 효소제의 첨가수준이 증가함에 따라 유의적으로 quadratic 하게 증가하는 경향이 나타났다 ($P<0.05$). 비록 처리구간 유의적인 차이를 보이지는 않았으나 효소제를 0.05 %, 0.15 % 첨가한 처리구의 경우 acetate, propionate, butyrate, valerate의 농도가 NC 처리구와 비교 시 이들의 농도가 증가한 것을 볼 수 있었다.

일반적으로 영양소가 소화관을 통과하는 과정에서 내생손실 (endogenous loss) 영양소와 소화가 불가능한 영양소들은 분으로 배설되기 전 대장에서 미생물에 의한 발효 (fermentation) 과정을 거치게 된다. 발효과정을 거치면서 탄수화물 (섬유질)은 초산 (acetate), 프로피온산 (propionate), 낙산 (butyrate)과 같은 휘발성 지방산 (VFA)으로 전환된다. 일반적으로 여러 연구결과들에 의하면, acetate, propionate, butyrate, valerate는 장내 미생물이 생성한 저급 휘발성 지방산으로 이들은 장내 pH를 낮추어 *E. coli*와 같은 대장균의 증식을 억제하여 설사를 방지하는 역할을 한다. 이들 휘발성 지방산들은 동물에 있어서 중요한 에너지원으로 사용되거나, 다시 미생물에 의해서 이용되어 미생물 군총의 변화를 유도한다. 이런 미생물 군총의 변화는 장내에서 섬유소 분해율을 바꿀 수 있다 (Burroughs 등, 1950). 장내 미생물 군총 변화에 의한 소화율의 변화는 동물의 성장에 영향을 주고, 영양적인 이점을 통한 면역 기능의 향상을 유도하여 전체적으로 건강 증진 효과를 볼 수 있다. 장내 VFA 농도는 장내에 유입된 소화물의 성질과 그 양에 의해 가장 큰 영향을 받게 된다 (Manzanilla, 2004). 대장 내에서 미생물에 의한 소화물의 이용 등에 의해 생성된 VFA를 간접적으로 관찰할 수 있다.

항생제 대체제로서 많은 종류의 물질들이 거론되고 있는데, 그 중 하나가 prebiotics으로 섬유소 또한 이들 prebiotics의 작용 기작을 가지는 것으로 알려졌다. 장내 유익균들이 이용하기 쉬운 섬유소를 공급하고 그것을 이용한 후 생성되는 휘발성 지방산 (VFA; volatile fatty acid)이 장관내 pH를 저하시켜 유산균의 증식 및 병원성 미생물의 감소를 촉진하여 결과적으로 유익균이 병원성 미생물과 영양적 경쟁을 벌이게 되어 미생물 군총을 조절한다고 보고되었다 (Koopman 등, 1999).

비록 섬유소 사료 내 효소제의 첨가는 직장 내 VFA 농도에 있어 이들의 뚜렷한 효과를 볼 수는 없었지만, 일정량의 첨가는 대장의 VFA 농도에 긍정적인 영향을 미쳐 장내 유익균이 우점할 수 있는 환경을 제공할 수 있을 것으로 보인다.

표 26. 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 직장 내 휘발성지방산 농도에 미치는 영향^{1,2}

Criteria	NC	PC	A	B	C	SEM ³
Rectal VFA (mmol/ml)						
Acetate, C ₂	60.24	63.84	66.18	59.16	70.62	2.64
Propionate ^a , C ₃	19.86	19.62	20.76	18.84	28.08	1.32
Iso-butyrate, Iso-C ₄	2.64	1.80	2.28	2.16	4.02	0.30
Butyrate, C ₄	12.00	9.84	12.06	12.30	19.32	1.01
Iso-valerate, Iso-C ₅	4.74	2.94	3.60	3.90	6.96	0.43
Valerate, C ₅	3.78	2.40	3.30	3.18	6.42	0.54

¹ Least squares means for four pigs/treatment in an individual pen.

² All pigs, average body weight 15.74 ± 1.03 kg, were anatomized at d 35 of experiment.

³ Standard error of means.

^a Quadratic dietary response (P<0.05).

사. 영양소소화율 (Nutrient digestibility)

자돈 사료 내 섬유소 공급원 및 효소제의 첨가 수준의 차이가 이유자돈의 성장능력에 미치는 영향을 표 27에 나타내었다. 영양소 소화율 실험결과 모든 항목에서 처리구간 또는 효소제의 첨가수준에 따른 통계적 유의차나 어떠한 경향도 나타나지 않았다 (P>0.05). 다만 효소제의 첨가수준에 따라 수치상 영양소 소화율이 향상되는 것을 볼 수 있었다. 전반적인 분석항목에 있어 효소제를 0.05 %와 0.15 %를 첨가한 A, C 처리구가 전반적인 영양소 소화율 분석 항목에서 전반적으로 높은 영양소 소화율을 보였다. 또한 효소제의 첨가에 따라 이들의 주요 작용기전인 섬유소의 분해, 이용을 통한 조섬유의 영양소 소화율이 향상되는 것을 관찰할 수 있었다. 비록 효소제를 0.10 % 첨가한 B 처리구의 소화율이 낮게 나타났으나 나머지 효소제의 첨가 처리구의 조섬유 소화율이 향상된 것을 미루어 볼 때 효소제가 이유자돈의 조섬유 이용율을 향상시킨 것으로 보인다. 본 실험결과를 통해 볼 때 섬유소원 사료 내 효소제의 첨가는 이유자돈의 내생 소화효소에 의해 분해하기 어려운 곡물의 영양소를 분해하여 이용이 용이하도록 도와줘 결과적으로 사료의 영양소 소화율을 개선시켜 이를 통해 이들의 성장에 긍정적인 영향을 미친 것으로 보인다.

영양소 소화율은 물리적이고 화학적인 사료의 구성성분 (Le Goff과 Noblet, 2001), 사료 가공과정 (Lahaye 등, 2004), 개체간의 차이와 사료급여 수준 (Noblet과 Shi, 1994) 등에 의해 달라질 수 있다. Van Soest (1982)의 논문에 따르면 식이 섬유소의 구성성분에 따라 건물, 단백질 등의 소화율이 크게 영향을 받는다고 하였고 대장 내 소화물의 통과속도 또한 달라진다고 하였다. 과도하고 부적절한 섬유소의 급여는 영양소 소화율을 감소시키고, 소화기관

에 무리를 줄 수 있다. 그러나 적정 수준의 소화가 잘되는 섬유소의 급여는 생체의 영양소 이용에는 부의 영향을 주지 않으며 영양적 보상 및 prebiotics의 기작을 통해 유익할 수 있다. 또한 이들의 이용성을 높이기 위해 효소제를 양돈 사료에 첨가하고 있는데, 영양소의 소화율을 개선하기 위한 목적으로 사료에 첨가되는 효소에는 phytase, xylanase, β -glucanase 등이 있다. 돼지는 소화기관내에서 xylanase나 β -glucanase를 분비하지 못하기 때문에 사료 중 포함된 NSP를 에너지원으로 이용하지 못하고 분뇨와 함께 배설할 수밖에 없다. 그러므로 이들 효소는 보리나 밀과 같은 곡류에 함유되어 있는 비전분성 다당류 (NSP-Nonstarch polysaccharides)를 분해하기 위한 목적으로 첨가된다. Graham 과 Inbarr (1993)는 밀과 귀리를 위주로 한 사료에 xylanase나 β -glucanase를 첨가하여 회장에서의 단백질 소화율을 9% 정도 개선시킬 수 있었다고 보고되었다.

표 27. 섬유소원을 첨가한 사료 내 효소제의 첨가가 영양소소화율에 미치는 영향 ^{1,2}

	NC	PC	A	B	C	SEM ³
Criteria, %						
DM	91.38	90.43	91.93	90.91	92.20	0.42
Crude protein	91.24	89.65	92.06	90.42	92.13	0.45
Crude ash	70.51	69.96	73.54	71.01	75.21	0.97
Crude fat	70.69	67.13	71.04	66.50	76.47	1.36
Crude fiber	68.94	61.11	71.14	65.31	70.48	1.44

¹ Least squares means for four pigs/treatment in an individual pen.

² A total of 20 crossbred pigs was fed from average initial body weight 10.63 ± 1.24 kg

³ Standard error of mean.

제 4 절 사료의 물리적인 가공형태가 자돈의 성장과 설사빈도, 혈액 성장, 영양소 소화율, 분변 내 VFA 및 미생물조성에 미치는 영향

제 1 항 서론

이유 후 자돈의 장내에 유익한 미생물을 정착시키기 위한 방법 중 하나는 사료 내 섬유소를 소량 첨가하는 것이다. 과거 연구 결과에 의하면 섬유소가 많은 사료를 급여한 돼지에게서 대장균성 부종이 발생하지 않았고 (Smith와 Halls, 1968), 조섬유 함량이 높은 사료를 섭취한 3주령 이유자돈에게서 설사의 빈도가 감소하였고, 설사 발생 기간 또한 감소하였다 (Ball과 Aherne, 1982). Drochner 등 (1978)은 사료 내 조섬유가 돼지의 소화기관 내 박테리아의 활성을 감소시킨다고 보고하였다. 이러한 섬유소의 효과에 대한 작용 기작은 아직 명확히 밝혀지지 않았지만, 일반적으로 섬유소 분해 미생물의 활성이 증가하여 장내 pH가 감소하고 이에 따라 유해한 미생물의 활성이 감소한다는 이론과, 섬유소의 물리적 특징으로 인하여 미생물의 장내 상피세포에 부착이 방해되어 장내에 서식하지 못한다는 이론 등이 있다. 따라서 이유자돈 내 섬유소를 첨가하면 장내 유익균의 활성을 증가시키고 유해균의 활성을 억제시켜 자돈의 건강상태 및 생산성이 향상될 것이라고 사료된다.

하지만 섬유소원 원료들의 높은 섬유소 함량으로 인하여 일정수준 이상의 섬유소원을 사료 내 첨가 시 소화율 저하 및 사료섭취량 감소에 대한 우려로 인하여, 실질적으로 사료업계에서는 이들의 사용량을 제한하고 있는 실정이다. 하지만 앞에서 살펴보았듯이 섬유소원이 가지고 있는 장점들을 활용하기 위한 많은 연구가 진행 중이며, 실제로 이들을 활용하기 위해 사료 내 섬유소원을 분해하여 에너지원으로 활용하기 위한 효소제의 첨가 등이 이루어지고 있는 실정이다.

사료의 이용율을 높이기 위한 다른 방법 중 하나는 사료의 물리적 가공을 통한 이용성을 극대화하기 위한 연구가 진행되고 있으며, 기본적인 사료원료들의 분쇄 외에 열 및 압력을 이용한 expanding, extrusion, pellet, crumble 등 다양한 방법이 적용되고 있는 실정이다. 이들 방법 중 펠렛 가공 전에 고온·고압 하에서 사전열처리를 하는 expander 가공방식은 상대적으로 영양적 가치가 낮은 섬유소 원료의 이용성 향상 (Wettstein과 Wild, 1990), 그리고 유해 미생물의 사멸효과를 기대할 수 있다고 보고되었으며, Peisker (1994)는 expander 가공이 곡류 전분을 젤라틴화 함으로서 효소분해를 촉진시킬 수 있을 뿐 아니라, 항영양인자 (anti-nutrition)의 활동을 억제함으로써 소화 및 성장을 촉진시킨다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 옥수수-대두박에 비해 영양적 가치가 낮은 섬유소원의 이용성을 높이고 이들의 특성을 활용하기 위한 방법으로 섬유소원 사료의 분쇄, 분쇄 후 expanding하여 크럼블화 함으로써 저렴한 비용으로 이유자돈에서의 이용성 증진 및 멸균을 통한 효과에 대해

조사하고자 한다. 본 실험에서는 사료의 물리적 가공 형태가 자돈의 성장과 설사빈도, 혈액성상, 영양소 소화율, 분변 내 VFA 및 미생물 조성에 미치는 영향에 대하여 실험을 수행하였으며, 추가적으로 경제성과 관련하여 현실 가능성 여부에 대하여 조사해보았다.

제 2 항 실험 방법 및 재료

가. 실험동물 및 실험설계 (Experimental animal and housing)

5주간의 사양실험을 위하여 28 ± 3 일령에 이유한 평균체중 7.40 ± 1.15 kg의 삼원교잡종 ([Yorkshire \times Landrace] \times Duroc) 이유자돈 288두를 3처리 6반복에 체중과 성별을 고려하여 난괴법 (RCBD : randomized completely block design)으로 돈방당 16두씩 배치하였으며, 실험 처리구는 다음과 같다 : 1) Crumble (섬유소 위주의 사료를 crumble 형태로 가공), 2) Mash (섬유소 위주의 사료를 mash 형태로 가공), 3) Crumble + mash (섬유소 위주의 사료를 crumble, mash 형태로 가공 뒤 혼합). 돈방 온도는 실험 개시 후 첫 일주일 간은 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였으며, 매주 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 씩 낮추어 마지막 5주째에는 $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 가 되게 하였다. 체중과 사료섭취량을 매주 측정하여, 일당증체량(average daily gain; ADG), 일당사료섭취량(average daily feed intake; ADFI), 사료요구율(feed:gain ratio; F:G ratio)을 구하였다.

나. 실험사료 (Experimental diet)

옥수수-대두박을 실험사료의 기초사료 (basal diet)로 이용하였으며, 각 사육 시기에 맞추어 배합을 실시하였다. 총 35일간의 자돈기 실험 기간 동안 급여한 실험사료의 NE (정미에너지)가는 phase I (0 - 2 주)과 phase II (2 - 5 주)가 각각 2,552와 2550 kcal/kg 였으며, phase I, phase II의 단계별 사료들의 조단백질 함량은 각각 20.35 %, 20.10 % 이었다. 본 실험에 사용된 사탕수수박 (sugar beet pulp)은 입자도를 잘게 분쇄하여 첨가하였으며, 이들의 첨가수준은 8 %로 모든 처리구에 동등하게 첨가하였다. 본 실험사료의 가공형태는 crumble과 mash 그리고 mash와 crumble을 혼합한 3가지 형태로 구분하여 실험사료로 이용하였다. 주요 실험사료의 원료 및 화학적 농도는 표 28 (phase I, phase II)에 제시된 바와 같다.

표 28. 실험사료 배합비 (phase I, II)

	Phase 1	Phase II
Ingredients, %		
Corn-wheat	16.12	33.22
Corn Ext	17.00	10.00
Wheat flour	10.67	10.67
Full fat soya	10.00	10.00
SBM (de-hull)	17.25	16.53
Sugar beet pulp	8.00	8.00
White fish meal	2.50	0.83
Vegetable oil	3.60	3.60
Whey powder	12.27	—
MCP	1.07	1.40
Limestone	0.73	0.63
Salt	—	0.30
Cheese powder	—	4.00
DL-methionine	0.11	0.09
L-lysine · HCl	0.15	0.20
Threonine	0.06	0.07
Mineral-P ¹	0.20	0.20
Vitamin-P ²	0.20	0.15
Choline	0.07	0.11
Sum	100.00	100.00
Chemical composition		
NE, kcal/kg	2,552	2,550
Crude protein, %	20.35	20.10
Lysine, %	1.35	1.32
Crude fat, %	7.35	8.57
Crude fiber, %	3.87	4.30
Ca, %	0.79	0.76
P, %	0.72	0.74

¹ Provided per kilogram of complete diet: 12,000 IU vitamin A, 2,400 IU vitamin D₃, 60 mg vitamin E, 2.25 mg vitamin B₁, 5.7 mg vitamin B₂, 4.5 mg vitamin B₆, 0.036 mg vitamin B₁₂, 3.6 mg vitamin K₃, 27 mg pantothenic acid, 34.5 mg niacin, 0.19 mg biotin, 2.25 mg folic acid, 7.2 mg.

² Provided per kilogram of complete diet: 159.2 mg Fe, 126.8 mg Cu, 89.1 mg Zn, 31 mg Mn, 0.37 mg I, 0.33 mg Co, 0.17 mg Se.

다. 사양실험 (Housing)

사양실험은 총 5주간 진행되었으며 실험돈은 이유자돈사 돈방에서 사육되었다. 각 돈방에는 하나의 사료 급이기와 8개의 니플 급수기가 설치되어 있었으며 전체 실험 기간 동안 물과 사료는 무제한 자유 채식 (*ad libitium*)하도록 하였다. 자돈기에 돈방 온도는 실험개시 후 첫 일주일간은 30 °C를 유지하였으며, 매주 1 °C씩 낮추어 자돈기 5주차에는 26 °C를 유지하게 하였다. 체중 및 사료 섭취량은 사육 단계 및 사료 종류의 변동 시점을 고려하여 자돈 개시 시점 (initial), 2주차 (phase I), 5주차 (phase II)에 측정하여 일당증체량 (average daily gain; ADG), 일당사료섭취량 (average daily feed intake; ADFI), 사료요구율 (feed:gain ratio; F:G ratio)을 계산하였다.

라. 혈액성상 (Blood profile)

혈액은 각 시기 (phase)별 처리 당 6두씩을 선발하여 경정맥에서 채취, BUN (blood urea nitrogen), creatinine, IGF-1을 분석하였다. 혈액은 disposable culture tube에 포집하여 3,000 rpm, 4 °C 상태로 15분 동안 원심분리 하였다. 그 후 micro tube 보관용기에 혈청만을 분리하여 분석 시까지 -20 °C로 보관하였다. BUN, Creatinine은 자동생화학 분석기 ADVIA 1650, Japan을 이용하여 분석하였고 IGF-1은 Immulite 2000, USA를 이용하여 분석하였다.

마. 영양소소화율 (Nutrient digestibility)

섬유소 사료에 효소제의 급여가 이유자돈의 영양소 소화율에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 이유자돈은 평균체중 10.42 ± 0.51 kg의 거세돈 12두를 3처리 4반복에 완전임의배치법으로 1마리씩 넣어 배치하였다. 실험 처리구는 다음과 같다 : 1) Crumble (섬유소 위주의 사료를 crumble 형태로 가공), 2) Mash (섬유소 위주의 사료를 mash 형태로 가공), 3) Crumble + mash (섬유소 위주의 사료를 crumble, mash 형태로 가공 뒤 혼합).

소화율 실험은 전분 채취법 (total collection)으로 진행되었으며 적응기 (adaptation period) 6일과 본실험기 (collection period) 5일, 총 11일 동안 수행하였다. 5일 간의 본실험기 동안 하루에 한 번씩 동일한 시간에 분과 뇨를 채취하였고, 실험사료는 평균 체중을 기준으로 1.0%를 정량하여 하루에 두 번씩 (07:00과 19:00) 제한 급여하였으며, 물은 자유 급여하였다. 본 실험 기간 동안 채취된 분은 플라스틱 백에 넣어 냉동보관 (-20°C)하였으며, 건조기에서 60°C에 72시간 동안 건조한 후 스크린 직경이 1mm인 wiley mill을 이용하여 분쇄하였다. 채취된 뇨는 암모니아의 휘산을 방지하기 위해 10% H₂SO₄ 50ml을 미리 부어 놓은 플라스틱 통에 매일 채취 하였으며, glass wool을 통하여 이물질을 걸러 부피를 측정한다.

후, 즉시 냉동 보관 (-20℃)하였으며, 질소 이용률 분석을 위해 사용하였다. 사료, 분 및 뇨의 일반성분 (건물, 조단백질, 조지방 및 조회분)은 AOAC (1990)방법에 따라 분석하였고, 영양소 소화율과 질소 이용율을 측정하기 위해 이용되었다.

바. 장 내용물 통과속도 (Passage rate)

장 내용물 통과속도를 측정하기 위하여 영양소 소화율 기간 중 본 시험기 5일차에 사료 내 marker를 0.1 % 첨가하여 급여한 뒤 이들 marker가 나오는 시간을 측정하였다. 측정시간은 1시간을 기준으로 하여 marker의 첨가에 따른 분변의 색이 변하는 시점을 측정종료 시점으로 설정하여 장 내용물 통과속도를 측정하였다.

사. 분변 내 *E. coli* (Fecal *E.coli*)

분변 내 *E. coli* 측정을 위하여 영양소 소화율 과정에서 채취한 분변을 생리식염수를 이용하여 계단희석 후 선택배지에 접종하였다. *E. coli* 수를 측정하기 위하여 MacConkey agar (Difco, BD science, USA)를 이용하였으며, 37 °C에서 24시간 배양하여 미생물의 수를 조사하였다. 조사된 미생물의 수는 log₁₀을 취하여 나타내었다.

아. 분변 내 휘발성지방산 농도 (Fecal VFA concentration)

분변 내 휘발성지방산 농도를 알아보기 위해 실험을 수행하였다. 분의 VFA 측정은 영양소 소화율 종료 시점에 측정하였다. 분의 채취는 각 처리 당 4마리씩 향문 자극법으로 분을 채취하였으며, 휘발성지방산의 휘발성 특징으로 인한 증발을 막고, 공기와의 접촉을 피하도록 채취된 분은 신속히 액체 질소 통에 넣어 급속 동결을 한 후 -70℃로 동결보관 하였다. 동결시킨 샘플의 분을 2 g씩 채취하여 8 ml의 증류수에 희석시킨 후 HCl (concentrate HCl) 2방울을 떨어뜨린다. 이후 원심분리 (17,400 g, 10 min, 4 °C)를 하여 상층액을 0.22 μm 필터 Vial (Suprelco, Cat. No 27265, Bellfonte, PA)에 담아서 gas chromatography (Hewlett Packard, HP 6890 Series GC System)를 이용하여 측정하였다. Standard의 농도는 10mmol/ml이며 acetate, propionate, isobutyrate, butyrate, isovalerate, valerate를 측정하였다 (L. D. Topping 등, 2001., E. R. Otto., 2003).

자. 통계분석 (Statistical analysis)

본 실험에서 얻은 자료에 대한 통계적 분석은 SAS (1996)을 이용하여 일원분류분산분석 (one-way ANOVA)을 하였고, 평균간 비교는 Duncan의 다중검정을 실시하였으며 얻어진

모든 데이터는 GLM (general linear model) 절차에 따라 기초사료 내 사료형태와 섬유소원 공급에 따른 영향 및 상호작용효과를 조사하였다.

제 3 항 연구 결과 및 고찰

가. 성장성적 (Growth performance)

사료의 물리적 가공 형태가 이유자돈의 성장성적에 미치는 영향을 표 29에 나타내었다. 실험 개시 후 14일, 35일 및 실험 전체 5 주간 일당증체량, 일일 사료 섭취량에 있어 어떠한 유의적 차이나 경향도 나타나지 않았다 ($P>0.05$). 그러나 0 - 2 주까지 사료 요구율에 있어서 mash 처리구와 crumble + mash 처리구의 사료 요구율이 유의적으로 높은 것을 볼 수가 있다. 그러나 2 - 5 주와 전체 실험기간의 사료 요구율에 있어서 통계적인 유의차는 나타나지 않았다 ($P>0.05$).

일반적으로 많은 연구를 통하여 사료의 가공은 사료의 이용율을 향상시킨다고 알려져 왔다. 본 실험에서도 비록 이유자돈의 일당증체량에는 영향을 미치지 않았지만 소화가 충분히 발달되지 않은 0-2주차에서 사료효율이 증가된 것을 볼 수 있다. 일반적으로 사료의 이용을 증대시키기 위해서 양돈 사료를 생산하는 과정 중에 여러 가지 가공방법을 이용한다. 이중 일반적으로 사용되는 방법은 사료원료의 열처리를 통한 expanding 방법이 대표적이라 할 수 있는데 이 방법은 전분의 구조를 변화시켜 점성증가현상을 유발하며, 점성증가에 따라 동물의 체내에서 소화효소들이 이들을 쉽게 공격하기 쉬운 구조적 변화를 유발하며, 특히 본 실험에서 쓰인 섬유소원과 같은 비교적 사료 가치가 낮은 원료들의 전분의 소화율 개선효과를 증대시킨다는 연구결과가 있다 (Peisker, 1994). 또한 열처리를 통하여 유해 미생물의 사멸효과를 기대할 수 있다고 보고되었다.

일반적으로 이유자돈의 설사는 이유 후 환경적 요인과 영양적 요인이 동시에 영향을 미쳐 설사에 큰 영향을 미치게 된다. 이 중 영양적 측면으로 이유 후 섭취하게 되는 고품사료의 경우 대부분의 원료가 식물성으로 이유자돈의 경우 장내 소화기관이 충분히 발달되어 있지 않아 사료를 충분히 이용하기 위한 소화효소가 제대로 분비되지 못한다. 결과적으로 고품사료에 쉽게 적응하지 못하고 설사를 유발하게 된다. 또한 식물성 원료들에는 항 영양인자를 포함하고 있어 이유자돈이 이들을 이용하는데 있어 부정적인 역할을 하고 있다. 그러나 사료가공 방법 중 expanding 과정은 항 영양인자 (anti-nutrition)의 활동을 억제하거나 파괴함으로써 소화 및 성장을 촉진시킨다고 하였다. 그러나 영양소원 중 섬유소 측면에서는 열처리가 섬유소 자체에 미치는 효과는 상당히 미약한 편이나 대부분의 열처리 과정에서 동반되는 물리적 압력이나 파열과정은 섬유소의 안정된 구조를 파괴시켜 섬유소의 이용성을 다소 증진시킬 수 있다고 보고되었지만 열처리 자체에 의한 섬유소의 화학적 변화나 이용성 증진효과는 거의 기대하기가 어렵다고 보고되었다. 따라서 사료의 가공형태에 따른 섬유소의 이용성 향상유무는 추가적

인 연구가 필요함을 시사하고 있다.

결과적으로 사료의 물리적 가공은 이유자돈의 성장성적을 개선시키지 못하였지만 사료 요구율을 낮추어 섬유소원 사료의 이용성을 높일 수 있을 것이라 사료된다. 또한 사료의 crumble 가공과정을 통하여 사료로 인한 먼지 감소 및 허실의 방지로 인하여 돈사의 환경을 개선시킬 수 있을 것으로 보이며, 추가적으로 사료허실 방지로 인한 생산비를 절감시킬 수 있을 것으로 사료된다.

표 29. 사료의 가공형태에 따른 섬유소 공급원의 첨가가 성장성적에 미치는 영향 ¹

Criteria	Crumble	Mash	Crumble+Mash	SEM ²
Average daily gain (g)				
0 - 2 week	355	349	346	9.85
2 - 5 week	562	554	566	11.92
0 - 5 week	479	472	478	10.19
Average daily feed intake (g)				
0 - 2 week	451	505	509	16.36
2 - 5 week	885	907	939	20.50
0 - 5 week	711	746	767	17.27
F:G ratio (%)				
0 - 2 week	1.28 ^b	1.45 ^a	1.47 ^a	0.04
2 - 5 week	1.58	1.64	1.66	0.03
0 - 5 week	1.49	1.58	1.61	0.02

¹ A total of 288 crossbred pigs was fed from average initial body weight 7.40 ± 1.15 kg and the average of final weight was 24.07 kg.

² Standard error of means.

^{ab} Values with different superscripts in the same row are significantly ($P < 0.05$)

나. 혈액성상

(1) 혈중요소태질소 (Blood urea nitrogen)

사료의 물리적 가공 형태가 이유자돈의 혈중요소태질소에 미치는 영향을 표 30에 나타내었다. 본 사양실험기간동안 사료의 가공형태에 따른 혈중요소태질소의 유의적 차이나 경향은 발견되지 않았으며, 일반적인 돼지가 가지는 BUN value를 나타내었다.

일반적으로 혈중요소태질소는 일당중체량 및 사료효율과 negative correlation을 갖는 것으로 알려졌으나(Hahn 등, 1995) 본 실험에서는 성장성적과 BUN value는 연관성을 나타내지 못하였다. 본 실험결과에서 나타났듯이 2주차의 혈중요소태질소의 농도는 차이가 없었다. 그러나 5주차에서는 통계적인 유의차는 없었지만 crumble 처리구가 BUN 농도가 낮게 나타났는데 이는 사료섭취량이 mash 처리구와 crumble + mash 처리구에 비해 낮아 이러한 요인이 5주차 BUN 농도에 영향을 미친 것으로 판단된다.

본 시험결과에서 나타난 BUN value를 정확하게 해석하기 위해서는 성장성적과 영양소 소화율 결과와 연관 지어야 할 것으로 사료된다. 결과적으로 사료의 물리적 가공은 가공방법에 따른 혈중요소태질소에 영향을 주지 못한 것으로 사료된다.

표 30. 사료의 가공형태에 따른 섬유소 공급원의 첨가가 혈중요소태질소 (Blood urea nitrogen)에 미치는 영향¹

Criteria	Crumble	Mash	Crumble+Mash	SEM ²
BUN (mg/dL)				
Initial	13.86	13.86	13.86	—
2 week	10.10	10.02	10.10	0.45
5 week	13.48	14.32	14.53	0.60

¹ A total of 288 crossbred pigs was fed from average initial body weight 7.40 ± 1.15 kg and the average of final weight was 24.07 kg.

