

도시농업에서 유용미생물 활성화 따른 식물생육 모니터링 연구

정 환 도

연구진

연구책임

- 정환도 / 도시기반연구실 책임연구위원

□ 요약 문 □

1. 연구의 필요성 및 목적

○ 필요성

오늘날 국내의 음식물쓰레기는 연평균 약 500만 톤이 발생하고 있다. 이것은 유기성 폐기물 자원화 계획의 일환으로, 매년 약 95%가 재활용 되고 있다. 이 중, 음식물퇴비는 약 39%의 비율을 차지하고 있다.

음식물퇴비는 과거 염류로 인한 생육장애와 수량 감소 등의 악영향으로 인하여, 그 사용처 확보가 많이 미비한 상태이다. 또한, 과거 음식물퇴비에 관한 연구는 생육의 장애와 토양오염 등에 관한 연구가 진행되었다.

그러나 오늘날의 음식물퇴비는 과염류 문제를 해결하고, 양질의 퇴비를 생산하고 있다. 따라서 현재 생산되어지고 있는 음식물퇴비의 식물생육 성장패턴을 조사하여, 음식물퇴비의 선입견 탈피와, 사용 효과에 대한 연구가 필요하다.

○ 목적

본 연구에서는 음식물퇴비를 사용하였을 때 식물체의 성장패턴을 알아보기 위해 식물체의 생육성장 및 토양과 식물체의 양분관계에 대해서 분석하였다.

특히 식물체의 생육성장에서는 식물체의 체장, 뿌리길이, 최장잎의 길이 및 폭, 식물체의 중량, 열매의 수확량, 총 수확량, 식물체 함수율의 외형적 변화와 양이온(Na, K, Ca, Mg)과 중금속(Al, As, Fe, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)의 체내 양분 변화를 분석하였다.

또한, 토양과 식물체의 양분관계에서는 토양의 총 질소, 유효인산, 양이온(Na, K, Ca, Mg) 및 중금속(Al, As, Fe, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)을 분석하여, 식물체의 체내 양분 변화와 비교·분석하였다.

2. 실험 설계

○ 실험 장소

본 연구에서 실험은 유성구 하기동 58-3의 밭을 이용하였다. 실험의 조건은 음식물퇴비를 시비한 실험구와 무처리의 대조구를 나누어 3개월 동안 식물(고추)을 재배하였으며, 시료의 채집은 6월 25일부터 9월 5일까지, 2주 간격으로 식물 및 토양(표층 및 심층)을 채집하였다.

<표-1> 실험 진행 과정

5월 14일	5월 28일	6월 11일	6월 25일	7월 09일
음식물퇴비 시비	고추 식재	지지대 설치	생육조사	생육조사
7월 23일	8월 06일	8월 20일	9월 5일	
생육조사	생육조사	생육조사	생육조사 및 수확	

○ 식물의 생육모니터링

식물의 생육모니터링은 외형적 변화와 양분변화를 분석하였다.

식물의 외형적 변화에서는 체장, 뿌리길이, 최장잎의 길이와 폭, 식물체의 총중량, 열매의 무게, 수확량, 식물체 함수율을 측정하였다.

식물의 양분변화에서는 식물체 잎과 열매의 총 질소, 총 인, 양이온(Na, K, Ca, Mg)과 중금속(As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn)을 분석하였다.

○ 토양과 식물의 양분변화와 상관관계

토양과 식물의 양분변화와 상관관계에서는 식물의 양분변화의 결과와 토양에서의 화학적 특성 분석을 하였다.

토양의 화학적 특성으로는 총 질소, 유효인산, 양이온(Na, K, Ca, Mg), 중금

속(As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn)을 분석하였다.

<표-2> 시료 분석 항목

구분	토양	식물	
	화학적 특성	생육성장	양분변화
분석 항목	<ul style="list-style-type: none"> • 총 질소 • 유효인산 • 양이온 (Na, K, Ca, Mg) • 중금속 (As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) 	<ul style="list-style-type: none"> • 체장 • 뿌리길이 • 최장잎 길이 • 최장잎 폭 • 식물체 총중량 • 열매 중량 • 열매 수확량 • 식물체 함수율 	<ul style="list-style-type: none"> • 총 질소 • 총 인 • 양이온 (Na, K, Ca, Mg) • 중금속 (As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn)

3. 실험 결과

1) 식물의 생육모니터링

○ 식물의 외형적 변화

식물의 외형적 변화에서는 체장, 뿌리길이, 최장잎의 길이와 폭, 식물체의 총중량, 열매의 무게, 수확량, 식물체 함수율을 측정하였으며, 대조구와 실험구의 식물체는 생육중반 생육의 차이가 적어지는 것으로 나타났다.

구체적으로 체장은 생육 2달 이후 대조구와 실험구의 생육상태가 비슷해진 것으로 나타났다. 뿌리길이에서는 생육 3달 이후 대조구와 실험구의 길이가 비슷해진 것으로 나타났다. 최장잎의 길이와 폭은 생육 2달 이후 대조구와 실험구의 생육상태가 비슷해진 것으로 나타났다. 수확량은 실험구와 대조구 모두 총 수확량에서 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 식물체 함수율은 대조구와 실험구 모두 식물체에서 생육기간이 지남에 따라 함수율이 감소하는 것으로 나타났다.

한편, 식물체의 총중량은 생육 후기 8월 20일을 제외하고, 실험구가 대조구와 비교하였을 때, 항상 무거운 것으로 나타났다. 열매의 무게는 생육 세 달까지 비슷한 것으로 나타났으나, 그 이후부터는 대조구에서 급격하게 감소하는 것으로 나타났다.

○ 식물의 양분변화

식물의 양분변화에서는 총 질소, 총 인, 양이온, 중금속 모두 대조구와 실험구에서 함량이 비슷한 것으로 나타났다.

구체적으로 총 질소는 생육기간이 지남에 따라서 잎에서는 총 질소 함량이 감소하는 것으로 나타났으나, 열매에서는 일정 함량 이상을 유지하는 것으로 나타났다. 총 인은 실험구가 대조구와 비교하였을 때, 미량 높은 것으로 나타났으며, 그 영향은 생육 초기 성장에 미쳤을 것으로 판단된다. 양이온은 대조구와 실험구 모두 함량이 비슷한 것으로 나타났으며, 음식물퇴비에 의한 영향은 적은 것으로 나타났다. 중금속은 대조구와 실험구 모두 함량이 비슷한 것으로 나타났으며, 음식물퇴비에 의한 영향은 적은 것으로 나타났다.

2) 토양과 식물의 양분변화와 상관관계

○ 토양의 화학적 특성

토양의 화학적 특성에서는 총 질소, 유효인산, 중금속은 함량이 비슷한 것으로 나타났으며, 양이온은 식물체 재배가 끝날 때까지 실험구가 높은 것으로 나타났다.

구체적으로 총 질소는 대조구와 실험구 모두 함량이 비슷한 것으로 나타났으며, 별다른 경향은 나타나지 않았다. 유효인산은 대조구와 실험구 모두 함량이 비슷한 것으로 나타났으나, 대조구에서의 함량변화가 뚜렷한 것으로 나타났다. 양이온은 실험구에서 대조구와 비교하였을 때, 모든 원소가 높은 것으로 나타났으며, 그 원인은 음식물퇴비에 의한 이온의 증가일 것으로 판단된다. 중금속은 대조구와 실험구 모두 함량이 비슷한 것으로 나타났으며, Cd, Cr, Pb는 미검출, Ni는 미량 검출되었다.

○ 토양과 식물의 양분변화와 상관관계

토양과 식물의 양분변화와 상관관계에서는 토양표층과 식물체 열매에서의 총 질소, 총 인, 양이온, 중금속의 상관관계에 대해서 분석하였으며, 양분에 따라 차이가 나는 것으로 나타났다.

구체적으로 질소와 Ca는 토양에서 함량이 감소하면 식물체에서 함량이 증가하며, 토양에서 함량이 증가하면 식물체에서 함량이 감소하는 것으로 나타났다.

반면에 Na, Al, Cu, Fe, Zn은 토양에서 함량이 감소하면 식물체에서 함량이 증가하는 경향으로 나타났으며, 이것은 질소와 Ca와는 다르게 토양에서의 함량이 증가한다고 식물체에서 감소하지는 않는 것으로 나타났다.

한편, 인, K, Mg, As는 토양에서의 함량이 식물체에서의 함량변화에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

이 외에도 Cd, Cr, Ni, Pb는 토양에서 검출되지 않거나, 극미량 검출된 것으로 나타났으나, 그 함량이 식물체에서 축적되는 경향을 나타냈다. 이것은 토양에서의 양분흡수가 아닌, 대기적 환경에서의 영향이 더 큰 것으로 판단된다.

4. 결론 및 정책제언

본 연구는 음식물퇴비를 도시농업에서 사용했을 때 식물체의 성장패턴 연구에 대해서 조사·분석하였다.

식물체의 생육성장에서는 음식물퇴비를 시용할 경우 초기 생육은 좋은 것으로 나타났다. 또한, 식물체의 양분변화에서는 음식물퇴비에 의한 별다른 영향이 없는 것으로 나타났다.

토양의 양분함량과 식물체 내에서의 양분 변화에서는 원소마다의 흡수 경향은 다른 것으로 나타났지만, 대조구와 실험구에서의 함량 변화의 영향은 적은 것으로 나타났다.

식물체내에서는 토양에서 검출되지 않는 중금속이 검출되었으며, 이것은 음

식물퇴비의 영향이 아닌, 외부로의 유입경로(대기중에 녹아있는 중금속 등이 잎 등을 통해 흡수되어, 열매 등에 일부 축적)에 의한 영향으로 판단된다.

결과적으로 과거 선행 연구에 있었던 결과와는 다르게 음식물퇴비를 사용하여 재배한 식물에서의 생육저해나 양분변화의 영향은 적은 것으로 나타나, 양분공급 차원에서 음식물퇴비를 사용하여도 될 것으로 판단된다. 따라서 음식물퇴비의 활성화를 위한 정책적 지원 조치가 필요할 것으로 사료된다.

5. 향후 연구방향

본 연구에 이어, 지속적으로 실행되어야 할 것은 대기적 환경 요인과 식물체의 영향 연구 등이 필요하다. 특히, 대기적인 영향을 받을 수 있는 도시인근 지역에서의 지리적 특성에 따라서, 생산되는 작물들이 중금속에 오염될 가능성이 있을 것으로 사료된다. 이 때문에 도시의 대기적 특성과 관련하여 대기환경과 식물체의 영향에 관한 연구가 필요하다.

- 목 차 -

제1장 연구의 개요	3
제1절 연구의 배경 및 목적	3
1. 연구의 배경	3
2. 연구의 목적	4
제2절 연구의 범위 및 방법	5
1. 연구의 범위	5
2. 연구의 방법	5
제2장 음식물퇴비와 식물경작 사례연구	9
제1절 음식물퇴비 개요	9
1. 음식물퇴비의 역사	9
2. 음식물퇴비의 현황	19
제2절 음식물퇴비를 이용한 사례연구	23
1. 음식물퇴비 시용에 의한 식물생육연구	23
2. 음식물퇴비 시용에 의한 식물의 위해성 연구	32
제3장 음식물퇴비를 시용한 식물생육 모니터링 비교 및 토양양분의 상관관계	43
제1절 실험의 설계	43
1. 실험의 조건	43
2. 실험의 방법	51
제2절 식물의 생육 모니터링	56
1. 식물의 외형적 변화	56
2. 식물의 체내 양분 변화	87

제3절 토양의 화학적 특성 변화와 식물체 양분변화의 상관관계	103
1. 토양의 화학적 특성 변화	103
2. 식물의 양분변화와 토양양분 함량의 상관관계	115
제4장 결론 및 정책제언	141
제1절 결론	141
제2절 정책제언	142
참고문헌	143

- 그림 목 차 -

<그림 1-1> 연구 수행절차	6
<그림 2-1> 중국 산동성의 똥돼지 우리와 거름	14
<그림 2-2> OECD 국가 질소잉여량	16
<그림 2-3> 부숙유기질비료 생산	17
<그림 2-4> 음식물퇴비	18
<그림 2-5> 음식물퇴비를 첨가한 배지에서의 수량과 무게	26
<그림 3-1> 실험지역	44
<그림 3-2> 실험구역 지정	44
<그림 3-3> 실험구역 개간 후 고랑 만들기	45
<그림 3-4> 실험구역 나누기	46
<그림 3-5> 실험구 음식물퇴비 시비	47
<그림 3-6> 대조구 및 실험구 표층경운	47
<그림 3-7> 공시작물(고추) 식재	48
<그림 3-8> 고추 지지대 설치	51
<그림 3-9> 고추 채집 위치 예시	52
<그림 3-10> 고추 채집 방법	53
<그림 3-11> 토양 표층토 채집	54
<그림 3-12> 토양 심층토 채집	54
<그림 3-13> 식물체의 체장 측정	57
<그림 3-14> 식물체의 체장 변화 비교	58
<그림 3-15> 식물체의 뿌리길이 측정	60
<그림 3-16> 식물체의 뿌리길이 변화 비교	61
<그림 3-17> 최장잎의 길이 측정	63
<그림 3-18> 최장잎의 길이 변화 비교	64
<그림 3-19> 최장잎의 폭 측정	65

<그림 3-20> 최장잎의 폭 변화 비교	66
<그림 3-21> 식물체의 총중량 측정 (생체중)	68
<그림 3-22> 식물체의 총중량 변화 비교	69
<그림 3-23> 식물체의 총중량 측정 (건체중)	70
<그림 3-24> 식물체의 총중량 변화 비교	71
<그림 3-25> 식물체의 기간별 함수율 변화 비교	72
<그림 3-26> 열매의 기간별 수확량 측정 (생체중)	74
<그림 3-27> 열매의 기간별 수확량 변화 비교	75
<그림 3-28> 열매의 기간별 수확량 측정 (건체중)	76
<그림 3-29> 열매의 기간별 수확량 변화 비교	77
<그림 3-30> 열매의 기간별 함수율 변화 비교	78
<그림 3-31> 열매의 총 수확량 측정 (생체중)	80
<그림 3-32> 열매 별 총 수확량 비교	81
<그림 3-33> 열매의 총 수확량 측정 (건체중)	82
<그림 3-34> 열매 별 총 수확량 비교	83
<그림 3-35> 열매 별 함수율	84
<그림 3-36> 총 수확량 비교	85
<그림 3-37> 총 수확량 비교	85
<그림 3-38> 총 수확량 열매 함수율 비교	86
<그림 3-39> 잎의 총 질소 함량 변화 비교	88
<그림 3-40> 열매의 총 질소 함량 변화 비교	88
<그림 3-41> 잎의 총 인 함량 변화 비교	90
<그림 3-42> 열매의 총 인 함량 변화 비교	90
<그림 3-43> 잎의 양이온 함량 변화 비교	94
<그림 3-44> 열매의 양이온 함량 변화 비교	95
<그림 3-45> 잎의 미량원소 함량	98
<그림 3-46> 열매의 미량원소 함량	99
<그림 3-47> 잎의 유효 중금속 함량	101

<그림 3-48> 열매의 유해 중금속 함량	102
<그림 3-49> 표층 토양의 총 질소 함량 변화	104
<그림 3-50> 심층 토양의 총 질소 함량 변화	105
<그림 3-51> 표층 토양의 유효인산 함량 변화	107
<그림 3-52> 심층 토양의 유효인산 함량 변화	107
<그림 3-53> 표층 토양의 양이온 함량 변화	110
<그림 3-54> 심층 토양의 양이온 함량 변화	111
<그림 3-55> 표층 토양의 중금속 함량 변화	113
<그림 3-56> 심층 토양의 중금속 함량 변화	114
<그림 3-57> 대조구 토양 및 열매의 총 질소 함량 변화	116
<그림 3-58> 실험구 토양 및 열매의 총 질소 함량 변화	116
<그림 3-59> 대조구 토양 및 열매의 총 인 함량 변화	117
<그림 3-60> 실험구 토양 및 열매의 총 인 함량 변화	118
<그림 3-61> 대조구 토양 및 열매의 Na 함량 변화	119
<그림 3-62> 실험구 토양 및 열매의 Na 함량 변화	119
<그림 3-63> 대조구 토양 및 열매의 K 함량 변화	120
<그림 3-64> 실험구 토양 및 열매의 K 함량 변화	121
<그림 3-65> 대조구 토양 및 열매의 Ca 함량 변화	122
<그림 3-66> 실험구 토양 및 열매의 Ca 함량 변화	122
<그림 3-67> 대조구 토양 및 열매의 Mg 함량 변화	123
<그림 3-68> 실험구 토양 및 열매의 Mg 함량 변화	124
<그림 3-69> 대조구 토양 및 열매의 Al 함량 변화	125
<그림 3-70> 실험구 토양 및 열매의 Al 함량 변화	125
<그림 3-71> 대조구 토양 및 열매의 As 함량 변화	126
<그림 3-72> 실험구 토양 및 열매의 As 함량 변화	127
<그림 3-73> 대조구 토양 및 열매의 Cd 함량 변화	128
<그림 3-74> 실험구 토양 및 열매의 Cd 함량 변화	128
<그림 3-75> 대조구 토양 및 열매의 Cr 함량 변화	129

<그림 3-76> 실험구 토양 및 열매의 Cr 함량 변화	130
<그림 3-77> 대조구 토양 및 열매의 Cu 함량 변화	131
<그림 3-78> 실험구 토양 및 열매의 Cu 함량 변화	131
<그림 3-79> 대조구 토양 및 열매의 Fe 함량 변화	132
<그림 3-80> 실험구 토양 및 열매의 Fe 함량 변화	133
<그림 3-81> 대조구 토양 및 열매의 Ni 함량 변화	134
<그림 3-82> 실험구 토양 및 열매의 Ni 함량 변화	134
<그림 3-83> 대조구 토양 및 열매의 Pb 함량 변화	135
<그림 3-84> 실험구 토양 및 열매의 Pb 함량 변화	136
<그림 3-85> 대조구 토양 및 열매의 Zn 함량 변화	137
<그림 3-86> 실험구 토양 및 열매의 Zn 함량 변화	137

- 표 목 차 -

<p><표 2-1> 국가폐기물 관리 종합계획 비교 10</p> <p><표 2-2> 음식물쓰레기 종합대책 변화 11</p> <p><표 2-3> 음식물류 폐기물 자원화의 저해 요인 12</p> <p><표 2-4> 연도별 음식물쓰레기 발생량 19</p> <p><표 2-5> 2011년 음식물쓰레기 재활용 현황 20</p> <p><표 2-6> 전국 음식물류폐기물 자원화 시설 현황 (공공, 민간 통합) 22</p> <p><표 2-7> 음식물퇴비 처리구별 고추의 생육 비교 24</p> <p><표 2-8> 음식물퇴비 처리구별 고추의 수확량 비교 25</p> <p><표 2-9> 음식물퇴비를 첨가한 배지에서서의 근사 성장속도 26</p> <p><표 2-10> 음식물쓰레기퇴비를 이용하였을 때의 경도와 당도 변화 27</p> <p><표 2-11> 음식물퇴비 처리구별 상추의 수량 차이 28</p> <p><표 2-12> 음식물퇴비 처리구별 상추의 생육 차이 28</p> <p><표 2-13> 음식물퇴비 처리구별 열무의 생육 차이 30</p> <p><표 2-14> NaCl 처리로 인한 염 스트레스에 따른 양분 변화 37</p> <p><표 3-1> 금고동 매립지 음식물퇴비 화학 성분표 49</p> <p><표 3-2> 국내 비료공정규격 50</p> <p><표 3-3> 금고동 매립지 음식물퇴비 중금속 분석 비교 50</p> <p><표 3-4> 실험 진행 과정 52</p> <p><표 3-5> 시료 분석 항목 55</p> <p><표 3-6> 식물체의 체장 변화 비교 56</p> <p><표 3-7> 식물체의 뿌리길이 변화 비교 59</p> <p><표 3-8> 최장잎의 길이와 폭 변화 비교 62</p> <p><표 3-9> 식물체의 총중량 변화 비교 67</p> <p><표 3-10> 열매의 기간별 수확량 변화 비교 73</p> <p><표 3-11> 열매의 총 수확량 79</p>	<p><표 3-12> 식물체의 총 질소 함량 변화 87</p> <p><표 3-13> 식물체의 총 인 함량 변화 89</p> <p><표 3-14> 식물체의 양이온 함량 93</p> <p><표 3-15> 식물체내 적정 중금속 농도 범위 96</p> <p><표 3-16> 식물체의 중금속 함량 97</p> <p><표 3-17> 토양의 총 질소 함량 104</p> <p><표 3-18> 토양의 유효인산 함량 106</p> <p><표 3-19> 토양의 양이온 함량 109</p> <p><표 3-20> 토양의 중금속 함량 112</p>
---	---

제 1 장

연구의 개요

.....
제1절 연구의 배경 및 목적

제2절 연구의 범위 및 방법
.....

제1장 연구의 개요

제1절 연구의 배경 및 목적

1. 연구의 배경

국내의 음식물쓰레기는 2012년 1일 평균 13,309톤이 발생하였다. 이것은 연간으로 환산하면 약 500만 톤의 양이다. 이러한 음식물쓰레기는 1994년 제정된 대형음식점의 의무적 퇴비화 시설 설치와 1996년 제정된 음식물쓰레기 줄이기 종합대책 등에 의하여 재활용사업에 많은 노력을 기울이고 있다.

그 결과 오늘날 음식물쓰레기의 재활용비율은 약 95%이상을 상회하고 있으며, 사료화는 약 46%, 퇴비화는 약 39%의 비율을 차지하고 있다. 그 중 음식물퇴비는 아직까지 그 활용성과 영향에 대한 연구가 많이 부족한 실정이다.

한편, 현재 생산되고 있는 음식물퇴비는 과거 관리가 부실했던 때와는 다르게 비료공정규격에 맞춰서 생산되어지고 있다. 이것은 실제로 농업을 하는데 있어서 음식물퇴비를 사용하여도 문제가 없다는 것으로 볼 수 있다.

음식물퇴비는 음식물을 원료로 이용한 퇴비라는 점에서 많은 양분을 함유하고 있다. 또한, 과거 문제되었던 염류의 양도 많이 개선되어 생산되고 있다.

그러나 과거 음식물퇴비를 이용하였던 농가에서는 과염류로 인한 작물 피해를 본적이 있다. 그 결과, 농가에서는 현재 생산되어지고 있는 음식물퇴비의 사용을 꺼려하고 있어 수요처가 마땅치 않은 상태이다.

따라서 현재 생산되어지고 있는 음식물퇴비를 이용하여 식물의 생육 성장패턴을 조사하고, 그 결과를 토대로 음식물퇴비의 사용효과에 대해 논의하고자 한다.

2. 연구의 목적

현재 생산되어지고 있는 음식물퇴비의 사용에 따른 식물체의 영향에 대한 연구가 많이 부족한 것으로 사료된다. 또한, 현재 음식물퇴비의 작물위해성이나 토양오염 등의 피해를 입지 않으려는 사용기피 현상까지 보이고 있다.

본 연구에서는 음식물퇴비를 시용했을 때 식물성장의 차이를 비교해보고, 음식물퇴비가 생육에 있어서 다른 장애가 있는지를 조사한다. 또한, 식물체 내의 영양성분 및 위해성이 없는지를 조사한다.

그 결과를 토대로 음식물퇴비의 식물체 생육에 대한 사용효과를 분석한다.

제2절 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

본 연구에서는 음식물퇴비의 효과를 알아보기 위해 음식물퇴비를 이용한 선행 사례들을 살펴보고, 그 사례들을 토대로 결과를 고찰한다.

또한, 직접적인 실험을 통하여 음식물퇴비를 이용한 식물생육의 차이와 식물체내의 양분변화를 관찰하였다.

마지막으로 선행 연구와 직접적인 실험의 결과를 토대로 음식물퇴비를 이용한 식물생육의 효과를 분석한다.

2. 연구의 방법

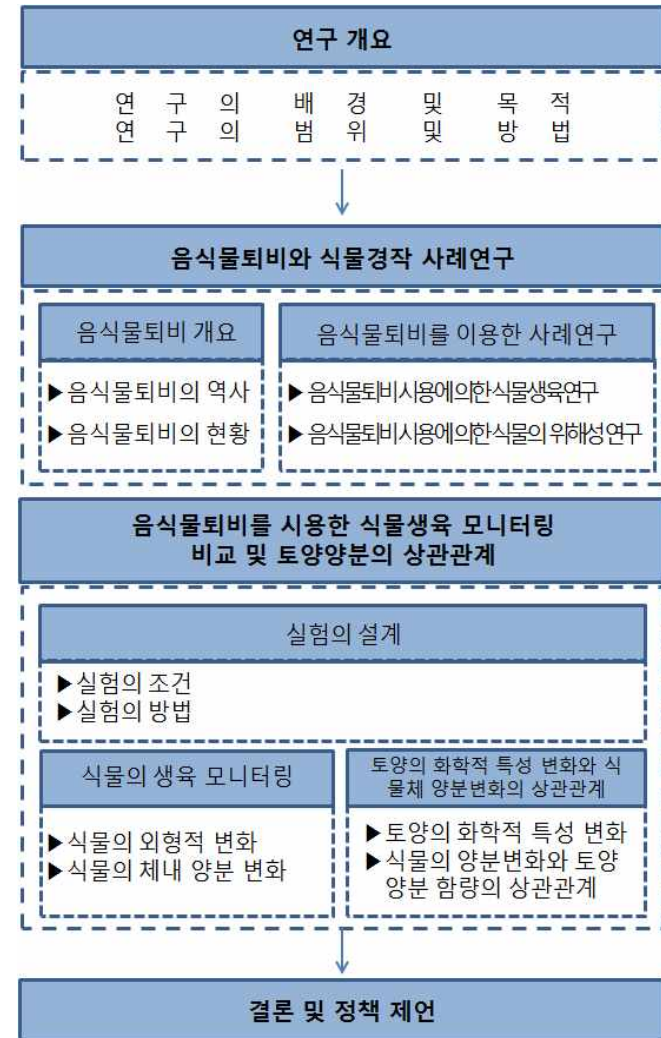
본 연구는 선행 연구 문헌조사와 직접실험을 통하여 연구를 진행하였으며, 식물생육에 대한 음식물퇴비 사용효과를 제시하도록 한다.

구체적으로 본 연구에서는 음식물퇴비의 영향과 효과를 알아내기 위해, 직접 식물체를 재배하여 비교해보고 그 영향을 알아낸다.

다음으로 음식물퇴비 기존의 문제점을 알아내기 위해, 음식물퇴비의 사용에 대한 문헌조사를 토대로 향후 영향에 대해서 분석을 시도한다.

마지막으로 음식물퇴비를 이용한 식물체 재배에서 외형적, 내형적 변화를 분석하여, 식물체생육에 대한 음식물퇴비의 사용효과를 분석한다.

연구 흐름도는 <그림 1-1>과 같다.



<그림 1-1> 연구 수행절차

제 2 장

음식물퇴비와 식물경작 사례연구

제1절 음식물퇴비 개요

제2절 음식물퇴비를 이용한 사례연구

제2장 음식물폐비와 식물경작 사례연구

제1절 음식물폐비 개요

1. 음식물폐비의 역사

1) 폐기물 관리 정책의 변화

우리나라의 폐기물 관리는 1961년 오물청소법을 제정하는 것으로부터 시작하였다. 이것은 쓰레기 및 분뇨를 처리하기 위한 시초로 작용하였다. 1963년 공해방지법상의 산업폐기물 관리가 규정되었으며, 1977년 쓰레기처리를 포함한 환경보전법이 제정되었다.

또한, 1986년 오물청소법과 환경보전법상의 산업폐기물 관리부분을 통합하여 폐기물 관리법을 독립적으로 제정하였다. 이것은 처음으로 법상에 재활용의 개념을 도입한 것이다.

1993년부터는 국가폐기물을 종합적으로 처리 가능한 정책을 추진하였다. 이것은 제1차 국가폐기물처리 종합계획과 제2차 국가폐기물관리 종합계획으로 나뉜다. 1993년부터 2001년까지 이루어진 제1차 국가폐기물처리 종합계획에 따르면 폐기물의 감량화, 자원화를 실천목표로 정하고 있었다.

반면에, 2002년부터 2011년까지 이루어진 제2차 국가폐기물관리 종합계획은 감량화와 자원화 외에 발생량의 최소화와 선진화 추진 등을 실천목표에 추가하여 운영하였다.

<표 2-1> 국가폐기물 관리 종합계획 비교

구분	제1차 국가폐기물처리 종합계획		제2차 국가폐기물관리 종합계획	
기간	1993~2001		2002~2011	
기본방향	폐기물의 감량화, 자원화를 통한 「자원재순환형 사회구조」 구축		「지속가능한 자원순환형 경제사회기반확립」	
실천목표	감량화, 재활용, 안전처리		최소화, 자원화, 안전관리, 선진화 추진, 국제적 동향에 대한 능동적 대응	
감량화 정책 목표	생활폐기물 발생량	생활폐기물 재활용	생활폐기물 발생량	생활폐기물 재활용
	- 1997년까지 19.4% 감량 - 2001년까지 29.1% 감량	- 1997년까지 재활용 비율 20% - 2001년까지 재활용 비율 30%	- 2005년까지 6% 감량 - 2008년까지 9% 감량 - 2011년까지 12% 감량	- 2005년까지 재활용 비율 46% - 2008년까지 재활용 비율 50% - 2011년까지 재활용 비율 53%
	음식물류 폐기물 발생량 및 재활용 목표는 미 제시		음식물류 폐기물 발생량 및 재활용 목표는 미 제시	
음식물류 폐기물 감량 추진대책	<ul style="list-style-type: none"> • 퇴비의무화 추진 • 퇴비화 시설 설치 및 확충 • 소형 퇴비화용기의 보급 및 지원 		<ul style="list-style-type: none"> • 쓰레기 종량제 보완 • 음식물쓰레기 감량화 대책 지속 추진 - 음식물쓰레기 감량화 의무사업장 확대 및 이행률 제고 - 음식물쓰레기용 봉투의 가격체계 개선 추진 - 음식문화개선을 위한 범국민운동 전개 • 음식물쓰레기 처리대책 추진 • 음식물쓰레기 자원화 기술개발 보급 • 음식물쓰레기 자원화제품의 생산 및 유통 활성화 	

자료 : 정승헌(2013), 음식물류 폐기물 자원화 과거, 현재 그리고 미래, 농촌살리기 대토론회 발표자료.

2) 음식물쓰레기 관리 정책의 변화

음식물쓰레기에 대한 정책은 1994년 집단급식소 및 대형음식점의 의무적 퇴비화시설 설치에서부터 기초하였다. 이를 기점으로 1996년에는 「음식물쓰레기 줄이기 종합대책」을 수립하였고, 1998년에는 「음식물쓰레기 감량 및 자원화 기본계획」이 추진되었다. 또한, 2004년에는 「음식물류 폐기물 종합대책」이, 2006년에는 「음식문화 개선 및 음식물류 폐기물 종합대책」이, 2010년에는 「음식물쓰레기 줄이기 종합대책」이 시행되었다.

<표 2-2> 음식물쓰레기 종합대책 변화

구분	음식물쓰레기 줄이기 종합대책	음식물쓰레기 감량·자원화 기본계획	음식물류 폐기물 종합대책	음식문화개선 및 음식물류 폐기물 종합대책	음식물쓰레기 줄이기 종합대책
기간	1996-2001	1998-2002	2004-2007	2006-2010	2010-2013
기본 방향	자원화	자원화	감량화	감량화	감량화
감량화 정책 목표	2001년까지 13,362(톤 알 ¹)	2002년까지 11.5% 감량 2000년까지 12,474(톤 알 ¹) 2002년까지 12,020(톤 알 ¹)	2007년까지 15.3% 감량 2003년까지 11,169(톤 알 ¹) 2005년까지 10,727(톤 알 ¹) 2007년까지 10,302(톤 알 ¹)	2010년까지 5% 감량 2010년까지 13,672(톤 알 ¹)	2012년까지 20% 감량
자원화 정책 목표	음식물류 폐기물 자원화 비율				-
	2001년까지 21% 자원화	2002년까지 50% 자원화	2007년까지 77% 자원화	2010년까지 83% 자원화	

자료 : 정승현(2013), 음식물류 폐기물 자원화 과거, 현재 그리고 미래, 농촌살리기 대토론회 발표자료.

