

최 종
연구보고서

유기셀레늄강화버섯 폐배지를 이용한 기능성
한우고기생산에 관한 연구

Studies on the Production of Selenium-Fortified
Hanwoo Beef by Supplementing Spent Composts
of Selenium-Enriched Mushrooms

연구기관
한국농업전문학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “유기셀레늄강화버섯 폐배지를 이용한 기능성 한우고기생산에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005 년 10 월 14 일

주관연구기관명 : 한국농업전문학교

총괄연구책임자 : 김 완 영

세부연구책임자 : 김 완 영

연 구 원 : 이 성 훈

연 구 원 : 이 장 형

연 구 원 : 노 환 국

연 구 원 : 민 정 기

연 구 원 : 여 준 모

협동연구기관명 : 축산연구소

협동연구책임자 : 박 범 영

연 구 원 : 이 중 문

연 구 원 : 김 용 곤

연 구 원 : 조 수 현

연 구 원 : 김 진 형

연 구 원 : 정 완 태

연 구 원 : 황 인 호

연 구 원 : 정 명 옥

요 약 문

I. 제 목

유기셀레늄강화버섯 폐배지를 이용한 기능성 한우고기생산에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 우리 나라를 비롯한 세계 각국에서는 토양내 셀레늄함량이 부족하여 식품을 통한 일일 셀레늄권장량(50 ~ 200 μg /일)을 섭취하지 못하고 있고 그 결과 각종 셀레늄의존성 질병의 발생이 증가하고 있는 실정이다. 식이를 통하여 체내 축적된 셀레늄은 각종 셀레늄함유단백질(selenoproteins)의 합성을 통하여 체내 항산화방어시스템과 세포내 산화환원의 조절에 관여한다. 일반적으로 셀레늄의 생물학적 이용률은 섭취하는 셀레늄의 화학적 형태 및 축종(단위동물 vs. 반추동물)에 따라 다양하다. 즉, 아미노산형태로 존재하는 유기셀레늄은 중독성이 덜할 뿐만 아니라, 무기셀레늄 보다 더 효율적으로 이용된다.

미국과 유럽인들에게는 쇠고기가 셀레늄의 섭취단일품목으로 가장 큰 공헌을 한다. 따라서 보다 쉽게 인체가 일일권장수준의 셀레늄을 섭취할 수 있도록 셀레늄강화 쇠고기를 생산한다면 의미가 있을 것이다. 따라서 본 연구진은 셀레늄강화버섯을 생산한 후, 폐기되는 버섯폐배지(Se-SMC)를 유기셀레늄급원으로 이용하여 비육후기 거세한우에 급여하였을 때, 셀레늄강화 쇠고기의 생산 및 육질에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

연구개발의 범위는 다음과 같다.

가. 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 유래 셀레늄 탐색 및 유기화정도 구명

- 1) 유기셀레늄 강화 팽이버섯 생산
- 2) 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 유래 셀레늄의 탐색 및 유기화 정도 정량
- 3) 일반 폐배지와 셀레늄 강화 폐배지의 셀레늄함량 비교 분석

나. 폐배지의 발효를 통한 효율적 사료화 체계 구축 및 발효 후 폐배지 및 발효사료 내 셀레늄의 유기화 정도 구명

- 1) 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 첨가 후 발효 전후 사료의 유기셀레늄 탐색 및 정량 비교
- 2) 폐배지 함유 발효사료의 개발

다. 한우에 대한 유기셀레늄강화버섯 폐배지의 적정 사용량 및 육질특성구명

- 1) 발효사료에 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지의 첨가 및 쇠고기내 유기셀레늄 전이를 위한 일정기간 시험사료 급여(사양시험I)
- 2) 사료, 혈청 및 쇠고기 내 셀레늄 탐색 및 정량과 혈중 GSH-Px 활성 구명
- 3) 급여량 차이에 따른 한우 비육우의 도체 및 육질 특성 구명

라. 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 유래 셀레늄의 쇠고기 내 포화 축적기간 결정

- 1) 최적 수준의 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지의 한우 비육우에 대한 첨가기간 사양시험(사양시험II)
- 2) 폐배지 발효사료, 쇠고기 및 혈액 중 셀레늄의 탐색 및 정량
- 3) 혈액 중 GSH-Px 활성 측정

마. 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 급여 한우 비육우의 육질특성 구명

- 1) 최적수준의 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 급여가 한우 비육우의 비육 단계별의 도체 및 육질특성 구명
- 2) 유기 셀레늄 강화 버섯폐배지 급여 한우육의 육색 안정성 구명

바. 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지(Se-SMC), 무기셀레늄(selenite) 및 유기셀레늄(Se-yeast) 첨가 비교시험 및 육질특성 구명

- 1) 사양시험I 및 II에서 결정된 수준의 유기셀레늄강화 버섯 폐배지 및 포화 축적기간 동안 한우비육우에 대한 각기 다른 셀레늄 공급원 비교사양시험(사양시험 III)
- 2) 셀레늄 공급원에 따라 쇠고기 내로 이행된 유기셀레늄의 탐색 및 정량
- 3) 혈액 중 GSH-Px 활성측정

- 4) 셀레늄 공급원의 차이가 한우 비육우의 도체 및 육질특성에 미치는 영향 구명
- 5) 셀레늄 급여 한우육의 저장 특성 구명

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

가. 연구개발 결과

- 1) 셀레늄강화 팽이버섯과 폐배지의 셀레늄형태 및 팽이버섯내 셀레늄축적대사에 관한 연구(1년차 주관과제)

본 연구는 버섯을 키우는 배지에 무기태셀레늄을 배지 kg당 2mg을 첨가하여 셀레늄강화팽이버섯을 생산하고, 인체 또는 가축의 셀레늄공급원으로서 버섯과 폐배지 각각의 셀레늄함량 및 형태 그리고 버섯내에서 일어나는 셀레늄축적대사를 조사하였다.

셀레늄무처리버섯과 셀레늄처리버섯의 총 셀레늄함량은 셀레늄처리버섯이 건조 g당 4.51 μ g의 셀레늄을 나타내어 셀레늄무처리버섯의 0.23 μ g에 비하여 약 20배정도 증가하였다($P < 0.0001$). 유기태셀레늄비율은 셀레늄처리버섯에서 72.3%를 나타내었고, 무처리버섯은 무기태셀레늄이 검출되지 않아, 총 셀레늄 중 유기태셀레늄의 비율이 100%로 평가되었다($P < 0.0001$). 셀레늄처리버섯의 부위별 셀레늄분포는 상단부와 중간부가 각각 건조 g당 3.71 및 3.01 μ g을 나타내었고, 배지와 가까운 하단부가 6.86 μ g으로 가장 높았다($P < 0.001$).

한편, 폐배지 내 셀레늄함량은 셀레늄처리버섯 폐배지에서 건조 g당 5.04 μ g으로 상당량의 셀레늄이 폐배지에 존재하였고, 무처리 폐배지에서는 0.08 μ g으로 유의하게 낮았다($P < 0.0001$). 셀레늄처리버섯 폐배지의 유기태셀레늄비율은 65.67%로 높게 나타났고, 이는 버섯재배시 첨가한 무기태셀레늄이 폐배지 내 잔여 버섯균사에 의해 상당량 유기태셀레늄으로 전환되었음을 시사한다. 버섯균 접종전 버섯배지의 멸균처리는 약 18%의 셀레늄손실을 가져왔다. 버섯체내 외관상 및 순수 셀레늄축적율은 각각 14.81 및 10.14%로 나타났다. 또한, 외관상 축적된 셀레늄의 4.67%가 버섯체내 대사에 의해 공기 중으로 휘발되는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 배지 내 무기태셀레늄의 첨가는 버섯 내 셀레늄함량을 증가시켰고, 인체 내 유용한 유기태셀레늄이 다량 존재하였다. 그리고, 폐배지에서도 상당량의 유기태셀레늄이 존재하여 가축의 셀레늄공급원으로 충분한 가치가 있을 것으로 판단

된다. 그리고 버섯재배전 배지의 평균은 상당량의 셀레늄손실을 가져왔고, 버섯체내 축적된 셀레늄의 일부가 버섯자체 대사과정에 의해 공기 중으로 휘발되는 것으로 나타났다.

2) 버섯 폐배지를 이용한 발효사료의 제조와 유기셀레늄 강화에 관한 연구(1년차 주관과제)

본 연구는 셀레늄강화버섯생산 후 대량으로 폐기되는 버섯 폐배지를 가축사료로 이용하기 위해 발효사료를 제조하고, 발효 기간동안 발효미생물에 의한 무기셀레늄을 유기셀레늄으로의 전환을 강화하기 위해 발효사료 내 존재하는 유기셀레늄 비율을 조사하였다.

발효사료의 처리구는 일반버섯 폐배지와 셀레늄강화버섯 폐배지를 조합하여 발효사료 내 셀레늄농도가 0.06, 0.54, 1.26 및 1.86 ppm이었다. 그리고 발효기에서 48시간동안 발효시켰으며, 발효시간(0, 12, 24, 48시간)에 따른 pH, 유기셀레늄 비율, 유기셀레늄 함량 및 무기셀레늄 함량을 조사하였다.

발효사료 내 셀레늄함량이 증가함에 따라 0시간의 pH는 일반버섯 폐배지로만 구성된 0.06 ppm의 4.63보다 유의하게 직선적으로 증가하였고, 1.86 ppm에서 가장 높은 값(6.35)을 나타내었다($P < 0.0001$). 발효 12시간 이후에는 대조군에 비하여 셀레늄강화버섯 폐배지를 함유하는 처리군에서 pH가 유의하게 감소하였으나, 처리군들 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

셀레늄 농도별 발효사료의 무기셀레늄, 유기셀레늄 함량 및 유기셀레늄 비율은 처리구간에 유의한 차이를 나타내었다($P < 0.001$). 발효시간에 따른 처리군의 유기셀레늄 비율은 0.54ppm에서 발효 24시간까지 유의하게 증가하였고, 1.26ppm에서는 발효 12시간이후에는 유의한 증가가 나타나지 않았으며, 1.86ppm에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 그리고 일반 폐배지로만 구성된 0.06ppm의 발효사료에서는 무기셀레늄이 검출되지 않았고, 셀레늄강화버섯 폐배지를 함유하는 발효사료(0.54ppm, 1.26ppm, 1.86ppm)는 발효 48시간에 약 70%의 유기셀레늄을 함유하였다.

이상의 결과로부터, 발효사료를 통한 유기셀레늄의 강화는 발효종료 후 폐배지 내 유기셀레늄 비율이 약 70%로 높게 나타나 반추가축에 대한 셀레늄사료자원으로 유용할 것으로 사료된다.

3) 셀레늄강화버섯 폐배지의 수준별 첨가가 한우육내 셀레늄축적 및 혈중 GSH-Px활성연구(1년차 주관과제)

본 연구는 셀레늄급원으로 셀레늄강화버섯 폐배지(Se-SMC)를 거세한우에 급여하였을 때, 도체특성, 혈중 GSH-Px활성 및 조직내 셀레늄축적에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실시하였다.

본 실험에 사용된 셀레늄급원은 유기셀레늄강화버섯을 생산한 후 폐기되는 버섯폐배지를 활용하였으며, 일반폐배지(SMC)를 조합하여 실험사료의 셀레늄 농도를 0.1, 0.3, 0.6, 0.9 ppm(건물기준)의 4 처리구로 설정하였다. 실험동물은 비육후기 거세한우 20두(평균체중 613 kg, 20~24개월령)를 공시하여, 처리구간 5두씩 배치하여 실험사료를 12주간 급여하였다. 실험기간 중 채혈하여 혈중 셀레늄농도와 혈장내 GSH-Px활성을 측정하였고, 근육(등심, 후지)과 간내 셀레늄함량과 도체특성을 측정하기 위해 시험 후 도축하였다. Se-SMC의 보충으로 증가된 셀레늄수준은 건물섭취량과 증체량에 영향을 미치지 않았고, 높은 농도의 처리군에서 중독증상은 발견되지 않았다.

혈중 셀레늄농도와 혈장내 GSH-Px활성은 Se-SMC급여수준이 증가함에 따라 직선적으로 유의하게 증가하였다($P<0.01$). 근육과 간내 셀레늄함량은 후지 및 간에서 사료중 셀레늄함량이 증가함에 따라 각각 건물 g당 0.27, 0.37, 0.40, 0.46 μg 및 0.79, 1.40, 2.39, 3.10 μg 를 나타내어 유의하게 증가하였다($P<0.05$). 하지만, 등심내 셀레늄함량은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다.

이상과 같이 Se-SMC에 존재하는 셀레늄은 비육후기 거세한우에서 혈중 셀레늄농도와 GSH-Px활성을 유의하게 증가시킬 뿐만 아니라, 조직내 셀레늄함량을 증가시켜 저렴한 생산비로 셀레늄강화 쇠고기의 생산이 가능할 것으로 판단된다.

4) 유기셀레늄강화버섯 폐배지의 급여수준에 따른 거세한우의 도체 등급 및 채끝육의 육질특성(1년차 협동과제)

셀레늄강화 버섯을 재배하고 폐기되는 버섯 폐배지에 존재하는 셀레늄 함량을 분석하여 최종 발효사료의 셀레늄 함량을 0.1, 0.3, 0.6, 0.9 ppm(건물기준)의 4 처리구로 설정하고, 에너지(TDN: 약 75%)와 단백질 함량(CP: 약 12%)이 처리구간 동일하도록 제조하여 처리구별 거세 한우 20두를 처리구별 각 5두씩(평균체중 613 kg, 20~24개월령) 배치하여 실험사료를 12주간 급여 후 도축된 채끝육의 이화학적 특성과 도체등급 출현

을 비교한 결과는 아래와 같다. 유기 셀레늄 급여수준별 일반 조성분을 비교한 결과, 지방 함량은 0.1 ppm구가 13.1%로 가장 높았고 0.3 ppm구와 0.9 ppm구가 각각 7.37, 8.14%로 가장 낮은 함량을 보였다($P < 0.05$). 육색 L^* (명도)는 0.1 ppm 구가 35.93으로 다른 시험구의 36.30 ~ 36.87 보다 낮았고, 육색 a^* (적색도) 값은 명도와 마찬가지로 0.1 ppm구가 18.81로 시험구의 18.95 ~ 19.91 보다 낮아 육색이 다소 개선되었으나, 유의적인 차이는 없었다($P > 0.05$). 가열 감량, 보수력 및 purge loss는 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 전단력은 0.3 ppm구가 $4.54 \text{ kg}/0.5 \text{ inch}^2$ 으로 가장 높았으며($P < 0.05$), 다른 처리구간에는 $3.3 \text{ kg}/0.5 \text{ inch}^2$ 에서 $3.7 \text{ kg}/0.5 \text{ inch}^2$ 로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 관능 특성을 비교한 결과, 다즙성과 향미는 셀레늄 급여수준이 증가함에 따라 다소 증가하는 경향을 보였고, 연도는 처리구간 뚜렷한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). Ca, P, Mg, K, Na, Fe, Mn, Zn 및 Cu도 처리구간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 아미노산 조성을 비교한 결과로서 시스테인, 알라닌, 히스티딘, 프로린에서 대조구인 0.1 ppm급여구가 가장 낮은 비율을 보였고 0.3 ppm급여구가 가장 높은 결과를 나타내었다($P < 0.05$). 육량 A등급 출현율은 0.6 ppm처리구가 다른 처리구들에 비하여 출현율이 높았으며, 0.3 ppm처리구가 20%의 출현율로 가장 낮은 출현율을 보였다. 이 결과는 처리구별 시험두수가 5두로 정확한 경향으로 보기에는 어려웠다.

육질최고 등급인 1+등급 출현율은 0.1 ppm처리구와 0.6 ppm처리구에서 20%로 다른 처리구들에 비하여 높은 출현율을 보였다. 다른 처리구에서는 육질 3등급 출현율이 0%인데 비하여 0.2 ppm처리구는 육질 3등급 출현율이 40%로 가장 저조한 성적을 보였다. 등급별 출현율에서 시험구간의 조사두수가 적어 정확한 비교는 어려우나 유기 Se 급여에 의한 도체등급에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 판단되었다. 등급 관정요인을 비교한 결과 근내지방도와 육질등급에서 0.1 ppm, 0.6 ppm처리구와 0.3 ppm처리구간 차이를 제외하고 다른 처리구들 간에는 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 셀레늄급여에 의한 차이보다는 개체 차이에 의한 것으로 판단된다.

5) 셀레늄의 포화축적 기간 결정을 위한 한우사양시험 (2년차 주관과제)

본 연구는 사료내 적정 셀레늄수준(0.9ppm)에서 Se-SMC(유기셀레늄강화버섯 폐배지)의 급여사양기간(2개월, 4개월, 6개월)을 달리 했을 때, 비육후기 한우의 조직 내 셀레늄함량에 미치는 영향을 조사하여 최대포화축적기간을 제시하고자 실시하였다.

Se-SMC 급여기간에 따른 비육후기 한우의 건물섭취량은 급여기간과 셀레늄수준에

의하여 처리구 간에 유의한 차이가 나타나지 않았고, 셀레늄이 사료섭취의 제한요인으로 나타나지 않았다. 또한, 사양시험 개시체중과 종료체중은 급여기간이 증가함에 따라 유의하게 낮았다($P < 0.01$). 하지만, 총 증체량은 급여기간이 증가함에 따라 유의하게 증가하였으나($P < 0.0001$), Se-SMC에 의한 효과 또한 나타나지 않았다.

한편, 사료내 셀레늄수준은 한우의 혈중셀레늄농도를 유의하게 증가시켰으나($P < 0.0001$), 급여기간에 따른 효과는 나타나지 않았다. 아울러 GSH-Px활성 또한 사료내 Se-SMC보충으로 유의하게 증가하였으나($P < 0.05$), 포화축적기간에 따른 효과는 나타나지 않았다. 등심내 셀레늄함량은 급여기간과 사료내 셀레늄수준에 의하여 유의한 효과가 나타나지 않았다. 후지내 셀레늄함량은 급여기간이 증가함에 따라 유의하게 증가하였으나($P < 0.05$), Se-SMC의 4개월 급여군과 6개월급여군간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 간내 셀레늄함량은 급여기간의 효과는 나타나지 않았지만, 셀레늄효과는 대조구에 비하여 유의하게 증가하였다($P < 0.0001$).

따라서, 본 연구에서 근육내 셀레늄에 대한 적정 Se-SMC급여기간은 4개월 정도가 적당할 것으로 생각된다.

6) 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 급여기간이 쇠고기육질특성과 육색의 안정성에 미치는 영향(2년차 협동과제)

유기셀레늄 강화 폐배지를 첨가한 실험사료는 셀레늄 농도를 건물기준으로 0.9 ppm이 되도록 첨가하여 무급여(C), 2개월(T1), 4개월(T2), 6개월(T3)급여한 한우 거세우체끝육의 육질에 미치는 영향을 비교한 결과, 수분함량은 63%에서 66%로 급여기간에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 근내지방도와 직접적으로 관련된 지방함량도 처리구별로 약 11.7%에서 16.4%정도의 분포를 보였으나 처리구간 유의적 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 단백질은 T3구가 20.8%로 가장 높았고, T2구가 19.2%로 가장 낮은 조성을 보였다. 따라서 유기셀레늄을 사료로서 첨가 급여할 경우 일반조성분에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 물리적 특성에 미치는 영향을 비교한 결과, 가열감량은 20~21%, 전단력은 3.6~4.4 kg/inch²의 범위로 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 사후 24시간 pH는 대조구와 T1구가 각각 5.52, 5.57, T2와 T3는 5.50으로 급여기간이 길어짐에 따라 낮아지는 경향을 보였다. 반면 보수력은 대조구 59.5%에 비하여 시험구 T1, T2, T3 각각 63.8, 64.4, 64.2%로 유의적으로 높은 경향을 보였으나($P < 0.05$), 급여기간에 따른 차이는 보이지 않았다($P > 0.05$). 관능특성을

비교한 결과로서 다즙성은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 연도는 T1구와 T2구가 각각 5.30, 5.28점으로서 T3구보다 유의적으로 높았으며, 향미에서는 T2구가 다른 처리구와 대조구에 비하여 높은 결과를 보였다. 무기물 함량을 분석한 결과, Ca, P, K, Na, Mg, Fe, Mn, Zn 및 Cu 모두 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않아 유기셀레늄 급여에 의한 근육내 무기물의 조성변화는 없는 것으로 판단된다. 육색을 분석한 결과는 Hunter 명도(L*), 적색도(a*) 및 황색도(b*)는 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 본 시험결과는 절개 후 30분간 홍색화후에 측정된 결과로 처리구간 차이가 없었으나, 유기셀레늄급여가 육색에 미치는 영향에 대해서는 최대 홍색화 이후 장시간이 경과한 다음 육색소 조성 등의 분석을 통하여 비교해야 더욱더 정확한 비교 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다. 급여기간별 육질등급별 출현율을 비교한 결과 육질최고 등급인 1+등급 출현율은 대조구가 13%, 2개월 급여구(T1)구와 4개월급여구(T2) 급여구가 80%, 6개월 급여구(T3)와 20%로 대조구에 비하여 시험구에서 대체적으로 높은 출현율을 보였으나 1등급 이상에서는 시험구와 대조구 공히 86.66%로 차이가 없었으며, 카이스케어(X²) 분석결과(X² value=14.167, P<0.1167) 처리에 따른 유의성은 없는 것으로 나타났다. 육량 A등급 출현율은 대조구가 6.7%, 처리구 모두 20.0%로 시험구가 대조구에 비하여 높은 출현율을 보였다(X² value = 2.1951, P<0.9009). 그러나 육량 등급에 있어서는 유기셀레늄 급여구가 대조구에 비하여 A등급 출현율에서 13%정도 높은 것으로 조사 되었으나 등급간 통계적 유의차는 없었다(X² value = 1.1667, P<0.5580).

육색(CIE L*, a*, b*) 및 chroma(채도, 색도), hue(색조, 색상) 및 색차(ΔE)값의 측정은 도축 후 24시간경에 해체 발골후 진공포장하여 1℃에서 약 1일 보관한 후 채끝육을 절개하여 30분간 홍색화시킨 후 시료당 3반복 측정된 결과 명도(L*)는 대조구 37.46에 비하여 유기셀레늄 강화 폐배지 2개월 급여구를 제외하고는 시험구가 다소 높은 값을 보였다. 적색도(a*)와 황색도(b*)는 처리구간 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. chroma 값은 대조구에 비하여 시험구가 다소 낮은 경향을 보였으나 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았고, 색조인 hue 값도 유의적인 차이는 없었으나 급여기간이 길어질수록 증가하는 경향을 보였다. 색차 ΔE는 처리구간 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 따라서 유기셀레늄 강화 폐배지 급여는 쇠고기의 초기 육색에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

유기셀레늄강화버섯 폐배지급여구와 대조구간의 육색소 화학적 조성을 비교한 결과, myoglobin의 함량은 대조구와 시험구에서 각각 6.39%, 14.18%로 대조구가 시험구

에 비하여 낮은 결과를 보였으며, Oxy-myoglobin의 함량은 반대로 대조구 89.07%, 시험구 83.47%로 시험구가 대조구에 비하여 낮은 결과를 보였다($P < 0.05$). 그러나 Met-myoglobin 함량은 대조구가 4.56%이었고 시험구가 2.35%로 대조구가 높은 결과를 보였다. 보다 정확한 결과를 평가하기 위해서는 시료를 Met화 시킨 후 측정해 볼 필요성이 대두되어 도축후 4°C에서 14일 및 21일간 숙성한 시료를 20°C에서 48시간 산화시킨 후 측정 육색소 화학적 조성을 비교한 결과, 육색소 화학적 조성을 비교한 결과로 myoglobin 함량은 저장 14일차와 21일차에서 유의적인 차이를 보이지 않았으나, Oxy-myoglobin은 저장 14일차와 21일차 모두 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 급여구가 대조구와 무기셀레늄 급여구에 비하여 높은 결과를 보였다. Met-myoglobin 함량에 있어서는 대조구와 무기셀레늄구가 유기 셀레늄구와 유기셀레늄강화 버섯 폐배지 급여구에 비하여 높은 결과를 보였다($P < 0.05$). 이러한 결과는 유기셀레늄을 소에게 급여할 경우 육색소를 안정화 시켜 유통기간 중 일반 쇠고기에 비하여 선홍색을 보다 오래 유지할 수 있으리라 판단된다. 대조구와 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 급여구(시험구)의 Met-myoglobin substrate를 비교하기 위하여 흡광도 측정기(spectrophotometer, DU-650, Beckman)에서 30°C에서 15분간 반응시키면서 2초간격으로 측정된 O.D.값으로서 유기셀레늄강화 폐배지 급여구(시험구)가 대조구에 비하여 높은 O.D. 값을 보여 육색의 안정성이 높은 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 소매상품으로 제조 판매시 Oxy-Mb이 Met-Mb으로의 전환을 억제하여 이상적인 육색을 장시간 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

7) 유기셀레늄 강화버섯 폐배지와 타셀레늄원과의 차별성을 위한 비육후기한우의 사양연구(3년차 주관과제)

본 연구는 다양한 셀레늄급원을 거세한우에 급여하였을 때, 사료섭취량 및 증체량, 혈중 셀레늄농도 및 GSH-Px활성 및 조직내 셀레늄축적에 미치는 영향을 조사하였다. 실험처리군은 대조군(셀레늄무급여), 셀레늄강화버섯 폐배지(Se-SMC), Se-yeast 및 sodium selenite의 4 처리군으로 하여 셀레늄처리군의 셀레늄농도는 사료내 0.9 ppm이었다. 실험동물은 비육후기 거세한우 20두(평균체중 536 kg, 20 개월령)를 공시하여, 처리구간 5두씩 배치하여 실험사료를 16주간 급여하였다. 실험기간 중 채혈하여 혈중 셀레늄농도와 혈장내 GSH-Px활성을 측정하였고, 근육(등심, 후지)과 간내 셀레늄함량을 측정하기 위해 시험 후 도축하였다. 다양한 셀레늄급원은 건물섭취량과 증체

량에 영향을 미치지 않았다. 혈중 셀레늄농도와 혈장내 GSH-Px활성은 Se-yeast> Se-SMC>sodium selenite≥대조구순으로 유의하게 높았다(P<0.05). 근육과 간내 셀레늄함량은 후지 및 간에서 각각 건물 g당 0.45(대조군), 0.57(sodium selenite), 0.71(Se-SMC), 1.11(Se-yeast) μ g 및 1.10(대조군), 1.80(sodium selenite), 2.32(Se-SMC), 3.36(Se-yeast) μ g을 나타내어 처리군간에 유의한 차이가 나타났다(P<0.05). 하지만, 등심내 셀레늄함량은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다.

이상과 같이 유기셀레늄처리군인 Se-SMC 및 Se-yeast는 비육후기한우에서 혈중 셀레늄농도와 GSH-Px활성을 유의하게 증가시킬 뿐만 아니라, 조직내 셀레늄함량을 증가시켰다. 아울러 Se-SMC는 Se-yeast 보다는 효과가 덜 하였지만, 무기셀레늄 및 대조구에 비하여 유의한 효과가 나타나 셀레늄강화 쇠고기의 생산이 가능할 것으로 판단된다.

8) 유기셀레늄 급여원에 따른 한우 거세 비육우의 도체와 육질 특성구명 및 유기셀레늄 급여 쇠고기의 저장기간중 선도변화(3년차 협동과제)

셀레늄 급여원을 달리 급여한 쇠고기 채끝육의 물리적 특성 및 일반 조성분 비교한 결과 가열감량은 무기셀레늄 급여구가 24.01%로 가장 높았고, 유기셀레늄과 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 급여구는 각각 20.88% 및 21.90%이었으며, 대조구가 16.89%로 유의 적으로 낮은 결과를 보였다(P<0.05). 전단력가는 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 유기셀레늄강화 버섯폐배지 급여구가 3.69로서 가장 낮은 결과를 보였다(P<0.05). pH는 무기셀레늄 급여구가 5.46으로 대조구 5.50, 유기셀레늄강화 버섯폐배지 급여구 5.50보다 유의적으로 낮았다. 보수력은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 일반조성분 중 수분함량은 대조구 62.2%, 무기셀레늄 급여구 56.89%, 유기셀레늄 급여구 55.46%, 유기셀레늄강화 버섯폐배지 급여구 54.38%로 통계적인 유의차는 보이지 않았으나(P<0.05), 대조구와 유기셀레늄강화 버섯폐배지 급여구가 다소 낮은 결과를 보였다.

근내 지방함량도 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 대조구 16.35%, 유기셀레늄강화 버섯폐배지 급여구 16.01%로 무기셀레늄 급여구 12.22% 및 유기셀레늄급여구 11.69% 보다 다소 높은 결과를 보였다. 단백질 함량은 모든 처리구에서 19.26%~19.85%로 차이를 보이지 않았다. 이상의 결과로 볼 때, 셀레늄 급여원은 일반조성분, 보수성, 연도는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 무기셀레늄 급여구는 가열

감량은 높고 pH가 낮아 다른 처리구에 비하여 육질이 좋지 않은 결과를 보였다. 관능 특성을 분석한 결과, 다즙성은 대조구 5.40점, 유기셀레늄 강화 버섯폐배지 급여구 5.40점으로 무기셀레늄 및 유기셀레늄 급여구 4.88점보다 높은 결과를 보였는데 통계적인 차이는 없었다.

연도는 유기셀레늄 강화 버섯폐배지 급여구가 5.08점으로 가장 높았고, 유기셀레늄 급여구가 4.96점, 대조구 4.72점, 무기셀레늄 4.48점으로 나타났다. 향미는 유기셀레늄 강화 버섯폐배지 급여구가 5.40점으로 가장 높은 결과를 보였으며, 그 다음으로는 유기셀레늄 급여구 5.04점, 대조구 4.88점, 무기 셀레늄 급여구 4.48점으로 무기셀레늄 급여구가 가장 낮은 점수를 보였다.

무기물 함량을 비교한 결과, Ca, P, K, Mg, Mn, Zn은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. Na은 무기 셀레늄 급여구가 488.24 ppm으로 다른 처리구들 417.63~424.00 ppm에 비하여 높았고, Fe는 유기셀레늄 강화버섯 폐배지 급여구(시험구)가 다른 처리구의 21.52~24.84 ppm 보다 낮은 18.77 ppm을 보였다($P<0.05$). Cu의 함량도 시험구가 0.07 ppm으로 다른 처리구 0.14~0.20 ppm에 비하여 낮은 결과를 보였다. 지방산 조성을 비교한 결과로서 C16:0는 무기셀레늄과 대조구가 28.29% 및 27.11%로 유기셀레늄 급여구와 시험구 각각 25.46%, 24.93%에 비하여 높은 조성을 보였다($P<0.05$). 그리고 지방산 C18: 1:n9는 무기셀레늄 급여구가 47.81%로 대조구 및 다른 처리구들에 비하여 가장 낮은 결과를 보였고, C18:3n3은 대조구가 0.14%로 다른 처리구들에 비하여 낮은 결과를 보였다($P<0.05$). C20:2n6는 시험구가 0.11%로 대조구 0.08%, 무기셀레늄 급여구 0.07% 및 유기셀레늄 급여구 0.07%에 비하여 높은 값을 보였다($P<0.05$).

소도체 육량등급별 출현율을 비교한 결과로서 육량 A등급 출현율은 유기셀레늄 급여구가 40%로 가장 높았고, 그 다음으로는 시험구가 20%로 나타났다. 육량 C등급 출현율은 무기셀레늄급여구가 40%로 가장 높았고, 대조구가 0%로 가장 낮았다. 그러나 Chi-Square분석으로 처리구간 유의차를 분석한 결과 차이를 보이지 않았다($P<0.05$).

소도체 육질등급 출현율을 비교한 결과 1+등급 출현율에서 유기셀레늄강화 버섯폐배지 급여구가 80%로 가장 높았고, 그 다음으로는 무기 셀레늄급여구 40%이었고, 대조구와 유기셀레늄 급여구는 20%로 가장 낮았다. 시험구는 100%가 1등급 이상의 출현율을 보인 반면에 유기셀레늄 급여구는 60%가 2등급 출현율을 보였다.

저장기간중 지방산패도(TBA)와 단백질 변패도를 비교한 결과로서 지방산패도에서는 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 단백질 변패도에서는 대조구에

비해서 시험구가 저장 초기부터 낮았으며, 저장기간이 경과함에 따라 대조구와 시험구간 측정값사이에 점차 그 폭이 증가하였다. 저장기간중 지방산조성을 비교한 결과 시험구와 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다.

나. 결과활용에 대한 건의

셀레늄강화버섯과 폐배지를 생산하여 이틀내 셀레늄함량 및 유기셀레늄을 분석한 결과, 셀레늄강화버섯 폐배지내 잔존하는 유기셀레늄의 비율은 상당히 높았고 총 셀레늄함량 또한 상당히 높았다. 아울러 이들을 한우 비육우에 급여한 결과 혈중 셀레늄농도 및 GSH-Px활성이 증가하여 장관내 흡수 이용율 및 동물의 건강에 유익한 효과를 나타내었을 뿐만 아니라, 조직내 셀레늄이 무기셀레늄 및 대조구 보다 그리고 사료내 셀레늄수준별로 유의하게 증가하여 기능성 축산물로서의 가치를 입증하였다.

그리고 생산된 채끝육의 육질특성 및 도체등급특성을 비교 분석한 결과, 시험구와 대조구간에 도체등급과 일반 육질에서는 큰 차이를 보이지 않았으나, 육색소 안정성에서 무기셀레늄 급여구나 대조구에 비하여 우수하였고, 유기셀레늄급여구와 동등한 효과를 보였다. 저장기간 중 단백질 변패도에서는 대조구에 비하여 우수하였다. 이러한 결과로 볼 때 유기셀레늄강화 버섯 폐배지 급여 한우 쇠고기의 브랜드 육으로 생산될 수 있도록 정부 및 산하기관의 지원이 필요하다고 하겠다.

SUMMARY

I. Title

Studies on the production of selenium-fortified Hanwoo beef by supplementing spent composts of selenium-enriched mushrooms

II. Objectives and Necessity of Research & Development

These days, many people appear not to have sufficient Se for RDA (recommended dietary allowance; 50 ~ 200 $\mu\text{g}/\text{day}$) mainly due to geographically low Se level in soil, resulting in increased Se-dependent diseases in the livestock and human.

Se retained in the body regulates antioxidant defense system and cellular redox state through the synthesis of many selenoproteins. Bioavailability of Se varies with chemical forms provided and animal species (monogastrics vs. ruminants). Generally organic Se is less toxic and more efficiently utilized than inorganic Se.

For US and European people, beef is the single greatest contributors of Se due to its high consumption on their tables and thus it is meaningful to produce Se-fortified beef in order to readily meet dietary Se allowance. Therefore, the present study was conducted to investigate the effect of supplementing Se-spent mushroom composts (SMC) on selenium deposition in tissues and meat quality of finishing Hanwoo steers, and to suggest a possible strategy for functional Hanwoo beef containing organic selenium.

III. Contents and Results of Research & Development

- 1) Studies on the selenium type and metabolism of selenium accumulation in the selenium-enriched mushroom, *Flammulina velutipes*, and its spent mushroom composts

This study was conducted to determine the total amount and type of selenium (Se) in the Se-enriched mushroom and its spent mushroom composts (SMC), and to investigate the metabolism in relation to Se accumulation in the mushroom. Mushrooms, *Flammulina velutipes*, used in this study were grown for 60 days by adding 2 mg of inorganic Se (Na_2SeO_3) per kg of mushroom composts (MC) on as-fed basis and were compared with normal mushrooms grown on the non Se-supplemented MC. Total Se contents for Se-treated mushrooms were significantly increased ($P < 0.0001$) by 20-fold ($4.51 \mu\text{g/g}$ of dry) compared to Se-untreated ($0.23 \mu\text{g/g}$ of dry). On the contrary, organic Se ratio was significantly lower ($P < 0.0001$) in the Se-treated mushroom (72.3%) than the Se-untreated one (100%, not analytically detected of inorganic Se). Se distribution upon a length in the Se-treated mushrooms was the highest in the bottom part ($6.86 \mu\text{g/g}$ of dry) near to MC, and those in top and middle parts were significantly lower (3.71 and $3.01 \mu\text{g/g}$ of dry, respectively; $P < 0.001$) than those in the bottom parts. In the SMC from Se-treated mushrooms, the significant amount of Se ($5.04 \mu\text{g/g}$ of dry) was remained, but that from the Se-untreated mushrooms was significantly low ($P < 0.0001$) as $0.08 \mu\text{g/g}$ of dry. Se-treated SMC showed a high ratio of organic Se (65.67%), suggesting that the significant amount of inorganic Se in the SMC was converted to organic Se by mushroom mycelia. Prior to mycelia inoculation in the mushroom culture, the sterilization of MC brought approximately 18% of Se loss in the MC. This result is in accordance with facts generally known that Se is weak in the high temperature, and thus consequently volatilized under the sterilization. Apparent and net accumulation rates (%) for Se into mushrooms were 14.81 and 10.14%, respectively, resulting from the Se volatilization into the air via metabolic process of mushroom itself.

The result of this study shows that inorganic Se addition to MC for mushroom improved the Se content in the mushroom. However, SMC from Se-enriched mushrooms still contained a high concentration of Se. Fruiting bodies and mycelia from the mushroom and SMC converted inorganic Se in MC to organic Se, resulting in a high proportion of organic Se in the mushroom and SMC. This study showed the possibility that Se in Se-enriched mushroom and SMC could be

utilized as Se sources of food for human as well as feed for livestock.

2) Studies on the manufacture of the fermented feed of spent mushroom composts for ruminants and the fortification of organic Se during fermentation

Main objectives of this study were to increase digestibilities of indigestible ingredients in SMC consisted of sawdust mainly as well as to fortify conversion of inorganic Se present in SMC to organic Se via fermentable microbial actions. We made fermented feeds containing the increasing level of selenium (0.06 ppm, 0.54 ppm, 1.26 ppm and 1.86 ppm) in combination with SMCs of Se-enriched and non-Se mushrooms being fermenting using commercial microbial feed additives (Sambae, Ltd., Korea) comprised *Saccharomyces*, *Bacillus*, *Aspergillus*, *Streptococcus* and *Actinomyces* before feeding trial for ruminants (Hanwoo). Those are fermented for 0, 12, 24, and 48 hrs. Initial pH was linearly increased as Se concentration increases or the proportion of SMC of Se-enriched mushroom increased ($P < 0.0001$). pH values of fermented feeds (0.54 ppm, 1.26 ppm and 1.86 ppm) containing SMC of Se-enriched mushroom were not different since 12 hrs of fermentation time and their pH was significantly lowered compared to control group. The increasing level of Se concentration in fermented feeds showed significant differences in organic and inorganic Se contents and proportion of organic Se among treatments. As a SMC proportion of Se-enriched mushrooms in the fermented feed was increased, organic Se proportion was significantly decreased ($P < 0.0001$).

The control treatment (0.06 ppm) comprising the non-Se SMC alone was estimated of the organic Se to be 100% and the treatment groups containing the increasing level of Se were estimated of organic Se to be approximately 70%.

3) Effects of spent composts of Se-enriched mushrooms on carcass characteristics, plasma GSH-Px activity, and Se deposition in finishing Hanwoo steers

This study was conducted to determine effects of spent composts of Se-enriched mushrooms (Se-SMC) as the dietary selenium source on carcass characteristics, plasma glutathione peroxidase (GSH-Px) activity and Se deposition in finishing Hanwoo steers. In combination with both Se-SMC and normal SMC, experimental treatment diets were formulated to contain 0.1, 0.3, 0.6 and 0.9 ppm of Se on a dry matter basis. A total of 20 finishing Hanwoo steers (average BW = 613 kg, average age = 20 to 24 mo) were allotted to treatments in four groups of five steers per pen for 12 wk preceding slaughter. While the experiment is employed, blood samples were taken to analyze Se concentration and GSH-Px activity, and muscle and liver samples were collected for analyses of Se contents in their tissues after slaughter. DMI and BW gain were not affected by dietary Se level and any toxic symptoms in treatments with a higher level of Se were not observed. Se concentration in whole blood and plasma GSH-Px activity were linearly increased with the increasing level of dietary Se ($P < 0.01$). Se content in the hind leg for Se-SMC supplemented groups significantly increased ($P < 0.05$) upon dietary Se level, with 0.27, 0.37, 0.40 and 0.46 $\mu\text{g/g}$ dry, respectively. However, Se content in the loin was not affected by dietary Se levels. Se content in the liver was significantly increased ($P < 0.05$) as dietary Se increased, with 0.79, 1.40, 2.39 and 3.10 $\mu\text{g/g}$ dry, respectively. These results suggested that Se in the Se-SMC was highly bioavailable, and Se-SMC might be used not only as an inexpensive way of providing Se for ruminants but also as another way of producing Se-fortified beef.

4) Effects of supplementing spent composts of Se-enriched mushrooms on carcass characteristics and meat quality in *longissimus* muscle of Hanwoo Steers

The current study was conducted to investigate the effect of supplementing spent composts of Se-enriched mushrooms (Se-SMC) on beef quality in finishing Hanwoo steers. Each five of 20 Hanwoo steers (20 ~ 24 month, approximately 613 kg) were assigned to four levels of the selenium content (0.1, 0.3, 0.6, 0.9 dry matter-based

ppm), and the feeding treatments were enforced for 12 weeks. The results showed that *m. longissimus* from the 0.1 ppm feeding supplementation had greatly higher intramuscular fat content than other treatments (13.1%). In meat color, the 0.1 ppm treatment showed the lowest lightness (CIE L*) with 35.93 ($P < 0.05$) and had a tendency to have lower redness (CIE a*) with 18.81.

The treatment had no noticeable effect on moisture, protein, and ash content, cooking loss, water-holding capacity and purge loss. The 0.3 ppm treatment resulted in the toughest meat (assessed by WB-shear force) with 4.54 kg/inch², while other groups showed a similar toughness ranging from 3.3 to 3.7 kg/inch². Sensory characteristics in juiciness and flavor intensity had a tendency of increasing as organic selenium concentration increased, but tenderness was not influenced by the contents. Ca, P, Mg, K, Na, Fe, Mn, Zn and Cu also were not affected by the treatments. For carcass characteristics, the 0.6 ppm group had a tendency to result in higher frequency of yield grade A, while the 0.3 ppm treatment resulted in the lowest frequency of 20%. The best treatment for the production of 1+ quality beef were resulted from 0.1 and 0.6 ppm with both 20%. The result indicated that Se-SMC supplementation affects meat qualities to different extent, and further study is required to examine antioxidant effect of selenium *in vivo*.