² Standard error of means.

(2) 크레아티닌 (Creatinine)

사료의 물리적 가공 형태가 이유자돈의 크레아티닌 (creatinine)에 미치는 결과에 대해서 표 31에 나타내었다. 본 실험결과 혈액 내 크레아티닌 농도는 crumble 처리구가 mash 처리구와 crumble + mash 처리구에 비해 처리구간 뚜렷한 경향은 발견할 수 없었지만 크레아티닌 농도가 낮게 나타난 것을 볼 수 있다. 일반적으로 크레아티닌은 체내근육이 대사되면 뇌, 근육, 심장에서 에너지를 보관하는 역할을 하는 단백질인 크레아틴으로 전변되고 이들의 대사 과정에서 생성된 노폐물이 크레아티닌이다. 이들 크레아티닌은 체내 근육에서만 생성되며 콩팥을 통하여 배설된다. 그러나 체내에 콩팥기능이 나빠지면 혈중 크레아티닌이 상승하게 된다. 따라서 크레아티닌을 가축의 건강지표로 측정한다. 본 실험결과를 토대로 사료의 crumble 형태 가공이 체내의 크레아틴 활성을 증진시켜 이유자돈의 건강성을 향상시킨 것으로 사료된다.

표 31. 사료의 가공형태에 따른 섬유소 공급원의 첨가가 크레아티닌 (creatinine)에 미치는 영향¹

Criteria	Crumble	Mash	Crumble+Mash	SEM ²
Creatinine (mg/dL)				
Initial	1.18	1.18	1.18	0.03
2 week	1.15	1.25	1.17	0.05
5 week	1.18	1.23	1.25	0.03

¹ A total of 288 crossbred pigs was fed from average initial body weight 7.40 ± 1.15 kg and the average of final weight was 24.07 kg.

² Standard error of means.

(3) 혈중 인슐린 유사 성장인자 (IGF-1)

사료의 물리적 가공 형태가 이유자돈의 혈중 인슐린 유사 성장인자에 미치는 결과에 대해서 표 32에 나타내었다. 혈중 인슐린 유사 성장인자 결과를 살펴보면 2 주차와 5 주차에 있어 사료의 가공형태에 따른 이들의 통계적인 유의차나 어떠한 경향이 발견되지 않았다 ($P < 0.05$).

일반적으로 인슐린 유사 성장인자는 구조와 기능이 인슐린과 상당부분 유사하지만 인슐린과는 달리 성장에 관여를 하며 성장이 필요한 세포에 에너지를 공급한다. 인슐린 유사 성장인자는 성장호르몬의 자극으로 분비되며 조직들의 성장과 분화에 관여하는 인자로 심혈관계의 구조와 기능의 조절에도 중요하고 뼈의 성장에도 매우 중요한 역할을 한다 (Bayes-Genis, 2000). IGF-1은 영양상태에 의해 크게 좌우되며 영양상태가 불량할 경우 인슐린 유사 성장인자의 분비가 감소한다. 자돈에 있어 이유 시 이유일령에 관계없이 혈장 IGF-1이 감소한다고 알려져 있으며, 혈중 IGF-1은 이유 전의 에너지 섭취에 이르게 되는 때와 비슷한 때인 이유 후 1 - 2 주까지는 이유 전 수준으로 돌아가지 않는다고 알려져 있다. 본 연구에서도 이유 이후 혈중 인슐린 유사 성장인자가 증가하는 경향을 나타내었다. 비록 통계적인 유의차는 나타내지 못하였지만 5주차의 결과를 살펴보면 crumble 처리구가 실험개시 시 농도보다 혈중 인슐린 유사 성장인자 수치가 가장 높게 증가한 것을 볼 수 있으며, 이는 expanding 후 crumble 형태의 가공이 이유자돈의 혈중 인슐린 유사 성장인자에 긍정적인 영향을 미쳤다고 할 수 있다.

표 32. 사료의 가공형태에 따른 섬유소 공급원의 첨가가 혈중 인슐린 유사 성장인자 (IGF-1)에 미치는 영향¹

Criteria	Crumble	Mash	Crumble+Mash	SEM ²
IGF-1 (mg/mL)				
Initial	63.91	63.91	63.91	10.29
2 week	109.95	151.17	125.87	11.40
5 week	197.33	173.67	157.00	14.55

¹ A total of 288 crossbred pigs was fed from average initial body weight 7.40 ± 1.15 kg and the average of final weight was 24.07 kg.

² Standard error of means.

다. 영양소소화율 (Nutrient digestibility)

사료의 물리적 가공 형태가 자돈의 영양소 소화율에 미치는 영향을 표 33에 나타내었다. 본 실험에 있어서 건물 (dry matter), 조단백질 (crude protein), 조지방 (crude fat), 조회분 (crude ash), 조섬유 (crude fiber)의 소화율에 있어 모든 처리에 있어 어떠한 유의적인 차이도 발견되지 않았다 ($P>0.05$). 조섬유 영양소 소화율에 있어서도 사료의 가공형태에 따른 조섬유 이용율의 차이가 나타나지 않았으며, 일반적인 이유자돈의 소화율보다 높은 소화율을 보였다. 이러한 결과가 나타난 이유로는 본 실험에 사용된 실험사료의 경우 모든 처리구의 영양소 함량이 동등하였으며, 가공방법에 따라 소화율에 사용된 실험사료의 영양소 함량이 조금씩 차이를 보였지만 분석결과 거의 동등한 함량을 나타내었다. 실험 설계 이전에 사료의 물리적 가공을 통하여 조섬유의 소화율이 개선될 것으로 예상했으나 본 실험결과 어떠한 경향이 나 차이를 발견하지 못하였다. 이는 섬유소의 안정된 구조를 열처리를 통해 이유자돈의 소화율을 향상시키지 못한 것으로 보이며, 본 실험에 쓰인 열처리 및 crumble 가공형태는 섬유소 자체에 미치는 효과가 미약한 것으로 판단된다. 비록 사료의 가공에 따른 영양소 소화율이 크게 향상된 것을 볼 수는 없었지만 전반적인 영양소 소화실험 결과 물리적 가공으로 인한 영양소 소화율에 긍정적인 영향을 미쳤을 것이라 사료된다.

본 실험에 사용된 sugar beet pulp는 수용성섬유소로 장 내용물의 점도를 증가시켜 이동속도 및 소장에서 영양소 흡수율을 감소시킬 수 있다 (Jenkins 등, 1978). 또한 수용성 섬유소는 사료 내 지방의 정상적인 유화작용 (emulsification)을 저해하여 지방분해 (lypolysis)를 감소시키기도 한다 (Pasquier, 1996). 이와 같은 특성 때문에, 섬유소 함량이 높으면 일반적으로 소화물의 통과시간을 감소시키거나 또는 영양소의 흡수속도를 저하시켜 영양소 소화율을 감소시킬 수 있다 (Bach Knudsen 과 Hansen, 1991). 이러한 섬유소의 기능과 더불어 사료의 가공과정을 통해 생산된 이유자돈 사료는 결과적으로 이유자돈의 영양소 소화율에 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다.

영양소소화율은 물리적이고 화학적인 사료의 구성성분 (Le Goff과 Noblet, 2001), 사료가공과정 (Lahaye 등, 2004), 개체간의 차이와 사료급여 수준 (Noblet과 Shi, 1994) 등에 의해 달라질 수 있다고 보고되었다. 따라서 영양소 소화율을 향상시키기 위해 사료의 가공을 통한 소화율을 향상시키기 위한 연구가 진행 중으로, 본 연구에 사용된 가공방법 중 하나는 expander 방법으로 이는 에너지 원료의 효과를 극대화하여 동물의 생산성을 증대시키기 위해 사용되고 있으며, 이들의 가공은 곡류전분을 젤라틴화 함으로서 효소분해를 촉진시킬 수 있을 뿐 아니라 사료의 멸균, 단백질 변성, 지방첨가의 증가 및 항 영양적인자의 활동을 억제 함으로서 동물의 소화 및 성장을 촉진시키는 것으로 보고되어 있다 (Chang과 Johnson, 1977). 따라서 적정 수준의 소화가 잘되는 섬유소의 급여와 함께 이들의 이용성을 높이기 위한 방법으로 사료의 물리적 가공은 생체의 영양소 이용에는 긍정적인 영향을 미쳐 이들의 성장을 향상시키고 건강성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

표 33. 사료의 물리적 가공 형태가 자돈의 영양소 소화율에 미치는 영향^{1,2}

Criteria	Crumble	Mash	Crumble+Mash	SEM ³
Criteria, %				
DM	89.63	89.36	88.56	0.69
Crude protein	90.37	89.90	89.92	0.53
Crude ash	41.40	41.56	41.55	3.30
Crude fat	70.55	77.53	76.04	1.82
Crude fiber	76.90	76.80	74.60	2.10

¹ Least squares means for four pigs/treatment in an individual pen.

² A total of 12 crossbred pigs was fed from average initial body weight 10.42 ± 0.51 kg.

³ Standard error of mean.

라. 장 내용물 통과속도 (Passage rate)

사료의 물리적 가공 형태가 자돈의 장내용물 통과속도에 미치는 영향을 표 34에 나타내었다. 본 실험결과 사료의 물리적 가공형태에 따른 장 내용물 통과속도에 있어서는 각 처리구간 유의적인 차이 및 경향이 나타나지 않았다 ($P>0.05$). 그러나 수치상으로 mash 처리구와 crumble + mash 처리구의 장 내용물 통과속도가 높게 나타났다.

불용성 식이섬유소는 일반적으로 분변의 부피를 증가시키고 장내 소화물의 이동속도를 증가시키며 (Spiller 등, 1986), 반면에 수용성 식이섬유소는 장 내용물의 점도를 증가시켜 이동속도 및 소장에서 영양소 흡수율을 감소시킬 수 있다 (Jenkins 등 1978). 그와 같은 특성 때문에 일반적으로 소화물의 구강 - 맹장까지의 통과시간을 감소시키거나 또는 영양소의 흡수속도를 저하시켜 영양소 소화율을 감소시킬 수 있다 (Bach Knudsen과 Hansen, 1991). 그러나 본 실험에서는 섬유소 사료 및 사료의 가공형태가 장 내용물 통과속도에는 영향을 미치지 않은 것으로 나타났으며, 이에 미치는 영향을 정확히 규명하기 위해서는 일반 사료와의 가공형태에 따른 장 내용물 통과속도와 비교를 통해 사료가공에 따른 효과를 규명할 수 있을 것으로 사료된다.

표 34. 사료의 가공형태에 따른 섬유소 공급원의 첨가가 자돈의 장 내용물 통과속도에 미치는 영향^{1,2}

Criteria	Crumble	Mash	Crumble+Mash	SEM ³
Criteria, hour				
Passage rate	36.5	39.0	39.0	1.19

¹ Least squares means for four pigs/treatment in an individual pen.

² A total of 12 crossbred pigs was fed from average initial body weight 10.42 ± 0.51 kg.

³ Standard error of mean.

마. 분변 내 대장균 수 (Fecal *E. coli* count)

사료의 물리적 가공 형태가 이유자돈의 분변 내 대장균 수에 미치는 영향을 표 35에 나타내었다. 본 실험결과 섬유소원 사료를 crumble 형태로 가공한 crumble 처리구의 분변 내 대장균 수가 낮게 나타났으며, mash와 crumble + mash 형태의 대장균 수는 대등하게 나타났다. 그러나 사료가공에 따른 유의적 차이나 경향은 나타나지 않았다($P>0.05$).

사료 내 섬유소원의 첨가는 돼지의 장내 소화물의 점도 (viscosity)를 증가시키고, 소화관 내 소화물의 체류 시간을 증가시킨다. 이로 인해 소화되지 않은 소화물을 기질로 하여 유해 미생물의 발효가 증가된다. McDonald 등 (2001)은 소화물의 점도의 증가는 대장균 수의 증가를 야기한다고 보고하였다. 하지만 최근에는 섬유소원에 대한 장내 작용 기작이 밝혀지면서 섬유소원에 대한 긍정적인 측면이 밝혀지고 섬유소원을 이유자돈 사료에 첨가하기 위한 연구가 대두되고 있다. 최근 연구에는 섬유소원에 원료들에 많이 함유된 비전분성다당류는 prebiotic으로서 장내 유익균이 이용하기 좋은 섬유소를 공급하고 휘발성 지방산이 장관 내 pH를 저하시켜 유산균의 증식 및 병원성 미생물의 저하를 유도하며, 대장균에 부착부위를 제공하여 분으로의 배출을 유도한다고 밝혀져 있다. 이에 따라 적정량의 섬유소원 공급은 장내 유익균을 증식시켜 장내 병원성 미생물의 저하를 유도할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 사용된 사료의 가공방법인 expanding 방법을 통하여 사료 내 유해 미생물을 사료 생산 과정 중 사멸시켜 결과적으로 사료 내 유해 미생물의 함량이 낮은 사료를 공급하여, 장내 병원성 미생물의 증식을 감소시켰을 것으로 판단되며, 이들의 가공방법은 섬유소원이 함유된 사료의 이용성을 높일 뿐만 아니라 장내 건강성을 개선시킬 수 있을 것으로 사료된다.

표 35. 사료의 가공형태에 따른 섬유소 공급원의 첨가가 분변 내 대장균에 미치는 영향 ¹

Criteria	Crumble	Mash	Crumble+Mash	SEM ²
Criteria, cfu/g				
<i>E. coli</i>	4.53	5.35	5.49	0.28

¹ Least squares means for four pigs/treatment in an individual pen.

² A total of 12 crossbred pigs was fed from average initial body weight 10.42 ± 0.51 kg.

³ Standard error of mean.

바. 분변 내 휘발성지방산 농도 (Fecal VFA concentration)

사료의 물리적 가공 형태가 이유자돈의 분변 내 휘발성 지방산 농도 수에 미치는 영향을 표 36에 나타내었다. 연구결과 사료의 물리적 가공 형태에 따른 효과는 나타나지 않았다 ($P>0.05$). 그러나 장내에서 생성되는 휘발성지방산 중 가장 많은 비율을 차지하는 acetate, propionate, butyrate의 비율이 mash 처리구와의 비교 시 이들의 조성이 동등하거나 높게 나타난 것을 볼 수 있다.

일반적으로 영양소가 소화관을 통과하는 과정에서 내생손실 (endogenous loss) 영양소와 소화가 불가능한 영양소들은 분으로 배설되기 전 대장에서 미생물에 의한 발효 (fermentation) 과정을 거치게 된다. 발효과정을 거치면서 탄수화물 (섬유질)은 초산 (acetate), 프로피온산 (propionate), 낙산 (butyrate)과 같은 휘발성 지방산 (VFA)으로 전환된다. 일반적으로 여러 연구결과들에 의하면, acetate, propionate, butyrate, valerate는 장내 미생물이 생성한 저급 휘발성 지방산으로 이들은 장내 pH를 낮추어 *E. coli*와 같은 대장균의 증식을 억제하여 설사를 방지하는 역할을 한다. 이들 휘발성 지방산들은 동물에 있어서 중요한 에너지원으로 사용되거나, 다시 미생물에 의해서 이용되어 미생물 군총의 변화를 유도한다. 이런 미생물 군총의 변화는 장내에서 섬유소 분해율을 바꿀 수 있다 (Burroughs 등, 1950). 장내 미생물 군총 변화에 의한 소화율의 변화는 동물의 성장에 영향을 주고, 영양적인 이점을 통한 면역 기능의 향상을 유도하여 전체적으로 건강 증진 효과를 볼 수 있다.

휘발성 지방산중 isobutyrate와 isovalerate와 같은 휘발성 지방산과 amine의 증가는 이유 후 설사증세의 원인이 된다고 보고되었다 (Bolduan 등, 1988). Gaskin 등 (2001) 연구 결과에 의하면, 이유 후 자돈 장내 소화물중 isobutyrate와 isovalerate와 같은 휘발성 지방산과 암모니아와 같은 아민류 생성은 이유 후 대장균증 (PWC)과 같은 설사증세와 소화 장애를 일으킨다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 처리구간 이들 휘발성 지방산의 조성에 영향을 미치지 못한 것으로 나타났다.

비록 사료의 물리적 가공 형태에 따른 분변 내 VFA 조성에 있어 이들의 뚜렷한 효과를 볼 수는 없었지만, mash 형태의 사료에 비해 다소 높은 VFA 함량을 나타내어 긍정적인 영향을 미칠 것으로 사료된다.

표 36. 사료의 물리적 가공 형태가 자돈의 분변 내 VFA 조성에 미치는 영향^{1,2}

Criteria	Crumble	Mash	Crumble+Mash	SEM ³
Fecal VFA (mmol/ml)				
Acetate, C ₂	52.70	51.75	47.70	1.32
Propionate, C ₃	19.00	19.95	14.80	1.00
Iso-butyrate, Iso-C ₄	2.55	2.50	1.70	0.24
Butyrate, C ₄	12.80	12.15	8.10	0.84
Iso-valerate, Iso-C ₅	4.45	4.30	2.95	0.48
Valerate, C ₅	3.95	6.60	2.20	1.80

¹ Least squares means for four pigs/treatment in an individual pen.

² A total of 12 crossbred pigs was fed from average initial body weight 10.42 ± 0.51 kg.

³ Standard error of mean.

제 5절 단백질의 제한급여가 자돈의 성장과 설사빈도, 혈액성상 및 영양소소화율에 미치는 영향

제 1 항 서론

2006년 유럽에서는 사료 내 항생제의 첨가가 전면 금지되었으며, 이와 비슷한 동향으로 국내에서도 양돈 영양분야에 있어서 항생제 남용이 우려되고 있다. 이에 따라 최근 2012년까지 사료 내 항생제 첨가를 금지하는 법안이 통과되었다. 자돈기는 돼지의 일생에 있어 가장 중요하고 위험한 시기 중 하나이다. 자돈은 어미로부터 분리되어 다른 돼지들과 함께 새로운 돈방으로 이동하고, 그동안 섭취하던 모유와 매우 다른 형태의 고품사료를 섭취하게 되면서 이것이 동시에 스트레스로 작용하면서 이유 후 성장정체나 설사가 유발될 수 있다. 이러한 이유로 그동안 이유자돈 사료 내 항생제의 첨가는 성장촉진과 소화기 질병에 대한 치료의 목적으로 사용되어 왔다 (Verstegen and Williams, 2002).

사료 내 항생제 첨가 금지는 돈육 내 항생제 잔류의 문제를 해결하는 방안으로서 제시되었으나, Dermot 와 Helen (2003)는 동물사료 내 항생제를 첨가를 금지하면 이유 후에 자돈의 설사가 다시 문제화 될 수 있으며 어떤 개체들은 설사가 만성화 되어 비육기까지 이어질 수 있다고 보고하였다. 한편, 덴마크에서는 소화기 질병의 치료 목적으로서 항생제의 사용이 증가하고 있다. 사료 내 항생제 사용 금지로 인한 자돈의 이유 후 설사빈도의 증가에 대처하기 위해 관리와 영양적 측면에서의 대안이 필요하다.

제대로 소화되지 않은 사료는 대장 내에서 발효를 일으켜 설사를 유발하게 되는데 최근 사료 내 조단백질 수준의 저감은 자돈의 소화기 장애의 발생 빈도를 제한하는데 효과가 있다고 보고된 바 있다. 사료 내 조단백질과 아미노산의 조성은 동물의 물질대사의 형태에 영향을 미치며 결과적으로 대장 내 미생물 발효에 영향을 미친다 (Hobbs et al., 1996). 그리고 조기 이유한 돼지의 사료에 통상적으로 사용되었던 높은 수준의 사료 내 조단백질 함량은 소화되지 않은 단백질로 하여금 대장 내 미생물 발효를 증가시키고 소화기 내의 병원성 미생물의 증식을 촉진시키게 된다 (Ball and Aherne, 1987). 이유자돈 사료 내 단백질 수준의 저감은 이유 후 자돈의 설사의 발생을 감소시키고 경제적 손실을 줄일 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이유자돈의 사료 내에 단백질 수준을 감소시켰을 때, 자돈의 성장성적, 혈액성상, 설사빈도에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

제 2 항 실험 방법 및 재료

가. 실험동물 및 실험설계 (Experimental animal and housing)

5주간 사양실험을 위하여 21 ± 3 일령에 이유했던 평균체중 7.68 ± 0.2 kg의 삼원교잡종 ([Yorkshire × Landrace] × Duroc) 이유자돈 128두를 4처리 8반복에 체중과 성별을 고려하여 난괴법 (Randomized Completely Block Design; RCBD)으로 돈방당 4두씩 배치하였다. 모든 실험돈은 돈방당 4두씩 배치되었으며, 돈방은 반 콘크리트-슬롯 바닥 (0.9 × 2.4 m²) 구조로 각각 하나의 사료 급이기와 니플 급수기가 설치되어있어 실험기간 동안 물과 사료를 자유 채식 (*ad libitum*)토록 하였다. 실험의 처리구는 다음과 같다 : 1) Control (Basal diet, NRC requirement), 2) P2 (Basal diet 기준으로 CP수준 2% 제한), 3) P4 (Basal diet 기준으로 CP수준 4% 제한), 4) P6 (Basal diet 기준으로 CP수준 6% 제한)로 총 4가지의 처리구이다. 돈방 온도는 실험 개시 후 첫 일주일간은 32 °C를 유지하였으며, 매주 1°C씩 낮추어 마지막 5주째에는 27°C가 되게 하였다. 체중과 사료섭취량을 매주 측정하여, 일당증체량(average daily gain; ADG), 일당사료섭취량(average daily feed intake; ADFI), 사료효율(gain:feed ratio; G:F ratio)을 구하였다.

나. 실험사료 (Experimental diet)

실험사료는 phase I (0 - 7일), phase II (7 - 21일)과 phase III (21 - 35일)로 나누어 구성하였으며, 각 사육 시기에 맞추어 배합을 실시하였다. 총 35일간의 자돈기 실험 기간 동안 급여한 실험사료의 ME (대사에너지)는 phase I, phase II와 phase III 모두 약 3,265 kcal/kg였다. Phase I에서는 13.35% lysine, 0.44% methionine, 0.80% calcium and 0.65% phosphorus로 실험사료를 구성하였고, phase II에서는 1.15% lysine, 0.37% methionine, 0.75% calcium and 0.63% phosphorus, phase III에서는 1.05% lysine, 0.34% methionine, 0.70% calcium and 0.60% phosphorus로 실험사료를 배합하였고 다른 영양적 요인에 대한 조성은 NRC (1998)의 요구량과 같거나 조금 높게 구성되었다.

실험사료의 원료 및 화학적 조성은 표 37 (phase I), 표 38 (phase II), 표 39 (phase III)에 제시된 바와 같다.

표 37. 실험사료 배합비 (phase I)

Ingredients (%)	Treatment ¹			
	CON	P2	P4	P6
EP Corn	22.11	26.87	31.63	36.16
SBM-44	34.09	30.26	26.47	22.68
HP300 ²	5.15	3.59	2.00	0.39
Lactose	3.21	3.21	3.21	3.21
Barley	12.00	12.00	12.00	12.00
Soy Oil	20.56	20.92	21.27	21.91
MCP	1.08	1.18	1.28	1.36
Limestone	0.93	0.90	0.87	0.83
L-Lysine	0.20	0.38	0.55	0.72
DL-met	0.13	0.15	0.18	0.20
Vit. Mix ³	0.12	0.12	0.12	0.12
Min. Mix ⁴	0.12	0.12	0.12	0.12
Salt	0.10	0.10	0.10	0.10
Choline-Cl(25%)	0.10	0.10	0.10	0.10
ZnO	0.10	0.10	0.10	0.10
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Chemical compositions⁵

ME, kcal/kg	3265.02	3265.01	3265.00	3265.02
CP, %	23.00	21.00	19.00	17.00
Lysine, %	1.35	1.35	1.35	1.35
Methionine, %	0.44	0.44	0.44	0.44
Ca, %	0.80	0.80	0.80	0.80
Total P, %	0.65	0.65	0.65	0.65

¹ Treatments: CON (NRC CP requirement), P2 (NRC CP requirement - 2%), P4 (NRC CP requirement - 4%), P6 (NRC CP requirement - 6%).

² HP300 (Hamlet protein, Horsens, Denmark)

³ Provided the following quantities of vitamins per kg of complete diet: vitamin A, 8,000 IU; vitamin D₃, 1,600 IU; vitamin E, 32 IU; D-biotin, 64 g; riboflavin, 3.2 mg; calcium pantothenic acid, 8 mg; niacin, 16 mg; vitamin B₁₂, 12 g; vitamin K, 2.4 mg.

⁴ Provided the following quantities of minerals per kg of complete diet: Se, 0.1 mg; I, 0.3 mg; Mn, 24.8 mg; Cu · SO₄, 54.1 mg; Fe, 127.3 mg; Zn, 84.7 mg; Co, 0.3 mg.

⁵ Calculated value.

표 38. 실험사료 배합비 (phase II)

Ingredients (%)	Treatment ¹			
	CON	P2	P4	P6
EP Corn	31.34	36.78	42.16	47.58
SBM-44	33.85	28.40	22.95	17.39
HP300 ²	0.75	0.57	0.39	0.27
Lactose	8.00	8.00	8.00	8.00
Barley	22.69	22.72	22.81	22.98
Soy Oil	0.75	0.63	0.52	0.37
MCP	1.08	1.19	1.30	1.39
Limestone	0.80	0.77	0.74	0.69
L-Lysine	0.13	0.30	0.47	0.64
DL-met	0.07	0.10	0.12	0.15
Vit. Mix ³	0.12	0.12	0.12	0.12
Min. Mix ⁴	0.12	0.12	0.12	0.12
Salt	0.10	0.10	0.10	0.10
Choline-Cl(25%)	0.10	0.10	0.10	0.10
ZnO	0.10	0.10	0.10	0.10
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Chemical compositions⁵

ME, kcal/kg	3265.01	3265.00	3265.02	3265.02
CP, %	21.00	19.00	17.00	15.00
Lysine, %	1.15	1.15	1.15	1.15
Methionine, %	0.37	0.37	0.37	0.37
Ca, %	0.75	0.75	0.75	0.75
Total P, %	0.63	0.63	0.63	0.63

¹ Treatments: CON (NRC CP requirement), P2 (NRC CP requirement - 2%), P4 (NRC CP requirement - 4%), P6 (NRC CP requirement - 6%).

² HP300 (Hamlet protein, Horsens, Denmark)

³ Provided the following quantities of vitamins per kg of complete diet: vitamin A, 8,000 IU; vitamin D₃, 1,600 IU; vitamin E, 32 IU; D-biotin, 64 g; riboflavin, 3.2 mg; calcium pantothenic acid, 8 mg; niacin, 16 mg; vitamin B₁₂, 12 g; vitamin K, 2.4 mg.

⁴ Provided the following quantities of minerals per kg of complete diet: Se, 0.1 mg; I, 0.3 mg; Mn, 24.8 mg; Cu · SO₄, 54.1 mg; Fe, 127.3 mg; Zn, 84.7 mg; Co, 0.3 mg.

⁵ Calculated value.

표 39. 실험사료 배합비 (phase III)

Ingredients (%)	Treatment ¹			
	CON	P2	P4	P6
EP Corn	41.59	47.36	53.18	59.08
SBM-44	27.72	22.18	16.64	11.10
HP300 ²	0.28	0.21	0.15	0.09
Lactose	2.00	2.00	2.00	2.00
Barley	24.77	24.48	24.14	23.72
Soy Oil	1.19	1.04	0.89	0.73
MCP	0.98	1.10	1.22	1.34
Limestone	0.69	0.65	0.61	0.57
L-Lysine	0.18	0.35	0.52	0.69
DL-met	0.06	0.09	0.11	0.14
Vit. Mix ³	0.12	0.12	0.12	0.12
Min. Mix ⁴	0.12	0.12	0.12	0.12
Salt	0.10	0.10	0.10	0.10
Choline-Cl(25%)	0.10	0.10	0.10	0.10
ZnO	0.10	0.10	0.10	0.10
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Chemical compositions⁵

ME, kcal/kg	3265.00	3265.02	3265.02	3265.01
CP, %	19.00	17.00	15.00	13.00
Lysine, %	1.05	1.05	1.05	1.05
Methionine, %	0.34	0.34	0.34	0.34
Ca, %	0.70	0.70	0.70	0.70
Total P, %	0.60	0.60	0.60	0.60

¹ Treatments: CON (NRC CP requirement), P2 (NRC CP requirement - 2%), P4 (NRC CP requirement - 4%), P6 (NRC CP requirement - 6%).

² HP300 (Hamlet protein, Horsens, Denmark)

³ Provided the following quantities of vitamins per kg of complete diet: vitamin A, 8,000 IU; vitamin D₃, 1,600 IU; vitamin E, 32 IU; D-biotin, 64 g; riboflavin, 3.2 mg; calcium pantothenic acid, 8 mg; niacin, 16 mg; vitamin B₁₂, 12 g; vitamin K, 2.4 mg.

