

사업구분 : 기본연구	Code 구분 : ES0102	농업환경(전반기)
연구과제 및 세부과제명	연구기간	연구책임자 및 참여연구원(☎)
시설재배지 토양염류 경감연구	'04~'06	경기도원 환경농업연구과 강창성(229-5821)
토양염류 경감을 위한 이분해성 유기물 시용효과 시험	'05~'06	경기도원 환경농업연구과 강창성(229-5821) (참여연구원) 노안성, 원태진, 이상은
색인용어	당밀, 팥화양겨, 제오라이트, 염류, 시설재배, 시금치	

ABSTRACT

To ameliorate the salt-accumulated greenhouse soil, the effects of the application of molasses, zeolite and bulked rice hull on the reduction of soil EC were investigated during two years of '05~'06, and the results were as follows;

Molasses application reduced soil EC by diminishing soil $\text{NO}_3\text{-N}$, but the proper application rate was below 2Mg ha^{-1} because of its high content of K_2O , SO_4 and Cl . Spinach yield was increased by 50~107% at summer cultivation in the treatment of individual and combined treatments of molasses 1 Mg ha^{-1} , zeolite 20 Mg ha^{-1} and bulked rice hull 5 Mg ha^{-1} compared with that of control, while it was statistically increased at autumn cultivation in both combined treatments of molasses+zeolite and molasses+zeolite+bulked rice hull(MZB) by 23, 21%, respectively. The amount of nutrient absorption by spinach showed similar figures to the tendency of spinach yield by treatments. Soil EC was fluctuated during cultivation except in MZB treatment which continuously showed less soil EC value than that in control showing decrease rate of 20~33%. Compared with control, MZB treatment increased soil CEC by 33~36%, and resulted in OM content increase and $\text{NO}_3\text{-N}$ content decrease. The number of soil microorganism was raised by 1.4~4.3 times more than that of control by the treatment of molasses, zeolite hull, especially it was raised by 2.0~4.5 times more in MZB treatment. From these results, MZB treatment seemed to be recommendable as one of the amelioration methods for salt-accumulated greenhouse soil. And MZB treatment resulted in raising the income level by about 12,000 thousands Won per ha when spinach is cultivated 2 times.

Key words : Spinach, Soil salt, Molasses, Zeolite, Bulked rice hull

1. 연구목표

염류집적 경감에 관한 연구로는 관수(Jung and Yoo, 1975), 담수(Hwang et al., 1993), 심토반전(Kim et al., 1996), 심토파쇄와 암거배수(Kim et al., 2001), Zeolite 시용(Park et al., 1987) 등이 보고되어 있다. 이 중 많은 시설재배면적이 밭에 위치하는 타지역에서 주로 사용하고 있는 담전윤환이나 담수처리가 가장 효과적인 방법이나 경기도는 '05년 현재 시설재배지 15,544ha 중 98%인 15,235ha가 밭에 위치하고 있고(농림부, 2006), 집약적인 작부체계상 농가에서 활용하기 어려운 실정이다. 따라서 조 등(2003)은 염류집적 시설재배지 토양에 탄질비가 높은 벚짚, 왕겨, 팽화왕겨 등을 이용하여 환경친화적으로 토양 염류농도를 감소시키는 기술을 보고한 바 있다. 탄질비가 높은 재료의 시용은 토양미생물의 에너지원인 탄소를 토양에 공급함으로써 미생물 증식이 조장된다. 이 과정에서 염류성분들을 미생물체내로 고정하여 지력화하므로 친환경적인 염류경감이 가능함과 아울러 유기물 공급에 의한 토양완충능을 향상시켜 안정성을 높이는 기술로서, 그동안은 주로 셀룰로오스 등 고분자 탄소원이 주가 되는 왕겨나 목재류, 고간류 등의 자재를 대상으로 검토되었다. 따라서 본 시험에서는 올리고당 등 저분자의 탄수화물이 주성분인 당밀을 이용한 토양염류경감 효과를 검토하고 이미 효과가 입증된 팽화왕겨와 제오라이트 등과 혼용하였을 경우의 염류경감 효과를 분석하고자 본 시험을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

본 시험은 2005~2006년의 2개년간 화성시 태안읍 경기도농업기술원 시험포장에서 시금치를 시험작물로 하여 실시하였으며, 2005년도 1년차시험 <시험 1>은 당밀의 염류경감효과 및 적정시용량 구명을 위하여 실시하였고 2006년도 2년차시험 <시험 2>는 1년차시험 결과를 바탕으로 염류경감효과가 기대되는 자재들의 단독 및 혼합시용효과를 검증하였다. 본 시험토양들은 EC가 3.1 dS m⁻¹이상으로서 기타 시비처리는 하지 않았다.

