

과제구분	기관프로젝트	수행시기		전반기	
중장기Code		RIMS Code			
연구과제 및 세부과제		연구분야 (Code)	수행 기간	연구실	책임자
고랭지농업 안정생산 기술개발 연구		농업환경 ES0101	'04 ~'06	환경농업연구과	김승경
1) 고랭지 밭토양 성토지 시비기술 개발		농업환경 ES0101	'04 ~'06	환경농업연구과 토양관리연구실	김세원
색인용어	고랭지, 성토지, 인위토, 시비기준, 여름무, 토양개량제, 목탄, 제올라이트				

ABSTRACT

This study was conducted to characterize physico-chemical properties of the saprolite piled upland soils in alpine area in Gangwon province, to determine optimum fertilization level to obtain high yield of radish and reduce environmental contamination by excess fertilizer, and to investigate the effect of soil conditioners on soil characteristics of the saprolite piled upland fields. Sand content of the saprolite piled soils ranged 60% to 80% and average clay content was 5.5%. Available phosphorus content was 25 mg/kg in the first year after applying the dressed soil, but it drastically increased to 782 mg/kg in the second year. The optimum fertilization for radish cultivation was 20 ton/ha of compost and 1.3 times of chemical fertilizers based on soil testing in the first year, and 15 ton/ha of compost and 1.5 times of chemical fertilizers in the second year. Soil conditioners including charcoal and zeolite improved soil physical properties and increased radish yield by 17% and 24% for charcoal and zeolite, respectively. The results implied that best management practices including fertilization adjustment and soil conditioner amendment were required to reduce environmental contamination and to enhance crop productivity.

1. 연구목표

강원도는 농경지의 48%가 400m이상의 고랭지에서 밭농사가 이루어지고 있으며, 우리나라 고랭지 면적의 90%이상이 강원도에 분포하고 있다(조, 1999). 현재 강원도의 고랭지 농경지는 연작피해 경감, 작물의 생산성과 상품성 향상, 배수가 상대적으로 불량한 지역의 적정 배수 도모, 자갈이나 바위가 많은 지역의 근권환경 개선, 그리고 지역적으로 화강암류의 풍화석비레(모재토, 마사토)가 풍부한 지역에서 이들 석비레를 과다 성토한 농업이 이루어지고 있으며(이 등, 2002), 특히 고랭지 채소의 대표적 생산지인 평창에서는 모재토(C horizons)를 옮겨와 농경지에 ha당 1,000~3,000톤을 성토하는 농가의 비율이 60%나 된다(고농연, 2002). 이러한 성토지는 기존 토양통의 특성과는 전혀 다른 30cm이상 적토가 이루어지는 사질누적형인위토(Anthrosols of Psammic Agricumulants)로 분류된다(정 등, 1998).

석비레 성토는 농업과학적 근거없이 성행하고 있음에도 불구하고 농업환경적 특성에 대한 체계적 연구결과는 극히 한정되어 있다. 이렇게 형성된 특수한 밭토양은 적박성, 양분결핍 등의 불량요인이 게재

되어 있다고 한 연구결과가 있으며(허 등, 2000), 성토지에서 감자, 배추 재배시 인산, 칼리의 증시에 따른 효과가 구명된 바 있어. 매년 퇴비 및 석회시용과 병행하여 2~3년까지 인산(흡수계수 5%) 및 칼리(포화도 5%기준) 증시가 필요하다고 하였고(2001, 고농연), 비옥도 향상을 위해 제올라이트 2톤/10a 처리후 감자수량이 3.7%증수되고 토양유기물과 인산함량이 증가되었다는 연구결과가 보고되었다.

고랭지에서는 잔자갈의 함량이 높아지고 있는데 성토에 따른 모래와 자갈은 토양의 양이온치환용량을 감소시키는 결과를 초래할 뿐만 아니라 보비력과 보수력이 적게되어, 유거수와 함께 다량의 토사와 양분이 수계나 지하수로 이동하게 된다. 양분의 보유능력이 대단히 낮은 석비레로 성토를 하여 농업활동을 하고 있어 양분의 용탈이 일반농업 지역보다 높은 것으로 알려져 있다(박, 2002). 특히 고랭지 농업지대는 단기간에 고소득을 올리려는 고투입 농업이 성행하고 있어 오염원의 유입이 심각하다.

자갈과 암석이 많은 토양은 경운이 어렵고, 투수가 지나치게 빠르며, 토양유실이 심하여 심토의 자갈이 노출되어 표면에 남게 된다. 이때 자갈이 토양유실을 보호해 주는 역할을 하여 더 이상의 침식을 억제하는 순기능도 있는 반면, 토지 이용성과 생산성을 떨어뜨려 토지의 영농적성을 떨어뜨리는 요인으로 작용한다. 강원도의 주요 고랭지 토양의 물리화학적 특성을 지역별로 우리나라 평균치와 비교하면, 유기물 함량은 높고 다른 성분은 다소 높거나 비슷한 수준이었으며, 양이온교환능은 낮다(양 등, 2001). 조(1977)는 작물생육이 불리한 개간지 토양에서는 수량을 높이기 위하여 화학적 성질을 개선함에 앞서 물리적 성질을 개선하는 것이 중요하다고 하였다.

현재 토양환경을 고려하여 적정시비량을 추천하는 방법으로 설정된 검정시비 기준은 전국 평균으로 일괄적으로 동일하여 본 성토지와 같은 인위토에 적용하는데 어려움이 있다.

본 연구는 강원도 고랭지에서 관행적으로 화강암 석비레를 대량 적토하여 작물을 재배하고 있는 일종의 인위토인 성토지의 화학성과 물리성을 조사하여 특성을 파악하고 성토후 무 재배시 부산물비료와 화학비료의 적정 시용량을 구명하여 과다시비를 방지하고, 조기 숙전화와 물리화학적 개선을 위한 비배관리기술을 확립하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

(시험 1) 고랭지 성토지 모재토양 이화학적 조사

가. 조사지점 시료채취 및 현황

강원도내 고랭지 일원에 새롭게 성토가 이루어지는 지역을 대상으로 모재토양의 이화학적 성을 조사하고자 평창 횡계지역 및 홍천 내면지역 등을 순회하며 표 1과 같이 20지점을 경위도 좌표값을 기록후 선정하고 토양시료를 채취하였다. 2005년 4월 작물재배에 따른 시비가 이루어지지 않은 성토모재를 채취하고 작물재배후인 당해년도 9월과 2006년 9월에 동일지점의 토양시료를 채취하였다. 대상지점에 대한 지목은 2003~2005년에 강원도농업기술원에서 개발된 “경사전 토양유실 저감을 위한 GIS관리체계 구축모델”의 데이터로 확인하였고 경사도와 년차별 입식작목은 현장에서 조사하였다.