⁴ Provided the following quantities of minerals per kg of complete diet: Se, 0.1 mg; I, 0.3 mg; Mn, 24.8 mg; Cu · SO₄, 54.1 mg; Fe, 127.3 mg; Zn, 84.7 mg; Co, 0.3 mg.

⁵ Calculated value.

다. 영양소소화율 (Nutrient digestibility)

사료 내 단백질 수준의 제한급여가 이유자돈의 영양소 소화율에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 평균체중 16.28 ± 1.82 kg의 거세돈 16두를 4처리 4반복에 완전임의배치법으로 1마리씩 배치하였다. 실험 처리구는 다음과 같다 : 1) Control (Basal diet, NRC requirement), 2) P2 (Basal diet 기준으로 CP수준 2% 제한), 3) P4 (Basal diet 기준으로 CP수준 4% 제한), 4) P6 (Basal diet 기준으로 CP수준 6% 제한)로 총 4가지의 처리구이다.

소화율 실험은 전분 채취법 (total collection)으로 진행되었으며 적응기 (adaptation period) 5일과 본실험기 (collection period) 5일, 총 10일 동안 수행하였다. 5일 간의 본실험기 동안 하루에 한 번씩 동일한 시간에 분과 뇨를 채취하였고, 실험사료는 평균 체중을 기준으로 1.0%를 정량하여 하루에 두 번씩 (07:00과 19:00) 제한 급여하였다. 본 실험 기간 동안 채취된 분은 플라스틱 백에 넣어 냉동보관 (-20°C)하였으며, 건조기에서 60°C 에 72시간 동안 건조한 후 스크린 직경이 1mm인 wiley mill을 이용하여 분쇄하였다. 채취된 뇨는 암모니아의 휘산을 방지하기 위해 10% H_2SO_4 50ml을 미리 부어 놓은 플라스틱 통에 매일 채취 하였으며, glass wool을 통하여 이물질을 걸러 부피를 측정할 후, 즉시 냉동 보관 (-20°C)하였으며, 질소 이용률 분석을 위해 사용되었다. 사료, 분 및 뇨의 일반성분(건물, 조단백질, 조지방 및 조회분)은 AOAC (1990)방법에 따라 분석하였고, 영양소 소화율과 질소 이용율을 측정하기 위해 이용되었다.

라. 설사지수 (Diarrhea score)

설사지수 측정은 실험개시 후 매일 2회 오전8시와 오후 8시에 실험돈을 대상으로 실시하였으며, 각 돈방별로 4두의 자돈들을 대상으로 전 실험기간 동안 설사지수를 측정하였다. 분변의 굳기에 따라 1~5의 점수를 부여했으며, 매우 딱딱함(5), 딱딱함(4), 무름(3), 매우 무름(2), 액상(1)로 돈방 당 4두의 평균을 감안하여 측정하였다. 모든 설사지수의 측정은 최대한 객관성을 유지하기 위하여 한 담당자에 의해 수행되었다.

마. 혈액성상 (Blood profile)

혈액은 각 시기 (phase)의 종료 시 처리 당 6두씩을 선발하여 경정맥에서 채취, BUN (blood urea nitrogen), creatinine, IGF-1를 분석하였다. 혈액은 disposable culture tube에 포집하여 3,000 rpm, 4°C 상태로 15분 동안 원심분리 하였다. 그 후 micro tube 보관 용기에 혈청만을 분리하여 분석 시까지 -20°C 로 보관하였다. BUN, creatinine은 자동생화학 분석기 ADVIA 1650, Japan을 이용하여 분석하였다. IGF-1은 호르몬 분석기를 이용하여 분석하였다 (Immulite 2000, DPC, SUA).

마. 통계분석 (Statistical analysis)

본 실험의 data는 SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC)의 General Linear Model (GLM)를 이용하여 난괴법 실험 (randomized complete block; RCB) design으로서 통계분석을 실시하였다. 성장성적, 설사지수 data의 경우 한 돈방이 experimental unit으로, 반면 혈액성상의 경우 실험돈 1두를 experimental unit으로 설정하였다. 유의적 차이는 최소 유의차 (LSD) 다중검정법에 의해 처리간 결과를 비교하였으며, orthogonal polynomial contrast를 이용하여 단백질 제한수준에 따른 linear 및 quadratic effect를 조사하였다 (SAS Institute, 2006).

제 3 항 연구 결과 및 고찰

가. 성장성적 (Growth performance) 및 설사지수 (Diarrhea score)

자돈 사료 내 단백질 수준의 제한이 이유자돈의 성장능력에 미치는 영향을 표 40에 나타내었다. 1주차 체중의 결과, quadratic effect가 나타났다 (quadratic, $P < 0.05$). 그리고 5주차의 체중결과에서는 사료 내 단백질 수준이 제한됨에 따라 체중이 감소하여 나타났으며 (linear, $P < 0.01$), CON 처리와 P2 처리구의 체중 결과가 P4와 P6 처리구의 체중의 결과보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P < 0.01$). Phase II에서는 P6 처리구가 다른 처리구에 비해 유의적으로 낮은 ADG 수치를 나타내었고 ($P < 0.05$), linear effect가 나타났다 ($P < 0.01$). G:F ratio의 결과에서도 마찬가지로 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라서 linear하게 감소하는 결과를 나타내었다 (linear, $P < 0.01$). Phase II와 phase III, 전체 실험기간 (0-5주)의 결과들이 비슷하게 나타났으며, ADG와 G:F ratio는 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라 감소하여 나타났다 (linear, $P < 0.01$). 그리고 CON 처리구와 P2 처리구의 성장성적이 P4와 P6 처리구의 성장성적보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P < 0.01$). Htoo 등 (2007)의 연구에서는 사료 내 높은 수준의 단백질 공급이 자돈의 성장을 상당히 개선시키는 효과가 있으나, 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지는 않는다는 결과가 나타났다. 또한 Nyachoti 등 (2006)의 연구에 따르면, ADG, ADFI와 G:F ratio는 사료 내 단백질 수준의 제한에 의해 감소하여 나타난다고 보고하였다. 게다가 다른 선행연구들의 결과, 낮은 수준의 단백질 사료는 사료섭취량을 감소시켜 ADG와 ADFI에 영향을 미치고 결국 G:F ratio에도 영향을 미친다고 보고하였다 (Southern and Baker, 1982; Le Bellego and Noblet, 2002). 그러나 본 연구에서는 phase III에서 약간의 경향 ($P = 0.073$)이 나타난 것을 제외하고, 사료섭취량은 사료 내 단백질 수준에 의해 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 결과적으로, 사료 내 단백질 수준의 제한은 자돈의 성장에 부정적인 영향을 나타내는 것으로 나타났으며, NRC (1998)의 이유

자돈의 단백질 수준의 권장량보다 2% 정도 제한하는 것은 이유자돈의 성장에 치명적인 영향을 나타내지 않는 것으로 사료된다.

그리고 자돈에 있어 설사는 성장을 저해하는 소모성 질환으로 주목해야 할 부분인데, Ball과 Aherne(1987)는 양돈 사료 내 높은 수준의 단백질을 공급하는 것이 자돈의 설사를 유발시킬 수 있다고 보고하였다. 게다가 Le Bellego와 Noblet (2002)의 연구에서는 이유자돈에 낮은 수준의 단백질을 공급하는 것은 이유자돈의 설사를 방지하는 효과를 나타낸다고 발표하였다. 하지만 본 연구에서는 실험 전 구간에 걸쳐 설사빈도를 측정하였으나, 1주령에 3~4두의 설사돈이 발생하였을 뿐 Phase II와 Phase III에는 설사돈이 발생하지 않아서 사료 내 단백질 함량이 설사빈도에 미치는 영향을 평가하기에 어려운 결과가 나타났다.

표 40. 사료 내 단백질 수준의 제한이 이유자돈의 성장에 미치는 영향¹⁾

	CON	P2	P4	P6	SEM ²⁾	P-value	
						Linear	Quadratic
Body weight							
Initial	7.68	7.67	7.68	7.68			
1 week	8.81	8.61	8.75	8.95	0.193	0.204	0.042
3 week	13.72	13.69	13.28	13.19	0.253	0.096	0.913
5 week	20.45 ^A	20.04 ^A	18.22 ^B	17.67 ^B	0.371	0.001	0.876
ADG							
0-1 week	162	134	153	182	6.693	0.201	0.042
1-3 week	350 ^a	363 ^a	323 ^a	303 ^b	7.751	0.009	0.259
0-3 week	288	287	267	263	5.789	0.087	0.907
3-5 week	481 ^A	454 ^A	353 ^B	320 ^B	15.753	0.000	0.900
0-5 week	365 ^A	353 ^A	301 ^B	286 ^B	8.195	0.000	0.883
ADFI							
0-1 week	234	225	237	258	5.914	0.111	0.189
1-3 week	621	606	619	607	9.796	0.746	0.937
0-3 week	433	422	432	426	6.817	0.849	0.870
3-5 week	669	601	607	613	10.115	0.074	0.066
0-5 week	528	494	502	501	6.603	0.217	0.209
G/F							
0-1 week	0.692	0.587	0.648	0.710	0.021	0.470	0.037
1-3 week	0.564 ^{AB}	0.599 ^A	0.525 ^{BC}	0.498 ^C	0.010	0.001	0.079
0-3 week	0.663	0.677	0.620	0.616	0.009	0.037	0.658
3-5 week	0.721 ^A	0.759 ^A	0.584 ^B	0.521 ^B	0.024	0.000	0.163
0-5 week	0.692 ^A	0.717 ^A	0.602 ^B	0.569 ^B	0.015	0.000	0.234

¹⁾ A total 144 crossbred pigs with an average initial body weight 7.68 ± 0.2 kg

²⁾ Standard errors of mean

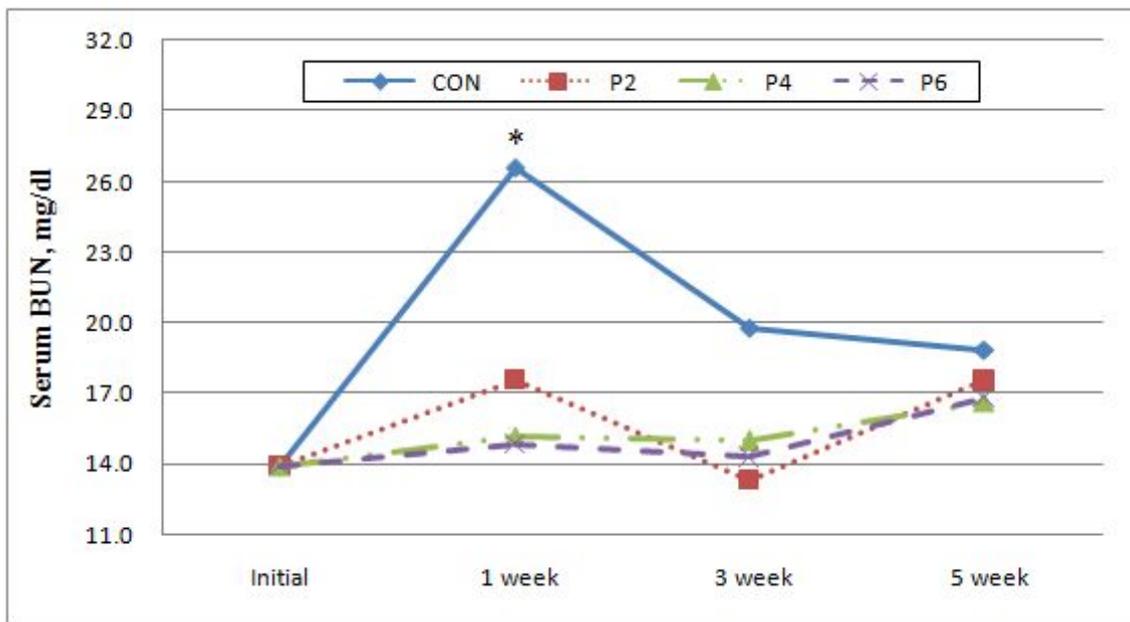
^{ABC} Mean within rows with different superscripts differ, $P < 0.01$

^{ab} Mean within rows with different superscripts differ, $P < 0.05$

나. 혈중 요소태질소 (Blood urea nitrogen)

자돈 사료 내 단백질 수준의 제한이 이유자돈의 BUN (blood urea nitrogen)에 미치는 결과에 대해서 그림 3에 나타내었다. 혈중 내 BUN의 농도는 사료 내 단백질의 공급과 연관이 있으며 체내에서는 식이아미노산과의 관계와 부의 상관관계 (negative correlation)를 갖는다 (Eggum, 1970). 그래서 BUN의 농도는 체내의 단일 아미노산과 단백질 요구량의 지표로 사용되어 왔다 (Cai 등, 1996; Taylor 등, 1982; Coma 등, 1995). 본 실험의 1주차 결과, Control 사료를 급여한 이유자돈의 BUN 농도는 다른 처리구들에 비해 유의적으로 높게 나타났으며, 사료 내 단백질 수준이 증가할수록 BUN농도도 높아지는 linear effect를 나타내었다 ($P < 0.05$). 처리구 간에 통계적인 유의적 차이는 실험 종료까지 (5주차) 이러한 경향은 지속적으로 나타났다. 이러한 결과는 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라, PUN (plasma urea nitrogen)의 농도도 linear하게 감소하여 나타난다는 결과 (Nyachoti 등, 2006)와 일맥상통하는 결과이다. 본 실험의 결과에서 Control 처리구의 단백질 수준은 다른 처리구의 단백질의 수준에 비해 체내에서 사용하기에 과도한 양임이 증명되었다.

그림 3. 사료 내 단백질 수준의 제한이 이유자돈의 혈중요소태질소 (BUN)에 미치는 영향

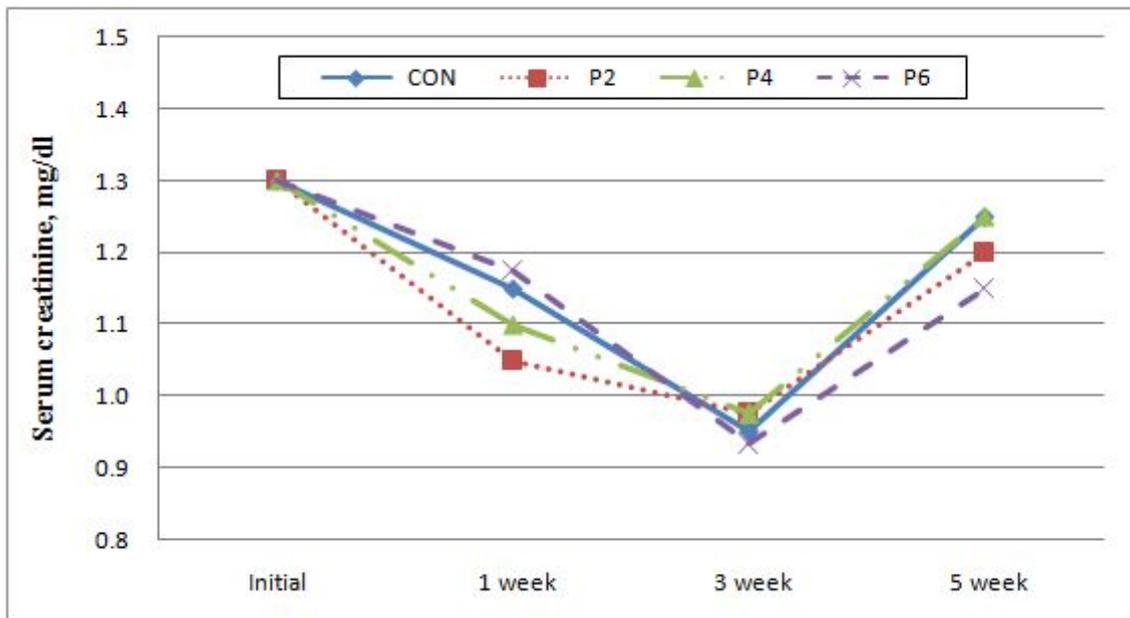


* Linear effect of crude protein restriction ($P < 0.05$)

다. 크레아티닌 (Creatinine)

자돈 사료 내 단백질 수준의 제한이 이유자돈의 크레아티닌 (creatinine)에 미치는 결과에 대해서 그림 4에 나타내었다. 본 실험결과 혈액 내 크레아티닌 농도는 실험 전 기간에 걸쳐, 처리구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 일반적으로 크레아티닌은 주로 뇌와 근육에 존재하는 고에너지인산과 크레아틴의 화합물인 크레아틴 인산의 분해산물이며 체내에서 일정한 속도로 생산된다. 이들 크레아티닌은 체내 근육에서만 생성되며 콩팥을 통하여 배설된다. 그러나 체내에 콩팥기능이 나빠지면 혈중 크레아티닌이 상승하게 된다. 따라서 크레아티닌을 가족의 건강지표로 측정한다. 결과적으로 본 연구를 통해 자돈 사료의 단백질 수준의 제한은 혈액 내 크레아티닌에 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

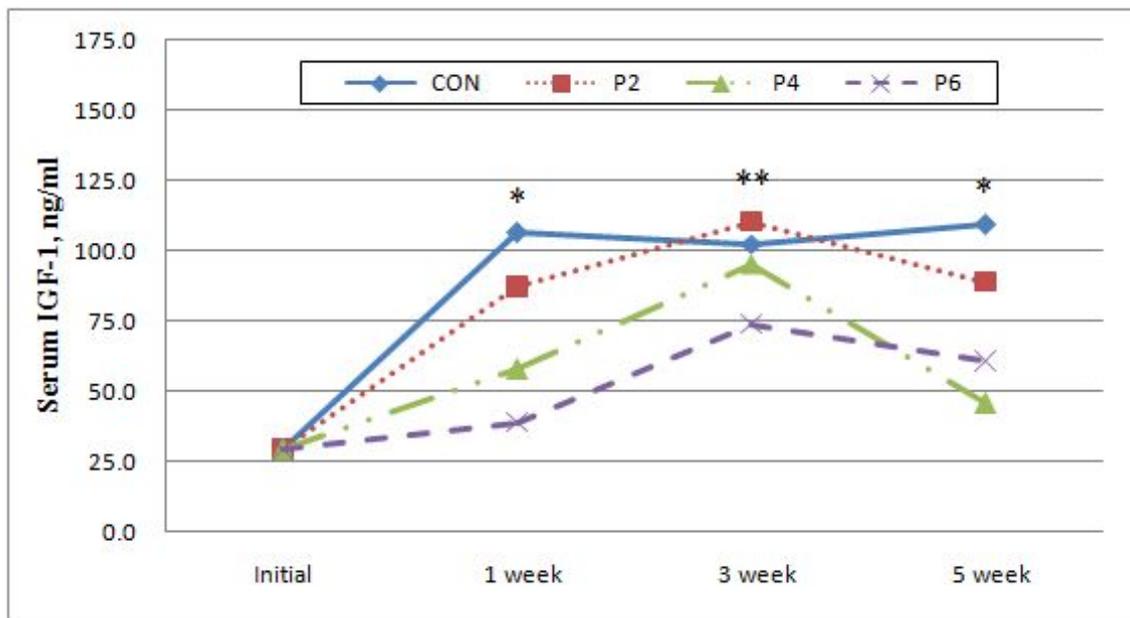
그림 4. 사료 내 단백질 수준의 제한이 이유자돈의 크레아티닌(creatinine)에 미치는 영향



라. 혈중 요소태 유사 성장인자 (IGF-1)

자돈 사료 내 단백질 수준의 제한이 이유자돈의 혈중 인슐린 유사 성장인자 (IGF-1)에 미치는 결과에 대해 그림 5에 나타내었다. 실험 전 구간, 1주차와 5주차 (linear effect, $P < 0.05$), 3주차 (linear effect, $P < 0.01$) 결과 단백질 수준이 증가함에 따라 혈중 내 IGF-1의 농도가 linear하게 증가하였다. 하지만 1주차 결과에서는 P6처리구의 IGF-1의 농도가 Control 처리구와 P2의 결과에 비해 유의적으로 낮은 수치를 기록하였다 ($P < 0.01$). 이와 비슷한 경향이 실험 3주차 결과에서도 나타났으며 ($P = 0.078$), 실험 종료인 5주차 결과에서는 P6 처리구의 농도는 Control의 농도에 비해 유의적으로 낮은 수준으로 나타났다 ($P < 0.05$). IGF-1은 성장호르몬의 자극에 의해 분비되며 조직의 성장과 분화에 관여하여 성장이 필요한 세포에 에너지를 공급하는 역할을 한다. 게다가 가장 중요한 기능으로 심혈관계의 구조와 기능의 조절과 뼈의 성장에도 매우 중요한 역할을 한다 (Bayes-Genis, 2000). 본 실험의 결과는 단백질 수준의 제한이 혈중 인슐린 유사 성장인자의 농도 감소에 영향을 미치며 4%이상의 단백질 수준의 제한은 이유자돈의 성장에 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 것을 입증하였다.

그림 5. 사료 내 단백질 수준의 제한이 이유자돈의 혈중 인슐린 유사 성장인자 (IGF-1)에 미치는 영향



마. 영양소소화율 (Nutrient digestibility)

사료의 단백질 수준의 제한이 자돈의 영양소 소화율에 미치는 영향을 표 41에 나타내었다. 본 실험에 있어서 건물 (dry matter)의 소화율은 단백질의 제한 수준에 따라 증가하였으며 (linear, $P<0.05$; quadratic $P<0.01$), P4 처리구가 다른 처리구에 비해 가장 높은 소화율을 나타내었다 ($P<0.01$). 반면 조단백질 (crude protein) 소화율은 사료 내 단백질의 함량이 감소함에 따라 감소하여 나타났다 (linear effect, $P<0.05$). 그리고 조회분 (crude ash) 소화율에 있어서는 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라 증가하여 나타났다 (linear effect, $P<0.05$; quadratic effect, $P<0.05$). 조지방 (crude fat)의 소화율은 증가하는 경향을 나타내었으며 P4처리구의 조지방 소화율이 가장 높게 나타났다 (quadratic effect, $P=0.08$). 질소 축적률 결과에서는, 분 내 질소농도가 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라 감소하여 나타났으며 (linear effect, $P<0.05$), 측정된 뇨 내 질소농도도 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다 ($P=0.067$). 본 연구 결과는 Deng 등 (2007)이 보고한 바와 같이 사료 내 단백질 수준이 감소하면 체내에서 손실되는 질소의 양도 감소하고, 체내 질소 축적률도 감소한다는 결과와 일치한다. 하지만 본 실험 결과에서는 사료 내 단백질 수준이 증가함에 따라, 질소의 배출이 증가되었음에도 최종적인 체내의 질소 축적률이 증가하여 나타났다 ($P<0.01$). 이 결과는 높은 수준의 단백질 사료는 낮은 영양소 소화율을 나타내었는데, 과도한 사료 내 단백질 공급은 체내 질소의 축적률의 면에서 보았을 때에 긍정적인 것으로 나타났다.

표 41. 사료 내 단백질 수준의 제한이 이유자돈의 영양소 소화율 및 질소 이용률에 미치는 영향

	CON	P2	P4	P6	SEM ²⁾	P-value	
						Linear	Quadratic
Apparent nutrient digestibility, %							
DM	91.54 ^B	91.95 ^B	93.61 ^A	92.14 ^A	0.236	0.014	0.005
Crude protein	92.70 ^a	91.97 ^{ab}	92.97 ^a	90.84 ^b	0.300	0.030	0.114
Crude ash	60.91 ^b	64.97 ^{ab}	70.20 ^a	65.34 ^{ab}	1.084	0.033	0.024
Crude fat	76.43 ^B	71.33 ^C	84.57 ^A	74.01 ^{AB}	1.412	0.359	0.080
Nitrogen retention, g/day							
N-intake	9.81	8.71	7.83	7.00	1.346		
N-Feces	0.72 ^a	0.70 ^a	0.55 ^b	0.64 ^{ab}	0.116	0.021	0.105
N-urine	2.82	2.45	2.14	2.15	0.659	0.066	0.466
N-retention ³⁾	6.27 ^A	5.56 ^{AB}	5.14 ^B	4.21 ^C	1.100	0.000	0.682

¹⁾ A total 16 crossbred pigs with an average initial body weight 16.28 ± 1.82 kg

²⁾ Standard errors of mean

³⁾ N retention (g) = N intake (g) - Fecal N (g) - Urinary N (g)

^{ABC} Mean within rows with different superscripts differ, $P<0.01$

^{ab} Mean within rows with different superscripts differ, $P<0.05$

현재 축산 폐수의 방류수의 총 질소 (T-N) 특정지역 40mg/L 이하, 기타지역 60mg/L 이하의 규정은 양돈사료 생산 관계자들이 고려해야 할 사안이다. 축산분뇨의 질소 배출량을 저감하기 위해서는 사료생산 과정에서 필수아미노산 요구량에 관하여 합성아미노산을 첨가하고 전체적인 단백질 수준을 낮추어 해결할 수 있는 부분이다. 소화율 실험의 결과에서 자돈기 사료 내 단백질 요구량 2% 저감 처리구의 질소축적률이 대조구에 비해 유의적인 차이를 나타내지 않은 결과는 자돈사료 내 단백질 요구량을 2% 저감시켜도 자돈의 단백질 이용에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한 선행연구의 결과를 미루어보아 축산분뇨로 배출되는 질소의 양을 감소시킬 수 있는 것으로 예상되며 (Deng 등, 2007), 이는 환경 보호의 측면에서 긍정적인 효과를 나타낼 것으로 사료된다.

제 6 절 카사바 부산물 (cassava residue)의 급여가 자돈의 성장, 영양소 소화율, 분변 내 VFA, 미생물 조성 및 설사 빈도에 미치는 영향

제 1 항 서론

현재 우리나라 양돈 산업은 미국에 이어 농림업 총 생산액 중 2위를 차지할 정도로 규모가 큰 산업이다. 하지만 최근에는 2011년 구제역 파동, 원료 곡물 가격 상승 및 가축 질병으로 인한 폐사율 증가 등으로 인해 위기를 맞고 있다. 여기에 추가적으로 2012년 3월 15일 발효된 한미-FTA 및 여러 양돈 선진국과의 FTA로 인해 양돈 농가의 가격 경쟁력 확보를 위한 생산성 향상이 시급한 실정이다. 우리나라의 경우 특히 자돈기 폐사율이 높는데 이는 자돈기의 높은 설사에서 유래된 것이다. 설사를 예방하기 위한 방법으로 최근까지는 항생제가 사용되어 왔으나, 이마저도 체내 잔류 및 식품 안전 문제 때문에 불가능해졌다. 아직까지 항생제를 대체할 수 있는 방법이 전무함에도 불구하고 일단 금지법이 시행된 것이다. 이러한 상황을 배경으로 현재 항생제 대체제 후보로서 여러 가지 물질들이 개발·보급되고 있지만 현재까지 그 효능을 객관적으로 입증받은 바가 없고, 오히려 특별한 효과 없이 일반 농가의 생산비를 낮추는 원인 중의 하나로 작용되고 있다.

본 실험에서 사용된 카사바 부산물 (cassava residue)은 카사바를 chopping하고, 전분을 추출한 후에 남은 부분으로 높은 전분 함량 및 섬유소 함량이 특징인 원료이다. 원료 가격 또한 톤당 175 USD 달러 정도로 옥수수 (340 USD 달러/톤) 및 다른 원료 사료에 비해 상당히 낮은 가격을 유지하고 있다. 위 다른 절에서도 여러 차례 언급했지만 높은 섬유소 함량은 이유 자돈의 장내 유용 미생물이 사용 할 수 있는 기질로서 작용하여 장내 우점을 도울 것으로 예상되며, 유해 미생물이 장관벽에 부착 할 수 있는 부위를 줄여 결과적으로 자돈 설사를

줄일 수 있을 것으로 기대된다.

본 실험은 이러한 배경을 바탕으로 카사바 부산물의 급여가 자돈의 성장, 영양소 소화율, 분변 내 VFA, 미생물 조성 및 설사빈도에 미치는 영향을 규명하고, 항생제 대체제로서 사용될 수 있는 가능성을 평가해 보았다.

제 2 항 실험 방법 및 재료

가. 실험동물 및 실험설계 (Experimental animal and housing)

28 ± 3일령에 이유한 평균 체중 7.98 ± 0.83kg인 삼원 교잡종 ([Landrace x Yorkshire] x Duroc) 이유자돈 128두를 공시하여, Phase I 2주, Phase II 2주, Phase III 2주로 총 6주 동안 사양실험을 수행하였다. 전체 4처리 8반복 돈방 당 4두씩 성별과 체중에 따라 난괴법 (RCBD; Randomized Completely Block Design)으로 배치하였다. 실험의 처리구는 다음과 같다. 1) Control (대조구) : basal diet ; NRC (1998)의 요구량을 충족시키는 corn-soy bean meal based diet, 2) C 5 : basal diet + 카사바 5% 3) C 10 : basal diet + 카사바 10% 4) C 15 : basal diet + 카사바 15%로 구성하여 실험을 수행하였다.