2005년도 1차시험은 1) 무처리, 2) 당밀탄소/토양무기태질소 2 조절량(179kg 10a⁻¹), 3) 당밀탄소/토양무기태질소 4 조절량(358kg 10a⁻¹), 4) 당밀탄소/토양무기태질소 6 조절량(537kg 10a⁻¹), 5) 당밀탄소/토양무기태질소 4 조절량 + 팽화왕겨 500kg 10a⁻¹ 등 5개 처리를 하여 EC가 3.1 dS m⁻¹인 사양토에서 실시하였고(4월15일 파종, 5월30일 수확), 2차시험은 1차시험의 탄소/무기태질소 2, 4, 6 처리를 각각 200, 400, 600kg 10a⁻¹로 수정하여 EC가 10.8 dS m⁻¹인 사양토에서 실시하였다(8월10일 파종, 9월6일 수확). 또한 처리별 토양중 화학성변화를 정밀추적하기 위하여 pot시험(작물 무재배)을 동시에 추진하였다.

2006년도에는 1년차 시험결과에 근거하여 당밀시용량을 100kg 10a⁻¹로 줄이고, 염류경감효과가 기대되는 제오라이트, 팽화왕겨 혼합시용 효과분석을 위하여 1) 무처리, 2) 당밀 100kg 10a⁻¹, 3) 제오라이트 2,000kg 10a⁻¹, 4) 당밀 100kg 10a⁻¹+제오라이트 2,000kg 10a⁻¹,

5) 당밀 100kg 10a⁻¹+제오라이트 2,000kg 10a⁻¹+팽화왕겨 500kg 10a⁻¹의 5개처리를 두어 EC가 6.0 dS m⁻¹인 사양토에서 실시하였으며, 1차시험(6. 5~7. 14) 후에 연용처리를 하여 2차시험(9. 8~10. 14)을 추진하였다. 각 시험의 시험전토양과 재료의 특성은 표 1과 표 2와 같다.

표 1. 시험전 토양의 화학성

구 분	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g/kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. Cations(cmol kg ⁻¹)			SO ₄ (mg kg ⁻¹)	Cl (mg kg ⁻¹)	
						K	Ca	Mg			
2005 년도	1차시험	6.6	3.1	16.4	172	355	0.87	8.42	2.57	304	378
	2차시험 pot시험	5.6	10.8	14.7	468	731	4.71	7.85	3.38	581	1,878
2006 년도	1차시험	6.5	6.0	17.6	260	761	3.08	7.5	2.55	501	965

표 2. 시험재료의 화학성

시 험 재 료	EC (dS m ⁻¹)	OM (%)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	Cl (%)	SO ₄ (%)	CEC (cmol kg ⁻¹)
당 밀	8.22	91.3	0.65	0.11	2.19	0.78	0.49	0.05	1.23	5.81	-
팽화왕겨	0.88	85.6	0.36	0.09	0.59	0.11	0.04	0.02	-	-	4.4
제오라이트	0.08	4.1	0.01	0.03	0.52	0.44	0.51	1.23	-	-	66.7
설 탕	0.01	100	0	0	0	0	0	0	-	-	-

토양 및 식물체 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법(농촌진흥청, 1988)과 토양 및 식물체 분석법(농촌진흥청, 2000)에 준하여 실시하였으며, 토양은 음건하여 2mm 체를 통과시킨 것을 분석시료로 하였다. pH는 시료와 증류수를 1 : 5(w/v) 비율로 하여 pH meter법(ATI orion 370)으로 측정하였고, EC도 건토와 증류수를 1 : 5(w/v) 비율로 혼합하여 30분간 진탕한 후 여액을 EC meter(ATI orion 170)로 측정하였으며, OM은 Walkley-Black법, NO₃-N는 2M KCl 용액으로 침출하여 Kjeldahl법으로, Av.P₂O₅ 함량은 Lancaster법에 따라 분광분석기(GBC Cintra 40)로 비색 정량하였고, Exchangeable Cations는 1N-NH₄OAC(pH 7.0) 완충용액으로 침출하여 ICP(GBC Integra XMP)로 정량하였다. Cl은 0.01N-AgNO₃ 적정법, Av.SO₄는 비탁법으로 정량하였다. 상추와 유기물의 전질소는 시료를 습식분해하여 Kjeldahl법으로 분석하였고, 기타는 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하였다.

