

경기 하남 상치재배단지의 병해발생억제와 생산성 향상을 위한 토양환경과 토양소독제처리 개선방안

정덕영* · 윤민호** · 현교태***

(*충남대학교 농화학과 조교수 · **충남대학교 농업과학연구소 객원연구원 · ***하남시 작목반)

Methods of Soil Fumigant Treatment and Soil Environment management for Pathogen Control and Yield Increase of Lettuce in Hanam Area of Kyong-gi Province

Doug-Young Chung* · Min-ho Yoon** · Gyo-tae Hyun***

(***Dept. of Ag. Chem., Chungnam National Univ. · **Culture Group, Hanam-city)

적 요

우리 나라 시설재배지의 재배상의 문제점은 일반적으로 지표면으로부터 약 20cm 내지 30cm 부근에서 용적밀도가 1.45~1.55g/cm³ 이르고 있고 토양 깊이별 이온분포 특성을 전기전도도로 조사한 결과 표층 20cm 이내의 전기전도도는 평균 5dS/m 이상으로 작물의 생육을 저해시키는 수준에 달하고 있다. 그리고 주 재배작목인 상추에서 뿌리썩음병 또는 지상부 시들음병의 원인이 되는 곰팡이외에 세균과 방사선균 또한 다수 조사되었다. 따라서 본 시설재배지의 문제점을 해결하기 위해서는 토양의 물리화학성, 토양수분관리 기법, 토양소독제처리 기법 등이 선정되어야 한다. 결론적으로 하남 시설재배지의 문제점을 해결하기 위한 방안으로서 Ap층 하부에 존재하는 불투수층에 가까운 다져짐층을 개선하여 염류 이온의 하부 용탈을 용이하게 해주어야 한다. 그리고 병원성 미생물 제거를 위하여 토양소독제를 처리하여야 하는데 이때에는 토양소독제 처리량, 처리깊이, 처리시 내재 토양수분의 조절이 필요하다.

1. 서론

1997년 기준 우리 나라의 일반 노지 작물과 주요 시설재배작물의 재배 면적은 약 230만 ha로 이중 전용 시설재배지는 약 21만 ha 정도이며 답전유회 형태의 시설재배 농경지를 포함하면 약 30만 ha에 이르는 것으로 추정된다¹⁾.

그러나 현재의 우리 나라 시설재배는 동일 토양에서 연간 최소 3~4회 연작을 하며 매 작기마다 경운,

시비, 농약 사용을 하고 있는 것이 특징이다. 이러한 작부방식에 의해 근권층 내에 과도한 염류가 집적되거나 일반 농지보다 병해 발생이 심하여 농작물 생산량과 품질에 영향을 주어 폐농에 직면하는 농가도 있어 우리 나라의 시설원예가 시급히 해결해야 될 최대의 과제이다^{4,5,6,7,8,9,12)}.

우리 나라 시설재배지의 토양구조특성 조사 결과를^{18,19)} 살펴보면 지역간 일부 차이는 있으나 깊이가 증가됨에 따라 시설재배지의 지표면으로부터 약 20cm 내지 30cm 부근에서 용적밀도가 1.45~1.55g/cm³에 이

르고 있고 토양 깊이별 이온분포 특성을 전기전도도로 조사한 결과 표층 20cm 이내의 전기전도도는 평균 3.5dS/m 이상으로 작물의 생육을 저해시키는 수준에 달하고 있을 뿐만 아니라 투수성이 양호한 토양에 비하여 병해 발생에 의한 농산물의 수량 감소와 품질저하 현상도 조사되었다.

일반적인 시설재배지에서 염류집적을 일으키는 요인^{15,16,17,18,19}을 살펴보면 첫째, 집약재배에 따른 다비재배와 작물 요구량 이상의 화학비료의 사용, 둘째, 시설재배사내의 고온에 의한 증발량 증대로 염류의 표토 집적, 셋째, 오염된 관개수 사용, 넷째, 작부 전환에 따른 빈번한 경운에 의해 특정 깊이내에 급격한 용적밀도 증가에 따른 투수성의 급격한 저하, 다섯째, 잦은 관개에 의한 표층토내의 점토와 같은 미세한 토양입자나 토양 pH 보정을 위하여 사용된 과도한 석회화 심토층으로 이동집적되어 공극특성에 영향을 주어 토양수와 용존물질의 수직이동에 영향 등이 주요인으로 작용하는 것으로 보고되었다.

현재까지 국내외에서 연구되거나 활용되고 있는 제염법은^{5,6} Ca 이온을 함유하는 토양개량제의 사용에 의한 치환용탈^{1,2,3,4}, 유기물을 사용하여 토양 물리성을 개선을 통한 용탈 세척, 암거 및 명거 배수 등이 있다^{15,16,17}. 토양개량제 사용의 경우 현 국내 시설재배지에 적용할 경우 심층토 토양구조 특성 등의 요인에 의해 공극특성과 투수성 등의 토양물리성을 더 악화시켜 제염의 효과를 기대하기 어려우며, 유기물 사용은 현재 국내 시설재배지 토양의 경우 표층(A층)내의 과도한 유기물은 수분보유력을 증가시켜 염류이온의 표층 체류 시간을 연장시킨다. 따라서 일반적으로 알려진 유기물 사용에 의한 토양입단화의 효과보다는 CEC 증가 등에 따른 영향이 클 것으로 추정되며 또한 압밀 현상 등에 형성된 심층토의 개

선이 없이는 실제 유기물 사용에 따른 토양개선 효과는 기대하기 어렵다^{2,3}. 명거배수의 경우 과량의 양질의 관개수를 사용하여야 하나 현 우리나라의 시설재배지의 특성상 어렵고 암거배수의 또한 관리와 기계경운과 설치비용에 문제점이 있다. 예로, 토성별 용적밀도변화에 따른 투수계수 및 염소와 질산태 이온의 상대용출속도 연구결과를 살펴보면 Silt Loam과 Clay Loam 모두 용적밀도가 1.2g/cm³에서 1.5g/cm³로 증가함에 따라 투수계수는 1/10 이하로 급격히 감소하며 염소와 질산태 질소를 이용하여 상대용출농도가 1에 도달하는데 걸리는 시간 또한 용적밀도가 1.2g/cm³에서 1.5g/cm³로 증가함에 따라 15배 이상 소요되어 염류집적도에서 관수를 통하여 제염시키고자 할 때 제염효과를 기대하기가 어렵다.

한편 정이 1.2g/cm³과 1.5g/cm³의 용적밀도로 만들어진 15cm와 5cm의 두개 칼럼을 동시에 연결하여 투수계수, 상대용출속도 그리고 칼럼내 이온분포변화를 전기전도도로도 조사한 결과 상기 결과와 유사한 결과를 얻었으며 전기전도도 측정결과도 칼럼의 경계면인 15cm 부근에서 가장 높은 전기전도도가 측정되었다. 한편 토양입자의 분포조사 결과도 interface 부근에서 약 0.7%의 점토가 증가된 것으로 나타났다. 따라서 시설재배지내 토양내 용적밀도 변화는 년중 평균 3번 이상의 기계에 의한 토양 정리 작업에 의해 경운에 의해 파쇄되는 표층 15내지 20cm 아래에 위치하는 심토층내에 다져짐 현상과 잦은 관수에 의한 표층내의 점토와 같은 미세한 토양입자가 심토층내에 집적하게 되어 토양수와 용존물질의 수직이동에 영향을 주어 이러한 염류장해를 발생시키는 염류이온의 집적에 직접적인 원인으로 작용한다^{9,10}.