표 1. 성토지 모재토양 시료채취지점

지점 No	경위도좌표		주소지	지목
	E	N		
1	성토지 농가 임차포장		평창군 봉평면 창동리	답
2	성토지 농가 임차포장 인근지점		평창군 봉평면 원길리	하천
3	성토지 농가 임차포장 인근지점		평창군 봉평면 원길리	답
4	128°22'28"	37°44'52"	홍천군 내면 자우리	전
5	128°23'12"	37°45'30"	홍천군 내면 창촌리	전
6	128°23'49"	37°45'18"	홍천군 내면 창촌리	임
7	128°23'51"	37°46'49"	홍천군 내면 창촌리	전
8	128°24'38"	37°43'28"	홍천군 내면 자우리	전
9	128°24'48"	37°43'19"	홍천군 내면 자우리	전
10	128°25'10"	37°43'00"	홍천군 내면 자우리	전
11	128°28'10"	37°40'01"	평창군 용평면 노동리	전
12	128°36'41"	37°40'05"	평창군 도암면 유천리	전
13	128°41'26"	37°41'04"	평창군 도암면 차항리	전
14	128°42'23"	37°40'02"	평창군 도암면 횡계리	전
15	128°42'52"	37°41'05"	평창군 도암면 횡계리	전
16	128°43'01"	37°41'08"	평창군 도암면 횡계리	전
17	128°43'06"	37°40'44"	평창군 도암면 횡계리	전
18	128°43'11"	37°40'28"	평창군 도암면 횡계리	전
19	128°43'36"	37°40'07"	평창군 도암면 횡계리	전
20	128°44'12"	37°40'30"	평창군 도암면 횡계리	전



그림 1. 성토지 조성(홍천 내면)



그림 2. 경사전 토사유실

나. 성토모재의 입도분석

성토지 모재토의 입도분석을 위해 2mm체를 이용하여 자갈을 분리하고 중량을 측정하였고, 2mm미만의 토양입자에 대해서는 극조사(1~2mm), 조사(0.5~1mm), 중사(0.25~0.5mm), 세사(0.11~0.25mm), 극세사(0.06~0.11)로 구분되는 모래와 미사(0.002~0.06mm)에 대해 Sieve shaker를 이용하여 분리후 중량을 측정하였고 0.002mm이하의 점토함량은 비중계법을 이용하여 측정하였다(2000, 농촌진흥청).

다. 성토모재의 화학성

2005년 채취된 성토모재와 동일지점에서 2년간 재배가 이루어진 토양을 채취후 풍건하고 2mm체를 이용하여 자갈을 분리하였고 2mm이하의 입자에 대해 화학성을 조사하였다. 토양의 화학성은 pH, 전기전도도, 유기물, 유효인산, 치환성양이온, 질산태질소, 양이온치환용량(CEC) 등을 분석하였는데, pH와 전기전도도는 초자전극법(1:5), 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 ICP법, 질산태질소는 Kjeldahl증류 적정법, 양이온치환용량은 1N 초산암모늄법으로 측정하였다(1988, 농촌진흥청).

(시험 2) 성토후 년차별 적정시비량 설정 연구

본 시험은 성토지에서 무 재배시 적정한 시비량을 설정하고자 새롭게 30cm이상 성토가 된 농가포장을 임차하여 2005년부터 2년간 수행되었다. 2005년은 성토직후 포장이었으며 2006년에는 전년도에 1년차 무 재배작기가 끝난 성토후 2년차 농가포장을 선정하여 년차별 시험을 수행하였다. 1년차 시험은 평창 봉평지역에서 수행되었고 공시품종은 태청여름무였으며 5월 30일 파종하였고 2년차 시험은 홍천 내면지역에서 관동여름무를 6월 20일 파종하였다.

화학비료는 토양분석에 의한 검정시비량을 산출하여(1999, 농촌진흥청) 0.5, 1.0, 1.5, 2.0배를 시비하였고 부산물비료는 시판제품을 공시하여 1년차에는 800, 1600, 2400kg/10a, 2년차에는 1000, 2000, 3000kg/10a수준으로 화학비료와 함께 조합하여 처리하였다. 사용된 퇴비의 화학적 특성은 표 2와 같다.

표 2. 공시된 부산물비료 화학적 특성

(%)

구분	수분	유기물	T-N	C/N비	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	NaCl
공시제품	47.3	33	1.1	30.0	2.4	0.3	0.7	1.0	0.3
농가계분	53.5	31	1.3	24.0	1.4	0.4	0.8	1.1	0.3

* 공시제품 : 돈분30, 계분30, 톱밥30, 우분8, 기타2% 배합 시중 유통제품

* 농가계분 : 홍천 내면지역 농가활용 계분+왕겨혼합 부숙퇴비

나. 무의 생육 및 수량조사

무의 중간생육은 파종후 40일 경과후 엽장, 엽색도, 엽중 등을 조사하였고, 수확은 65일 경과후 실시하였고 이때 근중, 근장, 근경 등을 조사하였다(2003, 농촌진흥청).

다. 공시토양의 물리성 및 화학성 조사

시험전후의 토양화학성 변화를 살펴보고자 2005년 1년차 신규 성토지의 모재토양을 채취하였고 시료 채취후 상기 모재토양 화학성 조사와 동일한 방법으로 분석을 수행하였으며, 2006년도 2년차 시험포장에서는 전년도에 무 재배가 이루어진 상태의 토양을 시험전과 수확기에 채취하여 분석을 수행하였다.

또한 식물체 성분함량을 확인하고자 1년차 수확된 무 가식부위의 T-N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO 함량을 분석하였고(2002, 농촌진흥청), 2년차에는 지상부와 지하부의 전질소 함량을 측정함으로써 양분으로 공급된 질소이용율을 계산하였다. 화학비료와 부산물비료 투입에 따른 물리성 개선효과를 검토하기 위해 토양 Core를 이용하여 공극율, 가비중 등을 측정하였다.



그림 3. 성토 1년차 포장



그림 4. 성토후 2년차 포장

(시험 3) 성토지 비옥도 향상을 위한 토양개량제 시용효과

본 시험은 토양개량제를 사용함으로써 척박한 성토지의 비옥도 향상을 통한 양분흡수율을 향상시키고 물리성 개선 효과 검토하고자 (시험 2)와 동일 장소에서 같은 무 품종을 공시하여 수행되었다.