음식물쓰레기는 2002년까지는 자원화를 기본 방향으로 하여 정책을 추진한 것으로 나타났으나, 2004년부터는 감량화에 중점을 맞춰 정책을 추진한 것으로 나타났다.

한편, 음식물쓰레기 정책은 사료 및 퇴비화의 자원화 효율의 감소와 정책적 오류, 법적제재 등에 의해 자원화를 저해하고 있는 것으로 나타났다.

실질적으로 자원화의 효율을 저해시키는 요인은 다음 <표 2-3>과 같다.

<표 2-3> 음식물류 폐기물 자원화의 저해 요인

저해 요인	설명
실질적 자원화율 저조	- 수요처 연계부족으로 시장진입 한계 - 현황에 맞는 정책 부재 - 음폐수 해양배출 - 지방자치단체의 자원화개념 부재 - 지원정책 부재
통계수치 부정확으로 인한 정책 오류	- 음식물류 폐기물에 대한 통계 부정확 - 대량배출사업장에 대한 관리부재
관리주체의 이원화	- 음식물류폐기물 : 환경부(폐기물관리법) - 음식물퇴비, 음식물사료 : 농림축산식품부(사료관리법 비료관리법)
자원화 방법 제한	- 폐기물관리법 시행규칙에 따른 자원화 방법의 지정 및 규격 통제
순수 음식물 쓰레기의 분리배출 미흡	- 종량제 봉투 사용 - 이물질의 다량배출

자료 : 이석길(2013), 음식물류 폐기물의 자원화 현황과 발전방향, 한국음식물류폐기물자원화협회.

음식물쓰레기의 저해 요인을 살펴보면, 실질적 자원화율 저조, 통계수치 부정확, 관리주체 이원화, 자원화 방법 제한, 쓰레기 분리배출 미흡 등인 것으로 나타났다.

특히, 음폐수의 해양배출은 2013년 해양투기가 법적으로 제한되기 전까지 대량의 음식물쓰레기를 저렴한 가격에 처리할 수 있었다. 그 결과 퇴비화, 사료화 등의 자원화보다 음식물쓰레기의 처리효율이 좋아 자원화를 저해시키는 요인으로써 작용되었었다.

또한, 지방자치단체에서는 음식물의 자원화에 대한 개념보다 처리개념을 가지고 있어, 매립, 소각 등으로 처리를 하게 된다. 이것 또한 자원화 시설의 관리, 수요처 확보 등의 문제를 해결하기보다 간편한 방식의 처리를 우선시 하는 형태로 보인다.

정부정책에서의 가장 큰 문제점은 자원화를 하는 지방자치단체에 대한 정부 지원이 부재인 것으로 나타났다. 이것으로 하여금 지방자치단체의 음식물쓰레기 자원화율을 저해시키는 요인으로써 작용한다.

또한, 자원화 이전의 음식물쓰레기는 환경부에서 폐기물로 관리하는 반면, 자원화가 완료되어 퇴비, 사료가 되면 농축산식품부에서 관리를 하게 된다. 이것은 부처간의 업무효율을 저감시키는 원인으로써 작용되고 있어, 음식물쓰레기의 관리주체가 필요한 것으로 나타났다.

한편, 법적인 측면에서는 자원화에 대한 방법과 규격을 통제하고 있어 자원화를 하는 원료와 방법에 대한 관리에 어려움이 따르는 것으로 나타났다. 이외에도 음식물쓰레기 종량제 실시, 음식물쓰레기 분리배출 등 법적으로 제재는 하고 있지만, 실질적인 관리의 부재로 인하여 음식물쓰레기의 자원화를 저해하는 요소로 작용되고 있다.

따라서 음식물쓰레기 자원화를 위해서는 정책 이전에 관리·감독이 우선시 되어야 할 것으로 사료된다.

3) 우리나라 퇴비 문화의 변화

(1) 퇴비 시대¹⁾

우리나라의 퇴비 문화는 과거 유기농업으로 경작을 하던 시절로 거슬러 올라간다. 현대와 같이 유기·무기질 비료와 화학비료와 같은 비료가 생기기전까지 일반적인 가축 및 인분뇨를 원료로 하여, 퇴비나 두엄을 만들어 농사에 활용해 왔다.

조선 후기에 집필된 「임원경제지」를 살펴보면 오줌 웅덩이 만드는 법과 오줌이 오래 썩어야 좋다는 내용을 서술하고 있다. 이것은 과거에 거름에 대한 조상들의 관심과 역사를 알 수 있게 해준다.

한편, 중국의 산둥성 지역에도 우리나라 제주도과 같이 뒷간에서 돼지를 키우던 우리를 볼 수 있다. 이것은 중국에서도 뒷간에서 돼지를 사육함으로써 거름을 얻어 사용했었다는 것을 알 수 있다.



<그림 2-1> 중국 산둥성의 똥돼지 우리와 거름

또한, 돼지를 이용한 거름 외에도 일반 민가의 뒷간(화장실)에서는 인분과 낙엽 등을 섞어 퇴비로 이용하는 등의 역사를 가지고 있다. 이처럼 과거 중국이나 조선시대처럼 우리나라는 거름과 퇴비 등을 민간에서 제작하여 농업에 사용하였다.

1) 문화재청(<http://www.cha.go.kr/>) 자료 인용.

그러나 현대의 퇴비는 가축들에게 항생제로 먹이는 구리성분으로 인하여 가축 분퇴비가 중금속 오염의 원인이 되기도 하는 등의 환경적 문제가 발생하고 있다. 또한, 퇴비로는 충당할 수 없는 다른 양분의 공급을 위해서 화학비료를 이용하여 토양내 과다양분을 불러일으키는 등의 환경문제가 발생하고 있기도 하다.

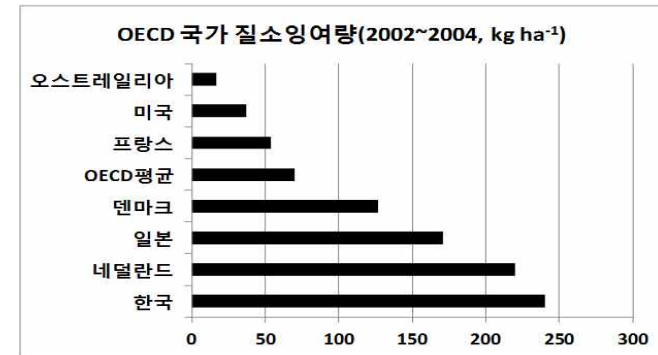
(2) 화학비료 시대²⁾

근대화가 진행되고 식물의 생육과 관련된 연구가 진행됨에 따라서, 시비하는 퇴비의 종류도 다양해 졌다. 유기물과 같이 토양 개량 및 양분을 부여하는 퇴비와 부족한 양분을 채워주기 위한 비료를 토대로 하여, 많은 종류의 비료들이 등장하기 시작한 것이다. 특히, 식물의 생육 및 수량과 양분의 양이 관련되어 있다는 연구결과에 의해서 비료산업은 더욱 크게 발전해 나갔다.

한편, 화학비료는 퇴비와는 다르게 작물에 대한 필요 영양분을 선택적으로 공급해줄 수 있는 장점과 퇴비와 비교하여 소량으로도 많은 영양분을 공급해 줄 수 있다는 장점이 있다.

화학비료는 특히, 산업혁명을 거치면서 화학공업의 발달로 대량생산이 가능하게 되었다. 이때 생산된 화학비료들로 하여금 작물의 수량에서 방대한 차이를 보이기 시작하였다. 그 후로 화학비료는 수량 확대의 큰 영향을 끼치게 되었고, 세계의 기아문제를 해결하고 인구증가에 중대한 영향을 끼쳤다. 이로 인하여 화학비료의 더 많은 발전과 연구를 불러일으키는 계기가 되었다.

또한, 화학비료를 사용하였을 때 작물에 미치는 영향에 대한 연구결과로 작물의 영양가를 높인다는 것과 농산물 생산량의 30~50% 증가에 기인한다는 결과를 보였다. 이것은 화학비료가 식량생산의 질과 양을 상승시켜주는 역할을 하는 것을 보여주는 결과이다.



<그림 2-2> OECD 국가 질소잉여량

자료 : 백종수(2010), 맞춤비료 원년...화학비료 줄이고 흙도 살리고, 농업인신문.

한편, 화학비료 과도한 사용은 환경문제를 유발하게 된다. 대표적인 문제로 는 하천 및 지하수의 부영양화, 토양의 염류집적과 산성화 등이 있다.

특히, 국내처럼 화학비료 사용량이 많을 경우 토양내 질소 잉여량이 높아지게 된다. 이것은 하천 및 지하수로 유입되어 부영양화 염류집적 등의 문제를 발생시키는 원인으로 작용하게 된다.

따라서 화학비료의 경우 농작물의 과도한 수확을 목적으로 하여 시비를 하는 것이 아닌, 질 좋은 작물을 수확하기 위한 자원으로써 이용해야 할 것을 인식하고 있어야 한다.

(3) 폐기물재활용 퇴비 시대

과거의 퇴비나 비료 등은 분뇨, 낙엽, 화학물질 등을 이용하여 생산하였다. 그러나 현대에 들어서는 생활속의 쓰레기를 처리하기 위한 하나의 일환으로 폐기물을 이용한 퇴비생산이 시작되었다.

보통 퇴비생산에서 사용되는 폐기물은 유기성폐기물들로 동·식물성 잔재

2) 서울시립대신문(2009.09.28) '화학비료는 과연 나쁜가?' 재구성.

물, 음식물류 폐기물, 유기성오니, 폐식용유가 속해있다. 이러한 폐기물을 이용하여 생산하는 비료는 ‘부산물비료’로 구분하며, 이것은 부숙유기질비료, 유기질비료, 미생물비료 세 가지로 분류하고 있다. 특히 폐기물을 재활용하여 생산하는 퇴비는 부산물비료 중 부숙유기질비료로 분류된다.



<그림 2-3> 부숙유기질비료 생산

한편, 비료관리법에 의하면 부숙유기질비료는 동 고시 제2조 제2항 제1호의 항목에서 “부숙유기질비료는 농·림·축·수산업 및 제조·판매업과정에서 발생하는 부산물, 인분뇨 또는 음식물류폐기물을 원료로 하여 부숙과정을 통하여 제조한 비료로 별표 5에서 정하는 원료의의 보통비료를 첨가하여서는 아니 된다.”고 규정하고 있다.

부숙유기질비료는 유기성폐기물 외에도 폐목재와 임목폐기물, 유기성오니, 왕겨 등도 퇴비의 원료로서 사용할 수 있다. 이때 유기성오니와 같은 물질은 퇴비와 같이 고화처리물로 재활용을 하면 환경분야 시험·검사 등에 관한 법률에 따라 토양오염물질에 관한 공정시험에 맞게 생산해서 사용해야한다.

특히, 이번 연구에서 사용된 음식물퇴비는 유기성폐기물을 재활용하여 생산한 부숙유기질비료로서 분류된다. 음식물퇴비의 경우 음식물쓰레기를 원료로 하여 수분조절제인 톱밥과 혼합하여 부숙을 시켜 사용하는 퇴비로서 유기물함

량과 다량의 영양분을 함유하고 있는 퇴비이기도 하다.



<그림 2-4> 음식물퇴비

그러나 음식물퇴비의 가장 큰 문제점은 원료 특성에 의한 수분조절 실패와 과다한 염류로 인하여 발생하는 환경문제다. 이것은 과거 토양내 염류집적, 수량감소, 악취 등의 문제를 일으켜, 아직까지 농민들에게 선입견을 갖고 있는 퇴비로 남아있다.

또한, 음식물퇴비의 경우 지자체에서 관리하는 생산업체가 아닌 개인이 생산하는 업체의 경우가 있다. 그 결과 표면적인 부분만 관리를 하여 질 낮은 퇴비를 생산하여, 폐기물로 처리를 하거나 소각재로 처분하는 실정이다.

한편, 음식물퇴비는 계절, 지역 등에 따라서 원료가 달라지게 되며, 그 결과 음식물퇴비의 성상차이가 발생하게 된다. 이로 인하여 각 생산지역마다의 성분 차이가 생기게 되며, 결과적으로 음식물퇴비의 성분때 따른 적정 시비량이 달라져, 일반적인 퇴비를 시비하듯이 사용하면 환경문제를 초래할 가능성이 남아 있다.

이러한 가운데 폐기물재활용 퇴비는 환경을 위해서 자원순환의 일환으로 생산을 하고 있지만, 관리·감독이 제대로 되지 않은 상태에서는 그 효과가 미비한 것으로 보인다. 따라서 폐기물재활용 퇴비를 활성화하기 위해서는 생산에 대한 연구보다는 관리·감독에 대한 연구가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

2. 음식물퇴비의 현황

○ 음식물쓰레기 발생량 및 퇴비화 현황

음식물퇴비는 음식물쓰레기를 원료로 생산한다. 우리나라의 음식물쓰레기 발생량은 전체 쓰레기발생량의 28% 이상을 차지하고 있으며, 2012년 기준으로 일평균 13,208.6 톤으로 연간 약 500만 톤이 발생하는 것으로 조사되었다.

<표 2-4> 연도별 음식물쓰레기 발생량 [단위 : 톤 일⁻¹]

구분	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
서울	3,273.2	3,352.2	3,583.5	3,447.4	3,393.1	3,412	3,318.7
부산	855.6	841.1	997.4	814.2	775.1	774.3	777.7
대구	775.9	766.3	762.9	734.1	631.2	611	595.2
인천	644.1	738.4	720.9	711.4	690.9	684.8	692.8
광주	447.8	483.9	543.8	487.3	477.2	472.4	444.6
대전	397.6	507.1	567.6	509.7	492.7	509.9	437
울산	286.4	344.7	311.7	308.8	314.7	327.4	331.9
세종	-	-	-	-	-	-	23.3
경기	2,994.3	3,175.1	3,238.1	3,106.9	3,007.9	2,929.2	2,937.9
강원	375.1	476.8	487.8	377.5	330	308.5	306.3
충북	385.7	373.8	403.4	349.9	434.8	356.7	328.9
충남	434.2	556.8	586.3	475.6	456.2	546.8	481.6
전북	561.6	594.8	662.9	612.5	592.2	599	527.3
전남	328.8	519.2	521.4	434.3	409.1	401.1	399.5
경북	562.2	622.1	653.9	642	611.1	578.9	570.9
경남	857.3	911.5	907.7	895.8	859.3	817.5	822.5
제주	172.4	188.2	192.8	210.9	195.8	207.8	212.5
총계	13,372.3	14,452	15,142.1	14,118.3	13,671.3	13,537.3	13,208.6

자료 : 전국 폐기물 발생 및 처리현황(2007~2013), 환경부, 한국환경공단.

한편, 대전광역시에서 발생하는 음식물쓰레기의 양은 2012년 기준으로 일평균 437.0톤으로 전체 음식물쓰레기 발생량의 3.3%로 집계되었다. 이것은 전국에서 7번째로 적게 배출하는 것으로 나타났다. 특히, 2006년에서 2007년 사이 급격하게 증가하였으며, 2009년 이후부터 일일 약 500톤 안팎으로 유지되고 있다.

2011년 기준으로 전국의 음식물 자원화시설에 일간 반입되는 음식물쓰레기는 12,905톤으로 나타났으며, 이때 사료화는 46.4%, 퇴비화는 38.7%, 기타 10.2%, 매립 1.2%, 소각 3.4%인 것으로 나타났다.

<표 2-5> 2011년 음식물쓰레기 재활용 현황 [단위 : 톤 일⁻¹]

재활용방법	재활용				매립	소각
	계	사료화	퇴비화	기타		
재활용 양	12,905	6,291	5,237	1,377	167	465
비율 (%)	95.3	46.4	38.7	10.2	1.2	3.4

자료 : 이설길(2013), 음식물류 폐기물의 자원화 현황과 발전방향, 한국음식물류폐기물자원화협회.

한편, 음식물쓰레기 자원화 시설에서 발생하는 폐기물은 소각, 매립, 해양투기 등을 통해서 처리해 왔다. 그러나 2013년부터 유기성폐기물의 해양투기가 금지됨에 따라서 육상처리의 비중이 높아지고 있다.

특히, 음식물쓰레기의 특성상 고형분 20%와 액상 80%로 되어있으며, 퇴비화 과정 중에 음폐수가 발생하게 된다. 이때 발생하는 음폐수도 해양투기 금지항목으로 액비로 전환하여 농업에 이용하려는 움직임도 보이고 있다.

○ 음식물 자원화 시설 현황

국내의 음식물 자원화 시설은 2011년 12월 31일 기준으로 총 공공 103개소, 민간 157개소인 것으로 조사되었다.³⁾

특히, 자원화 시설 중에서는 사료화가 131곳, 퇴비화가 97곳, 기타 38곳으로 나타났다. 기타에는 음식물쓰레기를 이용하여 소각, 파쇄, 매립, 에너지 화 등 여러 방면에서 음식물쓰레기를 처리하고 있는 것으로 나타났다.

한편, 대전광역시에는 퇴비화가 1곳, 사료화 2곳, 기타 2곳이 있는 것으로 나타났다. 이 중 대전광역시의 음식물류 폐기물의 퇴비화 시설은 유성구에 있는 금고동 매립지의 음식물쓰레기 퇴비화 시설인 것으로 조사되었다.

이것은 1일 100톤의 음식물쓰레기를 처리할 수 있는 용량이며, 2012년 25,430톤을 처리한 것으로 나타났다.

그러나 이런 퇴비화 시설은 협작물, 뼈, 이물질 등으로 인하여 잦은 고장이 발생하여, 유지, 관리가 어려운 것으로 나타났다. 또한 자원화의 원료인 음식물쓰레기의 특성상 악취와 미관상의 이유로 자원화 시설의 설치에 있어서 님비현상이 발생하기도 한다.

한편, 대전광역시의 음식물류 폐기물의 자원화 실태는 전국적으로 봤을 때, 시설의 용량으로는 퇴비화는 첫 번째, 사료화는 6번째, 기타는 7번째로 적은 것으로 나타났다.

3) 음식물류폐기물 자원화 시설에는 퇴비화, 사료화, 소각, 매립, 파쇄, 바이오가스 등을 생산하는 것으로 나타났으며, 소각, 매립, 파쇄, 바이오가스 등은 기타 자원화 시설로 통합하여 집계하고 있다.

<표 2-6> 전국 음식물류폐기물 자원화 시설 현황(공공, 민간 통합)⁴⁾

구분	퇴비화			사료화			기타		
	시설수 (개소)	시설용량 (톤 일 ³)	처리량 (톤 일 ³)	시설수 (개소)	시설용량 (톤 일 ³)	처리량 (톤 일 ³)	시설수 (개소)	시설용량 (톤 일 ³)	처리량 (톤 일 ³)
서울	0	0	0	3	840	545	1	98	83
부산	2	410	244	3	510	350	4	484	311
대구	0	0	0	2	110	95	1	200	194
인천	6	598	407	6	345	306	0	0	0
광주	0	0	0	2	400	451	0	0	0
대전	1	100	98	2	330	297	2	78	13
울산	4	240	142	0	0	0	2	220	177
경기	27	2,090	1,398	69	3,977	2,314	8	730	751
강원	10	230	147	3	140	104	1	20	24
충북	3	250	257	5	644	492	2	7	6
충남	9	383	295	9	838	600	1	3	3
전북	8	487	307	1	60	21	2	305	234
전남	10	608	369	2	198	143	3	16	10
경북	5	248	173	18	1,461	818	5	60	40
경남	9	546	425	6	455	388	6	222	135
제주	3	156	163	0	0	0	0	0	0
총계	97	6,346	4,425	131	10,308	6,924	38	2,443	1,981

자료 : 2011년말기준 음식물류폐기물 처리시설 운영현황(2011), 환경부.

4) 음식물류폐기물 시설을 나눌 때, 시설 종류를 기준으로 집계하였다. 이때 사료와 퇴비, 기타 등 2개 이상 동시에 생산되어지는 시설은 중복 집계하여 재구성 하였다. 또한, 에너지화는 기타에 포함하였다.

제2절 음식물퇴비를 이용한 사례연구

과거 음식물퇴비를 사용한 논 또는 밭에서 경작한 식물의 생육에 관한 연구가 진행된 바 있다. 이것은 음식물퇴비를 사용했을 때의 생육, 수량, 염분흡수 등에 관한 연구가 진행되었다. 그러나 음식물퇴비를 이용했을 때 발생할 수 있는 식물체 내의 영양성분 차이나 중금속 등으로 인한 식물체의 위해성에 관한 연구는 많이 알려지지 않았다.

한편, 본 연구의 실험에 앞서서 과거 음식물퇴비를 사용한 경작지에서 식물 생육에 관련한 연구들의 선례를 살펴보았다.

1. 음식물퇴비 시용에 의한 식물생육연구⁵⁾

□ 음식물퇴비를 시용한 경작지에서의 생육연구

○ 음식물쓰레기퇴비 사용에 따른 고추생육에 미치는 영향

유영석 외(2001)에 따르면, 음식물쓰레기퇴비와 돈분퇴비, 무처리구를 나누어 고추생육에 대한 비교평가 연구를 실시하였다. 이때 음식물쓰레기퇴비는 동일 면적당 시비량을 달리하여 구분하였다.

그 결과, 음식물쓰레기퇴비를 시용한 모든 경작구에서 돈분퇴비를 시용한 경작구보다 식물생육이 열세한 것으로 나타났다. 특히, 음식물쓰레기퇴비의 시용량이 증가하면 그 정도가 더 심한 것으로 나타났다. 그러나 실험구에서의 생육은 시간이 경과할수록 생육차이가 점점 회복되는 것으로 나타났다.

5) 식물생육연구란, 음식물퇴비를 사용하였을 때, 나타나는 일반적인 생육변화, 수량변화 등의 물리적 특성에 대한 것으로 분류하였다.

<표 2-7> 음식물퇴비 처리구별 고추의 생육 비교

구분	높이 (cm)			굵기 (mm)		
	6/13	7/19	8/19	6/13	7/19	8/19
무처리	44	68	72	6.4	11	12
돈분퇴비	49	92	122	6.9	13	15
음식물퇴비 (20ton ha ⁻¹)	44	78	116	6.1	13	14
음식물퇴비 (40ton ha ⁻¹)	40	78	111	5.5	11	12
음식물퇴비 (60ton ha ⁻¹)	35	72	105	4.8	10	11
음식물퇴비 (80ton ha ⁻¹)	35	70	102	4.8	10	11

자료 : 유영석 외(2001), 남은음식물쓰레기퇴비 사용에 따른 토양의 이화학적 변화와 고추생육에 미치는 영향.

한편, 식물의 수확량적인 측면에서는 음식물쓰레기퇴비의 시용량이 증가할수록 붉은 고추의 생중량은 감소하였지만, 붉은 고추의 수는 상대적으로 대조구보다 많은 것으로 나타났다. 생중량의 감소는 음식물쓰레기퇴비의 미부숙 및 과량 시용에 따른 초기 생육저해에 의한 결과로 예측하고 있으며, 음식물쓰레기퇴비의 영향은 고추의 수보다는 크기에 더 영향을 미치는 것으로 판단하고 있다.

<표 2-8> 음식물퇴비 처리구별 고추의 수확량 비교

구분	수확량	생체 수확량		생중량	건중량	건중량/ 생중량
	ea 30m ⁻²	kg 30m ⁻²	차이*	g ea ⁻¹		
무처리	3009	28.8	44.2	9.6	1.84	19.2
돈분퇴비	4862	65.2	100	13.4	2.24	16.7
음식물퇴비 (20ton ha ⁻¹)	5122	63.2	96.9	12.3	2.06	16.7
음식물퇴비 (40ton ha ⁻¹)	5072	59.5	91.3	11.7	1.99	17.0
음식물퇴비 (60ton ha ⁻¹)	3910	44.3	67.9	11.3	1.87	16.5
음식물퇴비 (80ton ha ⁻¹)	3369	34.8	53.4	10.3	1.79	17.3

* 차이란, 돈분퇴비를 기준으로 하여 수확한 양의 차이를 나타낸 것이다.
 자료 : 유영석 외(2001), 남은음식물쓰레기퇴비 사용에 따른 토양의 이화학성 변화와 고추생육에 미치는 영향.

결과적으로 실험구에서는 식물의 생육 초기 대조구와 차이가 두드러지게 나타났으나, 생육 후기에는 그 점도가 많이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 음식물쓰레기퇴비의 사용량이 증가할수록 대조구에 비해 수확한 개수에서는 많았지만, 생중량은 감소한 것으로 나타났다.

이것은 음식물쓰레기퇴비를 사용했을 때, 초기의 생육저해를 일으키지 않을 정도의 양을 시비한다면, 일반적인 퇴비와의 차이를 보이지 않을 것으로 예측된다.

○ 음식물퇴비의 배지첨가에 따른 영지버섯의 자실체 수율 평가

조은영(2011)에 따르면, 버섯배지의 원재료 값이 증가함에 따라서 그 대체품을 음식물퇴비로 이용하였으며, 그 때의 영지버섯의 성장 및 생산성을 비교한 연구를 진행하였다.

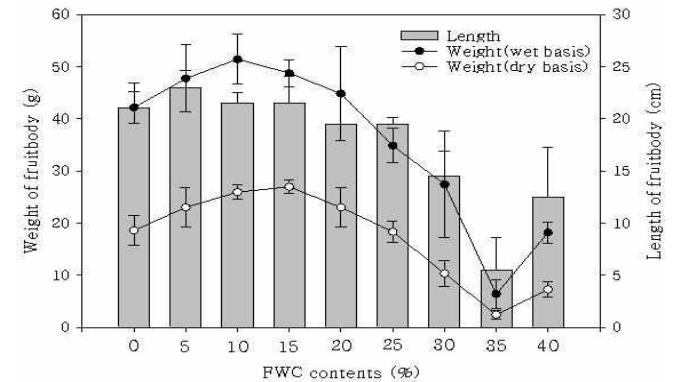
그 결과, 음식물퇴비를 첨가한 배지에서 균사생장속도가 가장 높게 나타났으며, 건조물 중량도 가장 높은 것으로 나타났다. 그러나 이것은 배지의 15%가 음식물퇴비로 이루어진 배지에만 해당하며, 음식물퇴비의 농도가 30%이상

에서는 확연한 저해가 일어나는 것으로 나타났다.

<표 2-9> 음식물퇴비를 첨가한 배지에서의 균사 성장속도

구분	균사 성장속도(cm 30days ⁻¹)
무처리	15.8±1.7
음식물퇴비 5%	16.0±2.0
음식물퇴비 10%	15.4±1.7
음식물퇴비 15%	14.3±3.7
음식물퇴비 20%	14.3±3.8
음식물퇴비 25%	12.2±2.2
음식물퇴비 30%	11.9±1.6
음식물퇴비 35%	10.8±1.6
음식물퇴비 40%	11.3±2.6

자료 : 조은영(2011), 음식물 퇴비의 배지첨가에 따른 녹각영지버섯 자실체 수율 평가.



<그림 2-5> 음식물퇴비를 첨가한 배지에서의 수량과 무게
 자료 : 조은영(2011), 음식물 퇴비의 배지첨가에 따른 녹각영지버섯 자실체 수율 평가.

결과적으로 음식물퇴비를 첨가한 배지를 이용하였을 때, 적당한 양의 음식물 퇴비는 영지버섯의 성장속도와 수확량의 증대 효과가 있을 것으로 기대되었다. 그러나 이때, 중요한 것은 음식물퇴비의 첨가 농도로 나타났으며, 이것은 20%까지는 편차범위 내에서 비슷한 것으로 나타났다. 따라서 음식물퇴비를 버섯의 생산에 이용하면 원가절감 및 소득 증대 효과가 있을 것으로 예측하고 있다.

○ 음식쓰레기 퇴비가 감나무 작황에 미치는 영향

박재경(2007)에 따르면, 음식물쓰레기퇴비와 우분퇴비를 이용한 감나무의 작황에서 감의 경도, 당도 등을 비교한 연구를 진행하였다.

<표 2-10> 음식물쓰레기퇴비를 이용하였을 때의 경도와 당도 변화

품종	처리구분	경도 (kg cm ²)	당도 (°Brix)
상주등시	우분퇴비	3.5±0.11	19.6±0.07
	음식물쓰레기	3.7±0.05	19.7±0.11
	음식물쓰레기퇴비	3.8±0.08	20.0±0.04

자료 : 박재경(2007), 음식쓰레기 퇴비가 감나무 작황에 미치는 영향.

그 결과 상주등시의 품종에서는 우분퇴비에 비하여 음식물쓰레기와 음식물 쓰레기퇴비의 경우 경도가 증가하는 경향을 나타냈다.

또한, 당도의 경우 상주등시는 음식물쓰레기퇴비를 사용하였을 경우 우분퇴비보다 평균 0.4 Brix가 높은 것으로 나타나 당도의 증가에도 영향을 끼치는 것으로 판단된다.

결과적으로 음식물쓰레기퇴비를 사용하여 감나무의 작황에 미치는 영향에서는 물리적 성질이 좋아지고, 당도가 높아지는 것으로 나타났다.

한편, 이것은 음식물퇴비를 이용하였을 때, 과일과 같은 당도를 가진 열매에 있어서 당도 상승의 효과가 있을 것으로 예상되는 결과이다.

○ 음식물퇴비의 작물에 대한 상추의 생육 및 안정성 평가

채명진(2006)에 따르면, 일반적인 N, P, K의 비료를 사용한 후, 추가적으로 돈분퇴비와 음식물퇴비를 사용하였을 때, 상추의 생육과 수량에 대한 연구를 진행하였다.

그 결과, 음식물퇴비를 사용한 경작지의 상추는 수확량에서 무처리구보다 좋았으며, 돈분퇴비와는 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 또한, 생육차이에서도 수확량과 같은 경향을 보이는 것으로 나타났다.

<표 2-11> 음식물퇴비 처리구별 상추의 수량 차이

구분	생체중		건체중	
	g ea ⁻¹	차이	g ea ⁻¹	차이
무처리	104.1	100	34.3	100
돈분퇴비	109.0	105	35.9	105
음식물퇴비 (10a당 2ton)	108.6	104	35.8	105
음식물퇴비 (10a당 4ton)	110.2	106	36.4	106

자료 : 채명진(2006), 도시 음식물 자원화 시설에서 생산된 발효 부산물 퇴비의 작물에 대한 안정성 및 비효평가.

<표 2-12> 음식물퇴비 처리구별 상추의 생육 차이

구분	앞의 길이 (cm)	앞의 폭 (cm)	앞의 갯수 (장)
무처리	19.8	10.7	17.0
돈분퇴비	20.6	11.1	17.1
음식물퇴비 (10a당 2ton)	20.4	11.2	17.2
음식물퇴비 (10a당 4ton)	21.2	12.1	17.8

자료 : 채명진(2006), 도시 음식물 자원화 시설에서 생산된 발효 부산물 퇴비의 작물에 대한 안정성 및 비효평가.

결과적으로 음식물퇴비를 시용하였을 때, 식물생육과 수확량에서는 무처리 구보다 좋으며, 돈분퇴비와는 비슷한 것으로 나타났다. 따라서 음식물퇴비는 일반적인 돈분퇴비의 대체품으로써 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

○ 음식물퇴비 사용이 열무 성장에 미치는 영향

김용성(2007)에 따르면, 음식물퇴비와 계분퇴비를 사용하였을 때, 열무의 성장특징과 생리적 특징에 대한 연구를 진행하였다.

그 결과, 잎의 길이, 잎의 수, 잎의 무게, 열무의 무게에서는 생육초기 음식물퇴비를 시용한 구역에서 계분퇴비를 시용한 구간보다 저조한 것으로 나타났다. 그러나 생육후기에 큰 차이가 나지 않은 것으로 나타났으며, 그 격차는 점점 감소하는 것으로 나타났다.

한편, 음식물퇴비의 시비량이 6 kg m⁻²에서 생육이 가장 좋은 것으로 나타났으며, 9 kg m⁻²를 시비한 구간에서는 수확량, 생육이 저조해지는 것으로 나타났다.

계분퇴비와 비교하였을 때는 9 kg m⁻²에서 생육이 가장 좋은 것으로 나타났다. 이것은 음식물퇴비가 계분퇴비보다 적은 양으로 비슷한 수준의 수확량을 얻을 수 있을 것으로 예상되는 결과이다.

결과적으로 음식물퇴비는 계분퇴비와 비교하였을 때, 적절한 시비량을 맞추면 생육이 좋은 것으로 나타났으며, 더 적은 시비량으로 비슷한 생육효과를 나타내 경제적으로도 더 좋을 것으로 판단된다.