5) Effects of the feeding periods of spent mushroom composts from selenium-enriched mushroom on selenium deposition in finishing Hanwoo steers

This study was carried out to determine effects of the feeding period of spent mushroom composts from selenium-enriched mushroom (Se-SMC) on muscular selenium deposition in finishing Hanwoo steers. A total of 30 steers were allotted to an experiment with a 3 × 2 factorial arrangement. Treatments were 2 groups of with and without Se-SMC at three different feeding periods (2, 4, and 6 months) by body weight (BW). And then dry matter intake, body weight gain, Se concentration and/or content in blood and/or muscle were investigated. Dry matter intake was not affected by feeding period and Se-SMC supplementation. As the

feeding period was prolonged, initial and final BW was significantly lowered ($P < 0.01$) with no Se-SMC effect. However, total BW gain was significantly increased ($P < 0.0001$) with increasing feeding period with no effect of Se-SMC. Se-SMC supplementation significantly increased Se concentration in whole blood and plasma GSH-Px activity, but there was no effect on feeding period. Se contents in muscles, especially hind-leg, were significantly increased ($P < 0.05$) as the feeding period was increased. However, there was no difference for Se content between four and six months feeding groups of Se-SMC and also hepatic Se content was not affected by feeding period. On the contrast, hepatic Se content for Se-SMC group within each feeding period was significantly increased ($P < 0.0001$) compared with no Se-SMC supplementation.

In conclusion, our results suggested that optimum feeding period of Se-SMC as a strategy for the production of Se-fortified beef might be approximately 4 months.

6) Effects of spent mushroom composts from selenium-enriched mushroom feeding periods on meat quality in Hanwoo steers

Current study was conducted to investigate the effect of spent mushroom composts from selenium-enriched mushroom (Se-SMC) on beef quality of *longissimus* muscle. The results showed that Se-SMC supplementation of 0.9 ppm (DM based ratio) for 2 (T1), 4 (T2) and 6 (T3) months had no effect on water moisture contents, with 63 to 66%, compared to those of non-supplemented control group. Similarly, intramuscular fat content, ranged from 11.7 to 16.4%, did not differ among the treatment groups ($P > 0.05$). T3 group showed the highest protein content with 20.8%, while T2 group had the lowest content with 19.2%. The data indicated that Se-SMC supplementation to the experimental diets had indetectable effect on proximate muscle composition.

The treatments similarly had no influence on physical and biological characteristics of *longissimus* muscle, where cooking loss and shear force ranged from 20 to 21% and from 3.6 to 4.4 kg, respectively. On the other hand, muscle

pH at 24 h postmortem showed 5.52, 5.57, 5.50, 5.50 for control, T1, T2 and T3, respectively, indicating that the longer feeding period had the lower ultimate pH. The similar trend was observed from water-holding capacity where the treatment groups (63.8, 64.4 and 64.2% for T1, T2 and T3, respectively) showed significantly higher water-holding capacities than control group (59.5%) did. For sensory evaluation, juiciness was not different among the treatment groups, but T1 and T2 (5.30 and 5.28, respectively) showed significantly tender meat. Particularly, T2 group received significantly higher flavor scores among the treatment groups including controls.

For mineral contents, Ca, P, K, Na, Mg, Fe, Mn, Zn and Cu showed a similar levels among treatments. The frequency of 1+ quality grade was 80% for both T1 and T2 groups, and 20% for T3 group which was generally higher than 13% for control group. However, χ^2 analysis (χ^2 value=14.167, $P<0.1167$) indicated that the treatment had no effect on carcass quality. In the case of yield grade, the treatment groups had a higher (20%) grade of A than control group (6.7%). CIE L^* value showed a higher value with an exception for 2 month group, than control group (37.46) which CIE a^* and b^* values were similar between groups including control, indicating that the treatment had no effect of initial meat color of *longissimus* muscle.

Myoglobin content in *longissimus* muscle for the treated cattle were similarly 6.39% which was lower than control (14.18%). On the other hand, Oxy-myoglobin content was significantly higher for control (89.07%) than the treatment group (83.47%) ($P<0.05$). In the case of Met-myoglobin content, control (4.56%) group showed a higher level than the treatment group (2.35%). Collectively, the pigment analysis indicated that Se-SMC supplementation can stabilize meat color and consequently improve color stability during chiller ageing. The data indicated that Se-SMC supplementation to the experimental concentration had no effect on beef quality, but the treatment effect on antioxidation function remains for further studies.

7) Effects of different selenium sources on performances and Se depositions

in tissues of finishing Hanwoo steers

This study was conducted to determine effects of different selenium sources on performances and Se depositions in tissues of finishing Hanwoo steers. Treatments were controls (no Se-supplement), spent composts of Se-enriched mushrooms (Se-SMC), Se-yeast, and sodium selenite. Treatment groups barring controls contained 0.9 mg/kg Se in the diets by adding three different selenium sources to their each treatment diet. Twenty finishing Hanwoo steers initially weighing 536 kg (approx. 20 months old) were randomly allotted to one of four treatments with five steers per each diet and feeding trial lasted for 16 weeks. While the trial was employed, blood samples were collected to analyze their Se concentrations and GSH-Px activity. At experiment termination, tissue sample (loin, hind leg and liver) were collected in the slaughter house to analyze their Se contents. Dry matter intake and liveweight gain were not affected by dietary selenium source and level. Whole blood Se concentration and GSH-Px activity were significantly ($P<0.05$) different among treatments with the order of Se-yeast > Se-SMC > sodium selenite \geq control. The distribution of Se in hind leg and liver were significantly ($P<0.05$) different among treatments, with controls = sodium selenite \leq Se-SMC < Se-yeast (0.45, 0.57, 0.71, 1.11 ppm for hind leg; $P<0.01$) and controls = sodium selenite \leq Se-SMC \leq Se-yeast (1.10, 1.80, 2.32, 3.36 ppm for liver; $P<0.05$). However, Se contents in the loin were not significantly different among treatments due to its high proportion of intramuscular fats.

Our results showed that both Se-SMC and Se-yeast had greater not only whole blood Se concentrations and GSH-Px activity, but also Se deposition in tissues compared with control and sodium selenite treatments, suggesting that they contained a high proportion of organic selenium. Though they had greater bioavailability, Se in the Se-SMC treatment was less than that of Se-yeast. However, Se-SMC may contribute to the improvement of farm income and human health in the aspect of reducing feed costs and promoting functional animal products.

8) Effect of different selenium sources on carcass characteristics and meat quality of Hanwoo steers during cold storage

When different selenium sources such as spent mushroom composts from selenium-enriched mushroom (Se-SMC), Se-yeast and sodium selenite were supplemented to finishing Hanwoo steer diets, we determined the effect of selenium sources on meat quality after the slaughter. Sodium selenite treatments had the highest cooking loss (24.01%), while Se-yeast and Se-SMC were 20.88 and 21.90%, respectively, which was significantly higher than 16.89% for control group. WB-shear force was not different among treatments, but Se-SMC groups showed a significantly lower value (3.69; $P < 0.05$). Sodium selenite treatments had a significantly lower pH (5.46) than those (5.50) of both control and Se-SMC.

Intramuscular fat content did not differ among the treatment groups, but there was a tendency of higher levels for control and Se-SMC with 16.35% and 16.01%, respectively, compared to sodium selenite (12.22%) and Se-yeast (11.69%). All experimental groups showed a similar protein content of 19.26~19.85%. The results indicated that dietary selenium sources had no influence on muscle composition, water-holding capacity and meat tenderness. On the other hand, sodium selenite groups showed a poor meat quality in objective measurements due to higher cooking loss and lower pH compared to the other group. In sensory evaluation, juiciness for control (5.40), Se-SMC (5.40), sodium selenite and for Se-yeast (4.48) did not significantly differ. Tenderness was highest for Se-SMC (5.08), followed by Se-yeast (4.96), control (4.72) and sodium selenite (4.48). In flavor intensity evaluation, Se-SMC received the highest score (5.40), followed by Se-yeast (5.04), control (4.88) and sodium selenite (4.48).

Sodium (Na) content for sodium selenite was higher with 488.24 ppm than other groups of 417.63~424.00 ppm, which Fe for Se-SMC was lower (18.77 ppm) than other group (21.52~24.84 ppm) ($P < 0.05$). C16:0 fatty acid was significantly higher for sodium selenite and control of 28.29% and 27.11%, respectively, than Se-yeast and Se-SMC of 25.46% and 24.93%, respectively ($P < 0.05$). C18:1:n9 fatty acid showed that sodium selenite (47.81%) had a lower level than the other groups,

while control groups (0.14%) had the lowest C18:3n3 content ($P < 0.05$).

In yield grade, Se-yeast groups resulted in higher frequency of grade A (40%). On the other hand, 40% of grade C was resulted from sodium selenite groups which had significantly higher level than controls, but Chi-Square analysis for all treatment groups indicated that there was no treatment effect on yields ($P < 0.05$). Quality grade 1+ was highest for Se-SMC (80%), followed by sodium selenite (40%) and Se-yeast and control groups (20%). TBA and VBN values during chiller ageing indicated that there was no effect of different selenium sources on fat and protein degradation. Furthermore, Se supplemented treatments had no effect of changes in fatty acid composition during chiller ageing.

IV. Proposition for Research, Developmental and Application of the Results

The Se-SMC contained a high proportion of total and organic selenium. Moreover, the results from our feeding trials showed that Se-SMC increased not only blood Se concentrations and GSH-Px activity in plasma, indicating that Se in the Se-SMC is highly available and beneficial in the intestinal absorption and animal health, but also Se deposition in tissues compared with control and sodium selenite treatments and with dietary Se levels. As the results, our technology was confirmed to have the possibility as a functional beef. Even though, for carcass characteristics and meat quality, Se-SMC supplement was not different from other treatments, the stability of meat colors for Se-SMC was better than those of control and sodium selenite treatments, and it was equivalent to Se-yeast treatment. Furthermore, Hanwoo beef supplemented with Se-SMC was more excellent for protein degradation during storage compared with control groups.

Taken into account for above results, the supports and endeavor from the government and related organization should be proposed Hanwoo beef supplemented with Se-SMC to be developed and promoted as a functional branded animal products.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	28
Section 1. Objectives of research and development	28
Section 2. Necessities of research and development	28
Section 3. Scope of research and development	31
Chapter 2. Domestic and foreign situations for technological developments	33
Section 1. Domestic and foreign situations	33
Section 2. Forward perspectives	33
Chapter 3. Contents and results of research	35
Section 1. Studies on the selenium type and metabolism of selenium accumulation in the selenium-enriched mushroom, <i>Flammulina velutipes</i> , and its spent mushroom composts	35
Section 2. Studies on the manufacture of the fermented feed of spent mushroom composts for ruminants and the fortification of organic Se during fermentation	47
Section 3. Effects of spent composts of Se-enriched mushrooms on carcass characteristics, plasma GSH-Px activity, and Se deposition in finishing Hanwoo steers	56
Section 4. Effects of supplementing spent composts of Se-enriched mushrooms on carcass characteristics and meat quality in <i>longissimus</i> muscle of Hanwoo Steers	70
Section 5. Effects of the feeding periods of spent mushroom composts from selenium-enriched mushroom on selenium deposition in finishing Hanwoo steers	79
Section 6. Effects of spent mushroom composts from selenium-enriched mushroom	

feeding periods on meat quality in Hanwoo steers	90
Section 7. Effects of different dietary selenium sources on performances and tissue Se depositions in finishing Hanwoo steers	106
Section 8. Effect of different selenium sources on carcass characteristics and meat quality of Hanwoo steers during cold storage	116
 Chapter 4. Achievements and contribution	 128
Section 1. Achievements for goals	128
Section 2. Outward contribution	129
 Chapter 5. Application plans of research results	 130
 Chapter 6. Knowledge collected from foreign countries	 131
 Chapter 7. References	 132

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	28
제 1 절	연구개발의 목적	28
제 2 절	연구개발의 필요성	28
제 3 절	연구개발의 범위	31
제 2 장	국내외 기술개발 현황	33
제 1 절	국내·외 관련기술의 현황 및 문제점	33
제 2 절	앞으로의 전망	33
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	35
제 1 절	셀레늄강화 팽이버섯과 폐배지의 셀레늄형태 및 팽이버섯내 셀레늄축적 대사에 관한 연구	35
제 2 절	버섯 폐배지를 이용한 발효사료의 제조와 유기셀레늄 강화에 관한 연구	47
제 3 절	셀레늄강화버섯 폐배지의 수준별 첨가가 한우육내 셀레늄축적 및 혈중 GSH-Px활성연구	56
제 4 절	유기셀레늄강화버섯 폐배지의 급여수준에 따른 거세한우의 도체 등급 및 채끝육의 육질특성	70
제 5 절	셀레늄의 포화축적 기간 결정을 위한 한우사양시험	79
제 6 절	유기셀레늄강화 버섯 폐배지 급여기간이 쇠고기육질과 육색의 안정성에 미치는 영향	90
제 7 절	유기셀레늄 강화버섯 폐배지와 타셀레늄원과의 차별성을 위한 비육후기 한우의 사양연구	106
제 8 절	유기셀레늄 급여원에 따른 한우 거세 비육우의 도체, 육질 특성 및 저장 기간 중 선도변화 구명	116
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	128
제 1 절	연구개발의 목표 달성도	128

제 2 절 대외 기여도	129
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	130
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	131
제 7 장 참고문헌	132

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절. 연구개발의 목적

본 연구는 셀레늄강화버섯 폐배지를 이용하여 셀레늄강화 한우고기를 생산하기 위한 목적으로 일련의 연구를 실시하였다. 먼저 셀레늄강화버섯을 생산하여 버섯과 폐배지내 총셀레늄함량과 유기셀레늄함량을 정량 및 분석기법을 확립하고, 그 결과를 토대로 폐배지를 이용하여 발효사료를 제조하여 발효시간에 따른 폐배지내 잔여 무기셀레늄의 유기화를 꾀하고, 제조된 셀레늄강화 버섯폐배지를 이용한 발효사료는 셀레늄강화 한우고기를 생산하기 위한 적정 셀레늄농도 구명, 그리고 포화축기간을 결정하고 최종적으로 기존의 셀레늄제제와의 차별성을 검토하고자 하였다. 아울러 셀레늄강화버섯 폐배지의 한우사료내 급여를 통하여 생산된 한우고기의 육질 및 도체특성을 구명하고자 사양시험 실시후 도축된 채끝육의 이화학적 특성과 도체등급 특성, 육색 안정성, 쇠고기의 저장 중 선도변화를 비교하여 쇠고기내 셀레늄이 강화된 기능성 한우육을 생산하기 위한 기초 자료를 제시하고자 수행하였다. 이러한 연구를 통해 생산된 한우고기는 셀레늄강화쇠고기라는 기능성 축산물로서의 타당성과 버섯폐배지의 버섯부산물급여를 통한 가축사료비를 절감할 수 있는 장점이 있어 이러한 기술을 농가에 보급함으로써 축산업의 경쟁력제고와 농가소득 증대에 기여하는데 목적이 있다.

제 2 절. 연구개발의 필요성

2001년 생우 및 쇠고기 수입개방에 따른 대응책의 일환으로, 최근 한우농가에서는 소비자의 요구에 따라 육질이 좋을 뿐만 아니라 기능성 생리활성물질이 강화된 고기의 생산에 관심이 고조되고 있다. 지금까지 약용작물 및 지역특산물 또는 그 부산물등을 급여한 많은 종류의 브랜드쇠고기들(약 90여 종)이 여러 지역에서 생산되고 있으나 과학적이고 체계적인 연구의 미흡으로 그 작용기전과 효능이 의문시되고 있다(한성일, 1999; 2001).

특정한 물질이나 부산물을 이용한 새로운 기능성 식품 소재원의 개발 시 학술적 근거 자료의 확보가 시급한 실정이다. 아울러, 입증되지 않은 기능성 브랜드육의 생산은 국내 한우쇠고기 시장의 활성화뿐만 아니라 국외시장(특히 일본) 진출에 가장 큰 걸

립들이 되고 있다.

본 연구의 관심물질인 셀레늄은 필수미량광물질로서 항산화 효소인 glutathione peroxidase(GSH-Px)의 active site를 구성하는 성분으로서의 항산화 기능이 잘 알려져 있다(Levander, 1986; Reilly, 1998). 더욱이, 셀레늄은 항산화 작용에 관여함으로써 free radical의 연쇄반응을 차단할 뿐만 아니라 (Luoma, 1988), 갑상선 호르몬의 활성화에 관여하며(Arthur와 Beckett, 1994), 면역력을 증진시키는 것으로 밝혀졌다(Turner와 Francis, 1991). 셀레늄은 40여 가지의 질병예방에 관여하는 것으로 알려져 있는데(Reilly, 1996), 특히 전립선암, 피부암 등과 각종 암에 대한 예방효과가 있다는 1990년 중반의 임상실험결과(Clark 등, 1996)는 셀레늄의 항암작용 대한 재조명과 보다 심층적인 임상실험 연구가 전 세계적으로 현재 진행 중에 있다(Rayman, 2000).

1) 기술적 측면

지금까지 셀레늄의 축산물(쇠고기, 돼지고기, 달걀)에 전이 연구는 모든 경우 무기셀레늄(selenite 및 selenate)과 유기셀레늄(Se-yeast)을 사료 중에 첨가시킴으로서 이루어져 왔다(Mahan, 2000). 무기셀레늄의 경우 유기셀레늄에 비하여 전이효율이 현저히 떨어질 뿐만 아니라, 체내 이용효율 또한 떨어지며, 유기셀레늄의 경우 가격이 비싸다는 단점이 있다. 그러나, 원료사료나 식품에는 자연상태에서 대부분 셀레늄이 유기상태로 존재한다(Reilly, 1998).

이에 따라 본 연구팀은 버섯배지에 무기셀레늄(selenite)을 첨가시킴으로서 무기셀레늄이 버섯 내에서 유기화 되어 유기셀레늄의 형태로 축적되도록 하는 실험에 성공(유기셀레늄 강화 버섯) 하였다. 셀레늄 강화 버섯을 수확한 후 부산물로 생산되는 폐배지 중에도 균사체의 존재 때문에 무기셀레늄의 유기화가 다량으로 이루어질 것으로 예상된다. 발효사료 제조체계를 구축하여 원료사료를 발효시키는 과정에서 무기셀레늄의 유기화를 도모함으로써 폐배지 내 셀레늄의 유기화 정도를 더욱 강화할 수 있을 것으로 예상된다.

따라서, 비효율적인 무기셀레늄이나 값비싼 유기셀레늄 제제 대신에 유기셀레늄 강화 버섯 생산 후 폐기되는 유기셀레늄이 다량으로 함유되어 있는 폐배지를 한우 비육우에게 발효사료 제조시 첨가시킴으로서 폐배지에 존재하는 유기셀레늄이 쇠고기 중으로 이행되는 정도를 구명할 뿐만 아니라 이행을 유도함으로써 생리활성 물질인 셀레늄을 함유하는 고 부가가치의 한우고기를 생산하여 고품질 브랜드화가 가능하다고

판단된다.

또한, 셀레늄은 항산화력 및 보수력을 증진시킬 것으로 예측되며, 이는 쇠고기의 저장기간 연장과 화우에 비하여 짙은 육색특성을 지닌 한우의 육색을 개선하여 소비자의 기호도를 증진시켜, 한우 쇠고기의 가치를 한 층 높일 것으로 판단된다.

사료 및 폐배지의 무기 및 유기셀레늄의 탐색과 한우고기, 혈액 중 셀레늄 농도 및 GSH-Px활성 측정에 관한 연구를 통하여 셀레늄의 이행 여부 및 정도를 결정하고, 그에 따른 항산화력 강화 여부를 검증할 수 있다.

2) 경제·산업적 측면

국내에서 소비되고 있는 쇠고기에 대한 수입 쇠고기의 비율이 점차 증대되고 현재 품질 대비 가격 경쟁력이 우수한 냉장 부분육의 수입량이 증가하고 있는 상황에서 기능성을 갖는 고급 한우 쇠고기의 생산을 통한 특화가 불가피한 상태이다.

- 부존 사료자원을 이용한 한우고기의 생산성 향상을 통한 시장 경쟁력의 확보
- 부존 사료자원의 연구와 사료자원화 이용방법 확립
- 고품질 기능성 축산물의 생산 및 개발
- 한우고기의 상품 가치 향상을 통한 시장 경쟁력의 확보
- 한우고기의 차별적 특성을 살리기 위한 처리 연구
- 항산화 작용이 있는 셀레늄은 육제품의 변질, 산패 또는 변색을 억제하여 저장기간을 연장시키고 경제 및 영양적 손실을 줄일 수 있을 것으로 사료됨.
- 급변하는 국제 쇠고기 교역에서 국내 한우 사육기반 구축 및 소비확대를 위해서는 얼굴 있는 고품질의 브랜드육 생산하여 부가가치를 향상시킬 수 있는 쇠고기 개발 보급이 시급한 상태임.
- 국내산의 우위성을 활용한 특색 있는 쇠고기 생산과 소비자의 건강 유지를 위한 축산식품을 개발하여 식품 산업과 국내 축산업의 연대를 강화하여 근본적인 대책의 기틀 마련.
- 셀레늄과 같은 기능성 물질을 이용한 새로운 기능성 브랜드육의 개발에 의한 차별화는 국내 한우산업 기반 구축 및 한우 사육농가 소득증대는 물론 수출 산업으로의 활성화에 중요하며 21세기 국내 쇠고기의 안정적 공급 차원에서 중요하다고 판단됨.

- 기능성 쇠고기의 개발은 축산물의 미국에 대한 역수출과 일본시장을 점유하기 위하여 필연적이라 할 수 있음.

3) 사회·문화적 측면

- 21세기 열린 상품시장을 대비하여 WTO체제하에서의 농축산물 수출증대와 수입감소를 위한 제품기술 개발 시급.
- 유기셀레늄 강화 버섯배지 부산물(폐배지)과 같은 부존자원의 이용은 사료가치의 증대와 사료비의 절감뿐만 아니라 환경오염의 감소 기능 및 기능성 쇠고기를 생산하게 함으로서 1석 4조의 결과를 얻을 수 있다고 판단됨.
- 양질의 냉장 쇠고기가 본격적으로 수입되면서 단순히 애국심에 의한 국내산 한우고기의 자발적 수요를 기대하기는 불가능함. 이러한 상황에 대처하기 위해서는 다각적인 면에서 노력이 필요하지만 초점은 한우 고급육 생산에 맞추어져 있음. 따라서 셀레늄-쇠고기와 같은 기능성 고급육을 생산하는 것도 수입 쇠고기의 대량유입을 막고 WTO에 대처하는 방법이 될 것으로 사료됨.
- 지적 소유권의 확대로 선진국의 기능성 생리활성물질의 개발의 기술 이전 회피 현상이 심각함.
- 고품질 및 기능성 축산물의 생산 및 개발지 상품의 흐름에 따라 차별화 상품을 개발 보급하는 체계를 개발하는 것이 중요함.

제 3 절. 연구개발의 범위

본 연구는 기능성 원소로서의 셀레늄을 셀레늄강화버섯 폐배지내 존재하는 유기셀레늄을 한우에 급여하여 기능성 한우고기를 생산하기위한 목적으로 실시한 것으로서 그 연구개발의 범위는 다음과 같다.

가. 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 유래 셀레늄 탐색 및 유기화정도 구명

- 1) 유기셀레늄 강화 팽이버섯 생산
- 2) 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 유래 셀레늄의 탐색 및 유기화 정도 정량
- 3) 일반 폐배지와 셀레늄 강화 폐배지의 셀레늄함량 비교 분석

나. 폐배지의 발효를 통한 효율적 사료화 체계 구축 및 발효 후 폐배지 및 발효사료 내 셀레늄의 유기화 정도 구명

- 1) 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 첨가 후 발효 전후 사료의 유기셀레늄 탐색 및 정량 비교
- 2) 폐배지 함유 발효사료의 개발

다. 한우에 대한 유기셀레늄강화버섯 폐배지의 적정 사용량 및 육질특성구명

- 1) 발효사료에 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지의 첨가 및 쇠고기내 유기셀레늄 전이를 위한 일정기간 시험사료 급여(사양시험I)
- 2) 사료, 혈청 및 쇠고기 내 셀레늄 탐색 및 정량과 혈중 GSH-Px 활성 구명
- 3) 급여량 차이에 따른 한우 비육우의 도체 및 육질 특성 구명

라. 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 유래 셀레늄의 쇠고기 내 포화 축적기간 결정

- 1) 최적 수준의 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지의 한우 비육우에 대한 첨가기간 사양시험(사양시험II)
- 2) 폐배지 발효사료, 쇠고기 및 혈액 중 셀레늄의 탐색 및 정량
- 3) 혈액 중 GSH-Px 활성 측정

마. 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 급여 한우 비육우의 육질특성 구명

- 1) 최적수준의 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 급여가 한우 비육우의 비육 단계별의 도체 및 육질특성 구명
- 2) 유기 셀레늄 강화 버섯폐배지 급여 한우육의 육색 안정성 구명

바. 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지(Se-SMC), 무기셀레늄(selenite) 및 유기셀레늄(Se-yeast) 첨가 비교시험 및 육질특성 구명

- 1) 사양시험I 및 II에서 결정된 수준의 셀레늄강화 버섯 폐배지 및 포화 축적기간 동안 한우비육우에 대한 각기 다른 셀레늄 공급원 비교사양시험(사양시험III)
- 2) 셀레늄 공급원에 따라 쇠고기 내로 이행된 유기셀레늄의 탐색 및 정량
- 3) 혈액 중 GSH-Px 활성측정
- 4) 셀레늄 공급원의 차이가 한우 비육우의 도체 및 육질특성에 미치는 영향 구명
- 5) 셀레늄 급여 한우육의 저장 특성 구명

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절. 국내 · 외 관련기술의 현황 및 문제점

- 2001년 수입개방을 우려한 한우사육 두수의 절대적 감소에 따른 송아지를 포함한 가격 폭등으로 한우 사육의욕 저하와 정부의 소 값 하향 안정대책 등에 대응하여 브랜드육 생산기술이 시급함.
- 각종 브랜드육이 여러 지역에서 시판되고 있으나 과학적이고 체계적인 연구(특히 축산물 내에서 의 기능성 물질의 함량측정 연구)의 미흡으로 그 작용기전과 효능이 의문시되고 있음.
- 새로운 기능성 식품 소재원의 개발 시 학술적 근거 자료의 확보가 시급함.
- 입증되지 않은 브랜드육의 생산은 국내 한우쇠고기 시장의 활성화뿐만 아니라 국외시장(특히 일본) 진출에 가장 큰 걸림돌이 되고 있음.
- 셀레늄의 항산화 효과(Reilly, 1998)는 매우 강력한 것으로 알려져 있으며, 항암 효과(Clark 등, 1996; Combs와 Gray, 1998, Rayman, 2000)를 포함한 항질병효과(Nève, 1996; Navarro-Alarcon과 Lopez-Martinez, 2000)에 대한 임상실험이 전세계적으로 매우 왕성하게 이루어지고 있으며, 일부 학자들은 항암효과를 나타내기 위해서는 셀레늄 일일권장섭취량(RDA)의 10배 이상을 섭취할 것을 권장함(El-Bayoumy, 2001).
- 반추가축에 비하여 단위가축에 있어서 셀레늄의 고기에 전이가 훨씬 효율적으로, 이미 유기셀레늄(Se-yeast) 첨가를 통한 셀레늄 돼지고기 생산은 이미 이루어져 있음(Mahan과 Kim, 1996).
- 그러나, 반추가축인 한우에 있어서, 셀레늄의 쇠고기 전이연구는 초보적인 단계이며, 농산부산물을 이용한 셀레늄 전이연구는 전무한 상태임.

제 2 절. 앞으로의 전망

- 절대 사육두수의 부족에 따른 한우고기 가격의 상승으로 인하여 일부 부유층의 쇠고기 소비량이 증가할 것임.
- 따라서, Rich-market을 겨냥한 고급육 또는 기능성 브랜드육의 개발로 한우고기

의 상품 가치 향상시켜 시장 경쟁력을 확보하는 길만이 한우가 살아남을 수 있음.

- 국내 부존 사료자원의 이용은 한우산업의 고부가가치 창출에 크게 기여할 것임.
- 본 연구와 같은 연구기반조성으로 인한 다양하고 지역특색에 맞는 명실상부한 브랜드육의 생산이 기대됨.
- 현재까지의 축산연구는 Macro(생산량, 효율 등) 수준에서의 연구가 주를 이루었지만, 앞으로는 Micro(기능성 구멍 등) 수준의 연구가 기대됨.
- 본 연구에 의하여 개발된 기능성 한우고기의 수출(특히 기능성 식품에 대한 관심이 매우 높은 일본)을 통한 외화벌이에 기여.
- 쇠고기 섭취를 통한 셀레늄의 항암 작용이라는 면에서 한국인은 물론 인류건강 증진에 이바지할 것임.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절. 셀레늄강화 팽이버섯과 폐배지의 셀레늄형태 및 팽이버섯내 셀레늄축적대사에 관한 연구

1. 연구 수행 내용

본 연구는 버섯을 키우는 배지에 무기태셀레늄을 첨가하여 셀레늄강화버섯을 생산하고, 인체 및 가축의 셀레늄급원으로서 버섯과 폐배지에 대한 각각의 셀레늄함량 및 유·무기형태 그리고 버섯 내에서 일어나는 셀레늄축적대사를 구명하기 위하여 수행하였다.

가. 버섯 재배

셀레늄강화버섯과 일반버섯을 재배하기 위해 경기도 안성소재 팽이버섯 농장 2곳을 선정하였다. 셀레늄강화버섯은 본 실험 실시 전 배지 내 무기태셀레늄 수준별 검정을 통한 버섯의 셀레늄 축적능력과 버섯 내 유효수준의 셀레늄함량을 토대로 하여, 버섯 배지의 2 ppm(2mg Se/배지 kg)에 해당하는 무기태셀레늄[sodium selenite(Na_2SeO_3), Sigma Chemicals, Co., Inc.]을 첨가하여 팽이버섯(*Flammulina velutipes*)을 재배하였고, 일반버섯은 무기태셀레늄을 처리하지 않았다. 버섯을 키우는 배지의 원료 성분 및 배지 내 셀레늄함량은 Table 1에 나타내었다.

두 농장의 1일 제조 배지량은 각각 8.64톤(원물기준)이었고, 배지의 원료를 교반기에 투입한 후, 4시간동안 교반하였다. 그리고 배지의 수분함량을 65%로 조절하고, 배지에 처리되는 셀레늄급원으로는 Na_2SeO_3 를 사용하였으며, 이를 초순수증류수에 녹여 수돗물과 함께 배지에 고르게 섞이도록 분사하였다. 배지의 제조가 완성되면, 720mL 용량의 polypropylene bottle에 자동입병기를 사용하여 약 570g씩 충전하고, 배지 중앙에 직경 15mm의 구멍을 뚫은 후 뚜껑을 닫아, 121℃에서 90분간 가압 멸균하였다. 그 다음날 팽이버섯종균 10 ~ 12g을 접종하여 20℃에서 배양하고, 배양이 끝나면 균굽기를 하여 12℃, 습도 90%로 조절된 발이실(發楫室)에서 초발이(初發楫)를 유도하였다. 버섯이 5 ~ 10mm 정도 자랐을 때 3 ~ 4℃에서 7 ~ 8일간 생육을 억제시키면서 버섯의

고른 발생을 유도하였다. 그 후 생육실로 옮겨 버섯이 병위로 2 ~ 3cm 정도 자랐을 때 종이봉지를 씌워서 7 ~ 8℃에서 수확기까지 생육시켰다.

Table 1. Ingredients and Se contents of mushroom composts as substrates

Items	Treatments	
	Se-untreated composts	Se-treated composts
Ingredients, as-fed basis		
Sawdust, %	20	20
Rice bran, %	12	12
Corn cob, %	6	6
Dried soybean curd residue, %	2	2
Se, mg/kg ¹⁾	-	2
Tap water, %	60	60
Se content, DM basis		
Se, mg/kg ²⁾	0.13	5.84

¹⁾While all ingredients of the mushroom composts are mixed in the formulator, Se was added as Na₂SeO₃ solution corresponding to 2 mg of Se per mushroom compost (kg) with tap water; ²⁾after the formulation of all ingredients, Se contents in mushroom composts were analyzed prior to the sterilization to inoculate mushroom mycelia.

나. 시료 채취 및 조사항목

배지의 셀레늄함량을 분석하기 위해 원료가 배합된 배지는 버섯종균 접종을 위한 멸균 전후로 각각 시료를 채취하여 총 셀레늄함량을 분석하였다. 버섯의 수확은 자실체의 성장이 완성되는 시기로서 버섯재배시작 후 60일이 경과되면 수확하였다. 수확한 후 얻어지는 팽이버섯과 폐배지 시료는 3병(3반복)의 버섯과 폐배지를 각각 무게를 측정 후, 일정량씩 채취하여 셀레늄분석을 위해 동결건조하였고, 셀레늄처리버섯은 부위별 셀레늄분포도를 알아보기 위하여, 팽이버섯체의 길이 기준(버섯의 총 길이: 약 15cm)으로 3등분(상단부, 중간부, 하단부: 각 5cm)하여 각각 동결건조한 후, 총 셀레늄함량을 분석하였다. 균질화 된 버섯개체와 폐배지는 총 셀레늄함량과 무기태셀레늄을 분석하여 유기태셀레늄비율을 조사하였다.

또한, 상기의 분석을 통해 얻어진 실험결과를 토대로 버섯체내로 전이되는 셀레늄

의 축적율을 조사하였으며, 셀레늄축적율은 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{외관상 셀레늄축적율 (\%)} = \frac{(\text{멸균후 배지내 셀레늄함량} - \text{폐배지내 셀레늄함량})}{\text{멸균후 배지내 셀레늄함량}} \times 100$$

$$\text{순수 셀레늄축적율 (\%)} = \frac{\text{버섯내 셀레늄함량}}{\text{멸균후 배지내 셀레늄함량}} \times 100$$

다. 분석 방법

1) 분석 준비

시료로 채취한 버섯과 폐배지는 총 셀레늄과 유기 및 무기태셀레늄 정량을 위해 -75℃에서 24시간 동결 후, 동결건조기(Labconco, Model 74070; Kansas City, MO)에서 3일간 건조하여 수분을 완전히 제거하였다. 건조된 팽이버섯과 폐배지는 분쇄기(Woonam, Ltd., Korea)를 이용하여 0.25mm이하로 미세하게 분쇄하여 셀레늄 정량에 사용하였다.

총 셀레늄정량은 Stijve(1977)의 방법에 따라 산소플라스크를 이용하여 산소플라스크연소법(oxygen flask combustion method)으로 연소시킨 후, AOAC방법(1995)으로 분석하였고, 무기태셀레늄정량은 3,3'-diaminobenzidine법(Ariyoshi 등, 1960)으로 분석하였다.

2) 총 셀레늄 분석

총 셀레늄 함량은 백금 holder가 부착된 산소플라스크(주문제작, 500mL Pyrex재질, 엘지이화학기제작소, Korea)를 이용하여 정량하였고, 플라스크에 70% 질산(nitric acid, Sigma Chemicals, Co., Inc.)을 초순수증류수(DDW : doubled distilled water, 18.3MΩ·cm)로 30배(v/v) 희석시킨 용액 25mL를 넣고, O₂로 3분간 과도하게 포화시킨 다음, 백금 holder에 시료를 투입한 후 점화하였다. 시료의 연소로 플라스크에 생성되는 연기가 외부로 누출되지 않고 모두 포집되도록 플라스크 stopper로 점화 후 즉시 밀폐시켰다. 이때 시료 내 유기태셀레늄(selenoamino acids)과 무기태셀레늄(selenite 및 selenate) 모두는 원소상 셀레늄(elemental Se)으로 전환되고, 플라스크 내 연기가

없어질 때 까지 실온에서 30분간 방치하였다. 플라스크 내부가 맑아지면, 셀레늄이 포집된 질산용액을 10mL의 DDW로 세척하여 100mL 비이커로 옮겼다. 비이커로 옮겨진 용액은 hot plate에서 끓기 시작한 후 10분 동안 가열하였다. 가열이 끝나면 실온에서 냉각하고, 용액을 NH_4OH ($\text{NH}_4\text{OH}:\text{DDW} = 1:1(\text{v/v})$)로 희석, Sigma Chemicals, Co., Inc.)로 pH를 2 ± 0.2 로 조절한 후, 250mL 분액깔때기로 옮겼다. 옮겨진 시료용액에 2,3-diaminonaphthalene (0.1N HCl 1mL당 1mg, Sigma Chemicals, Co., Inc.)과 hydroxylamine HCl (0.1N HCl 1mL당 5mg, Sigma Chemicals, Co., Inc.)용액 5mL를 넣어, 잘 흔들어 섞은 후, 100분 동안 실온에서 발색반응을 위해 방치하였다. 발색반응이 끝나면, cyclohexane(Aldrich Chemicals, Co., Inc.) 5mL를 넣어 심하게 5분간 흔든 후, 5분간 층 분리를 위해 실온에서 방치하였다. 층이 분리되면 상부의 cyclohexane층만을 취하여 12,000rpm에서 3분간 원심분리하였다. 원심분리가 끝나면, 순수 cyclohexane시료만을 취하여 quartz cell(10mm, Hellma[®])로 옮겨 spectrophotometer(Shimadzu, Japan) 380nm에서 시료와 표준용액의 OD(optical density)값을 측정하여 총 셀레늄을 정량하였다.

3) 무기태셀레늄 분석

무기태셀레늄은 다양한 형태로 존재하나 본 실험에서는 selenite(IV)와 selenate(VI)만 선택적으로 정량하는 방법으로 채택하였으며(Ariyoshi 등, 1960), 이 방법을 이용하여 CTAB(cetyl trimethyl ammonium bromide buffer, Table 2) 추출 동결시료 내 존재하는 무기태셀레늄 즉, selenite와 selenate를 20% NH_4Cl (Sigma Chemicals, Co., Inc.) 30mL와 2.5M formic acid 2mL를 넣어 selenite로 환원시켰다. 이후 0.1N HCl에 녹인 3,3'-diaminobenzidine(0.5%, Sigma Chemicals, Co., Inc.) 2mL와 3시간 동안 실온에서 방치하여 강렬한 황색반응물인 piaseleol을 형성시켰다. 여기에 DDW로 2배 희석한 NH_4OH (Sigma Chemicals, Co., Inc.)를 이용하여 pH를 6 ~ 7로 조정하였고, toluene(Aldrich Chemicals, Co., Inc.) 10mL를 넣은 후 심하게 흔들었다. 형성된 piaseleol은 toluene층으로 이동하게 되고, 상부의 toluene층만을 취하여 12,000rpm에서 3분간 원심분리하였다. 원심분리가 끝나면, toluene시료만을 취하여 quartz cell(10mm, Hellma[®])로 옮겨 spectrophotometer(Shimadzu, Japan) 420nm에서 시료와 표준용액의 OD값을 측정하여 무기태셀레늄을 정량하였다.

4) 유기태 셀레늄 비율 측정

유기태 셀레늄은 동결 건조시킨 시료에 CTAB detergent가 포함된 용액을 가하여 65°C에서 1 시간 배양하여 세포 내용물을 용출시켰고, 추출과정과 실험절차는 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1에 나타난바와 같이, 용출된 세포 내용물을 10,000rpm에서 10분간 원심분리하여 상층액만 취하고, 이를 -75°C에 냉동한 후 동결건조기에서 5일간 건조하였다. 유기태 셀레늄비율(%)은 동결 건조시킨 CTAB 용출물 내 존재하는 무기태 셀레늄과 총 셀레늄을 정량한 후, 다음식을 이용하여 구하였다.

$$\text{유기태 셀레늄비율 (\%)} = \frac{(\text{CTAB용출물내 총 셀레늄} - \text{CTAB용출물내 무기태 셀레늄})}{\text{CTAB용출물내 총 셀레늄}} \times 100$$

Table 2. Cetyl trimethyl ammonium bromide (CTAB) buffer composition

Reagents	Amounts
 L ⁻¹
CTAB(w/v)	20.000 g
Tris-HCl, pH 8	15.759 g
EDTA, pH 8	5.844 g
NaCl	81.816 g
2-mercaptoethanol(v/v)	20.000 mL

All chemicals except 2-mercaptoethanol are dissolved in DDW and then adjust pH to 8. After adjusting pH, it was autoclaved at 121°C for 15 min. 2-mercaptoethanol was finally added and then made up to 1 L volume with DDW.

라. 통계 분석

본 실험에서 얻어진 결과는 두 처리구(셀레늄처리구 vs 무처리구)간 비교를 위해 각 처리구에 대한 평균값과 표준오차를 토대로 SAS package program(2000, release. 8.1 ver.)의 T-test를 이용하여 통계 분석하였다. 그리고 셀레늄처리부위의 부위별 셀레늄함량의 비교(상단부, 중간부, 하단부)는 GLM(general linear model) procedure의

Duncan's multiple range test를 이용하여 5% 수준에서 유의성을 검정하였다(Steel과 Torrie, 1980).

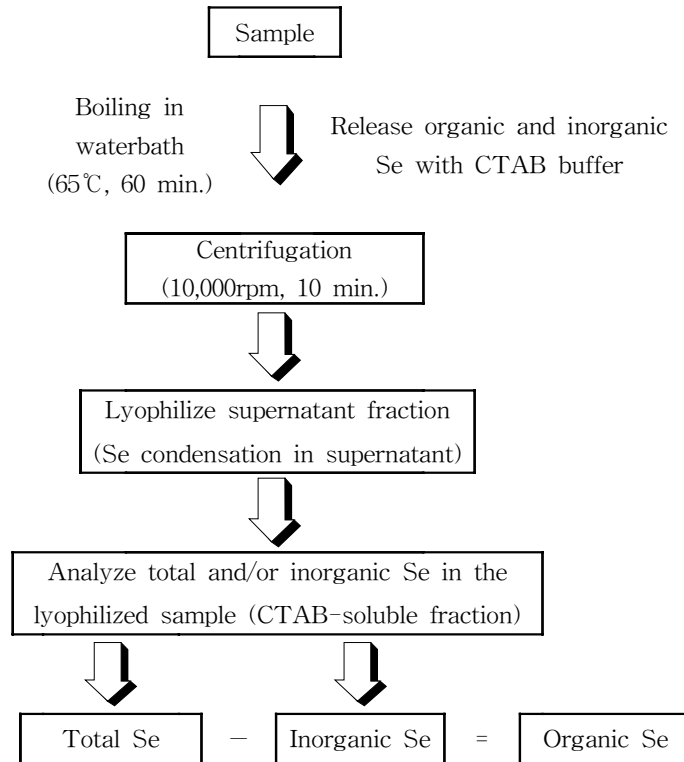


Fig. 1. Sequential procedure for the organic Se analysis in the sample.