한편 지표면으로부터 약 20내지 30cm 깊이에 용적밀도가 1.45g/cm³ 정도의 경반층 형성 요인으로 경운

표 1. 토성별 용적밀도변화에 따른 투수계수 및 염소와 질산태 이온의 상대용출속도^{15,16}

구분	Silt Loam		Clay Loam		비고
	1.2	1.45	1.2	1.45	
용적밀도(g/cm ³)	1.2	1.45	1.2	1.45	
투수계수(cm/day)	2.2	0.2	1.6	0.1	
상대용출속도(hr)	17	213	42	612	Cl, NO3-

을 들 수 있다. 이는 Richie²¹⁾의 결과처럼 Loamy Sand 토양에 가해지는 압력이 1kg/cm²에서 2kg/cm²로 증가함에 따라 Infiltration rate는 0.1cm/hr에서 0.01cm/hr로 약 1/10정도로 감소됨을 알 수 있다. 따라서 집약적 다작 경운이 실시되고 있는 우리의 시설재배지의 경우 심층토내에 기계적 다져짐 현상이 발생할 가능성이 클 뿐만 아니라 직접 경운에 의해 이러한 다져짐층을 파쇄하여 물리성을 개선시키기는 어려울 것으로 판단된다. 따라서 이러한 다져짐층을 파쇄하거나 기계적 경운에 의해서도 다져짐층이 형성되지 않는 토양 관리 기법이 필요할 것으로 판단된다. 또한 지온이 높아지고 수분이 과다한 지점에서 사상균과 세균의 증식이 급격히 증가되는 것으로 보고되었다.

그러므로 시설재배지에 있어서 염류집적 방지뿐만 아니라 작물에 병해를 저감시키는 적정 토양수분관리 방식이 도입되어야 할 것으로 판단한다 따라서 현행 적용되고 있는 염류 장애 개선 방식의 효율성을 높이기 위해서는 상기에서 살펴본 요인을 고려한 국내 시설재배지의 최대 문제점인 염류장애와 병해 저감을 위하여 토양의 선택적 수분이동이론을 응용하여 효과적이며 장기간 별도의 관리 방법이 요구되지 않는 장기 연작 시설재배지 토양구조 개발과 작물의 수분요구도에 따른 적정 토양수분 관리방법을 개발하여 시설재배지 염류장애와 병충해저감 및 과학적 시설재배지 관리에 의한 환경친화형 농업화를 달성하는 것을 목적으로 한다.

II. 재료 및 방법

상기 연구범위에서 밝힌 목적을 달성하기 위하여

본 연구는 경기도 하남시 상치재배 시설재배토양과 조사 작목으로 상치를 선정하여 아래와 같은 4개 분야로 나누어 연구를 실시하였다.

1. 조사대상지 기초 토양 특성 및 분포 조사

가. 토양의 물리화학적 특성 분포 조사

하남시 소재 시설재배지 3개소를 선정하여 길이 1m, 깊이 0.6m깊이의 토양구를 확보한 후 토층단면 조사를 실시하였다. 그리고 토양시료는 교란과 비교란 시료로 구분하여 지표면으로 매 10cm 간격으로 직경 5cm, 길이 10cm의 원형토양시료채취기로 비교란 토양시료를 3반복으로 채취하여 표 1과 같은 물리적/화학적 특성을 조사하였고 이와 별도로 교란시료를 A와 B층으로 나누어 각각 약 100kg씩 취하여 실험실 연구에 사용하였다. 토양시료제조방법은 농촌진흥청 토양조사법과 미국 토양학회 권장 토양분석법을 이용하여 조사하였다.

나. 토양의 투수 및 수분체류 특성

채취된 교란토양시료를 풍건한 후 분쇄하여 직경 10cm, 깊이 75cm의 원형칼럼에 각각의 용적밀도를 1.2g/cm³과 1.4g/cm³으로 균일하게 채운 후 포화투수 계수를 측정된 후 동일 토양칼럼을 이용하여 토양의 칼럼의 표면으로 10cm 간격으로 Tensiometer를 설치하여 조사된 metric potential값을 수분함량 환산하여 수분의 이동 상태를 측정한다. 그리고 직경 5cm, 깊이 75cm의 원형토양칼럼을 동일한 조건으로 제작하여 같은 시간에 무게를 측정하여 증발량을 간접적으로 조사한다(그림 1).

표 2. 토양의 물리화학적 특성 세부항목 구분표

물리적 특성	화학적 특성
토층 및 토성	pH
용적밀도 및 공극율	전기전도도(EC)
수분함량, 유기물함량	양이온치환용량
투수계수, 수분보유능	양/음이온농도

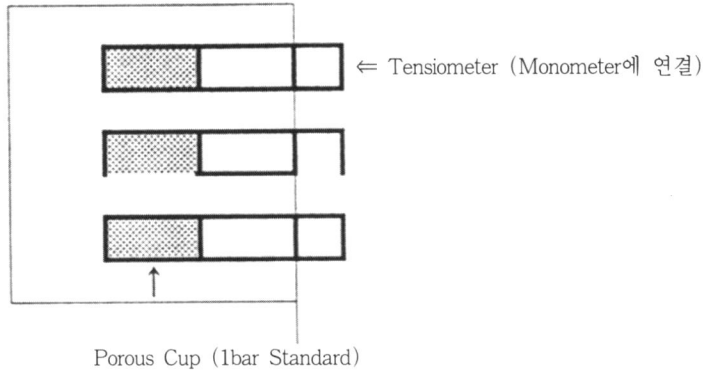


그림 1. 토양의 투수 및 수분역상 측정 특성 조사 모식도

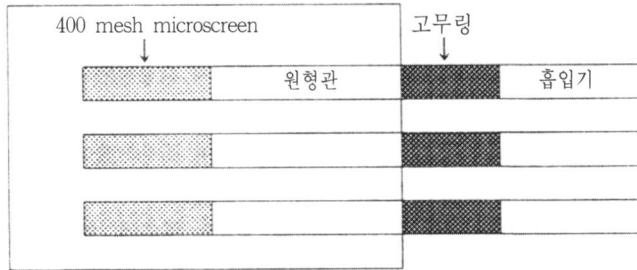


그림 2. 토양 칼럼을 이용한 토양소독제 확산속도 측정 모식도

다. 관행시비(施肥), 관개수질 및 관수방법, 토양소독제 처리법조사

현장에서 행해지고 있는 관행시비량, 관개수질 및 관수방법 방법은 각각의 조사 대상지의 현지 농민의 의견을 청취하여 기록한 후 이를 참고 자료로 사용하였다.