나. 실험 사료 (Experimental diet)

옥수수-대두박을 실험사료의 기초사료(basal diet)로 이용하였으며, 각 사육 시기마다 NRC (1998)의 영양소 요구량을 기초로 하여 배합을 실시하였다. 실험 사료의 대사에너지 (ME; metabolic energy)는 모든 Phase에서 3,265 kcal/kg이었다. 라이신(lysine)은 Phase I, Phase II, Phase III 에 각각 1.35%, 1.15% 이었다. 카사바 부산물은 옥수수를 대체하는 수준에 따라 각각 5%, 10%, 15% 씩 첨가하였다. 단백질, 비타민, 미량광물질 및 다른 영양소들은 NRC (1998)의 요구량과 같거나 높게 배합하였으며, 처리별로 카사바 부산물의 첨가 수준이 높아짐에 따라 대두박과 기름의 양을 조절하여 각 처리별 주요 영양소 함량의 차이가 없게 하였다. 주요 실험사료의 원료 및 화학적 조성은 표 42 (phase I), 표 43 (phase II), 표 44 (phase III)에 제시된 바와 같다.

표 42. 실험사료 배합비 및 화학적 조성(phase I, d 0 to 14)

Ingredients, %	Control	C5	C10	C15
Corn	23.14	18.14	13.14	8.14
SBM-44	39.09	40.40	41.70	43.01
Barley	17.82	15.07	12.33	9.58
Cassava residue	—	5.00	10.00	15.00
Soy-oil	0.04	1.51	2.98	4.45
Whey powder	2.00	2.00	2.00	2.00
Lactose	12.00	12.00	12.00	12.00
HP 300	3.00	3.00	3.00	3.00
MCP	1.04	1.09	1.13	1.18
Limestone	0.96	0.90	0.84	0.78
L-Lysine-HCL	0.15	0.13	0.11	0.09
DL-Met	0.12	0.12	0.13	0.13
Vit. Mix ¹	0.12	0.12	0.12	0.12
Min. Mix ²	0.12	0.12	0.12	0.12
Salt	0.20	0.20	0.20	0.20
Choline-Cl (25%)	0.10	0.10	0.10	0.10
ZnO	0.10	0.10	0.10	0.10
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Chemical Composition³				
ME, kcal/kg	3265.06	3265.05	3265.02	3265.00
CP, %	23.70	23.70	23.70	23.70
Lysine, %	1.35	1.35	1.35	1.35
Methionine, %	0.44	0.44	0.44	0.44
Ca, %	0.80	0.80	0.80	0.80
Total P, %	0.65	0.65	0.65	0.65

¹ Provided per kg of diet : Provided per kg of diet : Vit A, 16,000IU; Vit D₃, 3,200IU; Vit. E, 35IU; Vit. K₃, 5mg; Rivoflavin, 6mg; Calcium pantothenic acid, 16mg; Niacin, 32mg; d-Biotin, 128ug; Vit.B₁₂, 20ug.

² Provided per kg of diet: Fe, 281mg; Cu, 288mg, 143mg; Mn, 49mg; I, 0.3mg; Se, 0.3mg.

³ Calculated value.

표 43. 실험사료 배합비 및 화학적 조성(phase II, d 14 to 28)

Ingredients, %	Control	C5	C10	C15
Corn	26.51	21.51	16.51	11.51
SBM-44	34.08	35.38	36.65	37.98
Barley	26.94	24.19	21.46	18.70
Cassava residue	-	5.00	10.00	15.00
Soy-oil	0.91	2.39	3.86	5.33
Whey powder	1.00	1.00	1.00	1.00
Lactose	8.00	8.00	8.00	8.00
HP 300	0.00	0.00	0.00	0.00
MCP	1.02	1.07	1.11	1.15
Limestone	0.79	0.73	0.68	0.62
L-Lysine-HCL	0.13	0.11	0.10	0.08
DL-Met	0.08	0.08	0.09	0.09
Vit. Mix ¹	0.12	0.12	0.12	0.12
Min. Mix ²	0.12	0.12	0.12	0.12
Salt	0.20	0.20	0.20	0.20
Choline-Cl(25%)	0.10	0.10	0.10	0.10
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Chemical Composition³				
ME, kcal/kg	3265.02	3265.23	3265.31	3265.46
CP, %	21.00	21.00	21.00	21.00
Lysine, %	1.15	1.15	1.15	1.15
Methionine, %	0.37	0.37	0.37	0.37
Ca, %	0.75	0.75	0.75	0.75
Total P, %	0.63	0.63	0.63	0.63

¹ Provided per kg of diet : Provided per kg of diet : Vit A, 16,000IU; Vit D₃, 3,200IU; Vit. E, 35IU; Vit. K₃, 5mg; Rivoflavin, 6mg; Calcium pantothenic acid, 16mg; Niacin, 32mg; d-Biotin, 128ug; Vit.B₁₂, 20ug.

² Provided per kg of diet: Fe, 281mg; Cu, 288mg, 143mg; Mn, 49mg; I, 0.3mg; Se, 0.3mg.

³ Calculated value.

표 44. 실험사료 배합비 및 화학적 조성(phase III, d 28 to 42)

Ingredients, %	Control	C5	C10	C15
Corn	59.58	54.58	49.58	44.58
SBM-44	29.51	30.81	32.11	33.41
Barley	8.22	5.48	2.73	0.00
Cassava residue	—	5.00	10.00	15.00
Soy-oil	0.19	1.66	3.13	4.60
MCP	1.00	1.04	1.09	1.13
Limestone	0.72	0.67	0.61	0.55
L-Lysine-HCL	0.18	0.16	0.14	0.12
DL-Met	0.06	0.06	0.07	0.07
Vit. Mix ¹	0.12	0.12	0.12	0.12
Min. Mix ²	0.12	0.12	0.12	0.12
Salt	0.20	0.20	0.20	0.20
Choline-Cl (25%)	0.10	0.10	0.10	0.10
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Chemical Composition³				
ME, kcal/kg	3265.27	3265.06	3265.07	3265.17
CP, %	19.00	19.00	19.00	19.00
Lysine, %	1.05	1.05	1.05	1.05
Methionine, %	0.34	0.34	0.34	0.34
Ca, %	0.70	0.70	0.70	0.70
Total P, %	0.60	0.60	0.60	0.60

¹ Provided per kg of diet : Provided per kg of diet : Vit A, 16,000IU; Vit D₃, 3,200IU; Vit. E, 35IU; Vit. K₃, 5mg; Rivoflavin, 6mg; Calcium pantothenic acid, 16mg; Niacin, 32mg; d-Biotin, 128ug; Vit.B₁₂, 20ug.

² Provided per kg of diet: Fe, 281mg; Cu, 288mg, 143mg; Mn, 49mg; I, 0.3mg; Se, 0.3mg.

³ Calculated value.

다. 사양 실험 (Housing)

사양실험돈은 콘크리트-슬랫 바닥에서 $1.90 \times 2.15 \times 0.40 \text{ m}^3$ 크기의 돈방에서 사육되었다. 각 돈방에는 하나의 사료 급이기와 니플 급수기가 설치되어있어 전체 실험 기간 동안 물과 사료는 무제한 자유 채식 (ad libitum)하도록 하였다. 돈방 온도는 실험 개시 후 첫 일주일간은 30°C 를 유지하였으며, 매주 1°C 씩 낮추어 6주차에는 25°C 를 유지하게 하였다. 사양실험 기간은 각각 Phase I 2주, Phase II 2주, Phase III 2주 단계로 사육되었다. 체중 및 사료 섭취량은 사육 단계 및 사료 종류의 변동 시점을 고려하여, 실험 개시(Initial)기간을 기점으로 2주마다 측정하여 일당증체량 (average daily gain; ADG), 일일사료섭취량 (average daily feed intake; ADFI), 사료효율 (gain/feed ratio; G/F ratio)을 계산하였다.

라. 영양소 소화율 (Nutrient digestibility)

처리당 4 두씩 평균체중 $7.79 \pm 0.37\text{kg}$ 인 삼원교잡종 ([Yorkshire \times Landrace] \times Duroc) 거세돈 16두를 완전임의배치법 (CRD; completely randomized design)으로 대사틀에 1 두씩 배치하였다. 5일의 적응기를 가진 뒤 6일째부터 본 실험을 개시하였다. 사료를 매일 오전 7시와 오후 7시에 100g씩 급여하였으며, 물은 자유롭게 채식하도록 하였다. 실험 개시 시 급여하는 사료량의 0.5% 만큼 산화크롬 (Cr_2O_3)을 칭량하여 개시 지시제로 사용하였으며 실험 종료 시에는 급여하는 사료량의 0.5% 만큼 산화철 (Fe_2O_3)을 칭량하여 종료 지시제로 사용하였다. 분 채취는 분에서 산화크롬을 확인한 시점부터 산화철을 확인할 때까지 실시하였다. 뇨는 실험기간 동안 매일 오후 7시에 채취하였다. 암모니아의 증발을 막기 위해 뇨 수집용기에 0.1N H_2SO_4 용액 50ml를 첨가하였으며 유리섬유를 뇨 수집용기에 설치하여 여과한 뇨를 채취하였다. 실험기간 동안 채취한 뇨는 샘플별로 2,000 ml로 mass up 한 뒤 100 ml 씩 튜브에 담고 분은 무게를 잰 뒤 -20°C 의 냉동고에 분석까지 보관하였다. 채취가 끝난 뒤 분은 샘플별로 60°C drying oven에서 72시간 건조한 후 Wiley mill (1mm 스크린)을 이용하여 분쇄하였다. 분, 뇨의 일반 성분 분석을 위해 AOAC (1995) 방법으로 건물, 수분, 조단백, 조지방, 조회분, 조섬유 등을 분석하였다.

마. 설사 빈도 조사 (Diarrhea score)

설사 빈도나 정도를 조사하는 방법은 다양하게 존재하나 가장 많이 쓰이는 방법은 분의 색깔, 연도 (수분함량), 실험돈의 상태를 3단계 혹은 5단계로 구분하여 점수를 부여하여 판단하게 되는데 이는 자칫 실험수행자 개인의 의도가 반영되거나 객관적이지 못할 위험이 있다. 따라서 설사빈도 측정을 위하여 실험 개시 후 매일 오전 8시에 사양 실험돈을 대상으로 실시하였으며, 각 돈방 별로 4두의 자돈들을 대상으로 항문 주위의 수양성 설사 (watery

diarrhea) 흔적을 가진 개체 수를 파악하여 설사빈도를 측정하였다. 수양성 설사 흔적이 없는 돈방의 설사빈도를 0으로 측정하였으며, 모든 개체의 항문 주위가 수양성 설사 흔적을 보였을 때의 설사 빈도를 4로 하여 실험 기간 42일 동안 측정하였다. 모든 설사지수의 측정은 최대한 객관성을 유지하기 위하여 한 담당자가 수행하였다.

바. 분변 내 미생물 분석 (Fecal *E. coli*, *Salmonella*, *Lactobacillus*)

분은 실험개시와 각 사양단계의 종료시점에 각 처리 당 6마리씩 임의적으로 선별하여 항문 자극법으로 채취하였다. 채취된 분을 1g씩 9ml 증류수와 섞어 희석하였다. 희석시킨 원액을 다시 1ml를 뽑아 9ml의 증류수에 희석을 하였다. 다시 희석시킨 용액에서 1ml를 뽑아 9ml의 증류수에 희석을 하여 총 1,000배 수준($\times 10^3$)으로 희석을 하였다. 총 1,000배 희석한 샘플에서 1ml를 뽑아 미생물 배지(사니타균, LTS Korea) 필름커버를 위로 젖히고 용액을 배지에 분주하였다. 다시 필름 커버를 살짝 덮은 다음 배양기에서 35℃에서 24시간 배양을 하였다. 배양 후 미생물 배지에 발색된 미생물의 수를 계산하였다.

사. 분변 내 휘발성 지방산 (Fecal volatile fatty acid) 농도

분의 VFA 측정은 사양실험 종료 시점에 이루어졌다. 분은 각 처리 당 4마리씩 임의적으로 선별하여 항문 자극법으로 채취하였다. 휘발성지방산의 휘발성 특징으로 인한 증발을 막고, 공기와의 접촉을 피하도록 채취된 분은 신속히 냉동고에 넣어 분석 전까지 -20℃에 보관하였다. 분석 시, 채취한 분을 2g씩 8ml의 증류수에 희석시킨 후 HCl(concentrate HCl) 2방울을 떨어뜨렸다. 이후 원심분리 (17,400g, 10 min, 4℃)를 하여 상층액을 0.22 μm 필터에 여과시킨 뒤 vial (Suprelco, Cat. No 27265, Bellfonte, PA)에 담아서 Gas Chromatography (Hewlett Packard, HP 6890 SeriesgC System)를 이용하여 측정하였다. Standard의 농도는 10mmol/ml이며, acetate, propionate, isobutyrate, butyrate, isovalerate, valerate를 측정하였다 (L. D. Topping 등, 2001., E. R. Otto, 2003).

아. 혈액성상 (Blood profile)

실험 개시 시 혈중요소태질소 (BUN : Blood Urea Nitrogen), Creatinine 및 IGF-1을 조사하기 위해 임의적으로 경정맥에서 8두의 혈액을 채혈하였으며, 실험 개시 일 이후에는 각 사양단계별 체중 측정시 처리별로 6두씩 총 24두의 혈액을 채취하였다. 혈액은 disposable culture tube에 포집하여 3,000 rpm, 4℃ 상태로 15분 동안 원심분리 하였다. 그 후 micro tube 보관용기에 혈청만을 분리하여 분석 시까지 -20℃로 보관하였다. BUN, creatinine은 자동생화학 분석기 ADVIA 1650, Japan을 이용하여 분석하였다. IGF-1은 호르몬 분석기를

이용하여 분석하였다 (Immulite 2000, DPC, SUA).

자. 통계 분석 (Statistical analysis)

본 실험의 data는 SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC)의 General Linear Model (GLM)를 이용하여 난괴법 실험 (randomized complete block; RCB) design으로서 통계분석을 실시하였다. 성장성적, 설사지수 data의 경우 한 돈방이 experimental unit으로, 반면 혈액성상의 경우 실험돈 1두를 experimental unit으로 설정하였다. 유의적 차이는 최소 유의차 (LSD) 다중검정법에 의해 처리간 결과를 비교하였으며, orthogonal polynomial contrast를 이용하여 단백질 제한수준에 따른 linear 및 quadratic effect를 조사하였다 (SAS Institute, 2006). $P < 0.05$ 인 경우 유의차가 있는 것으로, $P < 0.01$ 인 경우 고도의 유의차가 있는 것으로 고려하였으며, $0.05 \leq P < 0.10$ 일 경우 경향이 있는 것으로 간주하였다. 또한 linear-quadratic response를 분석하기 위해 orthogonal polynomial contrasts를 실시하였다.

제 3 항 연구 결과 및 고찰

가. 성장성적 (Growth performance)

자돈 사료 내 카사바 부산물의 첨가가 이유자돈의 성장능력에 미치는 영향을 표 45에 나타내었다. LSD test 결과, 실험 전 구간 모든 통계 수치와 관련하여 특별한 유의차가 나타나지 않았다. 하지만 orthogonoal polynorimial contrast 결과, 3-4주차의 일당증체량에서 카사바 부산물 첨가에 따라 성장이 정체되는 linear response가 나타났으며, 3-4주, 5-6주 및 0-6주간의 사료섭취량에서 카사바 부산물의 첨가량이 늘어날수록 수치가 줄어드는 linear response가 나타났다 ($P < 0.05$). 실험 전 기간 동안의 ADFI의 경우 카사바 부산물 사용량에 따라 영향을 받았지만 이 영향이 실험 전 기간 동안의 성장률 및 사료효율에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다 (통계적으로 유의적인 차이 없음).

Bell 등 (1999)에 의하면 섬유소 공급원들은 미생물 균총 조절 및 장의 형태학적 발달에 유익하기도 하나, 한편으로는 수용성 섬유소에 의해 장 내용물의 점도 (viscosity)를 증가시켜 사료섭취량 및 영양소 소화율을 감소시킬 우려 또한 있다고 보고하였다. 본 실험에서도 이와 같은 기작이 사료섭취량을 감소시키는 데 영향을 미쳤을 것으로 예상되며, 추가적으로 성장성적에 특별한 영향을 미치지 않은 것은 실험 기간 내 설사 빈도 실험 결과와 동시에 분석해 봐야 할 것으로 사료된다.

종합해 보면, 카사바 부산물의 사료 내 첨가는 사료 섭취량을 감소시킬 수 있는 가능성이 있는 것으로 나타났지만, 성장률 및 사료효율에는 영향을 미치지 않을 정도로 미세한 수준이

있으며, 섬유소 첨가에 따른 정확한 증체 효과를 판별하기 위해서는 실험 환경보다 열악한 환경에서의 폐사율과 설사 빈도에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

표 45. 이유자돈 사료 내 카사바 부산물의 첨가가 이유자돈의 성장성적에 미치는 영향^a

Criteria	Control	C5	C10	C15	SEM ^b	P - value	
						Linear	Quadratic
Body weight^c, kg							
Initial	8.00	7.96	7.97	8.00	0.14		
2 wk	11.04	11.47	11.02	10.95	0.20	0.49	0.30
4 wk	18.14	18.08	17.49	16.99	0.28	0.07	0.64
6 wk (Overall)	25.71	24.82	24.98	24.01	0.40	0.12	0.95
Average Daily Gain^c, g							
0-2 wk	218	251	218	211	8.53	0.49	0.25
3-4 wk	507	472	463	432	10.96	0.02	0.91
5-6 wk	541	482	534	501	14.70	0.64	0.68
0-6wk (Overall)	422	401	405	381	8.23	0.12	0.92
Average Daily Feed Intake^c, g							
0-2 wk	351	383	363	330	8.44	0.16	0.02
3-4 wk	808	769	789	713	13.91	0.05	0.52
5-6 wk	1112	1034	1028	984	21.49	0.04	0.68
0-6 wk (Overall)	757	729	727	676	13.09	0.03	0.65
Gain:Feed ratio^c							
0-2 wk	0.623	0.655	0.606	0.628	0.017	0.83	0.87
3-4 wk	0.629	0.615	0.586	0.603	0.009	0.25	0.45
5-6 wk	0.490	0.464	0.519	0.512	0.012	0.33	0.73
0-6 wk (Overall)	0.560	0.551	0.557	0.563	0.008	0.85	0.70

^a A total of 128 crossbred pigs were fed from average initial body weight 7.98 ± 0.83 kg and the average of final weight was 24.88kg.

^b Standard error of mean.

^c Values are means for four pens of four pigs per pen.

나. 영양소 소화율 (Nutrient digestibility)

카사바 부산물의 첨가가 자돈의 영양소 소화율에 미치는 영향을 표 46에 나타내었다. 본 실험에 있어서 조단백질 (crude protein)의 소화율은 카사바 첨가량이 높을수록 증가하였으며 (linear effect, $P < 0.01$), C10 처리구와 C15 처리구가 다른 처리구에 비해 높은 소화율을 나타내었다 ($P < 0.01$). 조지방 (crude fat)의 소화율도 카사바 첨가량이 높을수록 증가하였으며 (linear effect, $P < 0.01$), Control 처리구가 가장 낮은 지방 소화율을 나타내었다 ($P < 0.01$). 질소 섭취량은 카사바 부산물의 첨가가 증가할수록 증가하였으며 (linear effect, $P < 0.01$), Control 처리구에서 가장 질소 섭취량이 적었다 ($P < 0.01$). 분 내 질소의 함량은 C10 처리구와 C15 처리구에서 가장 낮았으며 ($P < 0.05$), 뇨 내 질소의 함량은 Control 처리구에서 가장 낮았고 ($P < 0.05$), 질소 축적률은 카사바를 5% 첨가한 처리구에서 가장 낮았다 ($P < 0.01$). 전체적인 영양소 소화율 실험 결과 카사바 부산물 첨가량을 증가시킬수록 조단백질, 조지방 및 조회분 소화율이 향상되는 것으로 나타났으며, 질소 축적율의 경우 C5 처리구 외에서는 카사바 부산물 첨가량 증가에 따라 특별한 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 사양 실험 결과 카사바 부산물 첨가에 따라 사료섭취량이 줄어들 수 있는 것으로 나타났지만, 영양소 소화율에서 오히려 증가효과가 나타나 전반적으로 성장 성적을 만회할 수 있었던 것으로 사료된다.

표 46. 이유자돈 사료 내 카사바 부산물의 첨가가 이유자돈의 영양소 소화율에 미치는 영향¹

Criteria	Control	C 5	C 10	C 15	SEM ²	P-value	
						Linear	Quadratic
Apparent nutrient digestibility, %							
Dry Matter	87.24	86.25	87.23	86.68	0.29	0.81	0.75
Crude protein	83.17 ^B	82.76 ^B	85.01 ^A	86.23 ^A	0.46	0.01	0.15
Ash	53.71	48.17	59.36	58.73	2.09	0.20	0.58
Crude fat	66.66 ^B	76.19 ^A	82.96 ^A	82.60 ^A	2.10	0.01	0.12
Nitrogen retention ³ , g/day							
N-intake	5.79 ^D	6.00 ^C	6.17 ^B	6.25 ^A	0.04	0.01	0.01
N-Feces	0.97 ^{ab}	1.03 ^a	0.92 ^{bc}	0.86 ^c	0.02	0.01	0.07
N-urine	1.24 ^B	1.80 ^A	1.71 ^A	1.65 ^A	0.06	0.01	0.01
N-retention	3.56 ^A	3.16 ^B	3.53 ^A	3.73 ^A	0.06	0.04	0.01

¹ Sixteen pigs were used from an average initial BW of 8.79 ± 0.36 kg

² Standard error of mean.

³ N retention = N intake (g) - Fecal N (g) - Urinary N (g)

^{ABCD}Mean within row with different superscripts differ, $P < 0.01$

^{abc}Mean within row with different superscripts differ, $P < 0.05$

다. 설사 빈도 (Diarrhea incidence)

카사바 부산물의 첨가가 자돈의 설사빈도에 미치는 영향을 표 47에 나타내었다. 일반적으로, 이유 후 급격한 환경의 변화와 수송 스트레스, 사료교체에 따른 영양 스트레스 등으로 인하여 이유 초기에 자돈 설사가 많이 발생한다 (Van der Poel 등, 1989). Kil 등 (2004)은 이유 시 갑작스런 사료 및 환경변화에서 오는 스트레스로 인하여 장내 미생물 균총에 영향을 주어 심각한 설사가 발생한다고 보고하였으며, Pluske 등(1997) 연구에 의하면, 자돈은 이유로 인해 소화기관의 구조와 기능의 변화가 일어나는데, 이는 병원성 미생물인 장관독소를 생산하는 대장균의 소화 기관 내 감염으로 설사가 유발된다고 보고하였다. 본 실험에서는 이유 후 각각의 구간에서 시기적으로 차이는 있었지만 전체 실험 기간 동안의 설사 빈도에서는 처리구별 차이가 나타나지 않았다. 전체 실험 기간 동안 수양성 정도를 파악해서 설사 빈도를 수치화했지만 명확히 설사라고 할 정도로 관련 증상을 보이는 개체는 없었다. 이에 따라 자돈 폐사 또한 없었고, 카사바 섭취에 따른 영향 또한 거의 나타나지 않은 것으로 사료된다. 한 가지 주목할 점은 설사가 가장 빈번하게 발생하는 0-2주 구간에서 Control 처리구에 비해 카사바 부산물을 5% 첨가한 C5 처리구가 낮은 수양성 분 출현률을 나타냈다는 것이다. 이 시점이 가진 시기적인 의미, 성장 성적 및 영양소 소화율 실험 결과 등을 함께 고려할 때 카사바 부산물을 5% 가량 첨가할 경우 이유 자돈의 생리적인 부분에 대한 악영향 없이 초기 자돈 설사 발생률을 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

표 47. 이유자돈 사료 내 카사바 부산물의 첨가가 이유자돈의 설사빈도에 미치는 영향¹

Criteria	Control	C5	C10	C15	SEM ²	P-value	
						Linear	Quadratic
설사빈도							
0-2 week	2.61 ^{AB}	2.37 ^C	2.64 ^A	2.47 ^{BC}	0.17	0.55	0.55
2-4 week	1.95 ^{AB}	2.10 ^A	1.82 ^B	1.88 ^B	0.10	0.07	0.39
4-6 week	0.78 ^B	1.01 ^A	0.79 ^B	1.06 ^A	0.06	0.005	0.65
0-6 week	1.79	1.83	1.75	1.80	0.07	0.97	0.95

¹ A total of 128 crossbred pigs was used from average initial body weight $7.98 \pm 0.83\text{kg}$ and the average of final weight was 24.88kg.

² Standard error of mean.

^{ABC} Mean within row with different superscripts differ, $P < 0.01$

라. 분 내 미생물 균총 (Intestinal microflora)

카사바 부산물의 첨가가 자돈의 설사빈도에 미치는 영향을 표 48에 나타내었다. 일반적으로 대장균성 설사의 작용기전은 대장균이 장의 용모에 균락을 형성한 후 독소를 생성하고 그 독소를 감지한 자돈의 소화기관은 연동운동을 통하여 빨리 배출하려고 하며, 장액을 분비하면서 액상의 설사를 하게 되는 것으로 알려지고 있다. Nabuurs (1998)의 연구에 의하면, 분비성 설사를 일으키는 *E. coli*나 *Salmonella*와 같은 독소 생성 미생물들은 소장 내 crypt cell에서 수분 분비를 증가시키는 역할을 하여 설사를 유발시킨다고 한다.

실험 결과, phase 1 단계에서 카사바의 첨가 수준이 높아질수록 대조구에 비해서 유해균인 *Salmonella*와 *E.coli*가 유의적으로 높은 것으로 나타났다 ($P<0.05$). 이러한 경향은 phase 2와 phase 3에서도 발견되어 카사바 부산물의 15% 첨가 수준은 자돈의 설사방지를 하지 못하는 것으로 사료된다. 모든 처리구 중에서 유일하게 C5 첨가 수준의 경우 phase 2 구간에서 Control 처리구에 비해 낮은 *Salmonella* 균수를 나타냈으며, 전반적으로 다른 첨가 수준에 비해 Control 처리구에 비해 뒤지지 않는 수를 나타냈다.

표 48. 이유자돈 사료 내 카사바 부산물의 첨가가 이유자돈의 분 내 미생물 균총에 미치는 영향¹

Criteria	Control	C5	C10	C15	SEM ²	P-value	
						Linear	Quadratic
Initial (cfu/ml)							
<i>Salmonella</i>	4.91	4.91	4.91	4.91	—		
<i>E.coli</i>	5.64	5.64	5.64	5.64	—		
Lactobacillus	6.70	6.70	6.70	6.70	—		
Phase 1 (cfu/ml)							
<i>Salmonella</i>	3.90 ^c	4.14 ^{bc}	5.29 ^a	4.94 ^{ab}	0.18	0.01	0.32
<i>E.coli</i>	4.27 ^C	5.12 ^B	5.90 ^A	5.13 ^B	0.18	0.01	0.01
Lactobacillus	8.23 ^A	8.06 ^A	6.56 ^B	6.93 ^B	0.22	0.01	0.33
Phase 2 (cfu/ml)							
<i>Salmonella</i>	3.99 ^A	3.24 ^B	4.50 ^A	4.50 ^A	0.17	0.01	0.11
<i>E.coli</i>	3.84 ^B	4.16 ^B	4.47 ^B	5.84 ^A	0.24	0.01	0.11
Lactobacillus	8.09 ^A	8.10 ^A	6.36 ^C	6.86 ^B	0.20	0.01	0.03
Phase 3 (cfu/ml)							
<i>Salmonella</i>	2.94	3.21	3.58	4.07	0.16	0.02	0.72
<i>E.coli</i>	3.84	4.01	4.14	4.14	0.16	0.36	0.73
Lactobacillus	8.04 ^A	7.48 ^B	7.13 ^{BC}	6.77 ^C	0.14	0.01	0.53

¹ A total of 128 crossbred pigs was used from average initial body weight 7.98 ± 0.83 kg and the average of final weight was 24.88kg.

² Standard error of mean.

^{ABC}Mean within row with different superscripts differ, $P<0.01$

^{abc}Mean within row with different superscripts differ, $P<0.05$

마. 분변 내 휘발성 지방산 (Fecal volatile fatty acid) 농도

카사바의 수준별 첨가가 직장 내 휘발성 지방산 농도에 미치는 영향을 표 49에 나타냈다. 휘발성 지방산은 대장 내 유용미생물에 의해 생성되는 물질로서 동물 체내에서 재흡수되어 에너지원으로 사용될 수 있는 대사물질이다. 이 VFA 농도는 역으로 미생물 우점 상태를 예측할 수 있는 기준이 되기도 한다.