2. 연구 결과

가. 버섯과 폐배지 내 셀레늄형태

팽이버섯 배지량의 2ppm에 해당하는 무기태셀레늄(Na_2SeO_2) 첨가로 인한 셀레늄처리버섯 및 무처리버섯 그리고 각각의 폐배지내 총 셀레늄 및 유기태셀레늄함량은 Table 3에 나타내었다. 셀레늄함량이 무처리버섯에 비하여 셀레늄처리버섯에서 유의하게 증가하였다($P < 0.0001$). 무처리버섯에서는 건조 g당 약 $0.23\mu\text{g}$ 의 셀레늄이 검출되었고, 셀레늄처리버섯에서는 건조 g당 $4.51\mu\text{g}$ 의 셀레늄이 검출되어 셀레늄무처리버섯에 비하여 셀레늄함량이 20배정도 증가하였고, 유기태셀레늄비율은 셀레늄처리버섯에

서 72.3%로 나타났으나, 셀레늄무처리버섯의 경우에는 무기함량이 거의 검출되지 않았으므로 대부분의 셀레늄이 유기형태로 존재하는 것으로 판단된다. 그리고, 양적인 면에서 셀레늄처리버섯이 건조버섯 g당 유기태셀레늄함량은 3.26 μ g으로 무처리버섯의 0.23 μ g보다 현저하게 높은 것으로 나타났고(P<0.0001), 이러한 결과는 무기태셀레늄의 첨가로 버섯체내에서 상당량의 무기태셀레늄이 유기태셀레늄으로 전환되었음을 시사한다.

버섯은 근본적으로 토양과 공기 중 금속성 원소를 버섯 자실체로 축적하는 능력이 우수한 것으로 알려져 있고(Vetter, 1989), 그 축적 능력은 버섯의 종(species), 토양 중 원소의 함량 및 기타 원소의 상호작용에 의해 지대한 영향을 받는다(Stijve와 Besson, 1976). 버섯의 셀레늄 축적은 버섯의 종에 따라 다양하고, 그 범위는 건조버섯 kg당 0.012 ~ 20.0mg까지 축적되는 것으로 나타나 있으며 가장 축적 능력이 우수한 버섯은 *Boletus edulis*로 보고되었다(Stijve, 1977).

본 연구에서 무기태셀레늄의 첨가로 버섯의 셀레늄함량이 무처리버섯에 비하여 증가하였는데, Stijve와 Besson(1976)은 버섯의 축적능력면에 있어 기타 중금속성 원소(수은, 카드뮴, 납)에 비하여 셀레늄이 보다 용이하게 축적되고, 축적된 셀레늄은 버섯체내에서 유무기형태의 셀레늄으로 존재하는 것으로 보고되고 있으며, 본 연구결과는 이러한 사실들을 뒷받침해 준다. 또한, 버섯은 무기태셀레늄을 흡수하여 생물학적 변형과정을 거쳐 셀레늄을 함유하는 단백질을 포함한 유·무기 형태의 화합물로 존재한다(Byrne와 Tušek-Žnidarič, 1990; Lasota와 Florczak, 1991). 셀레늄은 황과 비슷한 성질을 가지고 있어서, 특히 함 황아미노산의 황의 위치에 셀레늄이 치환되어 셀레늄 함유아미노산으로 존재하는 것으로 알려져 있고(Patterson 등, 1989; Swanson 등, 1991), 대다수의 버섯 내에는 함 황아미노산 중 cystine이 다량 함유되어 있다(Slejkovec 등, 2000). Stefánka 등(2001)은 양송이(*Agaricus bisporus*)버섯 배지에 무기태셀레늄 10ppm을 첨가한 후 생산된 버섯의 셀레늄의 조성을 평가해본 결과, 유기태셀레늄이 주로 selenocystine(SeCys₂)로 존재한다고 보고하였고, 그 함량이 37%로 비교적 낮은 유기태셀레늄비율을 보고하였다. 본 실험에서는 유기태셀레늄이 72.3%로 나타났고, Stefánka 등(2001)의 결과와는 상당한 차이를 나타내었다. 버섯 내 유기태셀레늄은 시료의 추출방법과 유기셀레늄의 형태에 따라 연구자들 간에 상당한 차이를 나타낼 뿐만 아니라, 버섯의 종과 배지 내 셀레늄의 농도에 따라서도 버섯체내 축적되는 셀레늄의 형태는 다양해진다.

따라서, 본 실험에서는 배지량의 2ppm에 해당하는 무기태셀레늄을 첨가하여 생산

된 팽이버섯으로, 다른 연구자들의 유사한 연구에서 배지에 처리한 셀레늄 농도에 비해 본 연구의 셀레늄 농도는 상대적으로 상당히 낮았고, 이에 따라 버섯 균사 및 자실체에 의한 셀레늄 유기화가 배지 내 셀레늄 농도가 높을 때 보다는 낮은 농도에서 효율적으로 일어날 가능성이 높기 때문에 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

한편, 셀레늄함유아미노산의 유기태셀레늄은 인체 내 축적 및 이용률 면에 있어서 효과적인 것으로 알려져 있고, 셀레늄강화버섯의 인체 내 효과에 대해서 Mutanen (1986)은 핀란드의 젊은 여성에게 1일 150 μ g의 셀레늄을 버섯으로부터 섭취하도록 하여 4주 동안 실시한 결과, 체내 셀레늄상태를 나타내는 혈중 GSH-Px활성도가 크게 향상되지 않았다고 보고를 하였으나, Spolar 등(1999)은 화학적으로 유도된 종양세포의 성장을 지연시켜 항암작용에 유용하게 이용될 수 있다고 보고함에 따라, 두 연구진간에 다소 상이한 결과를 보여주었다. 이에 따라 버섯 내 셀레늄의 인체 내 효용면에 있어서 섭취하는 소비자들에게 보다 확실한 신뢰감을 주기 위해서는 더 많은 임상연구가 이루어져야 하겠다.

하지만, 본 연구에서 생산된 셀레늄강화팽이버섯을 식품으로서 세계보건기구(WHO, 1996)에서 제시한 최소 셀레늄권장량 45 μ g을 감안하여 섭취한다면, 셀레늄강화버섯 원물기준(건물함량: 9.1%) 100g이상을 섭취하면 최소 일일권장량을 충족시킬 수 있을 것으로 사료된다.

한편, 대부분의 식물체는 토양이나 비료내 존재하는 매우 낮은 농도의 셀레늄에 의해서도 생육이 억제되는 것으로 알려져 있다(Gunnar 등, 1985). 본 실험에 사용된 버섯에서는 생산수량에 있어 셀레늄처리구와 무처리구에서 병배지 당 각각 234.86과 235.25g으로 나타나 유의한 차이는 나타나지 않았다. 본 결과로 미루어 볼때, 본 실험에서 처리한 무기태셀레늄의 처리수준은 버섯의 성장저해수준이 아니었던 것으로 판단되고, 또한, 버섯을 포함한 미생물이 식물체보다 셀레늄에 대한 내성이 강한 것으로 보인다.

셀레늄처리버섯 폐배지의 총 셀레늄함량은 Table 3에서 나타난 바와 같이 건조 g 당 5.04 μ g을 나타내어 무처리버섯 폐배지의 0.08 μ g보다 유의하게 높았다($P < 0.0001$). 그리고 무처리 버섯 폐배지의 무기태셀레늄함량은 버섯에서와 마찬가지로 검출되지 않아, 폐배지 내 존재하는 셀레늄이 모두 유기태셀레늄인 것으로 평가되었다. 반면, 셀레늄처리 버섯 폐배지는 버섯 체내로 이행하지 못한 잔여 셀레늄이 상당량 존재하였으며, 셀레늄처리버섯 폐배지의 무기태셀레늄과 유기태셀레늄은 각각 건조 g당 각각 1.73과 3.31 μ g으로 무처리버섯 폐배지 보다 유의하게 높은 값을 나타내었다($P < 0.0001$).

셀레늄처리버섯 폐배지의 총 셀레늄 중 유기태셀레늄의 비율은 65.67%로 높게 나타났기에, 폐배지 내 존재하는 상당량의 무기태셀레늄이 버섯균사에 의해서도 유기태셀레늄으로 전환이 일어난 것으로 사료된다. 이상과 같이 셀레늄처리 폐배지에서 유기태셀레늄이 상당량 존재하여, 가축의 사료로 이용할 시, 체내 이용률 및 축적률이 우수한 유기태셀레늄 급원으로서의 충분한 가치가 있을 것으로 생각된다. 특히 Lee 등 (2004)의 연구보고에 의하면, 셀레늄강화버섯 폐배지를 이용하여 셀레늄수준별(사료 중 0.1, 0.3, 0.6 및 0.9ppm의 셀레늄)로 사료를 배합하여 비육후기 거세한우에 급여하였을 때, 한우의 혈중 셀레늄농도 및 혈중 GSH-Px활성이 수준별로 유의하게 증가할 뿐만 아니라 근육 및 간내 셀레늄함량이 유의하게 증가하여 셀레늄강화버섯 폐배지내 존재하는 셀레늄이 동물체내 이용율에 있어 우수한 것으로 보고하였다.

Table 3. Total Se and organic Se contents in mushrooms and spent mushroom composts

Item	Treatments ¹⁾		SED ²⁾	P < ³⁾
	Se-untreated	Se-treated		
..... Mushrooms				
Total Se, $\mu\text{g/g}$	0.23	4.51	0.21	<0.0001
Organic Se, %	100.00	72.30	0.58	<0.0001
Inorganic Se, $\mu\text{g/g}$	ND ⁴⁾	1.25	0.06	<0.0001
Organic Se, $\mu\text{g/g}$	0.23	3.26	0.15	<0.0001
Net increment of organic Se, $\mu\text{g/g}$	-	3.04	-	-
..... Spent mushroom composts				
Total Se, $\mu\text{g/g}$	0.08	5.04	0.09	<0.0001
Organic Se, %	100.00	65.67	0.86	<0.0001
Inorganic Se, $\mu\text{g/g}$	ND	1.73	0.06	<0.0001
Organic Se, $\mu\text{g/g}$	0.08	3.31	0.03	<0.0001
Net increment of organic Se, $\mu\text{g/g}$	-	3.23	-	-

¹⁾All values represent the mean of 3 replicates and were expressed on a dry weight basis; ²⁾standard error of the difference; ³⁾P-value is significantly different between treatments at a level of < 0.05; ⁴⁾not detected of inorganic Se, less than 2 ng/g.

나. 버섯부위별 총 셀레늄함량

수확한 셀레늄처리버섯의 부위별 셀레늄함량은 Fig. 2에 나타난 바와 같다. 셀레늄 처리버섯의 부위별 총 셀레늄 함량은 하단부가 상단부와 중간부보다 유의하게 높았다 ($P < 0.001$). 즉, 배지의 영양분을 흡수하여 직접적으로 전이되는 하단부는 건조시료 g 당 $6.86\mu\text{g}$ 으로 상단부와 중간부의 3.71 및 $3.01\mu\text{g}$ 보다 약 2배 가까이 높았고($P < 0.001$), 상단부와 중간부 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$). Van Elteren 등 (1998)은 radiotracer를 이용하여 양송이(*Agaricus bisporus*)의 셀레늄축적 실험을 실시한 결과, 줄기 부분 보다는 갓 부위(cap)에서 셀레늄함량이 높았고, 여기에는 저분자 셀레늄화합물과 무기태셀레늄이 존재한다고 하였으며, 이러한 결과는 포자형성을 위한 갓부위의 높은 대사적 활력에 기인한다고 설명하였다.

Stijve(1977)도 Van Elteren 등(1998)과 동일한 결과를 보고하여, 본 실험결과와는 상이한 결과를 나타내었다. 본 실험에서 나타난 결과는 버섯 종에 따른 차이, 하단부의 직접적인 셀레늄 흡수용이 및 폐배지에 의한 버섯으로의 셀레늄흡입 가능성 등으로 추론이 가능하나, 팽이버섯의 셀레늄 분포도에 대한 보고는 알려진 바가 없어 이에 대한 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

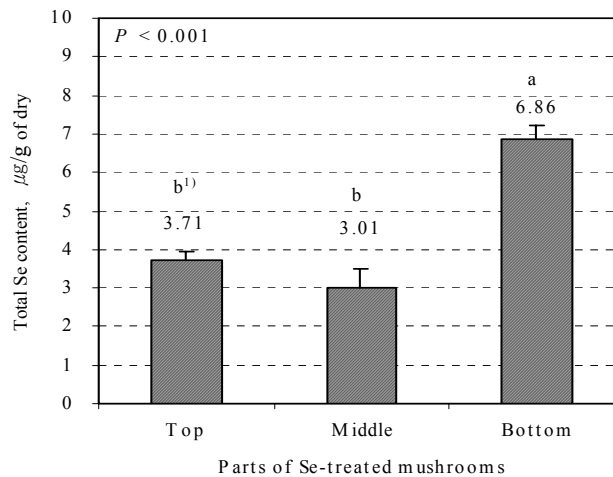


Fig. 2. Total Se content of each part by division of Se-treated mushrooms upon a length.

¹⁾ ^{a,b} bars bearing different letters are significantly different ($P < 0.05$); Vertical bars represent the standard error.

다. 셀레늄처리버섯의 셀레늄 축적대사

배지 내 2ppm에 해당하는 무기태셀레늄을 첨가한 후 버섯종균을 접종하기 전 배지의 멸균처리로 휘발되는 셀레늄의 손실율과 버섯 내 셀레늄축적을 및 버섯체내 대사로 인한 손실율은 Table 4에 나타내었다. 배지의 고온 멸균처리로 인하여 배지 내 셀레늄은 멸균전 건조 g당 5.84 μ g이었던 것이 멸균후 4.76 μ g으로 그 손실수준은 18.43%로 나타났다. 일반적으로 셀레늄은 열에 매우 약한 휘발성 원소로서(Aleixo와 Nóbrega, 2003), 실제 배지 내 처리한 셀레늄보다 멸균처리로 상당량의 셀레늄이 감소되었다는 것을 알 수 있다. 셀레늄원소의 열처리로 인한 손실은 온도와 가열시간에 따라 그 손실정도가 달라지는 것으로 보고되고 있으나(Foster 등, 1998), 이에 민감한 온도범위는 정확히 알려져 있지 않다. 하지만, Foster 등(1998)은 셀레늄강화우유를 71.7 $^{\circ}$ C에서 15초간 저온살균함으로서 우유내 셀레늄함량이 약 6.2 ~ 7.9%로 유의하게 감소하였고, 분무건조기(inlet온도: 280 $^{\circ}$ C, outlet온도: 110 $^{\circ}$ C)로 19분간 건조할 경우에는 원유에 비하여 최대 44.8%까지 감소한다고 보고하였다. 또한 Piepponen 등(1983)은 버섯을 섭취하기 전, 끓는물(100 $^{\circ}$ C 이상)에 살짝 데치면 버섯내 셀레늄함량의 약 32%가 손실되는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 버섯배지의 멸균으로 셀레늄의 손실은 상기의 연구자와 일치된 현상을 나타내었고, 기타 셀레늄강화축산물의 조리나 사료원료의 가공에 따른 손실정도는 알려진 바가 없다. 하지만, 셀레늄은 열처리에 민감하므로 과도한 온도나 장시간의 가열은 셀레늄의 손실이 기대되므로 각별한 주의가 요구된다.

셀레늄의 버섯 내 축적율은 멸균 후 배지 내 셀레늄함량에서 폐배지 내 남아 있는 셀레늄함량을 감하여 차지하는 비율과 멸균 후 배지의 셀레늄함량에서 버섯 내 셀레늄이 차지하는 비율의 두 가지 방법으로 계산하였고, 두 계산에 의한 축적율은 차이가 나타났으며, 그 차이는 버섯에 의해 흡수된 셀레늄이 대사과정을 거치면서 공기 중으로 휘발되었음을 나타낸다. 즉, 본 연구에서는 버섯체내 외관상 및 순수 축적율이 각각 14.81 및 10.14%로 평가되었고, 외관상으로 축적된 셀레늄의 4.67%가 버섯체내 대사에 의해 공기 중으로 휘발되는 것으로 나타났다.

버섯의 축적율은 예상했던 것보다 낮았고, Stijve와 Besson(1976)은 축적율이 버섯의 생장기간과 밀접한 관계가 있다고 보고하였고, 일반적으로 야생에서 수년간에 걸쳐서 자생하는 버섯에 비해 재배버섯은 재배기간이 불과 2 ~ 3개월로 짧아서 축적이 적었던 것으로 사료된다. 또한 버섯체내 대사로 인하여 공기 중으로 휘발되는 셀레늄

에 대한 광범위한 연구는 실시된 바 없으나, Van Elteren 등(1998)이 최초로 셀레늄처리 양송이버섯은 성장하는 동안 약 5%이하의 셀레늄이 휘발되었다고 보고하였고, Ridley 등(1977)은 버섯균사에 의한 methylation작용으로 SeH_2 , $\text{Se}(\text{CH}_3)_2$ 및 기타 셀레늄함유화합물이 생성되어 공기 중으로 방출될 가능성이 있다고 보고하였다. 하지만, 그 대사과정에 대해서는 상세하게 알려진 바가 없어 이에 대한 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Table 4. Se loss (%) in the mushroom composts after sterilization, Se accumulation rate (%) and metabolic loss in Se-treated mushrooms

Items	Se-treated ¹⁾
..... Mushroom composts	
Se content	
before sterilization, $\mu\text{g/g}$ of dry	5.84±0.36
after sterilization, $\mu\text{g/g}$ of dry	4.76±0.23
Se loss by sterilization ²⁾ , %	18.43±0.52
..... Mushrooms	
Apparent Se accumulation, %	14.81±0.65
Net Se accumulation, %	10.14±0.18
Metabolic Se loss ³⁾ , %	4.67±0.48

¹⁾All values represent mean±standard error (3 replicates); ²⁾Se loss (%) was calculated by difference of Se content before and after sterilization of mushroom compost; ³⁾metabolic Se loss was calculated by difference between apparent and net accumulation rates.

제 2 절. 버섯 폐배지를 이용한 발효사료의 제조와 유기셀레늄 강화에 관한 연구

1. 연구 수행 내용

본 연구는 셀레늄강화버섯 생산 후 폐기되는 버섯 폐배지를 이용하여 발효사료를 제조하였을 때, 발효사료 내 존재하는 유기셀레늄 비율을 조사하여 비육후기 한우의 셀레늄사료로 이용하기 위한 기초 자료로 제시하기 위하여 실시하였다.

가. 발효사료 배합

본 시험은 사양시험을 위한 폐배지함유 발효사료개발에 관한 기초연구로서 셀레늄 농도별 원료를 배합하여 [0.06 ppm(일반 폐배지에 함유), 0.54 ppm, 1.26 ppm, 1.86 ppm], 원통형 발효기(5톤용적, (주)해창, 한국)에서 발효시간별(0시간, 12시간, 24시간, 48시간) 시료를 채취하여 총 셀레늄과 무기셀레늄을 정량하여 발효 전·후 셀레늄의 유기화정도를 조사하였다. 발효 사료의 처리군별 셀레늄 농도에 대하여, 한우 사양시험에서 사용 할 사료의 최종 셀레늄 농도인 0.1, 0.3, 0.6 및 0.9 ppm은 발효사료와 옥수수 및 옥수수 글루텐밀 등을 포함한 추가사료를 45:55의 비율로 다시 배합하여 얻어진 것으로 발효사료에만 존재하는 셀레늄 농도는 분석을 통하여 0.06, 0.54, 1.26 및 1.86 ppm이 결정되었다. 발효사료의 제조는 전남 영암군 소재 한우농장에서 실시하였고, 발효사료의 배합비 및 화학적 조성은 Table 5에 나타내었다.

발효사료 원료의 배합은 발효기에 배합비대로 원료를 투입하고, 배합비율은 가용성 탄수화물(당밀)과 단백질(원료 중 단백질함량: 6.40%)의 비율을 2:1이 유지되도록 배합하였다. 원활한 발효를 위해 수분함량은 50%이상이 되도록 배합하였고, 교반이 잘 되도록 하기 위해 톨페스큐 건조를 따로 추가로 투입하였다.

그리고 각 발효사료의 셀레늄 농도는 셀레늄강화버섯 폐배지와 일반농장 버섯 폐배지를 조합하여 각 처리구의 농도에 맞도록 조절하여 배합하였다.

발효제는 시판 중인 발효미생물제제(주식회사 삼배, 한국)로서 여기에는 각종 미생물종(*Saccharomyces*, *Bacillus*, *Aspergillus*, *Streptococcus* 및 *Actinomyces*)이 포함되어 있고, 발효사료배합의 1%에 해당하는 양을 투입하여 최종 48시간동안 발효시켰

다.

Table 5. Ingredients and chemical compositions of fermented feeds

Items	Treatments			
	0.06ppm	0.54ppm	1.26ppm	1.86ppm
Ingredients(%), as-fed basis				
Molasses, sugarcane	13.00	13.00	13.00	13.00
Urea	1.00	1.00	1.00	1.00
SMC ¹⁾	75.00	55.00	25.00	-
Se-SMC ¹⁾	-	20.00	50.00	75.00
Water	10.00	10.00	10.00	10.00
Fermentation agent ²⁾	1.00	1.00	1.00	1.00
Chemical composition, as-fed basis				
Dry matter, %	49.26	49.32	49.40	49.47
Crude protein, %	6.39	6.41	6.43	6.45
Acid detergent fiber, %	21.41	21.38	21.34	21.31
Neutral detergent fiber, %	30.11	29.94	29.71	29.50
Ether extract, %	1.25	1.27	1.37	1.34
Crude ash, %	2.60	2.59	2.57	2.56
Selenium (mg/kg)	0.06	0.54	1.26	1.86

¹⁾SMC denotes spent mushroom composts, ²⁾fermentation agent was added commercially as microbial feed additives purchased from Sambae Ltd. consisted of *Saccharomyces*, *Bacillus*, *Aspergillus*, *Streptococcus* and *Actinomycetes*.

나. 발효사료제조 운영체제 및 시료의 채취

발효사료제조 운영체제 및 분석을 위한 시료의 채취는 다음과 같다. 발효사료제조에 필요한 원료를 준비하여 발효제를 제외한 모든 원료를 발효기에 투입하였다. 발효기는 발효의 정상적인 온도조건인 40 ~ 50℃로 유지하기 위해 가온하였고, 100 rpm의 속도로 교반하여 원료를 배합하였다.

발효기 내 온도가 40 ~ 50℃로 되면 발효제를 투입하여 발효 종료 시까지 다시 교

반하였다. 이때 발효제를 넣기 전에 발효사료의 0시간 시료를 약 500g정도 채취하였고, 발효제를 넣은 후 48시간동안 교반 발효시키면서 12시간, 24시간 및 48시간의 시료를 동일한 방법으로 500g씩 채취하였다. 시료채취 시, 교반 운반체로 투입된 건조부분은 제거하였다. 그리고 발효가 진행되는 동안 온도는 40℃가 항상 유지되도록 1시간에 한번씩 발효기 내 온도를 측정하여 간헐적으로 가온해 주었다.

이상과 같은 방법으로 모든 사료제조는 2회(처리구당 2반복)에 걸쳐서 실시하였다. 채취한 시료는 발효상태를 확인하기 위해 시료채취 후 즉시 pH를 측정하였다. 그리고 pH측정용 시료를 제외한 나머지는 발효사료 내 셀레늄의 유기화 정도를 측정하기 위해 실험실로 운반하여 -75℃에서 냉각시킨 후 동결건조 하였다.

다. 분석 방법

본 시험에 이용된 발효사료 원료의 일반성분은 AOAC(1995)방법에 준하여 분석하였고, neutral detergent fiber(NDF)와 acid detergent fiber(ADF)함량은 Van Soest 등(1991)의 방법에 따라 분석하였다. 그리고 원료사료 및 발효시간별 시료의 총 셀레늄 함량은 Stijve(1977)의 방법에 따라 산소플라스크연소법 으로 연소시켜 AOAC(1995) 방법으로 분석하였다. 각 시간별 발효사료 시료의 pH측정은 시료를 채취한 즉시 1:10(시료:증류수)의 비율로 증류수를 섞고 4겹의 cheese cloth로 여과한 후 pH meter(IQ Scientific Instruments, U.S.A.)를 이용하여 측정하였다. 그리고 발효사료의 유기셀레늄 비율을 조사하기 위해 CTAB(cetyl trimethyl ammonium bromide, 실험 1참조) buffer로 시료 내 세포 내용물을 용출시키고, 10,000rpm에서 10분간 원심 분리하여 상등액을 취하여 동결 및 동결건조기에서 3일간 동결 건조하여 수분을 완전히 제거한 후 총 셀레늄과 무기셀레늄을 정량하여 총 셀레늄에서 무기셀레늄 함량을 감함으로써 유기셀레늄의 비율을 조사하였다.

라. 통계 분석

본 실험에서 얻어진 자료는 각 셀레늄 농도별 발효사료의 pH 및 셀레늄의 유기셀레늄 비율을 조사하기 위해 발효사료를 2회에 걸쳐 반복으로 제조하였으며, 결과도출은 2반복결과를 토대로 SAS package program(2000, release. 8.1 ver.)의 GLM(general linear model) procedure를 이용하여 통계 분석하였다.

각 처리구간 평균값의 유의성 검정은 발효시간과 셀레늄 농도별로 P값 5%(0.05)수준에서 Duncan's multiple range test로 하였다(Steel과 Torrie, 1980).

2. 연구 결과

본 시험은 사양시험을 위한 폐배지함유 발효사료개발에 관한 기초연구로서 셀레늄 농도별 원료를 배합하여(0.06 ppm, 0.54 ppm, 1.26 ppm, 1.86 ppm), 발효기에서 발효 시간별(0시간, 12시간, 24시간, 48시간) 폐배지 내 존재하는 무기셀레늄을 여러 가지 미생물에 의한 발효를 통하여 유기셀레늄으로의 전환을 강화하고자 실시하였다.

가. 발효시간에 따른 pH의 변화

셀레늄강화버섯 폐배지와 일반버섯 폐배지를 이용하여 발효사료의 셀레늄농도가 발효시간에 따른 pH변화에 미치는 영향을 Table 6과 Fig. 3에 나타내었다.

발효 0시간의 pH는 셀레늄강화버섯 폐배지의 배합비율이 증가함에 따라 유의하게 증가하였고($P<0.001$), 발효 12시간까지 셀레늄강화버섯 폐배지 함유 처리군에서 pH가 급격하게 감소하였다. 이에 반해, 대조군은 발효가 지속됨에 따라 pH는 완만하게 감소하였다($P<0.01$).

그리고 모든 처리군에서 발효시간이 지속됨에 따라 유의하게 감소하였고($P<0.0001$), 셀레늄강화버섯 폐배지함유 처리군에서 12시간 이후부터 pH감소현상은 12시간 전보다 낮은 폭으로 나타났다. 그러나 대조군에 비하여 처리군에서 pH가 유의하게 낮았다($P<0.001$).

이상과 같이 pH는 발효의 진행정도를 나타내는 지표로서 미생물성장 정도, 그리고 발효사료 내 존재하는 무기셀레늄의 미생물에 의한 유기화를 해석하는 기초 자료가 되고, 발효사료는 발효초반부터 전반적으로 pH가 4.6에서 6.4사이로 셀레늄강화버섯 폐배지의 대체에 의한 효과가 나타났다. 버섯 폐배지는 버섯 재배과정에서 배지의 높은 함수율 및 버섯균체의 성장으로 인하여 1차적인 발효과정을 이미 거친 것으로서, 발효로 인하여 축적된 유기산 및 버섯 대사산물에 의해 미생물이 일반적으로 성장하는 환경(pH 7 ~ 8)보다 비교적 낮은 pH에서 실험이 개시되었다. 발효초기부터 나타난 pH의 차이는 셀레늄강화버섯 폐배지가 발효사료에서 증가함에 따라 잔존 무기셀레늄(selenite)의 증가하게 되고, 이들은 버섯 균사에 의한 무기셀레늄이 환원되면서

해리되어 있는 수소이온(H^+)을 이용하여 pH가 증가한 것으로 생각된다. 일반적으로 미생물은 자연적인 환경에서 수용성 셀레늄 즉, selenite 및 selenate를 생물학적 과정을 거치면서 원소상 셀레늄으로 환원하는 능력이 있는 것으로 알려져 있고, 이러한 과정에서 H^+ 을 사용한다(Oremland 등, 1991; Steinberg 등, 1990).

Table 6. The Effect of Se concentration in fermented feeds and fermentation time on pH

Fermentation time, hr	Treatments				Se effect	
	0.06ppm	0.54ppm	1.26ppm	1.86ppm	SEM ¹⁾	P value
0	4.63 ^{dA}	4.93 ^{cA}	5.56 ^{bA}	6.35 ^{aA}	0.010	<0.0001
12	4.51 ^{aB}	4.38 ^{bB}	4.36 ^{bB}	4.38 ^{bB}	0.009	0.0002
24	4.48 ^{aC}	4.21 ^{bcC}	4.19 ^{cC}	4.23 ^{bC}	0.008	<0.0001
48	4.28 ^{aD}	4.12 ^{bD}	4.12 ^{bD}	4.14 ^{bD}	0.011	0.0003
Time SEM ¹⁾	0.0112	0.0087	0.0122	0.0035	-	-
effect P value	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	-	-

¹⁾standard error of the mean, ^{a,b,c,d}different superscripts within the same row are significantly different (P<0.05), ^{A,B,C,D}different superscripts within the same column are significantly different (P<0.05).

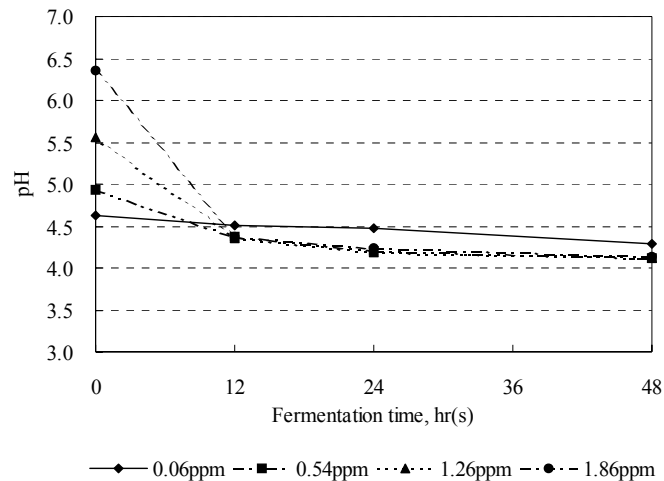


Fig. 3. The change of pH upon fermentation time

그리고, 셀레늄강화버섯 폐배지 처리군에서는 대조군에 비하여 12시간까지 급격한 pH 감소를 나타내었고, 이와 같은 결과는 셀레늄이 미생물의 성장인자로 작용하여 pH가 급격히 감소한 것으로 생각된다. Fujita 등(1997)은 *Bacillus* 종 성장배지에 selenite 및 selenate를 첨가하여 배양을 실시한 결과, 미생물의 균체량(cell mass)이 시간이 지속되면서 증가함과 동시에 산화형 lactate 및 acetate의 농도가 증가하였다고 보고하여 무기셀레늄이 미생물의 성장촉진인자로서 작용한 것으로 생각된다.

발효제에 함유되어 있는 효모는 자연계에 존재하는 다른 미생물에 비하여 성장조건의 제한을 덜 받으며, 이들은 다양한 효소를 분비하고, 반추동물의 반추위내 pH를 안정화시켜 섬유소분해 미생물의 성장촉진과 더불어 사료의 이용률을 개선하므로 가축 사료에 널리 이용되고 있고(Wang 등, 2001), 배지내 무기셀레늄을 유기셀레늄으로 전환시키는 능력 또한 우수하다(Shrift, 1973). 12시간이후 부터는 셀레늄강화버섯 폐배지함유 처리군에서 낮은 쪽으로 pH가 감소하였다. 이와 같은 결과는 셀레늄이 초기 배양 시간대에서 급격하게 미생물의 성장을 촉진하여 대사산물(유기산)의 포화로 성장이 더디어 지면서 활력이 떨어진 것으로 생각된다.

나. 발효시간에 따른 유기 및 무기셀레늄 함량과 비율

셀레늄강화버섯 폐배지와 일반 버섯 폐배지를 이용한 셀레늄 농도별 발효사료의 유기셀레늄 함량과 유기셀레늄 비율은 Table 7과 Fig. 4 및 5에 나타내었다.

각 셀레늄 농도별 발효사료의 무기셀레늄, 유기셀레늄 비율 및 유기셀레늄함량은 처리구간에 유의한 차이를 나타내었다($P < 0.001$). 발효시간에 따른 처리군의 유기셀레늄 비율은 0.54ppm에서 발효 24시간까지 유의하게 증가하였고, 1.26ppm에서는 발효 12시간이후에는 유의한 증가가 나타나지 않았으며, 1.86ppm에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 일반버섯 폐배지만으로 구성된 대조군의 발효사료에서는 무기셀레늄이 검출되지 않았으며, 이로서 유기셀레늄 비율은 100%로 평가되었다. 유기셀레늄 비율은 셀레늄처리버섯 폐배지의 배합비율이 증가함에 유기셀레늄 비율은 감소하였고, 그 비율은 발효 48시간에 67.23에서 70.28%로 대조군보다 유의하게 낮았다($P < 0.0001$).

이상과 같은 결과는 미생물에 의한 유기셀레늄 강화효과라기 보다는 셀레늄강화버섯 폐배지의 배합비율증가로 인한 100%의 유기셀레늄을 나타내는 일반버섯폐배지 감소현상으로 나타난 것으로 생각되고, 아울러 셀레늄농도가 증가함에 따라 셀레늄강화버섯 폐배지 내 존재하는 무기셀레늄의 증가로 나타난 것으로 판단된다.

이로서 본 실험에서 초기 유기셀레늄 비율에 비하여 발효 48시간에 비교적 낮은 비율로 강화되는 것으로 조사되었다. 하지만, 버섯 폐배지의 발효사료 제조후 외관적인 성장 및 풍미는 발효전보다 확연한 발효취와 미생물의 균체를 관측할 수 있었다. 발효미생물 중 효모에 의한 발효는 그 성장조건이 pH 3 ~ 10으로 광범위하고, 이 조건에서 *Saccharomyces cerevisiae*는 독립적으로 무기셀레늄(selenite)를 체내로 흡수하여 selenomethionine 등과 같은 셀레늄함유아미노산을 합성하는 것으로 알려져 있다 (Pérez-Corona 등, 1997).

일반적으로 미생물에 의한 무기셀레늄의 미생물체내 흡수는 무기셀레늄을 환원시킨 후, selenide(H_2Se)형태로 세포내 globule로 흡수되면서 황의 위치에 셀레늄을 치환한다 (Stolz와 Oremland, 1999; Nelson 등, 1996).

그리고 Fujita 등(1997)은 *Bacillus*종에 의한 셀레늄 환원작용은 여러 가지 요인에 의하여 영향을 받고 특히, 혐기상태, 온도, pH 및 무기셀레늄의 농도 등에 영향을 가장 많이 받는다고 하였으며, 온도는 $30^{\circ}C$ 그리고, pH는 8이 가장 최적의 조건이라고 하였다. 그리고 무기셀레늄의 미생물 성장 억제 현상은 2mM이상의 셀레늄에서 나타난다고 보고하였다.

한편 본 연구에서는 호기상태에서 발효를 시키면서, pH가 미생물의 최대활력을 나타내는 조건과 다소 일치하지 않아 유기셀레늄의 강화효과가 유의하게 나타나지 않았던 것으로 생각되고, 미생물 성장억제조건은 아니었다.

따라서 본 연구에서 얻어진 결과는 셀레늄강화버섯 폐배지를 이용한 발효사료는 큰 폭의 유기셀레늄 강화효과는 나타나지 않았으나, 발효과정을 거치면서 유기셀레늄이 다소 증가하여 한우를 포함한 반추동물의 사료로 급여 시 유용한 셀레늄사료가 될 수 있을 것으로 생각된다.

아울러 발효사료는 유기셀레늄 강화 외에도 난분해성 영양소의 분해를 용이하게 하고, 발효미생물의 성장으로 생물학적 이용가치가 높은 단백질의 함량을 증가시키며 (Zhang 등, 1995), 버섯 폐배지의 이용으로 유기성 폐자원을 재활용하여 환경오염감소와 저렴한 가격으로 사료자원을 확보할 수 있어 농가의 사료경영비를 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

Table 7. Organic and inorganic Se contents and organic Se (%) of fermented feeds during the fermentation

Fermentation time, hr	Treatments				Se effect	
	0.06ppm	0.54ppm	1.26ppm	1.86ppm	SEM ¹⁾	P value
..... Organic Se, % ²⁾						
0	100.0 ^a	68.47 ^{bC}	66.22 ^{cB}	65.67 ^c	0.2859	<0.0001
12	100.0 ^a	69.52 ^{bB}	68.72 ^{cA}	66.43 ^d	0.1907	<0.0001
24	100.0 ^a	70.02 ^{bA}	69.25 ^{cA}	66.86 ^d	0.2219	<0.0001
48	100.0 ^a	70.28 ^{bA}	69.41 ^{bA}	67.23 ^c	0.4254	<0.0001
Time SEM ¹⁾	-	0.1779	0.3485	0.4418	-	-
effect P value	-	0.0019	0.0023	0.0871	-	-
..... Inorganic Se, µg/g (as-fed basis) ³⁾						
0	ND	0.17 ^c	0.42 ^{bA}	0.64 ^a	0.0050	<0.0001
12	ND	0.17 ^c	0.39 ^{bB}	0.63 ^a	0.0061	<0.0001
24	ND	0.16 ^c	0.39 ^{bB}	0.62 ^a	0.0035	<0.0001
48	ND	0.16 ^c	0.39 ^{bB}	0.61 ^a	0.0079	<0.0001
Time SEM	-	0.0035	0.0071	0.0087	-	-
effect P value	-	0.1208	0.0132	0.1660	-	-
..... Organic Se, µg/g (as-fed basis) ⁴⁾						
0	0.06 ^d	0.37 ^c	0.84 ^{bB}	1.22 ^a	0.0050	<0.0001
12	0.06 ^d	0.38 ^c	0.87 ^{bA}	1.24 ^a	0.0061	<0.0001
24	0.06 ^d	0.38 ^c	0.87 ^{bA}	1.24 ^a	0.0035	<0.0001
48	0.06 ^d	0.38 ^c	0.88 ^{bA}	1.25 ^a	0.0079	<0.0001
Time SEM	-	0.0035	0.0071	0.0087	-	-
effect P value	-	0.1208	0.0132	0.1660	-	-

¹⁾standard error of the mean, ²⁾organic Se proportion was determined by subtracting inorganic Se content from total Se content of CTAB buffer extracts, ^{3),4)}organic and inorganic Se contents was calculated from organic Se (%), ^{a,b,c,d}different superscripts within the same row are significantly different (P<0.05), ^{A,B,C,D}different superscripts within the same column are significantly different (P<0.05).

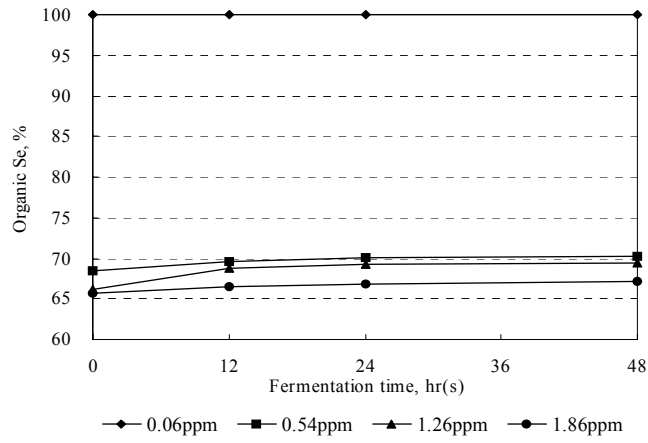


Fig. 4. The change of organic selenium proportion (%) upon fermentation time

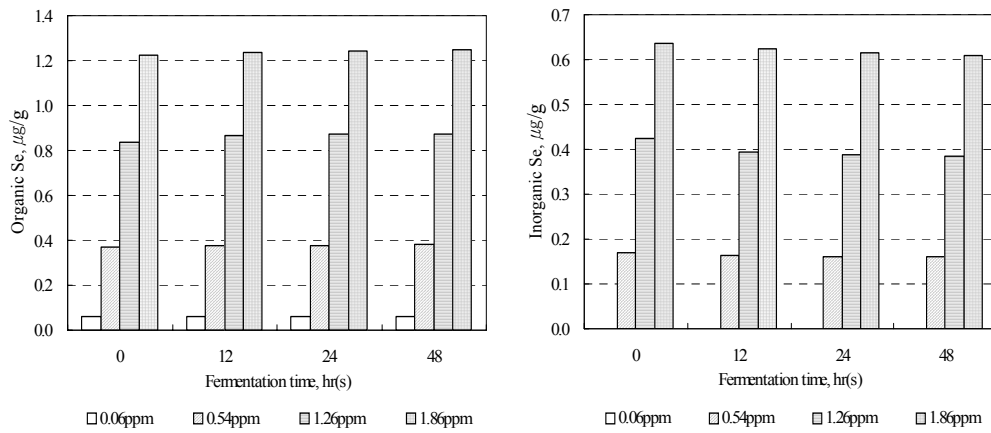


Fig. 5. Effects of fermented feeds containing increased levels of Se on organic and inorganic Se contents during the fermentation

제 3 절. 셀레늄강화버섯 폐배지의 수준별 첨가가 한우육내 셀레늄축적 및 혈중 GSH-Px활성연구

1. 연구 수행 내용

본 연구는 버섯 폐배지를 이용하여 셀레늄강화 한우고기를 생산하기 위한 기초연구로서, 셀레늄 농도별(0.1, 0.3, 0.6 및 0.9 ppm)로 사료를 제조하여 비육후기 한우에게 급여한 후 조직 내 셀레늄함량과 혈중 glutathione peroxidase활성을 조사하여 셀레늄강화버섯 폐배지의 셀레늄공급원으로서의 가치를 평가하였다.

가. 실험 설계

본 연구는 비육후기 거세한우 20두를 공시하였고, 0.1, 0.3, 0.6, 0.9ppm의 셀레늄 농도별로 버섯 폐배지를 이용하여 사료를 제조하였다. 각 처리구당 한우를 5두씩 완전 임의배치법으로 배치하였고, 실험사료를 90일 동안 급여·사육한 후, 근육 및 간과 혈액 내 셀레늄함량과 혈중 GSH-Px활성을 조사하였다.

나. 공시동물과 실험사료

전남 영암군 소재 한우 1,000두 규모의 한우농장에서 본 사양시험을 실시하였고, 체중(평균체중 613kg)과 성장월령(20 ~ 24개월)이 비슷한 비육후기 거세한우 20두를 선발하여, 구역(pen) 당 5두씩 배치하였다. 실험사료는 실험 2에서 제조된 각각의 발효사료(0.06, 0.54, 1.26, 1.86ppm의 셀레늄함유)에 기타 단미사료(옥수수, 옥수수 글루텐 밀, 톨페스큐 건초 및 비타민/광물질 첨가제)를 추가로 배합기에 투입하였다.