2. 토양소독제 토양내 거동 특성

현 국내에서 사용되고 있는 토양소독제 중 대표적으로 사용되고 있는 토양소독제^{12,3)}를 선택하여 조사를 하였다. 토양소독제 확산 특성은 교란토양시료를 직경 5cm, 깊이 75cm의 원형토양칼럼에 용적밀도를 1.2, 1.3, 그리고 1.4g/cm³ 채운 후 표층 10cm 깊이에 토양소독제를 처리하고 토양수분을 부피수분함량(θ

v) 기준으로 포화, 포화대비 0.75, 0.5, 0.25 그리고 0으로 조정하여 이용하여 각각의 토양내 수직과 수평의 분산 정도를 조사한다. 토양소독제 처리량은 선정된 토양소독제 권장기준량의 0, 0.5, 1, 1.5배의 4단계로 나누어 각각의 처리별로 조사하였다 (그림 2).

가. 토양미생물 분포 및 변이특성조사

병해발생 토양성분 조사와 더불어 나)에서 조사된 각각의 토양의 처리별 미생물 분포^{7,8,9)}를 조사하기 위해 근권 토양과 별도로 토양시료채취기(50×350mm, Stainless)를 이용하여 지표면으로부터 A와 B층, 그리고 지표면으로부터 매 10cm 깊이로 70cm 까지 구분별로 토양시료를 채취하며, 또한 해당 병원성 미생물의 분리는 병증이 뚜렷한 식물체⁴⁾를 직접 채취하여 사용하였다. 그리고 미생물의 토양내 동태를 조사하기

위하여 길이 5cm 직경 5cm인 PE링을 연결하여 총 길이 30cm로 만든 토양칼럼에 Ap층 토양을 용적밀도 1.2g/cm³로 충진한 후 매일 오전 정해진 시간에 1공극 유량씩을 가한 후 7일, 14일, 21일째 토양 칼럼을 5cm 길이로 절단하여 토양내 미생물 수를 조사하였다. 시료별로 세균류(mesophile, thermophile, actinomycetes)와 진균류의 분포도를 조사함은 물론 근면 rhizoplane 미생물과 우점하는 병원균을 분리하여 풋트 적용실험을 통해 병해발생의 세가지 주요인인 식물, 토양과 미생물의 상호경쟁 및 길항성 여부를 조사하였다. 각각의 병원성 미생물별 배지는 아래와 같다.

세균 배지(Nutrient Agar:NA)는 beef extract 3, peptone 5, cycloheximide 0.05, agar 15g/L⁻¹, 비율로 혼합한 후 pH는 6.8로 조정하였다. 호염균 배지는 1.5 M NaCl와 NA media를 혼합하여 사용하였다. P-1(인산균) medium은 glucose 2.0, NH₄Cl 1.0, NaCl 2.0, Na₂SO₄ 1.0, KCl 0.1, MgCl₂ 0.01, CaCl₂ 0.01, FeCl₃ 0.001, NaHPO₄ 0.22, tris(hydroxymethyl), aminomethane 10 g/L⁻¹로 혼합한 후 pH는 7.6으로 조절하여 사용하였다. 그리고 Nitrate broth(탈질균) medium은 Nutrient broth와 5mM KNO₃ 혼합하여 사용하였다. 방선균 배지(Starch casein agar:SCA)는 수용성 starch 10, vitamin-free casein 0.3, KNO₃ 2, NaCl 2, K₂HPO₄ 2, MgSO₄ · 7H₂O 0.05, CaCO₃ 0.02, FeSO₄ · 7H₂O 0.01, cycloheximide 0.025, agar 20g/L⁻¹로 혼합한 후 pH는 7.2로 조정하여 사용하였다. 사상균 배지(Potato dextrose agar:PDA)는 potato infusion from 200, dextrose 20, agar 15g/L, chloramphenicol 0.02로 혼합한 후 pH는 5.6으로 조정하여 사용하였다. *Fusarium* 분리용 배지는 K₂HPO₄ 1, KCl 0.5, MgSO₄ · 7H₂O 0.5, Fe-EDTA 0.01, asparagin 2, galactose 20, agar 15g/L⁻¹로 혼합한 후 pH는 4.0으로 조정하여 사용하였다.

미생물의 분리는 채취한 시료 1g을 멸균된 생리식염수 99ml 이 담긴 삼각후라스크에 넣어 실온에서 2시간 진탕 배양한 후 진탕액을 멸균식염수로 3단(102, 104, 106) 희석하여 세균용, 방선균, 사상균용 선별배지에 각각 도말하고 중온균은 30°C에서, 고온균은 55°C에서 일정기간 배양하면서 순수분리 하였다. 사상균 분리는 상기 세균 분리법과 같은 방법으로

희석한 후 PDA 또는 *Fusarium* 분리배지에 각각 도말하여 30°C에서 10일간 배양하면서 포자를 분리한다. 식물체로부터의 분리는 뚜렷한 병증을 보이는 식물조직을 절단하여 0.2% 산성승홍수(HgCl₂ 2g, HCl 5ml/L)에 3분간 침적시키고 멸균증류수로 3회 세척한 다음 30°C에서 상기 사상균용 배지위에 배양한다. 생성된 포자를 멸균수에 희석하여 배지위에 다시 도말하여 단포자를 분리한다.

분리 미생물의 생육측정은 분광광도계를 이용하여 660nm에서 탁도를 측정하며, 생균수의 측정(viable count)은 희석평판법에 의해 세균은 NA, 방선균은 SCA, 그리고 사상균은 PDA 배지를 사용하여 중온성 세균과 방선균의 경우 30°C에서 5일간, 고온성 세균은 55°C에서 3일간, 사상균은 30°C에서 7일간 배양하면서 생육하는 콜로니를 계수하여 평균값을 구하고 viable cells/mL로 환산하였다. 근면미생물에 대하여는 작물의 뿌리를 수중분획법으로 처리하여 주로 근면미생물을 분리 계수하였고 뿌리의 무게 1g에 대한 콜로니 형성단위로 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

하남 시설재배 단지내에서 상추의 뿌리썩음병 현상이 현저한 3개 시설농지의 단면구조를 조사한 결과 조사된 깊이 즉, 지표면으로 50cm 이내에서는 일반적으로 농경지 토양에서 발견되는 토층분화특성은 발견되지 않았으나 조사된 3개소 모두 Ap층은 지표면으로부터 약 20cm 정도의 깊이로 형성돼 있음을 알 수 있었다. 토양의 물리적 특성인 용적밀도를 깊이 50cm 까지 조사한 결과 지표면으로부터 깊이가 깊어짐에 따라 용적밀도는 최소 1.07g/cm³에서 1.47g/cm³까지 증가됨을 알 수 있었다(표 3). 토성은 Ap층의 경우 점토함량이 약 22%정도인 양토에 속하고 20cm 이하의 깊이에서는 식양토의 토성을 나타내고 있다. 추종권대 Ap층에 존재하던 점토입자가 잦은 관개에 의해 하층부로 용탈되고 특히 30cm 부근의 용적밀도가 높아지면서 이 경계면상에 집적되었기 때문인 것으로 판단된다.