실험 결과, 대부분의 휘발성 지방산 함량에서 동일하게, C5 처리구의 경우 Control 처리구에 비해 높은 함량을 나타냈으며, C10은 Control 처리구와 동일한 수준을, C15 처리구의 경우 Control 처리구에 비해 낮은 함량을 나타냈다. 관련하여 카사바 부산물 첨가량에 따른 linear response 및 quadratic response도 나타났으며, 총 VFA 함량도 처리구마다 큰 차이를 나타냈다. 위에서 성장 성적, 영양소 소화율 및 설사 빈도 실험 결과를 분석해 보면 C5 처리구가 Control 처리구에 비해 여러 측면에서 개선된 경향을 나타낸 경우가 많았다. 휘발성 지방산 분석 결과도 동일하게 C5 처리구가 개선된 VFA 함량을 가지는 것으로 나타났으며, 추가적으로 첨가 함량이 높아질 경우 오히려 문제를 발생시킬 수 있는 것으로 사료된다.

표 49. 카사바의 수준별 첨가가 직장 내 휘발성지방산 농도에 미치는 영향^{1,2}

Criteria	Control	C5	C10	C15	SEM ³	P-value	
						Linear	Quadratic
Rectal VFA (mmol/ml)							
Acetate, C ₂	69.87 ^{ab}	103.97 ^a	68.47 ^{ab}	42.32 ^b	7.40	0.03	0.02
Propionate, C ₃	17.79 ^{AB}	28.42 ^A	19.29 ^{AB}	12.16 ^B	2.05	0.04	0.07
Iso-butyrate, Iso-C ₄	3.07 ^{ab}	4.54 ^a	3.77 ^a	1.91 ^b	0.33	0.03	0.10
Butyrate, C ₄	6.06	10.15	8.65	2.34	1.26	0.13	0.32
Iso-valerate, Iso-C ₅	4.12 ^{ab}	5.97 ^a	4.92 ^a	2.31 ^b	0.46	0.03	0.08
Valerate, C ₅	2.12	3.09	2.68	1.51	0.24	0.09	0.31
Total VFA	103.3 ^{ab}	156.13 ^a	107.78 ^{ab}	62.55 ^b	11.03	0.03	0.03

¹ Least squares means for four pigs/treatment in an individual pen.

² All pigs, average body weight 15.74 ± 1.03 kg, were anatomized at d 35 of experiment.

³ Standard error of means.

^{abc} Values with different superscripts in the same row are significantly (P<0.05).

^{ABC} Values with different superscripts in the same row are significantly (P<0.10).

바. 혈액 성분 (Blood urea nitrogen, creatinine, IGF-1)

자돈 사료 내 카사바 부산물의 첨가가 이유자돈의 BUN (blood urea nitrogen), creatinine과 IGF-1에 미치는 결과에 대해서 표 50에 나타내었다. 혈중 내 BUN의 농도는 사료 내 단백질의 공급과 연관이 있으며 체내에서는 식이아미노산과의 관계와 부의 상관관계 (negative correlation)를 갖는다 (Eggum, 1970). 그래서 BUN의 농도는 체내의 단일 아미노산과 단백질 요구량의 지표로 사용되어 왔다 (Cai 등, 1996; Taylor 등, 1982; Coma 등, 1995). 본 실험의 Phase 1이 종료된 시점에 측정한 혈액분석 결과, 자돈 사료 내 카사바 부산물의 첨가수준이 높아질수록 BUN의 농도가 linear하게 낮아지는 경향을 보였다 ($P=0.09$). 혈중 BUN 함량이 낮다는 것은 단백질 이용 효율이 높다는 것을 의미하므로 카사바 부산물 첨가에 따른 linear response가 나타난 단백질 소화율의 실험 결과가 일치하는 경향을 나타냈다.

일반적으로 크레아티닌은 주로 뇌와 근육에 존재하는 고에너지인산과 크레아틴의 화합물인 크레아틴 인산의 최종 분해산물이며 체내에서 일정한 속도로 생산된다. 이들 크레아티닌은 체내 근육에서만 생성되며 콩팥을 통하여 배설된다. 크레아티닌의 혈중 적정 양은 5.0 ~ 1.3 mg/dl로 모든 처리구에서 정상수준을 보였다. 하지만 본 실험의 종료일에 측정한 혈액 분석 결과, 카사바를 가장 많이 첨가한 C 15 처리구의 크레아티닌 농도는 다른 처리구들에 비해서 유의적으로 낮게 나타났다 ($P<0.05$). C 15 처리구의 수치적으로 낮은 크레아티닌의 농도는 실험개시 후부터 지속적으로 나타났다. 그러므로 카사바 부산물을 이유자돈 사료 내 15%까지 첨가하는 것은 자돈의 성장에 다소 부정적인 영향을 미칠 수도 있을 것으로 사료된다.

IGF-1은 성장호르몬의 자극에 의해 분비되며 조직의 성장과 분화에 관여하여 성장이 필요한 세포에 에너지를 공급하는 역할을 한다. 게다가 가장 중요한 기능으로 심혈관계의 구조와 기능의 조절과 뼈의 성장에도 매우 중요한 역할을 한다 (Bayes-Genis, 2000). 실험 전 구간에 걸쳐서 IGF-1의 혈중 농도는 처리구간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 결과적으로 자돈 사료 내 카사바 부산물의 첨가는 혈액 내 IGF-1 함량에 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

표 50. 이유자돈 사료 내 카사바 부산물의 첨가가 이유자돈의 혈액성상에 미치는 영향¹

Criteria	Control	C5	C10	C15	SEM ²	P-value	
						Linear	Quadratic
Initial							
BUN	9.4	9.4	9.4	9.4	—	—	—
Creatinine	0.9	0.9	0.9	0.9	—	—	—
IGF-1	60.0	60.0	60.0	60.0	—	—	—
Phase 1							
BUN	17.8	15.5	15.2	12.7	0.87	0.09	0.96
Creatinine	0.6	0.6	0.6	0.5	0.03	0.37	0.73
IGF-1	93.1	87.0	101.9	94.5	8.63	0.82	0.97
Phase 2							
BUN	15.7	12.9	12.7	16.9	0.86	0.68	0.06
Creatinine	0.7	0.7	0.8	0.6	0.04	0.52	0.47
IGF-1	107.7	120.3	149.0	77.6	9.80	0.48	0.04
Phase 3							
BUN	13.7	13.0	10.7	13.0	0.51	0.26	0.12
Creatinine	0.7 ^a	0.7 ^{ab}	0.8 ^a	0.6 ^b	0.03	0.15	0.06
IGF-1	95.8	112.1	151.8	117.4	9.77	0.27	0.23

¹ A total of 128 crossbred pigs was used from average initial body weight 7.98 ± 0.83 kg and the average of final weight was 24.88kg.

² Standard error of mean.

^{ab}Mean within row with different superscripts differ, $P < 0.05$

제 7 절 사료의 원료, 영양소 함량 및 가공을 통한 자돈 설사 방지 기술의 개발과 무항생제 사료 생산가능성 제시

제 1 항 서론

지금까지 비전통 자돈사료자원을 이용한 식이 섬유 공급, 사료가공 및 영양소 함량 조절을 통한 자돈 설사 방지 기술 개발 실험 결과를 살펴보았다. Sugar beet pulp를 섬유소 공급원으로 이유자돈에게 급여한 실험 결과, 8% 가량 급여할 경우 성장 성적을 항생제를 사용하지 않고도 개선시킬 수 있으며, 장내 유해 미생물인 *Escherichia coli* K88+의 균수를 줄이는 효과가 있는 것으로 나타났다. 이 밖에 질소축적을, 크레아티닌 및 분변 내 휘발성 지방산에 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 효과적인 항생제 대체제로서 사용될 수 있는 가능성을 보여주었다. 효소제를 추가적으로 첨가한 2년차 실험에서는 효소제를 첨가할 경우 사양 성적이 개선되는 경향이 있는 것으로 나타났으며, 효소제 첨가에 따른 자돈 설사 감소 효과 또한 검증되었다. 추가적으로 자돈의 형태학적 발달 또한 성장에 적합하게 개선되는 것으로 나타났으며, 유용 미생물의 우점을 증가시켜 장내의 미생물 환경을 긍정적으로 변화시키는 효과 또한 있는 것으로 나타나, 섬유소 공급원과 효소제를 함께 급여할 시 성장 성적을 개선시킬 수 있는 가능성을 확인하였다. 가공을 통한 차이를 살펴본 다음 실험에서는 결론적으로 특별하게 비용이 발생하는 가공처리를 한다고 하여도 성장성적이나 영양소 소화율을 획기적으로 개선하지는 못하는 것으로 나타났으며, 소장의 발달이 미흡한 이유자돈 초기에는 영향을 미칠 수 있으나 이후에는 특별한 영향을 미치지 못하는 경향이 발견되었다. 이 밖에도 사료의 가공 형태에 따라 개선될 수 있을 것으로 예상되었던 여러 항목에서도 역시 동일한 수치를 나타내 가공 처리 사용에 재고가 필요한 것으로 사료되었다. 다음으로는 단백질 제한 실험을 수행하였는데, 그 결과 수준을 제한함에 따라 체중이 감소되는 경향이 나타났지만 기존보다 단백질 함량을 2% 낮춘 P2 처리구의 경우 대조구와 비교하여 차이가 없었다. 여기에 추가적으로 다른 항목에서도 특별한 차이를 나타내지 않아 이유 자돈 사료 내에 단백질 수준을 기존보다 일정함량 낮춰도 자돈의 성장성적에 악영향을 미치지 않으며 사료비를 절약할 수 있는 것으로 나타났다. 마지막으로 카사바 부산물을 급여한 실험에서는 첨가량이 증가함에 따라 사료섭취량이 감소되는 경향이 나타났으나, 성장 성적에는 차이가 없었고, 5% 정도 첨가한 첨가구의 경우 대조구에 비해 개선된 VFA 생성량, 영양소 소화율 및 초기 설사 발생률 등을 나타내 자돈의 초기 설사 발생을 줄일 수 있는 가능성을 보여주었다.

본 절에서는 이러한 3년간의 실험 결과를 바탕으로 자돈의 성장을 촉진시키고, 설사를 방지할 수 있는 방안에 대하여 종합적으로 검토해보았고, 현 시점의 사료가격을 토대로 경제성을 분석해 보았다.

제 2 항 실험 방법 및 재료

가. 자돈의 설사 방지 및 성장 촉진을 위한 무항생제 사료 생산 방안 제시

선행 실험 결과를 바탕으로 자돈의 설사 방지 및 성장 촉진을 위한 무항생제 사료 생산 방안을 제시하였다. 해당 실험 기간 구획에 따라 phase 별로 사료 원료의 적정 첨가량 및 가공 방법 등을 제시하였으며, 현재 일반적인 사료 회사에서 항생제 금지에 대한 대항마로 사용되고 있지만 본 실험에서는 특별하게 효과가 나타나지 않은 항목들을 따로 분류해 보았다. 이러한 항목들은 특별한 효능 없이 사료비를 높이는 원인이 될 수 있으므로 본 항의 결과는 일선 사료회사 및 양돈 농가에 관련하여 지침으로 사용될 수 있을 것으로 보인다.

나. 경제성 분석

제시된 방안을 바탕으로 경제성 분석을 진행하였다. kg당 원료사료 가격을 이용하여 각각의 실험 사료 kg당 가격을 산정하였으며, 이를 바탕으로 총 실험기간 동안의 실험 처리구당 사료 가격을 결정하였다. 여기에 사료 요구율 (F:G ratio)을 곱하여 kg 증체당 사료 가격을 구하였으며, 단미사료협회의 통계자료를 인용하여 국내 양돈 산업 전반에 해당 연구 결과가 효과적으로 적용됐을 경우의 경제적 파급 효과를 결정하였다.

다. 연구 성과의 학술지 게재와 상품화 및 품질관리방안 검토

연구 결과를 논문화하여 양돈 산업에 있어 문제가 되는 자돈의 설사를 감소시킬 수 있는 방안으로서 활용될 수 있도록 한다. 연구의 결과가 학술적인 자료로서 제시되도록 할뿐만 아니라 각 모델에 대한 경제성분석을 바탕으로 실제 자돈 사료생산 현장에서 적용할 수 있는 생산방법에 대해 고찰하였다.

제 3 항 연구 결과 및 고찰

가. 자돈의 설사 방지 및 성장 촉진을 위한 무항생제 사료 생산 방안

본 연구과제에서 진행했던 실험 결과를 바탕으로 자돈의 설사 방지 및 성장 촉진을 위한 무항생제 사료 제안 모델을 아래 표 51, 52, 53 및 54에 제시하였다. 표 51은 섬유소 첨가원으로서의 자돈 사료내 sugar beet pulp 모델을 표시한 것으로 8% 첨가 수준에서의 사료 포물라 지침이다. 해당 지침을 이용할 경우 기대할 수 있는 효과는 설사 유발 인자이며 장내 유

해 미생물의 일종인 *Escherichia coli* K88+의 균수를 저감시키는 것이다. Sugar beet pulp는 이유 자돈의 장내에서 유용 미생물의 기질로서 작용하여 우점을 돕고, 유해 미생물이 장내에 부착할 수 있는 site를 선점하여 장내에서 활동하지 못하도록 억제시키는 작용을 한다. 실험 결과, 실질적으로 유해 미생물 균수가 줄어드는 경향을 나타냈고, 이유 자돈의 성장 및 다른 생리적 요인에도 특별한 악영향을 미치지 않는 것으로 나타나 항생제 대체제로서 사용될 수 있는 가능성을 보여주었다. 표 52에는 자돈기 효소제 첨가 모델 및 적정 첨가 수준을 제시하였다. 실제 실험에 사용된 효소제 첨가 수준은 0.5, 1.0 및 1.5% 였지만 0.5% 수준에서도 충분히 효과를 보이는 것으로 나타났다. 해당 enzyme complex는 원료 사료로 사용된 보리의 구성성분인 xylan과 β -glucan을 분해할 수 있는 효소로 주로 구성되어 있었으며, 이를 이용하여 진행된 실험 결과, 섬유소원 공급 효과 및 효소제의 추가적인 보충작용으로 인해 영양소 소화율 저하 없이 자돈의 설사 및 소장 발달을 효과적으로 개선시킬 수 있는 것으로 나타났다. 본 절에 제시된 효소제 모델 외에 다른 식이 섬유소 공급원의 경우에도 표적 효소제 첨가를 통해 영양소 소화율을 개선한다면 또 다른 효과적인 자돈 설사 방지 모델로 사용될 수 있을 것으로 예상된다. 표 53은 단백질 수준 제한 모델로서, 자돈기의 각 phase의 단백질 요구량을 모두 2%씩 저감시킨 개선안이다. 일반적으로, 성장에 악영향을 미칠 것을 우려하여 단백질 비율을 요구량에 비해 높게 주는 경향이 있었는데, 실험 결과 2% 정도 기준에 비해 단백질 수준을 저하시켜도 이유 자돈의 성장성적에 악영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 영양소가 과다 섭취될 경우 체내에 효과적으로 흡수되지 못한 영양소가 체외로 배출되어 설사를 유발시키는 요인이 될 수 있다는 선행 실험의 결과를 감안하였을 때 해당 제안 모델은 이유 자돈 설사 저감의 또 다른 방안으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 표 54에는 카사바 부산물 첨가 모델을 제시하였다. 카사바는 기본적으로 저항 전분을 높은 함량 포함하고 있기 때문에 VFA 조절 및 소화물의 통과 속도를 조절하는데 탁월한 효과가 있는 것으로 일반적으로 보고되고 있다. 본 연구과제에서도 카사바 첨가에 따른 성장 정체가 특별히 발견되지 않았고, 영양소 소화율의 경우 개선되는 경향을 나타냈다. 이 밖에도, 5% 첨가 수준에서는 대조구에 비해 개선된 VFA 생성량 및 초기 설사 발생률을 나타내 자돈의 설사 방지 모델로서 사용될 수 있는 가능성을 보여주었다.

위의 각 모델의 내용을 종합적으로 양축농가에서 적용하기 위한 사료를 생산하기 위해서는 사용된 각 원료 및 처리의 특징을 함께 적용하였을 때, 자돈의 성장에 대해 어떠한 영향을 미치는지 검증될 필요가 있다. 한편, 위의결과의 내용을 바탕으로 분석한 결과, 기본적으로 자돈의 phase 별로 나누어 적용할 수 있다. 먼저, 5%의 카사바 부산물을 첨가한 경우 자돈기 전체기간의 성장성적에서 크게 영향이 나타나지 않았으나 0-2주 phase I 시기에 적용하면, 낮은 수양성 분 출현율을 나타내어 자돈의 이유초기에 설사발생을 감소시킬 것으로 예상된다. 그리고 3-5주의 경우에는 sugar beet pulp 8%를 첨가한 모델의 경우 사료 내 항생제를 첨가한 처리구와 동등한 성장성적을 나타낸 결과로 미루어 보았을 때, phase II에 적용가능할 것이다. 게다가 sugar beet pulp에 섬유소가 함유된 특징을 고려하였을 때, NSP를 분해할

수 있는 0.05% 수준의 효소제를 첨가하여 적용한다면, phase II의 자돈의 영양소 이용성은 더욱 증가할 것으로 예상된다.

표 51. 섬유소 첨가원으로서의 sugar beet pulp 모델 (자돈기 8% 첨가)

Ingredients	Phase I (1-2 wk)	Phase II (3-5 wk)
Corn-wheat	16.12	32.63
Corn Ext	17.00	10.00
Wheat flour	10.67	10.67
Full fat soya	10.00	10.00
SBM (dehull)	17.25	17.07
Sugar beet pulp	8.00	8.00
Oat hull	-	-
White fish meal	2.50	0.83
Vegetable oil	3.60	3.60
Whey powder	12.27	-
MCP	1.07	1.40
Limestone	0.73	0.67
Salt	-	0.30
Cheese powder	-	4.00
DL-methionine	0.11	0.09
L-lysine	0.15	0.18
Threonine	0.06	0.06
Mineral-P ¹	0.20	0.20
Vitamin-P ²	0.20	0.20
Choline	0.07	0.11
Chemical composition		
NE, kcal/kg	2,552.00	2,546.00
Crude protein, %	20.28	20.04
Lysine, %	1.31	1.30
Crude fat, %	7.42	8.61
Crude fiber, %	3.86	4.18
Ca, %	0.80	0.76
P, %	0.73	0.74

¹ Provided per kilogram of complete diet: 12,000 IU vitamin A, 2,400 IU vitamin D₃, 60 mg vitamin E, 2.25 mg vitamin B₁, 5.7 mg vitamin B₂, 4.5 mg vitamin B₆, 0.036 mg vitamin B₁₂, 3.6 mg vitamin K₃, 27 mg pantothenic acid, 34.5 mg niacin, 0.19 mg biotin, 2.25 mg folic acid, 7.2 mg.

² Provided per kilogram of complete diet: 159.2 mg Fe, 126.8 mg Cu, 89.1 mg Zn, 31 mg Mn, 0.37 mg I, 0.33 mg Co, 0.17 mg Se.

표 52. 자돈기 효소제 첨가 모델 및 적정 첨가 수준 (0.05%)

Ingredients ¹	Phase I (1-2 wk)	Phase II (3-5 wk)
Corn	17.55	35.93
SBM-44	32.59	29.73
HP300 ²	7.83	3.22
Whey powder	3.30	-
Lactose	12.00	4.00
Barley	24.00	24.00
Soy-oil	0.04	0.78
MCP	1.02	0.89
Limestone	0.92	0.72
L-Lysine · HCl	0.13	0.14
DL-methionine	0.03	-
Vit. Mix ³	0.12	0.12
Min. Mix ⁴	0.12	0.12
Salt	0.10	0.10
Choline-Cl(25%)	0.10	0.10
ZnO	0.10	0.10
Enzyme complex	0.05	0.05
Chemical composition		
ME, kcal/kg	3,265.00	3,265.00
Crude protein, %	23.70	23.70
Lysine, %	1.35	1.35
Methionine, %	0.35	0.35
Ca, %	0.80	0.80
P, %	0.65	0.65

¹ Diets contained 0, 0.05, 0.10, 0.15% enzyme complex on an as fed basis and were fed *ad libitum* from d 14 to 35 of the experiment.

² HP300 (Hamlet protein, Horsens, Denmark)

³ Provided the following quantities of vitamins per kg of complete diet: vitamin A, 8,000 IU; vitamin D₃, 1,600 IU; vitamin E, 32 IU; D-biotin, 64 g; riboflavin, 3.2 mg; calcium pantothenic acid, 8 mg; niacin, 16 mg; vitamin B₁₂, 12 g; vitamin K, 2.4 mg.

⁴ Provided the following quantities of minerals per kg of complete diet: Se, 0.1 mg; I, 0.3 mg; Mn, 24.8 mg; Cu · SO₄, 54.1 mg; Fe, 127.3 mg; Zn, 84.7 mg; Co, 0.3 mg.

표 53. 단백질 수준 제한 모델 (기존 대비 2% 감소)

Ingredients	Phase I (1 wk)	Phase II (2-3 wk)	Phase III (4-5 wk)
EP Corn	26.87	36.78	47.36
SBM-44	30.26	28.40	22.18
HP300 ²	3.59	0.57	0.21
Lactose	3.21	8.00	2.00
Barley	12.00	22.72	24.48
Soy Oil	20.92	0.63	1.04
MCP	1.18	1.19	1.10
Limestone	0.90	0.77	0.65
L-Lysine	0.38	0.30	0.35
DL-met	0.15	0.10	0.09
Vit. Mix ³	0.12	0.12	0.12
Min. Mix ⁴	0.12	0.12	0.12
Salt	0.10	0.10	0.10
Choline-Cl(25%)	0.10	0.10	0.10
ZnO	0.10	0.10	0.10
Chemical composition⁵			
ME, kcal/kg	3,265.01	3,265.00	3,265.02
Crude protein, %	21.00	19.00	17.00
Lysine, %	1.35	1.15	1.05
Methionine, %	0.44	0.37	0.34
Ca, %	0.80	0.75	0.70
P, %	0.65	0.63	0.60

¹ Treatments: CON (NRC CP requirement), P2 (NRC CP requirement - 2%), P4 (NRC CP requirement - 4%), P6 (NRC CP requirement - 6%).

² HP300 (Hamlet protein, Horsens, Denmark)

³ Provided the following quantities of vitamins per kg of complete diet: vitamin A, 8,000 IU; vitamin D₃, 1,600 IU; vitamin E, 32 IU; D-biotin, 64 g; riboflavin, 3.2 mg; calcium pantothenic acid, 8 mg; niacin, 16 mg; vitamin B₁₂, 12 g; vitamin K, 2.4 mg.

⁴ Provided the following quantities of minerals per kg of complete diet: Se, 0.1 mg; I, 0.3 mg; Mn, 24.8 mg; Cu · SO₄, 54.1 mg; Fe, 127.3 mg; Zn, 84.7 mg; Co, 0.3 mg.

⁵ Calculated value.

표 54. 카사바 부산물 첨가 모델 (자돈기 5% 수준 첨가)

Ingredients	Phase I (1-2 wk)	Phase II (3-4 wk)	Phase III (5-6 wk)
Corn	18.14	21.51	54.58
SBM-44	40.40	35.38	30.81
Barley	15.07	24.19	5.48
Cassava residue	5.00	5.00	5.00
Soy-oil	1.51	2.39	1.66
Whey powder	2.00	1.00	1.04
Lactose	12.00	8.00	0.67
HP 300	3.00	-	0.16
MCP	1.09	1.07	0.06
Limestone	0.90	0.73	0.12
L-Lysine-HCL	0.13	0.11	0.12
DL-Met	0.12	0.08	0.20
Vit. Mix ¹	0.12	0.12	0.10
Min. Mix ²	0.12	0.12	0.12
Salt	0.20	0.20	0.10
Choline-Cl (25%)	0.10	0.10	0.10
ZnO	0.10	-	-
Chemical composition³			
ME, kcal/kg	3,265.05	3,265.23	3,265.06
Crude protein, %	23.70	21.00	19.00
Lysine, %	1.35	1.15	1.05
Methionine, %	0.44	0.37	0.34
Ca, %	0.80	0.75	0.70
P, %	0.65	0.63	0.60

¹ Provided per kg of diet : Provided per kg of diet : Vit A, 16,000IU; Vit D₃, 3,200IU; Vit. E, 35IU; Vit. K₃, 5mg; Rivo flavin, 6mg; Calcium pantothenic acid, 16mg; Niacin, 32mg; d-Biotin, 128ug; Vit.B₁₂, 20ug.

² Provided per kg of diet: Fe, 281mg; Cu, 288mg, 143mg; Mn, 49mg; I, 0.3mg; Se, 0.3mg.

³ Calculated value.

나. 자돈설사방지를 위한 사료모델별 경제성 분석

위에 제시된 여러 모델들을 기반으로 원료 사료 가격 및 각각 실험에서의 사료 요구율을 이용하여 경제성을 분석해 보았다 (표 55). 원료 kg 당 사료비는 주관 연구기관인 피그넷 코리아로부터 제공받았으며, 2012년 3월 사료가격 기준으로 설정하였다. 우선적으로 자돈기 각 phase에 따라 사료비를 따로 계산하였으며 (phase 기간의 차이를 모두 고려하였음), 결과값을 바탕으로 자돈기 총 기간동안의 kg당 평균 사료비를 산출하였다. 여기에 다시 각각 실험 결과 나온 사료 요구율을 곱해 kg 증체당 사료비를 구하였다. 자돈기 구간에 증체량을 20kg으로 산정하여 두당 20kg 증체하였을 경우 사료 수익을 계산하였으며, 농림수산식품부에서 발표한 통계자료 (2010년 연간 출하두수는 1462만두)를 바탕으로 해당 모델들을 국내의 모든 농가에 적용시켰을 경우 어느 정도의 수익을 거둘 수 있을지 추정해 보았다.

경제성 분석 결과, 4개의 제안 모델 중 카사바 부산물 모델의 경우 성장 성적에서의 차이가 크지 않아 kg 증체당 사료비에 차이가 없는 것으로 나타났다. 해당 모델의 경우 경제성 분석에서는 차이가 없었지만 VFA 생성량 및 영양소 소화율에서의 효과를 감안한다면 실험 환경보다 열악한 환경에서 추가적인 효과를 낼 수 있을 가능성이 있는 것으로 사료된다. 섬유소 첨가 모델을 사용 할 경우 kg 증체당 사료비를 34원 절감할 수 있는 것으로 나타났으며, 두당 680원, 국내 총 수익으로 계산할 경우 99억 4천만원의 수익을 올릴 수 있는 것으로 나타났다. 효소제 모델의 경우 kg 증체당 사료비를 25원 절감할 수 있는 것으로 나타났으며, 두당 500원 및 국내 총수익 환산 73억 1천만원의 사료비를 절약할 수 있는 것으로 나타났다. 마지막으로 단백질 제한 모델을 적용시킬 경우 kg 증체당 사료비를 55원, 국내 총수익 환산 160억원의 사료비를 절감할 수 있는 것으로 나타나 관련하여 자돈 구간의 사료비를 획기적으로 저감시킬 수 있을 것으로 예상된다.

본 경제성 분석 결과는 사료비와 성장 성적만을 가지고 산출된 것이다. 일반 농가의 경우 이유자돈 폐사율이 매우 높는데, 이러한 부분에 대한 영향을 추가적으로 계산할 경우 본 절에서 단순히 계산한 수익보다 몇 배의 추가적인 경제적 효과가 나타날 것으로 사료되며, 외국 양돈 선진국과의 FTA에 따른 자유 경쟁 체제에서 가격 경쟁력을 획득할 수 있는 계기가 될 수 있을 것이다.