3. 결과 및 고찰

〈시험 1〉 당밀 시용량에 따른 염류경감 효과시험(2005)

당밀 처리별 경시적 염농도는 봄 작기 1차시험시 표 3과 같이 처리후 30일까지 당밀 시용구는 무처리에 비해 EC가 높게 유지되었고 처리후 45일에 당밀 시용량을 당밀탄소/토양무기태질소(C/N) 비를 2 및 4로 조절한 처리구는 무처리 2.0 dS m⁻¹에 비해 각각 1.7과 1.9로 다소 감소경향이고, C/N 4 조절량의 당밀과 팽화왕겨 500 kg 10a⁻¹ 혼합시용구는 1.2로 EC 경감폭이 더욱 커져 팽화왕겨 시용효과가 인정되었다. 그러나 당밀은 시용량이 증가함에 비례하여 토양 EC가 증가하는 경향을 보였는데 이는 당밀중에 시설재배지 토양 염류농도와 높은 상관성을 보이는 것으로 보고되어 있는 K₂O, Cl, SO₄ 함량이 각각 2.2, 1.2, 5.8%로 높은 등 당밀 EC 자체가 8.2 dS m⁻¹로 높은데에(표 2) 기인하는 것으로 판단된다. 시험전 토양 EC가 10.8 dS m⁻¹로 높았던 여름작기 2차시험에서는 표 4와 같이 토양 EC가 처리 10일후까지 10 dS m⁻¹ 이상 높은 수준으로 유지되는 가운데 당밀처리구가 무처리 대비 낮거나 대등한 수준이었으나 처리후 21일에는 관수 직후 시료채취로 인해 EC가 모두 큰 폭으로 낮아졌다가 처리후 39일에 다시 증가하는 경향으로서 당밀 200kg 10a⁻¹ 시용구를 제외한 모든 처리에서 무처리보다 높아졌다. 따라서 두 작기 시험결과를 종합해 볼 때 당밀 시용량은 200kg 10a⁻¹ 이하로 제한되어야 할 것으로 판단된다.

표 3. 봄작기 당밀 처리별 토양 염농도 변화 (단위 : dS m⁻¹)

구 분	시험전	처리후 3일	처리후 6일	처리후 10일	처리후 21일	처리후 30일	처리후 45일
1) 무처리	3.06	0.99	1.20	1.70	1.04	0.96	2.00
2) 당밀 C/N 2 조절량	3.06	1.83	2.07	1.79	1.59	1.32	1.73
3) 당밀 C/N 4 조절량	3.06	1.68	1.93	2.38	1.37	0.98	1.86
4) 당밀 C/N 6 조절량	3.06	2.54	2.00	1.79	1.56	1.20	2.06
5) 3) + 팽화왕겨 0.5 Mg 10a ⁻¹	3.06	1.65	1.71	1.59	1.61	0.95	1.23

표 4. 여름작기 당밀 처리별 토양 염농도 변화 (단위 : dS m⁻¹)

구 분	시험전	처리후 3일	처리후 6일	처리후 10일	처리후 21일	처리후 39일
1) 무처리	10.76	15.61	14.25	13.62	3.84	9.24
2) 당밀 200 kg 10a ⁻¹	10.76	14.13	11.92	13.50	5.46	8.72
3) 당밀 400 kg 10a ⁻¹	10.76	15.60	13.17	13.87	6.41	13.28
4) 당밀 600 kg 10a ⁻¹	10.76	13.76	13.27	12.44	6.27	10.09
5) 3)+팽화왕겨 0.5Mg 10a ⁻¹	10.76	13.93	11.70	10.66	5.05	10.28

시험후 토양화학성은 여름작기의 당밀 400kg 10a⁻¹ 처리를 제외하면 당밀처리로 토양 NO₃-N 함량이 감소되는 효과가 있었으나, 당밀중 함량이 높았던 K, SO₄ 성분은 증가되는 경향을 보여 이들 함량이 토양 EC 변화에 영향을 주는 것으로 생각된다(표 5, 6).

표 5. 봄작기 시험후 토양화학성 변화

구 분	pH (1 : 5)	OM (%)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. K (cmol kg ⁻¹)	Ex. Ca (cmol kg ⁻¹)	SO ₄ (mg kg ⁻¹)	Cl (mg kg ⁻¹)
1) 무처리	6.3	16.7	109	320	0.86	7.7	203	251
2) 당밀 C/N 2 조절량	6.7	17.1	64	351	1.04	7.7	273	203
3) 당밀 C/N 4 조절량	6.8	19.3	50	331	1.96	9.3	252	220
4) 당밀 C/N 6 조절량	6.6	17.5	92	351	1.45	7.6	408	271
5) 3)+팽화왕겨 0.5 Mg 10a ⁻¹	6.8	20.1	24	344	1.23	7.0	200	152