1년차에 처리된 제올라이트와 목탄은 각 500, 1000, 1500kg/10a 수준으로 처리되었으나, 목탄의 경우 시용량간 무의 수량차이가 없어 2년차에는 100, 200, 300kg/10a 수준으로 조정하여 재시험을 수행하였다.

공시재료인 토양개량제 2종의 화학적 특성은 표 3과 같다.

표 3. 공시된 토양개량제의 화학적 특성

공시재료	pH	EC (dS/m)	수분 (%)	CEC (cmol(+)/kg)	보수력 (0.1kPa/24hr)	비고
목탄	8.8(1:10)	1.84	28.5	162	43.2%	목초탄(강원목초산업)
제올라이트	6.8 (1:5)	2.38	8.3	65	25.3%	벌크형 재료(경남소재)



그림 5. 제올라이트 사용



그림 6. 목탄 사용

무의 지상부 중간생육 및 수확후 근권 생육 등의 조사와 공시토양의 물리화학적 변화 조사는 시험 2와 동일하게 수행되었다.

3. 결과 및 고찰

(시험 1) 고랭지 성토지 모재토양 이화학적 조사

2005년 신규 조성된 성토지의 조사결과는 표 4와 같다.

표 4. 신규성토지 조사 결과

조사지역	지점	지목	재배작목		경사도(%)		
			'05	'06	평균	최대	최소
계	20		감자8⇒10, 무6⇒4, 배추4⇒4, 콩2⇒1, 양배추0⇒1 (11개소 연작)		4.8		
홍천군 내면	7	전6, 임1	무5,감자2	무4,감자2,양배추1	5.3	14.5	1.0
평창군 봉평면	3	답2, 하천1	콩2,감자1	콩1, 감자1, 배추1	1.2	1.5	1.0
평창군 도암·용평면	10	전10	감자5,배추4,무1	감자7, 배추3	5.5	11.0	1.5

재배작목은 감자, 무, 배추 순으로 많았고, 20지점중 11지점은 년차별로 동일한 작물을 연작하였다. 특히 평창 봉평지역에서는 콩이 재배되는 지점도 있었는데 이는 작물소득이 아닌 토지개발 측면으로 임시로 입식한 경우였다. 경사도는 최대 14.5%였으며 평균은 4.8%로 완만하였다.

성토지 토양입도를 분석한 결과(표 5), 자갈함량 범위 21~30%인 지점이 9개소로 가장 많았다. 조사된 20지점의 평균 자갈함량은 23.3%였다.

표 5. 자갈함량별 분포

자갈함량(%)	0~10	11~20	21~30	31~40	41~50
지점수(개소)	1	7	9	1	2

자갈을 제외한 토양의 입경별 분포비율은 표 6과 같다. 모래는 평균 71.1%이었고 미사는 23.4%, 점토는 5.5%로 사질토의 토성을 나타내었다. 특히 점토의 경우 최소 1.7%에 불과한 경우도 있어 양분 보지력이 매우 낮아 과다시비를 초래하는 직접적인 원인이 됨을 확인할 수 있었다.

표 6. 입경별 평균분포 (%)

입경별 구분	모래					미사 (0.002~0.06)	점토 (0.002이하)
	극조사	조사	중사	세사	극세사		
	(1~2mm)	(0.5~1)	(0.25~0.5)	(0.11~0.25)	(0.06~0.11)		
평균	14.6	17.1	15.8	14.9	8.2	23.4	5.5
최다	22.4	23.7	19.0	19.8	14.6	30.6	10.2
최소	4.2	12.0	11.7	11.6	6.1	16.5	1.7

점토함량 범위 3~6%인 지점이 11개소로 가장 많았다(표 7).

표 7. 점토함량별 분포

점토함량(%)	0 ~ 3%	3 ~ 6	6 ~ 9	9이상
지점수(개소)	2	11	5	2

성토지 20지점의 모재토양 화학성 분석결과는 표 8과 같다.

표 8. 모재토양 화학성

지역별	pH	EC	OM	P ₂ O ₅	Ca	Mg	K	CEC	NO ₃ -N
	(1:5)	(dS/m)	(g/kg)	(mg/kg)		(cmol(+)/kg)		(mg/kg)	
평창 봉평	6.4	0.03	0.9	38	4.2	0.7	0.1	8.65	0.42
홍천 내면	5.8	0.04	2.4	32	2.0	0.4	0.1	4.49	0.22
평균 도암·용평	5.8	0.03	2.5	15	1.0	0.7	0.1	7.09	0.64
평균	5.9	0.04	2.2	25	1.9	0.6	0.1	6.41	0.46

* 2004. 4월 채취 분석

지역간 큰 차이는 보이지 않았으며, 산도는 약산성을 나타내었고, 유기물, 전기전도도, 유효인산 등 대부분 화학성분이 매우 낮아 매우 척박한 조건이었다. 따라서 비옥도를 높이기 위한 부산물비료와 화학비료의 과량 투입이 불가피한 토양으로 토양유실에 의한 양분유실 위험이 매우 높을 것으로 예상된다.

대상지점중 무 재배지 6지점의 년차별 화학성 변화를 살펴본 결과는 표 9와 같다.

표 9. 무 재배지 년차별 토양화학성 변화(6지점 평균)

채취시기(년.월)	pH	EC	OM	P ₂ O ₅	Ca	Mg	K	CEC	NO ₃ -N
	(1:5)	(dS/m)	(g/kg)	(mg/kg)		(cmol(+)/kg)			(mg/kg)
성토모재('05. 4)	5.7	0.05	2.6	31	1.9	0.4	0.1	5.0	0.31
1년차 ('05. 9)	5.7	0.19	7.7	751	2.9	0.3	0.4	6.4	4.6
2년차 ('06. 9)	5.8	0.31	9.8	782	3.7	0.4	0.4	6.9	14.6
밭토양 적정수준	6.0~ 6.5	2이하	20~ 30	300~ 500	5~6	1.5~2	0.5~ 0.6		

성토 후 작물재배에 따른 시비처리로 대부분의 성분함량이 년차별로 증가되어 숙전화가 진행되고 있음을 알 수 있다. 그러나 인산의 경우 성토 당해년도 1년차 재배후 밭토양 적정수준을 상회하여 토양에 과량 집적됨을 확인할 수 있었다. 따라서 고랭지 토양의 인산집적 원인이 성토지 화학적 특성과 매우 밀접한 관계가 있음을 알 수 있으며, 이에 대한 시비방법 개선이 반드시 필요할 것으로 생각된다.

(시험 2) 성토후 년차별 적정시비량 설정 연구

시험전 시비를 위하여 토양분석후 검정시비량을 산출한 결과는 표10과 같다.