발효사료와 곡류사료의 배합은 45:55의 비율로 하였고, 실험사료의 최종 셀레늄농도는 최소 요구량(NRC, 1996)에서 강화수준에 이르기까지 0.1, 0.3, 0.6 및 0.9mg Se/사료 kg(원물기준)이었다. 실험사료의 비육거세한우에 대한 영양소요구량 충족은 ‘한국사양 표준 한우’(2002)에 근거하여 단백질(CP)과 에너지가(TDN)를 맞추었다. 실험사료의 원료배합비와 화학적 조성은 Table 8에 나타내었다. 실험사료는 2주일 단위로 제조하였고, 만들어진 사료는 비닐 백에 처리구별로 넣어 혐기상태를 유지시키기 위해 단단

Table 8. Ingredients and chemical compositions of experimental diets

Items	Treatments			
	0.1ppm	0.3ppm	0.6ppm	0.9ppm
Ingredients(%), as-fed basis				
Fermented feed, 0.06ppm ¹⁾	45.00	-	-	-
Fermented feed, 0.54ppm ¹⁾	-	45.00	-	-
Fermented feed, 1.26ppm ¹⁾	-	-	45.00	-
Fermented feed, 1.86ppm ¹⁾	-	-	-	45.00
Corn, grain	41.65	41.65	41.65	41.65
Corn gluten meal	6.63	6.63	6.63	6.63
Wheat bran	1.89	1.89	1.89	1.89
Tall fescue, hay	4.74	4.74	4.74	4.74
Vit./mineral mixture ²⁾	0.09	0.09	0.09	0.09
Chemical composition(%), DM basis				
Dry matter	71.24	71.26	71.30	71.33
Crude protein	16.27	16.32	15.80	15.43
Crude fiber	12.93	11.90	13.99	14.84
Acid detergent fiber	16.80	16.78	17.75	18.71
Neutral detergent fiber	24.61	24.50	25.33	25.20
Ether extract	3.43	2.79	3.92	4.03
Crude ash	3.18	3.03	3.19	3.21
Nitrogen free extract	64.19	65.97	63.10	62.49
Selenium, mg/kg of DM	0.12	0.42	0.87	1.25
Organic Se, mg/kg of DM	0.12	0.32	0.63	0.87
Inorganic Se, mg/kg of DM	ND ⁴⁾	0.10	0.24	0.39
TDN ³⁾	72.91	73.04	72.79	72.47

¹⁾See trial 2, ²⁾Ca 15%, P 6.8%, Mg 7.0%, Na 7.8%, Zn 5,000mg/kg, Mn 4,000mg/kg, Cu 500mg/kg, I 300mg/kg, Co 20mg/kg, Se 0mg/kg, vitamin A 400,000 IU/kg, vitamin D₃ 75,000 IU/kg, vitamin E 500mg/kg, ³⁾TDN was calculated according to the regression equation described by Wardeh (1981), ⁴⁾not detectable.

히 봉한 후 그늘진 곳에 두었다. 실험사료의 급여는 오전(07:00 a.m.)과 오후(17:00 p.m.)로 나누어 2회 급여 자유 채식시켰고 물은 자유로이 음수할 수 있도록 하였다.

그리고 본 사양실험에 들어가기 전에 실험사료에 대한 적응을 위해 2주간의 예비사

양기간을 두었으며, 이 기간동안 기존사료에 대하여 실험사료를 단계적으로 증가하는 수준으로 대체하면서 예비사양 10일째에 실험사료로만 전량 급여하여 사육하였다.

다. 시료 채취 및 조사항목

1) 채혈

혈액은 사양시험 실시 후, 0, 2, 4, 8 및 12주째에 오전사료 급여 전 경정맥을 통하여 10ml heparin처리 vacutainer(Becton-Dickinson, Inc.)를 이용하여 채취한 후, 파쇄 얼음이 보존된 아이스박스에 보관하였다.

그리고 채혈작업이 종료되면 효소(GSH-Px)분석용 혈액은 혈구와 혈장분리를 위해 아이스박스에서 혈액을 꺼내어 온도가 4℃로 유지된 원심분리기에서 3,000×g, 15분간 원심 분리하였으며, 혈장과 전혈은 실험실로 운반하여 분석 시까지 -75℃ 냉동고에 보관하였다.

2) 도축 및 근육조직 채취

사양시험이 종료되었을 때, 실험에 이용된 모든 소는 시험종료 시 체중을 개체별로 측정된 후 전남 나주 농협공판장의 도축장으로 운송하여 도축하였고, 근육조직 내 전이된 셀레늄 분석을 위해, 등심과 후지는 등급판정이 끝난 후 부분육 분할시 시료를 채취·진공 포장한 후, 아이스박스에 넣어 실험실로 운반하였다.

3) 사료섭취량 및 체중측정

사료섭취량은 1일 2회 급여량과 다음날 아침 사료급여 전 잔여사료를 수거하여 그 차이에 의해 계산하였다. 체중은 증체량을 조사하기위해 시험개시 시 체중과 시험 종료 시 체중을 측정하였으며, 증체량은 시험개시체중과 종료체중의 차이로 구하였다.

라. 분석 방법

1) 실험사료의 성분 분석 및 가소화영양소 총량 계산

실험사료의 일반성분은 AOAC(1995)방법에 준하여 분석하였고, neutral detergent fiber(NDF)와 acid detergent fiber(ADF)함량은 Van Soest 등(1991)의 방법에 따라 분석하였다. 사료 중 총 셀레늄함량과 유기셀레늄은 실험 1 및 2에서 제시한 동일한 방법으로 분석하였다. 실험사료 중 가소화영양소 총량(TDN)은 Wardeh(1981)가 제시한 에너지사료기준의 회귀식에 의하여 다음과 같이 계산하였다.

가소화영양소 총량(건물기준, %)

$$= 40.2625 + [0.1969 \times \text{조단백질}(\%)] + [0.4228 \times \text{가용무질소물}(\%)] + [1.1905 \times \text{에테르추출물}(\%)] - [0.1379 \times \text{조섬유}(\%)]$$

2) 혈액과 조직 내 총 셀레늄분석 및 근육조직 내 셀레늄축적을 계산

혈액 중 총 셀레늄농도를 측정하기 위해 수집한 전혈은 -75°C 에서 24시간동안 냉동시킨 후, 3일간 동결 건조하였다. 등심과 후지의 근육조직은 총 셀레늄함량을 분석하기위해 근막과 근내 지방을 제거한 후, 적육만 채취하고, 간조직은 잘게 썰어서 5일간 동결 건조하였다. 동결 건조된 혈액과 조직은 Stijve(1977)의 방법에 따라 산소플라스크연소법으로 연소시켜 AOAC(1995)방법으로 분석하였다.

근육 내 셀레늄축적은 사료와 근육 내 셀레늄함량 결과를 토대로 하여 대조군 대비 증가율과 축적율로 나타내었고, 이들의 계산식은 다음과 같다.

증가율(%) =

$$100 + \frac{(\text{처리군의 근육 내 셀레늄함량} - \text{대조군의 근육 내 셀레늄함량})}{\text{대조군의 근육 내 셀레늄함량}} \times 100$$

순수 셀레늄 축적율(%) =

$$\frac{(\text{처리군의 근육 내 셀레늄함량} - \text{대조군의 근육 내 셀레늄함량})}{(\text{처리군의 사료 내 셀레늄함량} - \text{대조군의 사료 내 셀레늄함량})} \times 100$$

3) 혈장 중 glutathione peroxidase(GSH-Px; EC 1.11.1.9)활성 측정

혈장 내 존재하는 GSH-Px활성은 total(H_2O_2 and cumene hydroperoxide as substrate)과 Se-dependent GSH-Px(H_2O_2 as a substrate)로 나누어 Lawrence와 Burk (1976)의 방법에 따라 spectrophotometer(Shimadzu, Japan) 340nm에서 3분간 10초 간격으로 읽어서 나타나는 slope을 이용하여 각각의 활성을 측정하였고, 분석에 이용된 모든 시약은 Sigma제품을 사용하였다. GSH-Px의 1단위(1unit)는 혈장 1ml기준으로 1분 동안 산화된 $1\mu\text{mol}$ 의 NADPH량을 나타낸다.

마. 통계 분석

본 실험에서 얻어진 모든 자료는 SAS package program(2000, release. 8.1 ver.)의 GLM(general linear model) procedure를 이용하여 통계 분석하였다. 각 처리구간 및 사양기간에 따른 평균값의 유의성 검정은 P값 5%수준에서 Duncan's multiple range test로 하였다(Steel과 Torrie, 1980).

2. 연구 결과

가. 사료섭취량 및 증체량

사료 중 셀레늄 농도가 일일 두당 건물섭취량 및 증체량에 미치는 영향은 Table 9에 나타내었다.

사양시험 기간동안 비육후기 한우의 건물섭취량은 처리구 간에 유의한 차이가 나타나지 않았고, 처리구의 1일 평균 섭취량은 약 9.4kg으로 체중의 약 1.5%를 섭취하였으며, 셀레늄이 사료섭취의 제한요인으로 나타나지 않았다.

사양기간이 지속됨에 따라 각 처리군의 사료섭취량에는 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 사양 30일까지는 모든 처리군에서 1일 두당 9kg내외로 사양 60일 및 90일에 비하여 섭취량이 다소 감소하는 경향을 나타내었다.

Rock 등(2001)은 유무기셀레늄을 임신 중기 및 말기의 면양에게 급여한 결과 사료섭취량의 차이는 나타나지 않았고, 94일간의 사양기간동안 시험기간이 진행됨에 따라 사료섭취량이 증가하는 경향을 나타내었다고 보고하여 본 실험결과와 유사하였다. 그리고 Gunter 등(2003)도 유무기셀레늄을 임신우에 급여한 결과 건초의 섭취량이 처리구간에 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 이와 반대로, Ivancic과 Weiss(2001)는

무기셀레늄(sodium selenate)을 증가하는 수준(0.1ppm vs. 0.3ppm)으로 착유우에게 급여하였을 때, 건물섭취량이 감소한다고 보고하였고, 이와 같은 결과는 무기셀레늄과 황의 상호작용에 의해 사료섭취량에 제한을 받는다고 설명하였다. 그리고 Clyburn 등 (2001)도 유무기셀레늄을 비육우에 급여한 결과, 사료섭취량에 감소한다고 보고하여 본 실험결과와 상반된 결과를 나타내었다.

한편, 버섯 폐배지를 이용한 증가하는 수준의 셀레늄농도에 따른 비육거세한우의 증체량 및 일당증체량은 사양기간동안 셀레늄이 비육거세한우의 증체효과에 어떠한 영향도 미치지 않았다. Awadeh 등(1998b)은 비육암소에 유무기셀레늄을 급여한 결과, 대사 및 성장 발달에 관계하는 갑상선 호르몬에 대하여 활성형 호르몬(T₃)으로의 전환을 증가시키나, 증체량에는 영향을 미치지 않았다고 보고하였고, 다른 연구자들도 증체량에는 영향을 미치지 않는다고 보고하였다(Clyburn 등, 2001; Rock 등, 2001).

Table 9. Effects of increased levels of Se-SMC on daily intake of dry matter and performances in finishing Hanwoo steers

Items	Treatments				SEM ¹⁾	P value
	0.1ppm	0.3ppm	0.6ppm	0.9ppm		
Days of feeding DM intake (kg/head/d)					
1~30	9.05	9.04	9.12	9.08	1.2749	0.9994
31~60	9.38	9.55	9.47	9.33	1.2883	0.9662
61~90	9.53	9.39	9.54	9.58	1.3053	0.9726
Overall period	9.37	9.37	9.44	9.37	1.2770	0.9942
 Performances					
Initial BW, kg	627	614	600	611	36.79	0.8530
Final BW, kg	659	649	638	651	36.13	0.9108
BW gain, kg	32.7	35.4	37.8	39.8	10.63	0.8819
ADG ²⁾ , g	363	394	420	443	118.13	0.8820

¹⁾standard error of the mean, ²⁾average daily gain.

나. 혈중 셀레늄 농도와 Glutathione peroxidase(GSH-Px)활성

사료 내 증가하는 수준의 셀레늄농도가 혈중 셀레늄농도에 미치는 영향은 Table 10에 나타내었다.

사료 내 증가하는 수준의 셀레늄농도는 혈중 셀레늄농도를 유의하게 증가시켰다 ($P<0.01$). 사양시험 실시 2주째부터 0.3ppm 처리구를 제외한 0.6과 0.9ppm처리구에서 0.1ppm의 대조구보다 유의하게 증가하였고($P<0.01$), 8주째부터는 모든 셀레늄 처리구에서 대조구에 비해 수준별로 혈중 셀레늄 농도가 유의하게 증가하면서 일정수준으로 유지되었다($P<0.001$).

모든 처리구에서 혈중 셀레늄 농도는 mL 당 100ng이상으로 나타났고, Puls (1989)가 제시한 동물체내 최적의 GSH-Px 활성과 면역기능에 필요로 하는 최저 셀레늄 수준이 60 ~ 150ng/ mL 라고 보고하여 본 실험에 이용된 비육우에서는 셀레늄의 부족현상이 나타나지 않았다. 또한 폐배지 내 존재하는 셀레늄은 장관 내 흡수율뿐만 아니라 축적율이 높은 유기셀레늄을 약 70%정도 함유하고 있는 것으로, 혈액 내 셀레늄농도가 증가하는 것을 감안한다면, 폐배지 내 셀레늄은 장관 내 흡수율이 아주 우수한 것으로 생각된다. Gunter 등(2003)은 유기셀레늄 모두는 장관 내 흡수가 잘 된다고 보고하였고, 증가하는 수준은 무기셀레늄보다는 유기셀레늄이 혈중 셀레늄농도가 더욱 높은 것으로 보고하였다. Gunter 등(2003)의 연구에서 셀레늄강화효모는 sodium selenite 보다 혈중 셀레늄농도가 23%정도 더 증가한다고 하였고, Pehrson 등(1989)은 1.8배정도 더 이용률이 높은 것으로 보고 되고 있다.

Awadeh 등(1998a)은 유기셀레늄과 무기셀레늄을 섭취한 소의 혈청 내 단백질 fraction(albumin, GSH-Px, Selenoprotein P)을 조사한 결과, 혈액 내 셀레늄을 가장 많이 함유하는 단백질은 selenoprotein P라고 보고하였고, 이와 같은 결과로 인하여 장관을 통해 흡수된 폐배지 기인 셀레늄은 selenoprotein P에 의해 각 조직에 운반되는 잠재성을 가질 수 있을 것으로 생각된다.

한편, 셀레늄농도가 혈장 내 GSH-Px활성에 미치는 영향은 Table 11과 Fig. 6에 나타내었다.

혈장 내 glutathione peroxidase활성은 H_2O_2 에만 특이적으로 반응하는 Se 의존형 GSH-Px와 H_2O_2 와 cumene hydroperoxide 기질에 특이적으로 반응하는 total GSH-Px활성을 측정하였다(Lawrence와 Burk, 1976). Se 의존형 GSH-Px는 4개의 subunit의 활성부위에 4개의 셀레늄을 갖는 효소로서, 사료 또는 식품을 통해 섭취하는 셀레늄에 의해 가장 큰 영향을 받는다. GSH-Px는 체내 셀레늄 영양상태를 나타내는 지표로서, 세포 내 적절하게 낮은 수준의 과산화수소를 유지 시켜주는 기능과 자유기에 의한 세포막손상을 감소시켜 세포조직의 산화를 방지하는 역할을 한다(Rayman, 2000). 본 실험의 GSH-Px활성은 혈액 내 셀레늄농도와 유사한 경향을 나

타내었고, 폐배지 내 셀레늄은 한우의 GSH-Px활성을 유의하게 증가시켰다($P<0.001$). 총 GSH-Px활성은 사료 중 셀레늄농도 0.6과 0.9ppm에서 0.1과 0.3ppm보다 유의하게 높았고($P<0.001$), 사양시험 전 기간동안 이와 동일한 경향을 나타내었다. 그리고 GSH-Px활성은 사료 급여 후 2주째부터 폐배지 내 셀레늄에 의한 효과가 유의하게 나타났으며 실제적으로 장관을 통해 흡수된 셀레늄이 GSH-Px의 합성에는 빠른 속도로 이용되는 것으로 나타났다. Ortman과 Pehrson(1999)은 유무기셀레늄을 젖소에게 급여하는 실험에서, 혈중 GSH-Px활성이 무기셀레늄 보다는 유기셀레늄이 적혈구 내의 GSH-Px활성을 효과적으로 증가시킨다고 보고하였다. 본 실험에서 비육후기 한우 사료에 사료 중 셀레늄 원으로 셀레늄강화버섯 폐배지를 보충하여 GSH-Px활성이 증가하는 것을 확인하였고, 이로 부터 한우 근육조직 내 셀레늄 전이가 유의한 수준으로 증가할 수 있다는 것을 추론할 수 있다.

Table 10. Effects of increased levels of Se-SMC on whole blood Se concentrations in finishing Hanwoo steers

Weeks	Treatments				SEM ¹⁾	P value
	0.1ppm	0.3ppm	0.6ppm	0.9ppm		
 Blood selenium ²⁾ , ng/mL					
2	110.86 ^c	120.51 ^{bc}	132.59 ^b	164.13 ^a	5.9616	0.0033
4	104.61 ^d	128.12 ^c	186.50 ^b	213.46 ^a	5.3357	0.0001
8	102.64 ^d	161.00 ^c	208.50 ^b	234.50 ^a	4.8611	<0.0001
12	102.57 ^d	167.50 ^c	197.50 ^b	237.00 ^a	3.8615	<0.0001

¹⁾standard error of the mean, ²⁾blood selenium was calculated as fresh basis assuming approx. 18% dry matter in whole blood after Se analysis on a freeze-dried whole blood basis, ^{a,b,c,d}different superscripts within the same row are significantly different ($P<0.05$).

Table 11. Effects of increased levels of Se-SMC on GSH-Px activity in finishing Hanwoo steers

Weeks	Treatments				SEM ¹⁾	P value
	0.1ppm	0.3ppm	0.6ppm	0.9ppm		
..... Se-dependent GSH-Px activity, mUnit ²⁾						
2	12.88 ^c	13.25 ^c	20.68 ^b	24.15 ^a	1.1505	<0.0001
4	12.12 ^c	27.85 ^b	34.21 ^a	37.07 ^a	1.4031	<0.0001
8	12.68 ^c	20.08 ^b	20.94 ^b	31.07 ^a	1.6119	0.0001
12	15.71 ^c	24.66 ^b	27.54 ^b	37.41 ^a	1.4598	<0.0001
..... Total GSH-Px activity, Unit ³⁾						
2	0.527 ^c	0.658 ^b	0.931 ^a	0.939 ^a	0.0587	<0.0001
4	0.734 ^b	0.772 ^b	1.045 ^b	1.165 ^a	0.1027	0.0022
8	0.697 ^b	0.740 ^b	1.060 ^a	1.168 ^a	0.0965	0.0007
12	0.622 ^b	0.670 ^b	1.364 ^a	1.457 ^a	0.1318	0.0007

¹⁾standard error of the mean, ²⁾one milliunit (mUnit) of activity equals 1nmol NADPH oxidized per minute/per milliliter of blood plasma, ³⁾one unit of activity equals 1 μ mol NADPH oxidized per minute/per milliliter of blood plasma, ^{a,b,c}different superscripts within the same row are significantly different (P<0.05).

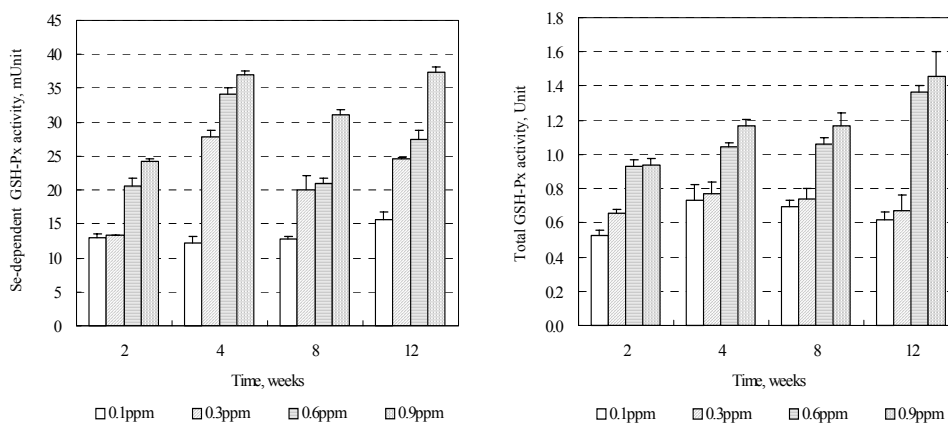


Fig. 6. Effects of increased levels of Se-SMC on Se-dependent and total GSH-Px activities in blood plasma for finishing Hanwoo steers

다. 조직 내 셀레늄축적

버섯 폐배지를 이용한 사료 내 셀레늄농도가 근육 및 간조직 내 셀레늄축적에 미치는 영향은 Table 12와 Fig. 7에 나타내었다.

셀레늄강화버섯 폐배지를 비육후기 거세한우에 급여한 결과, 근육조직 내 셀레늄이 유의한 수준으로 증가하였다($P<0.05$). 사료 중 셀레늄수준의 증가는 근육조직의 종류에 따라 다소 차이를 나타내었고, 후지에서 셀레늄이 직선적으로 증가하였다($P<0.05$). 그러나 등심에서는 대조구에 비해 셀레늄 함량은 증가하였으나 사료의 셀레늄 수준별에 따라서는 뚜렷하게 효과가 나타나지 않았다.

셀레늄 분석을 위해 근육 내 근내 지방을 제거하기는 하였으나, 완벽하게 제거하는 것이 불가능하기에, 등심 내 다소의 지방혼입으로 효과가 유의하게 나타나지 않은 것으로 생각되므로 보다 정확한 셀레늄함량을 평가하기 위해서는 근내 지방이 거의 없는 후지의 결과를 토대로 셀레늄함량을 비교하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다. 후지에서 근육 내 셀레늄함량은 대조구에서의 $0.273\mu\text{g/g}$ 에 비해 셀레늄 처리구에서 $0.368 \sim 0.457\mu\text{g/g}$ 으로 사료 중 셀레늄수준별로 직선적으로 유의하게 증가하였고 ($P<0.01$), 대조구와 비교하여 처리구에서 최대 70%까지 증가하였다. 이와 같은 증가는 기존의 유기셀레늄제제인 셀레늄강화효모의 약 50%증가율보다 높은 결과인 것으로 평가되었으며, 이는 셀레늄강화버섯 폐배지 내 셀레늄이 반추가축에서 이용율이 높은 것으로 생각된다.

쇠고기 근육 내 존재하는 셀레늄은 SeMet과 SeCys의 혼합형태로 존재하고, 이들은 근육조직 내 존재하는 함 황아미노산의 황의 위치에 셀레늄이 치환되어 셀레늄함유아미노산이 합성되어 체단백질과 결합하여 존재한다(Finley, 2000). 그러나 본 연구에서 셀레늄의 근육 내 축적율은 최대 30%로서 사료 중 셀레늄함량에 비해 그 축적율이 그다지 높지 않았으며 이는 근육조직 내 존재하는 함 황아미노산의 함량과 밀접한 관계가 있을 것으로 생각된다. 함 황아미노산의 효율적인 체내 합성경로는 없는 것으로 알려져 있으며 동물체내에서는 제한아미노산으로 작용하고 이들 아미노산의 추가 보충이 필요한 것으로 보고되고 있다(Schrauzer, 2000). 따라서 근육조직 내 사료적 조절을 통한 셀레늄의 축적은 체단백질 내 함 황아미노산의 함량과 높은 관련이 있을 것으로 사료되고, 축적에 이용되지 않은 셀레늄은 노를 통하여 배설되는 것으로 생각된다.

Ekholm 등(1991)은 숫소를 대상으로 유무기셀레늄을 급여한 결과 각 조직에 따라

셀레늄축적율은 다르게 나타났고, 그 증가율은 최소 1.5배에서 최대 7.5배까지 증가한다고 하였으며, 식물체내 존재하는 유기셀레늄이 무기셀레늄보다 효과적으로 조직 내에 축적된다고 보고하였다. 그리고 Zachara 등(1993)은 면양을 대상으로 증가하는 수준의 셀레늄을 급여한 결과, 신장에서 셀레늄함량이 가장 높았고 골격근에서 가장 낮았다고 보고하여 근육 내 셀레늄의 축적에는 한계가 있는 것으로 나타났다.

한편 젖소실험에서 Ortman과 Pehrson(1999)은 셀레늄의 급여로 우유 중 셀레늄이 대조구에 비해 최고 130%까지 증가하여 우유로 셀레늄 전이가 잘되는 것으로 보고하였고, 무기셀레늄보다 유기셀레늄이 우유 내 셀레늄전이에 효과적인 것으로 나타났다. 이상의 결과들로 비추어 볼 때 셀레늄의 반추동물에 대한 이용성은 비육우의 근육 내 전이보다는 우유로의 전이가 더 높은 것으로 생각되고, 이는 장관 내 흡수된 셀레늄은 체내 셀레늄함유단백질 합성 및 체단백질합성에 이용된 후 나머지는 배설경로(오줌 또는 유선으로의 우유분비)를 거치기 때문인 것으로 생각된다.

한편 간내 셀레늄함량은 근육조직내 셀레늄함량보다 유의하게 증가하였고, 대조구에 비하여 최대 4배 가까이 증가하였다. 간조직은 셀레늄대사의 중추적인 기관으로서 왕성한 활력을 가지고 간조직에서 발견되는 주요 셀레늄함유아미노산은 selenocysteine 인 것으로 알려져 있다. 또한 Combs와 Combs(1986)의 보고에 의하면, 간의 셀레늄함량은 골격근보다 약 4배정도 높고, 신장에서는 골격근의 10 ~ 16배까지 셀레늄을 축적할 수 있는 것으로 알려져 있어 이는 본 연구결과와 일치하였다.

현재 본 연구진에 의해 생산된 셀레늄함유한우고기는 특허출원이 된 상태이며, 생산농장에서는 본 연구방법에 의해 생산하여 시판준비상태에 있다. Photo 1은 본 연구에 의해 생산된 셀레늄함유 한우고기의 모습을 나타낸 것이다.



Photo 1. Hanwoo-beef produced by supplementing spent composts of Se-enriched Mushrooms (in preparation commercially)

Table 12. Effects of increased levels of Se-SMC on muscular Se retention in finishing Hanwoo steers

Items	Treatments				SEM ¹⁾	P value
	0.1ppm	0.3ppm	0.6ppm	0.9ppm		
..... Tissue selenium, $\mu\text{g/g}$ of dry						
Hind legs ²⁾	0.273 ^b	0.368 ^{ab}	0.398 ^a	0.457 ^a	0.0526	0.0159
Loins ²⁾	0.314 ^b	0.410 ^a	0.367 ^{ab}	0.393 ^{ab}	0.0436	0.1113
Liver ²⁾	0.789 ^c	1.401 ^{bc}	2.392 ^{ab}	3.096 ^a	0.5590	0.0483
..... Net retention rate of hind legs, %						
Increase, %	100	135.09±10.77	146.09±17.30	167.60±8.92	-	-
Retention, %	-	30.99± 9.51	16.60±6.23	16.24±2.14	-	-
..... Net retention rate of loins, %						
Increase, %	100	130.57±6.61	116.77±7.47	125.05±2.45	-	-
Retention, %	-	31.10±6.72	6.96±3.10	6.93±0.68	-	-

¹⁾standard error of the mean, ²⁾values are the mean of 5 Hanwoo steers per treatment and expressed on a dry-tissue basis, ^{a,b}different superscripts within the same row are significantly different ($P < 0.05$).

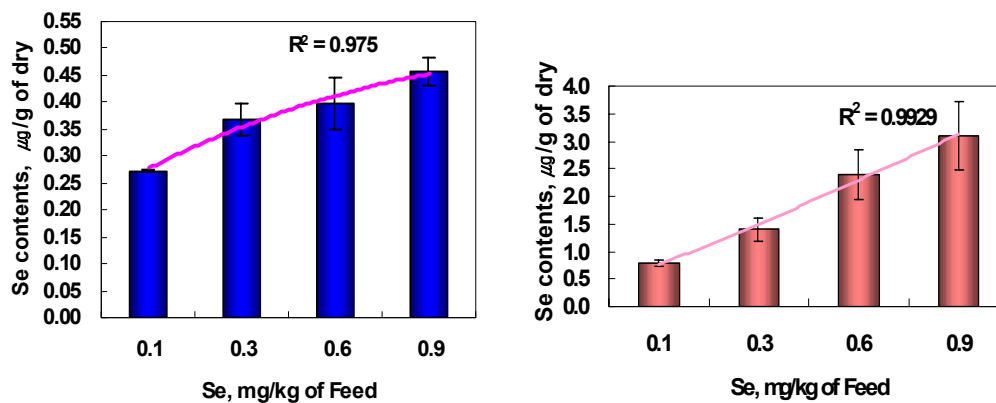


Fig. 7. Selenium contents in tissues of hind leg (A) and liver (B)

라. 근육 내 셀레늄과 혈중 GSH-Px의 상관관계

사료와 근육조직 중 셀레늄함량과 혈중 GSH-Px와의 상관계수는 Table 13과 Fig. 8에 나타내었다. 사료 중 셀레늄농도는 혈중 GSH-Px활성 및 근육조직 내 셀레늄함량과 유의한 상관관계를 가졌고($P < 0.01$), 특히 사료 중 셀레늄농도가 셀레늄 의존형 GSH-Px활성에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그리고 근육 내 셀레늄함량과 셀레늄 의존형 GSH-Px활성과 높은 상관계수($r=0.8362$)를 나타내어, 사료 중 셀레늄이 근육 내 셀레늄 및 혈중 GSH-Px활성에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

일반적으로 동물체에 대한 셀레늄의 생물학적 이용률은 원소의 화학적 형태, 양, 장관 내 용해도, 동물체의 생리적 상태, 축종 및 기타 무기물의 대사 상호작용 등에 의해 영향을 받고, 혈중 GSH-Px는 동물의 셀레늄섭취의 판단 지표가 될 뿐만 아니라, 건강상태를 나타내는 지표가 되기도 한다.

Table 13. Correlation coefficients among variables related to selenium

Variables	Loins' Se	Hind legs' Se	Muscles' Se	Total GSH-Px	Se-dependent GSH-Px
Feed Se	0.3768 (0.2273) ¹⁾	0.8041 (0.0016)	0.7454 (0.0054)	0.8404 (0.0006)	0.8977 (<0.0001)
Loins' Se		0.4362 (0.1563)	0.7683 (0.0035)	0.2369 (0.4585)	0.6799 (0.0150)
Hind legs' Se			0.9111 (<0.0001)	0.5212 (0.0823)	0.7370 (0.0062)
Muscles' Se ²⁾				0.4802 (0.1141)	0.8362 (0.0007)
Total GSH-Px					0.7440 (0.0055)

¹⁾Numbers in the parenthesis represent probability level, ²⁾muscles' Se was obtained from the mean value for Se contents of hind legs and loins.

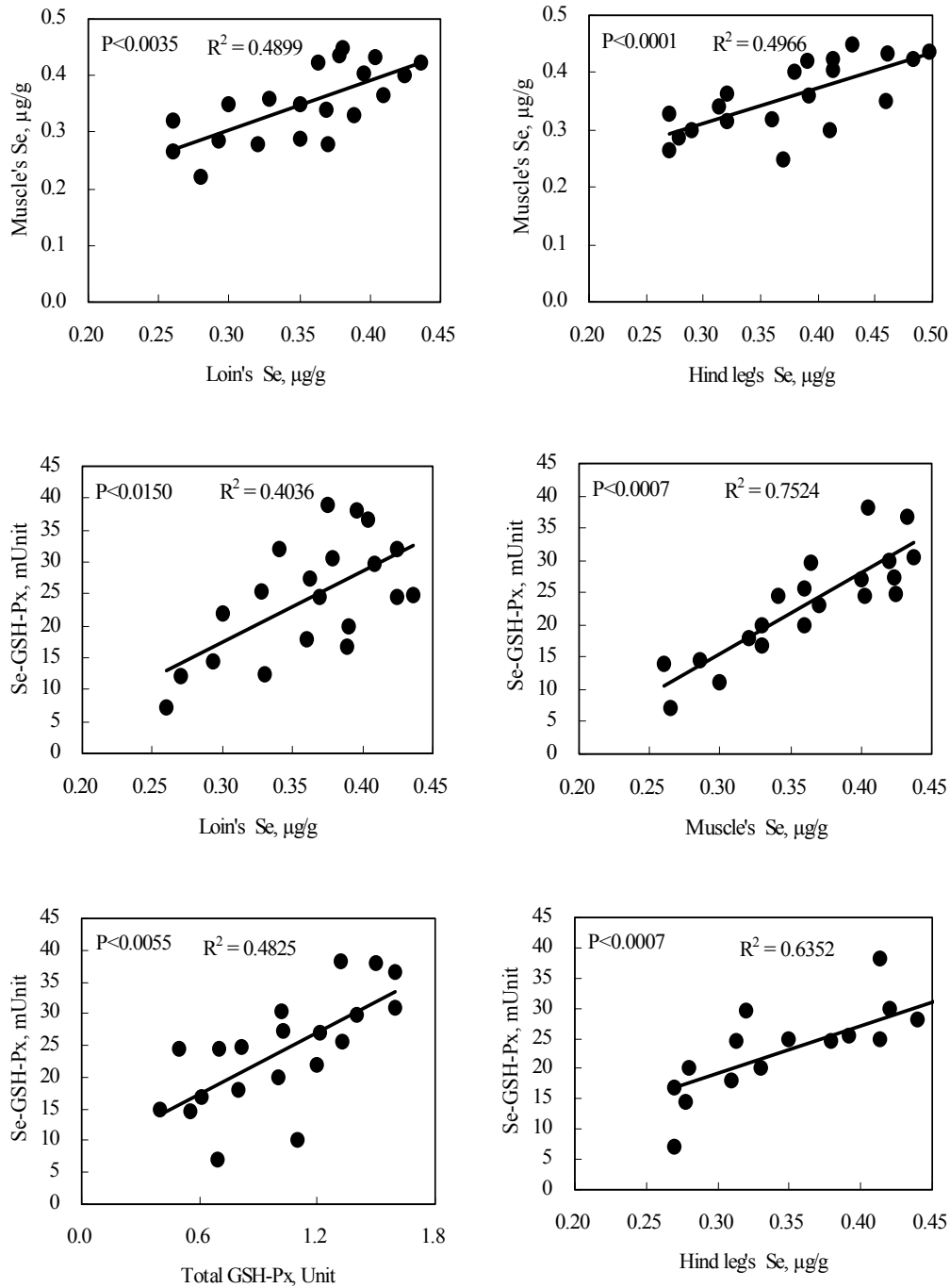


Fig. 8. Relationship between muscle Se content and GSH-Px activity

제 4 절. 유기셀레늄강화버섯 폐배지의 급여수준에 따른 거세한우의 도체 등급 및 채끝육의 육질특성

1. 연구 수행 내용

가. 셀레늄 급원 및 공시축

본 시험에 사용된 셀레늄 급원은 유기셀레늄강화버섯을 생산하고 폐기되는 폐배지(Se-SMC; spent composts of Se-enriched mushrooms)를 활용하였다. 실험사료는 셀레늄 농도를 건물기준으로 각각 0.1, 0.3, 0.6, 0.9 ppm이 되도록 첨가하여 4 처리구로 설정하고, 에너지(TDN: 약 75%)와 단백질 함량(CP: 약 12%)이 처리구간 동일하도록 제조하여 실험사료로 사용하였다. 시험축은 비육후기 거세한우 20두(평균체중 613kg, 20 ~ 24개월령)를 처리구간 5두씩 배치하여 실험사료를 12 주간 급여하였다. 셀레늄 급원 및 공시축은 세부과제 1의 사양시험과 동일한 공시축을 이용하였다.

나. 시료채취

사양시험이 완료된 시험축은 나주축산물공판장에 도축전일 출하하여 계류후 도축하였으며, 도축된 도체는 0℃의 도체냉각실에서 18시간 냉각하여 도체 심부온도가 5℃ 이하로 저하된 다음 축산물등급판정사가 소도체등급판정기준(농림부고시 제1999-64호, 1999. 9.28)에 의거 등급판정을 하였으며, 분석시료는 등급판정 후, 도축장내 부분육 작업장으로 이동, 분할정형 작업한 후 공시축의 좌도체 채끝육(배최장근; *m. longissimus*)을 채취하여 진공포장한 후, 아이스박스에 담아 축산연구소로 운반하였다. 구입한 시료는 2일간 냉장보관(1±1℃)한 후 도축후 3일째 육질 특성분석에 사용하였다.

다. 조사항목별 분석방법

수분, 조단백질, 조지방, 조회분 등 일반성분은 AOAC방법(1995)에 의해 분석하였으며, 보수력(Water holding capacity; WHC)은 Laakkonen 등(1970)의 방법을 약간 변형한 박 등(2001)의 방법에 의하여 측정하였고, 가열감량(Cooking loss)은 채끝육의 가열전·후 중량차로 계산하였다. pH는 도체 pH meter (pH*K21, NWK-Binär GmbH Co., Germany)로 측정하였다. 육색은 근육을 절단하여 절단면을 공기 중에 30분 노출시킨 후 Chroma meter (Minolta Co. CR 300, Japan)로 CIE(Commission Internationale de

Leclairage) L^* , a^* , b^* 값을 9반복으로 측정하였고, 이때의 표준편차는 $Y = 92.40$, $x = 0.3136$, $y = 0.3196$ 의 백색 타일을 사용하였으며, 관능검사는 10명의 관능검사 요원들이 6점법으로 측정하였다(연도: 1 = 매우 질기다. 6 = 매우 연하다., 풍미, 다즙성: 1 = 매우 나쁘다. 6 = 매우 좋다.). 전단력은 등심을 심부온도 70 °C에서 10분간 가열한 후 전단력 측정기(Warner-Bratzler shear meter; G-R Elec. Mfg. Co., USA)로 측정하였다. 무기물 함량 분석(김경남, 2001)은 ICP 발광분광 분석법 중 표준곡선법을 이용하여 원소농도가 다른 각 혼합표준용액 중의 각 원소의 농도를 미리 데이터 처리장치에 기억시킨 다음 각 혼합표준용액을 플라즈마에 도입하여 각 원소의 스펙트럼선 강도를 측정하여 표준곡선을 작성하였다. 그 다음 시험용액을 플라즈마에 도입하여 스펙트럼선 강도를 측정하고, 다시 백그라운드 보정을 하여 표준곡선으로부터 각 분석 대상 원소의 농도를 구하였다.

아미노산 조성은 세절육 150 mg에 6N HCl 40 ml을 가하여 질소가스를 주입한 후, 밀봉하여 110°C에서 24시간 가수분해 시킨 후, 증발농축기로 50°C에서 염산을 증발시켰다. 최종 증발 건조되어 있는 증발 플라스크에 0.2N sodium citrate buffer(pH 2.2)로 50 ml이 되게 한 후 희석시킨 용액을 membrane filter(0.45 μ m)로 여과하여 아미노산 자동 분석기(ALPHA:LKB-4150)에 30 μ l 주입하여 분석하였다. Cysteine와 methione는 6N HCl로 가수분해시키면 파괴되므로 산 가수분해 이전에 과 개미산으로 일단 안정상태인 cysteic acid와 methione sulfone으로 전화시킨 후 상기의 아미노산 분석방법으로 분석하였다.

지방산 조성은 Folch 등(1957)의 방법에 따라 등심부위의 사료를 세절하여 시료 25 g에 Folch 용액(CHCl_3 : CH_3OH = 2:1) 180 ml과 BHT 0.5 ml을 넣고 homogenizer(2,500 rpm)로 균질화하여 0.08% NaCl 50 ml를 첨가·혼합한 후 3,000 rpm에서 10분간 원심 분리 하였다. 그 후 추출된 지질 50 mg을 teflon-lined screw-cap tube에 넣고 4% H_2SO_4 (in methanol) 3 ml를 첨가하여, 90°C water bath에서 20분간 methylation 시킨 후 hexane 3 ml와 증류수 2 ml를 넣고 섞은 후 상층을 회수하여 GC(Hewlett Packard GC-5890 series plus)로 분석하였으며, 이 때 GC의 분석조건은 아래의 표와 같다.

Table 14. The conditions of gas chromatography for fatty acid analysis

Items	Condition
Column	HP-Innowax (crosslinked polyethylene glycol) 30m ×0.32mm ×0.5 μ l
Temperature program	10 °C/ min.
Detector	Flame ionization detector(FID)
Initial temperature	120 °C
Initial time	1 min.
Final temperature	240 °C
Final time	10 min.
Injector temperature	250 °C
Detector temperature	280 °C
Carrier gas	N ₂
Split ratio	100:1

라. 통계분석

시험 성적의 통계분석은 SAS(2000) 프로그램의 ANOVA procedure를 이용하여 Duncan의 다중검정으로 각 요인간의 유의성을 비교 분석하였다.

2. 연구결과

Table 15. Mean and standard deviation for chemical composition in m. *longissimus* as a function of organic selenium supplementation

	Administration(ppm, DM-based)			
	0.1	0.3	0.6	0.9
Moisture(%)	65.80 ^b ± 2.36	69.65 ^a ± 2.14	68.04 ^{ab} ± 1.74	69.12 ^a ± 2.61
Fat(%)	13.15 ^a ± 3.30	7.37 ^b ± 2.84	9.33 ^{ab} ± 2.20	8.14 ^b ± 3.44
Protein(%)	19.38 ^b ± 1.14	20.81 ^a ± 0.48	19.77 ^{ab} ± 0.82	20.42 ^{ab} ± 0.83
Ash(%)	0.83 ± 0.07	0.88 ± 0.03	0.86 ± 0.03	0.89 ± 0.04

^{ab} Means having different letters in the same row are significantly different (P < 0.05).

유기셀레늄 급여수준별 일반조성분을 비교한 결과는 Table 15에서 보는 바와 같다. 수분 함량은 0.1 ppm 구가 65.8%로 가장 낮았고, 0.3 ppm 구와 0.9 ppm 구가 각각 69.65, 69.12%로 가장 높게 나타났다. 지방 함량은 수분 함량과 반대경향으로 0.1 ppm 구가 13.1%로 가장 높았고 0.3 ppm 구와 0.9 ppm 구가 각각 7.37, 8.14%로 낮은 함량을 보였

다($P < 0.05$). 단백질 함량은 0.3 ppm 구가 20.81 %로 다른 처리구에 비하여 높은 경향을 보였다. 회분에 있어서는 처리구간 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 이상의 결과에서 유기셀레늄 급여수준에 의한 일반조성분은 뚜렷한 경향을 보이지 않아 셀레늄 급여에 의한 조성분 변화는 없는 것으로 판단된다.