표 6. 여름작기 시험후 토양화학성 변화

구 분	pH (1 : 5)	OM (%)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. K (cmol kg ⁻¹)	Ex. Ca (cmol kg ⁻¹)	SO ₄ (mg kg ⁻¹)	Cl (mg kg ⁻¹)
1) 무처리	5.6 c	15.5	386	745	3.84	7.1	493	1,309
2) 당밀 200 kg 10a ⁻¹	5.9 bc	16.6	357	732	3.72	7.2	515	1,293
3) 당밀 400 kg 10a ⁻¹	5.9 bc	16.9	476	776	5.23	8.6	1,055	2,046
4) 당밀 600 kg 10a ⁻¹	6.4 a	18.6	338	752	4.77	7.8	816	1,543
5) 3)+팽화왕겨 0.5Mg 10a ⁻¹	6.0 b	18.9	348	714	4.54	7.8	686	1,600

처리별 시금치 수량과 양분흡수량은 2작기 시험 모두 염류피해에 의한 생육 불균일로 인하여 처리간 유의차가 없었으며, 경향성도 작기간에 상이하하여 당밀 시용이 작물생육에 미치는 효과 분석은 할 수 없었다(표 7, 8).

표 7. 봄작기 시험후 시금치 수량 및 양분 흡수량

구 분	수 량 (kg 10a ⁻¹)	건물중 (kg 10a ⁻¹)	시금치 양분 흡수량(kg 10a ⁻¹)				
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1) 무처리	1,855	175.5	7.21	2.33	15.81	2.01	3.66
2) 당밀 C/N 2 조절량	1,689	167.8	6.71	2.36	14.39	1.80	3.35
3) 당밀 C/N 4 조절량	1,923	188.0	7.43	2.61	14.01	2.04	3.80
4) 당밀 C/N 6 조절량	1,594	161.4	6.44	2.28	12.34	1.71	3.18
5) 3)+팽화왕겨 0.5Mg 10a ⁻¹	1,871	172.2	6.26	2.40	13.95	1.85	3.31

표 8. 여름작기 시험후 시금치 수량 및 양분 흡수량

구 분	수 량 (kg 10a ⁻¹)	건물중 (kg 10a ⁻¹)	시금치 양분 흡수량(kg 10a ⁻¹)				
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1) 무처리	239.5	23.9	0.93	0.35	2.76	0.25	0.58
2) 당밀 200 kg 10a ⁻¹	368.7	35.3	1.34	0.52	3.73	0.39	0.90
3) 당밀 400 kg 10a ⁻¹	263.4	26.8	1.05	0.43	3.20	0.33	0.72
4) 당밀 600 kg 10a ⁻¹	255.1	24.9	0.96	0.37	2.83	0.26	0.61
5) 3)+팽화왕겨 0.5Mg 10a ⁻¹	278.2	27.3	1.09	0.41	3.04	0.28	0.69

당밀사용에 의한 토양 EC 변화를 정밀 추적하기 위하여 여름작기 시험토양으로 작물을 재배하지 않고 경시적으로 EC와 시험후 토양화학적성을 조사한 Pot 시험결과는 표 9와 표 10과 같다.

당밀, 설탕, 팽화왕겨, 제오라이트 등 모든 처리에서 전체적으로 무처리 대비 토양 EC가 경감되는 경향을 보였다. 당밀 사용량 간에는 200 kg 10a⁻¹에서 가장 낮게 유지되었고 사용량이 증가함에 따라 토양 EC도 증가하여 포장시험과 같은 결과를 보였다. 따라서 토양 EC 경감을 위해서는 당밀 사용량을 200 kg 10a⁻¹ 이하로 해야 효과가 있을 것으로 판단되었다. 한편 설탕 처리는 처리후 2주까지 EC 경감효과가 큰 경향이나 이후 기타 처리에 비해 높아졌으며, 팽화왕겨와 제오라이트 처리는 토양 EC가 전체적으로 낮은 수준으로 유지되어 염류경감 효과가 기대되었다(표 9).

처리 4주후 토양화학적성은 당밀 사용량이 증가함에 따라 pH, OM, Ex. K, Ex. Ca, SO₄, Cl 등 많은 성분이 비례적으로 증가하는 경향을 보인 반면, NO₃-N 함량은 감소하여 포장 시험과 전체적으로 부합되는 결과를 나타내었다(표 10).