표 3. 하남시시설재배지 3개소의 용적밀도 특성과 토성

깊이 (cm)	용적밀도(g/cm ³)			비고
	1	2	3	
0~10	1.07	1.11	1.09	양토
11~20	1.22	1.26	1.28	양토
21~30	1.35	1.38	1.33	식양토
31~40	1.47	1.44	1.49	식양토
41~50	1.43	1.42	1.44	식양토

표 4. 하남지역 시설재배지 토양의 물리화학적 특성

<조사 토양 1>

토양 깊이	pH	전기전도도 (ds/m)	유기물 (%)	양이온 치환용량 (cmol _c /kg)	총 인산 (mg/kg)	총질소 (%)	입경분포(%)			토성
							점토	미사	모래	
A	6.11	5.3	2.62	9.2	777.3	0.02	26.8	36.1	37.1	양토
B	5.31	3.6	1.26	7.1	533.5	0.03	28.8	26.3	46.9	식양토

토양 깊이	수용성양이온 (mmol+/kg)				치환성양이온 (mmol/kg)				수용성음이온 (mmol/kg)			
	Na ⁺	Mg ⁺²	K ⁺	Ca ⁺²	Na ⁺	Mg ⁺²	K ⁺	Ca ⁺²	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
A	미량	2.14	9.15	3.11	4.28	32.5	14.4	67.2	0.73	1,465	3.15	0.94
B	미량	1.65	4.3	2.84	4.03	24.6	10	47.85	1.68	2.1	2,095	1.25

<조사 토양 2>

토양 깊이	pH	전기전도도 (ds/m)	유기물 (%)	양이온 치환용량 (cmol _c /kg)	총 인산 (mg/kg)	총질소 (%)	입경분포(%)			토성
							점토	미사	모래	
A	6.31	3.3	3.1	11.2	1017.3	0.02	22.8	40.1	37.1	양토
B	5.64	2.9	1.48	9.41	833.5	0.01	22.8	30.3	46.9	양토

토양 깊이	수용성양이온 (mmol/kg)				치환성양이온 (mmol/kg)				수용성음이온 (mmol/kg)			
	Na ⁺	Mg ⁺²	K ⁺	Ca ⁺²	Na ⁺	Mg ⁺²	K ⁺	Ca ⁺²	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
A	0.02	1.24	6.2	3.31	3.28	28.5	16.4	57.2	1.73	1.3	2.25	2.85
B	0.34	1.89	6.3	2.91	5.03	32.6	15.4	47.8	3.68	1.2	1.11	2.15

〈조사 토양 3〉

토양 깊이	pH	전기전도도 (ds/cm)	유기물 (%)	양이온 치환용량 (cmol/kg)	총 인산 (mg/kg)	총질소 (%)	입경분포(%)			토성
							점토	미사	모래	
A	6.04	5.6	2.8	9.4	1024.3	0.03	22.8	38.1	29.1	양토
B	5.81	6.2	1.2	7.7	733.5	0.01	22.4	24.3	43.3	식양토

토양 깊이	수용성양이온 (mmol/kg)				치환성양이온 (mmol/kg)				수용성음이온 (mmol/kg)			
	Na ⁺	Mg ⁺²	K ⁺	Ca ⁺²	Na ⁺	Mg ⁺²	K ⁺	Ca ⁺²	Cl ⁻	NO3 ⁻	PO43 ⁻	SO42 ⁻
A	0.1	2.44	6.15	3.51	3.28	28.5	18.4	47.2	1.79	1.65	3.45	1.18
B	0.4	1.85	3.35	2.24	2.03	34.6	16.2	37.85	1.28	1.25	2.29	2.04

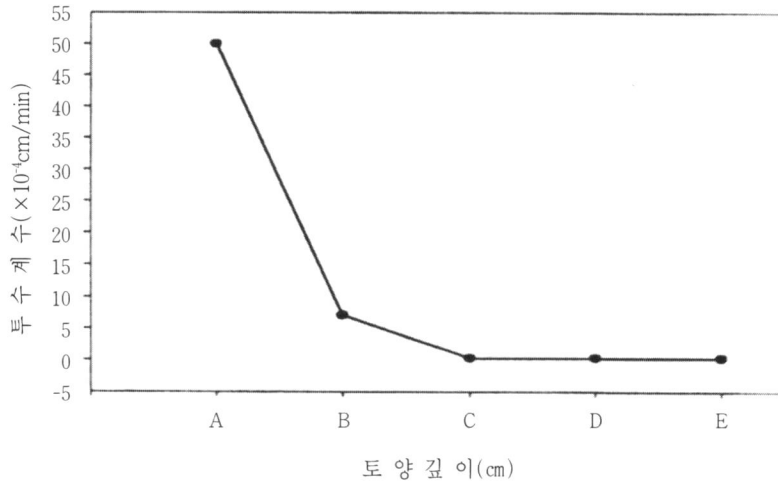


그림 3. 단일 토양깊이별 포화투수계수 특성변화 (A:0~10cm; B:11~20cm; C:21~30cm; D:31~40cm; E:41~50cm).

한편 동일 조사지점의 토양을 Ap층(10~20cm)과 B층(20~40)으로 구분하여 토성과 pH 등과 같은 토양 화학성을 조사한 결과 조사된 토양 모두 염류장애 측정 기준인 전기전도도가 작물생육에 영향을 미치는 수준인 4dS/m 이상으로 나타났고 Ap층보다 B층의 유기물 함량이 약 1/2 수준으로 조사되었다. 그리고 이온의 분포의 경우 양이온은 음이온보다 Ap층에서 B층보다 많이 집적되어 있는 것으로 나타났으며 토성의 경우 Ap층의 토성은 모두 양토이었으며 B층은 양토에 가까운 식양토로 조사되었다. 따라서 이는

Ap층으로부터 관개와 함께 점토성분이 하층으로 이동되었음을 알 수 있었다.

그리고 상기 채취된 토양시료중 조사 지역 3의 비교란 시료를 이용하여 각각의 깊이별 단일 포화투수 특성을 조사하였다. 일반적으로 지표면으로부터 깊이가 깊어질수록 용적밀도가 높아짐에 따라 상대적 포화투수계수는 급격히 감소하여 30cm 깊이하에서는 거의 유사한 2x10⁻⁶cm/min의 값을 보여주고 있다 (그림 3).