Table 16. Objective meat color(CIE¹⁾) in *m. longissimus* as a function of organic selenium supplementation

	Administration(ppm, DM-based)			
	0.1	0.3	0.6	0.9
L ^{*2)}	35.93 ± 2.05	36.30 ± 1.60	36.87 ± 1.76	36.36 ± 0.70
a [*]	18.81 ± 0.53	18.95 ± 2.06	19.91 ± 1.24	18.96 ± 1.00
b [*]	7.37 ± 0.73	7.66 ± 1.42	8.19 ± 0.93	7.47 ± 0.67

¹⁾ CIE : Commision Internationale de Leclairage.

²⁾ L^{*} : lightness, a^{*} : redness, b^{*} : yellowness.

Table 16은 유기셀레늄 급여수준에 따른 육색을 비교한 결과로서 육색 L*(명도)은 0.1 ppm 구가 35.93으로 다른 시험구의 36.30 ~ 36.87보다 낮았으나, 유의적인 차이는 보이지 않았다($P > 0.05$). 육색 a*(적색도) 값도 명도와 마찬가지로 0.1 ppm구가 18.81로 시험구의 18.95 ~ 19.91 보다 낮았으며, 육색 b*(황색도)는 유기셀레늄 급여량에 따른 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 결론적으로 육색은 유기셀레늄 급여 유무와 수준에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았으나, 본 시험에서의 육색 측정은 시료절개 30분 후 측정된 결과로 셀레늄의 항산화성을 감안할 때, 육색 안정성에 대한 추가 시험수행의 필요성이 제기되었다.

유기셀레늄 급여 수준에 따른 채끝육의 물리적 특성을 비교한 결과는 Table 17에서 보는 바와 같다. 가열 감량은 급여 수준에 관계없이 21 % 전후의 값을 보였으며, 보수력은 52.24 %에서 54.06 % 범위를 나타내어, 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 진공포장된 채끝육을 냉장고(4 °C)에서 2시간 보관한 후, 포장 전·후의 무게 감량 차이를 백분비로 계산한 purge loss는 3.4 % ~ 3.8 % 범위 이었으며, 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 전단력에 있어서는 0.3 ppm 구가 4.54 kg/0.5inch²으로 유의적으로 가장 높았으며, 다른 처리구간에는 3.3 kg/0.5inch²에서 3.7 kg/0.5inch²로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 유기셀레늄 급여에 따른 차이보다는 근내지방 함량 차이에 기인한 것으로 판단되며, 근내지방 함량이 많은 것이 전단력가가 낮은 이유는 근내지방 침착이 고기의 연도를 상대적으로 낮추어주는 역할을 하기 때문이다.

Table 17. Objective meat quality of *m. longissimus* as a function of organic selenium supplementation

Traits	Administration(ppm, DM-based)			
	0.1	0.3	0.6	0.9
Cooking loss (%)	21.31 ± 2.34	21.02 ± 2.65	21.65 ± 2.94	24.19 ± 3.05
Water holding capacity (%)	54.06 ± 4.39	52.93 ± 3.19	52.24 ± 4.58	53.70 ± 2.39
Purge loss (%)	3.44 ± 0.41	3.44 ± 0.36	3.81 ± 0.80	3.56 ± 0.94
Shear force (kg / 0.5 inch ²)	3.50 ^{ab} ± 0.89	4.54 ^a ± 0.96	3.32 ^b ± 0.30	3.70 ^{ab} ± 0.99
pH	5.54 ^a ± 0.03	5.54 ^a ± 0.06	5.48 ^b ± 0.03	5.53 ^{ab} ± 0.03

^{ab} Means having different letters in the same row are significantly different (P < 0.05).

Table 18. Sensory characteristics of *m. longissimus* as affected by organic selenium supplementation

Traits	Administration(ppm, DM-based)			
	0.1	0.3	0.6	0.9
Juiciness ¹⁾	4.56 ± 0.53	4.44 ± 0.40	4.72 ± 0.13	4.74 ± 0.18
Tenderness ²⁾	4.56 ± 0.62	4.18 ± 0.55	4.80 ± 0.49	4.42 ± 0.51
Flavor ³⁾	4.76 ± 0.18	4.90 ± 0.42	5.00 ± 0.14	5.20 ± 0.38

¹⁾ Juiciness : 1 = Extremely dry, 6 = Extremely juicy; ²⁾ Tenderness : 1 = Extremely tough, 6 = Extremely tender; ³⁾ Flavor : 1 = Extremely bland, 6 = Extremely intense.

Table 18은 유기셀레늄 급여 수준에 따른 채끝육의 관능특성을 비교한 결과로서 다즙성은 0.1 ppm구 4.56, 0.3 ppm구 4.44, 0.6ppm구 4.72, 0.9 ppm구 4.74로 급여수준이 증가함에 따라 다소 증가하는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 보이지 않았다. 연도는 처리구간 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나, 0.6 ppm구가 4.80으로 가장 좋았으며, 0.3 ppm구가 4.18로 가장 낮은 값을 보였다. 향미는 유기셀레늄 급여 수준이 0.1 ppm, 0.3 ppm, 0.6 ppm 및 0.9 ppm으로 증가함에 따라 각각 4.76, 4.90, 5.00 및 5.20으로 증가하는 경향을 보였으나 통계적인 유의성은 인정되지 않았다(P > 0.05). 관능특성을 비교한 결과 유의성이 없었던 결과는 처리구간 공시축이 각 5두로서 반복수가 적은데 기인한 것으로 판단된다.

유기셀레늄 급여 수준에 따른 채끝육의 무기물 함량을 비교한 결과는 Table 19에서 보는 바와 같다. Ca, P, Mg은 셀레늄 급여수준 증가에 따라 함량차이는 없었다.

Table 19. Mean and standard deviation for inorganic levels in *m. longissimus* as a function of organic selenium supplementation

	Administration(ppm, DM-based)							
	0.1		0.3		0.6		0.9	
Ca	53.17	± 8.22	56.29	± 11.54	50.23	± 1.22	50.18	± 2.03
P	1,595	± 186.81	1,569	± 134.81	1,623	± 79.31	1,607	± 44.11
K	2,509	± 376.11	2,481	± 154.11	2,310	± 176.01	2,503	± 59.31
Na	443.35	± 39.35	429.25	± 76.40	433.56	± 18.01	434.59	± 42.04
Mg	201.13	± 29.01	194.14	± 13.99	204.90	± 5.20	197.59	± 6.39
Fe	22.23	± 1.74	20.21	± 1.64	16.15	± 12.36	21.41	± 2.00
Mn	0.01	± 0.01	0.01	± 0.01	0.00	± 0.00	0.00	± 0.00
Zn	33.11	± 4.75	33.82	± 4.74	33.33	± 3.06	35.66	± 5.04
Cu	0.35	± 0.03	0.31	± 0.11	0.32	± 0.02	0.31	± 0.05

Table 20. Mean and standard deviation for amino acid compositions in *m. longissimus* as a function of organic selenium supplementation

	Administration(ppm, DM-based)			
	0.1	0.3	0.6	0.9
CYS	0.23 ^p ±0.01	0.25 ^a ±0.01	0.24 ^{ab} ±0.01	0.23 ^{ab} ±0.00
MET	0.50±0.04	0.55±0.04	0.54±0.03	0.51±0.02
ASP	1.87±0.08	2.02±0.09	2.01±0.04	1.99±0.12
THR	0.91±0.04	0.99±0.05	0.98±0.02	0.98±0.06
SER	0.81±0.03	0.87±0.04	0.87±0.03	0.86±0.04
GLU	3.14±0.12	3.39±0.08	3.35±0.09	3.31±0.23
GLY	0.85±0.05	0.91±0.03	0.89±0.04	0.89±0.03
ALA	1.18 ^b ±0.05	1.29 ^a ±0.05	1.24 ^{ab} ±0.05	1.23 ^{ab} ±0.05
VAL	0.81±0.05	0.89±0.02	0.89±0.02	0.86±0.08
I-LE	0.78±0.04	0.85±0.05	0.83±0.03	0.67±0.30
LEU	1.70±0.04	1.79±0.04	1.76±0.05	1.74±0.11
TYR	0.68±0.02	0.72±0.02	0.72±0.02	0.69±0.06
PHE	0.93±0.07	0.99±0.07	0.95±0.04	0.98±0.12
LYS	1.80±0.05	1.93±0.04	1.90±0.04	1.89±0.14
HIS	0.77 ^b ±0.02	0.89 ^a ±0.08	0.85 ^{ab} ±0.03	0.86 ^{ab} ±0.04
ARG	1.22±0.07	1.30±0.06	1.28±0.02	1.29±0.06
PRO	0.72 ^b ±0.05	0.80 ^a ±0.04	0.76 ^{ab} ±0.03	0.78 ^{ab} ±0.02

^{a,b} Means having different letters in the same row are significantly different (P < 0.05).

그리고 나머지 K, Na, Fe, Mn, Zn 및 Cu는 모든 처리구에서 유사한 함량을 보여 처리구간 차이가 없었다. 본 연구결과에는 Se 함량에 대한 결과를 표시하지 않았으나, 본 시험과 동일한 처리와 시료로 분석한 Lee 등(2004)의 보고에서 채끝육의 경우 셀레늄 급여수준에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 설도의 경우 유기셀레늄 급여 수준이 0.1 ppm, 0.3 ppm, 0.6 ppm 및 0.9 ppm으로 증가함에 따라 각각 0.273 ppm, 0.368 ppm, 0.398 ppm 및 0.457 ppm으로 유의적인 증가를 보였다고 하였다($P < 0.05$). 유기 셀레늄의 급여는 다른 무기물 함량에는 영향을 미치지 않지만, 생리활성기능을 가진 셀레늄 함량은 증가하는 결과를 보여 유기셀레늄 강화 쇠고기생산 가능성을 확인하였다.

Table 21. Effect of the level of organic selenium supplementation on fatty acid composition

	Administration(ppm, DM-based)			
	0.1	0.3	0.6	0.9
C14:0	3.07±0.38	3.01±0.12	3.39±0.22	3.45±0.25
C16:0	28.08±0.89	28.26±1.2	29.69±0.86	29.32±0.84
C16:1n7	4.18±0.26	4.70±0.48	4.45±0.53	3.74±0.36
C18:0	9.95±0.48	9.78±1.08	9.82±0.94	10.09±0.41
C18:1n9	51.68±0.89	50.92±1.12	50.17±0.89	50.61±1.20
C18:1n7	0.70±0.27	0.61±0.27	0.28±0.05	0.40±0.07
C18:2n6	1.64±0.17	1.89±0.18	1.60±0.10	1.70±0.16
C18:3n6	0.01±0.01	0.02±0.01	0±0.00	0.01±0.01
C18:3n3	0.03±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01
C20:1n9	0.39±0.04	0.33±0.04	0.27±0.02	0.29±0.04
C20:2n6	0.02±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01	0±0.00
C20:3n6	0.09±0.02	0.13±0.02	0.09±0.01	0.1±0.01
C20:4n6	0.17 ^b ±0.01	0.28 ^a ±0.05	0.19 ^b ±0.01	0.26 ^{ab} ±0.03
SFA	41.10±0.88	41.05±1.81	42.91±1.13	42.86±1.03
USFA	58.9±0.88	58.95±1.81	57.09±1.13	57.14±1.03
mono	56.94±0.70	56.56±1.73	55.17±1.07	55.03±1.03
poly	1.96±0.20	2.39±0.27	1.92±0.10	2.1±0.18
n3	0.03±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01
n6	1.93±0.20	2.36±0.27	1.90±0.10	2.07±0.18
n6/n3	48.12±1.75	57.29±5.14	45.28±5.72	54.23±3.05
MUFA/SFA	1.39±0.05	1.40±0.11	1.29±0.06	1.29±0.05
PUFA/SFA	0.05±0.00	0.06±0.01	0.05±0.00	0.05±0.00

Table 20은 유기셀레늄강화 벼싹 폐배지 사료를 급여한 쇠고기 채끝의 아미노산 조성을 비교한 결과로서 시스테인, 알라닌, 히스티딘, 프로린에서 대조구인 0.1 ppm급여구가 가장 낮은 비율을 보였고 0.3 ppm 급여구가 가장 높은 결과를 나타내었다 ($P<0.05$).

육량 A등급 출현율은 0.6 ppm 처리구가 다른 처리구들에 비하여 출현율이 높았으며, 0.3 ppm 처리구가 20%의 출현율로 가장 낮은 출현율을 보였다(Table 22). 이 결과는 처리구별 시험두수가 5두로 정확한 경향이라 하기는 어려울 것 같다.

육질최고 등급인 1+등급 출현율은 0.1 ppm처리구와 0.6 ppm처리구에서 20%로 다른 처리구들에 비하여 높은 출현율을 보였다. 다른 처리구에서는 육질 3등급 출현율이 0%인데 비하여 0.2 ppm처리구는 육질 3등급 출현율이 40%로 가장 저조한 성적을 보였다.

등급별 출현율에서 시험구간의 조사두수가 적어 정확한 비교는 어려우나 유기셀레늄급여에 의한 도체등급에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

Table 22. Effect of the level of organic selenium supplementation on frequency of yield and quality grades

		Yield Grade			Quality grade				
		A	B	C	1+	1	2	3	
Administration (ppm, DM-based)	0.1	Ratio (No.)	40.00 (2)	60.00 (3)	0.00 (0)	20.00 (1)	80.00 (4)	0.00 (0)	0.00 (0)
	0.3	Ratio (No.)	20.00 (1)	60.00 (3)	20.00 (1)	0.00 (0)	20.00 (1)	40.00 (2)	40.00 (2)
	0.6	Ratio (No.)	60.00 (3)	40.00 (2)	0.00 (0)	20.00 (1)	60.00 (3)	20.00 (1)	0.00 (0)
	0.9	Ratio (No.)	40.00 (2)	60.00 (3)	0.00 (0)	0.00 (0)	40.00 (2)	60.00 (3)	0.00 (0)
	Total	Ratio	40.00	55.00	5.00	10.00	50.00	30.00	10.00
		(No.)	(8)	(11)	(1)	(2)	(10)	(6)	(2)

Table 23. Effect of the level of organic selenium supplementation on carcass characteristics

	Administration(ppm, DM-based)			
	0.1	0.3	0.6	0.9
Backfat (mm)	9.80±3.35	10.60±4.45	9.20±5.12	10.40±3.58
Ribeye area (cm ²)	86.80±10.50	76.00±7.31	82.60±8.26	81.20±4.09
Carcass wt. (kg)	391.60±37.06	385.20±13.63	363.00±30.47	368.40±33.31
Yield index	68.49±1.35	67.28±1.92	68.59±1.99	67.95±1.48
Marbling score	4.80 ^a ±1.30	2.20 ^b ±0.30	4.20 ^a ±1.10	3.40 ^{ab} ±1.14
Meat color score	4.80±0.45	4.80±0.84	4.60±0.55	5.00±0.71
Fat color score	2.80±0.45	3.40±0.55	3.20±0.84	3.20±0.45
Texture score	1.40±0.55	2.00±0.00	1.40±0.55	1.80±0.45
Maturity index	2.00±0.00	2.00±0.00	2.00±0.00	2.00±0.00
Quality grade [*]	0.80 ^b ±0.45	2.20 ^a ±0.84	1.00 ^b ±0.71	1.60 ^{ab} ±0.55

※ Quality grade : 1⁺ grade: 0, 1 grade : 1, 3 grade : 3

처리구별 등급 판정요인을 비교한 결과 근내지방도와 육질등급에서 0.1 ppm, 0.6 ppm처리구와 0.3 ppm처리구간 차이를 제외하고 다른 처리구들 간에는 큰차이를 보이지 않았다(Table 23). 결론적으로 0.3 ppm 처리구가 도체등급요인 및 육질 육량등급 출현율에서 가장 저조한 결과를 보였다. 이러한 결과는 셀레늄급여에 의한 차이보다는 개체 차이에 의한 것으로 판단된다.

제 5 절. 셀레늄의 포화축적 기간 결정을 위한 한우사양시험

1. 연구 수행 내용

본 연구에서는 1년차 사양시험에서 얻어진 결과를 토대로, 사료내 적정 셀레늄수준(0.9ppm)에서 급여사양기간(2개월, 4개월, 6개월)을 달리 했을 때, 비육후기 한우의 조직 내 셀레늄함량과 혈중 glutathione peroxidase(GSH-Px)활성에 미치는 영향을 조사하여 최대포화축적기간을 제시하고자 실시하였다.

가. 사양과 시료채취

- (1) 시험장소 : 전남 영암군 소재 믿음한우영농조합(참여기업)
 - (2) 공시가축 : 비육후기 거세한우 30두공시
 - (3) 사료제조 : 유기셀레늄강화 버섯폐배지를 함유하는 발효사료를 제조하여 급여하였고, 신선한 사료의 급이를 위해 2주단위로 발효사료를 제조하였다. 각 처리구의 사료배합비 및 화학적 조성은 Table 24에 나타나 있다. Table 24에서 보는바와 같이 두 처리구의 실험사료는 비육후기 사료에서 요구되는 에너지와 단백질수준에 대하여 건물기준 TDN과 조단백질함량이 각각 74%와 11% 함유되도록 배합하였고, 두 사료의 영양소함량은 셀레늄을 제외한 거의 모든 성분이 서로 일치된 분석결과를 나타내었다.
 - (4) 시험처리 : 급여사양기간을 달리하여 각 급여기간(2개월, 4개월, 6개월)에서 최적 사료내 셀레늄농도인 0.9ppm이 함유하도록 배합된 셀레늄강화버섯 폐배지급여군(Se-SMC)과 일반버섯 폐배지만으로 구성된 대조군(Control)로 나누어 6처리로 실험군을 설정하였다. 각 실험군에는 비육후기거세한우 5두씩 배치하였고, 총 30두를 공시하였다. 실험설계는 Table 25에 나타나 있다.
 - (5) 사양관리 : 본 사양시험에 사용된 모든 한우 거세우는 각 pen에 처리구별로 6군으로 나누어 체중을 측정후 5두씩 급여기간을 고려하여 출하월령이 비슷하도록 배치하였다. 즉, 2개월 급여군은 체중이 621 kg이상, 4개월급여군은 561 ~ 620 kg, 6개월 급여군은 500 ~ 560 kg의 소를 각 군에 배치하였다. 사양 본 시험에 들어가기 1달 전에 시험사료 및 환경에 적응시켰다.
- 그리고, 실험사료의 급여는 오전(07:00 a.m.)과 오후(17:00 p.m.)로 나누어 2회급여하

였고, 물은 자유로이 음수할 수 있도록 하였다. 사료섭취량은 1일 2회 급여량과 다음 날 아침 사료급여전, 잔여사료를 수거하여 그 차이에 의해 계산하였다.

체중은 당초 계획이었던 2주 간격의 체중측정은 시험소의 스트레스최소화를 위해 실시하지 않았고, 증체량을 조사하기위해 시험개시시 체중과 시험 종료시 체중만을 측정하였다. 증체량은 시험개시체중과 종료체중의 차이로 구하였다. 우사의 환경과 실험소의 사양모습은 사진 2에 나타나 있다.

(6) 혈액채취 : 혈액 샘플의 채취는 셀레늄 분석과 혈장과 혈구의 glutathione peroxidase 효소 분석을 위해 경정맥(jugular vein)을 통하여 2 ~ 4주 단위로 주기적으로 10ml heparin 처리 vacutainer(Becton-Dickinson, Inc, NJ, USA)를 이용하여 수집한 후, 파쇄얼음이 보존된 아이스박스에 보관하였다. 그리고, 채혈작업이 종료되면 효소 분석용 혈액은 혈구와 혈장분리를 위해 아이스박스에서 혈액을 꺼내어 온도가 4℃로 유지된 원심분리기에서 3,000 × g 15분간 원심분리하였으며, 분리된 혈장은 실험실로 운반하여 분석 시까지 -75℃ 냉동고에 보관하였다.

(7) 도축 및 시료채취 : 각 급여기간(2개월, 4개월, 6개월)이 끝나면 2개월마다 대조구와 Se-SMC급여구 각각 5두씩, 즉, 총 10두씩을 개체별로 체중을 측정 한 후, 전라남도 나주시 농협공판장의 도축장으로 운송하여 도축하였고, 등심과 후지 및 간에 전이된 셀레늄 분석을 위해 간은 도축 후 바로 적출하였으며, 등심과 후지는 등급판정이 끝난 후 부분육 분할시 시료를 채취.진공 포장하여 실험실로 운반하였다.

Table 24. Ingredients and chemical compositions of experimental diets

Items	Treatments	
	Control	Se-SMC
Ingredients(%), as-fed basis		
Se-SMC ¹⁾	-	24.60
SMC ¹⁾	24.60	-
Corn, grain	55.54	55.54
Barley, grain	5.40	5.40
Corn gluten meal	1.89	1.89
Tall fescue, straw	4.74	4.74
Barley bran	1.89	1.89
Molasses, sugarcane	5.85	5.85
Vitamin/mineral mix ²⁾	0.09	0.09
Chemical composition(%), DM basis		
Dry matter, %	75.69	75.51
Crude protein, %	11.66	11.19
Acid detergent fiber, %	12.05	12.12
Neutral detergent fiber, %	17.64	17.55
Ether extract, %	2.46	2.92
Crude ash, %	2.28	2.33
Calcium, %	0.84	0.83
Phosphorus, %	0.28	0.29
Selenium, mg/kg	0.083	0.897
TDN ³⁾ , %	74.27	74.55

¹⁾Se-SMC designates spent mushroom composts from Se-enriched mushrooms, and SMC represents spent mushroom composts from normal mushrooms; ²⁾consisted of Ca 15%, P 6.8%, Mg 7.0%, Na 7.8%, Zn 5,000 mg/kg, Mn 4,000 mg/kg, Cu 500 mg/kg, I 300 mg/kg, Co 20 mg/kg, Se 0 mg/kg, vitamin A 400,000 IU/kg, vitamin D₃ 75,000 IU/kg, and vitamin E 500 mg/kg; ³⁾TDN value was calculated according to the regression equation described by Wardeh (1981).

Table 25. Experimental design

Treatments	Feeding period			Total
	2 mon.	4 mon.	6 mon.	
Control	5 ²⁾	5	5	15
Se-SMC ¹⁾	5	5	5	15
Total	10	10	10	30

¹⁾Spent composts of Se-enriched mushrooms; ²⁾the number of finishing Hanwoo steers within a group.

나. 시험사료분석과 혈중 및 근육, 간내 셀레늄 측정

실험사료의 일반성분 및 섬유소분석은 AOAC(1995)방법과 Van Soest 등(1991)의 방법에 준하여 분석하였다. 그리고 실험사료 내 셀레늄 분석은 동결건조기에서 3일간 건조하여 수분을 완전히 제거하여 분쇄기로 1mm이하의 입자크기로 분쇄한 후 산소플라스크연소법으로 연소시켜 AOAC(1995)방법으로 분석하였고, 혈액과 근육 및 간은 동결건조기에서 7일간 건조하여 사료내 셀레늄분석과 동일한 방법으로 분석하였다.

다. 혈장내 GSH-Px 활성조사

혈장 내 존재하는 GSH-Px활성은 Se-dependent GSH-Px(H₂O₂ as a substrate)로서 Lawrence와 Burk(1976)의 방법에 따라 spectrophotometer(Shimadzu, Japan) 340 nm에서 3분간 10초 간격으로 읽어서 나타나는 slope을 이용하여 각각의 활성을 측정하였고, 분석에 이용된 모든 시약은 Sigma제품을 사용하였다. GSH-Px의 1단위(1unit)는 혈장 1 mL기준으로 1분 동안 산화된 1nmol의 NADPH량을 나타낸다.

라. 통계분석

본 실험에서 얻어진 사료섭취량 및 증체량 그리고 근육과 혈액내 셀레늄 함량에 대한 자료는 사료내 셀레늄과 급여기간이 이들 변수들에 영향을 미치는지 비교하기위해

각 실험사료 처리구의 소 두수(각 5두) 반복을 하여 SAS package program(2000, release. 8.1 ver.)의 two way ANOVA procedure를 이용하여 Se-SMC효과, 급여기간 효과 및 이들의 상호효과에 대하여 3× 2 요인실험(factorial design arrangement)으로 통계 처리하였다. 각 처리구간 평균값의 유의성 검정은 P 값 5%수준에서 Duncan's multiple range test로 하였다(Steel과 Torrie, 1980).

2. 연구 결과

가. 사료섭취량

유기셀레늄강화버섯 폐배지의 급여기간이 사료건물섭취량에 미치는 영향은 Table 26에 나타내었다.

Table 26. Effect of feeding period of Se-SMC on feed intake in Hanwoo beef steers

Period	Feeding period						SEM ¹⁾	P-value (effects)		
	2 mon.		4 mon.		6 mon.			mon. ²⁾	Se-SMC ³⁾	mon.× Se-SMC ⁴⁾
	Control	Se-SMC	Control	Se-SMC	Control	Se-SMC				
..... DMI (kg/head/day)										
1 mon.	9.85	9.76	9.52	9.49	9.29	9.35	1.27	0.9596	0.9942	0.9732
2 mon.	9.88	9.82	9.63	9.53	9.37	9.33	0.96	0.9732	0.9635	0.9532
3 mon.			9.84	9.92	9.58	9.90	0.77	0.9648	0.9654	0.9873
4 mon.			9.95	9.78	9.84	9.55	0.94	0.9974	0.9729	0.9616
5 mon.					9.82	9.85	0.47	-	0.9726	-
6 mon.					9.72	9.55	0.52	-	0.9942	-
Overall	9.87	9.79	9.74	9.68	9.60	9.59	0.38	0.9724	0.9847	0.9573

¹⁾Standard error of the mean; ²⁾feeding period effect; ³⁾Se-SMC effect; ⁴⁾interaction between feeding period and Se-SMC; P-value within each effect is significantly different (P<0.05).

Se-SMC 급여기간에 따른 비육후기 한우의 건물섭취량은 급여기간과 셀레늄수준에 의하여 처리구 간에 유의한 차이가 나타나지 않았고, 처리구의 1일 평균 섭취량은 약

9.7kg를 섭취하였으며, 셀레늄이 사료섭취의 제한요인으로 나타나지 않았다. 아울러 Se-SMC의 장기간 급여로 인한 중독증상 또한 나타나지 않았다.

Rock 등(2001)은 유무기셀레늄을 임신 중기 및 말기의 면양에게 급여한 결과 사료 섭취량의 차이는 나타나지 않았다고 보고하여 본 실험결과와 유사하였다. 그리고 Gunter 등(2003)도 유무기셀레늄을 임신우에 급여한 결과 건초의 섭취량이 처리구간에 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 이와 반대로, Ivancic과 Weiss(2001)는 무기셀레늄(sodium selenate)을 증가하는 수준(0.1ppm vs. 0.3ppm)으로 착유우에게 급여하였을 때, 건물섭취량이 감소한다고 보고하였고, 이와 같은 결과는 무기셀레늄과 황의 상호작용에 의해 사료섭취량에 제한을 받는다고 설명하였다.

본 실험의 실험군은 비육체중에 따라 2개월 급여군 (평균체중 677 kg), 4개월 급여군 (평균 체중 610 kg), 6개월 급여군 (평균체중 524 kg)으로 나누어 사료를 급여하였고, 체중에 따른 섭취량의 차이 또한 나타나지 않았다. 본 결과는 안 등(2002)의 연구에서 나타난 수준과 유사하였다.

나. 증체량

유기셀레늄강화버섯 폐배지의 급여기간이 증체량에 미치는 영향은 Table 27과 Fig. 9 및 10에 나타내었다.

Table 27. Effect of feeding period of Se-SMC on BW gain of Hanwoo beef steers

Items	Feeding period						SEM ¹⁾	P-value (effects)		
	2 mon.		4 mon.		6 mon.			mon. ²⁾	Se-SMC ³⁾	mon.× Se-SMC ⁴⁾
	Control	Se-SMC	Control	Se-SMC	Control	Se-SMC				
..... Performance										
Initial BW	676.5	677.5	610.0	609.0	524.8	523.0	26.52	<0.0001	0.9576	0.9943
Final BW	721.9	719.9	704.5	708.0	687.2	665.2	26.78	0.0113	0.5398	0.6135
ADG, g	757.5	707.5	787.5	825.0	902.5	790.0	107.96	0.1305	0.3570	0.3966
Total gain, kg	45.5	42.5	94.5	99.0	162.5	142.2	16.11	<0.0001	0.3546	0.3128

¹⁾Standard error of the mean; ²⁾feeding period effect; ³⁾Se-SMC effect; ⁴⁾interaction between feeding period and Se-SMC; P-value within each effect is significantly different (P<0.05).

사양시험 개시체중과 종료체중은 급여기간이 증가함에 따라 유의하게 차이를 나타

내었고($P < 0.0001$), 급여기간이 증가함에 따라 유의하게 낮았다($P < 0.01$). 이는 사양시험 시작시 체중의 차이에 의한 배치로 인한 것으로 생각된다.

하지만, 총 증체량은 급여기간이 증가함에 따라 유의하게 증가하였으나($P < 0.0001$), Se-SMC에 의한 효과 또한 나타나지 않았다. 또한 일당증체량은 급여기간 및 Se-SMC에 의하여 유의한 차이가 나타나지 않았다. Awadeh 등(1998b)은 비육암소에 유무기셀레늄을 급여한 결과, 대사 및 성장 발달에 관계하는 갑상선 호르몬에 대하여 활성형 호르몬(T_3)으로의 전환을 증가시키나, 증체량에는 영향을 미치지 않았다고 보고하였고, 다른 연구자들도 증체량에는 영향을 미치지 않는다고 보고하였다(Clyburn 등, 2001; Rock 등, 2001).

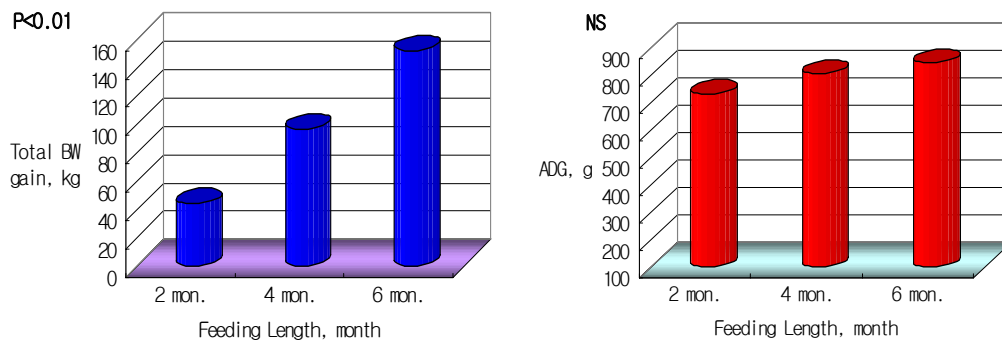


Fig. 9. Effects of different feeding period on BW gains in Hanwoo steers.

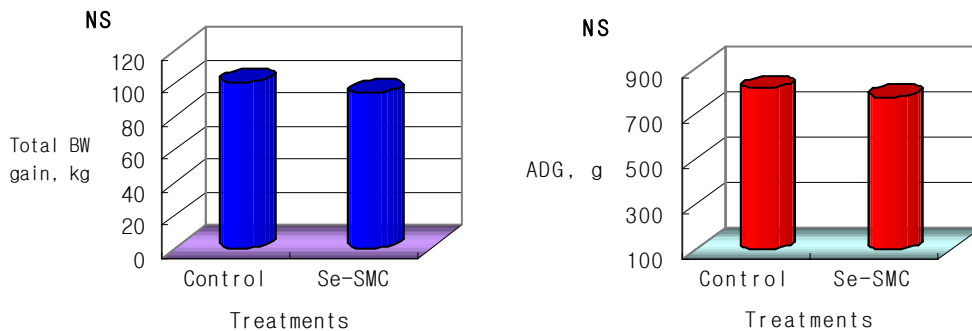


Fig. 10. Effects of Se-SMC supplementation on BW gains in Hanwoo steers.

다. 혈중 셀레늄 농도와 GSH-Px활성 변화

유기셀레늄강화버섯 폐배지의 급여기간이 혈중 셀레늄농도에 미치는 영향은 Table 28에 나타내었다.

Table 28. Effects of feeding period of Se-SMC on whole blood selenium concentrations in Hanwoo steers

Period	Feeding period						SEM ¹⁾	P-value (effects)		
	2 mon.		4 mon.		6 mon.			mon. ²⁾	Se-SMC ³⁾	mon.× Se-SMC ⁴⁾
	Control	Se-SMC	Control	Se-SMC	Control	Se-SMC				
..... Blood selenium (ng/mL)										
2 wk	97.25	146.12	96.34	153.67	92.65	152.14	11.97	0.8708	<0.0001	0.7361
4 wk	86.72	199.36	93.85	202.52	99.38	190.55	11.97	0.7555	<0.0001	0.2558
8 wk	104.21	255.62	101.77	248.51	95.96	238.24	10.29	0.1258	<0.0001	0.7811
12 wk			87.67	250.49	98.33	255.47	10.36	0.3988	<0.0001	0.3988
16 wk			101.26	256.37	102.69	266.21	6.32	0.1211	<0.0001	0.3447
20 wk					91.27	265.33	5.43	-	<0.0001	-
24 wk					89.76	257.68	8.86	-	<0.0001	-

¹⁾Standard error of the mean; ²⁾feeding period effect; ³⁾Se-SMC effect; ⁴⁾interaction between feeding period and Se-SMC; P-value within each effect is significantly different (P<0.05).

사료내 셀레늄수준은 한우의 혈중셀레늄농도를 유의하게 증가시켰으나(P<0.0001), 급여기간에 따른 효과는 나타나지 않았다. 그리고 셀레늄 무처리구인 대조구는 사양기간이 지속됨에 따라 유의한 변화가 나타나지 않은데 반하여, Se-SMC급여구는 사양기간이 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 Se-SMC 처리구는 사양기간 8주 이후에 혈액 mL당 230 ng 이상을 나타내면서 일정수준으로 유지되는 경향을 나타내었고, 이는 이전(1년차 사양시험)의 결과와 유사하였다.

이에 따라 체중이 다른 개체는 사양기간이 지속되어도 혈중 셀레늄농도변화와는 상관 없이 있음을 알 수 있었다. 하지만, 대조구에 비하여 Se-SMC구의 지속적으로 증가된 혈중 셀레늄농도는 급여기간이 증가함에 따라 전 기간에 걸친 혈중 셀레늄의 총순환량증가를 통한 조직내 저장셀레늄이 증가하게 되므로 근육내에서 증가된 수준으로 침착될 가능성은 배제 할 수 없다.

한편, 유기셀레늄강화버섯 폐배지의 급여기간이 혈중 GSH-Px활성에 미치는 영향

은 Table 29에 나타내었다. 본 실험의 GSH-Px활성은 혈액 내 셀레늄농도와 유사한 경향을 나타내었고, 폐배지 내 셀레늄은 한우의 GSH-Px활성을 유의하게 증가시켰다 ($P<0.001$). 그리고, 포화기간에 따른 GSH-Px의 활성의 차이는 발견되지 않았다. 하지만, 각 포화기간에서 사양기간이 지속됨에 따라 Se-SMC급여군의 GSH-Px활성은 증가하는 경향을 나타내었다. Maus 등(1980)은 젖소에게 0.2, 0.3, 0.4 및 0.7 ppm을 함유하는 유기셀레늄사료를 급여하였을 때, 사양기간이 지속됨에 따라 혈중 및 우유내 Se함량 및 GSH-Px활성이 증가하는 양상을 보였다고 하여 본 실험과 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 포화기간에 따른 GSH-Px활성은 Se-SMC급여에 의한 효과만 뚜렷하게 나타나 포화기간과 GSH-Px활성간의 상관도가 나타나지 않는 것으로 판명되었다.

Table 29. Effects of feeding period of Se-SMC on plasma glutathione peroxidase activity in Hanwoo steers

Period	Feeding period						SEM ¹⁾	P-value (effects)		
	2 mon.		4 mon.		6 mon.			mon. ²⁾	Se-SMC ³⁾	mon.× Se-SMC ⁴⁾
	Control	Se-SMC	Control	Se-SMC	Control	Se-SMC				
..... GSH-Px activity ⁵⁾ , unit										
2 wk	16.622 ^{bc}	29.126 ^a	13.065 ^c	32.047 ^a	12.221 ^c	23.354 ^{ab}	3.3973	0.0680	0.0001	1.0000
4 wk	18.443 ^b	35.669 ^a	16.574 ^b	35.746 ^a	12.523 ^b	43.013 ^a	5.1358	0.5714	0.0213	0.3601
8 wk	12.858 ^b	41.948 ^a	11.094 ^b	34.468 ^a	15.983 ^b	32.061 ^a	2.8217	0.4432	0.0075	1.0000
16 wk			12.418 ^b	35.711 ^a	14.327 ^b	26.969 ^a	5.4875	0.0635	0.0446	0.1880
24 wk					13.911 ^b	46.007 ^a	2.0114	-	<0.0001	-

¹⁾Standard error of the mean; ²⁾feeding period effect; ³⁾Se-SMC effect; ⁴⁾interaction between feeding period and Se-SMC; P-value within each effect is significantly different ($P<0.05$); ⁵⁾one unit of activity equals 1 nmol NADPH oxidized per minute/per milliliter of blood plasma; ^{4)a,b,c}different superscripts within the same row are significantly different ($P<0.05$).

라. 근육 및 간 조직 내 셀레늄함량 조사

유기셀레늄강화버섯 폐배지의 급여기간이 근육 및 간 조직 내 셀레늄침착에 미치는 영향은 Table 30과 Fig. 11에 나타내었다. 등심내 셀레늄함량은 급여기간과 사료내 셀레늄수준에 의하여 유의한 효과가 나타나지 않았다. 이는 등심내 분포된 마블링

(marbling)으로 인하여 적육(red meat)에 결합된 셀레늄을 회석시켜 나타난 결과로 생각된다. 따라서 한우는 기타 동물과는 달리 등심에 특이적으로 비육기에 근육내 지방을 침착시키는 특성이 있으므로 지방세포에 의하여 등심내 셀레늄축적이 방해되는 것으로 나타났다.

Table 30. Effect of feeding period of Se-SMC on Se deposition in Hanwoo steers

Items	Feeding period						SEM ¹⁾	P-value (effects)		
	2 mon.		4 mon.		6 mon.			mon. ²⁾	Se-SMC ³⁾	mon.× Se-SMC ⁴⁾
	Control	Se-SMC	Control	Se-SMC	Control	Se-SMC				
..... Tissue Se, µg/g of dry weight										
Loin	0.448	0.463	0.444	0.454	0.434	0.482	0.0363	0.9373	0.2929	0.7236
Hind leg	0.453 ^c	0.587 ^b	0.471 ^c	0.672 ^{ab}	0.428 ^c	0.733 ^a	0.0452	0.0464	0.0002	0.0933
Liver	1.069 ^b	2.105 ^a	1.103 ^b	2.330 ^a	1.125 ^b	2.430 ^a	0.2211	0.5012	<0.0001	0.6932

¹⁾Standard error of the mean; ²⁾feeding period effect; ³⁾Se-SMC effect; ⁴⁾interaction between feeding period and Se-SMC; P-value within each effect is significantly different (P<0.05); ^{a,b,c}different superscripts within the same row are significantly different (P<0.05).

후지내 셀레늄함량은 급여기간(P<0.05)과 사료내 셀레늄(P<0.001)에 의하여 등심내 셀레늄함량이 유의하게 증가하였다. 하지만, Se-SMC의 4개월 급여군과 6개월급여군 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 이는 근육내 셀레늄축적이 급여기간 4내지 6개월 사이에 더 이상 축적되지 않고, 일정수준으로 유지되는 것을 알 수 있다.

한편, 간내 셀레늄함량은 급여기간의 효과는 나타나지 않았지만, 셀레늄효과는 유의적으로 나타났다. 그리고, 대조구의 후지 및 간내 셀레늄함량은 급여기간이 증가하여도 변화가 없는 것으로 나타났다. 따라서, 본 결과로부터 근육내 셀레늄 최대 축적을 위한 Se-SMC 급여기간은 4개월정도가 적절할 것으로 생각된다.

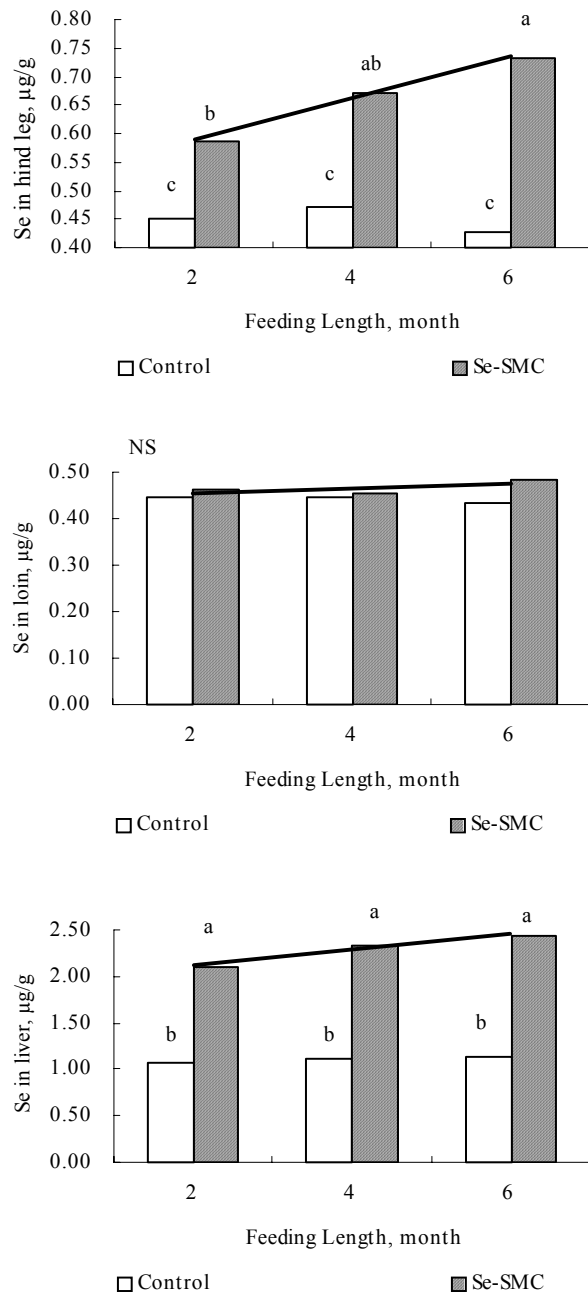


Fig. 11. Selenium contents in tissues of Hanwoo steers with varying feeding period (mon.)