표 10. 토양검정에 의한 무 시비량 산출

성토후 재배년차	검정시비량(kg/10a)				비고
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	석회	
1년차('05)	37.0	31.0	32.6	200	* P 전량기비
2년차('06)	33.6	5.0	27.6	200	N, K 각 50%추비
표준량	28.0	5.9	15.4	200	부산물비료(퇴비) 1,500

척박한 성토지 화학성 조건 때문에 신규 조성지에서는 표준량 대비 질소는 1.3배, 인산은 5.2배, 가리는 2.1배가 소요되었고 2년차 재배지에서는 질소 1.2배, 가리는 1.8배 정도가 필요하였으나, 인산의 경우 표준량과 비슷한 검정량으로 산출되어 재배 1년만에 인산이 과량 축적되어 있음이 확인되었다. 이는 상기 모재토양 화학성 변화조사와 동일한 결과로 성토지에서 농가들이 인산함량이 많은 계분을 많이 선호하기 때문으로 판단된다.

시험전후의 토양화학성 변화는 표 11, 12와 같다.

표 11. 성토후 1년차 재배시 토양화학성

시비처리	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ca	Mg	K	CEC
					(cmol(+)/kg)			
재배전(성토모재)	5.9	0.06	4.8	35	0.9	0.3	0.1	4.2
검정시비×1.0 처리시								
0	7.2	0.95	2.8	203	3.4	2.8	0.3	6.9
부산물비료 (kg/10a)								
800	6.6	1.00	5.3	408	2.1	1.3	0.3	5.6
1600	7.0	1.53	10.5	669	2.5	1.2	0.8	5.6
2400	6.8	0.86	10.6	517	2.6	1.9	0.7	7.0
부산물비료 1600kg/10a								
화학비료								
검정*0.5	6.8	1.28	6.8	659	3.4	1.8	0.5	6.4
검정*1.0	7.0	1.53	10.5	669	2.5	1.2	0.8	5.6
검정*1.5	7.0	1.68	9.6	649	3.9	2.2	0.7	7.2
검정*2.0	6.8	1.75	8.0	440	1.9	0.8	0.2	5.2

본 시험의 수행을 위해 신규 조성된 성토지의 재배전 화학성은 매우 척박한 상태로 유기물과 인산, 치환경양이온의 함량이 매우 낮았다. 작물수확은 토양화학성 분석결과, 모든 조사항목에서 현저한 증가를 나타내었는데 주어진 시비량에 비해 많은 영양분이 토양에 잔존하게 되었기 때문으로 판단된다. 특히 인산의 경우 집적량이 매우 많아 고령지 성토지에서 인산축적이 문제됨을 알 수 있다.

표 12. 성토후 2년차 재배시 토양화학성

시비처리	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ca	Mg	K	CEC
					(cmol(+)/kg)			
재배전	6.1	0.16	3.1	518	2.4	0.6	0.2	5.1
검정시비×1.0 처리시								
부산물비료								
0	6.0	0.19	6.7	589	3.7	0.7	0.1	6.6
(kg/10a)								
1000	6.3	0.13	7.5	939	2.9	0.8	0.3	6.6
2000	7.1	0.15	8.6	834	4.2	0.8	0.3	5.7
3000	7.1	0.23	9.9	923	4.4	0.9	0.3	5.5
부산물비료 1000kg/10a								
화학비료								
무시비	6.6	0.16	6.2	594	2.5	0.7	0.3	5.3
검정*0.5	6.8	0.20	8.0	926	3.4	0.9	0.3	6.6
검정*1.0	6.3	0.13	7.5	939	2.9	0.8	0.3	6.6
검정*1.5	6.3	0.16	7.9	945	2.9	0.8	0.3	6.4
검정*2.0	6.2	0.15	7.6	784	3.1	0.6	0.3	5.5

성토후 2년차 무 재배가 이루어진 포장에서의 시험전후 토양화학성을 살펴본 결과, 척박한 성토모재에서 재배된 1년차만큼 현저한 화학성 변화는 없었으나 전반적으로 증가 경향을 보였고, 인산축적이 특히 심화됨을 확인할 수 있었다.

토양의 물리성을 분석한 결과는 표 13과 같다.

표 13. 성토후 2년차 재배지의 부산물비료 사용량별 토양 물리성

부산물비료 (kg/10a)	토양삼상(%)			공극율
	고 상	액 상	기 상	
무시용	52.7	9.1	38.2	47.3
1000	48.4	9.2	42.4	51.6
2000	49.6	9.2	41.2	50.4
3000	48.3	8.1	43.6	51.7
인근농가관행	55.5	9.1	35.9	45.0

건조한 기후가 지속되는 조건에서 토양Core를 채취하였기에 성토지 특성상 액상의 비율이 현저히 낮았는데, 퇴비사용에 따라 기상과 공극율이 상대적으로 증가되었는데 퇴비의 사용량간에는 차이가 없었다. 계분을 주로 이용하는 인근 농가관행포장을 비교 조사한 결과 시험포장의 퇴비무시용과 비슷한 결과를 나타내어, 농가 계분사용이 성토지 물리성 악화와 관련이 있을 것으로 판단된다.

1년차 신규 조성된 성토지 시험포장에서 재배된 무의 생육 및 수량은 표 14와 같다(그림 7).

표 14. 성토후 1년차 재배지 무 생육 및 수량(2005, 평창 봉평)

부산물비료 (kg/10a)	처리 화학비료	엽색도 (spad)	엽장 (cm)	근경(cm)			근장 (cm)	수량 (kg/10a)
				정식후 45일	정식후 70일	증가		
0	검정×1.0	40.0	27.5	4.9	6.6	1.7	16.6	2,517 g
	검정×0.5	34.4	28.5	5.8	7.9	2.1	18.3	3,039 f
	검정×1.0	35.5	33.2	6.4	8.4	2.0	21.6	3,302 ef
	검정×1.5	40.6	35.5	6.6	7.6	1.0	20.8	4,581 ecd
	검정×2.0	44.4	37.2	7.0	7.3	0.3	21.7	5,862 ecd
1600	검정×0.5	42.5	30.2	6.2	7.2	1.0	20.9	3,670 def
	검정×1.0	43.2	33.1	6.4	7.8	1.4	19.0	4,902 bcd
	검정×1.5	47.3	37.4	7.0	8.9	1.9	22.3	5,333 bc
	검정×2.0	51.3	38.0	7.7	9.0	1.3	23.1	6,100 ab
2400	검정×0.5	40.3	38.1	6.4	7.8	1.4	21.6	3,872 cdef
	검정×1.0	45.7	40.9	8.0	8.6	0.6	22.0	4,959 bcd
	검정×1.5	46.0	43.5	8.4	10.3	1.7	25.3	7,131 a
	검정×2.0	44.5	33.9	7.8	8.6	0.8	20.1	4,562 ecd