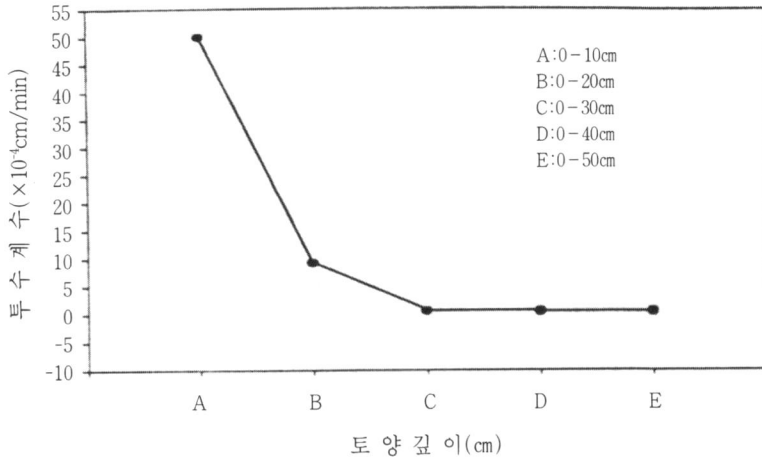


그림 4. 연속 토양 깊이별 포화투수계수 특성변화.

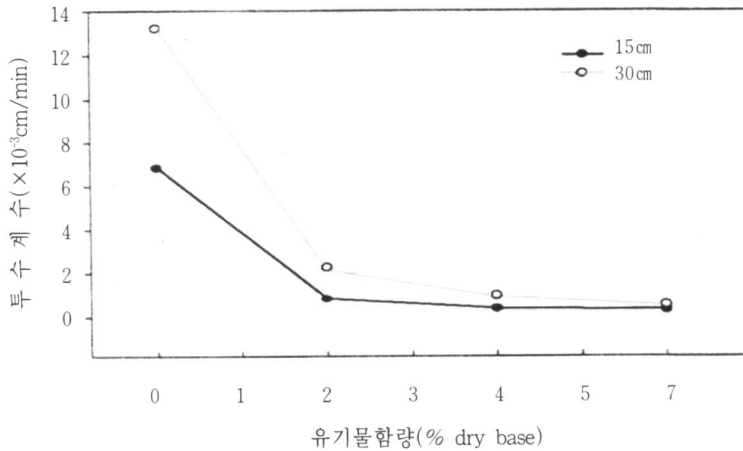


그림 5. 유기물 혼합비율과 혼합깊이별 포화투수특성 변화

이와는 별도로 토양내의 연속적인 수분의 이동 특성을 알아보기 위하여 토양의 연속깊이별 포화투수 특성을 조사하였다. 아래 그림에서 보는 바와 같이 각각의 단일 깊이 투수계수와 유사한 투수특성을 보여주고 있으나 실제 투수계수는 단일깊이의 투수계수보다는 증가된 값을 보여주고 있다. 이는 Pressure Head 값이 토양의 깊이가 증가하면 할수록 증가되기 때문인 것으로 추정된다. 그러나 일반적인 시설재배지 토양에서 조사된 깊이까지 완전히 포화된 상태에

서 수분이 이동하는 경우는 미미하기에 실제 투수계수는 불포화 투수특성에 의존할 것으로 판단된다.

본 연구에 조사된 하남시설재배단지의 토양은 타 일반 시설재배단지의 토양과 마찬가지로 유기물의 시용이 많은 것으로 조사되었다. 따라서 이러한 시설재배단지의 특성을 고려한 퇴비를 건조토양 대비 0, 2, 4, 6%의 4단계 비율로 우분퇴비를 용적밀도 1.15로 g/cm^3 로 조정된 후 일반적인 토양경정시 혼합될 수 있는 깊이인 15cm와 30cm의 2단계의 칼럼을 제작한

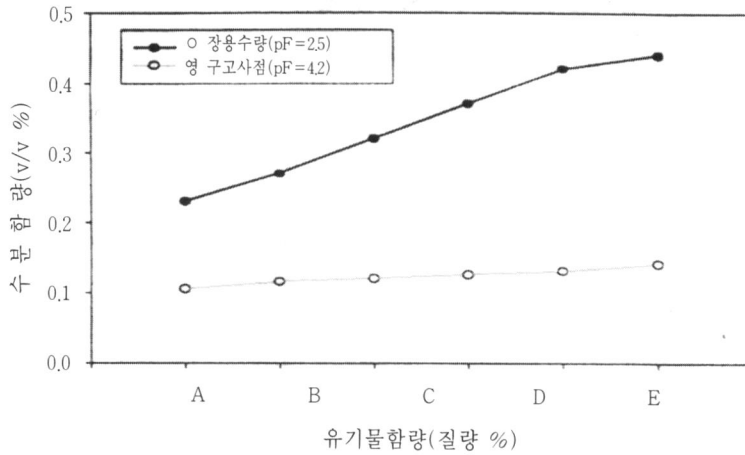


그림 6. 유기물함량별 토양수분함량 변화 특성

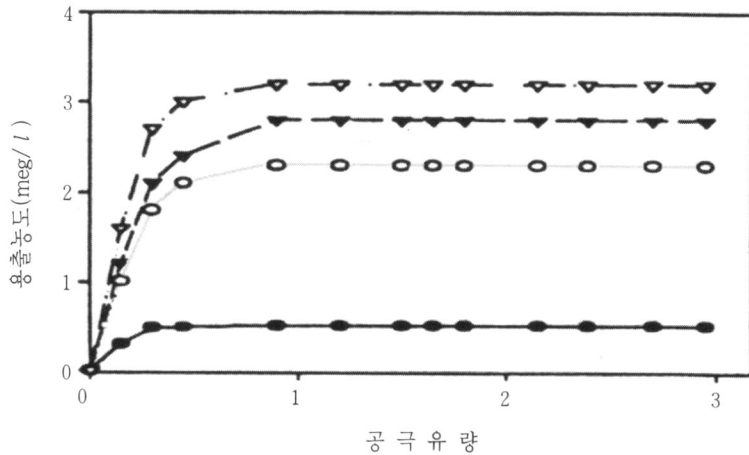


그림 7. 유기물이 혼합된 토양칼럼에서 공극유량별 염소이온의 용출특성

후 담수깊이를 3cm로 고정한 포화투수특성을 조사하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 유기물함량이 증가함에 따라 투수계수는 15cm와 30cm 모두 급격히 감소하여 6%의 유기물이 혼합된 토양 칼럼의 경우 0%의 칼럼에 비해 각각 약 1/30과 1/65 정도 감소하였다.

이와 같이 유기물의 혼합량이 증가됨에 따라 투수 특성이 변하는 요인을 알아보기 위하여 Ap층(양토) 토양에 유기물을 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6%로 혼합한 후

pF2.5와 pF4.2에서 수분 함유량을 조사하였다.