제 6 절. 유기셀레늄강화 버섯 폐배지 급여기간이 쇠고기육질 과 육색의 안정성에 미치는 영향

1. 연구 수행 내용

가. 공시축

본시험에 사용된 셀레늄급원은 유기셀레늄 강화버섯을 생산하고 폐기되는 셀레늄이 다량 함유되어 있는 폐배지(Se-SMC; spent composts of Se-enriched mushrooms)를 활용하였다. 실험사료는 셀레늄 농도를 Lee 등(2004)이 최적 조건으로 제시한 0.9 ppm(건물기준)의 사료를 제조하고 급여기간을 2개월, 4개월 및 6개월 처리구로 설정하였으며, 에너지(TDN:약 75%)와 단백질 함량(CP: 약 12%)이 처리구간에 동일하도록 제조하여 시험사료로 사용하였다. 시험축은 비육후기 거세한우 30두(처리별 생체중 : 2개월 급여군 621 kg이상, 4개월 급여군은 561~620 kg, 6개월 급여군은 500~560 kg의 소를 배치)를 사양 본 시험에 착수 1달 전에 시험사료 및 환경에 적응시켜, 처리구별 5두씩 배치하였다.

나. 시료채취

사양시험이 완료된 시험축은 나주축산물공판장에 도축전일 출하하여 계류 후 도축하였으며, 도축된 도체는 0℃의 도체 냉각실에서 18시간 냉각하여 도체 심부온도가 5℃이하로 저하된 다음 소도체등급판정요인 측정과 소도체등급판정은 축산물등급판정사가 소도체 등급판정기준(농림부고시 제1999-64호, 1999. 9.28)에 의거 육질판정요인(근내지방도, 육색, 지방색, 조직감, 성숙도) 및 육량판정요인(도체중, 등지방두께, 배최장근단면적)에 따라 최종 등급을 판정하였다. 분석시료는 등급판정 후 도축장내 부분육 작업장으로 이동·분할정형 작업한 후 공시축의 좌도체 채끝육(배최장근; *m. longissimus*)을 채취하여 진공포장한 다음 축산연구소로 운반하였다. 구입한 시료는 도축 후 2일간 냉장보관(1±1℃)한 후 도축 3일째 육질특성 분석에 사용하였다.

다. 주요 조사항목별 조사방법

수분, 조단백질, 조지방, 조회분 등 일반성분은 AOAC방법(1995)에 의해 분석하였으며, 보수력(Water holding capacity; WHC)은 Laakkonen 등(1970)의 방법을 약간 변

형한 Park 등(2001)의 방법에 따라 측정하였고, 가열감량(Cooking loss)은 채끝육의 가열 전·후 중량차로 계산하였다. pH는 도체 pH meter (pH*K21, NWK-Binär GmbH Co., Germany)로 측정하였다. 육색은 근육을 절단하여 절단면을 공기 중에 30분 노출시킨 후 Chromameter(Minolta Co. CR 300, Japan)로 CIE(Commission Internationale de Leclairage) L*, a*, b* 값을 9반복으로 측정하였으며, 이때의 표준관은 Y = 92.40, x = 0.3136, y = 0.3196의 백색 타일을 사용하였고, Chroma를 $\{(a^*)^2 + (b^*)^2\}^{1/2}$ 로 $\tan^{-1}(b^*/a^*)$ 로 Hue angle을 구하였고, $\{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2}$ 로 ΔE (Total color difference)를 구하였다. 관능검사는 10명의 관능검사 요원들이 6점법으로 측정하였다(연도: 1=매우 질기다., 6=매우 연하다., 풍미, 다즙성: 1=매우 나쁘다., 6=매우 좋다.). 전단력은 등심을 심부온도 70°C에서 10분간 가열한 후 전단력 측정기(Warner-Bratzler shear meter; G-R Elec. Mfg. Co., USA)로 측정하였다. 무기물 함량은 ICP 발광분광 분석법 중 표준곡선법을 이용하여 원소농도가 다른 각 혼합표준용액 중의 각 원소의 농도를 미리 데이터 처리장치에 기억시킨 다음 각 혼합표준용액을 플라즈마에 도입하여 각 원소의 스펙트럼선 강도를 측정하여 표준곡선을 작성하였다. 그 다음 시험용액을 플라즈마에 도입하여 스펙트럼선 강도를 측정하고, 다시 백그라운드 보정을 하여 표준곡선으로부터 각 분석 대상 원소의 농도를 구하였다.

지방산 조성은 Folch 등(1957)의 방법에 따라 등심부위의 사료를 세절하여 시료 25 g에 Folch 용액(CHCl₃ : CH₃OH = 2:1) 180 ml과 BHT 0.5 ml을 넣고 homogenizer(2,500 rpm)로 균질화하여 0.08% NaCl 50 ml를 첨가·혼합한 후 3,000 rpm에서 10분간 원심 분리 하였다. 그 후 추출된 지질 50 mg을 tefron-lined screw-cap tube에 넣고 4% H₂SO₄(in methanol) 3 ml를 첨가하여, 90°C water bath에서 20분간 methylation 시킨 후 hexane 3ml와 증류수 2 ml를 넣고 섞은 후 상층을 회수하여 GC(Hewlett Packard GC-5890 series plus)로 분석하였으며, 이 때 GC의 분석조건은 아래의 표와 같다.

Table 31. The conditions of gas chromatography for fatty acid analysis

Items	Condition
Column	HP-Innowax (crosslinked polyethylene glycol) 30 m × 0.32 mm × 0.5 μl
Temperature program	10°C/ min.
Detector	Flame ionization detector(FID)
Initial temperature	120°C
Initial time	1 min.
Final temperature	240°C
Final time	10 min.
Injector temperature	250°C
Detector temperature	280°C
Carrier gas	N ₂
Split ratio	100:1

육색소의 화학적 조성은 Krzywicki(1982)의 방법으로 측정하였고, 분쇄 우육을 4 g 취하여 냉장고에 보관중인 phosphate buffer (pH 6.8, ionic strength 0.04)를 20 ml 넣은 후 13,000 rpm에서 10초간 균질화(model T- 25 Basic, IKA, Malaysia) 하였다. 이때 육색소 추출은 Warriss(1979)의 방법으로 추출하였고, 균질액을 냉암소에서 1시간 방치한 후 5,000 g에서 30분간 원심분리(model SCR20BA, Hitachi, Japan) 시켰다. 상층액을 Whatman No. 1 여과지로 여과한 후 Spectrophotometer(model DU-650, Beckman, USA) 572, 565, 545, 525 nm에 각각 흡광도를 측정하여 다음과 같은 산술식을 이용하여 산출하여 전체(myoglobin, Oxy-myoglobin, Met-myoglobin의 합)에 대한 백분율로 나타내었다.

$$[\text{Myoglobin}] = 0.369R_1 + 1.140R_2 - 0.941R_3 + 0.015$$

$$[\text{Oxy-myoglobin}] = 0.882R_1 - 1.267R_2 + 0.809R_3 - 0.361$$

$$[\text{Met-myoglobin}] = -2.514R_1 + 0.777R_2 + 0.800R_3 + 1.098$$

여기에서 R₁ R₂ R₃은 각각 A⁵⁷²/A⁵²⁵, A⁵⁶⁵/A⁵²⁵, A⁵⁴⁵/A⁵²⁵ 비이다.

Met-myoglobin reductase 분석은 소 심장근을 채취하여 myoglobin substrate를 다음과 같은 방법을 따라 4°C의 냉장실에서 수행하였다. 심근을 지방, 근주막, 결체조직

을 제거한 심근 500 g에 차가운 증류수 1000 ml를 넣은 후 고속으로 60-90초간 완전하게 homogenizing 하였고, homogenizing을 2N NH₂OH로 pH7.5 맞춘 다음 13,700 g로 20분간(온도 4℃) 원심분리 하였다. 맑은 상층액을 취하고 여기에 (NH₄)₂SO₄를 이용하여 70% 포화시킨후 2N NH₄OH로 pH 7.5를 맞추고 30분간 stirring 하였다. Ammonium Sulfate Fraction을 13,500 g로 15분간 원심분리 시키고 상층액을 취한 후 (NH₄)₂SO₄를 이용하여 100% 포화시키고 필요하면 pH를 7.5로 다시 맞추고 용액에 celite를 1g/100 ml를 넣고 1시간 stirring 한 후 glass filter로 vacuum filtering하였다. 여과물을 비커에 천천히 옮긴 후 차가운 증류수를 500-750 ml(500 ml로 한다) 첨가한 후 20,000 g로 20분간 원심분리하고 glass wool로 여과하여 남아있는 elite를 제거하였다. 동일한 물의(0.75 nM이상으로) K₃Fe(CN)₆을 oxymyoglobin용액에 첨가하고, 30분간 stirring하여 산화시켰다(0.00075 M × 분자량 × 원심분리한 상층액량).

Metmyoglobin용액을 1차로 증류수에 대하여 투석하고, 0.02 M sodium phosphate buffer pH6.0으로 평형을 맞춘 후 2차 투석하였다. Ammicon diafiltration cell을 이용하여 300 ml이하로 농축한 후 칼럼작업을 하였다.

Column Chromatography는 ① Column : 5×4 cm 사용하고, CM-sephadex C-25채운다.(dry wt : 대략 10 g정도) ② 0.02 M sodium phosphate buffer pH6.0으로 평형을 맞춘다. ③ Met-myoglobin용액을 loading한다. ④ 0.02 M sodium phosphate buffer pH6.0 으로 280 nm에서 흡광도가 현저하게 증가하였다가 무시할 정도의 수준까지 elution 한다. ⑤ 0.02 M sodium phosphate buffer pH 7.0으로 바꾸어 elution 한다 ⑥ 0.03 M의 NaOH로 세척한다. ⑦ 다시 0.02 M sodium phosphate buffer pH6.0을 흘린다. 칼럼작업이 끝난 후 50℃에서 10분간 열처리 하고, 2000 rpm에서 10분간 원심분리 하였고, 10 mm당 1g의 DEAE-cellulose를 첨가한 후 2000 rpm에서 10분간 원심분리 하였다. 이렇게 준비된 myoglobin substrate는 작은 튜브에 분획하여 -80℃에 보관하였고, 저장후 사용할 때는 용해하여 10,000 g로 10분간 원심분리하여 사용하였다. 시료의 추출(Bovine muscle extract)은 시료 5 g에 phosphate buffer(0.002 M, pH7.0) 25 ml을 4℃에서 homogenizing하고, homogenate를 4℃, 35,000 g, 30분간 원심분리 하였다. 상층액을 Watman No. 541로 여과하여 지방층을 제거한다. Extract Oxyhemoprotein을 포화 potassum ferricyanide로 산화시킨 후 0.002 M phosphate buffer(4℃)에서 3차례 dialysis(12000 M.W cut-off membrane)하고, 15,000 g에서 20분(4℃)간 원심분리 하였다. dialysis한 muscle extract는 0.002M sodium phosphate buffer pH7.0 으로 volume을 25ml로 맞추고 Met-Mb reductase assay 분석용 시료로

사용한다. Met-Mb reductase assay는 분광광도 측정용 셀에 5 nM disodium EDTA를 0.1 ml 넣은 다음 50 nM Citrate buffer(pH5.65) 0.1 ml을 넣고, 3 nM potassium ferrocyanide 0.1 ml을 첨가하고 3 nM phosphate buffer(pH7.0)내 0.75 nM Met-myoglobin용액 0.2 ml 넣었다. 그리고 muscle extract를 0.2 ml 첨가하고 DW(증류수) Met-myoglobin용액(심근 추출액) 0.2 ml을 넣었다. 그리고 1 nM NADH : 0.1 ml 넣고 580 nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다. Blank는 NADH를 넣지 않고, 증류수를 0.1 ml 넣고 측정하였다.

Oxy-myoglobin 생성량과 Met-myoglobin activity는 아래의 공식에 의해 산출하였다.

$$OxyMb \text{ 생성량} = \frac{\text{흡광도}}{12 \times 10^3} \times 10^6$$

$$Metmyoglobin \text{ activity} = \frac{OxyMb \text{ 생성량} \times \left(\frac{10^3}{\text{반응시간}}\right) \times \text{회석배율}}{\text{시료무게 (g)}}$$

라. 통계분석

시험 성적의 통계분석은 SAS (1996) 프로그램의 GLM procedure를 이용하여 Duncan의 다중검정으로 각 요인간의 유의성을 비교 분석하였고 육질 및 육량등급별 출현율은 χ^2 분석으로 비교하였다.

2. 연구결과

유기셀레늄이 첨가된 사료의 급여기간을 달리하여 비육시킨 한우거세우 채끝육의 일반성분을 분석한 결과는 Table 32과 같다. 수분함량은 63%에서 66%까지 분포하였으나 급여기간에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 근내지방도와 직접적으로 관련된 등심의 지방함량은 처리구별로 약 11.7%에서 16.4%정도의 분포를 보였으나 수분 함량과 같이 처리구간 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 단백질은 T3구가 20.8%로 가장 높았고, T2구가 19.2%로 가장 낮은 조성을 보였다. 이러한 결과는 한우에 유기셀레늄의 첨가 수준을 달리하여 급여시켰을 때, 일반성분의 조성 차이가 보이지 않았다(Park 등, 2005)는 결과와 유사하였다. 이상의 결과에서 유기셀레늄을 사료로서 첨가 급여할 경우 쇠고기에 있어 일반조성분에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

유기셀레늄이 첨가된 사료의 급여기간을 달리하여 비육시킨 한우거세우 채끝육의 물리적 특성을 분석한 결과는 Table 33에서 보는 바와 같다. 식육을 가열 조리했을 때 일어나는 수분의 손실 정도를 알아보는 척도로 가열감량을 이용하는데 가열감량은 단백질의 변성으로 나타나며, 보수력에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Winger와 Fennema, 1976; Cohen, 1984). 육의 pH가 높으면 가열감량이 적고, 드립의 발생은 사후 pH의 저하(Savage 등, 1990)와 근육의 수축(Hamm, 1982)으로 증가하게 된다고 알려져 있는데 본 실험에서는 처리구에 따른 pH의 변화와 가열감량은 큰 차이를 나타내지 않았다. 전단력 또한 가열감량과 유사한 경향으로 처리구별 유의적인 차이를 보이지 않았다($P < 0.05$).

Table 32. Mean and standard deviation for chemical composition in *m. longissimus* as a function of organic selenium supplementation (Unit : %).

	C	T1	T2	T3
Moisture	64.48±0.82	63.29±0.78	63.99±1.46	66.60±1.54
Fat	14.73±1.12	16.38±1.00	15.97±1.84	11.68±2.11
Ash	0.85±0.03	0.81±0.01	0.80±0.04	0.92±0.14
Protein	19.94 ^{ab} ±0.35	19.52 ^{ab} ±0.30	19.24 ^b ±0.40	20.81 ^a ±0.58

C : The Hanwoo steers fed on general feed

T1 : The Hanwoo steers fed on general feed with organic selenium(0.9 dry matter-based ppm) in mushroom cultured media for 2 months.

T2 : The Hanwoo steers fed on general feed with organic selenium(0.9 dry matter-based ppm) in mushroom cultured media for 4 months..

T3 : The Hanwoo steers fed on general feed with organic selenium(0.9 dry matter-based ppm) in mushroom cultured media for 6 months.

^{a,b} : Means having different letters in the same row are significantly different ($P < 0.05$).

이러한 연구결과는 O'Grady 등(2001)이 셀레늄 급여에 의한 쇠고기의 물리적 특성에는 유의적 차이가 없다는 보고와 유사한 결과이다. 반면 보수력은 대조구 59.5%에 비하여 시험구 T1, T2, T3 각각 63.8, 64.4, 64.2%로 유의적으로 높은 경향을 보였으나($P < 0.05$), 급여기간에 따른 차이는 보이지 않았다($P > 0.05$).

Table 33. Objective meat quality of *m. longissimus* as a function of organic selenium supplementation

	C	T1	T2	T3
Cooking loss (%)	21.19±0.69	20.57±0.69	21.00±0.25	20.95±0.54
Shear force (kg/0.5inch ²)	4.09±0.23	4.40±0.20	3.69±0.23	3.91±0.27
pH	5.52 ^{ab} ±0.02	5.57 ^a ±0.01	5.50 ^b ±0.02	5.50 ^b ±0.00
Water holding capacity (%)	59.45 ^b ±1.04	63.81 ^a ±1.00	64.38 ^a ±0.75	64.16 ^a ±0.95

Treatments are the same as described in Table 32.

^{a,b}: Means having different letters in the same row are significantly different (P<0.05).

Table 34. Sensory characteristics of *m. longissimus* as affected by organic selenium supplementation

	C	T1	T2	T3
Juiciness ¹⁾	5.17±0.15	5.18±0.14	5.40±0.20	4.96±0.19
Tenderness ²⁾	4.75 ^{ab} ±0.16	5.30 ^a ±0.15	5.28 ^a ±0.22	4.40 ^b ±0.33
Flavor ³⁾	4.91 ^b ±0.05	5.02 ^b ±0.17	5.48 ^a ±0.10	4.96 ^b ±0.22

Treatments are the same as described in Table 32.

^{a,b} : Means having different letters in the same row are significantly different (P<0.05).

¹⁾ Juiciness : 1=Extremely dry, 6=Extremely juicy.

²⁾ Tenderness : 1=Extremely tough, 6=Extremely tender.

³⁾ Flavor : 1=Extremely bland, 6=Extremely intense.

유기셀레늄의 급여기간을 달리하여 비육시킨 거세 한우 채끝육의 관능적 특성을 분석한 결과는 Table 34와 같다. 다즙성은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 연도는 T1구와 T2구가 각각 5.30, 5.28점으로서 T3구보다 유의적으로 높았다. 이러한 결과는 유기셀레늄의 급여기간보다 근내지방의 함량이 높은 것에 기인한 것으로 판단되어 지는데 이는 지방 세포의 분화 및 성장이 결체 조직 사이에서 일어나므로 (Nishimura 등, 1999), 고기내 결체 조직 수가 상대적으로 줄어들고 씹힘 작용에서 지방의 윤택 작용(Miller, 1994)과 침샘을 자극하여 다즙성이 높은 느낌을 받는다고 하였다. 또한 향미에서도 T2구가 다른 처리구와 대조구에 비하여 유의적으로 높은 결과를 보였는데(P<0.05), 이는 T2구가 전단력가가 낮고 지방함량이 다른 처리구들에 비하여

비교적 높은 수준을 보인 결과로 사료된다.

Table 35. Mean and standard deviation for inorganic levels in *m. longissimus* as a function of organic selenium supplementation (Unit : ppm)

	C	T1	T2	T3
Ca	48.91±0.64	47.15±0.73	46.99±1.50	53.98±1.84
P	1,532.00±51.90	1,486.78±22.64	1,529.38±43.45	1,486.50±35.41
K	2,499.30±97.55	2,643.46±69.20	2,522.11±53.73	2,356.52±63.59
Na	412.80±19.44	404.51±13.06	417.63±9.38	384.63±19.82
Mg	188.26±7.54	187.62±3.11	189.47±4.98	186.99±4.62
Fe	20.62±1.04	18.04±0.97	18.77±1.32	19.21±1.21
Mn	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
Zn	31.55±1.16	27.25±0.17	31.38±0.71	30.97±0.93
Cu	0.10±0.02	0.19±0.07	0.07±0.02	0.04±0.02

Treatments are the same as described in Table 32.

유기셀레늄의 급여기간을 달리하여 비육시킨 거세 한우 채끝육의 무기물 함량을 분석한 결과는 Table 35와 같다. Ca, P, K, Na, Mg, Fe, Mn, Zn 및 Cu 모두 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않아 유기셀레늄 급여에 의한 근육내 무기물의 조성변화는 없는 것으로 판단된다. 그동안의 연구 결과에 따르면 사료내 셀레늄의 첨가량이 높은 것이 근육내 셀레늄 축적량이 증가된다고 하였으나(Lee 등, 2004), 다른 무기물 함량에는 영향을 미치지 않은 것으로 나타나(Park 등, 2005), 유기 셀레늄의 급여는 다른 무기물 함량에는 영향을 미치지 않고 셀레늄 함량은 증가되어 유기셀레늄강화 쇠고기 생산의 가능성이 보고되고 있다.

Table 36. Objective meat color (Hunter) in *m. longissimus* as a function of organic selenium supplementation

	C	T1	T2	T3
L*	31.30±0.47	30.24±1.20	32.17±0.69	31.87±0.70
a*	17.46±0.20	16.99±1.02	17.47±0.40	17.26±0.58
b*	6.58±0.09	6.61±0.52	6.58±0.24	6.45±0.34

Treatments are the same as described in Table 32.

L* : lightness, a* : redness, b* : yellowness.

유기셀레늄의 급여기간을 달리하여 비육시킨 거세 한우 채끝육의 육색을 분석한 결과는 Table 36과 같다. Hunter 명도(L*)는 대조구 31.30, 2개월, 3개월, 4개월 급여구에 서 각각 30.2, 32.2, 31.9로 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 적색도(a*)와 황색도(b*)에서도 명도(L*)와 마찬가지로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 본 시험결과는 절개 후 30분간 홍색화후에 측정된 결과로 처리구간 차이가 없었으나, 유기셀레늄급여가 육색에 미치는 영향에 대해서는 최대 홍색화 이후 장시간이 경과한 다음 육색소 조성 등의 분석을 통하여 비교해야 더욱더 정확한 비교 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 37. Effects of Se-SMC feeding period on the LCFA profiles of *longissimus* muscle

LCFAs	Control	T1	T2	T3
C14:0	3.16±0.19	3.01±0.26	2.85±0.24	2.93±0.19
C16:0	26.78±0.47	26.40±0.89	25.46±0.89	26.76±0.67
C16:1n7	5.47±0.30	5.12±0.66	5.32±0.36	5.26±0.32
C18:0	10.99±0.40	10.50±0.86	10.45±0.32	10.35±0.45
C18:1n9	49.91±0.63	50.98±1.20	52.00±1.24	50.81±0.58
C18:1n7	0.64 ^{ab} ±0.06	0.77 ^{ab} ±0.07	0.84 ^a ±0.08	0.53 ^b ±0.11
C18:2n6	1.87±0.16	1.91±0.23	1.85±0.13	1.95±0.27
C18:3n6	0.15 ^{ab} ±0.01	0.13 ^b ±0.02	0.15 ^{ab} ±0.02	0.18 ^a ± 0.01
C18:3n3	0.15±0.01	0.18±0.01	0.15±0.01	0.15± 0.01
C20:1n9	0.46±0.02	0.47±0.03	0.53±0.02	0.53± 0.07
C20:2n6	0.09 ^b ±0.01	0.14 ^a ±0.02	0.12 ^{ab} ±0.02	0.09 ^{ab} ± 0.02
C20:3n6	0.11 ^{ab} ±0.01	0.11 ^{ab} ±0.01	0.09 ^b ±0.01	0.14 ^a ± 0.01
C20:4n6	0.20 ^{ab} ±0.02	0.20 ^{ab} ±0.02	0.16 ^b ±0.01	0.27 ^a ± 0.07
C20:5n3	0.00 ^b ±0.00	0.01 ^a ±0.01	0.00 ^b ±0.00	0.00 ^b ± 0.00
C22:4n6	0.03±0.01	0.06±0.01	0.04±0.02	0.03± 0.02
SFA	40.93±0.67	39.91±1.40	38.76±1.05	40.05±0.83
USFA	59.08±0.67	60.09±1.40	61.24±1.05	59.95±0.83
mono	56.48±0.60	57.34±1.18	58.68±1.06	57.14±0.79
poly	2.59±0.19	2.75±0.26	2.56±0.13	2.82±0.34
n3	0.15 ^b ±0.01	0.20 ^a ±0.01	0.15 ^b ±0.01	0.15 ^b ±0.01
n6	2.44±0.18	2.55±0.26	2.40±0.13	2.67±0.33
n6/n3	16.14 ^{ab} ±0.80	13.11 ^{ab} ±1.61	16.19 ^{ab} ±1.52	17.65 ^a ±1.83
MUFA/SFA	1.39± 0.04	1.45±0.08	1.52±0.07	1.43±0.05
PUFA/SFA	0.06± 0.01	0.07±0.01	0.07±0.01	0.07±0.01

^{a,b}: Means having different letters in the same row are significantly different (P<0.05).

Table 38. Effects of Se-SMC feeding period on carcass quality grade

Items	Quality Grade				Frequency
	1 ⁺	1	2	3	
Control	13.33(2)	73.33(11)	6.67(1)	6.67(1)	15
T1(2 mon.)	80.00(4)	0.00(0)	20.00(1)	0.00(0)	5
T2(4 mon.)	80.00(4)	20.00(1)	0.00(0)	0.00(0)	5
T3(6 mon.)	20.00(1)	60.00(3)	20.00(1)	0.00(0)	5
Total(T1,T2,T3)	60.00(9)	26.67(4)	13.33(2)	0.00(0)	15
Frequency	11	15	3	1	30

Table 38은 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지급여 기간별 육질등급별 출현율을 비교한 표로서 최고 등급인 육질 1+등급 출현율은 대조구가 13%, 2개월 급여구(T1)구와 4개월급여구(T2) 급여구가 80%, 6개월 급여구(T3)와 20%로 대조구에 비하여 시험구에서 대체적으로 높은 출현율을 보였으나 1등급 이상에서는 시험구와 대조구 공히 86.66%로 차이가 없었으며, 카이스케어(χ^2) 분석결과(χ^2 value=14.167, $P<0.1167$) 처리에 따른 유의성은 없는 것으로 나타났다.

유기셀레늄강화 버섯 폐배지급여 기간별 육질등급별 출현율을 비교한 결과는 Table 39에서 보는 바와 같이 육질 A등급 출현율은 대조구가 6.7%, 처리구 모두 20.0%로 시험구가 대조구에 비하여 높은 출현율을 보였다(χ^2 value = 2.1951, $P<0.9009$). 따라서 육질 등급에 있어서는 유기셀레늄 급여구가 대조구에 비하여 A등급 출현율에서 13%정도 높은 것으로 조사 되었으나 등급간 통계적 유의차는 없었다(χ^2 value = 1.1667, $P<0.5580$).

Table 39. Effects of Se-SMC feeding period on carcass yield grade

Items	Yield grade			Frequency
	A	B	C	
Control	6.67(1)	86.67(13)	6.67(1)	15
T1(2 mon.)	20.00(1)	80.00(4)	0.00(0)	5
T2(4 mon.)	20.00(1)	60.00(3)	20.00(1)	5
T3(6 mon.)	20.00(1)	80.00(4)	0.00(0)	5
Total(T1,T2,T3)	20.00(3)	73.30(11)	6.67(1)	15
Frequency	4	24	2	30

본 시험에 공시된 처리구별 소 도체중량은 370 kg에서 395 kg정도 이었으나 처리구별 유의적인 차이를 보이지 않았다. 등지방층 두께는 처리구간 유의적인 차이는 없었으나, 대조구 11.13 mm, 유기셀레늄 강화 폐배지 2개월 급여구 10.20 mm, 4개월 급여구 10.2 mm, 6개월급여구 10.0 mm로 급여기간이 증가할수록 등지방층 두께는 다소 감소하는 경향을 보였다. 배최장근 단면적은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았으나 대체적으로 도체중이 큰 처리구가 넓은 경향이였다. 육량지수는 대조구가 70.18로 가장 높았고 처리구는 67.9~68.5범위를 보였으나 유의적인 차이는 보이지 않았다($P>0.05$). 육색은 유기셀레늄강화 버섯폐배지 2개월급여구가 5.4로 가장 높은 값을 보였고, 다른 처리구는 4.2에서 4.7의 범위에 있었다. 이러한 결과는 Lawler 등(2004)의 연구 결과에서도 유사하였다. 지방색은 대체적으로 2.8이내인 것으로 나타났으며, 성숙도는 모든 처리구에서 2.0으로 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).

근내지방도는 유기셀레늄강화 버섯폐배지 2개월급여구가 5.8으로 가장 높았고, 4개월 급여구가 5.75, 대조구 4.53, 6개월 급여구 4.40으로 조사되었다.

Table 40. Effects of Se-SMC feeding period on carcass characteristics in Hanwoo steers

Items	Control	T1 (2 mon.)	T2 (4 mon.)	T3 (6 mon.)
Carcass wt.(kg)	389.13 ± 14.11	395.80 ± 15.46	370.20 ± 6.84	395.80 ± 16.09
Backfat thickness (mm)	11.13 ± 0.82	10.20 ± 2.01	10.20 ± 1.24	10.00 ± 0.71
Ribeye area (cm ²)	83.67 ± 3.61	89.00 ± 2.19	80.60 ± 1.78	85.40 ± 2.38
yield grade index	70.18 ± 1.98	68.50 ± 0.89	67.96 ± 0.58	68.42 ± 0.40
Meat color score	4.73 ± 0.12	5.40 ± 0.24	4.60 ± 0.24	4.20 ± 0.20
Fat color score	2.80 ± 0.11	2.60 ± 0.24	2.80 ± 0.20	2.80 ± 0.20
Maturity index	2.00 ± 0.00	2.00 ± 0.00	2.00 ± 0.00	2.00 ± 0.00
Marbling score	4.53 ± 0.38	5.80 ± 0.73	5.75 ± 0.63	4.40 ± 0.68
Texture	1.20 ^{ab} ± 0.11	1.60 ^a ± 0.24	1.00 ^b ± 0.00	1.20 ^{ab} ± 0.20

^{ab}: Means having different letters in the same row are significantly different (P<0.05).

육색(CIE L*, a*, b*) 및 chroma(채도, 색도), hue(색조, 색상) 및 색차(ΔE)값의 측정은 도축 후 24시간경에 해체 발골후 진공포장하여 1℃에서 약 1일 보관한 후 채끝육을 절개하여 30분간 홍색화시킨 후 시료당 3반복 측정하였다. 측정 결과는 Table 41에서 보는 바와 같이 명도(L*)는 대조구 37.46에 비하여 유기셀레늄 강화 폐배지 2개월 급여구를 제외하고는 시험구가 다소 높은 값을 보였다. 적색도(a*)와 황색도(b*)는 처리구간 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. chroma 값은 대조구에 비하여 시험구가 다소 낮은 경향을 보였으나 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았고, 색조인 hue 값도 유의적인 차이는 없었으나 급여기간이 길어질수록 증가하는 경향을 보였다. 색차 ΔE는 처리구간 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 따라서 유기셀레늄 강화 폐배지 급여는 쇠고기의 초기 육색에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Table 41. Effects of Se-SMC feeding period on meat color and stability

Items	Control	T1 (2 mon.)	T2 (4 mon.)	T3 (6 mon.)
No. of Animals	15	5	5	5
CIE L*	37.46 ± 0.53	36.22 ± 1.39	38.45 ± 0.78	38.11 ± 0.79
a*	22.26 ± 0.24	21.86 ± 1.02	22.12 ± 0.43	21.84 ± 0.63
b*	10.34 ± 0.14	10.54 ± 0.77	10.21 ± 0.35	10.02 ± 0.50
Chroma	24.55 ± 0.26	24.27 ± 1.25	24.36 ± 0.52	24.03 ± 0.78
Hue	59.26 ± 0.48	58.96 ± 0.37	60.10 ± 0.61	60.23 ± 0.40
ΔE	44.81 ± 0.45	43.61 ± 1.83	45.53 ± 0.79	45.06 ± 1.05

L*: lightness; a*: redness; b*: yellowness.

Table 42는 유기셀레늄 강화버섯 폐배지급여구와 대조구간의 육색소 화학적 조성을 비교한 결과로 myoglobin의 함량은 대조구와 시험구에서 각각 6.39%, 14.18%로 대조구가 시험구에 비하여 낮은 결과를 보였으며, Oxy-myoglobin의 함량은 반대로 대조구 89.07%, 시험구 83.47%로 시험구가 대조구에 비하여 낮은 결과를 보였다(P<0.05).

Table 42. Effects of Se-SMC feeding on meat pigment

	Control	Se-SMC
Myoglobin	6.39 ^b ±1.27	14.18 ^a ±3.01
Oxy-myoglobin	89.07 ^a ±3.06	83.47 ^b ±5.36
Met-myoglobin	4.56 ^a ±3.10	2.35 ^b ±3.51

^{a,b} : Means having different letters in the same row are significantly different (P<0.05).

그러나 Met-myoglobin 함량은 대조구가 4.56%이었고 시험구가 2.35%로 대조구가 높은 결과를 보였다. 이상의 결과는 시험구가 대조구에 비하여 Met화가 지연시키는 것으로 나타났다. 보다 정확한 결과를 평가하기 위해서는 시료를 Met화 시킨 후 측정

해 불 필요성이 대두되어 도축 후 4℃에서 14일 및 21일간 숙성한 시료를 20℃에서 48시간 산화시킨 후 측정 육색소 화학적 조성을 비교하였다(Table 43).

Table 43은 셀레늄 급원에 따른 육색소 화학적 조성을 비교한 결과로 myoglobin 함량은 저장 14일차와 21일차에서 유의적인 차이를 보이지 않았으나, Oxy-myoglobin은 저장 14일차와 21일차 모두 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 급여구가 대조구와 무기셀레늄(sodium selenite) 급여구에 비하여 높은 결과를 보였다. Met-myoglobin 함량에 있어서는 대조구와 무기셀레늄구가 유기셀레늄구(Se-yeast)와 유기셀레늄강화버섯 폐배지(Se-SMC) 급여구에 비하여 높은 결과를 보였다(P<0.05). 이러한 결과는 유기셀레늄을 소에게 급여할 경우 육색소를 안정화 시켜 유통기간 중 일반 쇠고기에 비하여 선홍색을 보다 오래 유지할 수 있으리라 판단된다.

Table 43. Effects of Se-SMC feeding on meat pigment

		Control	Sodium selenite	Se-yeast	Se-SMC
14*	Myoglobin	11.69±5.71	8.33±2.92	10.66±4.07	8.68±2.20
	Oxy-myoglobin	26.04 ^b ±7.06	24.46 ^b ±4.14	28.52 ^{ab} ±4.67	33.78 ^a ±7.32
	Met-myoglobin	62.26 ^{ab} ±5.29	67.20 ^a ±5.03	60.78 ^b ±5.65	57.53 ^b ±7.32
21*	Myoglobin	11.60±5.75	12.48±3.85	12.09±3.95	12.41±2.59
	Oxy-myoglobin	12.65 ^b ±1.45	14.21 ^b ±3.57	18.98 ^a ±4.02	18.72 ^a ±1.71
	Met-myoglobin	75.72 ^a ±4.85	73.28 ^a ±5.71	68.94 ^b ±3.22	68.86 ^b ±1.90

* The results were obtained from 48 h oxidation at 20℃ after storage at 4℃ for 14 or 21 day; ^{a,b} : Means having different letters in the same row are significantly different (P<0.05).

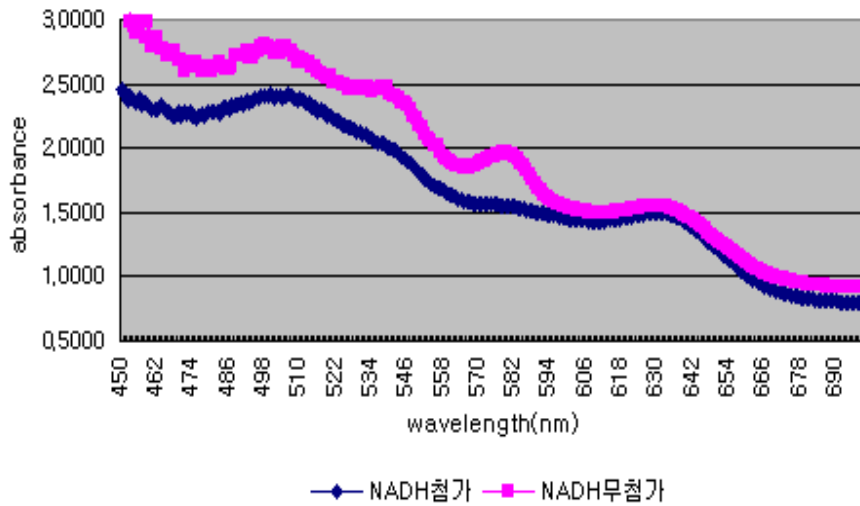


Fig. 12. Changes in absorbance value of Met-myoglobin at wavelength(nm)

Fig. 13과 Table 44는 대조구와 시험구의 Met-myoglobin substrate를 비교하기 위하여 흡광도 측정기(spectrophotometer, DU-650, Beckman)에서 30℃에서 15분간 반응시키면서 2초간격으로 측정한 O.D.값으로서 유기셀레늄강화버섯 폐배지 급여구(시험구)가 대조구에 비하여 높은 O.D. 값을 보여 육색의 안정성이 높은 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 소매상품으로 제조 판매시 Oxy-Mb이 Met-Mb으로의 전환을 억제하여 이상적인 육색을 장시간 유지 할 수 있을 것으로 판단된다.

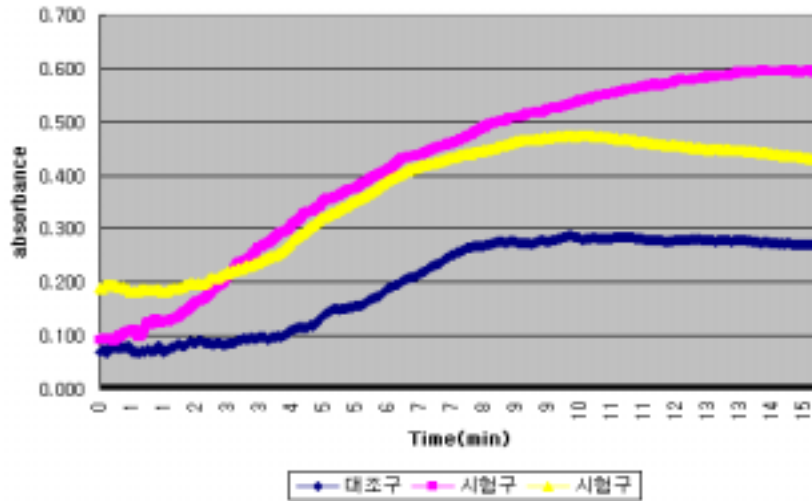


Fig. 13. Changes in absorbance value of Met-myoglobin substrate

Table 44. Met-myoglobin substrate

	Control	Se-yeast	Se-SMC
Oxy-myoglobin production*	23.81 ^b ±0.97	22.17 ^b ±2.68	41.82 ^a ±1.80
Met-myoglobin Activity (Unit×10 ³ /g min)**	11.8 ^c ×10 ³	32.8 ^a ×10 ³	21.4 ^b ×10 ³

*Oxy-myoglobin production = [absorbance÷(12×10³)]×10⁶

**Met-myoglobin Activity= [(Oxy-myoglobin production×10³÷reaction time)×dilution factor]÷sample weight

^{a,b} : Means having different letters in the same row are significantly different (P<0.05).

제 7 절. 유기셀레늄 강화버섯 폐배지와 타셀레늄원과의 차별성을 위한 비육후기한우의 사양연구

1. 연구 수행 내용

가. 버섯폐배지의 준비

본 실험에 사용된 폐배지(SMC)는 버섯종(팽이버섯)과 재배조건이 동일한 버섯농가 두 곳을 선정하여 각각 셀레늄강화 및 일반버섯을 재배한 후, 각각 따로 수확 생산되었다. 셀레늄강화버섯은 버섯배지에 2 ppm의 셀레늄을 함유하는 무기셀레늄(sodium selenite)을 보충하여 생산하였고, 일반버섯은 sodium selenite 보충 없이 기존의 방법과 동일하게 재배 생산하였다. 버섯재배기간은 약 60일간 지속되었고, 그 후 각각의 SMC는 실험사료의 원료로 활용하기 위하여 한우농장(전남소재, 한국)으로 수송하였다. 각 SMC의 화학적 조성은 Table 45에 나타내었다.

Table 45. Chemical composition of two different sources of spent mushroom composts (SMC)

Item	DM ¹⁾ , g	CP ²⁾ , g	CF ³⁾ , g	EE ⁴⁾ , g	CA ⁵⁾ , g	NFE ⁶⁾ , g	Se, mg
..... as-fed basis/kg							
Se-SMC	492.9	42.4	133.3	17.7	34.1	26.54	2.48
SMC	490.1	41.6	145.2	16.5	34.7	25.21	0.08

¹⁾Dry matter; ²⁾Crude protein; ³⁾Crude fiber; ⁴⁾Ether extract; ⁵⁾Crude ash; ⁶⁾Nitrogen-free extract.

거세우는 4처리구로 각 5두씩 무작위로 배치하였다: SMC단독구(CON; 0.1 ppm Se), Se-SMC, Se-yeast 및 sodium selenite의 처리구로 구분하였고, Se-SMC, Se-yeast 및 sodium selenite의 사료내 셀레늄농도는 0.9 ppm이었다. 실험에 사용된 비육한우는 나이와 체중이 가능하면 비슷한 비육후기 거세한우 20두(평균 체중= 536 kg, 평균 나이= 20개월령)를 처리군당 5두씩 4군으로 배치하였다.

나. 실험사료, 사양 및 관리

실험사료의 원료 및 화학적 조성은 Table 46에 나타내었다.

Table 46. Ingredient and composition of experimental diets

Item	Treatments			
	CON	Se-SMC	Se-yeast	Selenite
Ingredient (as-fed basis)				
Se-SMC ¹ , %	-	24.60	-	-
SMC ¹ , %	24.60	-	24.60	24.60
Corn grain, %	55.54	55.54	55.54	55.54
Barley grain, %	5.40	5.40	5.40	5.40
Corn gluten meal, %	1.89	1.89	1.89	1.89
Tall fescue straw, %	4.74	4.74	4.74	4.74
Barley bran, %	1.89	1.89	1.89	1.89
Molasses, sugarcane	5.85	5.85	5.85	5.85
Sodium selenite ² , mg/kg	-	-	-	1.40
Se-yeast ³ , mg/kg	-	-	632.38	-
Vitamin/mineral mix ⁴ , %	0.09	0.09	0.09	0.09
Chemical composition (dry matter basis)				
Dry matter, %	75.85	76.23	75.95	76.08
Crude protein, %	11.26	11.54	11.67	11.33
Crude fiber, %	12.92	12.96	12.93	12.97
Ether extract, %	3.73	3.65	3.74	3.74
Crude ash, %	2.80	2.70	2.79	2.86
Nitrogen-free extract, %	69.29	69.15	68.87	69.10
Calcium, %	0.49	0.43	0.46	0.46
Phosphorus, %	0.18	0.19	0.18	0.19
Selenium (mg/kg)	0.082	0.908	0.898	0.914
TDN ⁵ , %	74.44	74.33	74.35	74.37

¹SMC denotes spent mushroom composts; ²sodium selenite was purchased from Sigma Chemicals; ³Se-yeast source (Sel-Plex) was purchased from the Alltech Korea; ⁴consisted of Ca 15%, P 6.8%, Mg 7.0%, Na 7.8%, Zn 5,000 mg/kg, Mn 4,000 mg/kg, Cu 500 mg/kg, I 300 mg/kg, Co 20 mg/kg, Se 0 mg/kg, vitamin A 400,000 IU/kg, vitamin D3 75,000 IU/kg, and vitamin E 500 mg/kg; ⁵TDN value was calculated according to the regression equation described by Wardeh (1981).