<표 2-13> 음식물퇴비 처리구별 열무의 생육 차이

구분	측정 시기						
	11일	16일	25일	32일	39일	46일	60일
	잎의 길이 (cm)						
FC3	5.85	9.65	17.85	25.33	25.17	25.08	32.42
FC6	5.45	7.97	19.12	28.08	26.33	37.62	42.67
FC9	4.95	7.67	19.43	25.83	29.42	32.75	44.92
PC1	5.77	8.13	19.38	25.92	26.83	30.75	38.17
PC2	5.47	9.72	18.78	21.75	26.17	26.42	35.83
PC3	5.27	7.73	16.78	25.83	29.00	34.58	49.33
NA	5.52	11.12	21.73	27.50	29.17	37.33	38.58
	잎의 개수 (장)						
FC3	2.3	3.7	6.3	11.7	9.7	11.0	12.7
FC6	2.2	3.0	6.5	11.2	11.5	12.7	16.8
FC9	1.7	3.0	8.0	8.8	10.3	12.7	14.3
PC1	2.8	3.5	6.3	10.2	11.2	11.0	13.8
PC2	2.3	3.5	9.0	9.8	12.3	10.3	11.5
PC3	2.7	2.7	7.0	11.2	13.3	12.5	17.7
NA	2.0	4.0	7.0	11.7	11.3	15.0	14.8
	잎의 무게 (생중량 : g)						
FC3	0.47	2.69	13.69	44.95	35.26	68.48	152.86
FC6	0.53	2.27	19.46	56.67	83.92	109.39	264.62
FC9	0.52	1.66	-	37.97	75.75	99.83	229.49
PC1	0.42	2.22	11.14	56.14	62.99	62.77	127.40
PC2	0.43	2.49	19.21	37.59	54.40	71.37	135.13
PC3	0.33	1.77	12.91	58.94	80.01	131.14	264.23
NA	0.40	2.84	19.57	54.82	71.48	161.20	208.41
	열매의 무게 (생중량 : g)						
FC3	0.02	0.07	0.73	8.81	9.39	49.08	61.90
FC6	0.02	0.07	1.57	7.61	33.44	61.42	354.51
FC9	0.02	0.02	-	3.43	21.84	36.06	152.83
PC1	0.01	0.03	0.53	15.58	37.89	45.84	200.09
PC2	0.01	0.03	1.40	6.14	17.43	47.29	178.03
PC3	0.01	0.02	2.47	11.04	34.21	112.61	307.20
NA	0.01	0.01	1.66	8.18	32.97	85.20	264.75

자료 : 김용성(2007), 음식물류폐기물 퇴비와 계분퇴비 시용이 열무 성장과 토양이화학성에 미치는 영향.

□ 음식물쓰레기퇴비를 연용한 경작지에서의 생육연구

○ 음식물쓰레기퇴비 연용이 밭작물에 미치는 영향

권순익(2009)에 따르면, 음식물쓰레기퇴비와 화학비료를 연용하여 상추, 배추, 고추, 감자를 연속하여 재배 실험을 진행하였다.

그 결과, 상추에서는 화학비료만 시용한 구보다 개체의 무게 및 수확량이 높게 나타났다. 그러나 과거 화학비료와 음식물쓰레기퇴비를 표준시비량의 2배를 처리하였을 때, 음식물쓰레기퇴비 처리구에서 화학비료 처리구보다 7.7%의 증수만이 일어났다. 반면에 연작에서는 52~113%가 증수되는 결과를 보여 퇴비의 시용 효과가 즉시 나타나기 보다는 토양내에서 유기물의 분해과정을 거쳐 서서히 나타나는 것으로 예측하고 있다.

이 외에도 배추, 고추에서는 화학비료만을 시비한 처리구보다는 증수율이 좋은 것으로 나타났다. 그러나 고추에서는 시비량이 증가할수록 오히려 증수율이 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 감자에서는 줄기생육은 저조한 것으로 나타났으나, 열매의 수확량에서는 다른 퇴비시용 및 화학비료 시용에 비해서는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

결과적으로 음식물쓰레기퇴비를 연용하였을 때, 무처리구 또는 화학비료보다는 수확량이 증수되는 효과가 나타났으며, 돈분퇴비와는 비슷한 경향을 나타냈다.

한편, 고추와 같은 염에 약한 작물의 경우 음식물쓰레기퇴비를 연용에서는 문제가 없으나, 다량 시용한 경우에는 오히려 증수율이 떨어지는 것으로 나타나 퇴비의 시용량을 적절하게 조절하는 것이 관건인 것으로 판단된다.

○ 음식물퇴비 연용에 따른 고추의 수량에 미치는 영향

유영석(2002)에 따르면, 음식물퇴비와 돈분퇴비를 연용하였을 때, 작물생육과 수확량에 대한 연구를 진행하였다.

그 결과 작물생육은 퇴비의 시용량이 많은 처리구에서 생육기간 전반에 걸쳐서 돈분퇴비보다 저조한 것으로 나타났다. 이것은 1차 연도에 비해 나쁜 상

태는 아닌 것으로 나타났으나, 수확량에서는 돈분퇴비에 비해 상대 수확비율에서 더 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다.

특히, 연용에 있어서 음식물퇴비의 시용량이 10a당 2ton 이상일 경우에는 수확량, 식물생육에서는 좋지 못할 것으로 예상하고 있다.

□ 소결

음식물퇴비를 이용한 식물의 생육에서는 화학비료만을 사용한 곳 보다는 단 일처리 또는 혼합 처리한 곳에서 더 좋은 것으로 나타났다. 또한, 돈분퇴비와 비교하였을 때는 생육과 수확량에서의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

한편, 음식물퇴비를 연용하였을 때는 음식물퇴비의 시용량에 따라 다른 경향을 나타내었다. 이것은 시용량이 일정 수준 이상으로 증가하면, 식물의 생육 및 수확량이 저조해지는 것으로 나타났다.

결론적으로 음식물퇴비의 시용량을 적정량으로 맞춘다면 일반적인 퇴비나 화학비료보다 식물의 생육이 좋을 것으로 판단되며, 수확량 또한 증가할 것으로 보인다. 또한, 염에 약한 작물인 고추와 같은 경우 일반적인 시비량보다 적게 시비하는 것이 좋을 것으로 예상된다.

2. 음식물퇴비 시용에 의한 식물의 위해성 연구⁶⁾

음식물퇴비를 이용한 선행 연구에 있어서 작물의 위해성과 관련한 연구는 많지 않다. 특히, 식물체내의 양분변화에 대해서는 여러 선행 연구가 있었으나, 음식물퇴비에 의한 중금속 집적에 관한 연구는 거의 알려지지 않았다.

본 연구의 실험에 앞서 음식물퇴비를 시용하였을 때, 식물체 내에서의 양분 변화와 염류 및 중금속 집적 등의 위해성과 관련한 선행 연구에 대해서 조사

6) 위해성 연구란, 음식물퇴비를 사용하였을 때, 나타나는 식물체내의 양분변화와 같은 화학적 특성 변화와 염류 및 중금속류 집적 등에 의한 식물체에 대한 위해성에 대해서 분류하였다.

하였다. 또한, 음식물퇴비의 문제점인 NaCl에 의해 발생할 수 있는 식물체의 생리적 장애에 대해서 조사하였다.

1) 음식물퇴비에 의한 식물체내의 양분변화

○ 음식물쓰레기퇴비 시용이 벼의 체내 양이온 균형에 미치는 영향

이상은(2000)에 따르면, 담수조건인 논에서 음식물쓰레기퇴비와 돈분퇴비, 화학비료(N, P, K)를 나누고, 화학비료 구간에 NaCl을 처리량에 따라 나누어 양분변화를 연구하였다.

그 결과, 음식물쓰레기퇴비 처리구(40ton ha⁻¹), 화학비료+NaCl 900kg ha⁻¹, 음식물쓰레기퇴비 처리구(20ton ha⁻¹)의 순으로 뿌리의 활착기간에 심한 위조현상을 보이는 것으로 나타났다.

또한, NaCl의 처리구가 높아질수록 수확기에 식물체 중 Na함량이 직선적으로 높아지는 것으로 나타되며, NaCl처리구와 음식물쓰레기퇴비 처리구에서 Na의 이용률이 12~22%인 것으로 나타났다. 또한, Na에 의해서 식물체 내의 K의 함량이 적어지는 것으로 나타났다.

결과적으로 음식물쓰레기퇴비를 시용하였을 때, 음식물쓰레기퇴비 내에 염분함량(NaCl)의 함량이 높아질수록 식물체내의 Na함량이 높아지게 된다. 또한, Na의 함량이 높아지는 것에 따라서 K의 함량이 감소하는 것으로 나타났다.

이것은 Na에 의한 이온들의 양분경쟁이 일어난 것으로 판단되며, 높은 염도에 있어서는 식물의 생육과 생리에 영향이 있을 것으로 판단된다.

○ 한약탕제찌꺼기발효퇴비가 복분자과실의 이화학적 특성에 미치는 영향

김재영(2011)에 따르면, 한약탕제찌꺼기 발효퇴비(이하 발효퇴비)와 계분퇴비를 이용하여 복분자나무에 시비하였다. 이때 발생한 복분자 내의 일반성분과 당, 산도 등에 대해서 비교 연구를 진행하였다.

그 결과, 복분자 내의 조단백질, 조지방 등의 일반성분은 무처리구와 비교하여 발효퇴비와 계분퇴비 모두에서 증가하는 경향으로 나타났으며, 증가한 양에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

또한, 총 당 함량에서는 무처리구에 비하여 발효퇴비 처리구에서 크게 증가한 것으로 나타났으며, 유리당 중에서 fructose와 glucose함량은 계분퇴비와 발효퇴비+계분퇴비 처리구보다 약간 증가하는 경향으로 나타났다.

이 외에도 유기산에서는 발효퇴비와 계분퇴비 처리구에서 증가하는 경향으로 나타났다.

결과적으로 음식물쓰레기퇴비의 다른 형태로 볼 수 있는 발효퇴비의 경우는 복분자에서 당 함량, 유리당 및 유기산의 함량을 증가시켜 과실의 품질향상에 효과가 있는 퇴비자원으로 이용할 수 있을 것으로 예측하고 있다.

그러나 발효퇴비는 음식물쓰레기와 다르게 염분의 함량이 낮을 것으로 예측되어, 사용하였을 때 음식물퇴비와 같은 염분 문제는 적을 것으로 판단된다. 즉, 음식물퇴비를 발효퇴비와 비교하였을 때, 기본적인 성장차이에 의해서 좋은 영향을 미칠 수 있다고 판단하는 지표로는 사용하기 어려울 것으로 판단된다.

○ 음식물쓰레기퇴비의 시용에 따른 작물체내 염류의 흡수

이상석(1998)에 따르면, 음식물쓰레기퇴비를 이용하여 열무와 상추의 뿌리 및 잎에서 염류의 흡수에 대한 연구를 진행하였다.

그 결과, Na는 퇴비 시비량의 증가에 따라서 열무의 잎과 열매, 상추의 잎에서 흡수량이 증가하는 것으로 나타났다. 또한, Na함량이 증가하게 되면 식물의 생육저해가 일어나는 것으로 나타났다.

반면에 K는 퇴비의 시비량이 증가함에 따라서 나타나는 변화가 적은 것으로 나타났다. 이것은 K와 Na와의 길항작용으로 Na의 함량이 높을 경우 K보다 식물체에 흡수되는 양이 많아지기 때문이다.

Ca의 함량 또한 Na의 함량과 길항작용으로 인해서 음식물퇴비의 시비량이

증가할수록 흡수량이 감소하는 것으로 나타났다.

한편, Mg는 Na의 농도가 높을 경우 상호작용⁷⁾에 의해서 식물체로 흡수되는 Mg의 양이 높아질 것으로 예측했으나, 음식물퇴비의 시비량이 증가함에 따라 별다른 경향이 없는 것으로 나타났다.

결과적으로 음식물퇴비를 시용함에 따라서, 그 양이 증가될수록 식물체 내의 Na 함량은 증가하게 되며, 다른 원소에 대해서는 작물의 종류에 따라 다른 양상을 보이는 것으로 나타났다.

2) 음식물퇴비에 의한 식물체에 대한 위해성

음식물퇴비에 의한 식물체의 위해성은 생육연구와 다르게, 음식물퇴비 또는 양분에 의한 체내 염류증가로 인한 생리장해, 중금속 집적 등의 직간접적 영향에 대한 것으로 구분하여 선행 연구를 조사하였다.

○ 음식물쓰레기퇴비의 염분농도가 식물성장에 미치는 영향

배재근(2002)에 따르면, 음식물쓰레기퇴비를 이용하여 염분의 농도를 0.5%에서부터 3%까지 조절하여 만들었으며, 이것을 이용하여 식물을 재배한 후 식물 성장에 대한 연구를 진행하였다.

그 결과, 음식물쓰레기퇴비의 염분농도가 0.8%를 초과하게 된 경우 종자의 발아가 거의 일어나지 않는 것으로 나타났다. 또한, 식물의 성장률에서는 염분 농도가 3%에서 까지는 큰 영향이 없었으나, 6%이상에서부터 그 영향력이 증가하는 것으로 나타났다.

결과적으로 음식물퇴비의 염분농도가 증가할수록 종자의 발아율이 감소하게 되고, 식물의 생육이 저해되는 것으로 나타났다. 따라서 음식물퇴비를 이용한 식물에 생육에 있어서 염분의 농도가 중요하게 작용할 것으로 판단된다.

7) 상호작용이란 근권 내 여러 가지 이온이 공존하는 경우 상대 이온의 흡수를 조장하는 작용을 의미한다 (토양비료 용어사전(2012), 한국토양비료학회, 농촌진흥청 국립농업과학원).

○ 토양 염류도 증가에 따른 감자의 카드뮴 함량 증가

M. J. McLaughlin(1994)에 따르면 토양의 염화물(Chloride)에 의해 관개수에 Cd의 농도를 증가시키게 되었으며, 이것은 또한 식물체의 Cd의 흡수를 증가시키는 원인으로 작용하는 것으로 나타났다.

음식물퇴비의 기본 성장중 염분 즉, NaCl이 퇴비화를 거쳐 감소하게 되지만 일반적인 퇴비보다는 많은 부분을 차지할 것으로 판단된다. 이것의 영향으로 토양내 Cl함량이 증가하게 된다면, 식물체 내에서 Cd의 흡수율에 영향을 줄 것으로 판단되는 사례이다.

결과적으로 음식물퇴비의 염분농도에 의해서 식물체가 Cd를 흡수하게 되어 식물체내 Cd의 함량이 증가할 수 있다. 또한 이것은 중금속 집적으로 인하여 먹거리로서 사용했을 때, 인체에 피해를 줄 가능성이 있을 것으로 예측된다.

○ 염 스트레스에 대한 배추의 생리학적 반응

김주성(2010)에 따르면, 식물은 고농도의 Na와 Cl이 존재할 경우 염 스트레스와 생리학적 반응에 대한 연구를 진행하였다.

그 결과, 염분(NaCl)을 처리하였을 때, 일부 항산화 물질과 비타민 C함량의 증가 현상이 나타났다. 또한, 식물체 내에서는 Na의 함량이 증가하였고, K와 Mg의 함량은 감소한 것으로 나타났다.

<표 2-14> NaCl 처리로 인한 염 스트레스에 따른 양분 변화

구분	NaCl 처리 후	처리 농도	Na	K	Ca	Mg	Na/K	Na/Ca	Na/Mg
		mM							
mg g ⁻¹ (dry weight)									
지상부	3일	0	3.0±0.1	3.2±0.0	14.6±0.1	2.9±0.0	0.94	0.21	1.03
		50	30.8±2.1	2.3±0.0	11.0±0.5	2.3±0.2	13.39	2.80	13.39
		100	34.8±0.1	2.0±0.0	8.9±0.1	1.8±0.0	17.40	3.91	19.33
	6일	0	2.5±0.1	2.6±0.0	11.8±0.1	2.4±0.0	0.96	0.21	1.04
		50	45.5±0.4	2.0±0.0	10.8±0.1	1.8±0.1	22.75	4.21	25.28
		100	46.9±0.5	1.5±0.0	6.7±0.1	1.3±0.0	31.27	7.00	36.08
지하부	3일	0	1.8±0.2	2.1±0.1	6.3±0.3	1.8±0.1	0.86	0.29	1.00
		50	17.5±0.4	1.7±0.1	4.3±0.1	1.4±0.1	10.29	4.07	12.50
		100	16.1±2.7	1.7±0.2	4.9±0.4	1.1±0.2	9.47	3.29	14.64
	6일	0	2.4±0.3	1.6±0.0	5.3±0.2	1.5±0.1	1.50	0.45	1.60
		50	16.4±0.7	1.4±0.0	4.1±0.1	1.3±0.0	11.71	4.00	12.62
		100	16.6±2.4	1.4±0.2	4.4±0.7	1.1±0.2	11.86	3.77	15.09

자료 : 김주성(2010), 염 스트레스에 대한 배추의 생리학적 반응.

특히, Na 함량 증가에 따른 K와 Ca, Mg의 함량이 감소하는 것으로 나타났다. 이상석(1998)에 따르면 Na와 Mg에 있어서는 상호작용에 따라서 Na의 함량이 증가할수록 Mg의 함량이 증가할 것으로 보았으나, 반대의 경향을 나타냈다.

결과적으로 토양내 NaCl이 증가할수록 식물체는 스트레스를 받게 되고, 그 결과 식물체 내에 스트레스에 의한 항산화물질이 분비가 향상 되는 것으로 나타났다. 또한 Na의 함량 증가에 의하여 K, Ca, Mg의 함량이 낮아지는 것으로 나타났다. 이것은 작물체의 생육에 있어서 악영향은 아니지만, 좋은 인자로서 작용하지는 않을 것으로 판단된다.

○ 염류 스트레스에 대한 수도품종의 생리적 반응에 대한 연구

조동하(1998)에 따르면, 수도품종에서 발아율의 내염성 검정을 하였으며, 내염성이 강한 품종과 낮은 품종을 선별하여 NaCl을 첨가한 생육재배상의 건물 증가속도, K와 Na 함량, 잎의 광합성속도변화 등에 대해서 연구를 진행하였다.

그 결과, 일반적으로 NaCl 처리에 따라 건물생장속도의 수준에서 내염성이 약한 품종들은 확인한 생육저하가 일어난 것으로 나타났다. 또한 NaCl을 처리한 처리구에서는 잎과 뿌리에서 K의 흡수를 저해시켜 이온의 불균형을 초래하였다.

또한, 광합성속도는 NaCl 처리구에서 내염성이 강한 품종은 광합성속도 저하가 적게 나타났으며, 내염성이 약한 품종은 저하가 크게 나타났다.

결과적으로 내염성이 약한 식물에서는 NaCl의 농도가 높을 경우 이온불균형, 광합성속도 저하 등으로 인하여 생육 저하가 일어나는 것으로 나타났다.

따라서 음식물퇴비를 사용하여 식물체를 재배할 때, 염류에 약한 작물을 선정할 경우 작물 스트레스에 의하여 생육 저하가 일어날 것으로 판단된다.

■ 소결

음식물퇴비를 사용하였을 때, 발생할 수 있는 염류집적으로 인한 식물체의 염류 스트레스 및 생리 장애, 생육 저해, 중금속 집적의 가능성에 대한 선행 연구를 살펴보았다.

그 결과로는 염류 스트레스에 의한 항산화 물질 분비 증가, 광합성 속도 감소, 생육 저해 등이 일어나는 것으로 나타났다. 이것은 식물의 성장 속도 및 수확량에 영향을 미칠 수 있는 요인을 판단된다.

또한, 체내 양분의 변화로는 Na의 함량이 증가할수록 K, Ca, Mg의 함량이 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 Na에 의한 길항작용에 의하여 식물체에서

흡수하는 양분들이 Na로 대체되어 흡수된 것으로 판단되며, 그 결과 식물 생육의 저해가 일어난 것으로 판단된다.

한편, 토양내 Cl이 증가하게 되면, 식물체가 토양내 Cd를 축적하게 될 수 있다는 가능성이 조사되었다. 음식물퇴비는 염류(NaCl)의 함량이 약 1.8% 이하로 생산되지만, 토양내 염분이 집적될 경우 Cd의 함량이 증가할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 음식물퇴비를 사용할 때, 염에 약한 작물을 피하고, 적정 시용량을 맞춰서 시비해야 식물생육 장애와 같은 식물체의 위해성이 감소할 것으로 판단된다. 특히, 음식물퇴비에 의한 염분증가로 식물체내의 중금속이 집적된다면, 음식물퇴비의 시용량에 대한 적절한 제시가 필요할 것으로 사료된다.

제 3 장

음식물퇴비를 시용한 식물생육 모니터링 비교 및 토양양분의 상관관계

.....
제1절 실험의 설계

제2절 식물의 생육모니터링

제3절 토양의 화학적 특성 변화와

식물체 양분변화의 상관관계 분석
.....

제3장 음식물퇴비를 시용한 식물생육 모니터링 비교 및 토양양분의 상관관계

제1절 실험의 설계

본 연구에서는 음식물퇴비를 사용하였을 때, 식물생육 패턴조사와 더불어 음식물퇴비로 인하여 나타나는 식물의 영양학적 측면을 비교하기 위하여 실험을 진행하였다.

기본적으로 실험은 음식물쓰레기를 시용한 경작지(이하 실험구)와 아무것도 처리하지 않은 경작지(이하 대조구)로 나누어 진행하였다.

1. 실험의 조건

1) 실험 위치

실험은 대전광역시 유성구 하기동 58-3에 위치한 곳으로 선정하였다. 선정된 지역은 밭에서 가장 끝의 구역으로 다른 환경적, 인적 요인들에 의한 영향을 덜 받기에 충분할 것으로 판단된다.

또한, 실험구역의 뒤쪽은 산으로 되어 있으며, 주요간선도로에서 직선거리로 ±60m의 지점에 위치하고 있다.



<그림 3-1> 실험지역 : 유성구 하기동 58-3



<그림 3-2> 실험구역 지정

2) 실험구역 조건

실험지역으로 지정한 곳의 면적은 약 30㎡이었다. 따라서 실험구와 대조구를 각각 약 15㎡로 나누었으며, 가로 80cm, 세로 3m 정도의 고랑을 세 개씩 만들었다.



<그림 3-3> 실험구역 개간 후 고랑 만들기

이때 위치는 북쪽에 위치한 산에서 내려오는 구조로 산과 가까운 쪽을 대조구로 삼고, 먼쪽을 실험구로 하여 실험을 진행하였다. 이것은 실험구에 시비하는 음식물퇴비가 고도의 차이로 인하여 대조구에 영향이 미치지 않게 하기 위한 방안으로 실행하게 되었다.



<그림 3-4> 실험구역 나누기 (위 : 대조구, 아래 : 실험구)

5월 14일 실험구의 고랑 세 곳에는 약 35kg⁸⁾의 음식물퇴비를 시비하였으며, 충분히 건조후에 표층경운⁹⁾을 실시하였다. 이때 음식물퇴비가 완전한 부숙상태가 아닌 미부숙 상태였다. 이것은 토양에 바로 투입하였을 경우 부숙과정에서 발생하는 암모니아 가스로 인한 생육장애가 있을 것으로 판단되어 가스가 발생되지 않을 때까지 건조시켰다.

- 8) 이것은 유영석 외(2001)에서 제시한 음식물퇴비 적정 사용량인 10a 당 2.5t을 참고하여 시비량을 계산하였다.
9) 여기서 표층경운이라 함은, 고랑부분에서 이랑부분까지로, 고랑을 기준으로 약 20cm 부분을 경운 시켜준 것을 말한다.



<그림 3-5> 실험구 음식물퇴비 시비 (5월 14일)



<그림 3-6> 대조구 및 실험구 표층경운 (5월 14일)

실험에 사용된 공시 작물은 노지재배용 고추(품종 : 왕건)을 이용하였다. 고추는 과거 선행 연구에 따라서 염분이 높을 경우 오히려 수량의 저해를 가져올 수 있다. 따라서 음식물퇴비를 사용하였을 때, 발생할 수 있는 식물체의 생육 및 위해성에 대해서 알아보기 쉬울 것으로 판단된다.



<그림 3-7> 공시작물(고추) 식재 (5월 28일)

고추는 5월 28일 100주(株)를 구매하였으며, 대조구와 실험구 각각 50주(株)씩 나눠 식재하였다. 식재시에는 작물이 토양에 안착할 수 있도록, 충분한 물을 주고 식재하였다.

3) 음식물퇴비 조성

실험에 이용된 음식물퇴비는 대전광역시 유성구 금고동에 위치한 금고동 위생 매립지에서 4월에 생산된 퇴비를 이용하였다. 이때 이용된 퇴비의 화학조성은 다음 <표 3-1>와 같다.

<표 3-1> 금고동 매립지 음식물퇴비 화학 성분표

구분	pH	EC (dS m ⁻¹)	OM (%)	T-N (mg kg ⁻¹)	유효인산 (mg kg ⁻¹)	양이온			
						Na	K	Ca	Mg
						%			
금고동매립지퇴비	8.8	12.1	28.07	2,870.0	1,284.8	0.64	0.80	10.11	0.42
	중금속								
	As	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
	(mg kg ⁻¹)								
	-	443.3	0.9	8.9	35.6	552.8	7.4	5.4	84.8

금고동 매립지의 음식물퇴비는 국내 비료공정규격 <표 3-2>와 비교하였을 때, 유기물의 함량이 2%가량 낮은 것으로 나타났다. 또한 C/N 비율이 97로 약 2배 이상 높은 것으로 나타났다.

그러나 이것은 음식물퇴비를 가져올 당시 퇴비의 상태가 미부숙된 상태로 완숙이 된 상태에서의 퇴비는 C/N 비율이 더 감소할 것으로 판단된다.

한편, 음식물퇴비의 중금속 함량은 검출기관마다 미량의 차이를 보이는 것으로 나타났으나, 모두 비료공정규격에 적합한 농도로 나타나, 식물체를 재배할 때 큰 영향은 없을 것으로 판단된다.

한편, 이러한 결과가 나온 이유는 음식물퇴비를 생산할 때, 음식물쓰레기와 톱밥 등을 교반하는 과정에서 음식물쓰레기의 종류와 기타 이물질 등에 의해

서 차이가 날 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 퇴비 분석과정에서 이용되는 퇴비는 0.5~1g의 미량으로 시료의 선택에서 나타날 수 있는 결과로 판단된다.

<표 3-2> 국내 비료공정규격

구분	주성분 최소량 (%)	유해성분 최대량	기타규격
퇴비	유기물 : 30 (개정 13.02.14)	1. 건물중에 대한 성분 최소량 비소 45 mg kg ⁻¹ 카드뮴 5 mg kg ⁻¹ 수은 2 mg kg ⁻¹ 납 130 mg kg ⁻¹ 크롬 200 mg kg ⁻¹ 구리 360 mg kg ⁻¹ 니켈 45 mg kg ⁻¹ 아연 900 mg kg ⁻¹ (개정 13.02.14) 2. 다음 병원성미생물 불검출 : 대장균 O157, 살모넬라	1. 유기물대 질소의 비율 45이하 2. 건물중에 대하여 염분(NaCl) : 1.8% 이하 3. 수분(H2O) : 55% 이하 4. 부숙도 기계적측정방법 : 솔비타 4이상 또는 콤팩 부숙완료 중지발아법 : 무 발아지수 70이상 5. 염산불용해물 25이하

자료 : 비료의 정의(2013. 11. 26), 농촌진흥청.

<표 3-3> 금고동 매립지 음식물퇴비 중금속 분석 비교

분석항목	단위	농촌진흥청	충남대학교 공동실험실습관	비료공정규격 2014. 07. 0 1 개정
비소	mg kg ⁻¹	-	1 이하	45
카드뮴	mg kg ⁻¹	1 이하	1 이하	5
수은	mg kg ⁻¹	-	-	2
납	mg kg ⁻¹	5.35	1 이하	130
크롬	mg kg ⁻¹	8.90	1 이하	200
구리	mg kg ⁻¹	35.40	6	360
니켈	mg kg ⁻¹	7.40	1 이하	45
아연	mg kg ⁻¹	84.80	27	900

2. 실험의 방법

1) 식물 재배

식물은 5월 28일 식재를 기준으로 하여, 약 4주간의 안정화 기간을 가졌다. 이것은 육묘의 뿌리 활착을 하는 시기로 보았으며, 고추의 성장에 필요한 지지대를 심어주는 기간으로 삼았다. 이때, 고추의 지지대는 식재를 한 후, 2주가 지난 6월 11일에 설치하였다.



<그림 3-8> 고추 지지대 설치 (6월 11일)

또한, 고추는 식재한 5월 18일부터 6월 25일까지 일주일 간격으로 충분한 물을 주었다. 이때 물은 5월 18일부터 6월 25일 사이에 일주일 간격으로 인위적으로 준 이후에는 자연적인 강우에 의해서만 재배하였다.

한편, 고추의 총 생육기간은 5월 28일부터 9월 5일까지로, 총 101일 동안 재배하였다. 또한, 9월 5일에 고추를 전량 수확하였다.

<표 3-4> 실험 진행 과정

5월 14일	5월 28일	6월 11일	6월 25일	7월 09일
음식물퇴비 시비	고추 식재	지지대 설치	생육조사	생육조사
7월 23일	8월 06일	8월 20일	9월 5일	
생육조사	생육조사	생육조사	생육조사 및 수확	

2) 시료의 채집

식물체 시료는 생육조사 시기마다 대조구와 실험구 각각 3주(株)씩 채집하였다. 이때 채집한 위치는 되도록 식물끼리 인접하지 않은 위치에서 채집하였다.



<그림 3-9> 고추 채집 위치 예시

식물을 채집할 때에는 생육초기 뿌리가 상하지 않도록 손으로 채집하였다. 그러나 생육 1달이 지났을 때, 식물의 뿌리가 주변에 식재된 부분까지 자라게 되었다. 그래서 식물을 채집할 때, 삽으로 한쪽 면을 떠서 다른 한쪽의 뿌리를 상하지 않게 하여 채집하였다.



<그림 3-10> 고추 채집 방법

이때 채집된 고추에서는 열매와 식물체를 따로 분리하였으며, 식물의 생육 조사 및 수확량을 계산하는데 이용하였다.

한편, 식물체가 성장한 곳의 토양의 화학적 특성을 조사하기 위하여 토양을 채집하였다. 이때 토양은 0~20cm를 표층, 20~40cm를 심층으로 분리하여 채집하였다.



<그림 3-11> 토양 표층토 채집 (0~20cm)



<그림 3-12> 토양 심층토 채집 (20~40cm)

3) 식물체 및 토양의 측정 및 분석

○ 식물의 외형적 변화 측정

음식물퇴비를 이용한 식물체의 성장패턴을 알아보기 위해서 식물체의 외형적 변화인 식물체의 체장, 뿌리길이, 최장잎의 길이 및 폭, 열매 수확량, 식물체 함수율을 측정하였으며, 성장패턴을 분석하였다.

○ 식물의 영양학적 분석

식물체의 성장패턴 중 영양성분 및 위해성 등을 알아보기 위해서 식물체내의 총 질소, 총 인, 양이온, 중금속 함량을 측정하였으며, 식물체내의 양분변화를 분석하였다. 이때 식물체는 잎과 열매를 분리하여 분석하였다.

○ 식물과 토양의 양분흡수의 상관관계 분석

식물체의 양분흡수가 토양의 양분농도에 대한 상관관계를 분석하기 위하여 총 질소, 유효인산, 양이온, 중금속 함량에 대해서 측정하였다. 이때 토양은 0~20cm를 표층, 20~40cm를 심층으로 분리하여 분석하였다.

<표 3-5> 시료 분석 항목

구분	식물		토양
분석 항목	생육성장	양분변화	화학적 특성
	<ul style="list-style-type: none"> • 체장 • 뿌리길이 • 최장잎 길이 • 최장잎 폭 • 식물체 총중량 • 열매 중량 • 열매 수확량 • 식물체 함수율 	<ul style="list-style-type: none"> • 총 질소 • 총 인 • 양이온 (Na, K, Ca, Mg) • 중금속 (As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) 	<ul style="list-style-type: none"> • 총 질소 • 유효인산 • 양이온 (Na, K, Ca, Mg) • 중금속 (As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn)

제2절 식물의 생육 모니터링

1. 식물의 외형적 변화¹⁰⁾

1) 길이변화

식물의 외형적 변화중 먼저 길이변화에 대해서 살펴보았다. 길이변화에서는 식물체의 체장, 뿌리길이, 최장잎의 길이와 폭을 측정하였다.