표 55. 자돈설사방지를 위한 사료모델별 경제성 분석 결과

항목	섬유소 첨가 모델		효소제 모델		단백질 제한 모델		카사바 부산물 모델	
	대조구	시험구	대조구	시험구	대조구	시험구	대조구	시험구
kg당 사료비, 원								
Phase I	694	712	654	658	826	807	609	602
Phase II	584	589	552	555	552	535	557	551
Phase III	-	-	-	-	508	499	505	499
Total (자돈기 평균)	628	638	593	596	589	575	557	551
사료요구율	1.71	1.63	1.69	1.64	1.45	1.39	1.79	1.81
kg 증체당 사료비, 원	1,074	1,040	1,002	977	854	799	997	997
두당 사료 수익, 원	680		500		1,100		0	
국내 총 수익, 천원	9,941,600		7,310,000		16,082,000		0	

다. 연구 성과의 학술지게재와 상품화 및 품질관리방안 검토

현재 사료 내 항생제 첨가 금지로 인해 양돈 생산성이 위협받고 있는 상황이다. 우리나라보다 먼저 사료 내 항생제의 첨가가 금지된 나라들은 그 동안 이유 후 자돈의 설사의 발생을 감소시켰던 항생제를 대체하기 위한 후보들에 대한 연구가 활발하게 진행되고 실제 많은 논문들이 게재되어 있다. 항생제 대체물질로서 활발하게 연구되고 있는 후보는 생균제 (probiotics) 와 프리바이오틱스 (prebiotics)로 빠르게 상품화 되고 있으며, 여러 제품이 시중에 이미 나와 있는 상황이다. 그리고 새로운 후보로서 식물 추출물 (plant extracts)이나 허브 (herbs)에 대한 연구와 관심이 높아지고 있다. 하지만 설사방지를 위한 섬유소에 대한 연구도 각광받고 그 효과를 인정하는 바이지만 주로 높은 함량에 대한 실험들이 진행되었고, 대상을 임신돈으로 하는 연구가 대부분이다. 그리고 섬유소가 많은 원료인 sugar beet pulp나 카사바 (cassava)에 대한 연구는 부족한 편이며, 자돈설사 방지 목적으로서 제공된 섬유소의 이용성을 증진시키기 위한 효소제나 가공형태에 대한 내용은 부족한 상황이다. 그러나 연구 결과를 산업에 적용하려면 경제성을 고려해야 하기 때문에 섬유소의 첨가가 자돈의 설사방지 및 장 건강성에 도움이 되는 효과뿐만 아니라 적정 함량까지 제시될 수 있어야 한다. 이러한 면에서 이번 연구는 효과를 낼 수 있으면서 가장 경제적인 첨가 함량에 대한 결과로 논문화하여 해외 학술지에 게재하면 많은 일선의 회사들이 활용이 가능할 것이다. 본 연구에 대한 결과는 해외 학술지에 그 내용을 게재할 예정이며, 주관 연구기관인 피그넷 코리아는 무항생제 자돈사료 생산에 연구 결과를 적극 활용하고 일반 양돈농가에서도 자돈 설사 저감 방안과 관련하여 참고할 수 있도록 적용 배포할 예정이다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

본 연구는 양돈 사양농가의 자돈 폐사율 감소를 통한 양돈 경쟁력 향상의 일환으로 수행되었으며, 비전통 자돈사료자원을 이용한 식이 섬유 공급, 사료가공 및 영양소 함량 조절이 이유자돈의 성장 및 생리에 미치는 영향을 객관적으로 검증해 보았다.

한미 FTA가 2012년 3월부터 발효됨에 따라 국외의 양돈선진국과의 경쟁을 위한 국내 양돈농가의 경쟁력향상이 매우 시급한 현안이 되었다. 양돈생산성을 극명하게 보여주는 지표로서 MSY (Market pigs/sow/year, 모든 1두당 연간 출하두수)를 들 수 있는데, 2007년 기준 한국은 14.1두, 덴마크는 24.4두, 네덜란드는 24.6두였다. 또한 생산비의 지표인 도체중(kg)당 생산비는 2008년 기준, 한국은 3,800~4,200원, 덴마크는 2,927원, 네덜란드는 2,875원이었다. 단순히 통계 수치만 보아도 현재 국내 양돈생산성은 유럽의 양돈선진국들에 비하여 60% 정도이고, 생산비는 30% 이상 높은 실정이다. 이와 같은 현상이 발생하는 이유로는 여러 가지를 들 수 있겠지만 특히 항생제 사용 금지에 따른 자돈기의 폐사율 증가가 큰 부분을 차지하고 있다. 돼지에 있어서 이유와 더불어 자돈기의 관리는 폐사율과 직결되며, 이는 이후 복당 출하두수 (MSY)에 지대한 영향을 미친다. 특히 현재 양돈 농가에서는 체감 폐사율이 30%가 넘는다고 보고되고 있으며, 이는 이유자돈의 소모성 질병, 즉 4P (PED, PRRS, PRDC, PMWS)가 빈번히 발생하기 때문으로 추정된다. 돼지 소모성 질병의 주된 병변으로 설사를 들 수 있는데 이유자돈에 있어서 액상 사료 (모유)의 섭취가 고형 사료(사료)로 바뀌면서 발생하는 경우가 많으며, 이에 관해 병원성 미생물과 관련이 높다는 다양한 연구 결과가 보고되고 있다. 따라서 미생물에 의한 질병발생을 감소시키기 위해 다양한 연구와 노력이 시급한 실정이다.

현재 항생제 대체제로서 생균제 (probiotics), 효소제 (enzymes), 유기무기산제 (organic-inorganic acidifier), 식물 추출물 (plant extracts), 허브 (herbs), 비전분성다당류 (non-starch polysaccharides), 올리고당 (oligosaccharides), 뉴클레오타이드 (nucleotides), 비타민 (vitamin), 광물질 (mineral) 등 많은 종류의 물질들이 제시되었고, 검증실험이 수행되었지만 아직까지 명확하게 그 효능을 입증 받은 바가 없다. 이러한 상황에서 새롭게 자돈의 장내 미생물 균총에서 유용 미생물의 우점을 돕고 설사 발생을 효과적으로 줄일 수 있는 후보로서 식이섬유소의 공급이 새롭게 제시되고 있으며, 아직 명확한 검증 실험이 수행되지 않았다. 본 연구과제는 이러한 배경을 바탕으로 식이섬유소의 기능을 검증하였고, 추가적으로 기능 향상을 위한 방안을 실험해 보았다.

본 과제 중 1년차에는 자돈의 성장과 설사 방지에 적합한 섬유소 공급원을 선정하였으며, 선정된 섬유소 공급원의 적정 첨가량 및 항생제 대체 효과를 자돈의 성장, 영양소 소화율, 설사빈도 및 미생물 균총에 미치는 영향을 분석하여 검증해보았다. 섬유소 공급원은 원료의 수급 가능성, 가격 및 자돈에 미치는 영향 등 다양한 각도에서 분석하여 선정되었으며 최종 선정된 공급원은 sugar beet pulp, oat hull 및 cassava 였다. Sugar beet pulp는 돼지 사료로

사용하기에 너무 섬유소 함량이 높아 모든의 경우에만 제한적으로 사용되던 원료 사료였다. 하지만 최근에 보고된 바에 의하면 이유자돈에서 80~85% 이상의 소화율을 보인다는 보고도 있어 단위 동물 사료 내에서의 가치에 대한 재평가가 시급한 상태이다. Oat hull은 전분을 주 성분으로 하는 곡물 원료로서, 조단백질 함량이 약 11% 정도로 옥수수보다 높지만, 펠수아미노산 함량이 낮은 것이 특징이다. 지금까지 귀리는 역시 높은 섬유소 함량 때문에 모든의 경우에만 제한적으로 사용되어 왔고 최근에 귀리 내 성분중 하나인 β -glucan의 여러 긍정적인 효과가 밝혀지면서 새로운 원료로서 각광받고 있다. 마지막으로 cassava는 타피오카 또는 만디오카라고 불리는 열대성 근피류 식물로서, 단백질 등의 영양소 함량은 매우 낮으나 가용성 탄수화물 함량이 높아 값싼 에너지 공급원으로 새롭게 각광받고 있는 원료이다. 이 3가지 종류의 원료가 후보로 선정되었으며, 이를 바탕으로 추가 실험을 수행하였다. 28 ± 2 일령에 이윅한 평균체중 8.69 ± 0.45 kg의 삼원교잡종 ([Yorkshire \times Landrace] \times Duroc) 240두를 공시하여, phase I 2주, phase II 3주로 총 5주간 사양시험을 수행하였으며, 전체 6처리 5반복으로 돈방 당 8두씩 성별과 체중에 따라 난괴법 (RCBD; Randomized Completely Block Design)으로 배치하였다. 실험의 처리구는 다음과 같다 : 1) Negative Control (NC; Basal diet), 2) Positive Control (PC; Basal diet + antibiotic), 3) SBP2 (Basal diet + sugar beet pulp 2 % 첨가), 4) SBP8 (Basal diet + sugar beet pulp 8 % 첨가), 5) OH2 (Basal diet + oat hull 2 % 첨가), 6) OH8 (Basal diet + oat hull 8 % 첨가)였다. Sugar beet pulp와 oat hull의 첨가수준에 따른 섬유소 함량을 제외한 다른 모든 영양소의 함량은 처리별로 차이 없게 하였으며, NRC (1998) 사양표준 요구량보다 같거나 높게 설정하였다. 전 실험기간 (0~5 주)의 성장성적을 살펴보면 phase I, II에서 성장성적이 가장 높았던 PC처리구의 성장 성적이 역시 동일하게 가장 높았으며, 식이섬유를 첨가한 처리구들은 PC 처리구보다 일당 증체량이 낮게 나타났지만 NC 처리구보다는 높았고, sugar beet pulp를 8% 첨가한 SBP8 처리구의 경우 PC 처리구와 동등한 성장성적을 보였다 ($P < 0.05$). 일당 사료섭취량에서는 모든 처리구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 사료 요구율에 있어서는 PC 처리구와 SBP 8 처리구에서 가장 낮게 나타나 1kg 증체를 위한 사료요구량이 낮은 것으로 나타났으며, NC 처리구에서 가장 높은 사료요구율을 나타내었다. 식이섬유소 공급원간의 비교에서는 oat hull보다 sugar beet pulp를 첨가한 처리구의 일당증체량이 높게 나타났으나 첨가 수준 간 비교에서는 식이섬유소를 8% 첨가한 처리구들의 성장이 높게 나타났다. 대사 실험 결과, sugar beet pulp의 건물 (dry matter) 소화율이 oat hull에 비해 유의적으로 높은 수치를 나타냈으며, 첨가량에 따라 8% 첨가수준이 2%첨가 수준보다 낮은 영양소 소화율을 나타냈다. 조단백질 (crude protein) 소화율에서 또한 처리구 간 유의적인 차이가 발견되었으며, 섬유소원을 각각 8% 첨가한 첨가구들이 기타 처리구들에 비해 낮은 영양소 소화율을 보였다. 혈중요소태 질소 항목에서는 sugar beet pulp가 oat hull에 비해 5주차에서 유의적으로 낮은 수치를 나타냈고, sugar beet pulp를 8% 급여하였을 경우에 대조구에 비해 유의적으로 높은 혈중 인슐린 유사 성장인자 수치를 나타냈다. 해부 실험 결과, 맹장부위에서

sugar beet pulp를 2 및 8% 첨가한 처리구와 oat hull을 8% 첨가한 처리구의 *Escherichia coli* K88+ CT value가 낮게 나타났으며, 소장 내 형태학적 변화를 현미경으로 관찰한 결과 특별한 차이는 나타나지 않았다. 이 밖에도 질소축적율, 크레아티닌, 분변 내 휘발성 지방산 함량을 분석하였으나 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않아, 섬유소를 첨가하여도 해당 항목에 대하여 악영향을 미치지 않음을 검증하였다.

본 과제중 2년차 첫 번째 실험에서는 섬유소원이 첨가된 자돈 사료와 효소제의 첨가가 자돈의 사양성적, 혈액지표, 설사빈도, 장내 미생물 균총 및 영양소 소화율에 미치는 영향에 대하여 규명하였고, 추가적으로 사료의 물리적인 가공형태가 자돈의 사양성적, 혈액지표, 설사빈도, 영양소 소화율, 분변 내 VFA 및 미생물 조성에 미치는 영향에 대하여 검증하였다. 5주간의 사양실험을 위하여 24 ± 3 일령에 이유한 평균체중 7.30 ± 1.83 kg의 삼원교잡종 ([Yorkshire \times Landrace] \times Duroc) 이유자돈 140두를 5처리 7반복에 체중과 성별을 고려하여 난괴법 (Randomized Completely Block Design; RCBD)으로 돈방당 4두씩 배치하였다. 실험의 처리구는 다음과 같다 : 1) Negative Control (NC; Basal diet), 2) Positive Control (PC; Basal diet + 항생제 0.1 % 첨가), 3) A 처리구(Basal diet + 효소제 0.05 % 첨가), 4) B 처리구(Basal diet + 효소제 0.1 % 첨가), 5) C 처리구(Basal diet + 효소제 0.15 % 첨가)였다. 식이섬유원인 보리는 모든 처리구에 동등한 함량을 첨가하였고 다른 모든 영양소의 함량은 처리별로 차이없게 하였으며, NRC 사양표준(1998)에 따라 충족시켰다. 사양 실험 결과, 전 실험기간(0 - 5 주) 동안의 성장성적에서 PC 처리구와 효소제를 0.05 % 첨가한 A 처리구의 성장성적이 가장 높게 나타났으며, 효소제를 각각 0.1 %, 0.15 % 첨가한 B, C 처리구의 경우 성장성적이 앞의 두 처리구에 비해 낮게 나타난 것을 볼 수 있었다. 이에 반해 사료효율은 효소제의 첨가에 따라 개선되는 경향을 나타냈다 ($P>0.05$). 설사지수의 경우 2~5 주간의 설사빈도에 있어서는 모든 처리구간 통계적인 유의차가 나타나지 않았지만 효소제를 첨가한 처리구의 경우 0~2주간에 NC 처리구보다 높은 설사지수를 보였으며 ($P>0.05$), 효소제의 첨가수준에 따라 linear하게 개선되는 경향이 나타났다 ($P<0.05$). 해부 실험 결과, 처리간에 소장 용모의 높이, 용와의 길이, 그리고 그 비율에 있어 통계적으로 유의적인 차이를 보이지는 않았다($P>0.05$). 하지만 NC 처리구에 비해 효소제를 첨가한 처리구의 용모 : 용와의 비율이 quadratic 하게 증가하는 경향이 관찰되었다($P<0.05$). 장내 미생물 균총 분석결과 첨가수준에 따라 회장에서 *Lactobacillus casei* ($P<0.05$) 맹장에서 *Bacillus subtilis* ($P<0.05$)를 제외하고 처리구 간에 통계적으로 아무런 차이나 경향도 발견되지 않았다. 회장에서는 효소제를 0.2% 첨가한 C처리구를 제외한 A, B처리구가 NC, PC 처리구보다 대등하거나 낮은 CT-value를 보여 회장 내 *Lactobacillus casei*가 우점하고 있는 것을 볼 수 있었으며, 맹장에서도 마찬가지로 *Bacillus subtilis*가 회장 내 *Lactobacillus casei*에서의 결과와 비슷한 결과를 보였다. 유해 미생물인 *Escherichia coli* K88+의 경우 모든 처리구에서 최소 검출기준 수준보다 낮은 수준을 보여 장관 내 이들의 수는 매우 적은 것으로 나타났다. 이 밖에 추가적으로 측정된 혈중요소태질소, 크레아티닌 및 혈중 인슐린 성

장 유사인자 항목에서는 처리구간 특별한 유의적 차이가 나타나지 않았다.

본 과제중 2년차 두 번째 실험은 사료의 물리적인 가공형태가 자돈의 사양성적, 혈액지표, 설사빈도, 영양소 소화율, 분변 내 VFA 및 미생물 조성에 미치는 영향을 규명하기 위하여 수행되었다. 5주간의 사양실험을 위하여 28 ± 3 일령에 이유했던 평균체중 7.40 ± 1.15 kg의 삼원교잡종 ([Yorkshire \times Landrace] \times Duroc) 이유했던 288두를 3처리 6반복에 체중과 성별을 고려하여 난괴법 (RCBD : randomized completely block design)으로 돈방당 16두씩 배치하였으며, 실험 처리구는 다음과 같다 : 1) Crumble (섬유소 위주의 사료를 crumble 형태로 가공), 2) Mash (섬유소 위주의 사료를 mash 형태로 가공), 3) Crumble + mash (섬유소 위주의 사료를 crumble, mash 형태로 가공 뒤 혼합). 돈방 온도는 실험 개시 후 첫 일주일간은 30°C 를 유지하였으며, 매주 1°C 씩 낮추어 마지막 5주째에는 26°C 가 되게 하였다. 체중과 사료섭취량을 매주 측정하여, 일당증체량(Average daily gain; ADG), 일당사료 섭취량(Average daily feed intake; ADFI), 사료요구율(Feed:gain ratio; F:G ratio)을 구하였다. 사양 실험 결과, 실험 개시 후 14일, 35일 및 실험 전체 5 주간 일당증체량, 일일 사료 섭취량에 있어 어떠한 유의적 차이나 경향도 나타나지 않았다 ($P>0.05$). 유일하게 유의적 차이가 나타난 부분은 0~2 주까지의 사료 요구율로서 mash 처리구와 crumble + mash 처리구가 crumble 처리구에 비해 높은 사료효율을 보였다 ($P<0.05$). 영양소 소화율 실험결과, 건물(dry matter), 조단백질(crude protein), 조지방(crude fat), 조회분(curde ash), 조섬유(crude fiber)의 소화율에 있어 모든 처리구에서 어떠한 유의적인 차이도 발견되지 않았으며 ($P>0.05$), 장 내용물 통과속도에 있어서도 특별한 차이가 나타나지 않았다. 여기에 추가적으로 혈중요소태질소, 크레아티닌, 혈중 인슐린 성장인자, 분변 내 대장균 수 및 분변 내 휘발성 지방산 농도가 측정되었지만 사료의 물리적인 가공형태에 따른 특별한 경향을 나타내지 않았다.

본 과제중 3년차 첫 번째 실험에서는 단백질의 제한 급여가 자돈의 성장, 설사빈도 및 영양소 소화율에 미치는 영향에 관하여 규명하였으며, 추가적으로 전분질 사료 급여의 자돈의 성장, 설사빈도 및 영양소 소화율에 대한 효과 검증 실험 또한 수행되었다. 5주간 사양실험을 위하여 21 ± 3 일령에 이유했던 평균체중 7.68 ± 0.2 kg의 삼원교잡종([Yorkshire \times Landrace] \times Duroc) 이유했던 128두를 4처리 8반복에 체중과 성별을 고려하여 난괴법 (Randomized Completely Block Design; RCBD)으로 돈방당 4두씩 배치하였다. 모든 실험 돈은 돈방 당 4두씩 배치되었으며, 돈방은 반 콘크리트-슬롯 바닥($0.9 \times 2.4 \text{ m}^2$) 구조로 각각 하나의 사료 급이기와 니플 급수기가 설치되어있어 실험기간 동안 물과 사료를 자유 채식(*ad libitum*)토록 하였다. 실험의 처리구는 다음과 같다 : 1) Control (Basal diet, NRC requirement), 2) P2 (Basal diet 기준으로 CP수준 2% 제한), 3) P4 (Basal diet 기준으로 CP수준 4% 제한), 4) P6 (Basal diet 기준으로 CP수준 6% 제한)로 총 4가지의 처리구이다. 돈방 온도는 실험 개시 후 첫 일주일간은 32°C 를 유지하였으며, 매주 1°C 씩 낮추어 마지막 5주째에는 27°C 가 되게 하였다. 체중과 사료섭취량을 매주 측정하여, 일당증체량

(Average daily gain; ADG), 일당사료섭취량(Average daily feed intake; ADFI), 사료효율(Gain:feed ratio; G:F ratio)을 구하였다. 사양실험 결과 1주차 체중에서, 단백질 수준에 따른 quadratic effect가 나타났으며 (quadratic, $P<0.05$), 5주차의 체중결과에서는 사료 내 단백질 수준이 제한됨에 따라 체중이 감소되는 결과를 나타냈다 (linear, $P<0.01$). CON 처리와 P2 처리구의 체중 결과가 P4와 P6 처리구의 체중의 결과보다 유의적으로 높은 경향이 나타났으며 ($P<0.01$), phase II에서 P6 처리구가 다른 처리구에 비해 유의적으로 낮은 ADG 수치를 나타내었고 ($P<0.05$), 추가적으로 linear effect가 나타났다($P<0.01$). G:F ratio의 결과에서도 마찬가지로 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라서 linear하게 감소하는 결과를 나타냈고 (linear, $P<0.01$), ADG와 G:F ratio은 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라 함께 낮아지는 경향을 나타냈다 (linear, $P<0.01$). 마지막으로 CON 처리구와 P2 처리구의 성장 성적이 P4와 P6 처리구의 성장성적보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P<0.01$). 혈중 인슐린 유사 성장인자의 경우 실험 전 구간, 1주차와 5주차 (linear effect, $P<0.05$), 3주차(linear effect, $P<0.01$) 결과에서 단백질 수준이 증가함에 따라 혈중 내 IGF-1의 농도가 linear하게 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 단백질 수준의 제한이 혈중 인슐린 유사 성장인자의 농도 감소에 영향을 미치며 4%이상의 단백질 수준의 제한은 이유자돈의 성장에 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다. 영양소 소화율 실험 결과, 건물(dry matter)의 소화율은 단백질의 제한 수준에 따라 증가하였으며 (linear, $P<0.05$; quadratic $P<0.01$), P4 처리구가 다른 처리구에 비해 가장 높은 소화율을 나타내었다 ($P<0.01$). 반면에 조단백질(crude protein) 소화율은 사료 내 단백질의 함량이 감소함에 따라 감소하여 나타났으며 (linear effect, $P<0.05$), 조회분(curde ash) 소화율에 있어서는 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라 증가되는 경향이 나타났다 (linear effect, $P<0.05$; quadratic effect, $P<0.05$). 조지방(crude fat)의 소화율은 증가하는 경향을 나타내었으며 P4처리구의 조지방 소화율이 가장 높게 나타났다 (quadratic effect, $P=0.08$). 질소 축적률 결과에서는, 분 내 질소농도가 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라 감소하여 나타났으며 (linear effect, $P<0.05$), 측정된 뇨 내 질소농도도 사료 내 단백질 수준이 감소함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다 ($P=0.067$). 이 밖에 설사지수, 혈중 요소태질소 및 크레아티닌 항목이 측정되었지만 모든 처리구간에 유의적으로 통계적인 차이를 나타내지 않았다.

본 과제 중 3년차 두 번째 실험에서는 전분질 사료 급여의 자돈의 성장, 설사빈도 및 영양소 소화율에 대한 효과 검증 실험이 수행되었다. 6주간 사양실험을 위하여 28 ± 3 일령에 이 유한 평균체중 7.98 ± 0.83 kg의 삼원교잡종([Yorkshire \times Landrace] \times Duroc) 이유자돈 128두를 4처리 8반복에 체중과 성별을 고려하여 난괴법 (Randomized Completely Block Design; RCBD)으로 돈방당 4두씩 배치하였다. 모든 실험돈은 돈방 당 4두씩 배치되었으며, 돈방은 반 콘크리트-슬롯 바닥($0.9 \times 2.4 \text{ m}^2$) 구조로 각각 하나의 사료 급이기와 니플 급수기가 설치되어있어 실험기간 동안 물과 사료를 자유 채식(*ad libitum*)토록 하였다. 실험의 처리구는 다음과 같다 : 1) Con (대조구) : basal diet ; NRC (1998)의 요구량을

충족시키는 corn-soy bean meal based diet, 2) C 5 : basal diet + 카사바 5% 3) C 10 : basal diet + 카사바 10% 4) C 15 : basal diet + 카사바 15%로 총 4가지의 처리구이다. 돈방 온도는 실험 개시 후 첫 일주일간은 30 °C를 유지하였으며, 매주 1 °C씩 낮추어 마지막 6주째에는 25 °C가 되게 하였다. 체중과 사료섭취량을 매주 측정하여, 일당증체량 (average daily gain; ADG), 일당사료섭취량 (average daily feed intake; ADFI), 사료효율 (gain:feed ratio; G:F ratio)을 구하였다. 사양실험 결과 3-4주차의 일당증체량에서 카사바 부산물 첨가에 따라 성장이 정체되는 linear response가 나타났으며, 3-4주, 5-6주 및 0-6주간의 사료섭취량에서 카사바 부산물의 첨가량이 늘어날수록 수치가 줄어드는 linear response가 나타났다 ($P < 0.05$). 실험 전 기간 동안의 ADFI의 경우 카사바 부산물 사용량에 따라 영향을 받았지만 이 영향이 실험 전 기간 동안의 성장률 및 사료효율에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 설사빈도의 경우, 전체 실험 기간 동안에 명확히 설사라고 할 정도의 개체를 보이는 것은 없었다. 수양성 정도를 수치화 하였을 때, 카사바 섭취에 따른 영향이 크게 나타나지 않았으나 0-2주구간에서 Control 처리구에 비해 카사바 부산물 5%첨가한 C5 처리구가 낮은 설사빈도를 나타내었다. 혈중 크레아티닌 (creatinine)의 경우 실험 종료 시 카사바를 가장 많이 첨가한 C15 처리구의 크레아티닌 농도가 다른 처리구들에 비해서 유의적으로 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). C15 처리구의 수치적으로 낮은 크레아티닌의 농도는 실험개시 후부터 지속적으로 나타났다. 그러므로 카사바 부산물을 이유자돈 사료 내 15%까지 첨가하는 것은 자돈의 성장에 다소 부정적인 영향을 미칠 수도 있을 것으로 사료된다. 영양소 소화율 실험 결과, 조단백질 (crude protein)의 소화율은 카사바 첨가량이 높을수록 증가하였으며 (linear effect, $P < 0.01$), C 10 처리구와 C 15 처리구가 다른 처리구에 비해 높은 소화율을 나타내었다 ($P < 0.01$). 조지방 (crude fat)의 소화율도 카사바 첨가량이 높을수록 증가하였으며 (linear effect, $P < 0.01$), Control 처리구가 가장 낮은 지방 소화율을 나타내었다 ($P < 0.01$). 질소 섭취량은 카사바 부산물의 첨가가 증가할수록 증가하였으며 (linear effect, $P < 0.01$), Control 처리구에서 가장 질소 섭취량이 적었다 ($P < 0.01$). 분 내 질소의 함량은 C 10 처리구와 C 15 처리구에서 가장 낮았으며 ($P < 0.05$), 뇨 내 질소의 함량은 Control 처리구에서 가장 낮았고 ($P < 0.05$), 질소 축적률은 카사바를 5% 첨가한 처리구에서 가장 낮았다 ($P < 0.01$). 전체적인 영양소 소화율 실험 결과 카사바 부산물 첨가량을 증가시킬수록 조단백질, 조지방 및 조회분 소화율이 향상되는 것으로 나타났으며, 질소 축적율의 경우 C5 처리구 외에서는 카사바 부산물 첨가량 증가에 따라 특별한 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 분 내 미생물 균총 실험에서는 phase 1 단계에서 카사바의 첨가 수준이 높아질수록 대조구에 비해서 유해균인 *Salmonella*와 *E.coli*가 유의적으로 높은 것으로 나타났다 ($P < 0.05$). 이러한 경향은 phase 2와 phase 3에서도 발견되어 카사바 부산물의 15% 첨가 수준은 자돈의 설사 방지를 하지 못하는 것으로 사료된다. 모든 처리구 중에서 유일하게 C5 첨가 수준의 경우 phase 2 구간에서 Control 처리구에 비해 낮은 *Salmonella* 균수를 나타냈으며, 전반적으로 다른 첨가 수준에 비해 Control 처리구에 비해 뒤지지 않는 수를 나타냈다. 분 내 휘발성 지

방산 농도결과에서는 C5 처리구의 경우 Control 처리구에 비해 높은 함량을 나타냈으며, C10은 Control 처리구와 동일한 수준을, C15 처리구의 경우 Control 처리구에 비해 낮은 함량을 나타냈다.