유기물함량별 부피대비 토양수분함량은 pF2.5의 경우 약 23%(유기물함량 0%)에서 약 47%(유기물함량 6%)로 증가하였으며 유기물 함량이 5%이상의 경우 수분함량비율의 증가속도가 감소하였다. 그리고 pF4.2의 경우 조사된 유기물함량 전체에서 증가속도는 매우 미미하였다. 따라서 이와 같은 결과로부터 유기물함량변화에 따른 수분보유능은 유기물함량과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 따라서 유기물

표 5. 토성별 퍼라이트 혼합비율에 따른 수분보유능 변화특성

토성	시료명		pF별 수분보유량(부피 %)		
	퍼라이트	토양	1.5	2.5	4.2
식토	0	100	51.2	42.7	24.0
	30	70	47.1	41.1	23.4
	40	60	45.7	38.9	21.2
	50	50	35.9	30.1	19.3
	100	0	22.9	22.1	14.4
식양토	0	100	47.3	40.3	21.9
	30	70	45.5	38.7	21.1
	40	60	42.8	35.7	20.9
	50	50	39.8	33.6	20.2
	100	0	33.1	30.9	17.9
양토	0	100	36.3	29.3	17.3
	30	70	37.8	30.0	18.6
	40	60	38.6	32.8	20.7
	50	50	41.2	33.9	22.5
	100	0	42.7	36.4	26.3

함량별 토양내 수용성 형태의 이동의 거동 특성은 다른 것으로 판단된다. 이러한 토양내 이온의 거동 특성은 염류장해와 직접적인 연관을 가질 것으로 판단되어 지표 이온으로서 염소를 이용하여 각각의 유기물함량별 거동 특성을 30cm의 토양칼럼을 이용하여 조사하여 보았다. 아래의 그림에서 보여주는 바와 같이 각각의 단위 공극수량별 이온의 용출은 유기물함량이 증가함에 따라 증가되는 것으로 조사되었다(그림 7).

그러므로 유기물함량이 증가되면 상대적 염류장해의 가능성도 높아질 것으로 추정된다. 그래서 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안의 하나로 상대적 토양내 수분보유량도 증가시키며 투수특성도 양호한 토양구조 특성을 구성하는 조건을 토양의 물리성개선 측면에서 조사하여 보았다.

표 5는 토양의 수분이동특성을 개선하기 위한 조건의 하나로 식토, 식양토, 그리고 양토를 이용하여 현 양액재배에 사용하는 직경 0.5mm에서 3.0mm 이하의 크기로 조성된 퍼라이트를 부피비로 환산하여

0, 30, 40, 50, 100%로 혼합하여 조사한 수분보유능을 나타낸 것이다.

상기 표에서 보여주는 바와 같이 점토함량이 높은 식토의 수분보유능은 식양토나 양토보다 높았고 상대적 퍼라이트의 비율이 증가하면서 수분보유능도 감소하였다. 그러나 영구위조점의 토양수분보유능은 점토함량이 감소되면서 증가하는 경향을 보여주고 있다. 이는 퍼라이트가 가지는 공극특성 차이인 것으로 추정된다. 그리고 동일한 용적밀도에서의 투수특성을 조사한 결과 투수계수는 용적밀도를 0.95로 조정된 토양-퍼라이트(70-30)의 경우 양토-식양토-식토의 순으로 각각 $8.8 \times 10^{-2} \text{cm/min}$, $2.8 \times 10^{-2} \text{cm/min}$, $0.3 \times 10^{-2} \text{cm/min}$ 이었다. 따라서 본 하남 토양의 경우 토양내 집적된 이온의 용출을 용이하게 하고자 하면 다공극성의 토양구조로 변환시켜 주는 것이 바람직하다고 판단된다.

하남시 상추 시설재배지의 특성 중 하나인 상추 뿌리썩음병 원인에 관한 조사의 하나로 상추 뿌리썩음병이 발생한 토양을 채취하여 미생물 분포특성을

표 6. 하남지역에서 채취된 조사지점별 미생물의 분포특성

시료	NA(세균 x 10 ⁷)	PDA(곰팡이 x 10 ⁵)	SCA(방선균 x 10 ⁵)
유기물	3	30	20
가	0	6	17
나	5	40	50
다	73	22	26

표 7. 뿌리썩음병 발생토양(다지점)에서의 미생물 분포 특성

종류	NA(세균)				PDA(곰팡이)				SCA(방선균)				
	A		B		A		B		A		B		
y	희석배수(x 10 ⁶)												
처리기간	y	-7	-5	-7	-5	-5	-3	-5	-3	-5	-3	-5	-3
2일		0	13	0	37	2+	116	5	68	0	0	0	0
3일		1	28	2	24	14+	242	1	86	8	216	3	842
총수		1	41	2	61	16+	358	6	154	8	216	3	842

조사하였다. 본 조사를 위하여 처리하지 않은 토양시료 1g을 0.85%식염수에 넣고 10분간 잘 희석시킨 다음 0.1ml씩 취하여 PDA, SCA 배지에 접종하여 미생물 분포특성을 알아보았다.

아래 표 6은 서로 다른 세 지점에서 채취한 토양과 다지점에 사용된 퇴비내 미생물의 분포 현황을 조사한 결과다. 세균은 다 지점에서 가장 많이 조사되었으며 곰팡이의 경우 퇴비에서 가장 많이 발견되었으며 방선균은 나 지점에서 가장 많이 조사되었다. 따라서 본 연구 조사토양은 지역간의 편차가 심하며 특히 조사지점별 작물이나 시비, 관개조건 등이 미생물의 분포나 수에 영향을 주는 것으로 추정된다.

상기 표 7에서 보여 주는 바와 같이 미생물의 분포는 방선균-곰팡이-세균의 순이었으며 일반적으로 Ap층(0~15cm)보다 하부층인 B층(15~30cm)에서 미생물의 수가 많이 발견됨을 알 수 있다. 특히 뿌리썩음병의 원인으로 추정되는 곰팡이의 경우 일반적으로 시설재배지에서 발견되는 수보다 약 2배 이상 정도

로 조사되었다. 따라서 본 하남시설재지의 상추 뿌리썩음병은 곰팡이에 기인한다고 추정할 수 있다.

이와는 별도로 이러한 미생물의 기원과 발생특성을 조사하기 위하여 하남시설재배지에서 사용하고 있는 상업퇴비를 Ap층 토양에 퇴비를 0, 1.2, 3%의 비율로 혼합한 후 3, 10, 17, 24일째 미생물 발생특성을 조사하였다(표 8).

동일일자에 조사된 세균, 곰팡이, 그리고 방선균은 모두 유기물함량 증가에 따른 미생물의 발생증가는 정 상관관계를 보이지 않았다. 그러나 잠복기가 길어지면서 상대적 미생물의 수는 증가하였다. 예로 세균의 경우 3일째에서 10일째로 잠복기가 증가하면서 미생물의 수는 약 10배 정도 증가되었으며 최종 조사기간인 24일째에는 무처리구에서 세균과 방선균의 수는 감소하였으나 반면 곰팡이에서는 증가하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 방선균의 경우 유기물의 함량의 증가에 따른 방선균의 증가속도가 매우 빨라 방선균은 유기물함량과 밀접한 관계가 있는 것으로

표 8. 유기물 혼합비율별 미생물 분포 특성

종류	NA(세균, -7)				PDA(곰팡이, -5)				SCA(방선균, -5)			
	3	10	17	24	3	10	17	24	3	10	17	24
기간	3	10	17	24	3	10	17	24	3	10	17	24
희석배수 유기물(%)	-7	-6	-6	-6	-5	-4	-4	-4	-5	-4	-4	-4
0	4	3	3	1	0	2	6	2	40+	266	239	147
1	1	3	4	9	0	1	2	5	41	184	159	257
2	1	7	5	5	0	2	2	2	34	172	203	216
3	3	6	3	6	0	3	3	3	80	134	175	200

표 9. 상대 토양수분포화도에 따른 토양소독제의 확산 특성

확산계수 (cm ² /sec x 10 ⁴)	상대토양수분포화도(%)				비고
	0	25	50	100	
토양소독제	3.45	1.85	0.45	0.01	용적밀도 1.2g/cm ³
D ² O	0.09	0.14	0.35	0.74	Quisenberry

판단된다.