표 9. 토양개량제 처리별 토양 EC 변화(Pot 시험) (단위 : dS m⁻¹)

처 리 내 용	시험전	처리후 3일	처리후 1 주	처리후 2 주	처리후 3 주	처리후 4 주
1) 무 처 리	12.39	10.62	11.64	10.20	13.04	12.82
2) 당밀 200 kg 10a ⁻¹	12.39	10.85	11.47	7.26	9.81	11.32
3) 당밀 400 kg 10a ⁻¹	12.39	11.81	11.08	8.58	10.77	11.58
4) 당밀 600 kg 10a ⁻¹	12.39	12.45	11.30	10.48	10.35	12.38
5) 설탕 400 kg 10a ⁻¹	12.39	8.27	10.69	8.79	11.03	12.17
6) 팽화왕겨 500 kg 10a ⁻¹	12.39	12.69	10.62	8.49	9.51	11.97
7) 제오라이트 2 Mg 10a ⁻¹	12.39	8.96	11.64	8.59	10.02	11.25

표 10. 처리후 4주 토양화학성 변화(Pot 시험)

처 리 내 용	pH (1 : 5)	OM (%)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. K (cmol kg ⁻¹)	Ex. Ca (cmol kg ⁻¹)	SO ₄ (mg kg ⁻¹)	Cl (mg kg ⁻¹)
1) 무 처 리	5.9	16.0	540	751	4.10	8.78	705	2126
2) 당밀 200 kg 10a ⁻¹	6.3	19.1	391	709	4.42	8.20	747	2137
3) 당밀 400 kg 10a ⁻¹	6.7	20.7	363	717	5.08	8.91	1238	2141
4) 당밀 600 kg 10a ⁻¹	7.0	23.3	323	654	5.63	9.64	1292	2276
5) 설탕 400 kg 10a ⁻¹	6.5	17.2	365	693	4.18	8.64	586	2133
6) 팽화왕겨 500 kg 10a ⁻¹	6.0	18.9	486	730	4.06	7.99	620	1899
7) 제오라이트 2 Mg 10a ⁻¹	6.0	16.2	436	747	3.29	8.95	838	1822

<시험 2> 당밀, 제오라이트, 팽화왕겨 혼용에 의한 염류경감 효과시험(2006)

당밀, 제오라이트, 팽화왕겨 단독 및 혼합 시용이 시금치 수량과 양분흡수량에 미치는 영향은 표 11과 같이 여름작기인 1차시험에서 무처리구의 생육저조로 인해 당밀 100 kg 10a⁻¹ 단용시 50%, 제오라이트 2 Mg 10a⁻¹ 단용시 85%, 당밀과 제오라이트 혼용시 101%, 당밀, 제오라이트 및 팽화왕겨 500 kg 10a⁻¹ 혼용시 107% 증수되는 등 모든 처리에서 높은 증수폭으로 유의성 있는 수량증가를 보였다. 가을작기인 2차시험에서도 모든 처리에서 무처리 대비 17~23% 증수 경향이나 유의성 있는 증수효과는 당밀+제오라이트, 당밀+제오라이트+팽화왕겨 혼용처리에서 있었으며, 초기 발아율은 제오라이트와 팽화왕겨 처리에서 높아졌다. 양분흡수량도 수량과 같은 경향으로서, 모든 처리구에서 무처리구에 비해 많아져 토양 염류성분 제거량도 증가하였다.

표 11. 시금치 수량 및 양분흡수량

구 분	수 량 (kg 10a ⁻¹)	출아율 ¹ (%)	시금치 양분 흡수량(kg 10a ⁻¹)				
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1) 무처리	1,007(100)	42.0 ^{NS}	2.01	0.75	5.73	0.40	0.84
2) 당밀 100 kg 10a ⁻¹	1,507(150)	43.3	2.74	1.21	8.70	0.57	1.31
3) 제오라이트 2 Mg 10a ⁻¹	1,864(185)	47.1	3.60	1.46	10.76	0.62	1.51
4) 2)+3)	2,027(201)	54.9	3.61	1.53	11.95	0.70	1.61
5) 4)+팽화왕겨 0.5 Mg 10a ⁻¹	2,082(207)	49.8	3.87	1.59	12.80	0.72	1.69
LSD(0.05).....	447.9	-	-	-	-	-	-
CV(%)	13.7	-	-	-	-	-	-

구 분	수 량 (kg 10a ⁻¹)	출아율 [↓] (%)	시금치 양분 흡수량(kg 10a ⁻¹)				
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1) 무처리	1,518(100)	54.7 ^c	3.93	1.65	11.3	0.56	1.21
2) 당밀 100 kg 10a ⁻¹	1,788(118)	58.0 ^{bc}	4.64	1.85	12.2	0.74	1.58
2차 3) 제오라이트 2 Mg 10a ⁻¹	1,772(117)	66.3 ^a	4.33	1.76	13.5	0.68	1.47
4) 2)+3)	1,866(123)	63.7 ^{ab}	4.91	1.96	12.9	0.71	1.62
5) 4)+팽화왕겨 0.5 Mg 10a ⁻¹	1,838(121)	70.7 ^a	4.79	1.95	13.4	0.65	1.63
LSD(0.05)	310.1	-	-	-	-	-	-
CV(%)	9.4	-	-	-	-	-	-