※ 조사일시 : 엽색도, 엽장(파종후 70일), 근장(파종후 90일)

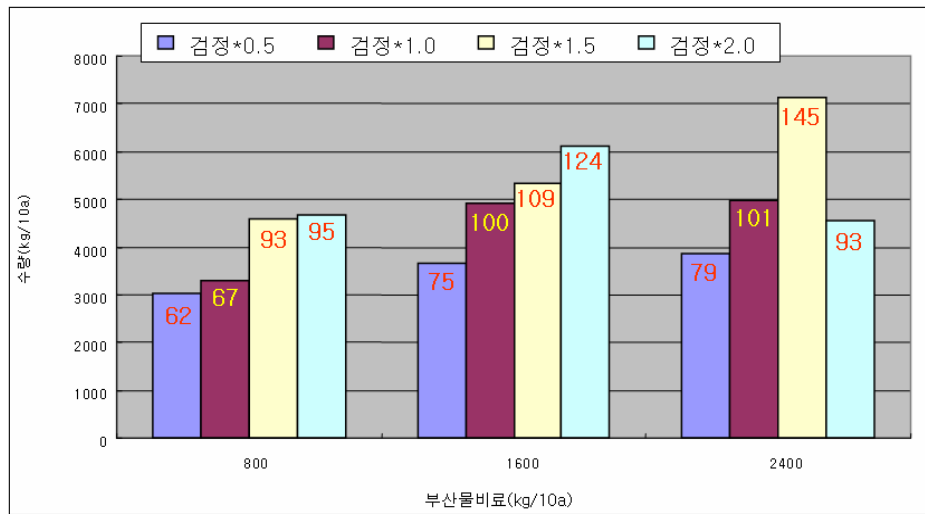


그림 7. 1 (2005)

성토후 2년차 무 재배지 시험포장에서 재배된 무의 생육 및 수량은 표 15과 같다(그림 8).

표 15. 성토후 2년차 재배지 무 생육 및 수량(2006, 홍천 내면)

처리	부산물비료 (kg/10a)	화학비료	엽색도 (spad)	엽장 (cm)	엽중 (g/주)	근경 (cm)	근장 (cm)	수량 (kg/10a)
0	무시비		47.6	26.7	178	7.6	24.8	4,913 g
	검정×0.5		54.5	28.7	204	7.7	26.2	5,524 fg
	검정×1.0		56.0	29.3	232	8.0	26.8	5,708 fg
	검정×1.5		57.4	30.3	254	8.5	27.0	6,421 def
	검정×2.0		57.4	33.0	273	8.9	28.4	6,971 cdef
1000	무시비		52.3	28.4	270	8.3	28.5	5,677 fg
	검정×0.5		55.2	29.3	295	8.5	28.9	7,562 bcde
	검정×1.0		59.7	32.5	296	8.3	29.0	7,369 cdef
	검정×1.5		60.4	33.3	341	8.7	30.2	7,583 bcde
	검정×2.0		59.6	39.1	373	9.3	29.5	8,225 abc
2000	무시비		47.9	29.1	254	8.7	28.4	6,176 efg
	검정×0.5		55.1	35.2	330	9.1	28.2	7,379 cdef
	검정×1.0		55.8	33.9	373	9.3	29.6	8,368 abc
	검정×1.5		57.6	36.9	380	10.1	28.5	9,132 a
	검정×2.0		56.5	37.2	450	9.8	28.3	8,826 ab
3000	무시비		43.6	28.7	226	8.5	27.6	6,299 efg
	검정×0.5		49.0	30.6	303	8.7	29.2	7,664 abcde
	검정×1.0		51.5	35.0	310	8.8	29.4	7,909 abcd
	검정×1.5		55.0	34.7	274	8.8	29.4	7,389 cdef
	검정×2.0		57.3	39.9	389	9.2	30.1	8,347 abc

※ 조사일시 : 엽색도, 엽장(파종후 70일), 엽생체중, 근장, 근경(파종 후 90일)

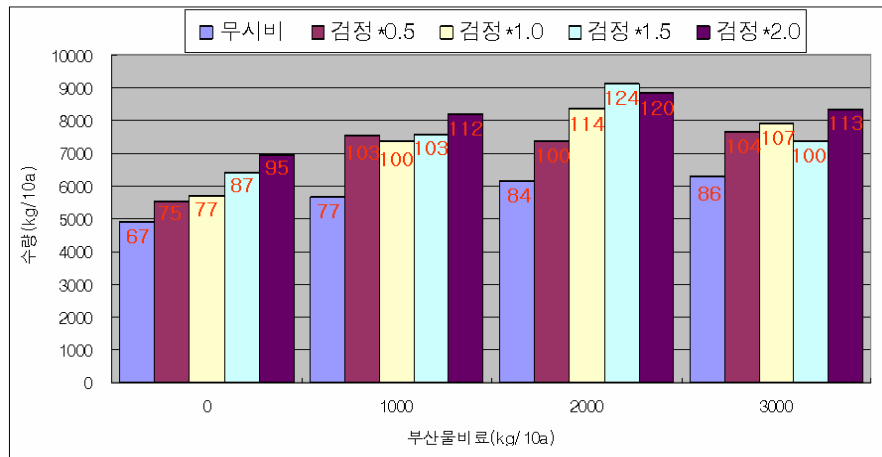


그림 8. 2 (2006)

성토지에서 무 재배시 년차별로 시비량의 조정이 필요할 것이라는 판단에 따라 수량성을 기초로 회귀식을 얻고 그에 따른 최대수량을 나타내는 시비량과 환경부하를 감소시킬 수 있는 적정시비량을 표 16과 같이 산출하였다.

표 16. 성토지 년차별 무 재배시 적정시비 기준량 설정

재배년수	구분	회 귀 식	최대수량시비량	적정시비량
1년차	부산물비료	$y = -0.0005x^2 + 2.2908x + 2482.1$	2400kg/10a	2000kg/10a(표준량 1.3배)
	화학비료	$y = -1432.3x^2 + 4789.4x + 1375.4$	검정시비 1.7배	검정시비 1.3배
2년차	부산물비료	$y = -0.0005x^2 + 1.9264x + 5884.2$	2000kg/10a	1500kg/10a(표준량 동일)
	화학비료	$y = -463.86x^2 + 1977.9x + 5890$	검정시비 2.0배	검정시비 1.5배

※ 적정시비량 : 최대수량-5% 수량

부산물비료는 성토 당해년도에 생육에 큰 영향을 미치므로 표준량의 1.3배, 2년차에 감량하고, 화학비료는 1년차에 검정시비량의 1.3배, 2년차에는 1.5배를 사용하는 것이 적정하다는 결론을 얻어 시비기준에 대한 년차별 조정이 필요하다고 판단된다.