종합적으로 보면, 1년차 연구 본 실험에서 증명된 섬유소 공급원은 sugar beet pulp 였고 8% 가량 급여할 경우 성장 성적을 항생제를 사용하지 않아도 개선시킬 수 있으며, 장내 유해 미생물 균총 수를 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 이는 설사 예방에 sugar beet pulp의 첨가가 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 여기에 추가적으로 현재 논란이 많았던 oat hull 원료의 경우 기존에 알려진 바와 같이 특별한 성장 개선 효과를 가지지는 못한 것으로 나타났고, 많은 함량 사용할 경우 영양소 소화율 등 여러 항목에 부정적인 영향을 미칠 수 있어 일선 사료회사에서 사용할 시 첨가 함량에 주의해야 할 것으로 보인다. 위 실험 결과를 활용하여 일반 사료회사 및 양돈 농가에서 자돈 사료 내 사용원료를 고려할 시 참고한다면 생산성을 향상시키는데 공헌을 할 수 있을 것으로 예상된다. 2년차 연구에서는 효소제를 섬유소원과 함께 첨가할 경우 사양 성적이 개선될 수 있다는 가능성이 검증되었으며, 효소제 첨가에 따른 자돈 설사 저감 효과 또한 검증되었다. 여기에 추가적으로 자돈의 형태학적 발달 또한 성장에 적합하게 개선되는 것으로 나타났으며, 유용 미생물의 우점을 증가시켜 장내의 미생물 환경을 긍정적으로 변화시킬 수 있다는 기존의 연구 결과 또한 검증되었다. 위 실험 결과는 자돈 설사 저감과 관련하여 기존에 섬유소원을 사용할 수 없었던 소화율 문제를 효소제를 통해 개선할 수 있다는 가능성을 보여주는 결과로 일선 사료회사에 배포되어 활용될 경우 자돈 설사로 인한 폐사율 증가와 관련하여 고통 받고 있던 일반 양돈 농가의 경제성 및 수익성을 획기적으로 개선시킬 수 있을 것으로 기대된다. 2년차 2번째 연구에서는 사료의 물리적인 가공형태에 따라 성장성적이나 영양소 소화율이 크게 개선되지는 못하는 것으로 나타났으며, 다른 항목에도 역시 특별한 영향을 미치지 않는다는 결과를 보였다. 지금까지 일반 사료회사에서는 소화율을 향상시킬 수 있다는 것을 계기로 사료 원료에 대한 추가 가공을 임의적으로 수행하고 있었다. 이는 사료 값을 상승시키는 원인중의 하나로 작용될 수 있으며, 현재 고 비용 사료의 원인이기도 하다. 가공처리를 하지 않은 경우에도 특별한 차이가 없다는 본 연구결과가 배포 될 시 이러한 무의미한 가공과정은 줄어들 것이며, 추가적으로 사료비를 낮추고, 일반 농가의 가격 경쟁력을 향상시킬 수 있는 토대가 될 것으로 예상된다. 3년차 첫 번째 실험에서는 기존보다 단백질 함량을 2% 정도 낮추어도 기존의 사료와 비교하여 성장에 특별한 차이를 나타내지 않았다는 결과를 얻었다. 단백질 공급 원료는 다른 사료 원료에 비해 월등히 높은 가격을 가지고 있어, 위 결과를 토대로 일정 부분 단백질 함량을 낮춘다면 추가적으로 사료비를 낮출 수 있을 것으로 예상된다. 그리고 3년차 두 번째 실험에서는 5%의 카사바의 첨가는 자돈의 성장정체를 유발시키지 않으며 장 내 VFA의 발생을 증가시켜 자돈의 설사방지효과를 나타낼 수 있는 가능성을 보였다. 이 결과는 자돈사료 내 항생제금지로 인해 발생할 수 있는 자돈설사발생을 감소시키는 데 카사바의 첨가가 효과적으로 사용될 수 있는 근거로 사용될 수 있을 것이다.

본 연구 과제의 실험 결과들은 하나의 가이드로서 일선 사료회사 및 일반 양돈 농가에 배포 될 예정이며, 일선 사료회사의 경우 해당 연구 내용들을 참고하여 배합 사료의 원료비를 낮추는데 활용하고, 일반 양돈 농가의 경우 자돈의 설사 방지에 적합한 사료를 구분하는데 도움이 될 수 있을 것으로 예상된다. 현재 일반 양돈 농가의 생산성이 악화된 원인으로는 일선 농가의 안일함을 들 수 있지만 이보다 더 크게 사료 및 관련 업계 종사자 모두의 부족함이 크다. 지금까지는 높은 돈가 덕분에 이러한 부분을 상쇄할 수 있었지만 양돈 선진국에서 수입되는 축산물의 관세가 완전히 철폐되는 시기가 도래한다면 관련 산업 모두가 큰 타격을 받게 될 것이다. 본 연구 결과는 이러한 상황에서 옥석을 가릴 수 있는 기준이 될 것으로 예상되며, 외국 양돈 선진국과의 가격 경쟁력 승부에서 우위를 점할 수 있는 기초가 될 것이다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구를 통하여 식이섬유 공급원의 선정 및 적정 첨가량이 설정되었으며, 고평가되었던 사료 가공방법과 단백질 수준 저감의 효율성에 대한 부분 또한 검증되었다. 본 연구과제에서 선정된 식이섬유소가 공급될 시 이유자돈의 성장 및 장내 미생물 군총에 유의한 영향을 미쳐 자돈의 설사 및 폐사율을 획기적으로 줄일 수 있을 것으로 예상되며, 일반 양돈 농가의 생산성을 개선시켜 외국 양돈 선진국과의 대결에서 살아남을 수 있는 기초가 될 수 있을 것으로 사료된다.

현재까지 식이 섬유소를 급여할 경우 자돈의 영양소 소화율을 낮출 수 있다는 연구결과가 여러 차례 보고되어 모든 경우를 제외하고 양돈 사료에서 일반적으로 사용되고 있지 않았다. 하지만 본 연구과제의 1년차 실험 결과 8%의 sugar beet pulp를 첨가할 경우 자돈의 성장에 크게 악영향을 미치지 않는 범위에서 미생물 군총을 효과적으로 개선시킬 수 있는 것으로 나타났고, 추가적인 설사 발생 개선 효과 또한 예상된다. 해당 실험 결과를 정리하여 일선 사료회사에 배포할 예정이며, 양돈 농가의 자돈 설사를 줄일 수 있는 방안 중의 하나로 활용될 수 있도록 조치할 계획을 가지고 있다. 추가적으로 2년차 과제에서 검증된 사항은 식이섬유소 공급원의 이용성을 높이기 위한 효소제의 첨가 및 사료 가공 방법이었다. 위에서 언급한 바와 같이 단위 동물 내의 소화효소에 의해 소화되지 않는 섬유소 부분을 소화시키기 위해 효소제를 급여하였고, 추가적인 자돈의 성장 및 생리 개선 효과를 확인하였다. 이는 일선 사료회사에서 섬유소 공급원을 사료 내에 첨가할 시 참고할 수 있는 자료로서 활용될 수 있으며, 추가적인 효소제 후보 검증까지 진행된다면 관련하여 식이섬유소의 이용성을 극대화할 수 있는 지침이 마련될 수 있을 것으로 예상된다. 현재까지 효소제의 첨가 이외에 동물의 사료에 대한 영양소 소화율을 높일 수 있을 것으로 예상하여 진행 되어 오던 과정이 사료 가공 과정이었다. 하지만 본 2년차 2번째 실험 결과 이러한 사료 가공 과정이 자돈의 성장 및 생리에 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 자돈의 장내 환경 개선에도 특별한 효과가 없었다. 본 실험 결과가 배포될 경우 기존에 사료비를 높이는 원인중의 하나로 작용되었던 사료 가공 과정을 생략할 수 있는 배경이 마련될 것이며, 양돈 농가의 생산비를 낮추는 또 다른 요인으로 작용할 수 있을 것이다. 3년차 과제에서 검증된 사항은 단백질의 제한 급여가 자돈의 성장, 설사빈도 및 영양소 소화율에 미치는 영향 및 전분질 사료 급여의 자돈의 성장, 설사빈도 및 영양소 소화율에 대한 효과 여부였다. 모든 동물이 그러하지만 돼지의 경우에도 지금까지 수행되어 왔던 수많은 연구를 바탕으로 한 영양소 요구량에 대한 참고 자료가 많이 존재한다. 이 중에서 현재 가장 많이 사용되고 있는 지침은 NRC (National Research Council, 1998) 영양소 요구량으로 일반적으로 실험을 진행할 시 사료를 formulation하는 기준이 되고 있다. 이러한 영양소 지침에도 불구하고 한국의 일반 사료회사의 경우 모든 영양소에서 이보다 높은 함량으로 기준을 설정하는 경향이 있어왔다. 이러한 방식은 사료비를 높이는 원인이 되어왔고, 국내의 환경과 외국과의 차이에서 그 근거를 주장해 온 것이 사실이다. 하지만

본 3년차 첫 번째 실험결과 기존에 NRC 요구량보다도 낮은 단백질 함량에서 자돈의 성장에 특별한 악영향이 없는 것으로 나타났다. 위 실험 결과는 자돈 사료 내 값비싼 원료인 단백질 공급원의 첨가량을 줄여 사료비를 개선시키는데 사용될 수 있을 것으로 예상되며, 소화되지 못해 배설되는 질소량 또한 줄여 환경 개선에도 이바지할 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 카사바의 경우에는 카사바의 첨가에 따른 성장 정체가 특별히 발견되지 않았고, 영양소 소화율의 경우 개선되는 경향을 나타냈다. 또한, 5% 첨가 수준에서는 대조구에 비해 개선된 VFA 생성량 및 초기 설사 발생을 감소시켰다. 본 연구의 전반적인 결과를 바탕으로 자돈의 설사방지를 위한 sugar beet pulp와 cassava의 활용에 대한 첨가수준을 (주)피그넷 코리아에 기술 이전 할 예정이며, 두 원료의 가격과 안정성의 확인 절차를 마친 후 제품으로 출시할 예정이다. 또한 단백질 수준의 저감 모델에 관한 내용은 축산분뇨의 환경적 문제와 단백질 공급원의 가격변동에 따라 조절하여 제품생산 시 적용할 수 있을 것으로 사료되며, 위 결과는 앞으로 사료 내 항생제의 첨가가 금지됨에 따라서 발생할 수 있는 자돈 설사문제를 해결하기 위한 영양적 조정을 일환으로 사용될 것으로 기대된다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보

자돈에 대한 식이 섬유소의 역할에 대한 연구는 주로 구성이 다른 섬유소 및 매우 높은 첨가수준을 이용한 연구가 주로 이루어져 왔고 (Li, 1994), 귀리 (oat)나 sugar beet pulp 등의 수용성 (Soluble Dietary Fiber; SDF) 및 불용성 식이 섬유소 (Insoluble Dietary Fiber; IDF)가 설사 방지 및 성장에 미치는 효과에 대한 부분은 거의 검증된 바가 없다.

Sugar beet pulp는 사탕무우 (sugar beet)에서 설탕을 추출하고 남은 부산물의 한 종류로써 수분 함량이 약 800~950g/kg 정도이며, 동물용 사료제조에 다양하게 사용되고 있다. 그러나 높은 수분 함량으로 인해 운송상의 어려움이 있으며, 건조되어 이용되기도 한다. 추출과 건조 공정으로 인해 수용성 영양소 (water-soluble nutrients)들이 빠져나가게 되고 따라서 건조된 sugar beet pulp에는 높은 수준의 비 전분성 다당류 (non-starch polysaccharides) 및 조섬유의 함량이 높아지게 된다. 이러한 특성으로 조단백질이나 인의 함량이 낮아지게 된다. 이러한 특성 때문에 sugar beet pulp는 돼지 사료로 사용하기에 너무 섬유소 함량이 높아 모돈에서만 일부 사용되고 있을 뿐이다. 그러나 섬유소의 첨가는 돼지에게서 대장균성 부종이 발생을 없앴으며 (Smith와 Halls, 1968), 조섬유 함량이 높은 사료를 섭취한 3주령 이유자돈에게서 심한 설사가 감소하였고, 설사 발생 기간 또한 감소하였다 (Ball과 Aherne, 1982). Drochner 등 (1978)은 사료내 조섬유가 돼지의 소화기관 내 박테리아의 활성을 감소시킨다고 보고하였다. 특히 3주~4주령의 이유자돈에는 소화 능력의 부족과 섬유소 이용능력이 미성숙한 상태이기 때문에 높은 섬유질 사료의 급여는 사료 섭취량을 낮추고 성장 성적에 부정적인 영향을 끼치며, 설사와 같은 소장 질병의 위험성을 증가시킨다는 보고도 있다 (Low, 1995). 그러나 다른 연구에서는 이유자돈에 발효된 섬유소 원료인 sugar beet pulp를 상당한 수준 급여한 결과, 성장성적에 유의적인 차이를 나타내지 않았다고 밝혔으며 (Longland et al., 1994; Lizardo et al., 1997), 이러한 발효한 섬유소의 사용은 낮은 팽창성효과(bulking effect)와 높은 VFA 생산 및 장관 내 비병원성 미생물의 빠른 증식을 자극하는 등의 이익을 가져다준다는 연구 결과도 있다 (Williams et al., 2001). 특히 섬유질은 병원성 미생물이나 toxin으로부터 숙주를 보호할 수 있는 intestinal epithelial tissue의 에너지 원으로도 사용이 된다 (Piva et al., 2002). 또한 발효한 섬유소의 활용은 장관내의 환경을 변화시켜 이유자돈의 설사 예방 및 항생제 대체용으로도 이용 가능성이 크다 (Mosenthin et al., 2001). 또한 이유자돈의 사료에 Sugar beet pulp를 12% 정도 첨가하였을 때 폐사율 및 위축돈이 줄어드는 효과를 보였으며, 성장은 대조구에 비해 떨어지는 경향을 나타내었다. 섬유소 소화율 에서도 성장할수록 소화율은 증가하였지만 대조구에 비해 떨어지는 결과를 보였으나 장내 VFA 생성은 대조구에 비해 Acetic acid, Propionic acid가 증가하였다. 또한 미생물에 있어서는 유해균인 대장균의 수가 줄어드는 효과를 나타내었다 (Schiavan et al., 2004). 그리고 이유자돈 사료에 sugar beet pulp를 12% 대체하였을 때, 섬유소의 소화 능력의 미성숙으로 사료 섭취량과 체중이 감소하는 경향이 있고, 이에 따른 일

당 증체량도 감소하는 경향이 있다는 연구 결과도 있다 (Lizardo et al., 1997; Gill et al., 2000). 그러나 이유자돈의 분내 VFA 생성이 증가한다는 연구 결과가 다양하게 존재하며 (Bauer et al., 2001; Sunvold et al., 1995), 이렇게 생성된 VFA는 E.coli의 장관내 군집형성을 억제한다는 연구 결과가 있다 (Mathew et al., 1996). Sugar beet pulp의 급여로 병원성 미생물의 증식이 억제되고, 장 점막을 보호하며, 숙주의 면역능력을 향상시킨다는 보고도 있다 (Rumney et al., 1993; Zunft et al., 1997; Williams et al., 2001).

이러한 섬유소의 효과에 대한 작용 기작은 아직 명확히 밝혀지지 않았지만, 일반적으로 섬유소 분해 미생물의 활성이 증가하여 장내 pH가 감소하고 이에 따라 유해한 미생물의 활성이 감소한다는 이론과, 섬유소의 물리적 특징으로 인하여 미생물의 장내 상피세포에 부착이 방해되어 장내에 서식하지 못한다는 이론 등이 있다. 따라서 이유자돈 내 섬유소를 첨가하면 장내 유익균의 활성을 증가시키고 유해균의 활성을 억제시켜 자돈의 건강상태 및 생산성이 향상될 것이라고 사료된다.

귀리 (Avena spp. L.; oat)는 다른 곡류와 마찬가지로 주성분은 전분 (starch, SDF)이고, 조단백질 함량은 약 11%정도로 옥수수보다는 좋으나 필수아미노산의 함량은 낮다. 품종에 따라 껍질의 비율에 큰 차이가 있으나 대략 전체의 약 30% 정도를 차지해 조섬유 함량 (12.3%)이 높아서 육성·비육돈 사료의 경우 극히 일부분의 옥수수를 대체할 수 있다고 연구되어 왔다 (Morrison, 1965; Johnson 등, 1959). 높은 섬유소 함량 때문에 양돈 사료의 경우 임신모돈 사료에만 일부 사용되어 왔고, 가공된 (익스트루전, 익스팬드) 귀리가 자돈 사료에 소량 급여되어도 특별한 영향을 미치지 않는다는 연구결과 또한 보고되었다 (Morris,

표 56. 귀리피의 화학적 구성성분

Item	Oat hulls (g/kg)
DM, g/kg	962
Ash, g/kg DM	52
CP, g/kg DM	44
ADF, g/kg DM	405
NDF, g/kg DM	775
ADL, g/kg DM	56
Hemicellulose, g/kg DM	370
Cellulose, g/kg DM	349
NDIN, g/kg CP	191
ADIN, g/kg CP	61
Soluble CP, g/kg CP	346
Nonprotein nitrogen, g/kg CP	172

(출처: Yu 등, 2005)

1989). 근래에는 귀리의 구성물질 중 β -glucan이 기능성 식품소재로서 많은 관심을 끌고 있다 (Maier 등, 2000). 귀리 β -glucan은 구조적으로 (1→3)(1→4)- β -D-glucan으로

가지가 없는 비전분성 다당류로서 귀리의 배유 및 호분층에 다량 함유되어 있는데, 일반적으로 약 4%가량 함유되어 있으며, 시판되고 있는 귀리 겉겨 (oat bran)에는 약 7~10% 정도가 함유되어 있고, 특별한 공정으로 처리된 경우에는 19%이상이 되는 것도 있는 것으로 보고되고 있다 (Wood 등, 1989). 귀리 β -glucan은 수용성과 불용성으로 구분되는데, 약 80%가 수용성으로 혈중 콜레스테롤 감소효과가 우수하며 (Estrada 등, 1999), 위 내용물의 점성을 증가시키고, 위 공복시간을 지연시키며, 포도당을 흡착하여 배설하므로 혈당증가와 포도당 부하에 따른 인슐린 분비 저해에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 이에 반해 불용성 부분은 보수성이 우수하여 대장에서 박테리아 분해에 저항성을 갖기 때문에 변의 장 통과시간을 단축시키며 동시에 배변량을 증가시킨다고 한다 (Bell 등, 1999). 일반적으로 돼지에 β -glucan을 급여하였을 때 특이적 면역과 비특이적 면역을 촉진시키며 (Chen과 Ainsworth, 1992; Jeney와 Anderson, 1993), 성장을 개선한다 (Schoenherr 등, 1944)는 연구결과가 있으며, 미생물 균총조절 및 장의 형태학적 발달에 유익하기도 하나, 한편으로는 수용성 섬유소 때문에 장내 점도 (viscosity)가 증가되어 사료섭취량 및 영양소 소화율을 감소시킬 우려 또한 있을 것으로 사료된다.

자돈의 소화기관이 완전히 발달하는 시기는 통상 56일령인데, 우리나라에서 주로 시행되고 있는 이유 일령은 21일령이어서, 완전히 소화기관이 발달하지 않은 이유자돈이 고품사료를 섭취함으로써 부족한 소화효소로 인해 단백질과 탄수화물 등이 소화되지 않아 그대로 배설되어 설사를 유발하게 되며 성장이 정체되어 출하일령 지연 또는 폐사를 초래하는 상황이 자주 발생되고 있다. 여기에 추가적으로 NSP (non starch polysaccharides) 함량이 사료 내에 높을 경우 더욱 큰 소화율 감소를 일으킬 수 있을 것으로 예상되어 지금까지 자돈 사료 내에

표 57. 효소제의 첨가에 따른 소화율 개선 사례

Year	Author	Phase	Diet	Enzyme	Increment (%)
2002	Prettey et al	Finishing pigs	Corn-soybean meal	Mannanase	0.60
2002	Kim et al	Finishing pigs	Corn-soybean meal	Mnnanase	2.33
2004	Omogbenigun et al	Weaning pigs	Corn-soybean meal	Enzyme complex	7.60
2009	Emiola et al	Finishing pigs	Corn-soy based diet with DDGS	Enzyme complex (xylanase)	3.26

서 NSP 함량이 높은 원료가 사용되지 못해왔다. 하지만 최근에는 이러한 부분을 개선시킬 수 있다는 여러 연구 결과들이 보고되고 있다. NSP의 성분은 여러 가지로 나뉘는데 이 중 많은 부분을 차지하며 소화에 방해되는 것으로 여겨지는 부분이 바로 mannan과 xylan이다.

Mannan은 mannose 분자로 이루어진 화합물을 지칭하며, xylan의 경우 xylose가 모여서 이루어진 경우인데, 두 경우 각각 mannanase와 xylanase라는 효소에 의해 분해될 수 있다. Hahn 등 (1995)은 β -mannanase를 육성·비육돈 사료에 첨가할 경우 대두박 위주의 실험 사료에서 사료효율을 증가시킬 수 있다고 보고하였고, Woyengo 등 (2008)은 xylanase를 첨가할 경우 육성돈의 아미노산 소화율 및 인 소화율을 개선 시킬수 있다고 보고하였다. 앞에서 제시된 논문 이외에도 많은 논문이 효소제의 사용을 통하여 소화율 개선 효과를 보았다고 보고하였다.

사료의 이용율을 높이기 위한 다른 방법 중 하나는 사료의 물리적 가공을 통해 이용성을 극대화하는 것으로, 기본적인 사료원료들의 분쇄 외에 열 및 압력을 이용한 expanding, extrusion, pellet, crumble 등 다양한 방법이 적용되고 있는 실정이다. 이들 방법 중 펠렛 가공 전에 고온·고압하에서 사전열처리를 하는 expander 가공방식은 상대적으로 영양적 가치가 낮은 섬유소 원료의 이용성 향상 (Wettstein과 Wild, 1990) 및 유해 미생물의 사멸효과를 유도할 수 있다고 보고되었으며, Peisker (1994)는 expander 가공이 곡류 전분을 젤라틴화 함으로서 효소분해를 촉진시킬 수 있을 뿐 아니라, 항영양인자 (anti-nutrition)의 활동을 억제함으로써 소화 및 성장을 촉진시킨다고 하였다.

돼지의 장관 내에는 다양한 미생물이 존재하며 이들의 대부분은 혐기성(anaerobic) 미생물이다. 과거에는 미생물 군총(microbial community)을 측정하기 위하여 culture technique을 이용하여 실시하였다. 이것은 돼지의 분이나 결장의 미생물을 분리하여 배양해야 한다 (Stewart C.S., 1997). 분리되는 Gram 양성의 혐기성 미생물은 *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Fusobacterium*, *Eubacterium*, *Peptostreptococcus* 종류이며, Gram 음성균으로 *Bacteroides*, *Prevotella* 등이 속한다. 그러나 여기서 계대배양(culture)할 수 있는 bacteria는 약 10%에 속한다 (Konstantinov, 2004). 장관내에 존재하는 다수의 완전 혐기 미생물을 배양 하는 것은 아직도 매우 어려운 실정이며, 이전에 이루어진 계대배양 방법으로는 검출되지 않는 경우도 있다(Pryde et. al., 1999; Vaughan et. al., 2000). 이러한 문제점을 획기적으로 개선된 것은 16S rRNA가 미생물의 taxonomy에 대한 분자생물학적 marker 소개 되면서 부터이다(Woese, 1987). 이것은 생체의 장관 내에 대한 연구를 하는 데 있어서 매우 새로운 접근으로써 돼지의 장내 미생물 군총을 연구하고, 미생물 군총의 구성에 대한 숙주의 영향이나 돼지의 성장이나 건강을 증진 시키는 다양한 영양, 사료적 방법에 대한 영향을 연구하는데 있어서 매우 중요한 역할을 할 수 있다 (Heilig et. al., 2002; Konstantinov et. al., 2002; Leser et. al., 2004; Simpson et. al., 2000). Konstantinov 등(2006)은 일반 자돈의 출생 이 후 미생물 군총의 변화를 측정하기 위해 출생 후 2, 5, 12, 19(이유)일령의 자돈의 회장에서 미생물 군총을 real-time PCR 방법으로 분석하였다. *Lactobacillus sobrius*, *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus acidophilus*, *E.coli* 에 대해 정량 분석을 하였으며, 이유 전에는 *L.sobrius*와 *L.reuteri* 가 회장에서 우점하고 있으며, 7.0×10^8 /g 정도의 미생물 군총을 갖는다. 그러나 *E.coli* 같은 경우에는 12일령 자돈에서 1개, 23일령 이유

자돈에서 2개의 sample에서만 검출되었다고 밝혔다.

일반적으로 조기이유자돈사료의 단백질수준은 매우 높는데, 이는 유해미생물 (pathogenic bacteria)의 장내 증식을 유도하게 되며 (Ball and Aherne, 1987), 이유 후 설사 및 성장정체를 야기할 수 있다. Nyachoti 등 (2006)은 사료 내 단백질 함량을 감소시키고 필수아미노산 조성을 알맞게 한다면 장관 내 유해 미생물의 증식을 감소시켜 무항생제 사육시에도 자돈의 성장을 촉진시킬 수 있으며 질소와 인의 배출량 또한 감소시켜 환경에도 유익하다고 보고하였다. 단백질 수준 조절이 장내 미생물 및 장관의 형태학적 변화에 미치는 영향에 관한 연구는 현재 거의 이루어지지 않고 있고, 아직까지 특별히 검증된 바가 없다. 이에 따라 적정 단백질 함량 및 섬유소 첨가량을 설정하는 연구는 학술적·경제적·산업적으로도 매우 소중한 자원이 되리라 사료된다.

카사바 (cassava)는 타피오카 (taioca) 또는 만디오카 (mandioca)라고 불리는 열대성 근괴류 식물로서, 단위면적당 건물생산량이 매우 높고, 단백질 등의 영양소 함량은 매우 낮으나, 가용성 탄수화물함량이 높아 옥수수 등의 곡류사료보다 오히려 값싼 에너지 공급원이라는 점에서 현재 새로운 대체 원료사료로서 각광받고 있다. 카사바 고형물의 주성분은 전분으로서 생물의 경우 25~30%를 차지하며, 건조 타피오카의 가용무질소물 함량은 70~80% 정도이고, 대사에너지 함량도 3,090~3,430 kcal/kg으로 가격 대비 효율이 옥수수보다 좋은 것으로 알려져 있다. 그러나 단백질이나 칼슘, 인 등의 광물질 및 비타민의 함량이 상당히 낮고 단백질의 아미노산 조성이나 소화율도 극히 불량하며, 외피에 리나마린(linamarin)이라는 분해될 시 독성이 매우 강한 청산을 생성시키는 배당체가 0.01~0.04% 정도 함유되어 있기 때문에 가축 사료내에 다량 첨가할 시 문제를 일으킬 수 있는 것으로 보고되고 있다. 카사바는 가공 형태에 따라 전체 전분의 함량이 70~80%인 것으로 알려져 있는데, 카사바의 전분 중에 저항 전분의 함량이 약 70~80%정도인 것으로 알려져 있다 (Calvin, 2006). 저항 전분이란 일반 전분 내에 존재하는 성분으로서, 열처리 등의 가공을 통해 그 함량을 조절할 수 있는데 제 3의 식이섬유라는 표현이 있을 정도로 자돈 장관의 VFA 조절과 소화물의 통과 속도를 조절하는 등의 탁월한 효과가 있는 것으로 보고되고 있다 (Bahndari, 2009). Bahndari (2009)는 이러한 저항전분을 적정 함량 첨가시 항생제 처리구보다 높은 설사 방지 효과를 보임으로써 prebiotics로서의 항생제 대체제 효과를 기대할 수 있다고 보고하였고, Chalorklang 등 (2000)은 쌀과 비교하였을 때 증체량과 사료효율이 카사바와 비슷하다고 했으며, 이유자돈에 있어서 소화율도 높고 설사를 감소시켰으며, 자돈의 건강상 부정적인 영향은 거의 없었다는 연구 결과도 있었다. 카사바의 부드러운 전분질은 80% 이상 아밀로펙틴 (amylopectin)으로 이루어져 있어 자돈에 있어서도 이용률이 매우 높아 옥수수나 보리 수수에 비해서 월등하다. 품질만 보증된다면 기호성이 높으며 적응이 쉬운 사료원료이고, 다른 곡물사료보다 장관 내 젤화 (gelatinization)나 소화가 잘되어 비병원성 미생물의 증식을 촉진시켜 VFA 생성, pH 저하효과를 가지기 때문에 병원성 미생물의 감소를 유도한다는 보고도 있다. 본 연구에서 검증된 자돈설사 방지 기술은 이러한 해외과학기술 정보를 바탕으로 수행되었으며, 연구 결과

를 위의 내용을 바탕으로 현장에 접목 시킨다면 일선 양돈 농가의 생산성을 향상시키고 사료비를 낮추는 원동력이 될 수 있을 것으로 사료된다.