↓ 출아율 조사일 : 1차시험 파종후 7일, 2차시험 파종후 11일

경시적 토양 염농도는 표 12에서와 같이 시기별로 변동이 있었으나, 최종 조사일 기준으로 볼 때 당밀과 팽화왕겨 시용으로 무처리에 비해 EC가 낮아지는 경향을 보였으며, 전체 조사시기 기준으로는 당밀, 제오라이트, 팽화왕겨 혼합시용구가 전 생육기간에 걸쳐 토양 EC가 안정적으로 낮게 유지되어 가장 효과적인 염류경감 방법으로 판단되었으며, 최종조사일 기준으로 무처리에 비해 1차 및 2차시험 각각 33, 20%의 경감율을 보였다.

표 12. 경시적 토양 염농도 변화

(단위 : dS m⁻¹)

구 분	시험전	1차시험			2차시험			
		처리후 18일	처리후 35일	처리후 49일	처리후 15일	처리후 31일	처리후 45일	처리후 58일
1) 무처리	5.97	7.81	5.39	9.38(100)	9.00	8.06	4.74	4.67(100)
2) 당밀 100 kg 10a ⁻¹	5.97	5.44	8.00	7.93(85)	8.16	5.76	5.30	4.11(88)
3) 제오라이트 2 Mg 10a ⁻¹	5.97	7.02	7.80	8.16(87)	9.57	6.96	6.88	4.96(106)
4) 2)+3)	5.97	8.50	7.25	8.36(89)	7.92	7.37	5.71	3.29(70)
5) 4)+팽화왕겨 0.5 Mg 10a ⁻¹	5.97	5.09	5.16	6.33(67)	6.73	7.09	2.35	3.72(80)

토양 염기치환용량은 당밀시용에 의한 변화는 없었으나 제오라이트와 팽화왕겨 시용으로 토심 0~15cm의 표토에서 제오라이트 2 Mg 10a⁻¹ 단용시 17~23%, 팽화왕겨 혼용시 33~40% 증가되는 경향이였다. 토심 15~30cm의 심토는 1차시험에서는 통계적 유의성이 없었으나 2차시험에서 제오라이트 시용구 12%, 팽화왕겨 혼용구 36% 각각 증가되는 경향을 보였다. 특히 당밀, 제오라이트, 팽화왕겨 혼용구는 무처리 대비 유의성 있는 증가를 보여 염기치환용량 증가에 따른 완충성 증대로 토양의 과잉염류 성분 흡착능이 증대되어 상대적으로 수량성이 높았던 것으로 판단된다.

표 13. 토양 염기치환용량(CEC) 변화

(단위 : cmol kg⁻¹)

구 분	1차 시험후		2차 시험후	
	토심 0~15 cm	토심 15~30 cm	토심 0~15 cm	토심 15~30 cm
1) 무처리	8.04 ^b (100)	6.32 ^{NS}	7.69 ^c (100)	6.98 ^c (100)
2) 당밀 100 kg 10a ⁻¹	8.13 ^b (101)	6.50	7.75 ^c (101)	7.10 ^{bc} (102)
3) 제오라이트 2 Mg 10a ⁻¹	9.42 ^{ab} (117)	6.77	9.45 ^b (123)	7.79 ^{bc} (112)
4) 2)+3)	9.44 ^{ab} (117)	6.67	8.83 ^b (115)	8.04 ^b (115)
5) 4)+팽화왕겨 0.5 Mg 10a ⁻¹	10.68 ^a (133)	7.24	10.77 ^a (140)	9.47 ^a (136)

시험후 토양화학적성은 당밀, 제오라이트, 팽화왕겨 혼합처리구에서 무처리구에 비해 1차, 2차시험 모두 유기물 함량이 증가되고 NO₃-N 등 양분함량들은 감소되는 뚜렷한 차이를 보였으나, 기타 처리는 분석성분별 및 시험시기별로 변동이 있어 일정한 경향성을 보이지 않았다.