처리간 수확된 무의 식물체 성분함량을 분석한 결과는 표 17, 18과 같다.

표 17. 1년차 수확된 무의 식물체 성분함량(2005년)

(%)

처리내용		T-N	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
부산물비료	화학비료					
800 (kg/10a)	검정*0.5	2.6	0.8	0.3	4.7	1.2
	검정*1.0	3.0	0.8	0.3	5.0	1.1
	검정*1.5	3.2	0.5	0.4	4.5	0.8
	검정*2.0	3.1	0.7	0.3	5.4	1.2
	평균	3.0	0.7	0.3	4.9	1.1
1600	검정*0.5	1.7	0.5	0.2	4.7	1.3
	검정*1.0	2.1	0.6	0.2	4.6	1.1
	검정*1.5	2.5	0.6	0.2	5.1	1.3
	검정*2.0	2.5	0.5	0.3	5.3	1.1
	평균	2.2	0.6	0.2	4.9	1.2
2400	검정*0.5	1.9	0.6	0.2	5.3	1.2
	검정*1.0	2.3	0.6	0.3	5.4	1.1
	검정*1.5	2.4	0.6	0.3	5.3	1.4
	검정*2.0	2.4	0.7	0.3	6.0	1.3
	평균	2.3	0.6	0.3	5.5	1.3

표 18. 2년차 수확된 무의 식물체 질소함량(2006년)

- 지상부(엽)

(%)

부산물비료 (kg/10a)	화학비료(검정시비량 기준)					
	무시비	0.5배	1.0배	1.5배	2.0배	평균
무시용	3.95	4.23	4.38	4.30	4.58	4.29
1000	4.41	4.14	4.45	4.87	4.95	4.56
2000	3.65	3.60	4.32	4.58	4.19	4.07
3000	3.50	3.77	3.93	4.22	4.64	4.01
평균	3.88	3.94	4.27	4.49	4.59	4.23

- 지하부(근)

(%)

부산물비료 (kg/10a)	화학비료(검정시비량 기준)					
	무시비	0.5배	1.0배	1.5배	2.0배	평균
무시용	3.72	3.70	3.86	3.79	3.86	3.79
1000	3.34	3.56	3.55	4.01	4.56	3.80
2000	3.58	3.86	3.55	3.82	3.72	3.71
3000	3.36	3.41	3.82	3.54	3.88	3.60
평균	3.50	3.63	3.69	3.79	4.00	3.72

1년차 수확된 무 가식부위에서 퇴비량이 증가할수록 전질소는 감소하는 경향이었고, 가리와 인산성분은 증가하는 경향을 보였으며, 동일 퇴비량 조건에서 화학비료 시용이 많을수록 질소와 가리는 약간 증가하는 경향이었으나 정확한 비례관계는 보이지는 않았다. 2년차에 수확된 무에서 질소함량을 잎과 뿌리를 구분하여 분석한 결과, 전체적으로 잎 부위의 질소함량이 뿌리보다 높았으며, 질소함량은 퇴비 시용량과는 반비례하였고, 화학비료 시용량과는 비례하는 경향을 보였다. 시비처리별 무의 질소 이용율은 표 19와 같다.

표 19. 시비량 처리별 무의 질소이용율(2006) (%)

부산물비료 (kg/10a)	화학비료(검정시비량 기준)				
	0.5배	1.0배	1.5배	2.0배	평균
무시용	26.1	18.1	15.7	15.3	18.8
1000	37.5	23.0	23.6	25.6	27.4
2000	29.5	25.2	24.8	19.1	24.7
3000	19.5	19.1	11.5	16.6	16.7
평 균	28.2	21.4	18.9	19.2	22.0

퇴비 무시용구에서는 질소이용율이 현저히 낮았는데 식물체 자체의 수량이 현저히 낮았기 때문으로 판단되며, 화학비료 0.5배와 퇴비 1000kg/10a 처리구에서 가장 높았다. 퇴비 3000kg/10a로 과량 처리 시 질소이용율은 현저히 낮아졌으며, 화학비료 처리시에는 0.5배를 제외한 1.0배 이상에서 시비량간 큰 차이를 보이지는 않았다.

(시험 2) 성토지 비옥도 향상을 위한 토양개량제 시용효과

시험전후의 토양화학성 변화는 표 20, 21과 같다. 년차별로 모두 토양개량제 처리후 비옥도가 향상되었음을 알 수 있다.

표 20. 성토후 1년차 시험전후 토양화학성

시비처리	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ca	Mg	K	CEC
					(cmol(+)/kg)			
시험전(성토모재)	5.9	0.06	4.8	35	0.9	0.3	0.1	4.2
시험후('05. 9)								
- 무처리	7.2	0.95	2.8	203	3.4	2.8	0.3	6.9
- 제올라이트								
500	6.9	1.16	11.0	286	3.6	3.1	0.9	8.0
1000	6.9	0.48	9.1	273	2.7	2.4	0.6	6.6
1500	6.8	0.42	11.8	426	2.9	2.0	1.3	8.8

표 21. 성토후 2년차 시험전후 토양화학성

시비처리	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ca	Mg	K	CEC
					(cmol(+)/kg)			
시험전(1년 재배지)	6.1	0.06	3.1	518	2.4	0.6	0.2	5.1
시험후('06. 9)								
- 무처리	6.3	0.13	7.5	939	2.9	0.8	0.3	6.6
- 목탄								
100	7.2	0.18	8.2	1114	4.0	0.8	0.2	4.9
200	7.0	0.16	12.7	816	2.8	0.6	0.4	4.7
300	6.8	0.17	13.3	860	2.3	0.5	0.4	6.8
- 제올라이트								
500	6.8	0.19	8.6	1002	3.0	0.7	0.4	5.1
1000	6.5	0.13	8.3	1020	2.5	0.7	0.5	5.6
1500	6.5	0.11	7.0	844	3.0	0.7	0.4	5.4

토양개량제 처리에 따른 물리성 개량 효과는 표 22와 같다. 제올라이트 처리시 가비중 감소되고 공극율이 증대되어 개량효과가 크게 나타났다.