○ 식물체의 체장 변화

식물체의 길이변화 중 체장은 6월 25일부터 측정하였으며, 측정 시기는 2주간격으로 조사하였다. 이때 체장은 뿌리가 발달되어 있는 지하부의 시작에서부터 잎의 끝까지 측정하였다.

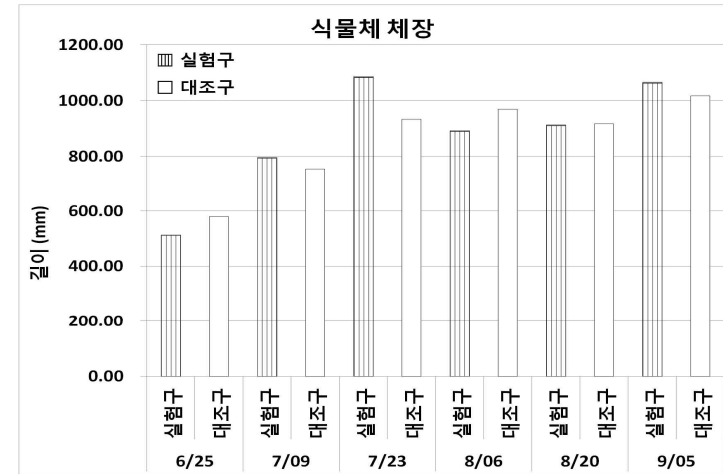
<표 3-6> 식물체의 체장 변화 비교 [단위 : mm, n=3]

구분	6월 25일	7월 09일	7월 23일	8월 06일	8월 20일	9월 05일
대조구	580.00	750.67	933.33	969.33	916.67	1016.67
실험구	513.67	795.67	1086.67	893.00	913.33	1065.67

10) 본 보고서에 이용된 식물체 생육비교 측정 사진은 측정시기와 가장 유사한 값을 나타낸 시료의 사진을 이용하였다. 따라서 사진에 이용된 시료의 측정값은 대푯값이 아니며, 평균값과 가장 유사한 값을 나타낸 시료인 것이다.



<그림 3-13> 식물체의 체장 측정



<그림 3-14> 식물체의 체장 변화 비교

고추의 체장은 6월 25일부터 7월 23일 까지 대조구와 비교하였을 때, 실험구에서 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 8월 6일부터 비교적 비슷한 체장을 보이는 것으로 나타났다.

한편, 7월 23일 이후 대조구와 실험구 모두 큰 변화는 없는 것으로 나타났다. 이것은 7월 23일에 고추의 길이 신장은 거의 다 끝난 것으로 판단된다.

또한, <그림 3-13>에서 볼 수 있듯이 7월 23일의 고추에서부터는 줄기의 끝이 서서히 휘어져가는 것을 볼 수 있으며, 8월 20일 이후에는 그 정도가 더욱 심해지는 것으로 나타났다. 이것은 열매를 맺고, 과실이 익어감에 따라서 열매의 무게를 못 견디고 휘어지는 것으로 판단된다.

결과적으로 식물의 체장은 실험구에서 7월 23일 까지 급격하게 성장하는 것으로 나타났으나, 그 이후에는 차이가 적어지는 것으로 나타났다. 이것은 음식

물퇴비에 의해서 식물의 초기 생육에는 좋으나, 식물체의 길이신장이 끝날 무렵에는 그 차이가 적어지는 것으로 판단된다.

○ 식물체의 뿌리길이 변화

식물체의 뿌리의 길이는 6월 25일부터 7월 9일까지는 뿌리가 발달되어 있는 지하부의 가장 높은 부분에서부터 뿌리의 끝까지 측정하였다.

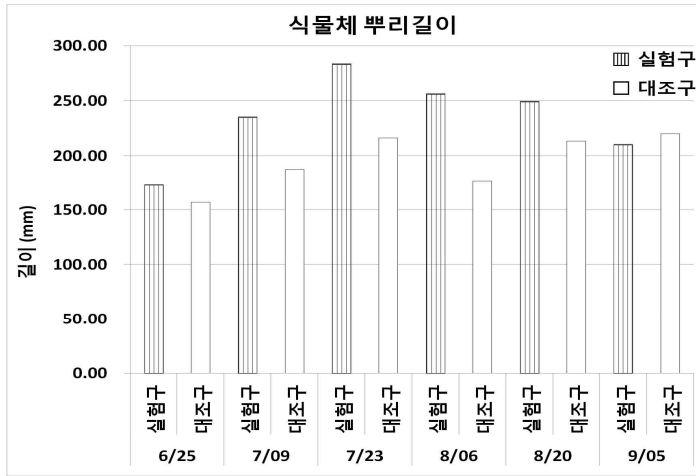
그러나 7월 23일부터는 식물체의 뿌리가 굽어지기 시작하였다. 이 때문에 가장 긴 뿌리를 기점으로 하여, 뿌리가 돌출되어 있는 뿌리의 끝부분까지 측정하였다.

<표 3-7> 식물체의 뿌리길이 변화 비교 [단위 : mm, n=3]

구분	6월 25일	7월 09일	7월 23일	8월 06일	8월 20일	9월 05일
대조구	157.00	186.67	216.33	176.00	213.33	220.00
실험구	173.00	235.67	284.00	256.67	250.00	210.67



<그림 3-15> 식물체의 뿌리길이 측정



<그림 3-16> 식물체의 뿌리길이 변화 비교

뿌리길이의 경우 체장과 마찬가지로 생육초기에 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. 또한 뿌리길이는 생육이 끝나갈 무렵인 9월 5일에서야 그 차이가 줄어들게 되었다.

한편, 뿌리길이는 7월 23일 실험구에서 가장 길게 나타났으며, 그 이후에는 점점 감소하는 것으로 나타났다. 반면에, 대조구는 7월 23일 이후로 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

그러나 뿌리길이의 경우 측정하는 방법이 바뀌게 되었으며, 식물체를 채집할 당시에 삽에 의해서 뿌리의 절단이 일어나 정확한 차이를 알아보는 것은 힘들 것으로 판단된다.

결과적으로 뿌리길이는 음식물퇴비를 사용한 실험구에서 생육초기 급격하게 증가하는 것으로 나타났으나, 그 이후에는 점차 감소하는 것으로 나타났다. 또한 체장과 비슷하게 생육후기에는 점점 차이가 감소하는 것으로 나타났다.

○ 최장잎의 길이와 폭

식물체의 최장잎의 길이와 폭은 채집한 식물체 1주(株)당, 식물체 내에서 선별하였다. 이때 폭보다는 길이를 우선하여 긴 잎을 선택하여 측정하였다.

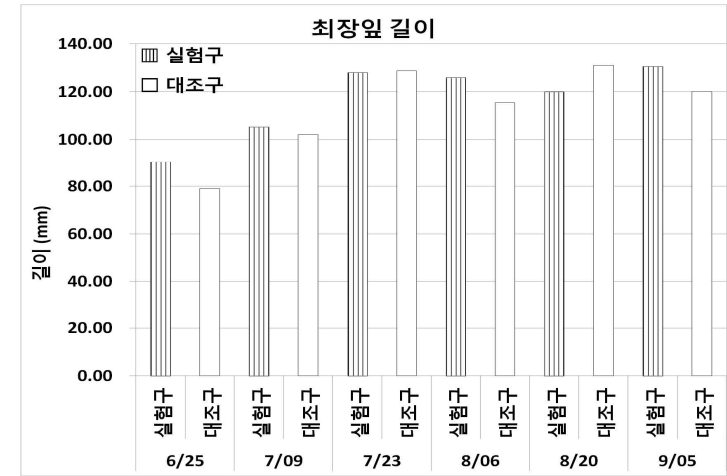
한편, 식물체의 잎은 비대해질수록 탄소동화작용이 더 많이 일어나게 되며, 이것은 식물체의 성장에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

<표 3-8> 최장잎의 길이와 폭 변화 비교 [단위 : mm, n=3]

구분		6월 25일	7월 09일	7월 23일	8월 06일	8월 20일	9월 05일
대조구	길이	79.00	102.00	128.67	115.33	131.00	120.00
	폭	44.33	48.00	55.67	52.67	59.67	59.33
실험구	길이	90.67	105.33	128.00	126.00	120.00	130.67
	폭	51.00	49.33	60.67	59.33	62.00	59.33



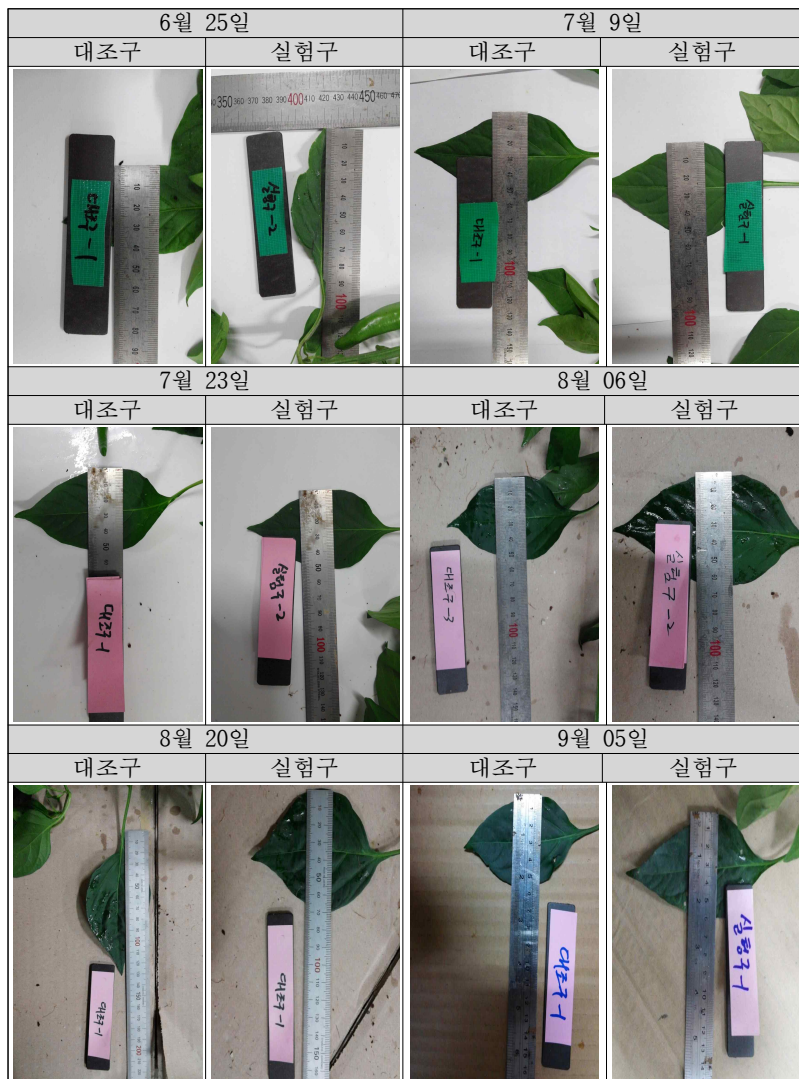
<그림 3-17> 최장잎의 길이 측정



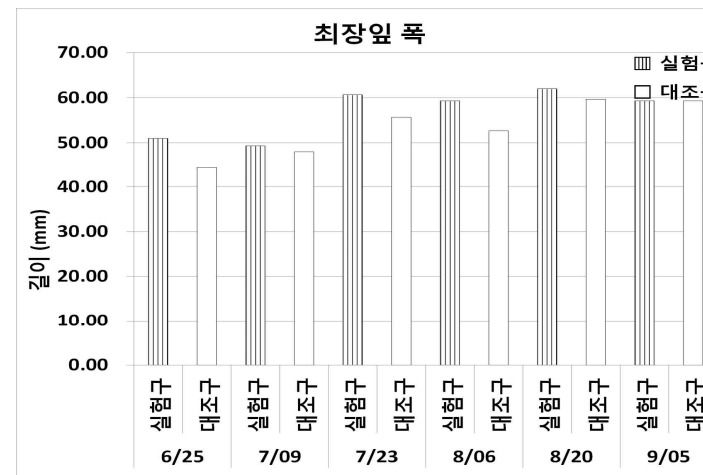
<그림 3-18> 최장잎의 길이 변화 비교

최장잎의 길이는 7월 9일까지 대조구보다 실험구가 더 크게 생육한 것으로 나타났다. 그러나 7월 23일 이후부터는 길이가 비슷해진 것으로 나타났다. 이것은 식물체의 신장 변화에서 대조구와 실험구가 7월 23일 이후부터 비슷해진 이유로 판단된다.

한편, 8월 6일 이후부터는 실험구와 대조구 최장잎의 길이가 변화하는 것으로 나타났다. 이것은 강우에 의한 낙엽 현상으로 인하여 최장잎의 보존이 잘 되지 않아서 나타난 것으로 판단된다.



<그림 3-19> 최장잎의 폭 측정



<그림 3-20> 최장잎의 폭 변화 비교

최장잎의 폭은 8월 6일까지 대조구보다 실험구가 더 큰 것으로 나타났다. 그러나 8월 20일 이후부터는 폭의 길이가 비슷해진 것으로 나타났다. 이것은 식물체의 잎의 길이가 최대로 성장하게 되면, 길이가 아닌 폭의 길이가 성장하는 것으로 판단된다.

한편, 최장잎의 길이 및 폭은 식물체의 생육성장애 영향은 있지만, 식물체의 길이 신장이 최대로 일어나게 되면 큰 차이는 없는 것으로 판단된다. 그 이유는 식물체의 길이변화가 7월 23일 까지 차이가 나며, 그 이후부터의 차이는 거의 없어지기 때문이다.

2) 체중변화

식물체의 체중변화는 길이신장, 부피신장, 양분흡수, 강우 등의 내부요인과 외부요인에 의해서 변화가 일어난다.

내부요인의 경우 식물체 자체의 변화로 변화의 영향은 크지 않을 것으로 판단된다. 그러나 외부요인의 강우는 비가 옴으로써 식물체는 많은 수분을 흡수하고, 그 결과 식물체내의 수분함유량이 증가하게 되어 체중이 증가하게 된다.

따라서 식물체의 체중변화는 건조되지 않은 생체중과 건조상태의 건체중으로 구분하여 측정하였다. 이때, 건조에 의해 감소된 중량으로 대조구와 실험구의 함수율을 산출하였다.

○ 식물체 총중량¹¹⁾

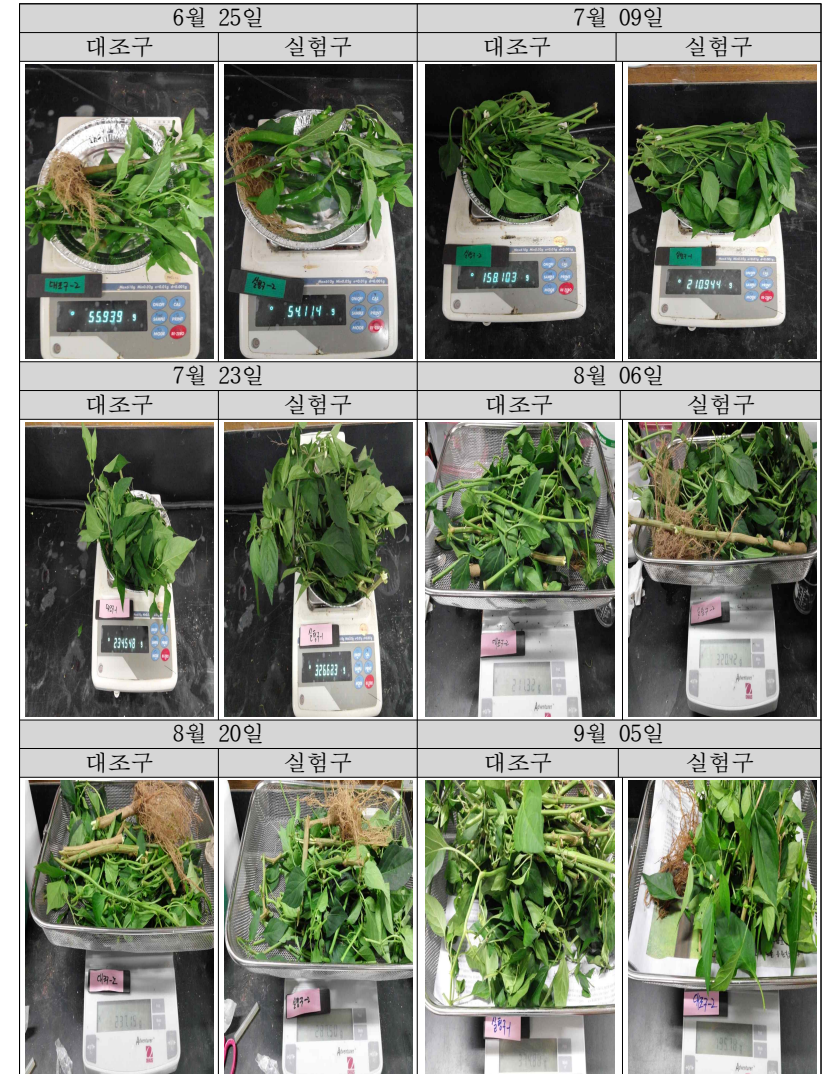
식물체의 체중은 열매를 제외한 뿌리, 줄기, 잎의 무게를 측정하였으며, 건조후의 무게를 이용하여 함수율을 산출하였다.

생체중은 식물을 채집한 후 1시간가량 수분을 흡수할 수 있도록 수조에 뿌리를 담가둔 후 측정하였다. 이것은 채집하는 동안 증산으로인하여 정확한 생체중의 무게를 측정하기에 용이하지 않다고 판단되어 실행하였다.

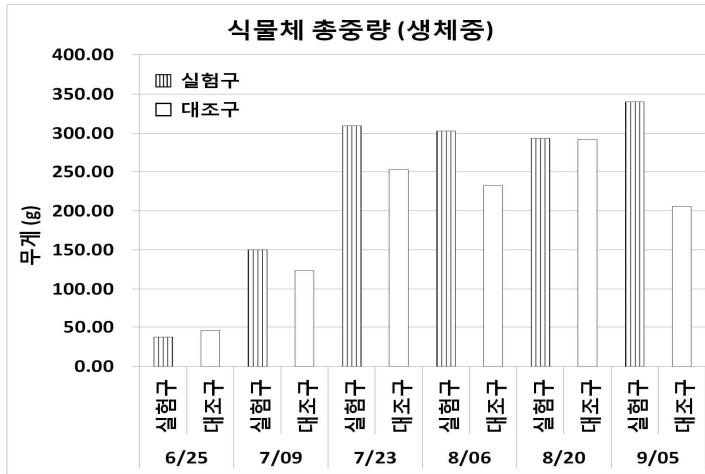
<표 3-9> 식물체의 총중량 변화 비교 [단위 : g, %, n=3]

구분	6월 25일	7월 09일	7월 23일	8월 06일	8월 20일	9월 05일	
대조구	생체중	45.82	123.41	252.44	232.10	292.25	205.88
	건체중	7.00	21.62	46.96	47.08	58.35	45.16
	함수율	84.71	82.49	81.40	79.71	80.03	78.07
실험구	생체중	37.74	150.30	309.62	303.00	294.02	340.33
	건체중	5.65	24.73	55.00	61.48	59.15	75.59
	함수율	85.04	83.54	82.24	79.71	79.88	77.79

11) 식물체의 총중량은 7월 9일까지 열매의 크기가 작아 열매와 식물체의 중량을 같이 측정하였고, 체중에서는 열매의 중량을 제외하였다.



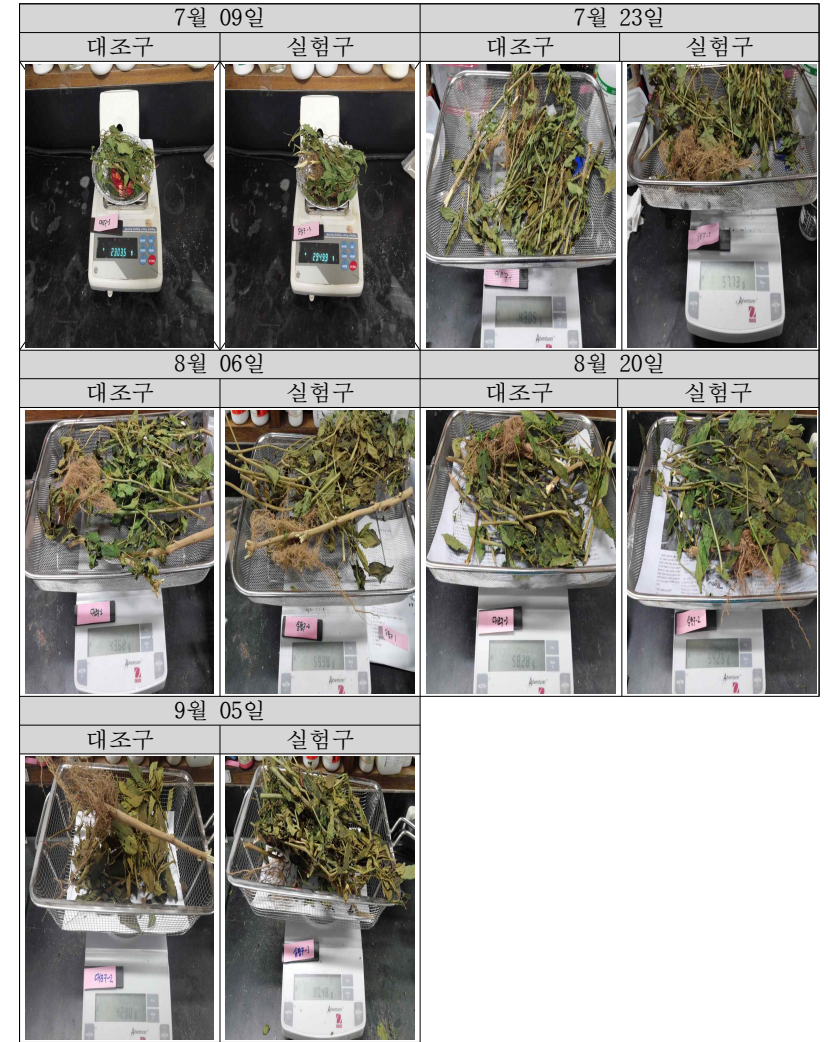
<그림 3-21> 식물체의 총중량 측정 (생체중)



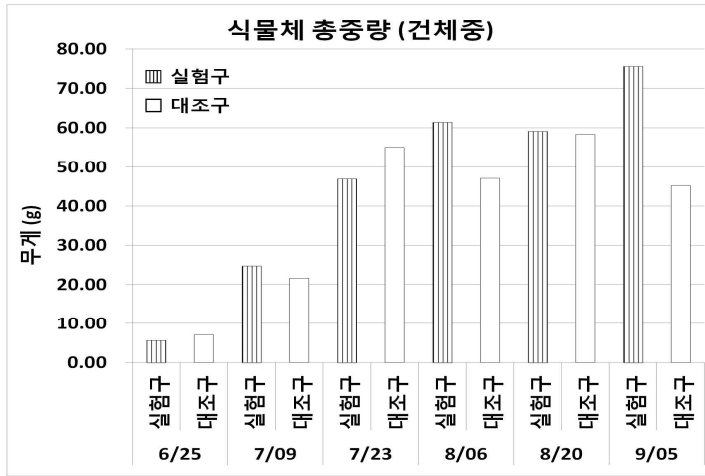
<그림 3-22> 식물체의 총중량 변화 비교

식물체의 생체중은 8월 20일을 제외하고 실험구에서 더 높은 것으로 나타났다. 이것은 식물체의 체장, 뿌리길이, 최장잎의 크기 등이 생육초기 실험구에서 더 높아 나타난 현상으로 판단된다.

한편, 9월 5일의 대조구는 생체중이 급격한 감소를 나타내었는데, 이것은 토양내 양분변화와 관련이 있을 것으로 판단된다. 그 이유는 식물체의 생육에 필요한 양분이 부족하게 되면, 식물체는 낙엽과 낙과 등으로 양분의 감소를 막기 때문이다.



<그림 3-23> 식물체의 총중량 측정 (건체중)



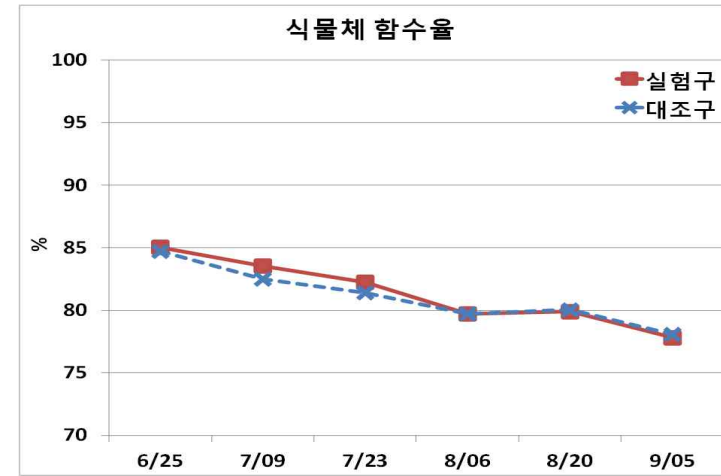
<그림 3-24> 식물체의 총중량 변화 비교

식물체의 건체중은 생체중과 비슷한 경향인 것으로 나타났다. 이것은 8월 20일을 제외한 나머지 측정구간에서 실험구가 대조구와 비교하여 더 무거운 것으로 나타났다.

그 원인은 식물체의 체장, 뿌리길이, 최장잎의 길이 및 폭 등 육안으로 확인할 수 있는 식물생육 성장의 경우 대조구와 실험구 모두 비슷한 결과가 나타날 수 있다.

그러나 식물체의 건체중은 수분을 제외한 나머지가 흡수한 양분의 개념으로써 판단할 수 있다. 이것은 음식물퇴비를 사용한 결과, 토양내 양분의 함량 증가하였고, 실험구의 식물체는 더 많은 양분을 흡수하게 된 것으로 판단된다.

결과적으로 음식물퇴비를 사용함으로써 실험구의 식물체는 대조구와 비교하였을 때, 더 많은 양분을 흡수한 것으로 판단되며, 그 차이는 식물생육 성장에서는 구분할 수 없는, 식물체의 체중에서 차이에서 나타난 것으로 판단된다.



<그림 3-25> 식물체의 기간별 함수율 변화 비교

식물체는 생육기간이 지날수록 대조구와 실험구 모두에서 함수율이 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 식물체가 자라면서 목질화¹²⁾가 진행되어 나타난 현상으로 판단된다.

목질화가 진행되면서 식물체내의 셀룰로오스의 함량은 감소하며, 리그닌의 함량은 증가하게 된다. 이때 셀룰로오스보다 구조가 복잡다단한 리그닌은 동일 부피내의 무게가 더 많으며, 수분함량은 적다.

그 결과 식물체에 목질화가 진행되면서, 리그닌의 함량이 증가하게 되고, 이것은 식물체의 함수율을 감소시키는 원인인 것으로 판단된다.

결과적으로 식물체는 생육기간이 지날수록 함수율은 감소하며, 그 원인은 식물체내 리그닌 함량의 증가에 의한 것으로 판단된다. 그러나 이것은 식물체내의 셀룰로오스, 리그닌 함량 변화를 분석해야 정확할 것으로 판단된다.

12) 목질화란 식물세포 세포벽의 어떤 성분이 리그닌으로 변화되어 목부가 되는 과정을 말한다. 이때 리그닌이 퇴적되어 식물체는 단단해지게 된다(정희석(2005), 목재용어사전, 서울대학교출판부).

○ 열매의 기간별 수확량(체중) 변화¹³⁾

열매의 체중은 농업에서 가장 중요하다고 할 수 있는 총 수확량의 기초가 된다. 일반적으로 열매의 체중이 증가할수록 수확량은 증가한다고 할 수 있다.

열매는 각 채집시기마다 채집한 식물체에서 분리하였다. 생체중은 열매의 꼭지 부분과 함께 무게를 측정하였으며, 건체중은 열매를 4~5등분하여 건조기에서 60℃로 72시간 건조시킨 후 무게를 측정하였다.

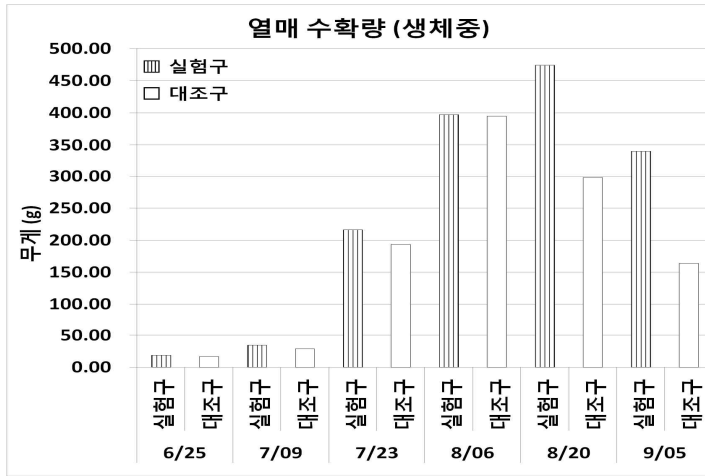
<표 3-10> 열매의 기간별 수확량 변화 비교 [단위 : g, %, n=3]

구분		6월 25일	7월 09일	7월 23일	8월 06일	8월 20일	9월 05일
대조구	생체중	16.50	28.59	193.14	394.70	297.74	163.61
	건체중	1.66	3.80	20.03	39.81	37.83	20.61
	함수율	89.94	86.69	89.63	89.91	87.29	87.40
실험구	생체중	19.11	34.72	216.50	397.48	474.18	340.91
	건체중	1.98	4.58	20.94	40.26	47.03	42.15
	함수율	89.63	86.81	90.32	89.87	90.08	87.63



<그림 3-26> 열매의 기간별 수확량 측정 (생체중)

13) 열매의 체중은 각 채집시기별 수확된 열매의 총 중량을 측정된 것으로 수확량으로 표기하였으며, 수확량의 채집시기별 무게를 체중으로 표기하였다.



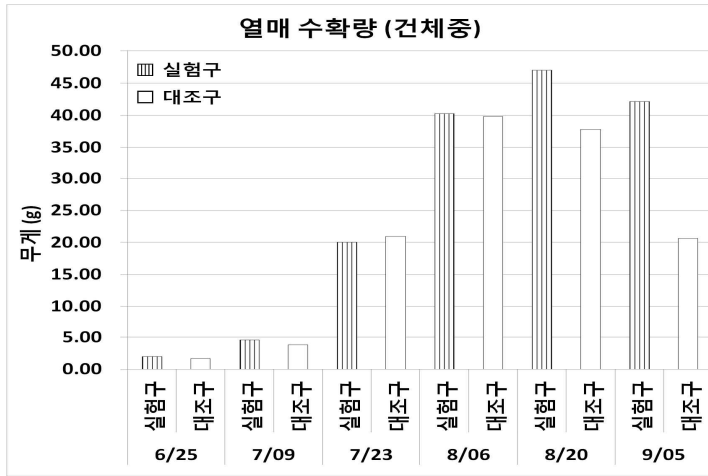
<그림 3-27> 열매의 기간별 수확량 변화 비교

열매의 생체중은 8월 6일까지 대조구와 실험구 모두 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 그러나 8월 20일 이후 급격하게 차이가 나는 것으로 나타났다.

이것은 음식물퇴비에 의한 양분의 증가로 인하여, 실험구의 식물체가 대조구와 비교하였을 때, 장기간동안 열매를 맺을 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 양분이 부족하지 않은 실험구는 열매를 계속 맺을 수 있으며, 양분이 부족한 대조구는 열매를 맺어도 생육은 힘들어 채집된 열매의 양이 감소된 것으로 판단된다.