제 7 장 참고문헌

- Aberham C, Pendl C, Gross P, Zerlauth G, Gessner M. 2001. A quantitative, internally controlled real-time PCR assay for the detection of parvovirus B19 DNA. *J. Virol. Methods* 92 : 183-191
- AOAC. 1995. Official methods of analysis (15th ed). Association of official analytical chemists. Washington, D. C., USA
- Bach Knudsen, K. E. 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Anim. Feed Sci. Technol.* 67:319-338
- Ball, R. O. and Aherne, F. X. 1987a. Influence of dietary nutrient density, level of feed intake and weaning age on young pigs. I. Performance and body composition. *Can. J. Anim. Sci.* 67: 1093-1103
- Ball, R. O. and Aherne, F. X. 1987b. Influence of dietary nutrient density, level of feed intake and weaning age on young pigs. II. Apparent nutrient digestibility and incidence and severity of diarrhea. *Can. J. Anim. Sci.* 67: 1105-1115
- Ball, R. O. and F. X. Aherne. 1982. Effect of diet complexity and feed restriction on the incidence and severity of diarrhea in early-weaned pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 62:907-913
- Barnes, E. 1986. Anaerobic bacteria of the normal intestine microflora of animals. In: *Anaerobic Bacteria in Habitats Other than MAn* (Ed. E. M. Barnes and G. C. Mead). Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. pp. 225
- Bauer, E., Williams, B.A., Voigt, C., Mosenthin, R., Verstegen, M.W.A., 2001. Microbial activities of faeces from unweaned and adult pigs, in relation to selected fermentable carbohydrates. *Anim. Sci.* 73: 313-322
- Bayes-Genis, A., Cheryl A. Conover, Robert S. Schwartz. The Insulin-Like Growth Factor Axis : A Review of Atherosclerosis and Restenosis. *Circulation Research.* 2000;86:125-130

- Bergner, H. 1977. Protein evaluation and protein metabolism. FEBS 11th Meeting. Copenhagen 1977, 149–160
- Biagi, G., A. Piva, T. Hill, D. K. Schneider, and T. D. Crenshaw. 2003. Low buffering capacity diets with added organic acids as a substitute for antibiotics in diets for weaned pigs. Proc. 9th Int. Symp. Dig. Physiol. Pig. 2:217-219
- Black, J.L., Bray, H.J., Giles, L.R., 1999. The thermal and infectious environment. In: I. Kyriazakis (ed.) A quantitative biology of pig. CABI publishing, Oxon, UK, pp 71–97
- Blank, R., R. Mosenthin, W. C. Sauer and S. Huang. 1999. Effect of fumaric acid and dietary buffering capacity on ileal and fecal amino acid digestibilities in early-weaned pigs. J. Anim. Sci. 77:2974–2984
- Bibiloni R., P.F. Perez and G.L. De Antoni. 2000. An enzymatic–colorimetric assay for the quantification of Bifidobacterium, Journal of Food Protection 63 (2000), pp. 322-326
- Boling, S. D., D. M. Webel, I. Mavromicalis, C. M. Parsons, and D. H. Baker. 2000. The effect of citric acid on phytate–phosphorous utilization in young chicks and pigs. J. Anim. Sci. 78:682
- Briggs, C. A. E., J. M. Willingale, R. Braude, and K. G. Mitchell. 1954. The normal intestinal flora of the pig. I. Bacteriological methods for quantitative studies. Vet. Rec. 17:241–242
- Burnell, T. W., G. L. Cromwell, and T. S. Stahly. 1988. Effects of dried whey and copper sulfate on the growth responses to organic acid in diets for weanling pigs. J. Anim. Sci. 66:1100-1108
- Cai, Y. and D. R. Zimmerman, 1996. Lysine requirement of the lactating sow determined by using plasma urea nitrogen as a rapid response criterion. J. Anim Sci. 74:1056–1062

- Calvert, C. C. 1991. Fiber utilization by swine. In: Miller, E. R., D. W. Ullrey, and A. J. Lewis ed. Swine Nutrition. Butterworth-Heinemann, Stoneham, MA. pp. 285-296
- Canibe, N., S. H. Steien, M. Overland and B. B. Jensen. 2001. Effect of K-diformate in starter diets on acidity, microbiota, and the amount of organic acids in the digestive tract of piglet, and on gastric alterations. *J. Anim. Sci.* 79:2123-2133
- Cera, K. R., D. C. Mahan, R. F. Cross, G. A. Reinhart and R. E. Whitmoyer. 1988. Effect of age, weaning and postweaning diet on small intestinal growth and jejunal morphology in young swine. *J. Anim. Sci.* 66:574-584
- Chalorklang A , Kanto U , Tabchareon S , et al. 2000a. Substitution of cassava meal for broken rice in weaned pig[C]. Proceeding of the 38th Kasetsart University Conference , Kasetsart University , Bangkok , Thailand
- Chalorklang A , Kanto U , Tabchareon S , et al. 2000b Substitution of cassava meal for corn in growing-finishing pig diets[C]. Proceeding of the 38th Kasetsart University Conference , Kasetsart University Bangkok Thailand□
- Changsun Choi and Chanhee Chae, 1999. Genotypic prevalence of F4 variants (ab, ac, and ad) in *Escherichia coli* isolated from diarrheic piglets in Korea. *Veterinary Microbiology* 67:307-310
- Chen D, Ainsworth A. J. 1992. Glucan administration potentiates immune defence mechanisms of channel catfish, *Ictalurus punctatus* Rafinesque. *J. Fish Dis.* 15:295-304
- Cohen, H.J., Mechanla S. M. and Lin, W. 1996. PCR amplification of the fimA gene sequence of *Salmonella typhimurium*, specific method for detection of *Salmonella* spp. *Appl. Environ. Microbiol.* 62: 4303-4308
- Cranwell, P. D., Noakes, D. E. and Hill, K. J. 1976. Gastric secretion and fermentation in the suckling pig. *British Journal of Nutrition* 36:71-86
- Decaro N, Elia G, Martella V, Desario C, Campolo M, Trani LD, Tarsitano E, Tempesta M, Buonavoglia C. A. 2005. real-time PCR assay for rapid detection and quantitation

- of canine parvovirus type 2 in the feces of dogs. *Vet Microbiol* 2005; 105(1): 19–28
- Deng, M., K. Zhang, S. Mehta, T. Chen and F Sun. 2003. Prediction of protein function using protein–protein interaction Data. *JOURNAL OF COMPUTATIONAL BIOLOGY*. Vol.10 6:947–960
- Drochner, W., A. S. Hazem, H. Meyer, and F. W. Rensmann. 1978. Praktische Versuche mit Modellstudien zur Pathogenese nutritive bedingter. *Fortschr. Vetmed.* 28:220–225
- Ducluzeau R. 1983. Implantation and development of the gut flora in the newborn animal. *Ann Rech Vet* 14: 354–359
- Eggum, B. O. 1970. Blood urea measurement as a technique for assessing protein quality. *Br. J. Nutr.* 24:983
- Estrada, M. C. and Fernández, F. C. 1999. Diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en un gradiente sucesional del bosque nublado (Nariño, Colombia). *Revista de Biología Tropical.* 47:189–21
- Fuller, R. 1982. Development and dynamics of the aerobic gut flora in gnotobiotic and conventional animals. *Advances in Veterinary Medicine.* 33:7
- Furet J.P., P. Quinle and P. Tailliez, 2004. Molecular quantification of lactic acid bacteria in fermented milk products using real–time quantitative PCR, *International Journal of Food Microbiology* 97 (2004), pp. 197–207
- Gabert, V. M. and W. C. Sauer. 1995. The effect of fumaric acid and sodium fumarate supplementation to diets for weanling pigs on amino acid digestibility and volatile fatty acid concentration in ileal digesta. *Anim. Feed Sci. Technol.* 53:243–254
- Giesting, D. W. and R. A. Easter. 1991. Effect of protein source and fumaric acid supplementation on apparent digestibility of nutrients by young pigs. *J. Anim. Sci.* 69(6): 2497–2503

- Gill, B.P., Mellange, J., Rooke, J.A., 2000. Growth performance and apparent nutrient digestibility in weaned piglets offered wheat-, barley- or sugar beet pulp-based diets supplemented with food enzymes. *Anim. Sci.* 70: 107-118
- Guillermo G. Gomez, Robert S. Sandler, and Elston Seal, Jr. 1995. High Levels of Inorganic Sulfate Cause Diarrhea in Neonatal Piglets. *Journal of Nutrition* Vol. 125 No. 9 September 1995, pp. 2325-2332
- Göransson, L., S. Lange, and I. Lönnroth. 1995. Post weaning diarrhea: Focus on diet. *Pig News Info.* 16:89N-91N
- Hahn, J. D., R. R. Biehl and D. H. Baker. 1995. Ideal digestible lysine for early and late finishing swine. *J. Anim. Sci.* 73:773
- Heilig H., Zoetendal E.G., Vaughan E.E., Marteau P., Akkermans A.D.L., de Vos W.M., 2002. Molecular diversity of *Lactobacillus* spp. and other lactic acid bacteria in the human intestine as determined by specific amplification of 16S ribosomal DNA, *Appl. Environ. Microbiol.* 68 (2002) 114-123
- Hetty M. G., van Beers-Schreurs H. M., Nabuurs M. J. A., Vellenga L., Kalsbeek-van der Valk H. J., Wensing T., Breukink H. J. Weaning and the weanling diet influence the villous height and crypt depth in the small intestine of pigs and alter the concentrations of short-chain fatty acids in the large intestine and blood. *J. Nutr.* 1998;128:947-953
- Higuchi, R., Fockler, C., Dollinger, G., and Watson, R. 1993. Kinetic PCR : Real monitoring of DNA amplification reactions. *Biotechnology* 11:1026
- Hirano A, Kirisawa R., 1991. Evaluation of high sensitive DNA probe for the detection of *Theileria sergenti* infection in cattle. *J. Vet. Med. Sci.* 53: 933-935
- Hirasawa T, Kaneshige T, Mikazuki K. 1994. Sensitive detection of canine parvovirus DNA by the nested polymerase chain reaction. *Vet. Microbiol.* 41 : 135-145

- Hirayama K, Kano R, Hosokawa–Kanai T, Tuchiya K, Tsuyama S, Nakamura Y, Sasaki Y, Hasegawa A. 2005. VP2 gene of a canine parvovirus isolate from stool of a puppy. *J. Vet. Med. Sci.* 67 : 139–143
- Htoo, J. K., B. A. Araiza, W. C. Sauer, M. Rademacher, Y. Zhang, M. Cervantes and R. T. Zijlstra. 2007. Effect of dietary protein content on ileal amino acid digestibility, growth performance, and formation of microbial metabolites in ileal and cecal digesta of early–weaned pigs. *J. Anim Sci.* 85:3303–3312.
- Huijsdens, X. W., Linskens, R.K., Mak, M., Meuwissen, S.G.M., Vandenroucke–Grauls, C.M.J.E., Savelkoul, P.H.M., 2003. Quantification of bacteria adherent to gastrointestinal mucosa by real–time PCR. *J. Clin. Microbiol.* 40 : 4423–4427
- Ishihara, N., D. C. Chu, S. Akachi, and L. R. Juneja. 2000. Preventive effect of partially hydrolyzed guar gum on infection of *Salmonella enterica* in young and laying hens. *Poult. Sci.* 79:689–697
- Jeney G, Galeotti M, Jeney Z, Anderson D. P. 1997. Prevention of stress in rainbow trout (*O. mykiss*) fed diets containing different doses of glucan. *Aquacult.*, 154:1–15
- Jin, L., L. P. Reynolds, D. A. Redmer, J. S. Caton, J. D. Crenshaw. 1994. Effects of dietary fiber on intestinal growth, cell proliferation, and morphology in growing pigs. *J Anim Sci.*72:2270–2278
- Jin L. Z, Ho Y. W, Abdullah N, Ali MA, Jalaludin S, 1996. Antagonistic effects of intestinal *Lactobacillus* isolates on pathogens of Chicken.. *Lett. Appl. Microbiol.* 23: 67–71
- Johnson, L. P. V. 1935. General preliminary studies on the physiology of delayed germination in *Avena fatua*. *Can. J. Res. (C.)* 13:283–300
- Joseph A. W., Nick B. R. and Michael A. W. 2003. A method for the absolute quantification of cDNA using real–time PCR *J. Immunol. Methods* 278(1–2):261–269

- Konstantinov S. R., Ajay A. Awati, Barbara A. Williams, Bevis G. Miller, Philip Jones, Christopher R. Stokes, Antoon D. L. Akkermans, Hauke Smidt and Willem M. de Vos, 2006. Post-natal development of the porcine microbiota composition and activities. *Environmental Microbiology* (2006)8 (7), 1191-1199
- Konstantinov S. R., Christine F. Favier, Wei Yun ZHU, Barbara A. Williams, Jeannette KLÖB, Wolfgang-Bernhard Souffrant, Willem M. DE VOS, Antoon D.L. Akkermans, Hauke Smidt. 2004. Microbial diversity studies of the porcine gastrointestinal ecosystem during weaning transition. *Anim. Res.* 53 (2004) 317-324
- Konstantinov, S.R., Zhu, W.-Y., Williams, B.A., Tamminga, S., de Vos, W.M., and Akkermans, A.D.L. 2003. Effect of fermentable carbohydrates on piglet faecal bacterial communities as revealed by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of 16S ribosomal DNA. *FEMS Microbiol Ecol* 43: 225-235
- Konstantinov S.R., Fitzsimons N., Vaughan E.E., Akkermans A.D.L., From composition to functionality of the intestinal microbial communities, in: Tannock, G.W. (Ed.), *Probiotics and Prebiotics: Where are we going?* aister Academic Press, London, 2002. p59 – 84
- Koopman, J. P., Mroz, B. A. Williams, and others. 1999. Voeding en gezondheid van het maagdarmkanaal. *Onderzoeksreeks 4, Productschap diervoeder, uni 1999*
- Kil, D. Y. 2004. Comparison of growth performance, nutrient digestibility and white blood cell counts by organic or inorganic acid supplementation in weaned pigs. MS thesis. Seoul National University, Korea
- Kim, Y. Y., Kil, D. Y., and Oh, H. K. 2004 Acidifier as an alternative material of antibiotics in animal feed. Seoul National University, Korea
- Koopman, J.P., Mroz, B.A. Williams, and others. 1999. Voeding en gezondheid van het maagdarmkanaal. *Onderzoeksreeks 4, Productschap diervoeder, uni 1999*

- Langendijk, P.S., Schut, F., Jansen, G.J., Raangs, G. C., Kamphuis, G.R., Wilkinson, M.H.F., Welling, G.W., 1995. Quantitative fluorescence in situ hybridization of *Bifidobacterium* spp. with genus-specific 16S rRNA-targeted probes and its application in fecal samples. *Appl. Environ. Microbiol.* 61 : 3069–3075
- Lawrence, T. L. J.(1977) The effect of dietary nutrient density on growth of the pig. *Animal Prod.* 25,261–269
- Le Bellego, L. and J. Noblet. 2002. Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets. *Livestock Production Science.* Vol. 76, Issues 1–2, P. 45–58
- Le Dividich, J., and Herpin, P. 1994. Effects of climatic conditions on the performance, metabolism and health status of weaned piglets: a review. *Livestock Prod. Sci.* 38:79–90
- Leser T.D., Vindecrona R.H., Jensen T.K., Jensen B.B., Moller K., Changes in the colon of pigs fed different experimental diet and after infection with *Brachyspira hyodysenteriae*, *Appl. Environ. Microbiol.* 66 (2000) 3290–3296
- Leser T.D., Amenuvor, J.Z., Jensen T.K., Jensen B.B., Lindecrona, R.H., Boye, M., Moller K., 2002. Culture-independent analysis of gut bacteria, the pig gastrointestinal tract microbiota revisited. *Appl. Environ. Microbiol.* 68: 673–690
- Lizardo, R., J. Peiniau, Y. Lebreton, and A. Aumaitre, 1997. Effects de l'incorporation de pulpe de betterave dans les aliments du porcelet et du porc en croissance: performances de croissance, digestibilité et composition corporelle. *An. Zootech.*, in press
- Longland, A.C., Carruthers, J., Low, A.G., 1994. The ability of piglets 4 to 8 weeks old to digest and perform on diets containing two contrasting sources of non-starch polysaccharide. *Anim. Prod.* 58: 405–410
- López, E., M. A. Latorre, D. G. Valencia, R. Lázaro and G. G. Mateos. 2003. Inclusion of oat hulls in diets for piglets based on native or cooked cereals. *J.*

Anim. Sci. 81(suppl.):47.

- Low, A. G. 1993. Role of dietary fibre in pigs diets. In: Cole, D. J. A., W. Haresign and P. C. Gamsworthy eds. Recent developments in pig nutrition. 2. Nottingham University Press, Leicestershire. pp.137–162
- Mahan, D. C., T. D. Wiseman, E. Weaver and L. Russell. 1999. Effect of supplemental sodium chloride and hydrochloric acid added to initial diets containing sprayed–dried blood plasma and lactose on resulting performance and nitrogen digestibility of 3–week–old weaned pigs. J. Anim. Sci. 77:3016–3021
- Mahan, D. C., E. A. Newton and K. R. Cera. 1996. Effect of supplemental sodium chloride, sodium phosphate, or hydrochloric acid in starter pig diets containing dried whey. J. Anim. Sci. 74:1217–1222
- Manners, M. J. 1976. Symposium on quantitative aspects of pig nutrition. The development of digestive function in the pig. Proc. Nutr. Soc. 35:49
- Manthey, F. A., G. A. Harelund and D. J. Huseby. 1999. Soluble and insoluble dietary fiber content and composition in oat. Cereal Chemistry 76:417–420
- Marisol, C., Martin–Orue, S.M., Manzanilla, E.G., Badiola, I., Martin, M., Gasa, J. 2006. Quantification of total bacteria, enterobacteria and lactobacilli populations in pig digesta by real–time PCR. Vet. Microbiol. 16;114(1–2):165–70
- Martelli, G., P. Parisini, L. Sardi, R. Scipioni, G. Vignola, A. Panciroli, A. Mordenti. 1999. Interet zootechnique de l'utilisation de la pulpe de betterave ensilee dans l'alimentation du porc lourd. Ann. Zootech. 48:173–188
- Mateos, G. G., F. Martin, M. A. Latorre, B. Vicente, and R. Lázaro. 2006. Inclusion of oat hulls in diets for young pigs based on cooked maize or cooked rice. Anim. Sci. 82:57–63
- Mathew, A. G., T. Jones and M. A. Franklin, 1994. Effect of creep feeding on selected microflora and short–chain fatty acids in the ileum of weanling pigs. J. Anim. Sci., 72:3163–316

- Matsuba T, Kawakami Y, Iwai H., 1992. Genomic analysis of *Theileria sergenti* stocks in Japan with DNA probes. *Vet. Parasitol.* 41: 35–43
- Maxwell, F. J. Koopman, J. P., B. Mroz, A. Williams. 1999. Voeding en gezondheid van het maagdarmkanaal. Onderzoekreeks 4, Productschap diervoeder, juni 1999
- Maxwell, F. J. and C. S. Stewart. 1995. The microbiology of the gut and the role of probiotics. In: *The Neonatal Pig Development and Survival* (Ed. M. A. Varley). CAB International, Oxon, UK. p. 155
- Morris, J. R. 1989. The efficiency of heat and enzymatic treatment of com and Tibor oats in weaner pig feed. *Can. J. Anim. Sci.* 69: 281 (Abstr.)
- Mosenthin, R. 1998. Physiology of small and large intestine of swine. *Asian–Aust. J. Anim. Sci.* 11:608–619
- Moser, B. D. 1977. Survival after weaning. Oats can make a difference. *Univ. of Nebraska–Lincoln, Swine Rep.*, pp. 7
- Naughton, P. J., L. L. Mikkelsen and B. B. Jensen. 2001. Effects of non–digestible oligosaccharides on *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium and non–pathogenic *Escherichia coli* in the pig small intestine in vitro. *Appl. Environ. Microbiol.* 67:3391–3395
- Noblet, J., Y. Henry and S. Dubois. 1987. Effect of protein and lysine levels in the diet on body gain composition and energy utilization in growing pigs. *J Anim Sci* 1987. 65:717–726
- NRC. 1998. *Nutrient Requirements of Swine* (10th Ed.). National Academy press, Washington, D. C.
- Nyachoti, C. M., F. O. Omogbenigun, M. Rademacher and G. Blank. 2006. Performance responses and indicators of gastrointestinal health in early–weaned pigs fed low–protein amino acid–supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 84:125–134

- Oh, H. K. 2004. Effect of dietary supplements on growth, nutrient digestion and intestinal morphology in monogastric animals. Ph.D. Thesis. Seoul National University, Korea
- Olsen, J. E., Aabo, S., Hill, W., Notermans, S., Wernars, K. Granum, P. E., Popovic, T., Rasmussen, H. N. and Olsvik, O. 1995. Probes and polymerase chain reaction for detection of food-borne bacterial pathogens. *Int. J. Food Microbiol.* 28: 1-78
- Organisation for Economic Co-operation and development, 2002. Consensus document on compositional considerations for new varieties of sugar beet : key food and feed nutrients and antinutrients, Series on the safety of novel foods and feeds, No. 3
- Øverland, M., T. Granli, N. P. Kjos, O. Fjetland, S. H. Steien and M. Stokstad. 2000. Effect of dietary formates on growth performance, carcass traits, sensory quality, intestinal microflora, and stomach alterations in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 78:1875-1884
- Partanen Kirsi H. and Zdzislaw Morz. 1999. Organic acids for performance enhancement in pig diets. *Nutr. Res. Rev.* 12:117-145
- Peterson, R. G. 1985. Design and Analysis of Experiments. Marcel Dekker, New York
- Pinzani P., L. Bonciani, M. Pazzagli, C. Orlando, S. Guerrini and L. Granchi, 2004. Rapid detection of *Oenococcus oeni* in wine by real-time quantitative PCR, *Letters in Applied Microbiology* 38 (2004), pp. 118-124
- Piva, A., Prandini, A., Fiorentini, L., Morlacchini, M., Galvano, F., Luchansky, J.B., 2002. Tributyrin and lactitol synergistically enhanced the trophic status of the intestinal mucosa and reduced histamine levels in the gut of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 670-680
- Pluske, J. R., Hampson D. J. and I. H. Williams. 1997. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig:a review. *Livestock Production Science.*51:215-236

- Pryde S.E., Richardson A.J., Stewart C.S., Flint H.J., Molecular analysis of the microbial diversity present in the colonic wall, colonic lumen, and cecal lumen of a pig, *Appl. Environ. Microbiol.* 65 (1999) 5372-5377
- Radcliffe, J. S., Z. Zhang and E. T. Kornegay. 1998. The effects of microbial phytase, citric acid, and their interaction in a corn-soybean meal-based diet for weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 76:1880-1886
- Rantzer, D., Kiela, M.J., Thaela, M.J., Svendsen, J., Ahren, B., Karlsson, S. and Pierzynowski, S.G. 1997. Pancreatic exocrine secretion during the first days after weaning in pigs. *J. Anim. Sci.* 75:1324-1331
- Ravindran, V., and E. T. Kornegay. 1993. Acidification of weaner pig diets: A review. *J. Anim. Sci. Food Agric.* 62:313-322
- Rijnen, M. M., M. W. Verstegen, M. J. Heetkamp, J. Haaksma, J. W. Schrama, 2001. Effects of dietary fermentable carbohydrates on energy metabolism in group-housed sows. *J. Anim. Sci.* 79(1):148-154
- Risley, C. R., E. T. Kornegay, M. D. Lindemann, C. M. Wood and W. N. Eigel. 1992. Effect of feeding organic acids on selected intestinal content measurements at varying times postweaning in pigs. *J. Anim. Sci.* 70:196-206
- Robinson, I. M., Whipp, S. C., Bucklin, J. A. & Allison, M. J. 1984. Characterization of predominant bacteria from the colons of normal and dysenteric pigs. *Appl Microbiol* 48, 964-969
- Roth F. X and M. Kirchgeßner 1998. Organic acids as feed additives for young pigs: Nutritional and gastrointestinal effects. In: *Journal of Animal and Feed Sciences*. Vol 7, Supplement 1, 1998 Satellite Symposium. 49th Annual Meeting of the EAAP. 22-23 August 1998, Jablonna, Poland
- Rumney, C.J., Rowland, I.R., Coutts, T.M., Randerath, K., Reddy, R., Shah, A.B., O' Neill I.K., Ellul, A., 1993. Effects of risk-associated human dietary

macrocomponents on processes related to carcinogenesis in human-flora-associated (HFA) rats. *Carcinogenesis*. 14: 79–84

SAS. 2004. SAS User's Guide. SAS. Institute. Cary. NC.

SAS. 2006. SAS User's Guide. SAS. Inc. Cary. NC.

Simpson, J. M., V. J. McCracken, H. R. Gaskins, and R. I. Mackie. 2000. Denaturing gradient gel electrophoresis analysis of 16S ribosomal DNA amplicons to monitor changes in fecal bacterial populations of weaning pigs after introduction of *Lactobacillus reuteri* strain MM53. *Appl. Environ. Microbiol.* 66:4705–4714

Shi, X. S and J. Noblet, J. 1993. Contribution of hind gut to digestion of diets in growing pigs and adult sows: Effect of diet composition. *Livest. Prod. Sci.* 34:237–252

Simpson J.M., McCracken V.J., Gaskins H.R., Mackie R.I., Denaturing gradient gel electrophoresis analysis of 16S ribosomal DNA amplicons to monitor changes in fecal bacterial populations of weaning pigs after introduction of *Lactobacillus reuteri* strain MM53, *Appl. Environ. Microbiol.* 66 (2000) 4705–4714

Smith, H. W., S. Halls, 1968. The production of oedema disease and diarrhoea in weaned pigs by the oral administration of *Escherichia coli*: factors that influence the course of the experimental disease. *J. Med. Microbiol.* 1(1):45–59

Southern, L. L., and D. H. Baker. 1982. Performance and concentration of amino acids in plasma and urine of young pigs fed diets with excesses of either arginine or lysine. *J. Anim. Sci.* 55:857–866

Sunvold, G.D., Hussein, H.S., Fahey, G.C. JR., Merchen, N.R., Reinhart, G.A., 1995. In vitro fermentation of cellulose, beet pulp, citrus pulp, and citrus pectin using faecal inoculum from cats, dogs, horses, humans, and pigs and ruminal fluid from cattle. *J. Anim. Sci.* 73: 3639–3648

Stewart, C.S. (1997) Microorganisms in hindgut fermentors. In *Gastrointestinal Microbiology*. Mackie, R.I., White, B.A., and Isaacson, R.E. (eds). New York,

USA: Chapman & Hall, pp. 142-186

Straw, M. L., E. T. Kornegay, J. L. Evans and C. M. Wood. 1991. Effects of dietary pH and phosphorus source on performance, gastrointestinal tract digesta, and bone measurements of weanling pigs. *J. Anim Sci.* 69:4496-4504

Tajima, K. R. I. Aminov, T. Nagamine, H. Matsui, M. Nakamura and Y. Benno. 2001. Diet-Dependent Shifts in the Bacterial Population of the rumen Revealed with Real-Time PCR. *Applied and Environmental Microbiology* pp. 2766-2774

Taylor, J. A., D.N. Salter, W. H. Close, and G. H. Laswai. 1992. Serum concentrations of insulin-like growth factor 1 and cholesterol in relation to protein and fat deposition in growing pigs. *Anim. Prod.* 55:257-264

Van der Heyde, D. Giesecke and H. K. Henderickx, 1973. Microbiology of the digestion in pigs - Biology and Biochemistry of the Microbial Digestion. ed. BLV Verlagsgesellschaft, Munich, Germany

Van Soest, P. J., J. B. Robertson and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597

Vaughan E.E., Schut F., Heilig H.G.H.J., Zoetendal E.G., de Vos W.M., Akkermans A.D.L., A molecular view of the intestinal ecosystem, *Curr. Issues Intest. Microbiol.* 1 (2000) 1-12

Vitali et al., 2003 B. Vitali, M. Candela, D. Matteuzzi and P. Brigidi, Quantitative detection of probiotic Bifidobacterium strains in bacterial mixtures by using real-time PCR, *Systematic and Applied Microbiology* 26 (2003), pp. 269-276

Wattiau, P., M. E. Renard, P. Ledent, V. Debois, G. Blackman and S. N. Agathos. 2001. A PCR test to identify *Bacillus subtilis* and closely related species and its application to the monitoring of wastewater biotreatment. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 56:816-819

Wells, J. E., Berry, E. D., Varel, V. H. (2005). Effects of Common Forage Phenolic Acids on *Escherichia coli* O157:H7 Viability in Bovine Feces. *Appl. Environ.*

Microbiol. 71: 7974–7979

Wang, X. and G. R. Gibson. 1993. Effect of the in-vitro fermentation of oligo-fructose and inulin by bacteria growing in the human large intestine. *J. Appl. Bacteriol.* 75: 373–380

Whang, G. Y. and R. A. Easter. 2000. Blood urea nitrogen as an index of feed efficiency and lean growth potential in growing-finishing swine. *Asian-Australian J. Anim. Sci.* 13(6):811

Williams, B.A., Verstegen, M.W.A., Tamminga, S., 2001. Fermentation in the large intestine of single-stomached animals and its relationship to animal health. *Nutr. Res. Rev.* 14: 207–227

Woese C.R., Bacterial evolution, *Microbiol. Rev.* 51 (1987) 221-271

Wood, P. J., Weisz, J and Mahn, W. 1991b. Molecular characterization of cereal B-D-glucans. II. Size-exclusion chromatography for comparison of molecular weight. *Cereai Chem.* 68:530–536

Yamamoto, A., Satoh, Y., Nakamura, K., Itoh, M. And Furuya, S. 2003. Effects of feeding a lower protein diet supplemented with the apple pomace on growth performance, nitrogen excretion and backfat thickness in finishing pigs. *Japanese J. Swi. Sci.* 40:129–134

Zunft, H.J., Goldin LANG, P., Dongowski, G., 1997. DNA adducts in tissues of germ-free and conventional rats fed high- and low-esterified pectins. *Cancer Lett.* 114: 43–46

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 생명산업기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 생명산업기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.