따라서 이러한 토양내 기생하는 곰팡이를 제거하기 위해서는 반드시 토양소독이 필요할 것으로 판단된다. 그러므로 기존의 토양소독제중 가장 많이 사용되는 분제형태의 D사 토양소독제를 10a당 16Kg을 처리하여 토양내 확산특성을 Suction Probe가 설치된 토양칼럼을 이용하여 조사하였다. 이때 분제상태의 토양소독제의 확산특성을 1977년 Quisenberry 등이²⁰⁾ 발표한 수분의 토양내 확산특성을 살펴본 자료인 Deutorium의 확산계수를 비교대상으로 하여 조사하여 보았다.

상기 표 9에서 보여주는 바와 같이 상대토양수분의 포화도가 증가됨에 따라 토양소독제의 확산계수는 급격히 감소하여 100% 포화시 토양수분이 0% 일 때보다 1/350 정도로 감소됨을 알 수 있었다. 따라서 병원균 소독을 위한 토양소독제를 토양에 혼합시 가능한 수분함량을 낮추어주는 것이 바람직하다고 판단된다.

토양소독제의 확산계수를 근거로 하여 토양을 풍

건하여 토양내 수분을 약 2%로 낮춘 후 지표면으로부터 매 10cm 길이의 토양별로 토양소독제를 0, 0.5, 1, 1.5배 수준으로 처리하여 3일, 6일, 12일째의 미생물상의 변화를 조사하였다.

표 10에서 보는 같이 조사된 깊이의 토양 모두에서 세균 방선균, 그리고 곰팡이가 조사되었다. 곰팡이와 세균은 토양소독제 처리량이 증가됨에 따라 처리효과가 보였으나 방선균의 경우 동일처리량에서 잠복기간이 증가함에 따라 오히려 방선균의 숫자가 증가됨을 보였다. 따라서 본 연구에 사용된 토양소독제는 미생물에 대하여 선택적 독성을 가지고 있는 것으로 판단되며 권장 처리량 이하에서 또한 처리효과가 미미한 것으로 조사되었다. 따라서 방선균을 처리하기 위해서는 다른 토양소독제나 약제를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

일반적으로 시설재배지에서 토양소독제 처리시기는 작물 수확 후 실시되어 본 연구에서 사용된 풍건 토양의 수분함량인 2% 정도의 토양수분 조건하에서 토양소독제 효율은 별로 의미가 없다. 따라서 토양수

표 10. 토양깊이별 소독제처리와 처리기간별 미생물상의 변화 특성

토양	처리기간	PDA(곰팡이)			NA(세균)			SCA(방선균)		
		3	6	12	3	6	12	3	6	12
A-1 (0-10cm)	희석배수 소독제량	-5	-5	-4	-7	-7	-6	-5	-5	-4
	0	0	9	3	1	0	3	8	8	135
	0.5	2	2	1	5	9	1	20	16	76
	1	0	1	66	11	1	2	13	17	110
	1.5	2	0	0	2	6	3	12	16	129
A-2 (11-20cm)	0	1	15	0	2	1	116+	46+	23	0
	0.5	1	1	68	3	6	4	17	17	113
	1	1	1	1	5	8	5	21	20	152
	1.5	2	0	2	2	1	5	21	24	159
	B-1 (21-30cm)	0	0	7	4	1	0	3	27	6
0.5		2	1	105+	4	6	6	6	35	232
1		2	2	0	3	35	1	8	4	213
1.5		0	0	0	2	1	1	16	3	4
B-2 (31-40cm)		0	3	1	1	1	1	4	17	5
	0.5	2	0	119+	6	2	5	19	58	250
	1	2	3	0	1	2	6	5	0	220
	1.5	1	0	1	6+	1	2	9	1	134

표 11. 수분함량과 토양소독제 처리량별 토양미생물 처리효과

수분함량 (%)	미생물 소독제량	곰팡이(PDA/-5)	세균 (NA/-7)	방선균(SCA/-5)
25	0	1	7	12
	0.5	1	1	6
	1	1	8	2
	1.5	1	61+	2
50	0	0	2	37
	0.5	1	2	10
	1	3	4	5
	1.5	2	3	1
75	0	1	75	31
	0.5	2	2	16
	1	2	1	9
	1.5	6	39	1

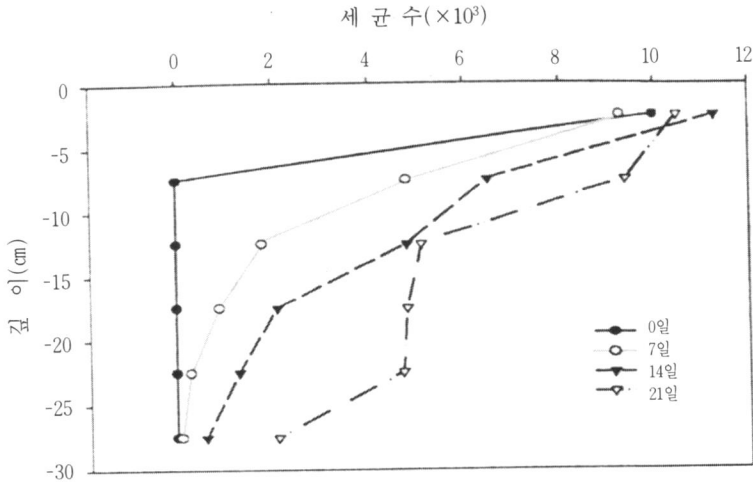


그림 8. 주기적 관개에 따른 세균의 토양내 이동 특성

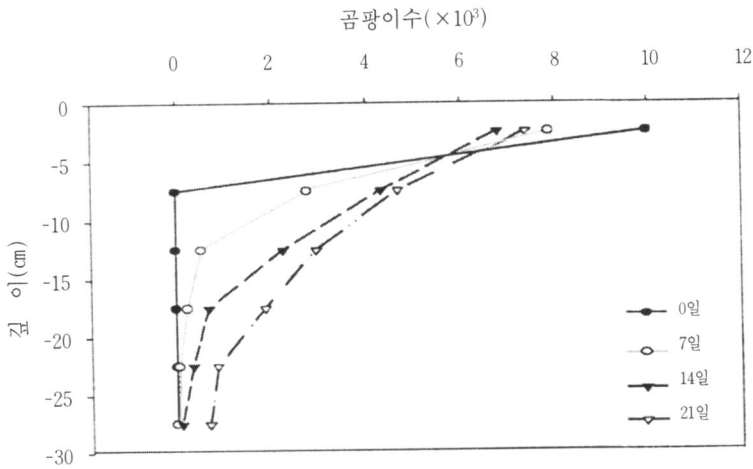


그림 9. 주기적 관개에 따른 미생물의 토양내 이동 특성

분함량과 토양소독제 처리량별 처리 효율을 알아보기 위하여 실제 수확 후 시설재배지 Ap층 토양의 수분함량을 25, 50, 그리고 75%의 3단계로 조절한 후 여기에 토양소독제를 권장처리량의 0, 0.5, 1, 1.5배로 처리한 후 6일째 미생물 제거효율을 알아보았다.