<그림 3-28> 열매의 기간별 수확량 측정 (건체중)

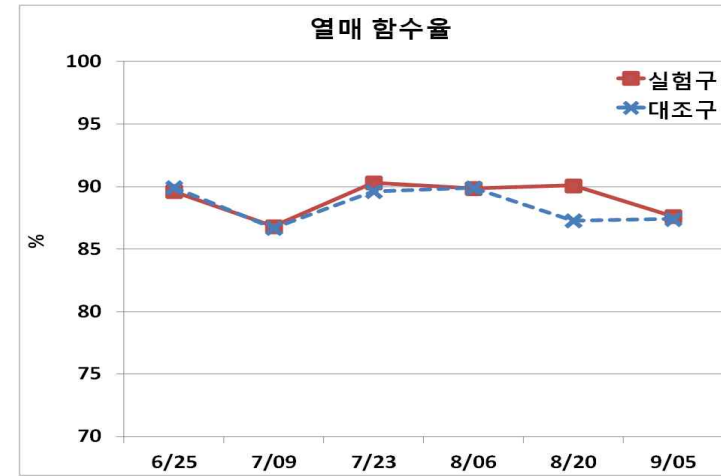


<그림 3-29> 열매의 기간별 수확량 변화 비교

열매의 건체중은 대조구에서는 8월 6일 이후부터, 실험구에서는 8월 20일 이후부터 중량이 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 열매의 생체중의 경향과 마찬가지로 열매의 생체중의 감소가 건체중의 감소에도 영향을 미친 것으로 판단된다.

한편, 식물체의 건체중과는 다르게 열매에서는 양분흡수로 인한 무게차이가 뚜렷하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 실험구가 대조구보다 더 오랜 기간 동안 많은 열매를 맺을 수 있었던 것은, 식물체의 양분흡수에 의한 것으로 판단된다.

결과적으로 열매의 건체중은 생육 중반까지 차이가 없는 것으로 나타났으나, 8월 20일 이후부터 차이가 나기 시작하였다. 이때, 차이가 나기 시작한 원인은 양분흡수량에 따른 열매의 착과량에 따라 달라진 것으로 판단된다.



<그림 3-30> 열매의 기간별 함수율 변화 비교

열매의 함수율은 식물체와 다르게 식물생육 성장 기간 동안 항상 일정수준 이상을 유지하는 것으로 나타났다. 이것은 식물체에서 함수율이 감소하는 원인 중, 리그닌 함량에 의한 것과 더불어 열매의 함수율 유지에 수분을 이용하기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 열매의 함수율은 대조구와 실험구 모두 비슷한 것으로 나타나 전체적인 열매의 생체중에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 또한, 이것은 8월 20일 이후 열매의 건체중 감소의 원인은 아닌 것으로 나타났다. 따라서 열매의 건체중 감소는 함수율에 의한 것이 아닌 식물체의 양분감소로 인한 착과의 감소에 의한 것으로 판단된다.

○ 열매의 총 수확량

수확량은 농업에 있어서 중착점이라고 할 수 있다. 일반적으로 퇴비를 시비할 경우 무처리구보다 수확량은 증가하게 된다. 이것은 양분에 의한 열매의 수량 증대와 무게 증가가 원인이라고 할 수 있다.

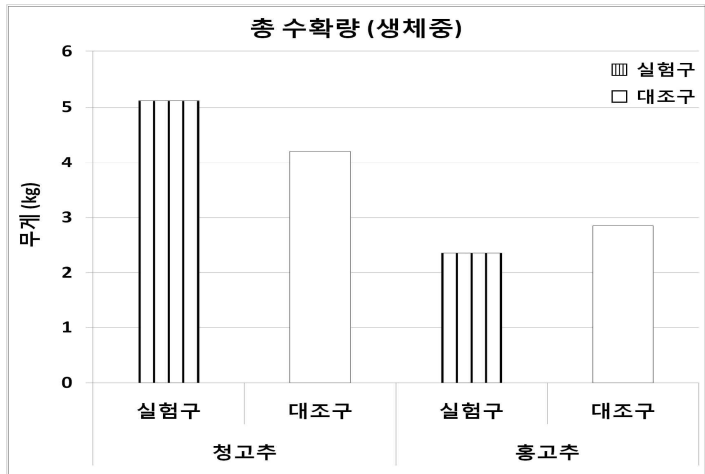
총 수확량은 9월 5일 대조구와 실험구에서 각각 3주(株)의 시료를 채취한 후 남아 있는 식물체에서 채집하였다. 이때 채집한 식물체는 총 28주(株)로 채집한 고추의 생체중과 건체중을 측정하였다. 또한, 측정시에는 청고추와 홍고추를 분리하여 측정하였다.

<표 3-11> 열매의 총 수확량 [n = 28]

구분		생체중 (kg)	건체중 (kg)	함수율 (%)
실험구	청고추	5.115	0.240	95.31
	홍고추	2.355	0.420	82.17
	총계	7.470	0.660	91.16
대조구	청고추	4.200	0.250	94.05
	홍고추	2.845	0.545	80.84
	총계	7.045	0.795	88.72



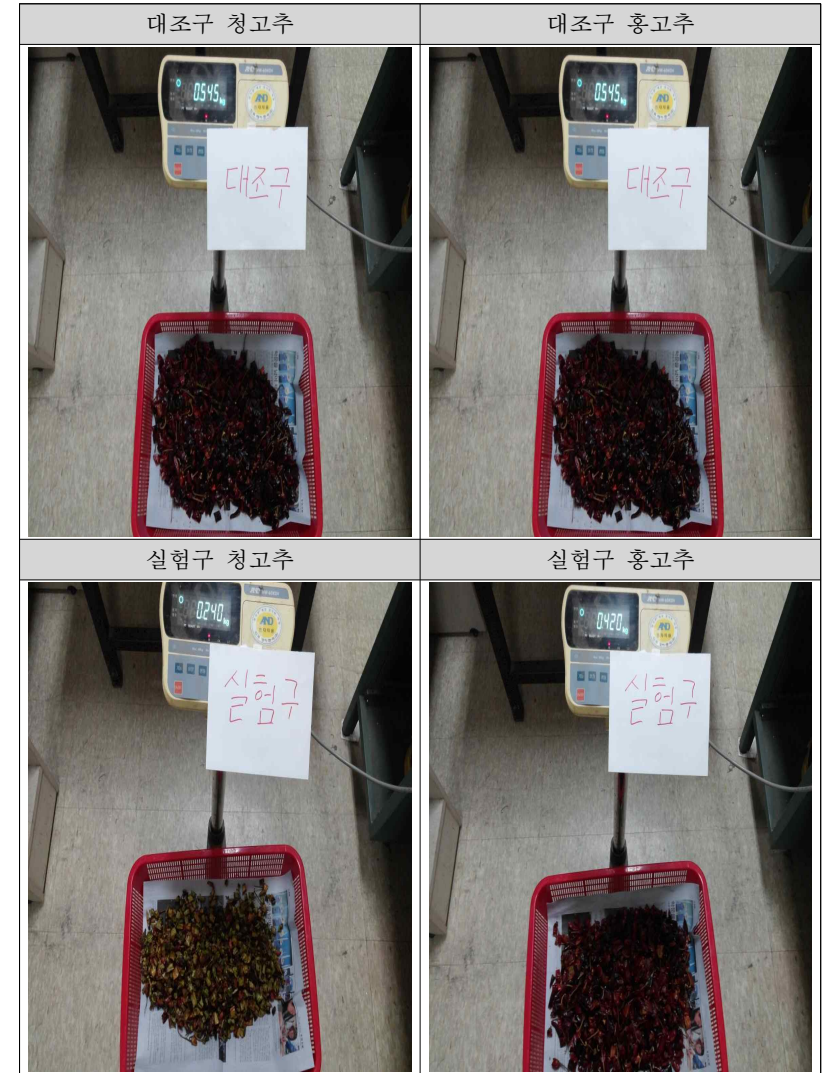
<그림 3-31> 열매의 총 수확량 측정 (생체중)



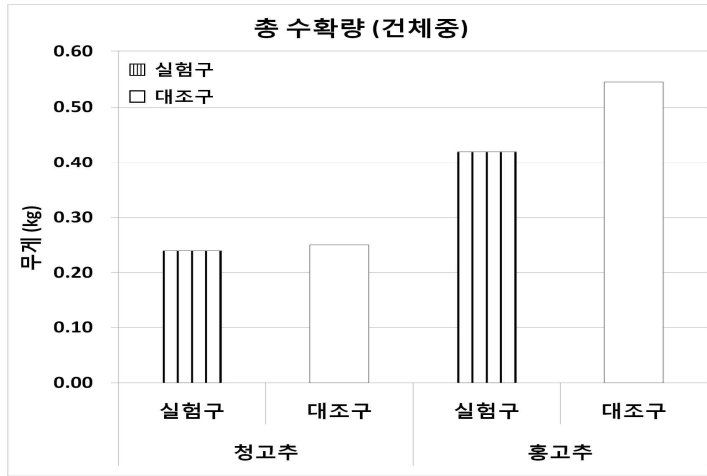
<그림 3-32> 열매 별 총 수확량 비교

총 수확량은 청고추가 실험구에서, 홍고추가 대조구에서 더 많은 것으로 나타났다. 이것은 청고추가 홍고추가 되었을 때 채집하였다면, 실험구의 홍고추가 더 많았을 것으로 판단된다.

한편, 이것은 수확적기의 열매만을 고른 것이 아닌 일괄적인 채집으로, 채집된 열매에는 작은 열매부터 큰 열매까지 다양하게 분포되어 있어 정확한 수확량으로 보기는 힘들 것으로 판단된다.



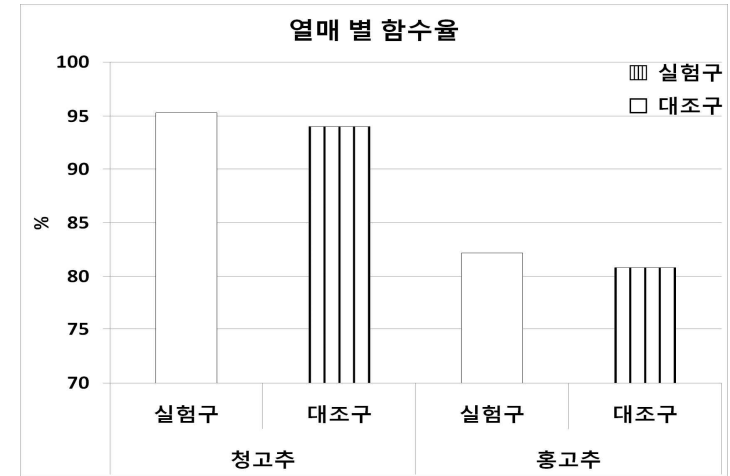
<그림 3-33> 열매의 총 수확량 측정 (건체중)



<그림 3-34> 열매 별 총 수확량 비교

총 수확량의 건체중은 생체중과 반대로 홍고추가 청고추보다 더 무거운 것으로 나타났다. 이것은 청고추의 함수율이 홍고추보다 더 많은 것을 알 수 있다.

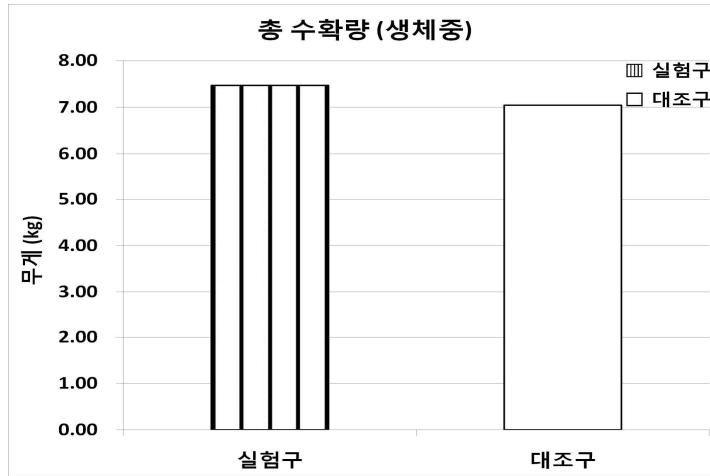
한편, 생체중이 더 높았던 실험구의 청고추는 건조가 된 후, 대조구의 청고추보다 더 적은 것으로 나타났다. 이것은 홍고추도 마찬가지로 실험구가 대조구보다 함수율이 많은 것으로 나타났다.



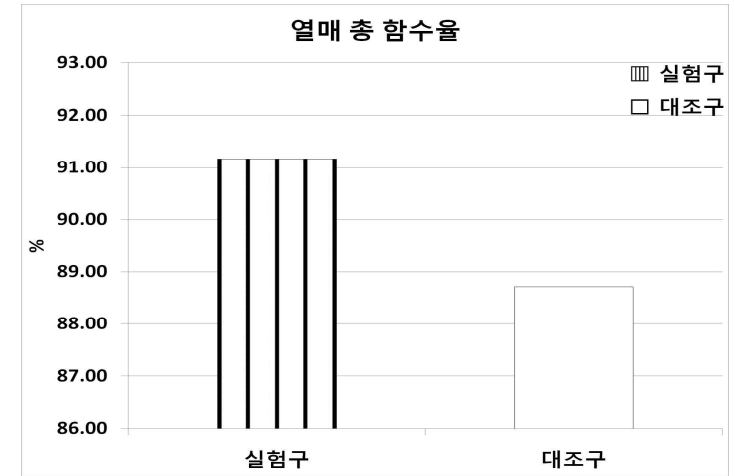
<그림 3-35> 열매 별 함수율

열매의 함수율은 청고추가 홍고추보다 10% 이상 차이가 나는 것으로 나타났다. 이것은 생중량에 큰 영향을 미쳤을 것으로 판단되며, 그 결과 건중량에서는 홍고추의 중량이 더 많은 것으로 나타났다.

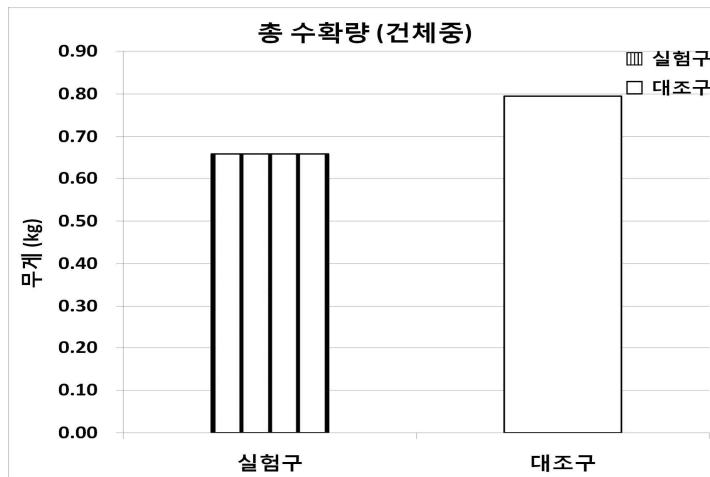
한편, 대조구와 실험구에서의 함수율은 비슷한 것으로 나타났다. 그러나 실험구가 미세하게 높은 것으로 나타났는데, 이것은 음식물퇴비에 의한 영향으로 식물체내 함수율이 약간 증가한 것으로 판단된다.



<그림 3-36> 총 수확량 비교



<그림 3-38> 총 수확량 열매 함유율 비교



<그림 3-37> 총 수확량 비교

홍고추와 청고추를 모두 합한 총 수확량에서는 큰 차이는 나타나지 않았으나, 생체중은 실험구가, 건체중은 대조구가 높은 것으로 나타났다. 이것은 열매의 총 함유율이 실험구가 더 높은 것으로 나타난 것이 원인으로 파악된다.

한편, 열매를 수확하여 무게를 측정할 때, 세척을 한 후, 건조하는 과정에서 열매의 상품가치성이 있는 것만을 골랐다. 이것은 유기농법으로 재배된 것으로 해충, 병 등으로 상품성이 있는 열매가 감소되었으며, 그 과정에서 대조구와 실험구의 열매가 감소하여 명확한 열매 수확량의 차이를 비교하지 못하였다.

따라서 열매의 수확량은 다년간의 연구를 통하여 알아내야 할 것으로 판단된다.

2. 식물의 체내 양분 변화

식물의 체내 양분 변화는 외부의 양분공급으로 변화하게 된다. 즉, 식물체는 음식물퇴비를 시용함으로써 증가된 양분에 의하여 양분흡수량이 증가하게 된다. 이것은 식물의 생육성장에도 영향을 미친다.

따라서 식물의 생육성장과 관련이 있는 식물의 체내 양분 변화를 살펴보기 위해서 총 질소, 총 인, 양이온(Na, K, Ca, Mg), 미량원소와 위해원소로 나뉘는 중금속(As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn)에 대해서 분석하였다.

이때 분석은 식물체에서 먹거리로서 이용 가능한 잎과 열매를 분리하여 측정하였다.

1) 총 질소

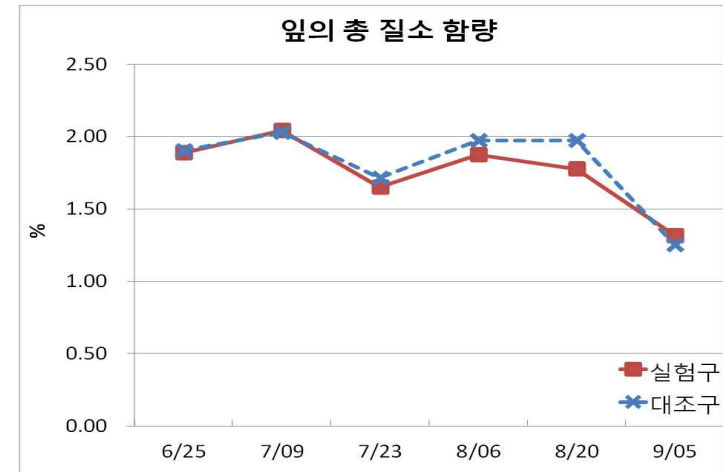
식물체내의 질소는 단백질, 핵산, 호르몬, 엽록소 등의 구성성분으로 이용된다. 질소의 결핍이 생기면 잎의 생장이 느려지고, 발육의 정지, 잎의 황백화 현상이 나타나게 된다.

즉, 질소는 식물의 생육과 가장 관련이 큰 원소 중 하나이다. 따라서 식물생육 성장의 차이에 대한 원인을 알아보기 위하여 식물체내의 총 질소 함량을 분석하였다.

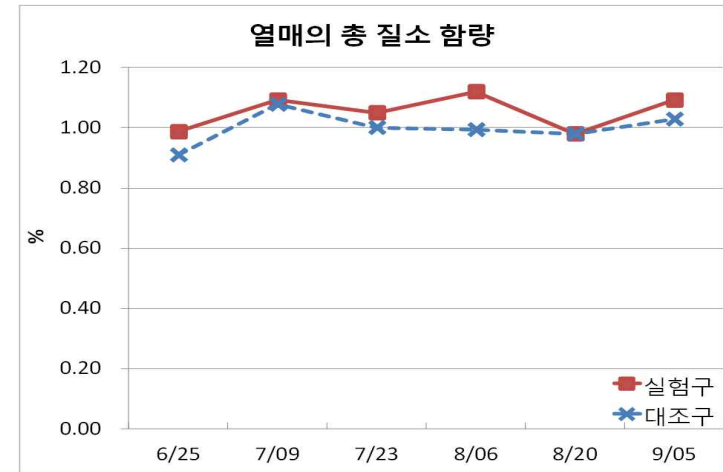
한편, 식물체내 질소의 적정 농도는 5,000~60,000mg kg⁻¹, 즉 0.5~6%의 함량이다.

<표 3-12> 식물체의 총 질소 함량 변화 [단위 : %]

구분		6월 25일	7월 09일	7월 23일	8월 06일	8월 20일	9월 05일
대조구	잎	1.90	2.03	1.72	1.97	1.97	1.25
	열매	0.91	1.08	1.00	0.99	0.98	1.03
실험구	잎	1.89	2.04	1.65	1.88	1.78	1.32
	열매	0.99	1.09	1.05	1.12	0.98	1.09



<그림 3-39> 잎의 총 질소 함량 변화 비교



<그림 3-40> 열매의 총 질소 함량 변화 비교

식물체의 총 질소 함량은 대조구와 실험구 모두 비슷한 수준으로 나타났다. 따라서 식물의 생육성장 차이에서 실험구가 대조구보다 생육초기 급격하게 증가한 것은 총 질소에 의한 영향은 적은 것으로 판단된다.

한편, 식물체 열매의 총 질소는 일정 함량을 유지하는 반면에, 잎에서는 질소의 함량이 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 식물체의 생육이 일정기간 지나면, 잎보다는 열매에 양분을 이동시키는 것으로 판단된다.

결과적으로 총 질소 함량은 대조구와 실험구 모두 비슷한 수준으로 나타났다. 이것은 식물생육 차이의 원인으로는 판단하기 어려운 것으로 나타났다. 또한, 식물체내의 적정 농도범위로 식물생육에 장애는 없을 것으로 판단된다.

2) 총 인

식물체내의 인은 광합성과 중간물질대사에서 중요한 역할을 한다. 또한, 인 지질, 인산화된 당 및 인산화된 유기산의 형태로서 세포의 에너지 대사 등에 필수적인 역할을 한다.

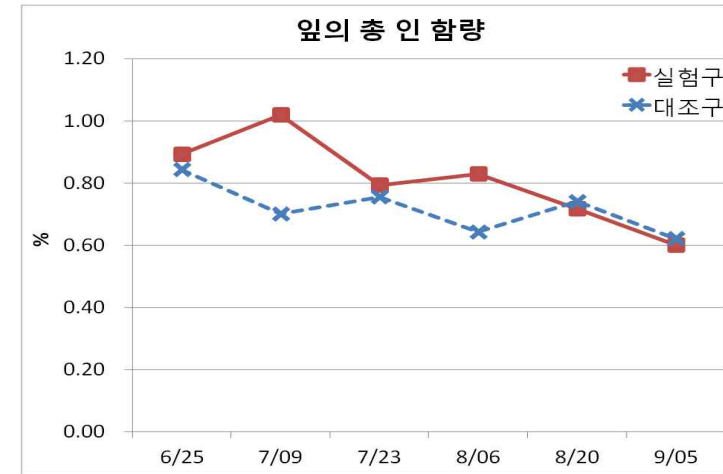
한편, 인의 결핍이 생기면 잎의 색이 짙은 녹색을 띠며, 기형 발생, 줄기 성장의 장애, 과실과 종자의 생산 감소 등의 피해가 증상이 나타난다.

이러한 식물의 성장 및 과실의 품질 차이에 대한 차이의 원인을 알아보기 위하여 식물체내의 총 인을 분석하였다.

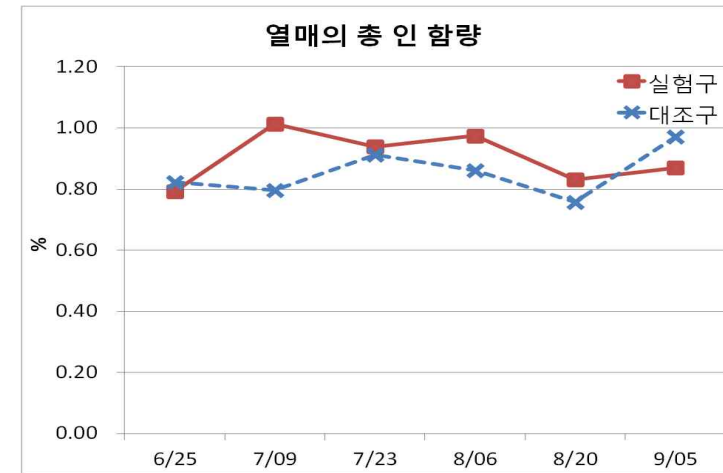
한편, 식물체내 인의 적정 농도는 1,500~5,000mg kg⁻¹으로, 즉 0.15~0.5%로 총 질소보다는 적다.

<표 3-13> 식물체의 총 인 함량 변화 [단위 : %]

구분		6월 25일	7월 09일	7월 23일	8월 06일	8월 20일	9월 05일
대조구	잎	0.84	0.70	0.76	0.64	0.74	0.62
	열매	0.82	0.80	0.91	0.86	0.76	0.97
실험구	잎	0.89	1.02	0.79	0.83	0.72	0.60
	열매	0.79	1.01	0.94	0.97	0.83	0.87



<그림 3-41> 잎의 총 인 함량 변화 비교



<그림 3-42> 열매의 총 인 함량 변화 비교

식물체내 인의 함량은 대조구와 실험구 모두 비슷한 수준으로 나타났다. 그러나 질소와 마찬가지로 실험구가 대조구보다 미량 높은 것으로 나타났다. 이것은 식물체의 생육 초기 성장에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

한편, 식물체 잎의 총 인 함량은 서서히 감소하는 경향을 나타내는 반면에, 열매에서는 증가하는 경향은 나타나지 않았다. 이것은 식물체 열매의 분석을 할 때, 사용하였던 시료에 청고추와 홍고추가 섞여 있었기 때문으로 판단된다.

그 이유는 식물의 열매가 익어가면서 인의 함량이 증가한다. 이때 더 오래 숙기를 가졌던 홍고추의 경우 인의 함량이 증가할 것으로 예상되는 반면에, 청고추는 인의 함량이 더 낮을 것으로 판단된다. 즉, 인의 함량의 변화를 알아보기 위해서는 채집 적기의 고추만을 분석하여야 할 것으로 판단된다.

결과적으로 식물체내 인의 함량 차이는 식물생육 초기에 있었던 생육차이만큼의 영향이 있었을 것으로 판단된다. 또한, 식물체내의 최대 적정농도인 0.5% 이상으로 나타나 생육에 영향이 미쳤을 것으로 판단된다.

3) 양이온

식물체내의 양이온은 무기양분으로 다양한 기능을 한다.

Na는 모든 식물에서의 필수 원소는 아니지만, 일부 식물(C4 식물¹⁴⁾)에서 존재하는 나트륨에 의한 광합성 경로에 미량으로 필요하다. 이것은 부족하게 되면 잎이 황백화 되거나 조직이 괴사하는 현상이 나타난다.

그러나 이상석(1998), 이상은(2000)에 따르면 Na는 과다하게 되면 다른 양이온(K, Ca 등)의 흡수율이 감소하게 된다. 이것은 식물의 생육에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

K는 광합성과 호흡에 관여하는 효소들을 활성화, 녹말과 단백질 합성, 삼투

포텐셜을 조절하는 기능을 한다. 이것은 부족하게 되면 잎의 가장자리에서 얼룩무늬가 생기거나 황백화 현상, 괴사, 줄기가 짧아지고, 뿌리가 썩는 등의 증상이 나타난다.

Ca는 세포 분열, 단백질 인산화에 관여하는 효소 활성화 등의 기능을 한다. 이것은 부족하게 되면 어린잎들의 기형 또는 괴사, 뿌리의 생장 저해 등이 나타난다.

K와 Ca의 경우에는 Na의 함량이 증가할수록, 그 농도가 감소한다는 연구 결과에 따라서 음식물퇴비에 의한 양분흡수 저해를 알아볼 수 있을 것으로 판단된다.

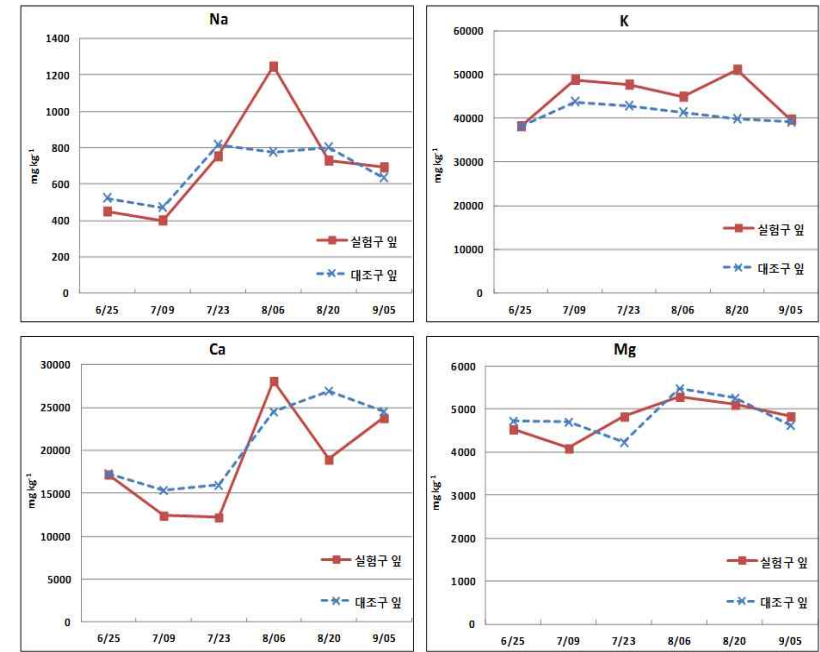
한편, Mg는 리보솜의 구조 안정화, 효소의 활성화, ATP 분자 연결 등에 이용된다. 이것은 부족하게 되면, 엽록소가 파괴되거나 황백화 현상 등이 나타나게 된다.

이처럼 식물체내 양이온은 식물체의 생리작용에 영향을 주며, 식물생육 석장에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

14) C4식물이란 탄소원자 4개가 결합하여 디카르복실산을 만드는 식물을 말한다. 또한, 4탄당 화합물이 관여하는 추가적인 경로를 이용해 이산화탄소가 부족한 환경에서 광합성의 암반응을 계속하는 식물을 지칭한다. 여기에는 사탕수수, 옥수수, 수수, 열대 혹은 아열대성 식물의 대부분이 속한다(이병연(2002), Basic 고교생을 위한 생물 용어사전, ㈜신원문화사).

<표 3-14> 식물체의 양이온 함량 [단위 mg kg⁻¹, d.w]

구분		Na	K	Ca	Mg	
잎	대조구	6월 25일	522	38,040	17,316	4,726
		7월 09일	471	43,740	15,368	4,704
		7월 23일	814	42,800	15,954	4,230
		8월 06일	775	41,320	24,520	5,482
		8월 20일	800	39,800	26,940	5,264
		9월 05일	633	39,100	24,560	4,628
	실험구	6월 25일	449	38,200	17,226	4,538
		7월 09일	400	48,800	12,436	4,094
		7월 23일	752	47,700	12,226	4,834
		8월 06일	1,245	44,940	28,120	5,292
8월 20일		729	51,100	18,970	5,108	
9월 05일	691	39,700	23,820	4,838		
줄	대조구	6월 25일	379	27,340	2,192	1,675
		7월 09일	390	30,440	1,937	1,531
		7월 23일	630	31,800	1,855	1,591
		8월 06일	771	34,880	1,703	1,637
		8월 20일	807	29,680	1,636	1,410
		9월 05일	832	33,060	1,594	1,662
	실험구	6월 25일	412	27,780	1,634	1,419
		7월 09일	787	32,920	1,926	1,610
		7월 23일	657	33,020	1,523	1,726
		8월 06일	638	35,460	1,888	1,760
8월 20일		835	31,140	1,519	1,493	
9월 05일	742	34,820	1,741	1,686		

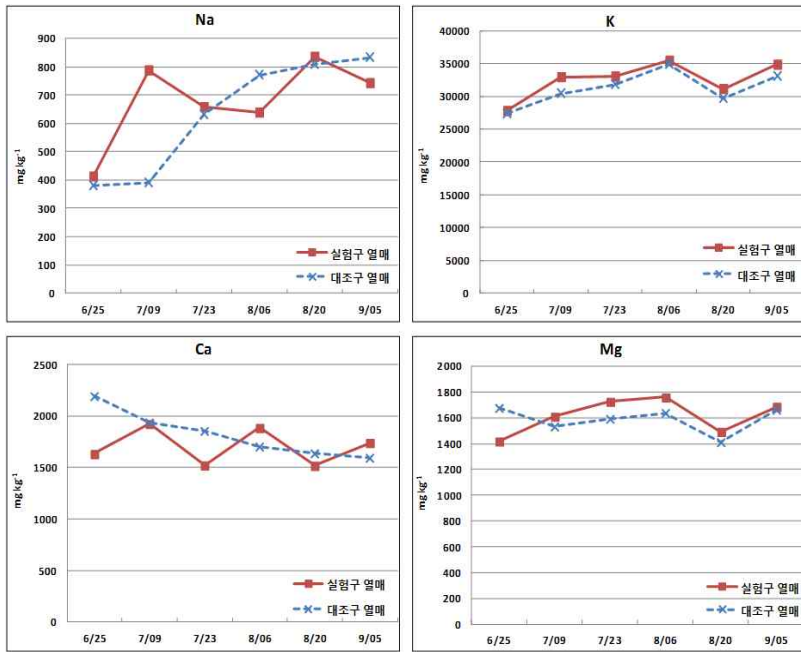


<그림 3-43> 잎의 양이온 함량 변화 비교

식물체 잎의 양이온 함량에서는 대조구와 실험구 모두 비슷한 수준으로 나타났다. 이것은 음식물퇴비에 의한 양분증가의 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

한편, Na의 함량이 급격하게 증가한 8월 6일에는 다른 원소의 감소는 나타나지 않았으나, Ca의 경우 Na과 마찬가지로 급격하게 증가한 것으로 나타났다. 이것은 Na의 함량이 증가할수록 Ca와 K의 함량이 감소할 것이라는 예측과 반대의 경향을 나타냈다.