실험사료는 처리군의 셀레늄수준을 맞추기 위하여 SMC와 Se-SMC 및 sodium selenite 및 Se-yeast를 사용하여 배합하였다. Sodium selenite 처리군은 사료내 0.9 ppm

의 셀레늄이 함유하도록 sodium selenite를 증류수에 녹여 대조구사료(CON)에 배합하였다. 그리고 Se-yeast처리구는 현재 시판중인 Se-yeast(Sel-Plex, Alltech Korea)를 구입하여 사료내 셀레늄농도가 0.9 ppm이 되도록 대조구사료(CON)에 첨가하였다. 실험사료내 셀레늄함량은 Table 46에서 보는 바와 같이 기대한 농도의 범위이내에 있었다. 그리고 조단백질(CP) 및 가소화영양소총량(TDN)의 함량은 실험사료에서 대략적으로 각각 약 11% 및 약 74%로 처리군간에 유사하였다(Table 46). 따라서 사료는 처리구간 에너지와 질소함량이 동일하였다. 실험사료의 영양소함량은 한국사양표준 한우(농림부와 축산기술연구소, 2002)를 바탕으로 결정하였다. 또한 버섯폐배지는 수분함량이 높으므로, 사료가 변패되지 않도록 하기 위하여 2주일 주기로 사료를 제조 배합하였다. 실험사료는 혐기상태를 유지하기 위하여 동물에 급여되기까지 0.7 × 1.5 m 크기의 비닐봉투에 포장하여 보관하였다. 배합·포장된 사료는 처리구별 적정수준의 셀레늄을 함유하는지를 확인하기 위하여 사료내 셀레늄함량을 분석하였다.

모든 거세우는 2주간의 예비기간을 두어 그 기간동안 실험환경 및 사료에 적응시켰고, 또한 사료는 점차적으로 기존사료에서 실험사료로 변경시켜주었으며, 본 실험기간은 예비기간 후 바로 16주간 지속되었다. 실험사료는 하루에 2번(7:00과 19:00) 급여하여 자유 채식시켰고, 물은 자동 급이기를 통해 자유로이 음수가능토록 하였다. 물은 검출되지 않을 정도의 셀레늄(2 ng/mL 이하)이 함유되었다. 일일 건물섭취량은 급여량과 잔량의 차이에 의해 기록하였고, 일당 및 전 기간의 증체량을 관측하기 위하여 모든 실험동물의 개시 및 종료체중을 측정하였다. 실험 종료 후 모든 동물은 등심(m. *longissimus thoracis*, 후지(m. *triceps surae*) 및 간조직의 시료채취를 위하여 도축장(전남 농협공판장, 한국)에서 도축하였다.

다. 시료 채취 및 분석방법

각 실험사료는 사료제조 후 시료를 채취하였고, 이는 AOAC(1995)방법에 따라 영양성분을 분석하였다. 혈액시료는 혈중 셀레늄농도 및 혈장내 GSH-Px활성을 측정하기 위하여 사료급여 후 2, 4, 8, 16주째에 경정맥을 통하여 10-mL heparinized tube (Becton-Dickinson, Inc., NJ, USA)을 이용하여 혈액을 채취하였다. 전혈내 셀레늄분석을 위한 혈액시료는 -75°C에 급랭한 후, 동결건조하였다. 혈장내 GSH-Px활성측정을 위한 혈액시료는 채취 즉시 혈장을 분리하기 위하여 원심분리(1,500 × g, 15분간)하였다. 얻어진 혈장은 분석시까지 -75°C에 보관하였다. 도축된 실험동물에서 얻어진

각 1 kg 정도의 후지 및 간은 철저히 칼로 다져서 동결건조하였고, 이들 시료는 분석시까지 -75°C 에서 보관하였다. 등심 및 후지조직은 총 셀레늄함량을 분석하기 위하여 피하지방조직은 제거하였다. 준비된 모든 시료(사료, 혈액 및 조직)는 Stijve (1977)의 oxygen flask combustion method로 연소시킨 후, AOAC방법(1995)에 따라 총 셀레늄함량을 분석하였다. 혈장내 GSH-Px활성은 과산화수소(H_2O_2)와 cumene hydroperoxide를 기질로 이용하여 Lawrence와 Burk(1976)의 이중효소법으로 분석하였다.

라. 통계분석

모든 변수의 통계분석은 SAS program(Version 8.1; SAS Inst. Inc., Cary, NC, 2000)의 GLM(general linear model)을 이용하여 분석하였다. 처리구간 유의성검정은 Duncan 다중검정을 이용하여 P값 0.05수준에서 비교하였다(Steel과 Torrie, 1980)

2. 연구 결과

가. 사료섭취량 및 증체량

실험사료에 Se-SMC 및 셀레늄급원(selenite 및 Se-yeast)의 보충은 실험기간동안 건물섭취량에 영향을 미치지 않았다(Table 47). 본 결과는 임신양 및 비육암소의 사료에 유기(0.3과 26 ppm) 및 무기셀레늄(0.3과 26 ppm)의 급여로 사료섭취량에 영향이 없었다는 Rock 등(2001)과 Gunter(2003)의 결과와 일치하였다. 본 실험에서 이용된 사료내 셀레늄수준(0.9 ppm)은 NRC(1996)에 나타나있는 털 손실, 발굽 분리 및 호흡곤란 등의 셀레늄중독증세를 보이지 않았다. 돼지사료의 경우, 셀레늄수준이 5 ~ 20 ppm 일 때 중독증세가 나타나 일당증체량 및 사료섭취량이 감소한다고 보고된 바 있으나(Kim과 Mahan, 2001), 소에 대한 사료내 셀레늄 독성수준은 지금까지 잘 규명되어 있지 않다. Hintze 등(2002)은 비육거세우에서 10 ppm 이상의 셀레늄을 함유하는 사료가 거세우의 사료섭취량에 영향을 미치지 않을 뿐만 아니라, 어떠한 독성증세도 나타나지 않는다고 보고하였다. 따라서 본 실험의 처리구에서 셀레늄수준(0.9 ppm)은 거세우의 건강적인 측면에서 본다면 비교적 안전하였다.

아울러, 거세한우의 총 증체량과 일당증체량은 실험기간동안 다양한 셀레늄급원의

급여로 인하여 영향을 받지 않았다(Table 47). 수많은 연구에서 셀레늄강화를 위한 조식내 셀레늄전이 및 동물체내 셀레늄결핍예방에 대한 사료내 셀레늄급원 및 수준의 효과가 조사된 바 있다. 이들 연구 중, Lawler 등(2004)은 비육거세우에게 0.38 및 2.8 ppm의 셀레늄을 함유하는 고수준의 유기셀레늄 소맥과 sodium selenate의 무기셀레늄을 이용하여 급여하였을 때, 사료중 높은 수준의 유무기셀레늄구는 일당증체량, 사료효율 및 건물섭취량(DMI)에 영향을 미치지 않는다고 보고하였다. 또한, Hintze 등(2002)은 고수준의 유기셀레늄건초와 소맥을 혼합하여 사료내 셀레늄수준이 0.62 및 11.9 ppm이 되도록 배합하였을 때, 105일간 비육한 거세우의 성적(사료섭취량, 일당증체량, 종료체중)에는 차이가 없었다고 보고하였다. 이들의 연구는 셀레늄의 형태 및 양(0.9 ppm)이 비육후기 거세우의 성적에 어떠한 영향도 나타나지 않은 우리의 결과와 일치하였다.

Table 47. Effects of different selenium sources on dry matter intake and body weight gain in finishing Hanwoo steers

Periods	Treatments				SEM ¹⁾	P value
	CON	Se-SMC	Se-yeast	Selenite		
..... DMI, kg/head/day						
1 to 30	9.35	9.35	9.39	9.34	1.2189	0.9998
31 to 60	9.52	10.11	9.06	9.62	1.0584	0.2905
61 to 90	9.22	9.49	9.70	9.76	1.4991	0.8856
91 to 120	9.77	9.28	9.99	9.63	1.1278	0.6350
Overall	9.46	9.56	9.54	9.59	1.2079	0.9800
..... Body weight gains						
Initial BW	531.00	528.00	540.00	545.00	22.0227	0.8542
Final BW	630.00	626.50	638.00	640.75	39.3276	0.9794
Total gain, kg	99.00	98.50	98.00	95.75	21.8725	0.9987
ADG ²⁾ , g	825.00	820.83	816.67	797.92	182.2721	0.9987

¹⁾Standard error of the mean; ²⁾average daily gain.

나. 혈중 셀레늄농도 및 GSH-Px활성

거세한우의 혈중 셀레늄농도는 사양기간동안 사료내 서로 다른 셀레늄급원의 급여

로 처리군간에 유의한 차이를 나타내었고, 무기셀레늄인 sodium selenite처리구는 대조구에 비하여 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 48). 처리구간 혈중 셀레늄농도는 Se-SMC 및 Se-yeast 처리구가 공히 대조구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었다. 실험처리구 중에서 Se-SMC와 Se-yeast급여군은 sodium selenite군보다 유의하게 높았다. 고도의 유기셀레늄을 함유하는 Se-yeast급여군은 4주와 16주에서 Se-SMC보다 혈중 셀레늄농도가 유의하게 높았지만, 8주와 12주에는 두 처리구간에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 아울러 무기셀레늄인 sodium selenite급여군은 실험기간이 지속되어도 대조구에 비하여 다소 혈중 셀레늄농도가 증가하는 경향은 있으나, 8주를 제외한 모든 시료채취기간에서 대조군과 유의한 차이가 나타나지 않았다.

한편, 셀레늄의 급여기간이 지속됨에 따라, Se-yeast 및 Se-SMC 처리군의 셀레늄농도는 현저히 증가하였으나, Se-SMC군은 Se-yeast 보다는 덜 증가하였다. Ortman과 Pehrson의 연구(1999)에서, 유기셀레늄형태로서 주로 selenomethionine을 구성하는 셀레늄효모는 sodium selenite 및 sodium selenate의 무기셀레늄보다 혈중 셀레늄농도가 훨씬 높은 수준을 나타낸다고 보고하여 본 실험과 일치하였다. 아울러 Lee 등(2005)은 본 실험에서 사용된 셀레늄강화버섯의 Se-SMC내 존재하는 셀레늄이 버섯균사에 의해 유기셀레늄으로 전환되어 그 비율이 약 70%인 것으로 평가되는 것으로 보고하였다. 또한, Stefánka 등(2001)은 버섯배지내 첨가한 무기셀레늄이 버섯재배 후 가식버섯내 유기셀레늄이 어느 정도 전환되었음을 설명하였고, 이들내 주요 셀레늄형태는 주로 selenocystine이라고 보고하였다. 따라서, 본 연구에서 나타난 결과는 Se-SMC내 존재하는 셀레늄이 유기형태에서 기인한 혈중 셀레늄농도가 증가한 것으로 사료된다.

이와는 반대로 본 연구에서 나타난 sodium selenite처리군의 혈중 낮은 셀레늄농도는 거세우가 섭취한 대부분의 sodium selenite가 분으로 배설되었기 때문인 것으로 사료된다. 반추동물에서, 사료내 유기적으로 결합된 셀레늄은 무기셀레늄급원에 비하여 장관내 흡수 및 조직내 셀레늄축적에 있어서 보다 효과적인 것으로 알려져 있다(van Ryssen 등, 1989). 이전의 연구결과는 상당량의 무기셀레늄이 반추위내에서 불용성 selenide로 형성되고, 그 후 분으로 배설되는 것으로 밝혀졌다(Peterson과 Spedding, 1963; Wright와 Bell, 1966).

본 연구의 실험초기(사양 2주)에서 셀레늄급원이 혈중 GSH-Px활성을 유의하게 증가시켰지만, 실험기간이 지속됨에 따라 무기셀레늄처리구인 sodium selenite는 대조군과 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 49). 그리고 유기셀레늄처리구인 Se-SMC

및 Se-yeast의 급여군은 대조군보다 셀레늄의존성 GSH-Px활성이 유의하게 증가하였고, 이들 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 하지만, 총 GSH-Px활성은 Se-yeast처리군이 사양말기(16주)에 Se-SMC보다 유의하게 증가하였다.

전반적으로, GSH-Px의 전체적인 패턴은 사료내 셀레늄의 형태가 유기형태일 수록 위쪽으로 이동하였고, 이는 혈장내 GSH-Px활성이 사료중 셀레늄의 화학적 형태에 의해 조절되는 것으로 나타났다. Sodium selenite처리군의 GSH-Px활성은 급여 2주에는 CON처리구에 비하여 유의하게 증가하였으나, 사양 4주 이후에는 이들 두 처리군 간에 유의성이 나타나지 않았다.

생리학적으로 셀레늄의 기능성 형태인 GSH-Px는 인체 및 동물체의 셀레늄상태를 평가하는 최상의 기준으로 제안된 바 있다(Stevens 등, 1985; Smith 등, 1988). Gunter 등(2003)은 셀레늄강화효모 및 sodium selenite급여군의 암소가 셀레늄무급여군의 암소보다 더 높은 GSH-Px활성을 나타내었다고 보고하였다. 또한, Hintze 등(2002)은 서로 다른 사육배경(셀레늄중독 및 비중독지역)을 가지는 비육거세우에게 유기형태의 고수준 셀레늄건초 및 소맥을 혼합하여 11.9 및 0.62 ppm의 셀레늄사료를 급여하였고, 이들 연구자는 사육배경과 상관없이 사양시험 전 기간동안 유기셀레늄사료를 섭취한 거세우에서 GSH-Px활성이 증가함을 밝혀내었다. 따라서 본 연구에 나타난 Se-SMC 및 Se-yeast에 의한 GSH-Px활성의 증가는 높은 비율의 유기셀레늄을 함유하는 Se-SMC 및 Se-yeast를 급여하여 증가된 혈중 셀레늄농도와 밀접한 상관관계가 있는 것으로 사료된다.

대조군 및 sodium selenite간 유의한 차이가 나타나지 않은 것은 반추동물에서 sodium selenite의 장관내 흡수가 약하여 혈중 셀레늄농도가 낮게 나타난 결과인 것으로 사료된다. 본 결과는 sodium selenite같은 무기셀레늄급여가 혈장내 셀레늄농도를 다소 증가시키는 경향은 있지만, 혈장내 GSH-Px(P GPx-3)에는 영향을 미치지 않는다고 보고한 Enjalbert 등(1999)과 Rowntree 등(2004)의 연구결과와 유사하였다. 하지만, 혈장내 GSH-Px는 체내 셀레늄상태의 단기적인 지시물질이고, GSH-Px활성의 98%가 적혈구에 결합되어 있다는 사실(Scholz와 Hutchinson, 1979)을 감안한다면, 적혈구내 GSH-Px활성에 관한 더 많은 연구가 필요한 것으로 사료된다.

Table 48. Effects of different selenium sources on blood Se concentrations in finishing Hanwoo steers

Weeks	Treatments				SEM ¹⁾	P value
	CON	Se-SMC	Se-yeast	Selenite		
 Blood Se ²⁾ , ng/mL					
2	83.92 ^b	104.64 ^a	103.14 ^a	88.24 ^b	7.8197	0.0257
4	84.78 ^c	126.01 ^b	156.78 ^a	95.30 ^c	7.9024	<0.0001
8	92.20 ^c	153.03 ^a	170.83 ^a	111.87 ^b	9.5671	<0.0001
16	93.76 ^c	134.10 ^b	188.78 ^a	102.83 ^c	9.2275	<0.0001

¹⁾Standard error of the mean, ²⁾blood selenium was calculated as fresh basis assuming approx. 18% dry matter in whole blood after Se analysis on a freeze-dried whole blood basis, ^{a,b,c}different superscripts within the same row are significantly different (P<0.05).

Table 49. Effects of different selenium sources on plasma GSH-Px activity in finishing Hanwoo steers

Weeks	Treatments				SEM ¹⁾	P value
	CON	Se-SMC	Se-yeast	Selenite		
 Se-dependent GSH-Px activity, mUnit ²⁾					
2	10.5305 ^b	19.8320 ^a	16.4445 ^a	17.4140 ^a	1.3934	0.0107
4	13.0850 ^b	20.8065 ^a	21.1549 ^a	17.2575 ^{ab}	2.4878	0.0174
8	18.1806 ^b	33.0564 ^a	38.8264 ^a	19.9652 ^b	5.5215	0.0159
16	16.6622 ^b	37.5523 ^a	45.4582 ^a	21.1415 ^b	4.1321	0.0020
 Total GSH-Px activity, Unit ³⁾					
2	0.2919 ^b	0.5636 ^a	0.3650 ^b	0.2758 ^b	0.0929	0.0261
4	0.2908 ^b	0.4901 ^{ab}	0.5693 ^a	0.4047 ^{ab}	0.1083	0.0637
8	0.2586 ^c	0.5753 ^a	0.6215 ^a	0.3616 ^b	0.0435	<0.0001
16	0.2260 ^c	0.5528 ^b	0.7197 ^a	0.2504 ^c	0.0750	<0.0001

¹⁾Standard error of the mean, ²⁾one milliunit (mUnit) of activity equals 1nmol NADPH oxidized per minute/per milliliter of blood plasma, ³⁾one unit of activity equals 1μmol NADPH oxidized per minute/per milliliter of blood plasma, ^{a,b,c}different superscripts within the same row are significantly different (P<0.05).

다. 조직내 셀레늄축적

유기셀레늄급원인 Se-SMC 및 Se-yeast의 급여에 따라 후지와 간내 셀레늄함량은 대조군 및 sodium selenite군에 비하여 유의하게 증가하였다($P < 0.05$). 그리고, sodium selenite처리군은 대조군에 비하여 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 50). 후지와 간내 셀레늄함량은 Se-yeast군에서 가장 높았고, 다음이 Se-SMC, SENI 및 대조군 순이었다($P < 0.05$). 하지만, 등심내 셀레늄함량은 처리군간에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 본 연구결과는 조직내 셀레늄축적이 Se-SMC 및 Se-yeast의 유기셀레늄의 형태에 의해 증가하였다. 조직내 셀레늄농도는 사료중 셀레늄농도 및 화학적 형태에 따라 결정된다(Kim과 Mahan, 2001; Hintze 등, 2002). 이는 유기셀레늄이 무기셀레늄보다 조직내 보다 효율적으로 축적되는 것으로 알려져 있다(van Ryssen 등, 1989; Lawler 등, 2004). 등심내 셀레늄함량이 처리군간에 차이가 나타나지 않은 것은 일반적으로 셀레늄은 단백질과 결합하여 축적되는데, 등심내 높은 부분의 근내지방이 조직내 셀레늄축적을 과소평가시켜서 나타난 결과로 사료된다.

Hintze 등(2001)은 반추동물에서 골격근내 셀레늄함량은 여러 가지 변수들 중에서 혈중 셀레늄농도와 보다 강한 상관성을 나타낸다고 보고하였다. 따라서 혈중 셀레늄농도는 골격근내 셀레늄함량을 결정하는 가장 좋은 예상인자이다. 아울러, 본 연구결과는 근육내 셀레늄농도가 사료내 Se-SMC 및 Se-yeast기인 셀레늄함량에 의해 증가하였다. 많은 연구결과는 셀레늄강화효모 및 일부 셀레늄독성지역에서 자생하는 조사료 및 곡류와 같은 유기셀레늄급원을 규정된 기간동안 급여하는 것이 동물의 혈중 셀레늄농도를 증가시킬 뿐만 아니라, 이들 조직내 셀레늄을 축적시키는 것이 가능하다고 보고하였다(van Ryssen 등, 1989; Kim과 Mahan, 2001; Lawler 등, 2004). 본 실험에 사용된 Se-SMC의 셀레늄조성은 정량하지 않았지만, 이전의 보고(Lee 등, 2005)에서 Se-SMC내 높은 비율의 유기셀레늄은 비육거세한우의 골격근내 셀레늄축적을 유의하게 증가시킬 수 있음을 설명할 수 있다. 반면, 간내 셀레늄농도 또한 후지와 유사한 양상을 나타내었다. 이러한 내용은 Comb와 Combs(1986)에 의해 보고된 바 있는데, 이들은 간내 셀레늄농도가 골격근보다 약 4배정도 더 높다고 하였다. 아울러, 우리의 결과는 이들의 결과와 유사하였다. 우리의 결과는 간내 셀레늄농도가 대조군에 비하여 최대 4배까지 증가하였다. Se-SMC 및 Se-yeast의 급여로 간내 셀레늄농도가 증가하였고, 이는 골격근과 동일한 패턴을 나타내었다. 근육과 비교하여 간내 높은 셀레늄농도는 간이 체내 셀레늄대사의 주요 활성기관으로 작용하기 때문이다.

Lawler 등(2004)은 영양적수준이상의 셀레늄을 함유하는 고농도 셀레늄건초 및 소맥사료를 비육거세우에게 급여하면, 근육내 셀레늄농도가 대조군 및 sodium selenate 군에 비하여 상당히 증가된 값을 나타낸다고 보고하였고, 이는 셀레늄의 사료내 수준 및 화학적 형태가 셀레늄강화 쇠고기를 생산하는 중요한 인자임을 시사하였다.

이상의 결과로부터 유기셀레늄 급원인 Se-SMC 및 Se-yeast는 혈중 셀레늄농도 및 GSH-Px활성을 유의하게 증가시킬 뿐만 아니라, 조직내 셀레늄축적을 향상시켰다. 아울러 Se-SMC는 Se-yeast보다는 효과가 덜하였지만, 경제적, 기능성 축산물이라는 측면에서 감안한다면 농가 이득뿐만 아니라 국민건강에 유익한 효과가 있을 것으로 사료된다. 하지만, 무기셀레늄인 sodium selenite는 본 연구진이 급여한 농도(0.9 mg/kg Se)에서는 혈중 및 조직내 성적에 유의한 효과를 나타내지 않았다.

Table 50. Effects of different selenium sources on tissue Se contents in finishing Hanwoo steers

Items	Treatments				SEM ¹⁾	P value
	CON	Se-SMC	Se-yeast	Selenite		
..... Tissue Se, $\mu\text{g/g}$ of dry wt.						
Loin ²⁾	0.4712	0.4485	0.4655	0.4555	0.0662	0.9847
Hind leg ²⁾	0.4505 ^c	0.7065 ^b	1.1061 ^a	0.5720 ^{bc}	0.0737	0.0034
Liver ²⁾	1.0990 ^c	2.3165 ^{ab}	3.3613 ^a	1.8009 ^{bc}	0.3907	0.0184

¹⁾Standard error of the mean, ²⁾values are the mean of 5 Hanwoo steers per treatment and expressed on a dry-tissue basis, ^{a,b,c}different superscripts within the same row are significantly different (P<0.05).

제 8 절. 유기셀레늄 급여원에 따른 한우 거세 비육우의 도체, 육질 특성 및 저장기간 중 선도변화 구명

1. 연구 수행내용

가. 공시축

본시험에 사용된 셀레늄급여원은 sodium selenite, Se-yeast, 유기셀레늄강화버섯을 생산하고 폐기되는 셀레늄이 다량 함유되어 있는 폐배지(Se-SMC; spent composts of Se-enriched mushrooms)를 활용하였다.

공시축은 처리구 당 5두씩배치 하여 전체 30두를 공시하였다.

나. 시료채취

사양시험이 완료된 시험축은 나주축산물공판장에 도축전일 출하하여 계류 후 도축하였으며, 도축된 도체는 0℃의 도체 냉각실에서 18시간 냉각하여 도체 심부온도가 5℃이하로 저하된 다음 축산물등급판정사가 소도체 등급판정기준(농림부고시 제 1999-64호, 1999. 9.28)에 의거 등급판정을 하였다. 분석시료는 등급판정 후 도축장내 부분육 작업장으로 이동·분할정형 작업한 후 공시축의 좌도체 채끝육(배최장근; *m. longissimus*)을 채취하여 진공포장한 다음 축산연구소로 운반하였다. 구입한 시료는 도축 후 2일간 냉장보관(1±1℃)한 후 도축 3일째 육질특성 분석에 사용하였다.

다. 주요 조사항목별 조사방법

수분, 조단백질, 조지방, 조회분 등 일반성분은 AOAC방법(1995)에 의해 분석하였으며, 보수력(Water holding capacity; WHC)은 Laakkonen 등(1970)의 방법을 약간 변형한 박 등(2001)의 방법에 따라 측정하였고, 가열감량(Cooking loss)은 채끝육의 가열 전·후 중량차로 계산하였다. pH는 도체 pH meter (pH*K21, NWK-Binär GmbH Co., Germany)로 측정하였다. 육색은 근육을 절단하여 절단면을 공기 중에 30분 노출시킨 후 Chromameter(Minolta Co. CR 300, Japan)로 CIE(Commission Internationale de Leclairage) L*, a*, b* 값을 9반복으로 측정하였으며, 이때의 표준편은 Y = 92.40, x = 0.3136, y = 0.3196의 백색 타일을 사용하였으며, 관능검사는 10명의 관능검사 요원들이 6점법으로 측정하였다(연도: 1=매우 질기다., 6=매우 연하다., 풍미, 다즙성: 1=매우

나쁘다., 6=매우 좋다.). 전단력은 등심을 심부온도 70℃에서 10분간 가열한 후 전단력 측정기(Warner-Bratzler shear meter; G-R Elec. Mfg. Co., USA)로 측정하였다. 무기물 함량은 ICP 발광분광 분석법 중 표준곡선법을 이용하여 원소농도가 다른 각 혼합 표준용액 중의 각 원소의 농도를 미리 데이터 처리장치에 기억시킨 다음 각 혼합표준 용액을 플라즈마에 도입하여 각 원소의 스펙트럼선 강도를 측정하여 표준곡선을 작성하였다. 그 다음 시험용액을 플라즈마에 도입하여 스펙트럼선 강도를 측정하고, 다시 백그라운드 보정을 하여 표준곡선으로부터 각 분석 대상 원소의 농도를 구하였다.

지방산조성은 Morrison과 Smith(1964)의 방법을 따라 세절육 50 g에 MeOH : Chloroform = 1 : 2로 혼합한 용액(folch solvent) 150 ml 가한 다음 Homogenizer (2,500 rpm)로 3분간 마쇄하여 지질을 추출하고 Centrifuge tube안에 Whatman No.1 여과지로 여과한후 여기에 물을 1/3정도(총 여액의 1/3) 가하여 균형을 맞추고 3,000 rpm에서 10분간 Centrifuging 하고 Aspirator를 이용하여 연결된 모세관으로 상등액을 버리고 하층(lipid layer)을 사용하였다. 둥근 원형 250 ml flask에 하층을 여과하되 이때 무수황산나트륨(Na_2SO_4)를 이용하여 남은 수분을 흡착 여과하고 여액을 증발농축기로 50℃에서 지방을 농축한 후, 메칠레이션(methylation)시켰다.

메칠레이션은 농축된 지방을 갈색병(reaction vial)에 약 200 μl 을 취한 다음, 0.5N-NaOH(2 g NaOH / 100 ml methanol)용액 1 ml를 가하여 뚜껑을 닫고 20분간 100℃에서 가열하고 냉각하였다. 다시 2 ml BF_3 -methanol 넣고 20분간 가열하였다. 시험관에 시료를 넣고 1 ml의 heptane과 8 ml의 NaCl 포화용액을 가한 후 1분간 mix 하고 30분간 방치한 후 상등액을 바이엘병에 넣어 아래 표의 조건에 따라 GC(Gas Chromatograph)로 지방산을 분석하였다.

저장기간중 선도 변화를 조사하기 위하여 채취된 채끝 시료를 $4\pm 0.5^\circ\text{C}$ 에 저장하면서 도축후 7일, 14일, 21일, 30일차에 지방산패도(TBARS)와 단백질 변패도(VBN)를 조사하였다. 지방산패도(TBARS) 측정은 Tarladgis 등(1960)의 방법을 변형한 Rhee (1978)의 Distillation TBA 방법으로 분석하였고, 휘발성 염기태 질소(VBN)는 高板 (1975)의 방법에 따라 측정하였다.

Table 51. GC conditions for analysis of fatty acids composition

Item	Condition
Instrument	Varian star 3600, USA
Column	Omegawax 205 fused-silica bond capillary column 30 m × 0.32 mm I.D. × 0.25 μm film thickness Initial temp.; 140°C, Final temp.; 230°C, Injector temp.: 250°C Detector temp.; 260°C, Programming rate : 2°C/min.
Detector	Flame Ionization Detector
Carrier gas	N ₂
flow rate	50 mL/min
Split ratio	100:1

라. 통계분석

본 실험에서 얻어진 육질관련항목 및 도체특성에 대한 자료는 사료내 셀레늄 농도가 이들 변수들에 영향을 미치는지 비교하기 위해 각 실험사료 처리구의 소 두수(각 5두) 반복을 하여 SAS package program(2000, release. 8.1 ver.)의 GLM(general linear model) procedure를 이용하여 통계분석하였다. 각 처리구간 평균값의 유의성 검정은 5%수준에서 Duncan's multiple range test로 하였다(Steel과 Torrie, 1980).

2. 연구 결과

셀레늄 급원을 달리하여 사료로 급여한 한우 비육우 채끝육의 육색을 비교한 결과는 Table 52에서 보는바와 같다. 이때 육색 측정시점은 절개 후 30분간 홍색화한 다음 측정된 결과로 처리구간 유의적인 차이는 보이지 않았다. 그러나 수치상으로는 유기셀레늄강화버섯 폐배지 급여구가 다른 처리구들에 비하여 백색도(L*)값이 다소 높은 결과를 보였으며, 황색도(b*)는 셀레늄효모급여구가 대조구에 비하여 높은 값을 보였다. 이 결과는 최대 홍색화 시점의 육색에서는 차이를 보이지 않는다는 의미로 해석된다.

Table 52. Effect of different selenium sources on objective meat color

		Control	Sodium selenite	Se-yeast	Se-SMC*
CIE	L*	37.92±1.16	36.86±0.24	36.41±1.26	38.45±0.78
	a*	21.94±0.28	22.92±0.30	22.15±0.89	22.12±0.43
	b*	9.91±0.11	10.37±0.23	10.09±0.57	10.21±0.35
Hunter	L*	31.71±1.03	30.77±0.21	30.40±1.10	32.17±0.69
	a*	17.23±0.16	17.94±0.27	17.24±0.89	17.47±0.40
	b*	6.37±0.13	6.55±0.14	6.36±0.40	6.58±0.24

^{a,b} : Means having different letters in the same row are significantly different (P<0.05);
*spent composts of Se-enriched mushrooms.

Table 53은 셀레늄 급여원을 달리 급여한 쇠고기 채끝육의 물리적 특성 및 일반 조 성분 비교한 결과로서 가열감량은 무기셀레늄 급여구가 24.01%로 가장 높았고, 유기 셀레늄과 유기셀레늄 강화 버섯 폐배지 급여구는 각각 20.88% 및 21.90%이었고, 대조구가 16.89%로 유의 적으로 가장 낮은 결과를 보였다(P<0.05). 연한 정도의 지표로 이용되는 전단력가에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 유기셀레늄강화 버섯폐배지 급여구가 3.69로서 가장 낮은 결과를 보였다(P<0.05). pH는 무기셀레늄 급여구가 5.46으로 대조구 5.50, 유기셀레늄강화 버섯폐배지 급여구 5.50보다 유의적으로 낮았다. 보수력은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 일반조 성분 중 수분함량은 대조구 62.2%, 무기셀레늄 급여구 56.89%, 유기셀레늄 급여구 55.46%, 유기셀레늄강화 버섯폐배지 급여구 54.38%로 통계적인 유의차는 보이지 않았으나(P<0.05), 대조구와 유기셀레늄강화 버섯폐배지 급여구가 다소 낮은 결과를 보였다. 이는 상대적으로 지방 함량이 높은 결과에 기인한 것으로 사료된다.

Table 53. Effect of different selenium sources on physicochemical characteristics and objective meat quality

	Control	Sodium selenite	Se-yeast	Se-SMC*
Cooking loss (%)	16.89 ^c ±0.89	24.01 ^a ±0.94	20.88 ^b ±0.23	21.90 ^b ±0.32
Shear force (kg / 0.5 inch ²)	4.32±0.37	4.51±0.36	4.38±0.27	3.69±0.23
pH	5.53 ^a ±0.02	5.46 ^b ±0.01	5.48 ^{ab} ±0.01	5.50 ^a ±0.02
Water holding capacity (%)	57.80±1.64	56.89±1.31	55.46±0.85	54.38±0.75
Moisture (%)	62.02±2.25	65.67±1.01	66.90±1.44	64.04±1.28
Fat (%)	16.35±2.75	12.22±0.82	11.69±2.16	16.01±1.89
Ash (%)	0.79±0.03	0.84±0.02	0.83±0.04	0.80±0.03
Protein (%)	19.65±0.89	19.76±0.28	19.85±0.95	19.26±0.36

^{a,b} : Means having different letters in the same row are significantly different (P<0.05);

*spent composts of Se-enriched mushrooms.

근내 지방함량도 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 대조구 16.35%, 유기셀레늄강화 버섯폐배지 급여구 16.01%로 무기셀레늄 급여구 12.22% 및 유기셀레늄급여구 11.69% 보다 다소 높은 결과를 보였다. 단백질 함량은 모든 처리구에서 19.26%~19.85%로 차이를 보이지 않았다. 이상의 결과로 볼 때, 셀레늄 급원은 일반조성분, 보수성, 연도는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 무기셀레늄 급여구는 가열감량은 높고 pH가 낮아 다른 처리구에 비하여 육질이 좋지 않은 결과를 보였다.

셀레늄 급여원을 달리 급여한 쇠고기 채끝육의 관능특성을 분석한 결과는 Table 54에서 보는 바와 같이 다즙성은 대조구 5.40점, 유기셀레늄강화 버섯폐배지 급여구 5.40점으로 무기셀레늄 및 유기셀레늄 급여구 4.88점보다 높은 결과를 보였는데 통계적인 차이는 없었다. 이러한 결과는 근내지방함량과 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

연도는 유기셀레늄 강화 버섯폐배지 급여구가 5.08점으로 가장 높았고, 유기셀레늄 급여구가 4.96점, 대조구 4.72점, 무기셀레늄 4.48점으로 나타났다.

Table 54. Effect of different selenium sources on sensory properties of *longissimus* muscle

	Control	Sodium selenite	Se-yeast	Se-SMC*
Juiciness ¹⁾	5.40±0.21	4.88±0.28	4.88±0.44	5.40±0.20
Tenderness ²⁾	4.72±0.31	4.48±0.28	4.96±0.39	5.08±0.15
Flavor ³⁾	4.88 ^{ab} ±0.08	4.48 ^b ±0.19	5.04 ^{ab} ±0.29	5.40 ^a ±0.11

^{ab} : Means having different letters in the same row are significantly different (P<0.05);

* spent composts of Se-enriched mushrooms.

¹⁾ Juiciness : 1 = Extremely dry, 6 = Extremely juicy.

²⁾ Tenderness : 1 = Extremely tough, 6 = Extremely tender.

³⁾ Flavor : 1 = Extremely bland, 6 = Extremely intense.

향미는 유기셀레늄 강화 버섯폐배지 급여구가 5.40점으로 가장 높은 결과를 보였으며, 그다음으로는 유기셀레늄 급여구 5.04점, 대조구 4.88점, 무기 셀레늄 급여구 4.48점으로 무기셀레늄 급여구가 가장 낮은 점수를 보였다.

이상의 관능평가 결과에서 유기셀레늄 강화 버섯폐배지 급여구가 다른 급여구들에 비하여 우수한 결과를 보였다.

셀레늄 급원을 달리하여 비육한 쇠고기 채끝육의 무기물 함량을 비교한 결과는 Table 55에서 보는 바와 같이 Ca, P, K, Mg, Mn, Zn은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다.

Na은 무기 셀레늄 급여구가 488.24 ppm으로 다른 처리구들 417.63~424.00 ppm에 비하여 높았고, Fe는 유기셀레늄 강화버섯 폐배지 급여구(시험구)가 다른 처리구의 21.52~24.84 ppm 보다 낮은 18.77 ppm을 보였다(P<0.05). Cu의 함량도 시험구가 0.07 ppm으로 다른 처리구 0.14~0.20 ppm에 비하여 낮은 결과를 보였다. 결과적으로 무기셀레늄 급여구는 다른 처리구들에 비하여 Na 함량이 높고, 시험구는 Na, Fe, Cu의 함량이 낮은 것으로 분석되었다.

Table 55. Effect of different selenium sources on inorganic ions in *longissimus* muscle
(unit : ppm)

	Control	Sodium selenite	Se-yeast	Se-SMC*
Ca	49.23±1.42	62.87±11.72	49.29±0.87	46.99±1.50
P	1577.37±59.48	1660.99±24.25	1610.64±44.95	1529.38±43.45
K	2537.38±94.84	2663.08±72.42	2661.62±60.27	2522.11±53.73
Na	423.29 ^b ±15.92	488.24 ^a ±6.86	424.00 ^b ±19.25	417.63 ^b ±9.38
Mg	196.13±8.44	207.35±4.06	203.06±6.23	189.47±4.98
Fe	21.52 ^{ab} ±1.68	24.82 ^a ±1.31	23.16 ^{ab} ±1.67	18.77 ^b ±1.32
Mn	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
Zn	34.22±1.99	30.78±0.93	35.37±2.57	31.38±0.71
Cu	0.17 ^a ±0.02	0.20 ^a ±0.02	0.14 ^{ab} ±0.04	0.07 ^b ±0.02

^{ab} : Means having different letters in the same row are significantly different (P<0.05);
*spent composts of Se-enriched mushrooms.

Table 56은 셀레늄 급원을 달리 하여 비육한 한우 비육우의 채끝육의 지방산 조성을 비교한 결과로서 C16:0는 무기셀레늄과 대조구가 28.29% 및 27.11%로 유기셀레늄 급여구와 시험구 각각 25.46%, 24.93%에 비하여 높은 조성을 보였다(P<0.05). 그리고 지방산 C18: 1:n9는 무기셀레늄 급여구가 47.81%로 대조구 및 다른 처리구들에 비하여 가장 낮은 결과를 보였고, C18:3n3은 대조구가 0.14%로 다른 처리구들에 비하여 낮은 결과를 보였다(P<0.05). C20:2n6는 시험구가 0.11%로 대조구 0.08%, 무기셀레늄 급여구 0.07% 및 유기셀레늄 급여구 0.07%에 비하여 높은 값을 보였다(P<0.05). 포화 지방산(SFA) 조성은 무기 셀레늄급여구가 43.27%로 가장 높았고 시험구가 38.02%로 가장 낮은 조성을 보였다(P<0.05). 반면 불포화지방산(USFA)은 시험구가 61.99%로 가장 높았고, 유기셀레늄급여구 60.58%, 대조구 58.16% 및 무기셀레늄 급여구 56.73% 순으로 나타났다(P<0.05). 단가 불포화지방산 조성도 불포화지방산 조성 과 유사한 결과를 보였다. 다가 불포화지방산과 n3계열, n6계열 지방산은 유기셀레늄급여구가 가장 높은 결과를 보였고, 대조구가 가장 낮은 결과를 보였다.

Table 56. Effect of different selenium sources on fatty acid composition ions in *longissimus* muscle

	Control	Sodium selenite	Se-yeast	Se-SMC*
C14:0	2.88±0.26	3.57±0.35	3.07±0.27	2.75±0.28
C16:0	27.01±0.86 ^a	28.29±0.42 ^a	25.46±0.65 ^b	24.93±0.91 ^b
C16:1n7	4.81±0.20	5.36±0.66	5.36±0.20	5.37±0.46
C18:0	11.94±0.56	11.42±0.51	10.89±0.52	10.35±0.39
C18:1n9	49.96±1.07 ^{ab}	47.81±0.43 ^b	50.95±1.09 ^{ab}	52.72±1.30 ^a
C18:1n7	0.71±0.07	0.60±0.09	0.76±0.08	0.80±0.09
C18:2n6	1.61±0.10 ^b	1.77±0.12 ^{ab}	2.17±0.16 ^a	1.87±0.16 ^{ab}
C18:3n6	0.13±0.02	0.14±0.01	0.19±0.02	0.15±0.02
C18:3n3	0.14±0.01 ^b	0.16±0.01 ^{ab}	0.17±0.01 ^a	0.16±0.01 ^{ab}
C20:1n9	0.46±0.03	0.45±0.02	0.53±0.04	0.53±0.03
C20:2n6	0.08±0.01 ^b	0.07±0.00 ^b	0.07±0.01 ^b	0.11±0.02 ^a
C20:3n6	0.10±0.01	0.11±0.01	0.12±0.02	0.09±0.01
C20:4n6	0.17±0.02	0.18±0.02	0.21±0.05	0.16±0.02
C22:4n6	0.02±0.02	0.06±0.01	0.05±0.03	0.04±0.02
SFA	41.84±1.10 ^{ab}	43.27±0.65 ^a	39.42±1.18 ^{bc}	38.02±0.96 ^c
USFA	58.16±1.10 ^{bc}	56.73±0.65 ^c	60.58±1.18 ^{ab}	61.99±0.96 ^a
mono	55.92±1.10 ^{bc}	54.24±0.56 ^c	57.60±1.06 ^{ab}	59.42±0.98 ^a
poly	2.24±0.10 ^b	2.50±0.14 ^{ab}	2.98±0.24 ^a	2.56±0.17 ^{ab}
n3	0.14±0.01 ^b	0.16±0.01 ^{ab}	0.17±0.01 ^a	0.16±0.01 ^{ab}
n6	2.10±0.10 ^b	2.34±0.13 ^{ab}	2.81±0.23 ^a	2.40±0.17 ^{ab}
n6/n3	15.49±1.30	14.83±0.18	16.24±0.99	15.62±1.81
MUFA/SFA	1.34±0.06 ^{bc}	1.25±0.03 ^c	1.47±0.07 ^{ab}	1.57±0.07 ^a
PUFA/SFA	0.05±0.00 ^b	0.06±0.00 ^b	0.08±0.01 ^a	0.07±0.01 ^{ab}

^{a,b} : Means having different letters in the same row are significantly different (P<0.05); * spent composites of Se-enriched mushrooms.

Table 57은 셀레늄 급여원에 따른 소도체 육량등급별 출현율을 비교한 결과로서 육량 A등급 출현율은 유기셀레늄 급여구가 40%로 가장 높았고, 그 다음으로는 시험구가 20%로 나타났다. 대조구와 무기셀레늄 급여구는 1두도 출현 하지 않았다. 육량 C등급 출현율은 무기 셀레늄급여구가 40%로 가장 높았고, 대조구가 0%로 가장 낮았다. 그러나 Chi-Square분석으로 처리구간 유의차를 분석한 결과 차이를 보이지 않았다(P<0.05).