표 22. 토양개량제 시용에 따른 토양 물리성 개선효과

조사내용	무처리	목탄	제올라이트
가비중(g/ml)	1.34	1.33	1.27
공극율(%)	45.9	46.7	49.3

※ 토양개량제 처리수준별 평균

무의 년차별 생육 및 수량은 표 23, 24와 같다. 목탄과 제올라이트 모두 지상부와 지하부 생육을 상당히 증대시키는 효과를 나타내었다.

표 23. 성토후 1년차(2005) 무 생육 및 수량

처리내용		엽색도 (spad)	엽장 (cm)	근경 (cm)	근장 (cm)	수량 [♪] (kg/10a)
토양개량제	시용량 (kg/10a)					
	500	40.0	34.3	7.9	20.6	4,234 c
Zeolite	1000	43.4	36.7	8.3	22.1	5,424 ab
	1500	47.1	40.5	8.5	21.9	6,072 a
무처리		43.5	33.8	8.8	19.6	4,709 bc

♪ : DMRT 0.05

표 24. 성토후 2년차(2006) 무 생육 및 수량

처리내용		엽색도 (spad)	엽장 (cm)	엽중 (g/주)	근경 (cm)	근장 (cm)	수량 [♪] (kg/10a)
토양개량제	시용량 (kg/10a)						
목 탄	100	55.6	33.0	315	8.9	29.4	7,746 bc
	200	53.3	33.8	334	9.4	30.3	8,368 bc
	300	49.7	30.9	368	9.2	31.4	8,653 ab
제올라이트	500	53.8	37.0	345	9.0	30.3	8,490 bc
	1000	51.8	31.8	345	10.1	31.3	9,713 a
	1500	53.8	35.2	358	9.3	31.0	8,470 bc
무처리		59.7	32.5	296	8.3	29.5	7,369 c

♪ : DMRT 0.05

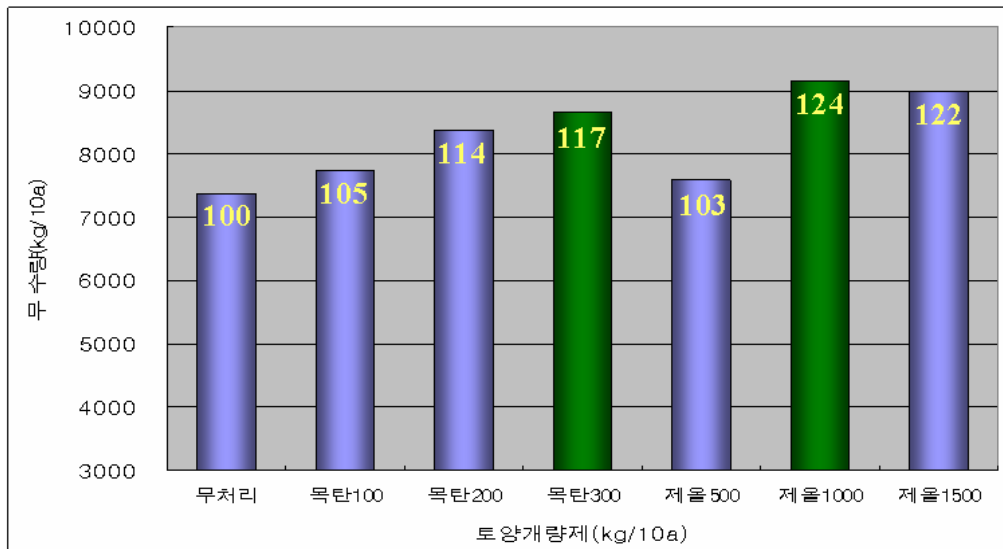


그림 9. 무처리(화학비료)



그림 10. 목탄 500kg/10a

성토지 무 재배시 토양개량제 처리에 따른 수량증수 효과를 그림 11과 같이 나타내었다.



※ 목탄처리는 '06년 1년, 제올라이트는 '05~ '06년 2년차 누년성적임

그림 11. 토양개량제 종류 및 사용량별 무 수량

목탄의 경우 10a당 300kg를 사용할 경우 17%가 증수되었고, 제올라이트는 10a당 1톤을 사용할 경우 24%의 증수효과가 나타나서 성토지의 척박한 물리화학적인 조건을 감안하면 토양개량제로써 상대적으로 큰 효과가 기대된다.

토양개량제 사용에 따른 무 수량성 증대효과를 경영분석한 결과는 표 25와 같다.

표 25. 무 재배시 토양개량제 처리에 따른 소득성 분석

처리내용	수량 (kg/10a)	조수익 (천원)	경영비 (천원)	소득 (천원)	소득지수
무처리	7,369	3,139	608	2,531	100
목탄(300kg/10a)	8,653	3,686	848	2,838	112
제올라이트(1,000kg/10a)	9,138	3,893	978	2,915	115

※ 단가(원/kg) : 목탄 800, 제올라이트 370(원가 110, 운임 260)

목탄은 강원지역에서 많이 생산되고 농협을 통해서도 납품되고 있는 자재로써 지역내 자원의 재활용 측면에서 큰 장점이 있는 반면, 제올라이트의 경우 원거리에 위치한 경남지역에서 생산되어 자재 자체의 가격보다는 운임에 대한 경비 비중이 커서 재고의 여지가 많다고 판단된다.

토양개량제 처리후 무의 질소함량 및 질소이용율을 살펴본 결과(표 26), 지상부인 엽의 질소함량이 무처리보다 많이 상대적으로 감소하였고, 지하부에서는 큰 차이가 없었다. 질소이용율은 무처리보다 목탄의 경우 7.1%, 제올라이트의 경우 8.5%가 증가되어 양분의 흡수효율을 상당히 높여주었음을 알 수 있었다. 이는 일반토양이 아닌 성토지의 경우 점토함량이 매우 낮고 유기물이 적기 때문에 토양개량제의 효과가 크게 나타난 것으로 생각된다.