결과적으로 음식물퇴비를 사용하여 재배한 식물체의 잎에서는 일반 재배를 통한 식물체의 잎과는 양분적 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.



<그림 3-44> 열매의 양이온 함량 변화 비교

식물체 열매의 양이온 함량은 잎과 마찬가지로 비슷한 수준으로 나타났다. 그러나 잎과는 다르게 Na와 Ca의 함량에서는 늘뛰는 것으로 나타났다. 이것은 식물체의 잎보다는 열매에서 양분의 함량변화가 더 크게 작용되는 것으로 판단된다.

한편, 대조구 열매에서 Na의 함량은 증가하는 반면에 Ca는 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 Na의 흡수증가에 의한 Ca함량 감소로 판단된다.

결과적으로 Na의 함량증가는 K와 Ca, Mg의 함량에 큰 영향을 미치지 않는으나, 열매에서는 그 경향이 보이는 것으로 나타났다.

4) 중금속

중금속은 식물체에서 생리적 기능을 담당하는 미량원소와 그렇지 않은 유해원소¹⁵⁾로 나눌 수 있다.

일반적으로 미량원소는 Al, Cu, Fe, Ni, Zn 등이 있으며, 유해원소는 As, Cd, Cr, Pb 등이 있다.

미량원소들의 생리적 기능들은 대부분 식물체 내의 효소활성에 있으며, 이것은 음식물퇴비를 사용함으로써 증가할 것으로 판단된다.

한편, 식물체내의 미량원소에는 각각의 임계농도점이 존재한다. 그 임계 농도점은 <표 3-15>와 같다.

<표 3-15> 식물체내 적정 중금속 농도 범위

원소	농도 (mg kg ⁻¹)
Al	1,000~5,000,000
Cu	2~50
Fe	20~600
Ni	0.05~5
Zn	10~250

자료 : William G. Hopkins, Norman P. A. Huner 저, 홍영남 역(2012), 식물생리학 제 4판, 월드사이언스.

이 외의 유해 중금속은 농산물에서 Cd와 Pb만이 식품안전규격¹⁶⁾으로 정하고 있다. 고추에 한해서는 Pb가 0.2 mg kg⁻¹, Cd가 0.1 mg kg⁻¹으로 규정하고 있다.

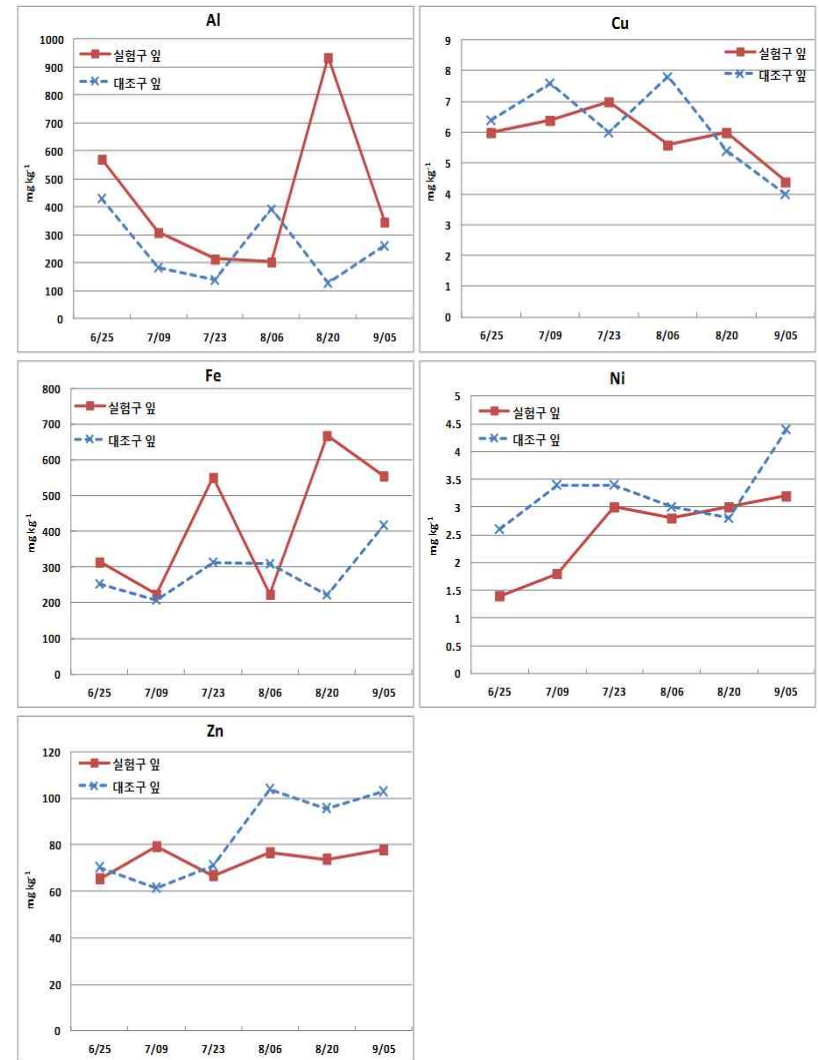
따라서 식물체내의 중금속 함량을 분석하여 음식물퇴비를 이용하였을 때의 생육장해에 대한 원인 분석을 위하여 분석하였다.

15) 본 연구에서 유해원소란, 식물체 내에서 생리적 기능을 담당하지 않고, Cd, Pb와 같이 식품으로써 이용할 때, 유해한 원소를 의미한다.

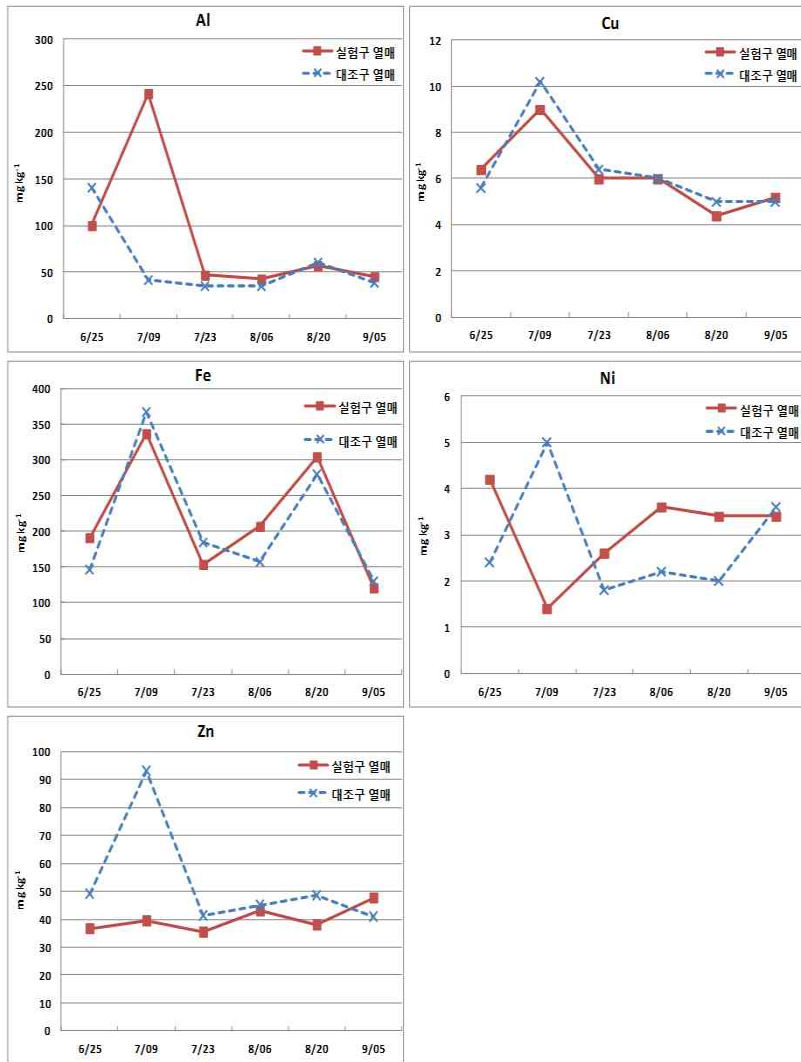
16) 식품오염물질(<http://www.foodnara.go.kr/pollution/main.jsp>).

<표 3-16> 식물체의 중금속 함량 [단위 mg kg⁻¹]

구분		Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn		
묘	대조구	6월 25일	431	1.4	0.2	4.6	6.4	253	2.6	1.2	70.2	
		7월 09일	184	0.4	0.4	2.6	7.6	208	3.4	0.6	61.4	
		7월 23일	140	0.6	0.2	9.0	6.0	313	3.4	1.6	71.0	
		8월 06일	392	1.0	0.4	3.2	7.8	309	3.0	2.2	103.8	
		8월 20일	128	0.4	0.4	4.0	5.4	222	2.8	0.8	95.6	
		9월 05일	262	0.8	0.4	7.2	4.0	417	4.4	1.4	102.8	
	실험구	6월 25일	572	0.8	0.2	1.6	6.0	314	1.4	1.2	65.4	
		7월 09일	309	0.2	0.4	3.4	6.4	224	1.8	1.4	79.2	
		7월 23일	214	1.2	0.4	2.8	7.0	550	3.0	1.2	66.8	
묘	대조구	8월 06일	204	0.8	0.4	3.4	5.6	224	2.8	0.8	76.6	
		8월 20일	935	0.6	0.4	4.8	6.0	668	3.0	2.0	73.8	
		9월 05일	347	0.2	0.4	3.6	4.4	555	3.2	1.6	77.8	
		실험구	6월 25일	141	0.6	N.D	2.2	5.6	146	2.4	2.2	49.0
			7월 09일	41.8	0.4	N.D	2.4	10.2	367	5.0	1.2	93.0
			7월 23일	35.2	0.4	N.D	2.0	6.4	184	1.8	0.8	41.2
	묘	대조구	8월 06일	35.2	0.6	N.D	3.2	6.0	157	2.2	1.0	45.0
			8월 20일	60.6	0.8	N.D	3.6	5.0	280	2.0	1.2	48.4
			9월 05일	38.8	0.2	0.2	4.2	5.0	130	3.6	1.0	40.8
실험구		6월 25일	100	0.2	N.D	8.2	6.4	191	4.2	6.4	36.6	
		7월 09일	242	N.D	N.D	6.2	9.0	336	1.4	1.2	39.4	
		7월 23일	47.0	0.6	N.D	2.2	6.0	154	2.6	1.0	35.4	
		8월 06일	42.8	0.6	0.2	5.8	6.0	207	3.6	1.0	43.0	
		8월 20일	57.0	0.8	0.2	4.4	4.4	304	3.4	1.0	38.0	
		9월 05일	45.4	0.8	0.2	4.0	5.2	121	3.4	0.8	47.6	



<그림 3-45> 잎의 미량원소 함량

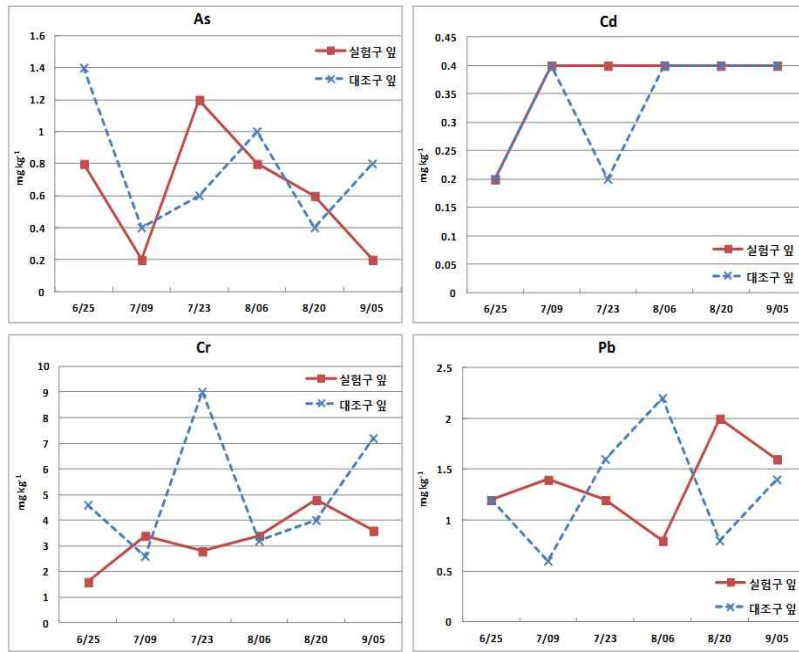


<그림 3-46> 열매의 미량원소 함량

식물체내 미량원소들의 함량은 실험구와 대조구 모두 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 식물체의 앞에서는 Cu를 제외한 나머지 원소에서 생육 중반 이후로 함량이 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 또한, 식물체의 열매에서는 Fe를 제외한 나머지 원소에서 생육초기 급격한 변화양상을 보이는 것으로 나타났다.

한편, 식물체 내에서 양분의 함량이 급격하게 변화한 시점들이 달라서, 그 관계에 대한 해석은 힘들 것으로 사료된다. 따라서 식물체 내의 미량원소는 음식물퇴비에 의한 영향이 큰 것으로 판단하기는 어려울 것으로 사료된다.

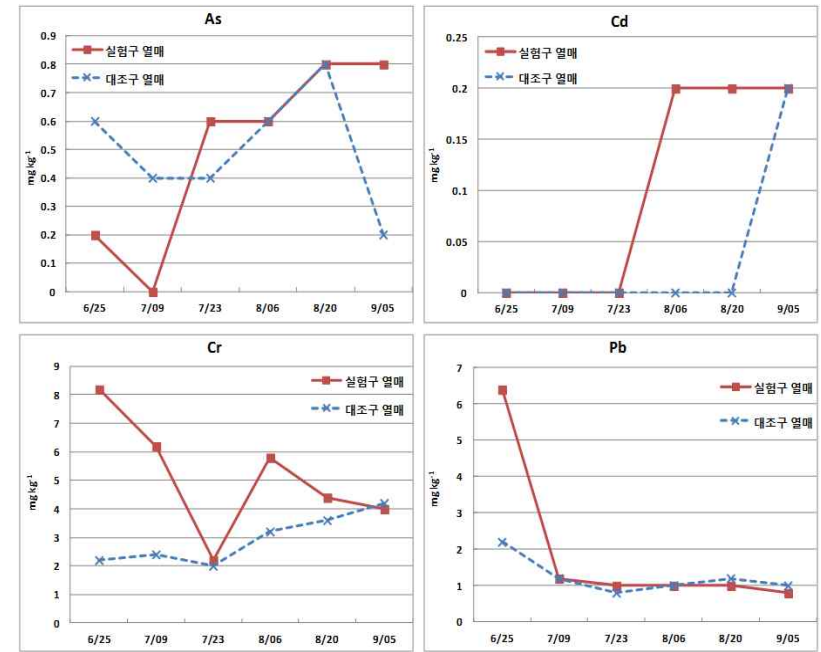
결과적으로 미량원소는 식물체에서 생리적 기능을 담당하며, 그 함량에서 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 또한, 미세한 차이는 대조구와 실험구 모두에서 다르기 때문에 음식물퇴비에 의한 것으로 판단하기는 어려운 것으로 나타났다.



<그림 3-47> 잎의 유해 중금속 함량

식물체 잎에서의 유해 중금속은 대조구와 실험구 모두 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 특히, 그 함량은 크기는 7 mg kg^{-1} , 적게는 0.1 mg kg^{-1} 정도로 극미량인 것으로 나타났다.

한편 식물체 잎에서의 Cd와 Pb는 식품안전규격에서 규정하는 함량보다 높은 것으로 나타났다. 그러나 대조구와 실험구 모두 비슷한 함량을 보이고 있어 음식물퇴비에 의한 영향으로 판단하긴 어려울 것으로 사료된다.



<그림 3-48> 열매의 유해 중금속 함량

식물체 열매에서의 유해 중금속도 대조구와 실험구 모두 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 이 또한 함량의 차이는 크기는 7 mg kg^{-1} , 적게는 0.1 mg kg^{-1} 이하로 극미량인 것으로 나타났다.

한편, 식물체 열매에서도 Cd와 Pb는 식품안전규격에서 규정하는 함량보다 높은 것으로 나타났다. 그러나 이 또한 열매와 마찬가지로 대조구와 실험구 모두 비슷한 함량으로 나타나 음식물퇴비에 의한 영향으로 보기에 어려울 것으로 판단된다.

■ 소결

식물체내의 양분변화는 외부의 양분공급량에 따라서 변할 것으로 예측하여 식물체내의 양분변화 양상을 분석하였다.

그러나 식물체내의 양분은 실험구와 대조구 모두 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났으며, 차이가 나는 양은 미량으로 큰 영향이 없을 것으로 판단된다.

한편, 식물체내의 질소, 미량원소, 유해 중금속 등은 식물체내의 적정농도범위에 포함되어 생육에는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 그러나 인의 함량의 경우 적정 농도범위보다 높은 것으로 나타나 과잉으로 인한 증상이 나타날 가능성을 있을 것으로 판단된다.

결과적으로 음식물퇴비를 사용한 실험구와 무처리구의 대조구에서 양분의 함량차이는 비슷한 것으로 나타났으며, 이것은 음식물퇴비에 의하여 양분차이는 크게 나타나지 않는 것을 나타낸다. 즉, 음식물퇴비를 사용함으로써 식물생육에서 발생할 수 있는 장애의 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

제3절 토양의 화학적 특성 변화와 식물체 양분변화의 상관관계

1. 토양의 화학적 특성 변화

식물체의 양분흡수는 토양의 화학적 특성에 따라서 변화하게 된다. 즉, 토양내 분포하고 있는 양분이 증가할수록, 식물체가 흡수할 수 있는 양분은 증가하게 된다.

따라서 식물체에서 이용한 양분 중 질소, 인, 양이온, 중금속 등을 분석하여 식물체에서 얼마나 영향을 미쳤는지를 판단하는 지표로 이용하였다.

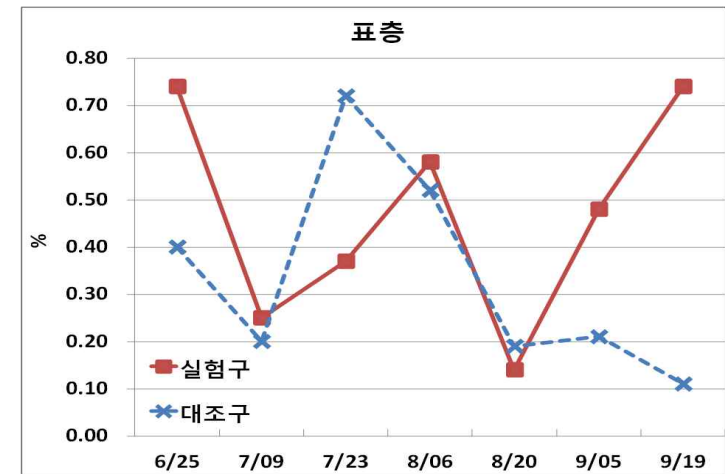
토양은 식물체를 채집한 것과 동시에 0~20cm를 표층으로, 20~40cm를 심층으로 나누어 채집을 하여 분석하였다.

1) 총 질소

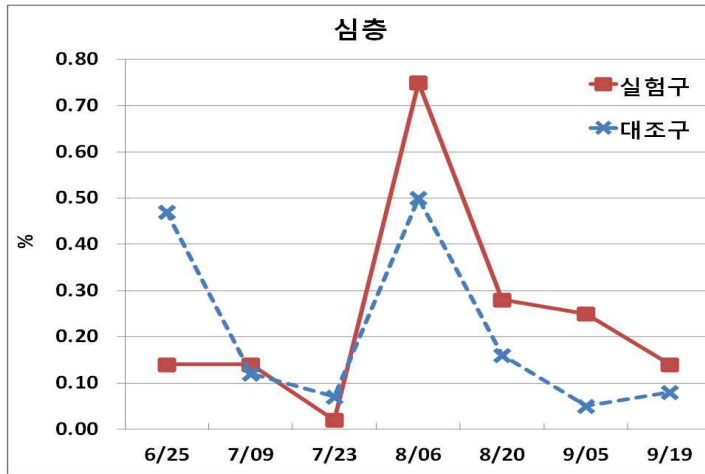
토양내 총 질소는 식물체가 흡수하여 양분으로써 이용하면서 변화하게 된다. 즉, 토양내 총 질소의 변화는 식물체의 총 질소 흡수변화와 관련이 있을 것으로 판단된다.

<표 3-17> 토양의 총 질소 함량 [단위 : %]

구분	표층		심층	
	대조구	실험구	대조구	실험구
6월 25일	0.40	0.74	0.47	0.14
7월 09일	0.20	0.25	0.12	0.14
7월 23일	0.72	0.37	0.07	0.02
8월 06일	0.52	0.58	0.50	0.75
8월 20일	0.19	0.14	0.16	0.28
9월 05일	0.21	0.48	0.05	0.25
9월 19일	0.11	0.74	0.08	0.14



<그림 3-49> 표층 토양의 총 질소 함량 변화



<그림 3-50> 심층 토양의 총 질소 함량 변화

토양내 총 질소 함량은 대조구와 실험구 모두 비슷한 수준으로 나타났다. 또한, 대조구와 실험구 모두 비슷한 경향으로 증가했다 감소하는 것으로 나타났다며, 변동의 폭도 비슷한 것으로 나타났다.

한편, 음식물퇴비를 사용한 실험구에서는 생육재배기간인 6월 25일부터 9월 5일까지는 생육초기와 생육후기에만 대조구보다 상회하는 것으로 나타났다. 이것은 음식물퇴비에 의한 것으로 해석하기 어렵다.

그 이유는 질소의 경우 6월 25일을 제외하고는 표층에서의 질소 함량은 큰 차이가 없으며, 생육 후기에는 추비를 하지 않았으므로 총 질소 함량의 증가는 음식물퇴비에 의한 것이 아니라고 판단된다. 또한, 6월 25일 심층에서는 오히려 대조구의 질소 함량이 높아 이것 또한 음식물퇴비에 의한 것으로 판단하기 어렵다.

결과적으로 토양내 질소 함량은 음식물퇴비를 사용한 후, 표층과 심층 모두에서 실험구가 높지 않았으므로, 음식물퇴비에 의한 총 질소 함량이 증가했다고 하는 것은 어려울 것으로 판단된다.

2) 유효인산

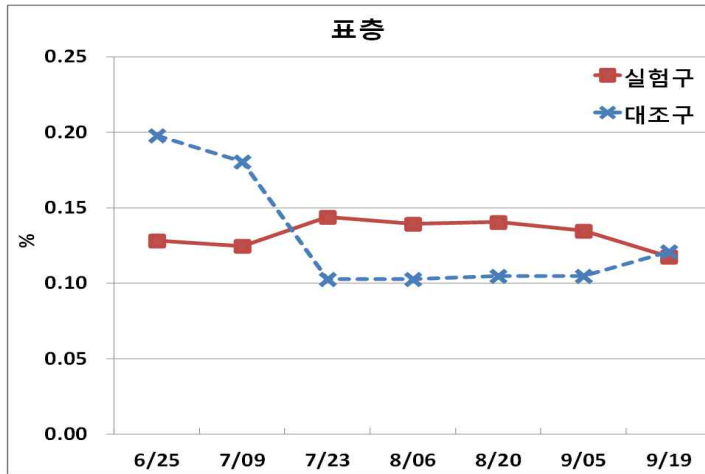
토양내 인산의 형태는 중성 pH에서 알루미늄과 철에 의해서 불용성 화합물을 형성하는 경향이 있으며, 염기성 pH에서는 칼슘과 마그네슘에 의해서 불용성 화합물로 침전시킨다.

즉, 토양내 인은 불용성의 형태로 존재하는 것이 많다. 따라서 토양내에서 식물체가 양분으로써 이용할 수 있는 것은 불용화되지 않은 상태의 유효인산이다.

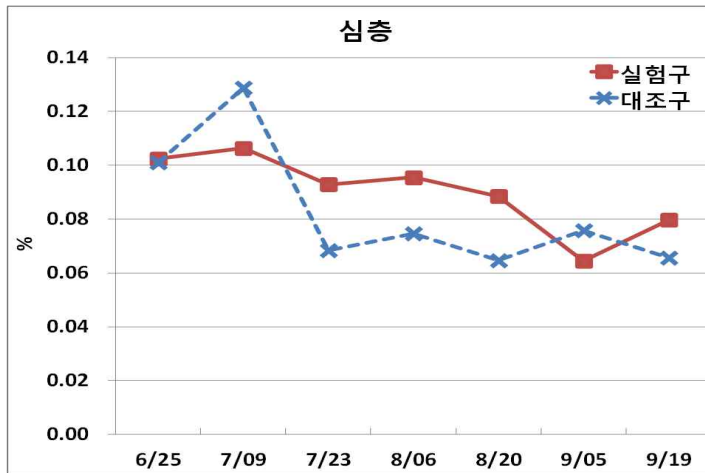
따라서 토양에서의 인의 함량은 유효인산 형태로 분석하였다.

<표 3-18> 토양의 유효인산 함량 [단위 : %]

구분	표층		심층	
	대조구	실험구	대조구	실험구
6월 25일	0.20	0.13	0.10	0.10
7월 09일	0.18	0.12	0.13	0.11
7월 23일	0.10	0.14	0.07	0.09
8월 06일	0.10	0.14	0.07	0.10
8월 20일	0.10	0.14	0.06	0.09
9월 05일	0.10	0.13	0.08	0.06
9월 19일	0.12	0.12	0.07	0.08



<그림 3-51> 표층 토양의 유효인산 함량 변화



<그림 3-52> 심층 토양의 유효인산 함량 변화

토양내 유효인산은 총 질소와 마찬가지로 대조구와 실험구 모두 비슷한 수준으로 나타났다. 또한, 이것은 생육초기에 오히려 표층의 대조구에서 유효인산의 함량이 더 높은 것으로 나타났으며, 심층에서 또한 그 영향으로 2주가 지난 7월 9일의 유효인산 함량이 높아졌다.

즉, 생육초기에 양분이 공급된 실험구보다, 다른 양분공급이 없던 대조구의 유효인산 함량이 약간 상회하는 것으로 나타났다. 이것은 음식물퇴비를 시비 함으로써 다른 Al, Ca, Fe 등 인산과 결합하여 불용화 시킬 수 있는 원소들이 증가했고, 그 결과 오히려 실험구에서 유효인산의 함량이 더 감소한 것으로 사료된다.

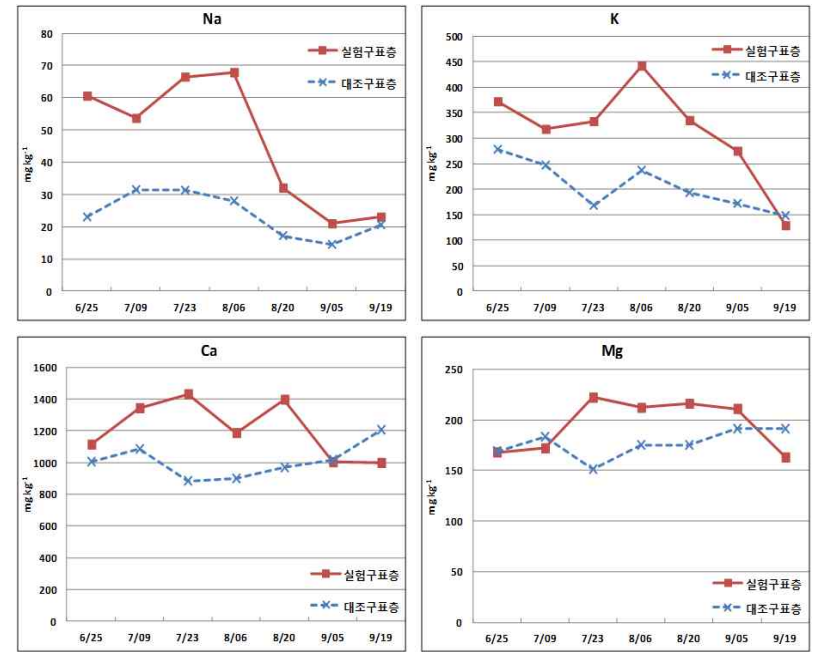
결과적으로 음식물퇴비를 사용한 실험구보다 무처리의 대조구가 유효인산 함량의 변화가 뚜렷한 것으로 나타났으며, 이것은 음식물퇴비에 의한 Al, Ca, Fe 등의 원소가 인산과 결합하여 불용화를 일으켜 생긴 현상으로 판단된다.

3) 양이온

토양내 양이온은 식물체에서 분석한 것과 마찬가지로 Na, Ca, K, Mg를 측정하였다. 토양내 존재하는 양이온은 큰 용량으로 존재하지 않을 것으로 판단되어, 음식물퇴비를 사용한 토양과 그렇지 않은 토양의 구분을 확실히 할 수 있을 것으로 판단된다.

<표 3-19> 토양의 양이온 함량 [단위 mg kg⁻¹]

구분		Na	K	Ca	Mg	
표토	대조구	6월 25일	23	278	1,004	169
		7월 09일	31.5	247	1,084	183
		7월 23일	31.3	168	883	151
		8월 06일	28	237	898	175
		8월 20일	17.2	193	967	175
		9월 05일	14.5	172	1,016	191
		9월 19일	20.6	148	1,205	191
	실험구	6월 25일	60.6	372	1,114	168
		7월 09일	53.7	318	1,343	172
		7월 23일	66.5	333	1,432	222
		8월 06일	67.9	442	1,186	212
		8월 20일	32.1	335	1,397	216
		9월 05일	21	275	1,003	211
		9월 19일	23.1	129	999	163
심토	대조구	6월 25일	34.1	366	776	159
		7월 09일	56.3	189	689	135
		7월 23일	30.7	166	351	77
		8월 06일	55.3	321	399	111
		8월 20일	43.5	252	360	83
		9월 05일	24.7	214	503	120
		9월 19일	29.9	207	304	67
	실험구	6월 25일	31.7	323	618	134
		7월 09일	54.5	354	726	155
		7월 23일	42.2	345	259	104
		8월 06일	55.3	572	254	131
		8월 20일	60.1	556	254	112
		9월 05일	35.1	436	359	112
		9월 19일	22.6	107	289	53

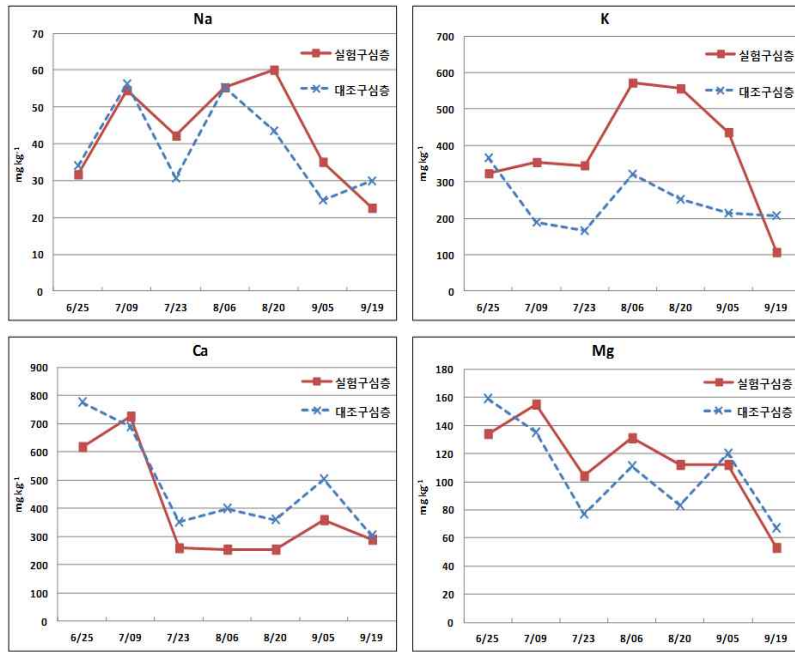


<그림 3-53> 표층 토양의 양이온 함량 변화

토양 표층에서의 양이온 함량은 대조구와 실험구 모두 큰 차이를 나타내지는 않는 것으로 나타났다. 그러나 Na, K, Ca는 생육 초기 대조구의 함량보다 약간 상회하는 것으로 나타났다.