표 14. 시험후 토양화학적 변화

구 분	pH (1 : 5)	OM (%)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. K (cmol kg ⁻¹)	SO ₄ (mg kg ⁻¹)	Cl (mg kg ⁻¹)
1차 시험 후							
1) 무처리	6.5	17.6	260	761	3.08	501	965
2) 당밀 100 kg 10a ⁻¹	5.9	16.0	402	737	3.55	696	1,389
3) 제오라이트 2 Mg 10a ⁻¹	6.1	16.0	341	725	3.41	658	1,194
4) 2)+3)	6.2	17.7	328	783	3.34	774	1,277
5) 4)+팽화왕겨 0.5 Mg 10a ⁻¹	6.5	16.9	309	715	3.35	789	1,319
2차 시험 후							
1) 무처리	6.3	17.8	257	681	2.89	474	1,009
2) 당밀 100 kg 10a ⁻¹	6.9	15.2	203	690	2.35	369	687
3) 제오라이트 2 Mg 10a ⁻¹	6.8	14.5	210	682	2.33	388	650
4) 2)+3)	6.9	14.6	275	711	2.60	621	743
5) 4)+팽화왕겨 0.5 Mg 10a ⁻¹	7.1	14.8	160	673	2.85	667	680
	6.8	17.5	149	641	2.21	373	640

시험후 토양미생물상은 1차시험시 당밀 처리에 의해 무처리 대비 미생물수가 증가경향을 보였으며, 제오라이트 처리에 의해 유의차를 보이며 증가하여 사상균, 호기성세균, 방선균 수가 각각 무처리의 2.7, 1.5, 2.5배 수준이었다. 이러한 증가경향은 팽화왕겨를 혼용한 경우 가장 크게 나타나 각각 4.0, 2.0, 3.8배 수준을 보였다. 이러한 경향은 2차시험에서도 비슷하였으나 특히 사상균의 증가폭이 커서 무처리 대비 당밀 3.8배, 제오라이트 4.3배, 팽

화왕겨 혼용 4.5배 수준을 보였고 호기성세균과 방선균도 비슷한 경향이나 팽화왕겨 혼용구의 호기성세균수만 통계적 유의차를 나타내었다. 미생물수가 많아지는 것은 그만큼 토양중 무기성분이 균체내로 유기화되는 양이 많아져 토양염류가 경감되기 때문에 당밀, 제오라이트, 팽화왕겨 혼용처리가 염류경감 방법으로 적합할 것으로 생각되었다. 토양물리성은 처리간 유의차는 나타나지 않았으나 팽화왕겨 등의 처리에 의해 용적밀도가 다소 감소하여 공극률이 증가하는 경향을 보였다(표 15).

표 15. 토양미생물상 및 물리성 변화

구 분	토양미생물수(cfu 건토1g ⁻¹)			토양물리성		
	사상균 (×10 ⁴)	호기성세균 (×10 ⁷)	방선균 (×10 ⁶)	용적밀도 (Mg m ⁻³)	공극률 (%)	
1차 시험 후	1) 무처리	9.53(100) ^c	5.80(100) ^c	3.15(100) ^c	1.17	55.9
	2) 당밀 100 kg 10a ⁻¹	20.3(213) ^{bc}	6.60(114) ^{bc}	5.32(169) ^{bc}	1.14	57.1
	3) 제오라이트 2 Mg 10a ⁻¹	25.9(271) ^{ab}	8.54(147) ^b	7.84(249) ^b	1.10	58.5
	4) 2)+3)	28.5(299) ^{ab}	8.14(140) ^b	6.89(219) ^b	1.13	57.3
	5) 4)+팽화왕겨 0.5 Mg 10a ⁻¹	38.2(401) ^a	11.60(200) ^a	11.89(378) ^a	1.13	57.4
2차 시험 후	1) 무처리	4.97(100) ^b	2.50(100) ^b	2.10(100) ^{NS}	1.10	58.5
	2) 당밀 100 kg 10a ⁻¹	19.07(384) ^a	5.48(220) ^b	3.54(169)	1.09	58.8
	3) 제오라이트 2 Mg 10a ⁻¹	21.23(427) ^a	5.43(217) ^b	3.92(187)	1.06	59.9
	4) 2)+3)	19.60(394) ^a	5.67(227) ^b	4.70(224)	1.09	59.0
	5) 4)+팽화왕겨 0.5 Mg 10a ⁻¹	22.27(448) ^a	9.75(390) ^a	4.46(213)	1.02	61.5

이상의 결과를 종합하여 볼 때 토양염류 경감효과가 안정적으로 가장 높았고, 토양물리화학과 미생물상 개선효과가 뚜렷하여 결과적으로 시금치 수량이 높았던 당밀과 제오라이트, 팽화왕겨 종합투입 기술이 염류집적 시설재배지 개량기술로 유망할 것으로 판단되며, 종합투입기술 적용시 경제적 효과를 본시험 결과를 이용해 시산법으로 추정한 결과, 시금치 2작 기준으로 10a당 약 120만원의 수익이 발생하는 것으로 분석되었다(표 16).