표 26. 토양개량제 처리시 무의 질소함량 및 이용율

구분	무처리	목탄				제올라이트				
		100	200	300	평균	500	1000	1500	평균	
질소함량	지상부(엽)	4.45	4.29	4.09	3.92	4.10	4.11	3.80	4.26	4.06
(%)	지하부(근)	3.55	3.75	3.59	3.73	3.69	3.73	3.09	3.56	3.46
질소이용율(%)		17.1	21.7	23.4	27.4	24.2	26.3	25.3	25.1	25.6

4. 적 요

(시험 1) 고랭지 성토지 모재토양 이화학성 조사

- 성토지 조사지점 20개소의 입식작목은 감자, 무, 배추 순이었는데 성토후 2년차 11개소에서 동일작목을 연작하였고 평균 경사도는 4.8%였음
- 입경 2mm이상의 자갈함량이 21~30%정도인 지점이 가장 많았고, 점토함량은 평균 5.5%로 최저 1.7%에 불과한 지점도 있었으며 모래함량은 60~80% 수준임
- 성토지 모재토양의 화학성 분석결과, 평균 pH 5.9, EC 0.04dS/m, 유기물 2.2g/kg, 인산 25mg/kg, CEC 3.4cmol(+)/kg, NO₃-N 0.5mg/kg으로 매우 척박
- 성토후 무 재배농가의 2년차 재배후 토양화학성 변화는 EC가 0.31dS/m, 유기물은 9.8g/kg으로 밭토양 적정수준의 1/2수준에 근접하였고 인산은 782mg/kg으로 적정범위를 상회하여 집적이 심화됨을 확인하였음.
- 성토지 모재토양 물리화학성 기초자료 활용

(시험 2) 성토지 무재배시 년차별 적정시비량 설정

- 시험후 토양화학성은 EC, OM, P₂O₅, 양이온, CEC 모두 현저히 증가되었고, 특히 인산의 집적이 심화되어 우리도 고랭지토양 수준에 도달하였음
- 시험후 토양물리성은 퇴비시용에 의해 공극율이 증가하였는데, 계분을 시용한 인근농가포장에서는 퇴비무시용구와 비슷한 공극율을 나타내었음
- 성토지 무 재배시 1년차에는 척박한 성토지 특성상 부산물비료 시용량에 따라 생육 차이가 크게 나타났으며, 2년차에는 화학비료 시용량에 따른 생육 차이가 상대적으로 많이 나타났음.
- 고랭지 성토지 무 재배시 합리적인 수량성 확보와 환경부하를 저감시키기 위한 년차별 시비량의 조정이 필요한 바, 성토 당해년도에는 퇴비는 2,000kg/10a(표준량 1.5배), 화학비료는 검정시비량의 1.3배 수준이 적정하였고, 성토 2년차에는 퇴비 1,500kg/10a(표준량 동량)와 검정시비량의 1.5배 수준이 적정하였음
- 1년차 수확된 무의 식물체 성분분석을 수행한 결과, 부산물비료가 적게 시용될수록 식물체중 질소함량이 상대적으로 높았고, 가리와 인산은 반대의 경향을 나타내었음
- 2년차 수확된 무의 식물체내 질소함량 분석 결과, 지상부에서 함량이 높았고, 퇴비시용량과는 반비례하였으며, 화학비료 시용량에 비례하는 경향을 보였음
- 시비량에 따른 질소이용율은 화학비료 0.5배와 퇴비 1000kg/10a 시용시 가장 높았으며, 퇴비 3000kg/10a이상에서는 현저히 감소되었음.
- 성토지 무 재배시 년차별 적정시비량 설정(영농활용, 2006년)

(시험 3) 성토지 비옥도 향상을 위한 토양개량제 시용효과

- 공시된 토양개량제 2종의 물리화학적 조사결과, 목탄은 pH 8.8로 알칼리성이었고, 제올라이트는 EC가 2.38dS/m로 목탄보다 높았으며, 양이온치환능력은 제올라이트가 26.4cmol(+)/kg로 목탄(16.2)보다 훨씬 높았으며, 보수력은 목탄이 매우 높았음
- 토양개량제 처리후 비옥도가 향상되었고 제올라이트 처리에 의한 가비중, 감소, 공극율 증대 등 물리적 개량효과도 확인하였음.
- 생육은 목탄과 제올라이트 처리시 시용량에 비례하여 지상부와 지하부 모두 양호한 경향을 보였음
- 성토지에서 무 재배시 10a당 목탄 300kg, 제올라이트 1000kg을 시용할 경우 수량은 각각17%, 24% 증가효과가 나타났으며, 소득지수는 제올라이트가 다소 높은 경향이나 지역적인 면을 고려하면 목탄이 다소 유리함
- 고랭지 성토지 토양개량제 사용에 따른 증수효과(영농활용, 2006년)

5. 인용문헌

- 농촌진흥청 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법
- 농촌진흥청 농업과학기술원. 1999. 작물별 시비처방기준
- 농촌진흥청 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법
- 농촌진흥청. 2003. 농업과학기술 연구조사분석기준
- 농촌진흥청. 2005. 표준소득분석자료
- Park, C. S. 2002. Soil management practices to reduce water erosion from the sloped farmland in highland. Ph. D. Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea
- 박철수, 정영상, 주진호, 양재의. 2004. 강원도 고랭지의 석비레 성토지 토양특성. 한국토양비료학회지 37(2)
- Yang, J. E., B. O. Cho, Y. O. Shin, and J. J. Kim. 2001. Fertility status in Northeastern alpine soils of South Korea with cultivation of vegetable crops. Korean J. Soil Sci. Fert. 34(1)
- 이춘수, 이계준, 신관용, 안재훈, 이정태, 허봉구. 2002. 고랭지 성토지에서 감자 및 배추에 대한 인산과 칼리 증시효과. 한국토양비료학회지 35(6)
- 정연태, 윤을수, 강위금. 1998. 우리나라의 인위토 분류와 세계 각국의 인위토 분류안 고찰. 농촌진흥청 농업환경연구논문집 40(1)
- 조병욱. 1999. 고랭지 채소 재배지의 토양환경 특성과 비옥도 관리방안. 강원대 대학원 박사학위 논문
- 조인상, 조성진, 임정남. 1977. 토양의 경도가 완두뿌리의 신장에 미치는 영향, 한국토양비료학회지 10(1)
- 허봉구, 신관용. 2000. 고랭지 성토지에서 제올라이트 처리가 감자생육과 토양특성 변화에 미치는 영향. 한국작물학회지 45(3)

6. 연구결과 활용

연도(연차)	활용구분	제 목	달성
2006(3년차)	기초자료	고랭지 성토지 모재토양의 이화학적 특성	○
2006(3년차)	영농활용	성토지 무 재배시 년차별 적정 시비기준 설정	○
2006(3년차)	영농활용	성토지 무 재배시 토양개량제 시용효과	○

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도		
						04	05	06
고랭지 발토양 성토지 시비기술개발	책임자	환경농업연구과 토양관리연구실	농업 연구사	김세원	세부과제 총괄		○	○
	공동연구자	"	"	안문섭	업무협조		○	○
	공동연구자	"	"	최승출	"		○	○
	공동연구자	환경농업연구과	농업 연구관	김승경	"	○	○	○
	공동연구자	해안농업시험장	농업 연구사	임수정	시험 설계	○		