이것은 음식물퇴비에 의한 것으로 판단되며, 총 질소, 유효인산보다 미량으로 존재하여, 눈에 띄게 나타나는 것으로 판단된다.

결과적으로 토양내에서는 음식물퇴비를 시용했을 때, 양이온의 함량은 약간 상승하는 것으로 나타났다. 그러나 생육후기 그 함량은 비슷해지는 것으로 나타나, 식물의 이용 또는 강우에 의한 유출에 의해 함량이 감소해지는 것으로 판단된다.



<그림 3-54> 심층 토양의 양이온 함량 변화

토양 심층에서의 양이온은 표층과는 다르게 K를 제외하고, 대부분 비슷한 함량인 것으로 나타났다. 이것은 음식물퇴비에 의한 영향이 토양 표층에서까지만 있었을 것으로 판단되는 결과이다.

한편, K의 경우 Na과는 다르게 그 함량이 표층에서의 함량변화와 비슷한 것으로 나타났다. 이것은 토양내에서 K가 Na보다 훨씬 유동적으로 이동하여 식물체에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

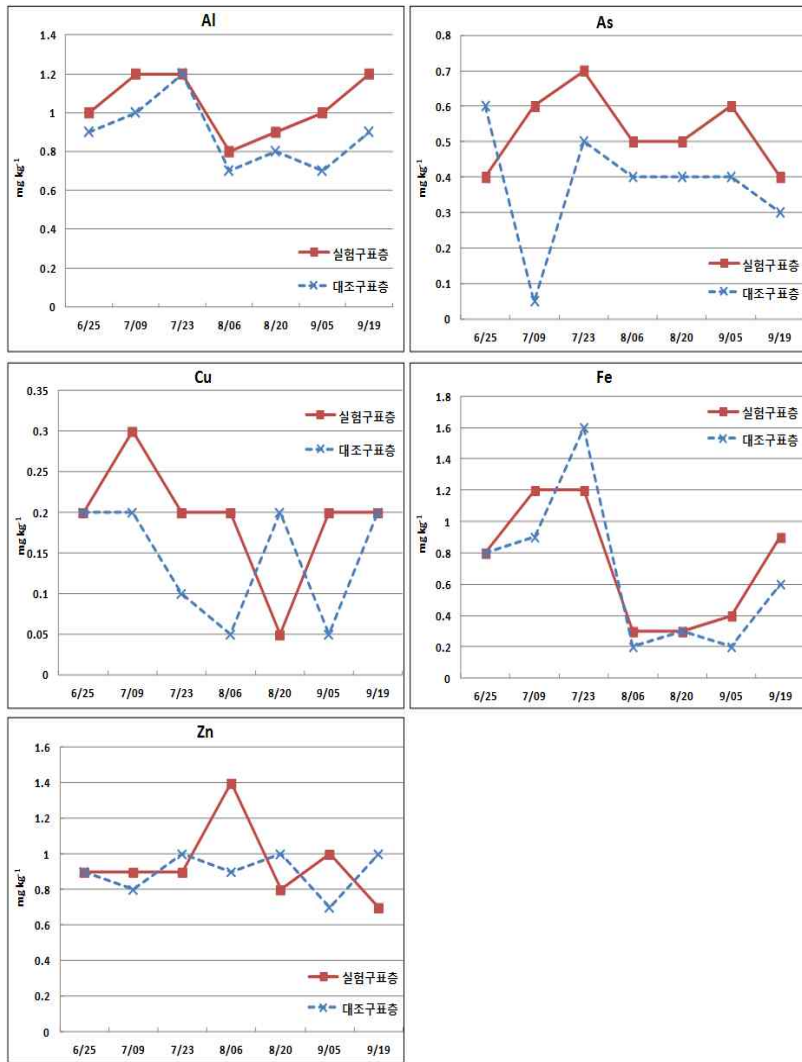
결과적으로 음식물퇴비에 의한 영향은 심층보다는 표층에서 주를 이루어 나타나는 것으로 판단된다.

4) 중금속

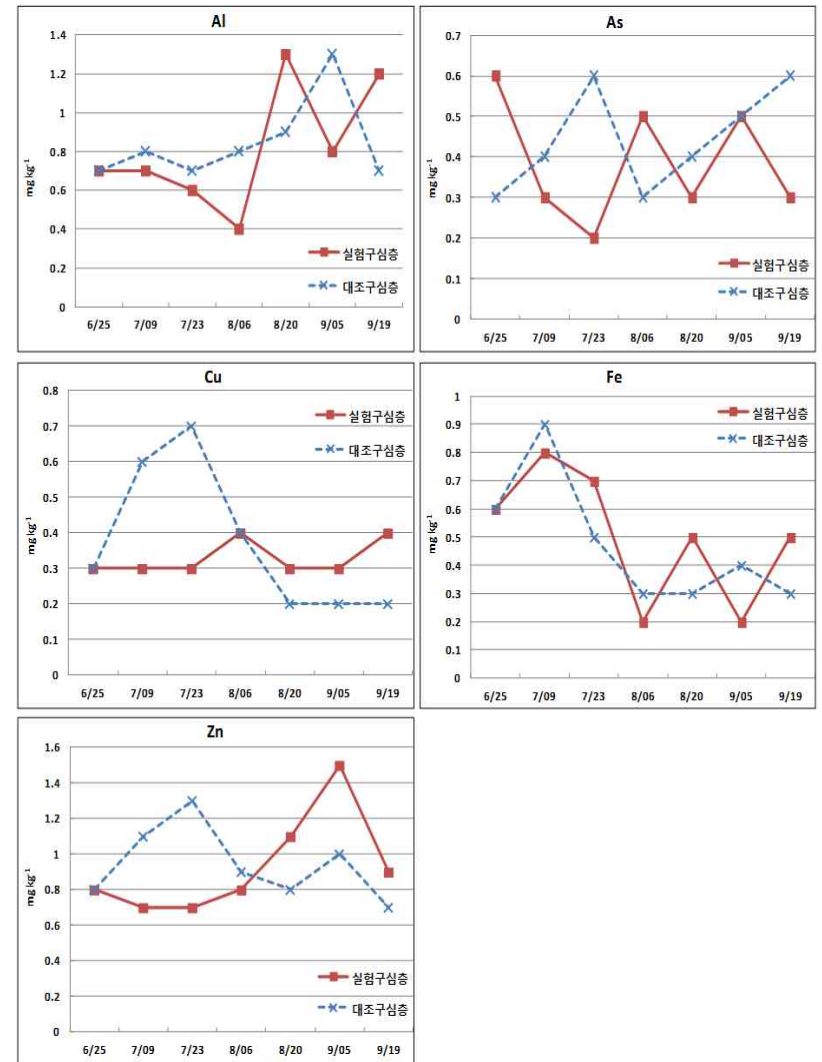
토양내 중금속은 식물체에서 분석한 것과 마찬가지로 Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn을 분석하였다. 이것은 식물체에서 검출된 것으로 토양에서 영향이 있었을 것으로 판단된다.

<표 3-20> 토양의 중금속 함량 [단위 mg kg⁻¹]

구분		Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn			
표토	대조구	6월 25일	0.9	0.6	N.D	N.D	0.2	0.8	≤0.1	N.D	0.9		
		7월 09일	1	≤0.1	N.D	N.D	0.2	0.9	≤0.1	N.D	0.8		
		7월 23일	1.2	0.5	N.D	N.D	0.1	1.6	≤0.1	N.D	1		
		8월 06일	0.7	0.4	N.D	N.D	≤0.1	0.2	≤0.1	N.D	0.9		
		8월 20일	0.8	0.4	N.D	N.D	0.2	0.3	≤0.1	N.D	1		
		9월 05일	0.7	0.4	N.D	N.D	≤0.1	0.2	≤0.1	N.D	0.7		
		9월 19일	0.9	0.3	N.D	N.D	0.2	0.6	≤0.1	N.D	1		
		실험구	6월 25일	1	0.4	N.D	N.D	0.2	0.8	≤0.1	N.D	0.9	
			7월 09일	1.2	0.6	N.D	N.D	0.3	1.2	≤0.1	N.D	0.9	
	7월 23일		1.2	0.7	N.D	N.D	0.2	1.2	≤0.1	N.D	0.9		
	8월 06일		0.8	0.5	N.D	N.D	0.2	0.3	≤0.1	N.D	1.4		
	8월 20일		0.9	0.5	N.D	N.D	≤0.1	0.3	≤0.1	N.D	0.8		
	9월 05일		1	0.6	N.D	N.D	0.2	0.4	≤0.1	N.D	1		
	9월 19일		1.2	0.4	N.D	N.D	0.2	0.9	≤0.1	N.D	0.7		
	심토		대조구	6월 25일	0.7	0.3	N.D	N.D	0.3	0.6	≤0.1	N.D	0.8
				7월 09일	0.8	0.4	N.D	N.D	0.6	0.9	≤0.1	N.D	1.1
		7월 23일		0.7	0.6	N.D	N.D	0.7	0.5	≤0.1	N.D	1.3	
		8월 06일		0.8	0.3	N.D	N.D	0.4	0.3	≤0.1	N.D	0.9	
8월 20일		0.9		0.4	N.D	N.D	0.2	0.3	≤0.1	N.D	0.8		
9월 05일		1.3		0.5	N.D	0.2	0.2	0.4	≤0.1	N.D	1		
9월 19일		0.7		0.6	N.D	N.D	0.2	0.3	≤0.1	N.D	0.7		
실험구		6월 25일		0.7	0.6	N.D	N.D	0.3	0.6	N.D	N.D	0.8	
		7월 09일		0.7	0.3	N.D	N.D	0.3	0.8	0.2	N.D	0.7	
		7월 23일	0.6	0.2	N.D	N.D	0.3	0.7	N.D	N.D	0.7		
		8월 06일	0.4	0.5	N.D	N.D	0.4	0.2	≤0.1	N.D	0.8		
		8월 20일	1.3	0.3	N.D	N.D	0.3	0.5	≤0.1	N.D	1.1		
		9월 05일	0.8	0.5	N.D	N.D	0.3	0.2	≤0.1	N.D	1.5		
		9월 19일	1.2	0.3	N.D	N.D	0.4	0.5	N.D	N.D	0.9		



<그림 3-55> 표층 토양의 중금속 함량 변화



<그림 3-56> 심층 토양의 중금속 함량 변화

토양내에서의 중금속은 대조구와 실험구 모두에서 함량이 비슷한 것으로 나타났다. 또한, Cd, Cr, Pb는 검출되지 않았으며, Ni의 경우 극미량으로 나타났다.

한편, 식물체에서는 Cd, Cr, Pb가 검출된 것으로 나타났으나, 토양에서는 검출되지 않는 것으로 나타났다. 이것은 식물체에서의 Cd, Cr, Pb의 검출은 음식물 퇴비에 의한 요인보다는 다른 환경적 요인에 있을 것으로 판단되는 결과이다.

결과적으로 토양내 양분 변화에서 음식물퇴비에 의한 양분변화는 양이온에서의 변화가 제일 뚜렷한 것으로 나타났으며, 그 외에는 그 영향이 미비한 것으로 나타났다.

한편, 토양에서의 양분변화가 식물체의 양분변화와 관련이 얼마나 있는지를 알아보기 위하여, 양분변화가 뚜렷한 표층에서와 식물체 내의 양분 함량 중 열매에서의 양분 함량을 비교해 봐야할 것으로 판단된다.

2. 식물의 양분변화와 토양양분 함량의 상관관계

식물체내에서의 양분변화는 토양양분과 상관관계가 있을 것으로 판단되며, 이것을 파악하기 위해서는 토양과 식물체 내에서의 양분 변화를 살펴봐야한다.

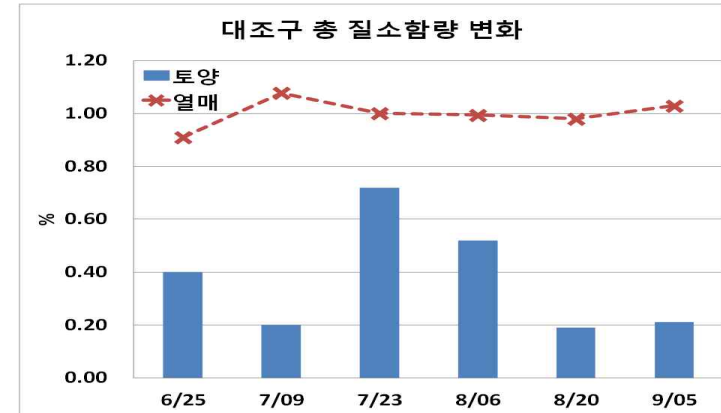
따라서 앞서 나타난 결과에 따라서 양분의 변화가 뚜렷한 토양 표층과 식물체에서 먹거리로서 이용하는 열매에서 양분의 변화를 봐야할 것으로 판단된다. 비교분석대상은 질소, 인, 양이온, 중금속이다.

1) 질소

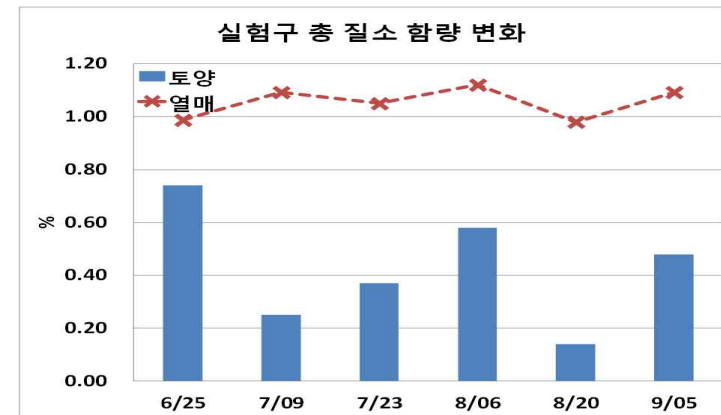
토양과 열매의 질소함량 변화에서는 토양내 질소함량이 감소할 때 열매에서는 증가하는 반면에, 토양내 질소 함량이 증가할 때 열매에서는 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 대조구와 실험구 모두에서 나타나는 현상으로 토양의 질소 함량은 식물체내의 질소 함량에 미치는 것으로 판단된다.

한편, 대조구와 실험구 토양의 질소 함량은 서로 다른 양상을 보이지만 열매

에서의 질소 함량은 비슷한 양상을 보이는 것으로 나타났다. 이것은 식물체내의 질소 함량이 토양의 질소 함량보다 높아서 그 영향이 작은 것으로 판단된다.



<그림 3-57> 대조구 토양 및 열매의 총 질소 함량 변화

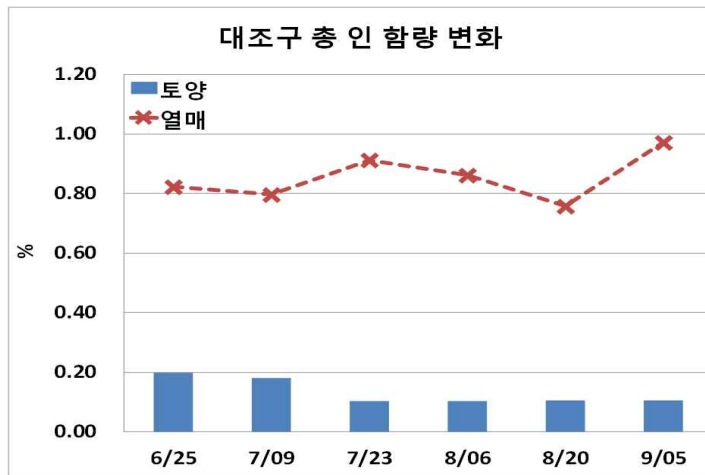


<그림 3-58> 실험구 토양 및 열매의 총 질소 함량 변화

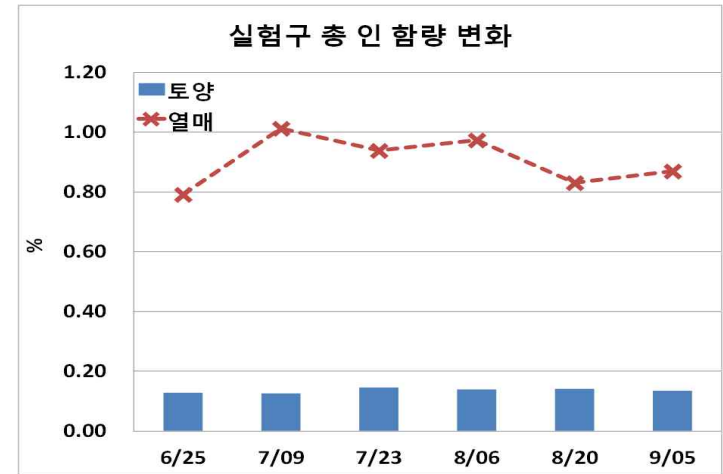
2) 인¹⁷⁾

토양과 열매에서의 인 함량 변화를 살펴본 결과 실험구에서의 토양 및 열매는 큰 변화를 보이지 않는 것으로 나타난 반면에, 대조구에서의 토양은 일정하게 감소하는 것으로 나타났으며, 열매에서는 서서히 증가하는 경향이 있는 것으로 나타났다.

특히, 실험구에서의 인의 함량 중 토양에서는 함량변화가 뚜렷하게 나타나지 않는 반면에, 열매에서는 변화가 일어나 그 연계성을 파악하긴 어려운 것으로 판단된다.



<그림 3-59> 대조구 토양 및 열매의 총 인 함량 변화



<그림 3-60> 실험구 토양 및 열매의 총 인 함량 변화

3) 양이온

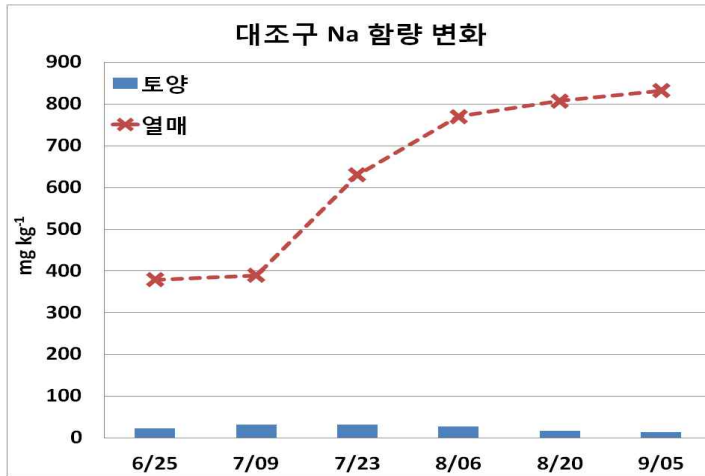
① Na

식물체의 양이온 중 Na는 대조구와 실험구 모두 토양에서 감소하는 반면에, 열매에서는 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

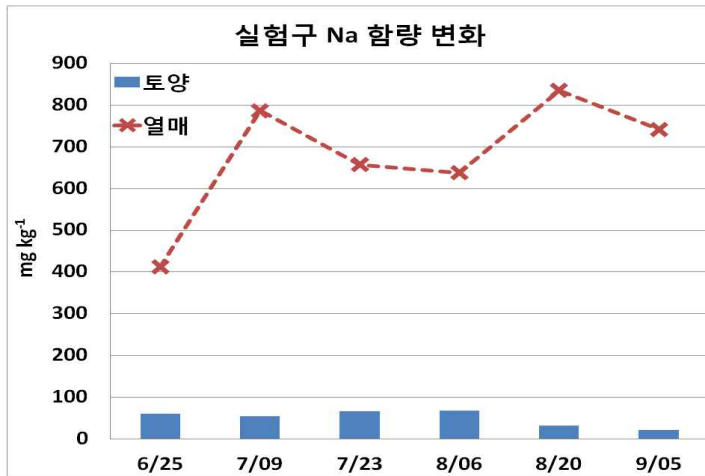
이것은 토양내에서 Na함량이 감소하는 경향이 열매에서 Na함량이 증가하는 것과 연계성이 있는 것으로 판단된다. 또한, 그 연계성은 식물체에서 흡수된 Na가 열매로 축적이 되는 것으로 판단된다.

한편, 실험구에서 Na함량은 질소와 마찬가지로 토양에서 증가할 때, 열매에서 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이것은 식물체에서 양분이 감소하면 토양내에서 양분이 증가하는 것으로 판단된다. 그러나 그 이유는 다른 생물학적, 화학적 요인이 있을 것으로 판단된다.

17) 그림에서는 총 인으로 표기하였으나, 토양의 경우는 유효인산의 농도이며, 식물체에서는 총 인의 농도로 계산한 것이다.



<그림 3-61> 대조구 토양 및 열매의 Na 함량 변화

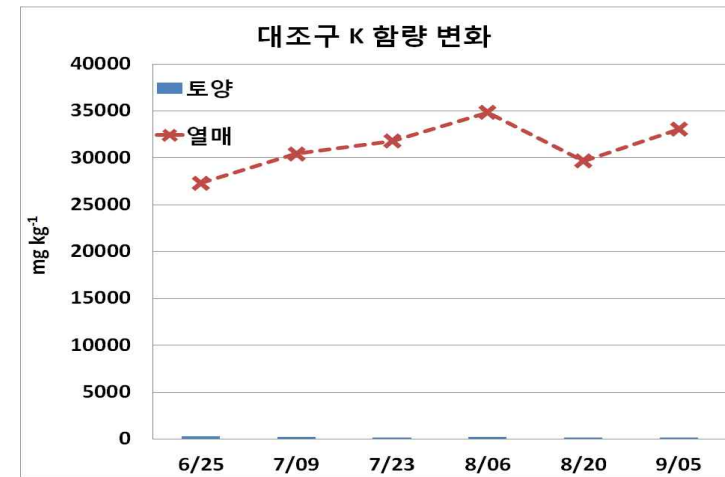


<그림 3-62> 실험구 토양 및 열매의 Na 함량 변화

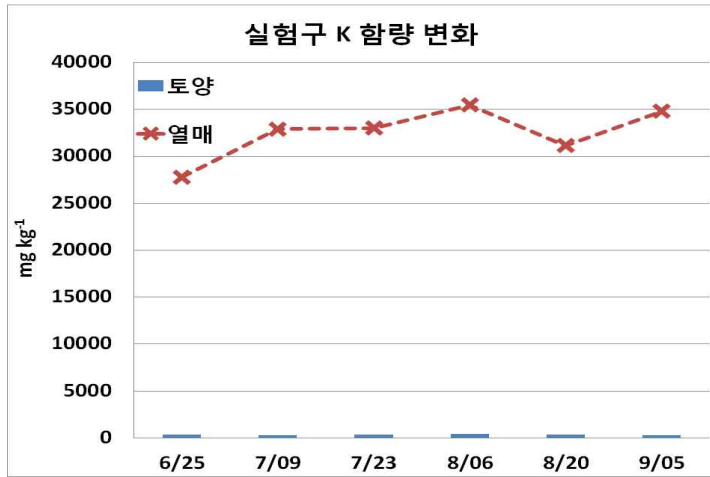
② K

식물체의 양이온 중 K는 Na와 마찬가지로 대조구와 실험구 모두 토양에서 감소하는 반면에, 열매에서는 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 토양에서의 K함량이 식물체에 비하여 적은 것으로 나타나 그 연계성을 찾는 것은 어려운 것으로 판단된다.

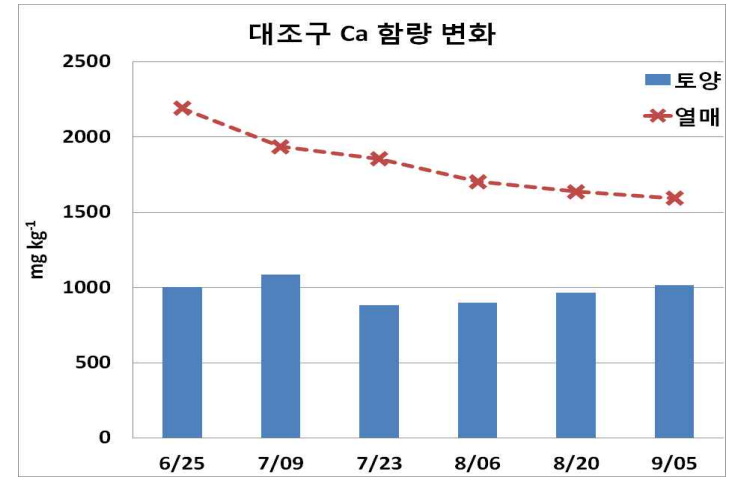
한편, K는 Na의 의한 길항작용으로 감소해야하는 것이 일반적이나, Na도 증가했으며, K도 증가한 것으로 나타났다. 이것은 Na에 의한 길항작용이 모든 식물체에서 적용되는 것은 아닌 것으로 판단된다.



<그림 3-63> 대조구 토양 및 열매의 K 함량 변화



<그림 3-64> 실험구 토양 및 열매의 K 함량 변화



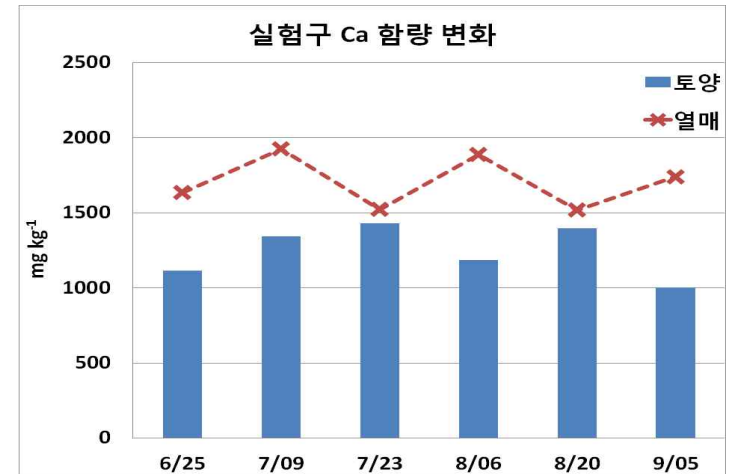
<그림 3-65> 대조구 토양 및 열매의 Ca 함량 변화

③ Ca

식물체의 양이온 중 Ca는 대조구에서 토양은 큰 변화가 없는 반면에, 열매에서는 지속적으로 Ca가 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 실험구에서는 인의 함량과 마찬가지로 토양과 열매에서의 함량변화가 반대인 것으로 나타났다.

한편, 음식물퇴비를 사용한 실험구보다, 오히려 대조구에서 Ca함량의 감소가 더 크게 일어난 것으로 나타났다. 이것은 대조구 열매에서 Na의 함량이 증가한 것과 관련이 있을 것으로 판단된다. 또한 실험구에서는 토양중 Na의 함량 변동 폭이 심한 것과 열매에서의 변동이 큰 것이 관련이 있을 것으로 판단된다.

결과적으로 실험구보다 대조구에서 Na의 함량에 의한 Ca의 함량감소에 영향을 미치는 것으로 판단된다.



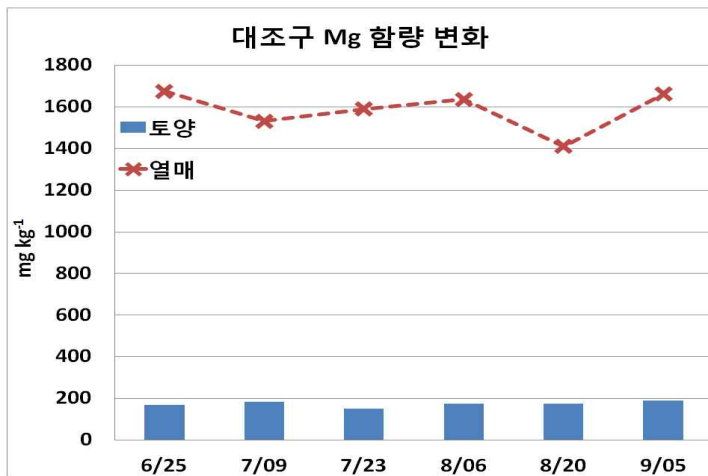
<그림 3-66> 실험구 토양 및 열매의 Ca 함량 변화

④ Mg

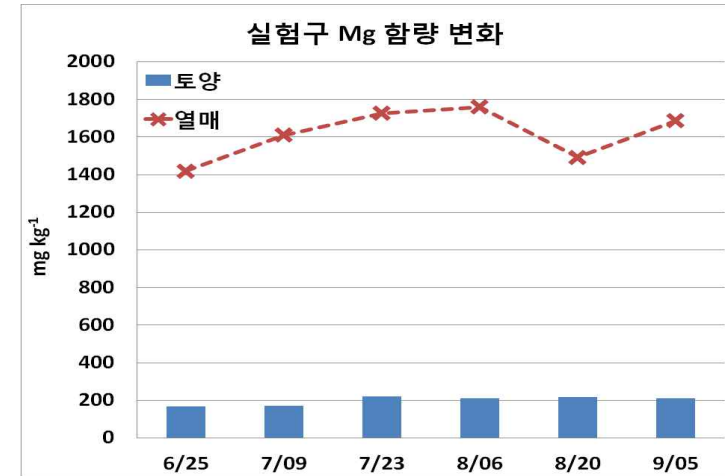
식물체의 양이온 중 Mg는 대조구와 실험구 모두 토양에서 감소하면 열매에서 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 일반적인 양분의 변화 양상과 같은 것으로 나타났다.

한편, 대조구와 실험구 모두 토양에서의 양분 함량이 비슷한 결과에 따라서 열매에서의 양분 함량 변화도 비슷한 것으로 판단된다.

결과적으로 대조구와 실험구 모두 Mg 함량 변화는 비슷한 것으로 나타났으며, 다른 양분이나 식물물체비에 의한 영향은 적은 것으로 판단된다.



<그림 3-67> 대조구 토양 및 열매의 Mg 함량 변화



<그림 3-68> 실험구 토양 및 열매의 Mg 함량 변화

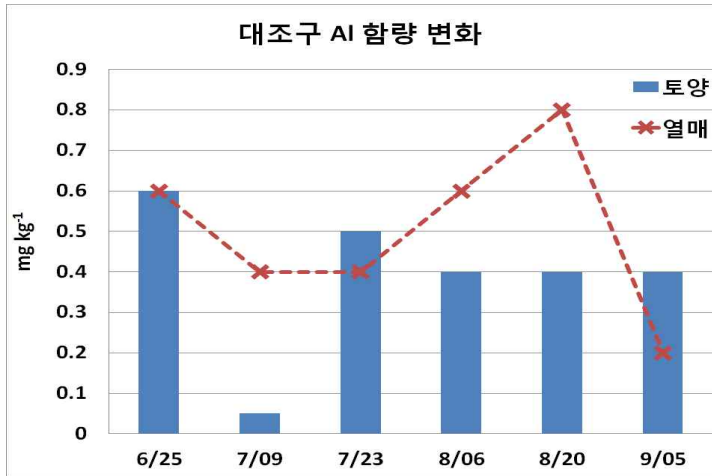
4) 중금속

① Al

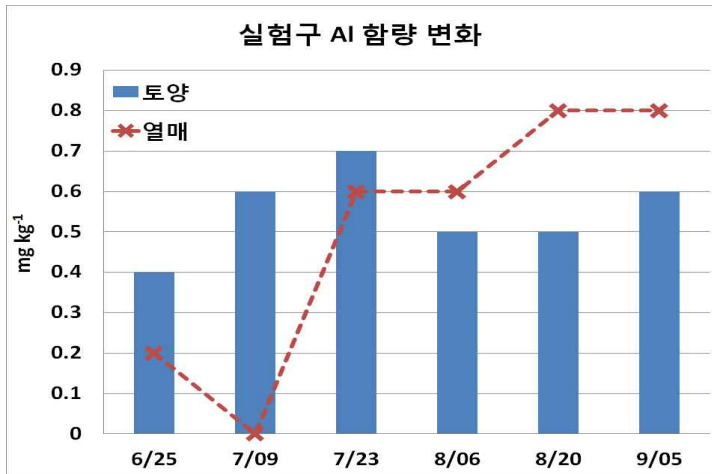
식물체의 중금속 중 Al은 대조구의 경우 토양과 열매에서의 영향을 찾아보기 힘든 경향을 보이는 것으로 나타났다. 반면에 실험구에서는 토양에서 증가하면 열매에서 증가하는 것으로 나타났다.

이것은 토양내 양분변화와 식물체내 양분변화와 관련이 있는 것으로 판단되며, 일반적인 양분변화 양상인 것으로 판단된다.