표 16. 당밀, 제오라이트, 팽화왕겨 이용 토양개량에 의한 경제적 효과

손실적 요소(A)		이익적 요소(B)	
○ 당밀 100kg×2회	80,000원	○ 수량증대 1,162원×1,395kg=1,620,990원 -1차시험 1,075kg, 2차시험 320kg 증수	
○ 제오라이트 2,000kg×2회	240,000원		
○ 팽화왕겨 500kg×2회	100,000원		
소 계	420,000원	소 계	1,620,990원
추정수익액(B-A) = 1,200,990원(10a당 시금치 2작 기준)			

4. 적 요

염류가 집적된 시설재배지 토양개량 기술을 개발하고자 당밀과 제오라이트, 팽화왕겨 시용효과를 '05~'06의 2개년간 시험한 결과는 다음과 같다.

- 가. 당밀은 토양 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량을 감소시켜 EC를 낮추는 효과가 있으나, 당밀중 K, SO_4 , Cl 함량이 높아 시용량을 $200 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 이하로 제한하여야 함
- 나. 시금치 수량은 당밀 $100 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$, 제오라이트 $2 \text{ Mg } 10\text{a}^{-1}$, 팽화왕겨 $0.5 \text{ Mg } 10\text{a}^{-1}$ 등의 단용 및 혼용처리에 의해 여름작기 시험에서 50~107%의 증수효과가 있었고, 가을작기 시험에서는 당밀+제오라이트와 당밀+제오라이트+팽화왕겨 혼용처리에서 각각 23, 21% 증수되었으며, 양분흡수량은 수량과 같은 경향을 보임
- 다. 토양염농도는 시험작기 및 조사시기별로 처리간 경향성에 변동폭이 컸으나, 당밀+제오라이트+팽화왕겨 혼용처리구는 전체 조사시기에 걸쳐 안정적으로 낮아져 시험 후 조사시 무처리구에 비해 20~33%의 염류경감 효과가 있었음
- 라. 토양화학적성은 당밀+제오라이트+팽화왕겨 혼합처리에 의해 무처리에 비해 염기치환용량이 33~36% 높아졌으며, 유기물함량이 증가하고 $\text{NO}_3\text{-N}$ 등 양분성분이 감소하는 경향임
- 마. 토양미생물상은 당밀, 제오라이트 처리로 사상균, 호기성세균, 사상균 모두 큰 폭으로 증가하였고(1.4~4.3배), 특히 당밀+제오라이트+팽화왕겨 혼합처리구에서 무처리 대비 200~448%의 높은 밀도를 보였고, 용적밀도 등 물리성이 개선되는 경향임
- 바. 당밀+제오라이트+팽화왕겨 혼합처리가 토양염류 경감율, 토양이화학적 개선능, 수량성 등을 고려하여 염류집적 시설재배토양의 염류경감기술로 유망하며, 경제성 분석 결과, 시금치 2작 기준으로 10a당 약 120만원의 수익이 발생함

5. 인용문헌

- 조광래, 강창성, 노안성, 심재만, 박경열. 2003. 유기물 종류별 시설재배지 염류경감 효과 구명 시험. 경기도농업기술원 시험연구보고서. pp.463-482.
- Hwang S. W., Y. S. Kim, B. Y. Yeon, Y. J. Lee and Y. D. Park. 1993. The Effect of Several Desalting Methods Applied to Vinyl House Soils. Rural Development Administration J. Agri. Sci.(Soil & Fert.) 35(1) : 276-280.
- Jung Y. S. and S. H. Yoo. 1975. Effect of Watering on Eluviation of Soluble Salts in the Vinyl House Soils. Korean J. Soil Sci. and Fert. 8(2) : 53-60.
- Kim, J. G., C. H. Lee, H. S. Lee, J. G. Jo and Y. H. Lee. 1996. Subsoil Inverting Depth and Fertilizer Needs in Salt Accumulated Soils of Plastic Film House. Rural Development Administration J. Agri. Sci.(Soil & Fert.) 38(1) : 370-375.

Kim, L. Y., H. J. Cho, B. K. Hyun and W. P. Park. 2001. Effects of Physical Improvement Practices at Plastic Film House Soil. Korean J. Soil Sci. and Fert. 34(2) : 92-97.

농촌진흥청. 1988. 토양화학분석법.

농촌진흥청. 2000. 토양 및 식물체 분석법.

농림부. 2006. 농림통계연보.

Park E. H., Y. P. No and Y. T. Jung. 1987. Effect of Soil Amendment Application on Green Pepper Continuously Grown Soil in Vinyl House. Rural Development Administration J. Agri. Sci.(P · M & U.) 29(1) : 160-165.

6. 연구결과 활용제목

- 엽류집적지 당밀, 제오라이트, 팽화왕겨 혼합시용 효과(2006, 영농활용)