Table 57. Effect of different selenium sources on carcass characteristics

	Control	Sodium selenite	Se-yeast	Se-SMC*
Backfat thickness (mm)	9.00 ±1.38	14.80 ±2.18	12.20 ±2.50	10.20 ±1.24
Ribeye area (cm ²)	68.00 ^b ±3.15	80.80 ^a ±2.54	80.80 ^a ±0.86	80.60 ^a ±1.78
Carcass weight (kg)	334.40 ±22.27	372.40 ±17.27	359.60 ±4.30	370.20 ±6.84
Yield index	67.61 ±0.46	66.16 ±0.79	67.28 ±1.05	67.96 ±0.58
Meat color score	4.80 ±0.20	4.80 ±0.20	5.00 ±0.00	4.60 ±0.24
Fat color score	2.80 ±0.20	2.60 ±0.24	3.00 ±0.00	2.80 ±0.20
Maturity index	2.00 ±0.00	2.00 ±0.00	2.20 ±0.20	2.00 ±0.00

^{a,b} : Means having different letters in the same row are significantly different (P<0.05); *spent composts of Se-enriched mushrooms.

셀레늄 급여원 차이에 따른 소도체 육질등급 출현율을 비교한 결과는 Table 58에서 보는 바와 같이 육질 최고등급인 1+등급 출현율에서 유기셀레늄강화 버섯폐배지 급여구가 80%로 가장 높았고, 그 다음으로는 무기 셀레늄급여구 40%이었고, 대조구와 유기셀레늄 급여구는 20%로 가장 낮았다. 시험구는 100%가 1등급 이상의 출현율을 보인 반면에 유기셀레늄 급여구는 60%가 2등급 출현율을 보였다. 육질등급은 10%유의 수준에서 처리구간 유의적인 차이를 보였으나 처리구별 공시두수가 5두로서 정확한 결과라고 설명하기는 어려웠다.

Table 58. Effect of different selenium sources on frequency of yield grade

	A	B	C
Control	0(0)	100(5)	0(0)
Sodium selenite	0(0)	60(3)	40(2)
Se-yeast	40(2)	40(2)	20(1)
Se-SMC*	20(1)	60(3)	20(1)
Chi-Square	df = 6	value = 7.1282	p = 0.3092

*Spent composts of Se-enriched mushrooms.

Table 59. Effect of different selenium sources on frequency of quality grade

	1 ⁺	1	2
Control	20(1)	60(3)	20(1)
Sodium selenite	40(2)	60(3)	0(0)
Se-yeast	20(1)	20(1)	60(3)
Se-SMC*	80(4)	20(1)	0(0)
Chi-Square	df=6	value=11	p = 0.0884

*Spent composts of Se-enriched mushrooms.

셀레늄 급여원에 따른 소도체 육질등급별 출현율을 비교한 결과는 Table 59에서 보는 바와 같이 셀레늄을 별도로 추가 급여하지 않은 대조구의 경우 1+등급 20%, 1등급 60%의 출현율을 보였으며, 유기셀레늄 강화 버섯폐배지 급여구와 무기 셀레늄을 급여한 구에서는 100% 육질 1등급 이상의 출현율을 보였다. 유기셀레늄을 급여한 구에서는 60%가 육질 2등급으로 다른 처리구들에 비하여 육질등급이 낮았으며, 유의수준 5%구간에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 육량등급 출현율과 마찬가지로 공시두수가 적어 정확한 경향이라 해석하기 어려웠다.

Table 60. Effect of different selenium sources on changes in TBA and VBN values during chiller ageing

		Storage period(day)				
		1	7	14	21	30
TBA	Control	7.37±1.41	7.61±1.36	7.86±1.53	8.24±1.57	8.73±2.43
	Se-SMC*	6.68±1.17	7.02±1.40	7.11±1.45	7.13±1.42	7.39±1.43
VBN	Control	0.10 ^a ±0.02	0.17 ^a ±0.06	0.23 ^a ±0.08	0.24 ^a ±0.12	0.30 ^a ±0.15
	Se-SMC*	0.06 ^b ±0.02	0.08 ^b ±0.02	0.10 ^b ±0.03	0.11 ^b ±0.03	0.16 ^b ±0.06

^{a,b} : Means having different letters in the same row are significantly different (P<0.05);
* spent composts of Se-enriched mushrooms.

Table 60은 유기셀레늄 강화버섯 폐배지 급여한우고기와 무급여 한우 쇠고기간의 저장기간중 지방산패도(TBA)와 단백질 변패도를 비교한 결과로서 지방산패도에서는 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 단백질 변패도에서는 대조구에 비해서 시험구가 저장 초기부터 낮았으며, 저장기간이 경과함에 따라 대조구와 시험구간 측정값사이에 점차 그 폭이 증가하였다.

Table 61은 셀레늄 급여 쇠고기 저장기간중 지방산조성을 비교한 결과로 지방산패도와 유사한 결과로 시험구와 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았다.

Table 61. Effect of different selenium sources on changes in fatty acid composition during cold storage

	Day 1		Day 7		Day 14		Day 21		Day 30	
	Control	Treatment*	Control	Treatment	Control	Treatment	Control	Treatment	Control	Treatment
C14:0	3.32±0.26	2.97±0.15	3.08±0.25	3.11±0.17	3.00±0.21	2.94±0.16	2.92±0.21	2.80±0.15	2.89±0.19	3.00±0.18
C16:0	26.65±0.58	26.58±0.53	25.98±0.64	27.32±0.48	25.78±0.57	25.89±0.83	25.95±0.85	25.40±0.78	26.26±0.46	27.10±0.73
C16:1n7	5.84±0.40	5.19±0.35	5.65±0.36	5.31±0.16	5.44±0.36	5.37±0.24	5.33±0.16	5.82±0.50	5.50±0.25	5.41±0.29
C18:0	10.45±0.47	10.43±0.46	10.48±0.37	10.66±0.30	10.58±0.40	10.52±0.19	10.55±0.26	10.64±0.33	10.78±0.27	10.56±0.46
C18:1n9	49.89±0.83	50.90±0.63	50.68±1.06	49.93±0.62	51.23±0.77	51.70±0.98	51.55±1.14	51.83±0.57	50.79±0.86	49.68±0.63
C18:1n7	0.60±0.09	0.65±0.07	0.67±0.12	0.50±0.14	0.62±0.15	0.53±0.09	0.44±0.09	0.42±0.07	0.52±0.08	0.55±0.14
C18:2n6	2.01±0.23	1.93±0.17	2.21±0.26	2.00±0.18	2.16±0.24	1.88±0.15	2.09±0.22	1.91±0.14	2.04±0.22	1.90±0.12
C18:3n6	0.15±0.01	0.15±0.01	0.13±0.02	0.14±0.01	0.13±0.01	0.12±0.01	0.12±0.01	0.10±0.01	0.13±0.01	0.13±0.01
C18:3n3	0.16±0.01	0.17±0.01	0.14±0.02	0.11±0.01	0.17±0.03	0.13±0.01	0.14±0.02	0.13±0.02	0.15±0.01	0.15±0.01
C20:1n9	0.46±0.03	0.50±0.04	0.48±0.04	0.49±0.04	0.47±0.03	0.49±0.05	0.46±0.04	0.47±0.04	0.49±0.03	0.50±0.04
C20:2n6	0.09±0.01	0.12±0.02	0.10±0.02	0.10±0.03	0.10±0.02	0.07±0.00	0.09±0.01	0.09±0.01	0.10±0.01	0.10±0.01
C20:3n6	0.12±0.01	0.13±0.01	0.12±0.01	0.11±0.01	0.11±0.01	0.11±0.01	0.12±0.01	0.12±0.01	0.12±0.02	0.11±0.01
C20:4n6	0.22±0.02	0.24±0.04	0.23±0.04	0.19±0.04	0.17±0.02	0.18±0.01	0.19±0.02	0.19±0.03	0.19±0.04	0.17±0.03
C20:5n3	0.00±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01	0.01±0.00	0.01±0.00	0.60±0.60
C22:4n6	0.04±0.01	0.05±0.01	0.05±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01	0.06±0.01	0.05±0.01	0.07±0.00	0.05±0.01	0.05±0.01
SFA	40.42±0.83	39.98±0.77	39.54±0.92	41.08±0.68	39.36±0.88	39.36±1.03	39.42±1.14	38.84±0.81	39.93±0.72	40.66±1.06
USFA	59.58±0.83	60.02±0.77	60.46±0.92	58.92±0.68	60.64±0.88	60.65±1.03	60.58±1.14	61.16±0.81	60.07±0.72	59.34±1.06
n6/n3	16.50±1.05	15.38±1.38	21.45±3.05	25.37±3.41	18.84±2.71	19.05±2.53	20.20±1.67	18.80±1.97	18.25±2.59	14.57±2.53
MUFA/SFA	1.41±0.05	1.44±0.04	1.46±0.06	1.37±0.04	1.48±0.05	1.49±0.06	1.48±0.08	1.52±0.05	1.44±0.04	1.39±0.05
PUFA/SFA	0.07±0.01	0.07±0.01	0.08±0.01	0.07±0.01	0.07±0.01	0.07±0.01	0.07±0.01	0.07±0.01	0.07±0.01	0.08±0.02

*Spent composts of Se-enriched mushrooms.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절. 연구개발의 목표 달성도

본 연구는 3년간의 연구를 수행함에 있어서 1차년도는 무기셀레늄을 이용하여 유기셀레늄강화버섯 및 폐배지를 생산한 후, 이틀내 존재하는 총 셀레늄 및 유무기셀레늄을 분석하기 위해 분석정량법을 확립하였다. 아울러 버섯폐배지를 이용하여 발효사료를 생산한 후 발효진후 유무기셀레늄 비율을 관찰하여 한우 비육우의 버섯폐배지이용 발효사료를 제조 개발하였다. 이를 다시 비육후기 한우에 셀레늄 수준별로 급여하여 혈중 셀레늄농도 및 혈장 GSH-Px의 항산화효소 및 근육과 간내 셀레늄함량을 조사하여 셀레늄강화버섯폐배지의 수준 즉, 셀레늄농도가 증가함에 따라 혈액과 조직내 셀레늄함량이 증가하는 것을 관찰하였다. 이와 함께 협동기관에서는 셀레늄강화버섯 폐배지 수준별 급여를 통하여 육질 및 도체특성을 평가하였다. 2차년도에는 1년차의 결과를 토대로 셀레늄강화 한우고기를 생산하기 위한 사료내 적정 셀레늄함량(0.9 mg/kg Se)으로 사료를 배합하여 포화축적기간(각 처리구별로 2개월, 4개월, 6개월간 사양)을 결정하기 위한 사양시험을 실시하여 기간과 셀레늄강화버섯 폐배지 급여유무에 따른 사양성적 및 혈액과 조직내 셀레늄함량을 분석하여 최적의 사양기간(4개월)을 제시하였다. 아울러 협동연구기관에서는 각 개월사양을 통해 생산된 채끝육을 이용하여 육질, 도체특성 및 육색 안정성을 조사하였고, 이 실험을 통하여 셀레늄강화버섯 폐배지의 급여로 Oxy-Mb이 Met-Mb으로의 전환이 억제되는 것을 확인하여 육색이 안정화 되는 것을 보여주었다. 3차년도에는 1, 2년차 년도의 결과를 바탕으로 타셀레늄제제(Se-yeast, sodium selenite)와의 차별성을 확인하기 위하여 0.9 mg/kg Se에 4개월간 사양하여 가축의 생산성(건물 섭취량, 증체량)과 혈중 및 조직내 셀레늄함량을 측정하여 기존의 셀레늄제제와 본 연구진에 의해 개발된 셀레늄사료와 비교하였다. 본 연구를 통해 유기셀레늄사료인 셀레늄강화버섯 폐배지와 Se-yeast는 셀레늄무첨가군(대조군) 및 무기셀레늄(sodium selenite)보다 유의한 효과를 보여주었으나, Se-yeast 보다는 셀레늄강화버섯 폐배지가 덜하였다는 사실을 확인하였다. 아울러 협동기관에서도 주관기관의 사양시험을 통해 얻어진 처리군별 채끝육을 채취하여 육질 및 도체특성과 저장기간에 따른 선도변화를 조사하였다. 3년차 연구를 통해 육색소 안정성에서 무기셀레늄급여구나 대조구에 비해서 셀레늄강화버섯 폐배지 및

Se-yeast가 우수하였고, 저장기간 동안 단백질 변패도가 향상되는 것을 관측하였다.

따라서 이들 3년간에 걸친 연구결과는 보다 효율적이고도 저렴한 방법으로 기능성 쇠고기인 셀레늄한우고기를 생산하는데 성공하였고, 셀레늄에 대한 연구가 부족한 국내 축산분야에서 본 연구결과가 귀중한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

제 2 절. 대외 기여도

셀레늄강화 버섯 폐배지를 이용한 기능성 셀레늄강화한우고기생산의 기술개발 수행 과정에서 얻은 각종 결과들의 활용을 통해 다음과 같은 관련 분야의 기술 발전에 기여를 할수 있는 학문적 기초를 갖추게 되었다.

- 무기셀레늄을 이용하여 버섯내 생물학적 과정을 통한 유기셀레늄전환으로 보다 쉬운 일일 셀레늄권장량 섭취를 가능케하여 국민 건강에 기여할 것이다.
- 분석학적으로 총셀레늄 및 유무기셀레늄 구분 분석으로 건강에 유익한 자료를 제공하였다.
- 셀레늄강화 버섯폐배지내 존재하는 셀레늄의 유기셀레늄 정량을 통하여 부산물로부터 기능성을 응용한다는 점에서 농업분야에서의 첨단기술 개발의 기폭제로 작용할 것이다.
- 아울러 버섯폐배지의 발효사료 제조를 통한 비육우사료를 개발함으로써 비육우 농가의 사료비 절감 및 환경오염감소에 공헌을 할 것으로 기대한다.
- 기존의 셀레늄제제(sodium selenite 및 Se-yeast)의 가축사용을 감소시켜 본 연구진의 기술을 활용할 경우 셀레늄사료첨가제의 수입시장을 침체시켜 외화절약에 기여할 것이다.
- 본 기술을 한우 비육농가에 보급하게 되면 사료비절약과 기능성 축산물브랜드로서의 효과를 창출하여 농가소득증진에 기여할 것이다.
- 최근 well-being의 바람으로 소비자들이 축산물에 대한 기피현상을 보이는데, 셀레늄의 항암효과를 부각한 기능성 건강 축산식품개발로 침체된 축산농가에 활력소가 될 것이다.
- 개발된 기술을 학술지 논문을 통해 관련 연구진과 산업계에 보급함으로써 브랜드 축산물생산에 대한 과학적인 접근이 가능할 것이다.
- 연구과정에서 얻어진 특허는 산업화의 기초로 활용가능하다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구는 셀레늄강화버섯을 생산한 후 폐기되는 버섯폐배지를 기능성 셀레늄사료로 활용하여 비육한우에 급여하여 셀레늄강화 한우고기를 생산하기 위한 기술로서 이를 비육한우 사육농가에 보급함으로써 기능성 브랜드 축산물의 경쟁력을 높이고 아울러 농가 소득증진에 기여하고자 한다.

본 연구진에 의해 개발된 버섯폐배지를 이용한 셀레늄쇠고기 축적기술은 이미 2003년도에 특허출원한 상태로 공개단계에 있다. 이미 참여기업인 믿음영농조합법인(전남 영암소재)에 기술을 이전한 상태에 있다. 2006년 초 또는 2006년 중순경에는 고부가 기능성 셀레늄쇠고기가 시판될 것으로 예상된다.

한편 본 연구진에 의해 셀레늄강화버섯 폐배지내에 존재하는 셀레늄의 상당량(약 70%)이 유기셀레늄인 것으로 평가되었고, 비육우뿐만 아니라 낙농분야에서도 활용이 가능할 것으로 사료된다. 이미 많은 연구에서 유기셀레늄(셀레늄효모)을 젖소에게 급여하였을 때 우유내 셀레늄함량이 증가한다고 보고하여(Knowles 등, 1999; Ortman과 Pehrson, 1999; Pehrson 등, 1999), 젖소에 본 연구진의 기술을 활용한다면 셀레늄강화 우유로서도 인증 가능할 것으로 기대된다.

아울러 본 연구에서 셀레늄강화버섯을 생산 시 무기셀레늄을 버섯배지에 처리하여 버섯의 생물학적 과정을 통하여 유기셀레늄으로 전환되었는데, 이를 기타 기능성 원소(Cr, Zn, Fe, Cu 등)까지 확대하여 버섯배지에 첨가하고 그 결과로서 이들 원소가 강화된 버섯 및 폐배지의 생산을 가능케 하고, 이로 부터 생산된 폐배지를 다시 가축의 사료로 활용한다면 다양한 기능성축산물생산 뿐만 아니라 응용범위가 방대하다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당 없음

제 7 장 참고문헌

- Aleixo, P. C. and Nóbrega, J. A. 2003 Direct determination of iron and selenium in bovine milk by graphite furnace atomic absorption spectrometry. *Food Chem.* 83:457-462.
- AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis*. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Ariyoshi, H., Kuniwa, M. and Toei, K. 1960. UV spectrophotometric determination of trace amounts of selenium with o-phenylenediamine. *Talanta* 5:112-118.
- Arthur, J. R. and Beckett, G. J. 1994. Role of selenium in type 1 iodothyronine 5'-deiodinase and in thyroid and iodine metabolism In : *Biology and Medicine*. Buk, R. F. ed. Springer, NY, USA.
- Awadeh, F. T., Abdelrahman, M. M., Kincaid, R. L. and Finley, J. W. 1998a. Effect of selenium supplements on the distribution of selenium among serum proteins in cattle. *J. Dairy Sci.* 81:1089-1094.
- Awadeh, F. T., Kincaid, R. L. and Johnson, K. A. 1998b. Effect of level and source of dietary selenium on concentrations of thyroid hormones and immunoglobulins in beef cows and calves. *J. Anim. Sci.* 76:1204-1215.
- Byrne, A. R. and Tušek-Žnidarič, M. 1990. Studies of the uptake and binding of trace metals in fungi. Part 1: Accumulation and characterization of mercury and silver in the cultivated mushroom, *Agaricus bisporus*. *Appl. Organomet. Chem.* 4:43-48.
- Chiu, S. W., Law, S. C., Ching, M. L., Cheung, K. W. and Chen, M. J. 2000. Themes for mushroom exploitation in the 21st century: sustainability,

waste management, and conservation. *J. Gen. Appl. Microbiol.* 46(6):269-282.

Clark, L. C., Combs, G. F. Jr, Turnbull, B. W., Slate, E. H., Chalker, D. K., Chow, J., Davis, L. S., Glover, R. A., Graham, G. F., Gross, E. G., Krongrad, A., Leshner, J. L. Jr, Park, H. K., Sanders, B. B. Jr. Smith, C. L. and Taylor, J. R. 1996. Effects of selenium supplementation for cancer prevention in patients with carcinoma of the skin. *JAMA.* 276:1957-1963.

Clyburn, B. S., Richardson, C. R., Montgomery, J. L., Pollard, G. V., Herring, A. D. and Miller, M. F. 2001. Effect of selenium source and vitamin E level on performance and meat quality of feedlot steers. In: *Biotechnology in the Feed Industry. Proc. 17th Annual Symposium* (T. P. Lyons and K. A. Jacques, eds.). Nottingham University Press, Nottingham, UK, pp. 377-392.

Cohen, T. 1984. Aging of frozen parts of beef. *J. Food Sci.* 49:1174-1177.

Combs, G. F. 2001. Selenium in global food systems. *Br. J. Nutr.* 85:517-547.

Combs, G. F. and Combs, S. B. 1986. *The role of selenium in Nutrition.* Academic Press. Inc., New York, NY.

Combs, G. F. Jr, and Gray, W. P. 1998. Chemopreventive agents: selenium. *Pharmacol. Ther.* 79:179.

Ekholm, P., Varo, P., Aspila, P., Koivistoinen, P. and Syrjala-Qvist, L. 1991. Transport of feed selenium to different tissues of bulls. *Br. J. Nutr.* 66(1):49-55.

El-Bayoumy, K. 2001. The protective role of selenium on genetic damage and on cancer. *Mutation Research.* 475:123.

- Enjalbert, F., Lebreton, P., Salat, O. and Schelcher, F. 1999. Effects of pre- or postpartum selenium supplementation on selenium status in beef cows and their calves. *J. Anim. Sci.* 77:223-229.
- Finley, J. W. 2000. Does selenium accumulation in meat confer a health benefit to the consumer? *Proc. Soc. Anim. Sci.* p. 1-10.
- Folch, J., Lees, M. and Sloane Stanley, G. H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226:497-509.
- Food and Nutrition Board. National Research Council. 2000. Recommended dietary allowance. Washington, DC: National Academy of Science.
- Foster, L. H., Chaplin, M. F. and Sumar, S. 1998. The effect of heat treatment on intrinsic and fortified selenium levels in cow's milk. *Food Chem.* 62(1):21-25.
- Fujita, M., Ike, M., Nishimoto, S., Takahashi, K. and Kashiwa, M. 1997. Isolation and characterization of a novel selenate-reducing bacterium, *Bacillus* sp. SF-1. *J. Ferm. & Bioeng.*, 83(6):517-522.
- Garnier, J. P., Klont, R. and Plastow, G. 2003. The potential impact of current animal research on the meat industry and consumer attitudes towards meat. *Meat Sci.* 63:79-88.
- Gerloff, B. J. 1992. Effect of Se supplementation on dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 70: 3934-3940.
- Gunnar, G. N., Umesh, C. G., Michel, L. and Tuomas, W. 1985. Selenium in soil

and plant and its importance in livestock and human nutrition. *Advanced in Agronomy* 37:397-460.

Gunter, S. A., Beck, P. A. and Phillips, J. M. 2003. Effects of supplementary selenium source on the performance and blood measurements in beef cows and their calves. *J. Anim. Sci.* 81:856-864.

Hamm, R. 1982. Post-mortem changes in muscle with regard to processing of hot-boned beef. *Food Technol.* 11:105-115.

Hill, K. E., Xia, Y., Åkesson, B., Boeglin, M. E. and Burk, R. F. 1996. Selenoprotein P, concentration in plasma is an index of selenium status in selenium-deficient and selenium-supplemented Chinese subjects. *J. Nutr.* 126:138-145.

Hintze, K. J., G. P. Lardy, M. J. Marchello and J. W. Finley. 2001. Areas with high concentrations of selenium in the soil and forage produce beef with enhanced concentrations of selenium. *J. Agric. Food Chem.* 49:1062-1067.

Hintze, K. J., G. P. Lardy, M. J. Marchello and J. W. Finley. 2002. Selenium accumulation in beef: Effect of dietary selenium and geographical area of animal origin. *J. Agric. Food Chem.* 50:3938-3942.

Ivancic, Jr., J. and Weiss, W. P. 2001. Effect of dietary sulfur and selenium concentrations on selenium balance of lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 84:225-232.

Jimenez-Colmenero, F., Carballo, J. and Corfades, S. 2001. Healthier meat and meat products : their role as functional foods. *Meat Sci.* 59:5-13.

Kim, Y. Y. and D. C. Mahan. 2001. Comparative effects of high dietary levels of

- organic and inorganic selenium on selenium toxicity of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 79:942-948.
- Knowles, S. O., Grace, N. D., Wurms, K. and Lee, J. 1999. Significance of amount and form of dietary selenium in blood, milk and casein concentrations in grazing cows. *J. Dairy Sci.* 82:429-437.
- Krzywicki, K. 1982. The determination of haem pigments in meat. *Meat Sci.*, 7:29-36.
- Laakkonen, E., Wellington, G. H. and Skerbon, J. W. 1970. Low temperature long-time heating of bovine. I. Changes in tenderness, water binding capacity, pH and amount of water-soluble component. *J. Food Sci.* 35:175-177.
- Lasota, W. and Florczak, J. 1991. Effect of growing conditions on accumulation of some toxic substances in mushrooms. Part II. Absorption and binding of mercury-203 by *Agaricus bisporus* Lange and *Pleurotus ostreatus* Jacq fr. *Kumm, Bromatol. Chem. Toksykol.* 24:67-71.
- Lau, K. L., Tsang, Y. Y. and Chiu, S. W. 2003. Use of spent mushroom compost to bioremediate PAH-contaminated samples. *Chemosphere* 52:1539-1546.
- Lawler, T. L., Taylor, J. B., Finley, J. W. and Caton, J. S. 2004. Effect of supra-nutritional and organically bound selenium on performance, carcass characteristics, and selenium distribution in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* 82:1488-1493.
- Lawrence, R. A. and Burk, R. F. 1976. Glutathione peroxidase activity in selenium-deficient rat liver. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 71:952-958.
- Lee, S. H. 2004. Studies on the production of Se-fortified beef by supplementing

spent composts of Se-enriched mushrooms in the finishing Hanwoo steer. Ph.D. Dissertation; Konkuk Univ., Seoul, Korea.

Lee, S. H., Kwak, W. S. and Kim, W. Y. 2005. Studies on the selenium type and metabolism of selenium accumulation in the selenium-enriched mushroom, *Flammulina velutipes*, and its spent mushroom composts. J. Anim. Sci. & Technol. (Kor.) 47(2):305-316.

Lee, S. H., Park, B. Y. and Kim, W. Y. 2004. Effects of spent composts of Se-enriched mushrooms on carcass characteristics, plasma GSH-Px activity, and Se deposition in finishing Hanwoo steers. J. Anim. Sci. & Technol. (Kor.) 46(5):799-810.

Levander, O. A. 1986. Selenium. In: Trace element in human and animal nutrition. Vol. 2 (5th ed.). Academic Press. Inc. Orlando, FL.

Luoma, P. 1988. Antioxidants, infections and environmental factors in health and disease, in Northern Finland. Int. J. Circumpolar. Health. 57:109.

Mahan, D. C. 2000. Organic selenium: using nature's model to redefine selenium supplementation for animals. In. Biotechnology in the feed industry. Nottingham University Press. Wiltshire. UK.

Mahan, D. C., Cline, T. R. and Richert, B. 1999. Effects of dietary levels of selenium-enriched yeast and sodium selenite as selenium sources fed to growing-finishing pigs on performance, tissue selenium, serum glutathione peroxidase activity, carcass characteristics, and loin quality. J. Anim. Sci. 77: 2172-2179.

Mahan, D. C. and Kim, Y. Y. 1996. Effect of inorganic or organic selenium at two dietary levels on reproductive performance and tissue selenium, serum glu-

- tathione peroxidase activity, carcass characteristics, and loin quality. *J. Anim. Sci.* 77:2172.
- Mahan, D. C. and N. A. Parrett. 1996. Evaluating the efficacy of selenium-enriched yeast and sodium selenite on tissue selenium retention and serum glutathione peroxidase activity in grower and finisher swine. *J. Anim. Sci.* 74:2967-2974.
- Maus, R. W., Martz, F. A., Belyea, R. L. and Weiss, M. F. 1980. Relationship of dietary selenium to selenium in plasma and milk from dairy cows. *J. Dairy Sci.* 63:532-537.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalph, J. F. D. and Morgan, C. A. 1995. *Animal Nutrition*, 5th ed., Longman Scientific & Technical, Copublished in the United States with John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 66-127.
- Miller, R. K. 1994. Quality characteristics. In *Muscle Foods ; Meat Poultry and Seafood Technology*. eds. D. A. Kinsman, A. W. Kotula, and B. C. Breidenstein. New York, Chapman and Hall.
- Morrison and Smith. 1964. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron trifluoride-methanol. *J. Lipid Res.* 5:600-608.
- Murray, I. and Jenkins, D. 1997. Assessment of spent mushroom compost resource and potential processing options for the generation of renewable energy. Final Report, Dungannon District and Monaghan County Councils.
- Mutanen, M. 1986. Bioavailability of selenium in mushrooms, *Boletus edulis*, to young women. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 56(3):297-301.
- Navarro-Alarcon, M. and Lopez-Martinez, M. C. 2000. Essentiality of selenium in

- the human body: relationship with different diseases. *The Sci. Total Environ.* 248:347.
- Nelson, D. C., Casey, W. H., Sison, J. D., Mack, E. E., Ahmad, A., and Pollack, J. S., 1996. Selenium uptake by sulfur-accumulating bacteria. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60:3531-3539.
- Nève, J. 1995. Human selenium supplementation as assessed by changes in blood selenium concentration and glutathione peroxidase activity. *J. Trace Elem. Med. & Biol.* 9:65-73.
- Nève, J. 1996. Selenium as a risk factor for cardiovascular diseases. *J. Cardiovasc. Risk.* 5:21.
- Nishimura, T., Hattori, A. and Takahashi, K. 1999. Structural changes in intramuscular connective tissue during the fattening of Japanese black cattle : Effect of marbling on beef tenderization. *J. Anim. Sci.* 77:93.
- NRC. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. 7th revised edition. National Academy Press, Washington, DC.
- O'Grady, M. N., Monahan, F. J., Fallon, R. J. and Allen, P. 2001. Effects of dietary supplementation with vitamin E and organic selenium on the oxidative stability of beef. *J. Anim. Sci.* 79:2827-2834
- Oremland, R. S., Steinberg, N. A., Presser, T. S. and Miller, L. G. 1991. *In situ* bacterial selenate reduction in the agricultural drainage systems of western Nevada. *Appl. Environ. Microbiol.*, 57:615-617.
- Ortman, K. and Pehrson, B. 1999. Effect of selenate as a feed supplement to dairy cows in comparison to selenite and selenium yeast. *J. Anim. Sci.*

77:3365-3370.

Ozsoy, M. and Ernst, E. 1999. How effective are complementary therapies for HIV and AIDS : a systematic review. *International J. STD. AIDS.* 10:629-635.

Panel on Dietary Antioxidants and Related Compounds. 2000. *Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium and Beta-Carotene and other Carotenoids.* Washington, D.C. National Academy Press

Park, B. Y., Cho, S. H., Kim, J. H., Lee, S. H., Hwang, I. H., Kim, D. H., Kim, W. Y. and Lee, J. M. 2005. Effects of organic selenium supplementation on meat quality of Hanwoo steers. *J. Anim. Sci. Technol (Kor.).* 47:277-282.

Patterson, P. and O. A. Levander. 1997. Naturally occurring selenium compounds in cancer chemoprevention trials: a workshop summary. *Cancer Epidemiol. Biomark. Prev.* 6:63.

Patterson, B., Levander, O., Helzsouer, K., McAdam, P., Lewis, S., Taylor, P., Veillon, C. and Zech, L. A. 1989. Human selenite metabolism. A kinetic model. *Am. J. Physiol.* 257:R556-R567.

Peterson, P. J. and Spedding, D. J. 1963. The excretions of ⁷⁵selenium incorporated into red clover (*Trifolium pratense* L.): The chemical nature of the excreted selenium and its uptake by three plant species. *N. Z. J. Agric. Res.* 6:13-23.

Pehrson, B., Knutsson, M. and Gyllensward, M. 1989. Glutathione peroxidase activity in heifers fed diets supplemented with organic and inorganic selenium compounds. *Swed. J. Agric. Res.* 19:53-56.

Pehrson, B., Ortman, K., Madjid, N. and Trafikowska, U. 1999. The influence of

dietary selenium as selenium yeast or sodium selenite on the concentration of selenium in the milk of suckler cows and on the selenium status of their calves. *J. Anim. Sci.* 77:3371-3376.

Pérez-Corona, T., Madrid, Y. and Cámara, C. 1997. Evaluation of selective uptake of selenium (Se(IV) and Se(VI)) and antimony (Sb(III) and Sb(V)) species by baker's yeast cells (*Saccharomyces cerevisiae*). *Analytica Chimica Acta.* 345:249-255.

Piepponen, S., Liukkonen-Lilja, H. and Kuusi, T. 1983. The selenium content of edible mushrooms in Finland. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 177(4):257-260.

Poirier, K. A. 1994. Summary of the derivation of the reference dose for selenium. In: *Risk Assessment of Essential Elements*, pp. 157-166 [W. Mertz, CO Abernathy and SS Olin, editors]. Washington, D. C. : ILSI Press.

Puls, R. 1989. Mineral levels in animal health: Diagnostic data. Sherpa Int., Clearbrook, British Columbia, Canada.

Rayman, M. P. 2000. The importance of selenium to human health. *The Lancet* 356:233-241.

Reddy, B. S. 1996. Micronutrients as chemopreventive agents, *IARC Sci. Publ.* 139:221-235.

Reilly, C. 1996. *Selenium in Food and Health*, Blackie Academic and Profession, London, U. K.

Reilly, C. 1998. Selenium: A new entrant into the functional food arena. *Trends in Food Sci. & Tech.* 9:114.

- Rhee, K. S. 1978. Minimization of further lipid peroxidation in the distillation 2-thiobarbituric acid test of fish and meat. *J. Food Sci.* 43:1776-1779, 1781.
- Ridley, W. P., Dizikis, L. J. and Wood, J. M. 1977. Biomethylation of toxic elements in the environment. *Science* 197:329-332.
- Robberecht, H. J. and Deelstra, H. A. 1984. Review: Selenium in human urine: concentration levels and medical implications. *Clinica Chimica Acta*, 136:107-120.
- Rock, M. J., Kincaid, R. L. and Carstens, G. E. 2001. Effects of prenatal source and level of dietary selenium on passive immunity and thermometabolism of newborn lambs. *Small Ruminant Res.* 40:129-138.
- Rotruck, J. T., Pope, A. L., Ganther, H. E., Hafeman, D. G., Swanson, A. B. and Hoekstra, W. G. 1973. Selenium: Biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science* 179:588-590.
- Rowntree, J. E., Hill, G. M., Hawkins, D. R., Link, J. E., Rincker, M. J., Bednar, G. W. and Kreft, R. A. Jr. 2004. Effect of Se on selenoprotein activity and thyroid hormone metabolism in beef and dairy cows and calves. *J. Anim. Sci.* 82:2995-3005.
- SAS. 2000. SAS/STAT[®] User's guide (Release 8.1 ed.). Statistics, SAS Inst, Inc., Cary, NC.
- Savage, A. W. J., Warriss, P. D. and Jolly, P. D. 1990. The amount and composition of the proteins in drip from stored pig meat. *Meat Sci.* 27:289-303.
- Scholz, R. W. and Hutchinson, L. J. 1979. Distribution of glutathione peroxidase activity and selenium in the blood of dairy cows. *Am. J. Vet. Res.* 40:

245-249.

Schrauzer, G. N. 1998a. Selenomethionine and selenium yeast: appropriate forms of selenium for use in infant formulas and nutritional supplements. *J. Med. Foods.* 1:201-206.

Schrauzer, G. N. 1998b. Characterization of selenium yeasts for nutritional selenium supplementation . In: *Proceedings of the 6th International Symposium on the Uses of Selenium and Tellurium* (Palmieri, Y., ed.), pp. 77-79. Scottsdale, AZ.

Schrauzer, G. N., 2000. Selenomethionine: a review of its nutritional significance, metabolism and toxicity. *J. Nutr.* 130:1653-1656.

Schwarz, K. and Foltz, C. M. 1957. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *J. Am. Chem. Soc.* 79:3292-3293.

Semple, K. T., Reid, B. J. and Fermor, T. R. 2001. Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants: a review. *Environmental Pollution* 112:269-283.

Shrift, A., 1973. Metabolism of selenium by plants and microorganism. In: *Organic selenium compounds: Their chemistry and biology* (Klayman, D. L., and Günther, W. H. H., eds.), pp. 763-814. John Wiley & Sons, New York, NY.

Slejkovec, Z., van Elteren, J. T., Woroniecka, U. D., Kroon, K. J., Falnoga, I. and Byrne, A. R. 2000. Preliminary study on the determination of selenium compounds in some selenium-accumulating mushrooms. *Biol. Trace Elem. Res.* 75(1-3):139-155.

Smith, K. L., Hogan, J. S. and Conrad, H. R. 1988. Selenium in dairy cattle: Its

role in disease resistance. *Vet. Med.* 83:72-78.

Spolar, M. R., Schaffer, E. M., Beelman, R. B. and Milner, J. A. 1999. Selenium-enriched *Agaricus bisporus* mushrooms suppress 7,12-dimethyl benz[a]anthracene bioactivation in mammary tissue. *Cancer letters* 138: 145-150.

Stadtman, T. C. 1996. Selenocysteine. *Annual Review of Biochemistry* 65:83-100.

Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. 1980. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach (2nd Ed.). McGraw-Hill Book Co., New York.

Stefánka, Z., Ipolyi, I., Dernovics, M. and Fodor, P. 2001. Comparison of sample preparation methods based on proteolytic enzymatic processes for Se-speciation of edible mushroom (*Agaricus bisporus*) samples. *Talanta* 55:437-447.

Steinberg, N. A. and Oremland, R. S. 1990. Dissimilatory selenate reduction potentials in a diversity of sediment types. *Appl. Environ. Microbiol.*, 56:3550-3557.

Steinkraus, K. H. 1983. Fermented foods, feeds and beverages. *Biotech. Adv.* 1:31-46.

Stevens, J. B., Olson, W. G., Kraemer, R. and Archambeau, J. 1985. Serum selenium concentrations and glutathione peroxidase activity in cattle grazing forages of various selenium concentrations. *Am. J. Vet. Res.* 46:1556-1560.

Stijve, T. 1977. Selenium content of mushrooms. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 164(3):201-203.

- Stijve, T. and Besson, R. 1976. Mercury, cadmium, lead and selenium content of mushroom species belonging to the genus *agaricus*. *Chemosphere* 2:151-158.
- Stolz, J. F. and Oremland, R. S. 1999. Bacterial respiration of arsenic and selenium. *FEMS Microbiol. Rev.* 23:615-627.
- Sunde, R. A. 1997. Selenium. In: O'Dell B. L., Sunde, R. A., eds. *Handbook of nutritionally essential mineral elements*. New York: Marcel Dekker Inc. pp. 493-556.
- Surai, P. F. 2000. Organic selenium and the egg : Lessons from Nature. *Feed Compounder* 20:16.
- Swanson, C. A., Patterson, B. H., Levander, O. A., Veillon, C., Taylor, P., Helzsouer, K., McAdam, P. A. and Zech, L. A. 1991. Human (⁷⁴Se)selenomethionine metabolism: a kinetic model. *Am. J. Clin. Nutr.* 54:917-926.
- Tarladgis, B. G., Watts, B. M., Younathan, M. T. and Dugan, L. R. Jr. 1960. A distillation method for quantitative determination malonaldehyde in rancid food. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 37:44-48.
- Turner, R. J. and Francis, J. E. 1991. Selenium and the immune response. *Proc. Nutr. Soc.* 50:275.
- Van Elteren, J. T., Woroniecka, U. D. and Kroon, K. J. 1998. Accumulation and distribution of selenium and cesium in the cultivated mushroom *agaricus bisporus* - A radiotracer - aided study. *Chemosphere* 36(8):1787-1798.
- Van Ryssen, J. B., Deagen, J. T., Beilstein, M. and Whanger, P. 1989. Comparative metabolism of organic and inorganic selenium by sheep. *J. Agric. Food*

Chem. 37:1358-1363.

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

Vetter, J. 1989. Comparison of mineral elements in *agaricus* and *pleurotus* fruiting bodies. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 189:346-350.

Wang, Z., Eastridge, M. L. and Qiu, X. 2001. Effects of forage neutral detergent fiber and yeast culture on performance of cows during early lactation. *J. Dairy Sci.* 84:204-212.

Wardeh, M. F. 1981. Models for estimating energy and protein utilization for feeds. Ph.D. Dissertation; Utah State Univ., Logan.

Warriss, P. D. 1979. The extraction of haem pigments from fresh meat. *J. Food Technl.*, 14:75-80.

Waschulewski, I. H. and Sunde, R. A. 1988. Effect of dietary methionine on tissue selenium and glutathione peroxidase on tissue selenium and glutathione peroxidase (EC 1.11.1.9) activity given selenome thiomethionine. *Br. J. Nutr.* 60:57.

Williams, B. C., McMullan, J. T. and McCahey, S. 2001. An initial assessment of spent mushroom compost as a potential energy feedstock. *Bioresources Tech.* 79:227-230.

Winger, R. J. and Fennema, O. 1976. Tenderness and water holding properties of beef muscle as influenced by freezing and subsequent storage at -3°C or 15°C. *J. Food Sci.* 41:1433-1438.

- Wood, J. D., Richardson, R. I., Nute, G. R., Fisher, A. V., Campo, M. M., Kasapidou, E., Sheard, P. R. and Enser, M. 2003. Effects of fatty acids on meat quality : a review. *Meat Sci.* 66:21-32.
- World Health Organization. 1996. Selenium. In *Trace Elements in Human Nutrition and Health*. pp. 105-122. Geneva WHO.
- Wright, P. L. and Bell, M. C. 1966. Comparative metabolism of selenium and tellurium in sheep and swine. *Am. J. Physiol.* 211:6-10.
- Wuest, P. J. and Fahy, H. K. 1992. Spent mushroom compost. Its origin, components and impact on water quality. *Mushroom News*, January 27-33.
- Zachara, B. A., Mikolajczak, J. and Trafikowska, U. 1993. Effect of various dietary selenium (Se) intakes on tissue Se levels and glutathione peroxidase activities in lambs. *Zentralbl. Veterinarmed. A.* 40(4):310-318.
- Zhang, C. K., Gong, F. and Li, D. S. 1995. Short communication: a note on the utilisation of spent mushroom composts in animal feeds. *Bioresource Tech.* 52:89-91.
- 高坂和久. 1975. 肉製品の鮮度保持と測定. *食品工業.* 18:105
- 김경남. 2001. 제 2판 사료표준분석방법. 농촌진흥청 축산기술연구소. pp. 77-80.
- 박범영, 조수현, 유영모, 고재정, 김진형, 채현석, 안종남, 이종문, 김용곤, 윤상기. 2001. 사후 3시간 도체 심부온도가 돈육의 품질에 미치는 영향. *한국동물자원학회지.* 43(6):949-954.
- 박범영, 조수현, 황인호, 김진형, 오석중, 이종문, 윤상기. 2004. 글루코사민 유도체

(GD) 급여 돈육의 육질특성. 한국축산식품학회. 24(3):221-224.

안병홍, 송성철, 류재숙, 2002. 조사료와 농후사료의 급여비율이 한우 거세우의 성장 및 도체특성에 미치는 영향. 한국동물자원과학회지 44(6):747-756.

한국사양표준 한우, 2002. 농림부 · 농촌진흥청 축산기술연구소.

한성일. 1999. 기능성 축산물의 생산 및 소비 전망. 월간축산 12월호

한성일. 2001. 한우 브랜드 마케팅 차별화 전략. 월간한우 10월호

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.