결과적으로 Al은 토양의 양분변화에 의하여 식물체내 양분변화에 영향이 있는 것으로 판단된다.



<그림 3-69> 대조구 토양 및 열매의 Si 함량 변화



<그림 3-70> 실험구 토양 및 열매의 Si 함량 변화

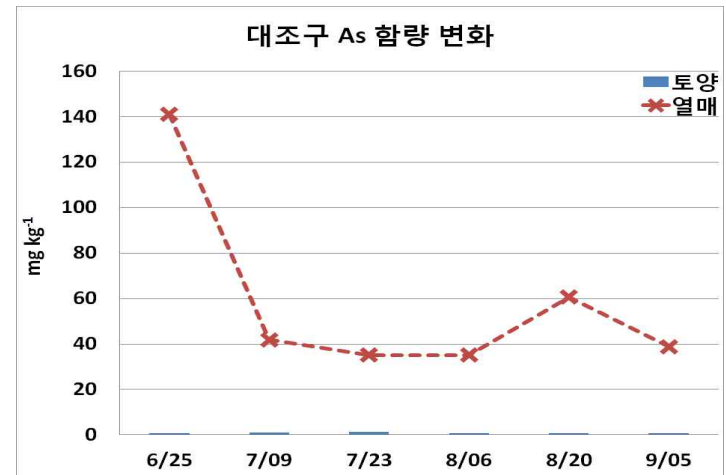
② As

식물체의 증급속 중 As는 대조구의 토양에서 감소하는 경향을 보였으며, 실험구의 토양에서는 증가했다 감소하는 경향인 것으로 나타났다.

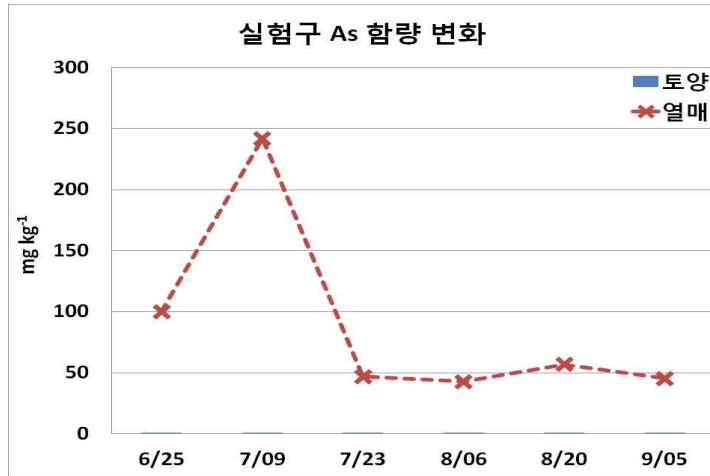
반면에, 대조구의 열매에서는 생육 초기 높은 함량에서 감소하는 것으로 나타났으며, 실험구의 열매에서는 생육 초기 상승했다 감소하는 것으로 나타났다.

그러나 이것은 토양에서의 As함량이 식물체 열매의 양분 흡수와는 별다른 상관관계를 이루고 있지 않는 것으로 판단된다. 그 이유는 토양에서 As함량이 감소하는 경향과 열매에서 As함량이 축적되지 않는 경향으로 나타났기 때문이다.

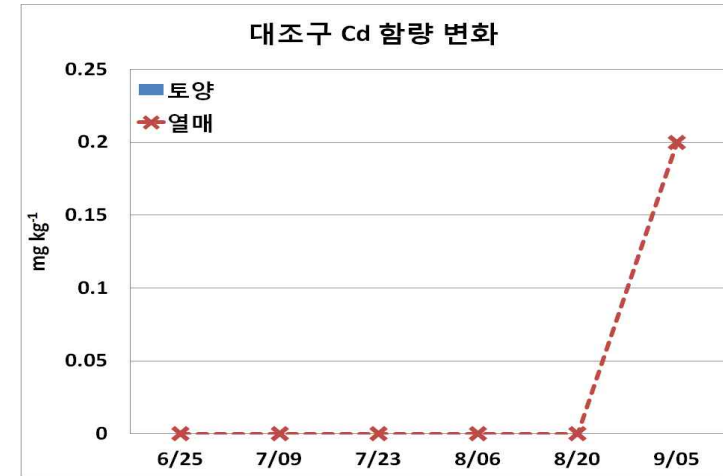
결과적으로 As는 토양의 함량과 열매에서의 함량은 별다른 영향이 없는 것으로 판단된다.



<그림 3-71> 대조구 토양 및 열매의 As 함량 변화



<그림 3-72> 실험구 토양 및 열매의 As 함량 변화



<그림 3-73> 대조구 토양 및 열매의 Cd 함량 변화

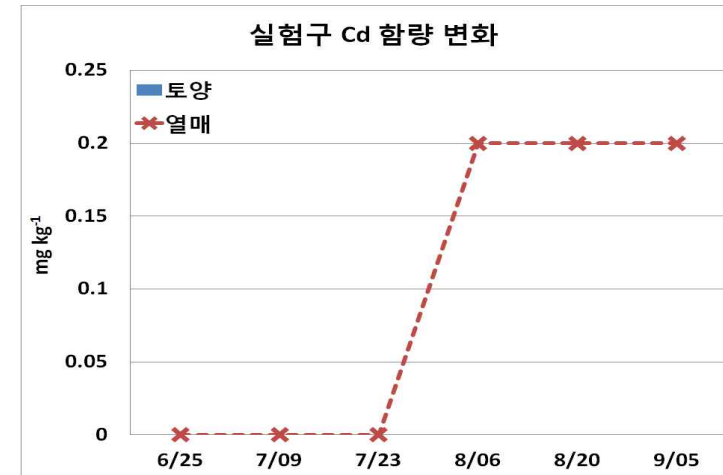
③ Cd

식물체의 중금속 중 Cd는 대조구와 실험구 모두 토양에서 검출되지 않은 반면에, 식물체에서는 검출이 되었으며, 그 함량 또한 증가하는 것으로 나타났다.

이것은 토양내 미검출 될 정도의 미량의 원소만이 존재하여 식물체내로 소량씩 축적될 수 있는 가능성이 있다. 그러나 대조구와 실험구 모두 같은 경향을 나타내어 그 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

한편, 토양에서 검출되지 않은 Cd가 식물체 열매에서 검출된 것은 토양에서의 영향보다는 도시농업이라는 형태의 대기적 환경, 위치적 환경 등에 의한 영향이 클 것으로 판단된다.

결과적으로 Cd는 토양내에서 검출되지 않았으므로, 토양과 식물체와의 관계를 알아내기는 어려울 것으로 판단된다. 그러나 식물체내에서 검출된 Cd의 경우는 토양보다는 대기환경에 의한 영향이 더 클 것으로 판단된다.



<그림 3-74> 실험구 토양 및 열매의 Cd 함량 변화

④ Cr

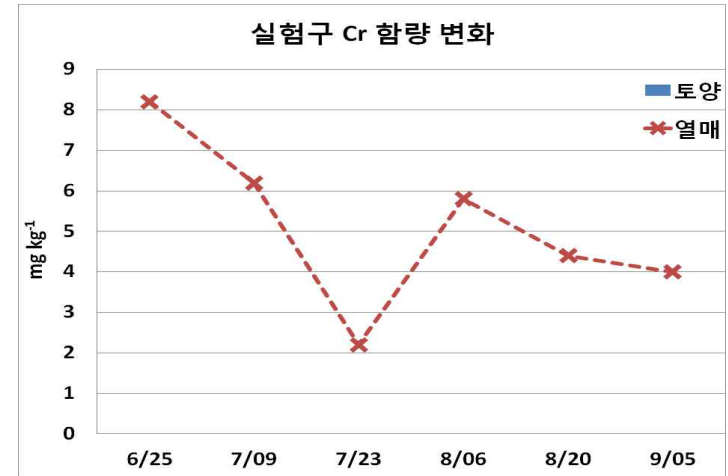
식물체의 중금속 중 Cr는 Cd와 마찬가지로 대조구와 실험구 모두 토양에서 검출되지 않은 반면에, 식물체에서는 검출이 되었다.

그러나 대조구 열매의 경우 Cr의 함량이 지속적으로 증가하는 반면에 실험구에서는 감소하는 것으로 나타났다.

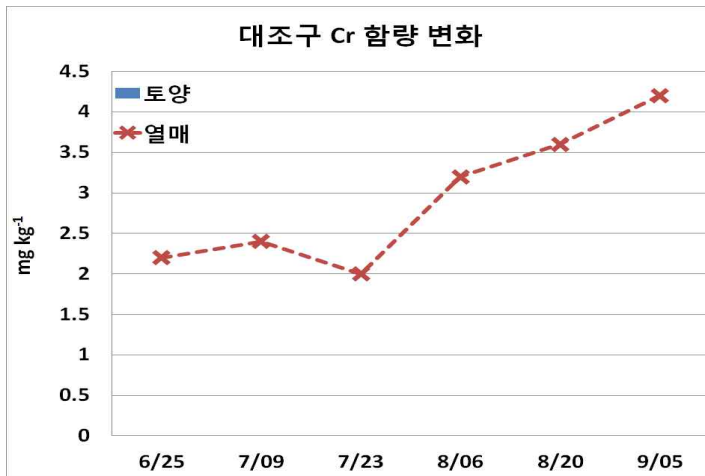
이것은 다른 양분 흡수와 관련하여 길항작용이 나타났거나, 다른 환경적 요인이 작용했을 것으로 판단된다.

한편, 토양에서 검출되지 않았던 Cr 식물체 열매에서 검출된 것은 Cd와 마찬가지로 대기적 환경, 위치적 환경 등에 의한 영향이 클 것으로 판단된다.

결과적으로 Cr은 토양내에서 검출되지 않았으므로, 토양과 식물체와의 관계를 알아내기는 어려울 것으로 판단되며, 그 영향은 대기환경에 의한 영향이 클 것으로 판단된다.



<그림 3-76> 실험구 토양 및 열매의 Cr 함량 변화



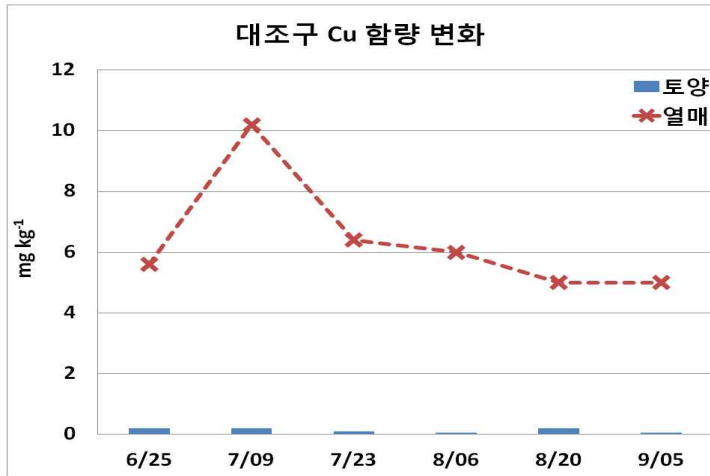
<그림 3-75> 대조구 토양 및 열매의 Cr 함량 변화

⑤ Cu

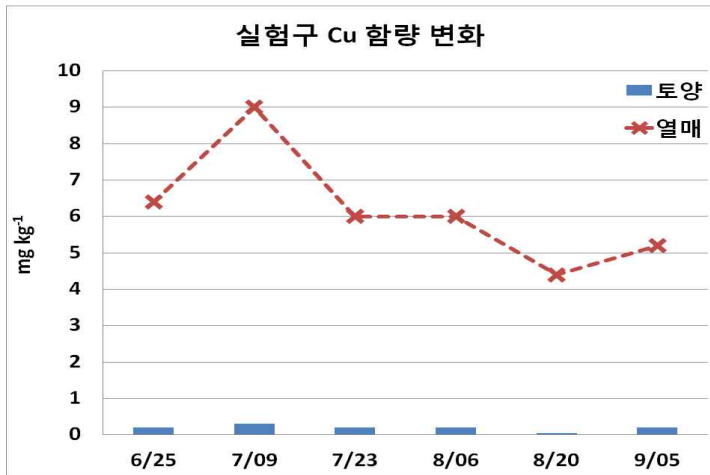
식물체의 중금속 중 Cu는 대조구와 실험구 모두 토양에서의 함량이 감소하면 열매에서의 함량이 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 일반적인 양분의 흡수와 관련된 현상으로 판단된다.

그러나 토양내 존재하는 구리의 함량은 0.3 mg kg⁻¹이하로 상당히 미량으로 그 관계를 명확하게 판단하기는 어려울 것으로 사료된다.

결과적으로 Cu는 토양내에서 감소하면 식물체에서 증가하는 경향을 보였으며, 일반적인 토양과 식물체의 양분변화에 속해 있는 것으로 나타났다.



<그림 3-77> 대조구 토양 및 열매의 Cu 함량 변화



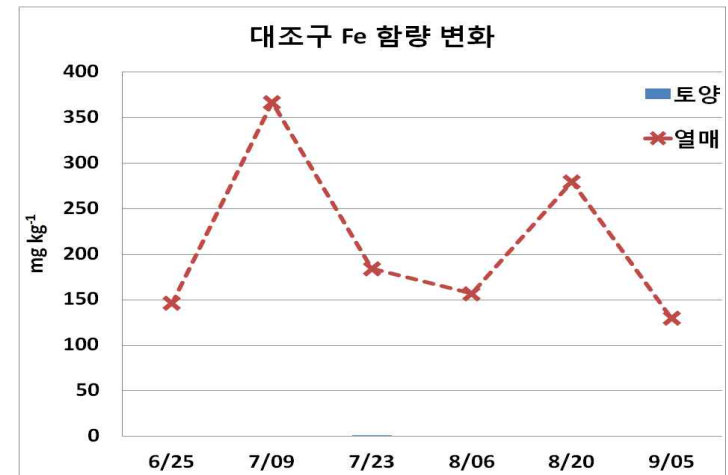
<그림 3-78> 실험구 토양 및 열매의 Cu 함량 변화

⑥ Fe

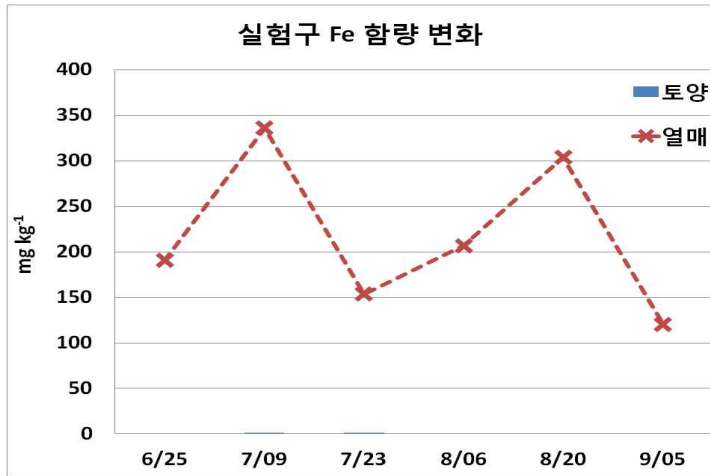
식물체의 중금속 중 Fe는 대조구와 실험구 모두에서 토양내에서 Fe함량이 증가하면, 식물체에서 Fe함량이 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 토양의 양분증가보다 열매에서의 양분 증가가 약간 늦게 나타나는 것으로 판단되나, 일반적인 양분흡수의 경향인 것으로 사료된다.

한편, Fe는 대조구와 실험구 모두 토양과 열매에서의 경향이 비슷한 것으로 나타났다. 따라서 토양내에서의 Fe함량이 열매에서 Fe함량에 영향을 주는 것으로 판단된다.

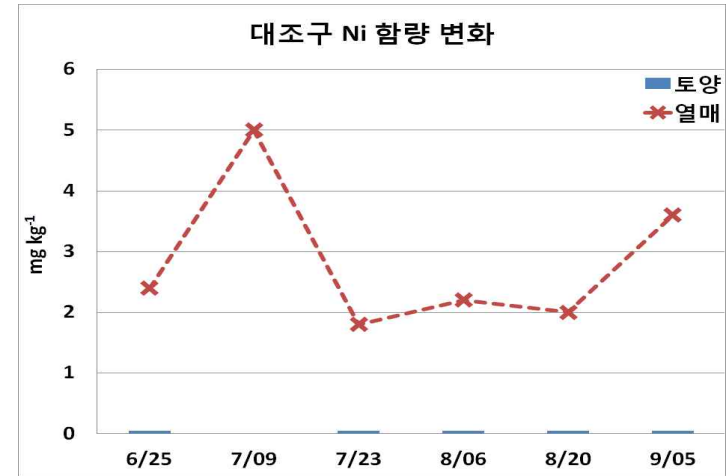
결과적으로 Fe는 토양에서의 양분 함량이 증가하면, 식물체에서도 증가하는 경향을 보였으며, 그 경향은 일반적인 양분보다 늦는 것으로 나타났다.



<그림 3-79> 대조구 토양 및 열매의 Fe 함량 변화



<그림 3-80> 실험구 토양 및 열매의 Fe 함량 변화



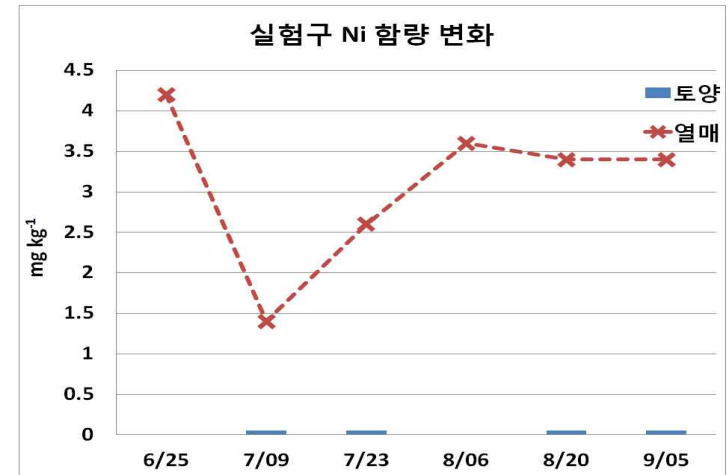
<그림 3-81> 대조구 토양 및 열매의 Ni 함량 변화

⑦ Ni

식물체의 증금속 중 Ni는 Cd, Cr과는 다르게 검출은 되었지만 0.1 mg kg⁻¹ 이하로 검출되어, 거의 존재하지 않는 것으로 나타났다.

그러나 Cd와 Cr과 마찬가지로 토양보다 많은 Ni의 함량이 열매에서 검출되었다. 이것 또한 토양에서의 영향보다는 대기적 환경, 위치적 환경의 영향이 더 클 것으로 판단된다.

결과적으로 Ni는 토양에서의 양분보다는 대기적 환경에서의 영향이 식물체에 더 미치는 것으로 판단된다.



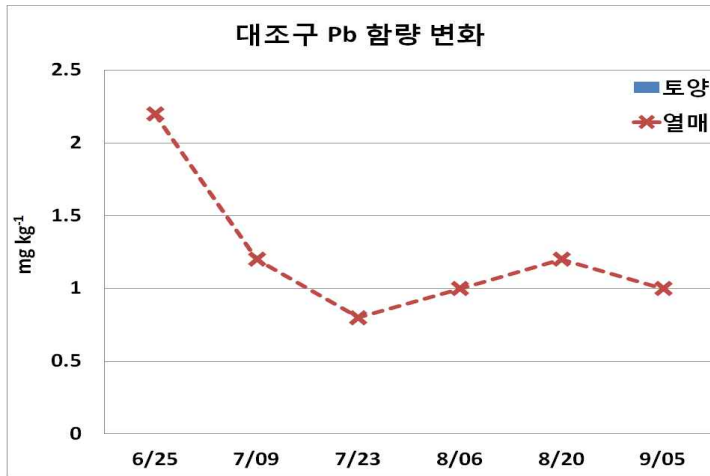
<그림 3-82> 실험구 토양 및 열매의 Ni 함량 변화

⑧ Pb

식물체의 중금속 중 Pb는 Cd와 Cr과 마찬가지로 토양에서는 검출되지 않았으나 식물의 열매에서는 검출된 것으로 나타났다.

그러나 이것은 Cd와 Cr과는 반대로 생육기간이 지날수록 그 함량이 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 그 변화폭은 대조구보다 실험구가 더 큰 것으로 나타났다.

결과적으로 Pb는 토양에서 검출되지 않았으므로, 식물체에서 검출된 Pb함량은 대기적 환경에서의 영향이 더 클 것으로 판단된다.



<그림 3-83> 대조구 토양 및 열매의 Pb 함량 변화



<그림 3-84> 실험구 토양 및 열매의 Pb 함량 변화

⑨ Zn

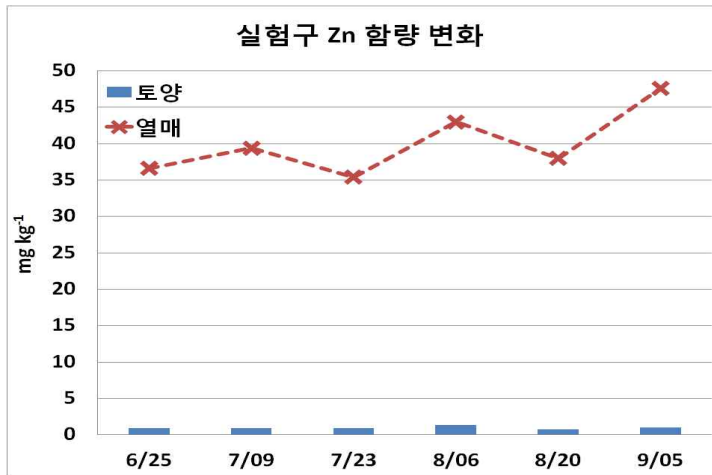
식물체의 중금속 중 Zn은 대조구와 실험구 모두 토양에서 Zn함량이 감소하면 열매에서 Zn함량이 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 다른 원소와 마찬가지로 토양내에서 양분을 흡수하여 열매에서 축적된 것으로 판단된다.

한편, 열매에서의 Zn은 대조구보다 실험구에서의 함량변화가 더 늦게 나타난 것으로 나타났다. 이것은 Fe와 마찬가지로 그 영향이 약간 늦게 나타나는 것으로 판단된다.

결과적으로 Pb는 토양에서의 양분 함량이 감소하면, 식물체에서 증가하는 경향을 보였으며, 그 경향은 일반적인 양분에서의 경향인 것으로 나타났다.



<그림 3-85> 대조구 토양 및 열매의 Zn 함량 변화



<그림 3-86> 실험구 토양 및 열매의 Zn 함량 변화

■ 소결

식물체의 양분흡수가 토양내의 화학적 특성 중, 양분과 관련하여 어떠한 관련이 있는지를 파악하기 위하여 토양과 식물체의 양분의 상관관계 대해서 분석하였다.

그 결과, 질소와 Ca는 토양에서 함량이 감소하면 식물체에서 함량이 증가하며, 반대로 토양에서 함량이 증가하면 식물체에서 함량이 감소하는 것으로 나타났다.

반면에 Na, Al, Cu, Fe, Zn에서는 일반적으로 토양에서 함량이 감소하면 열매에서 함량이 증가하는 경향으로 나타났다. 이것은 질소와 Ca와 비슷할 순 있으나, 식물에서 함량이 감소한다고 토양에서 함량이 증가하지는 않는다는 점에서 다르다.

한편, 인, K, Mg, As는 토양에서의 함량이 식물체에서의 함량변화에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

이 외에 Cd, Cr, Ni, Pb는 토양에서 검출되지 않거나, 극미량 검출된 것으로 나타났으나, 식물체에서 그 함량이 축적되는 경향을 나타냈다. 이것은 토양에서의 양분흡수가 아닌 대기적 환경에서의 영향이 더 큰 것으로 판단된다.

제 4 장

결론 및 정책제언

.....
제1절 결론

제2절 정책제언
.....

제4장 결론 및 정책제언

제1절 결론

본 연구는 음식물퇴비를 사용하였을 때 나타나는 식물체의 성장패턴을 연구하기 위해 진행되었다.

그 결과는 음식물퇴비를 사용하여 재배한 식물에서는 다른 양분을 공급하지 않는 무처리구의 식물보다 초기 생육이 빠른 것으로 나타났다. 그러나 생육기간이 지날수록 그 차이는 적어지는 것으로 나타났다. 또한, 양분적인 영향에서는 별다른 영향이 없는 것으로 나타났다.

결과적으로 과거 선행 연구에 있었던 결과와는 다르게 음식물퇴비를 사용하여 재배한 식물에서의 생육저해나 양분변화의 영향은 적은 것으로 나타났다.

따라서 음식물퇴비를 사용하여 작물을 재배하기에는 적합한 것으로 판단된다.

한편, 토양과 식물체에서의 양분변화의 상관관계에 대한 분석에서는 토양에서 검출되지 않았던 유해중금속 중 Cd, Cr, Pb이 식물체에서 검출된 것으로 나타났다.

이것은 토양에서의 영향보다는 식물체를 재배한 곳이 도시농업지라는 지형적 요인에 의한 영향에 의해서 검출된 것으로 판단된다. 이것은 도시라는 지형적 환경에서 대기중에 녹아있는 중금속, 매연 등에 의한 대기적 환경 요인에 의한 영향이 클 것으로 판단된다.

따라서 지리적 위치의 변화에 따른 대기에서의 중금속이 식물체에 미치는 영향에 관한 연구가 진행되어야 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

제2절 정책제언

본 연구는 음식물퇴비를 사용하여 식물체 성장패턴에 관한 연구를 진행하였다.

그 결과 음식물퇴비를 사용하였을 때, 식물체의 생육성장은 일반적인 작물 재배와 다른 점이 크게 나타나지 않는 것으로 나타났다. 따라서 음식물퇴비를 이용하여 식물체 재배에 이용하여도 될 것으로 판단된다.

결과적으로 음식물퇴비를 식물체의 양분공급을 위하여 사용의 활성화를 위해서, 대전광역시에서는 시내에서 종사하는 농업인들에게 음식물퇴비에 대한 홍보와 저렴한 가격에서의 퇴비를 공급해줄 수 있는 정책적 지원 조례가 필요할 것으로 사료된다.

또한, 대전광역시에서는 농업에 종사하고 있는 농업인들 외에 도시농업, 도시녹화 등 식물을 재배하는데 필요한 양분 공급 차원에서 일반 상토 또는 퇴비보다는 음식물퇴비를 사용하는 대체 방안이 필요할 것으로 사료된다.

한편, 토양에서 검출되지 않았던 Cd, Cr, Pb가 식물체에서 검출되었으며, 이것은 식품안전기준을 초과하는 것으로 나타났다. 이것은 토양에서의 영향보다는 도시농업적인 측면에서 대기적 영향(대기중에 녹아있는 중금속, 매연 등의 유해물질)에 따른 중금속 축적이 일어난 것으로 판단된다.

따라서 도시농업에서 대기중의 영향에 따른 식물체에서의 중금속 축적에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

○ 보고서 · 서적

- 2011년말기준 음식물류폐기물 처리시설 운영현황(2011), 환경부.
- 전국 폐기물 발생 및 처리현황(2007~2013), 환경부, 한국환경공단.
- 토양비료 용어사전(2012), 한국토양비료학회, 농촌진흥청 국립농업과학원.
- 이석길(2013), 음식물류 폐기물의 자원화 현황과 발전방향, 한국음식물류폐기물자원화협회.
- 정승현(2013), 음식물류 폐기물 자원화 과거, 현재 그리고 미래, 농촌살리기 대토론회 발표자료.
- 정환도(2010), 건강영향평가제도의 시행과 기법적용 방안, 대전발전연구원.
- 정환도(2011), 대기오염과 환경지표중에 대한 기초연구, 대전발전연구원.
- 정환도(2012), 대기오염과 식물생태에 관한 기초연구, 대전발전연구원.
- 정환도(2013), 대전시 음식물퇴비 이용의 활성화 방안, 대전발전연구원.
- 정환도(2013), 발효퇴비 적정혼합비와 토양오염에 관한 연구, 대전발전연구원.
- 정환도 · 이재근 · 이은재(2013), 대전시 환경복지 정책방향에 관한 연구, 대전발전연구원.
- 정희석(2005), 목재용어사전, 서울대학교출판부.
- William G. Hopkins, Norman P. A. Huner 저, 홍영남 역(2012), 식물생리학 제 4판, 윌드사이언스.

○ 논문

- 권순익 · 소규호 · 홍승길 · 김건엽 · 성기석 · 박우균 · 김권래 · 이덕배 · 정광용(2009), 밭에서 음식물류폐기물 활용 퇴비의 연용이 토양 및 작물에 미

치는 영향, 유기물자원화 제17권 제3호, 유기성자원학회.

- 김용성 · 김병태(2007), 음식물류폐기물 퇴비와 계분퇴비 시용이 열무성장과 토양이화학적 특성에 미치는 영향, 유기물자원화 제15권 제1호, 유기성자원학회.
- 김재영 · 백승화 · 김성조(2011), 한약탕제찌꺼기발효퇴비가 복분자과실에 이화학적 특성에 미치는 영향, 한국식품영양과학회지 제40권 제6호, 한국식품영양과학회.
- 김주성 · 심이성 · 김명조(2010), 염 스트레스에 대한 배추의 생리학적 반응, 원제과학기술지 제28권 3호, 한국원예학회.
- 박재경 · 조성식(2007), 음식쓰레기 퇴비가 감나무 작황에 미치는 영향, 한국산업응용학회 논문집 제10권 제3호, 한국산업응용학회.
- 배재근 · 주요섭 · 박정수(2002), 음식물쓰레기 염분(NaCl)농도가 퇴비화 및 식물성장에 미치는 영향, 폐기물자원화 제10권 제4호, 유기성자원학회.
- 유영석 · 이지환 · 장기운(2001), 남은 음식물퇴비 시용에 따른 토양의 이화학적 변화와 고추생육에 미치는 영향, 폐기물자원화 제9권 제4호, 유기성자원학회.
- 유영석 · 장기운 · 홍성길 · 권혁영(2002), 음식물 퇴비 연용에 따른 고추의 수량과 토양의 이화학적 특성에 미치는 영향, 한국유기성폐자원학회 춘계학술대회 세미나 및 학술발표 연구논문집, 유기성자원학회.
- 이상석 · 장기운(1998), 음식물찌꺼기 퇴비의 사용에 따른 토양의 화학적 변화 및 작물체내 염류의 흡수, 폐기물자원화 제6권 제2호, 유기성자원학회.
- 이상은 · 안현진 · 윤승길 · 김석민 · 정광용(2000), NaCl을 다량 함유한 음식물쓰레기 퇴비 시용이 논 토양에서 벼의 생육과 체내 양이온 균형에 미치는 영향, 춘계 총회 및 합동 학술대회 발표 논문 초록집, 한국토양비료학회.
- 조은영 · 안종화(2011), 음식물 퇴비의 배지첨가에 따른 녹각영지버섯 자실체 수율 평가, 한국유기농업학회 하반기 학술대회, 한국유기농업학회.

채명진 · 장기운 · 이종진 · 한기필 · 홍주화 · 전한기(2006), 도시 음식물 자원
화 시설에서 생산된 발효 부산물 퇴비의 작물에 대한 안정성 및 비효평
가, 추계 국제 심포지엄 및 학술논문 발표, 유기성자원학회.

M. J. McLaughlin · L. T. Palmer · K. G. Tiller · T. A. Beech and M. K.
Smart(1994), J. Environ. Qual., Vol. 23.

○ 기타

비료의 정의(2013.11.26), 농촌진흥청.

백종수(2010.4.30), 맞춤비료 원년-학비료 줄이고 흙도 살리고-, 농업인신문.

서울시립대신문(2009.9.28) ‘화학비료는 과연 나쁜가?’, 서울시립대.

문화재청(<http://www.cha.go.kr/>)

식품오염물질(<http://www.foodnara.go.kr/pollution/main.jsp>)

정책연구보고서 2014-26

도시농업에서 유용미생물 활성화에 따른 식물생육 모니터링 연구

발행인 유 재 일

발행일 2014년 11월

발행처 대전발전연구원

301-763 대전광역시 중구 중앙로 85

전화: 042-530-3515 팩스: 042-530-3575

홈페이지 : <http://www.djdi.re.kr>

인쇄: ○○○○○ TEL 042-○-○ FAX 042-○-○

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 대전광역시의 정책적 입장과는 다를 수 있습니다.
출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.

ISBN : 979-11-85969-04-6 93530