상기 표 11에서 보여주는 바와 곰팡이, 세균, 방선균 모두 토양수분함량이 증가할수록 곰팡이 제거효율이 감소하였으나 토양소독제 처리량이 1.5배인 경우 상대적 처리 효율이 없음을 알 수 있다. 그리고

세균과 방선균의 경우 토양소독제 처리량이 1.5배로 증가하며 또한 토양수분함량이 75%로 증가할 때 그 효율이 증가됨을 알 수 있었다. 따라서 토양내 미생물 제거를 위하여 토양소독제를 처리시 곰팡이를 대상으로 할 경우 토양수분을 감소시켜주어야 하며 세균과 방선균의 경우 토양소독제량과 토양수분함량을 동시에 증가시켜주어야 될 것으로 판단된다.

한편 상기 결과를 살펴보면 Ap층 이하에서도 상당수의 미생물이 조사되었다. 이는 미생물이 수분의 이

동 특성과 정의 관계를 가지고 있을 것으로 판단된다. 따라서 이러한 시설재배지의 토양수분 특성에 따른 토양내 미생물 특성을 조사하기 위하여 길이 30cm인 토양칼럼 표층 5cm 깊이에 배양된 세균과 곰팡이를 토양 1g당 10^8 과 10^6 으로 처리한 후 매일 1 공극유량씩 처리하면서 7일, 14일, 21일째 토양칼럼을 매 5cm 깊이로 절단하여 토양미생물의 토양 깊이별 분포특성을 조사하였다.

상기 그림 8에서 보는 바와 같이 초기(Time=0)에 표층 5cm 깊이에 토양 1g당 108개로 처리된 세균이 매일 1 공극수량씩 7 공극수량이 가해진 7일째 조사된 전 토양의 깊이에서 조사되었고 21일째에는 토양 깊이 30cm에서는 초기 가해진 세균수의 약 1/5수준까지 세균의 수가 조사되었다. 그리고 각각의 일자별 총 세균수는 초기에 가해진 108개를 훨씬 초과하고 있다. 따라서 토양에 가해진 세균은 수분이동과 함께 토양내로 이동할 뿐만 아니라 토양을 이동하면서 토양의 조건에 따라 증식이 된다고 판단된다. 그러므로 일반적인 표층처리에 의한 토양소독 효과는 미미할 것으로 판단된다.

그림 9에서는 세균과 동일한 조건하에서 수분이동에 따른 곰팡이의 이동특성을 조사하였다. 상기 세균에서 유사한 곰팡이의 분포특성을 보여주고 있으나 토양칼럼내 총 곰팡이의 수는 미생물의 수 증가율보다 낮음을 알 수 있다. 이는 세균과 곰팡이의 증식 특성의 차이일 것으로 판단되며 전체적인 이동속도 또한 세균에 비해 미약함을 알 수 있다. 그러나 21일째의 경우 지표면으로부터 30cm깊이에 나타나는 곰팡이의 수가 14일째에 비교하여 상당히 증가하였음을 알 수 있다. 그러므로 세균과 마찬가지로 곰팡이 제거를 위한 토양소독의 깊이 또한 증가되어야 할 것으로 판단된다.

N. 결론

현재의 우리 나라 시설재배는 동일 토양에서 연간 최소 3~4회 연작을 하며 매 작기마다 경운, 시비, 농약 사용을 하고 있는 것이 특징이다. 본 연구대상인 하남지역의 시설재배지 토양도 이러한 경우에 해당

되며 일반 농지와 비교시 상대적 전기전도도가 높을 뿐만 아니라 Ap층 이하 30cm 이하의 토양의 용적밀도가 급격히 저하되어 전기전도도는 평균 4.5dS/m 이상으로 작물의 생육을 저해시키는 수준에 달하고 있다. 이러한 용적밀도의 급격한 변화는 투수계수의 급격한 저하를 야기시켜 용적밀도가 급격히 증가하는 경계면에서 염류장해의 피해를 입게되는 수도 있다. 한편 토양에 사용되는 유기물이 2% 이상일 경우 토양내 투수계수를 감소시켜 이 또한 염류이동의 장해요인으로 작용할 수도 있다. 그러므로 염류집적의 측면에서 유기물의 사용을 줄여나가는 것이 바람직하다. 일반적인 시설재배지 토양에서 수분의 이동은 불포화 투수특성에 의존하기에 토양의 물리성 개선과 유기물 시용의 정도를 정확히 조절해야 될 것으로 판단된다.

하남지역 시설재배지 토양에서 조사된 미생물 시험 결과 미생물의 분포는 방선균-곰팡이-세균의 순이었으며 일반적으로 Ap층(0~15cm)보다 하부층인 B층(15~30cm)에서 미생물의 수가 많다. 특히 뿌리썩음병의 원인으로 추정되는 곰팡이의 경우 일반적으로 시설재배지에서 발견되는 수보다 약 2배 이상 정도로 조사되었기에 하남시설재배지의 상층 뿌리썩음병은 곰팡이가 주요 원인으로 작용한다고 판단된다. 따라서 이러한 곰팡이를 제거하기 위한 토양소독이 필요하다.

현 토양소독제로 많이 사용되는 D사의 토양소독제를 4단계로 나누어 처리한 결과 곰팡이, 세균, 방선균 모두 토양수분함량이 증가할수록 제거효율이 감소하였으나 곰팡이의 경우 토양소독제 처리량이 기준치의 1.5배인 경우 처리 효율이 없었으나 세균과 방선균의 경우 토양소독제 처리량이 1.5배로 증가하며 또한 토양수분함량이 75%로 증가할 때 그 효율이 증가됨을 알 수 있었다. 따라서 토양내 미생물 제거를 위하여 토양소독제를 처리시 곰팡이를 대상으로 할 경우 토양수분을 감소시켜주어야 하며 세균과 방선균의 경우 토양소독제량과 토양수분함량을 동시에 증가시켜주어야 될 것으로 판단된다.

토양내 존재하는 세균과 곰팡이의 이동특성을 조사한 결과 토양내로 통과하는 토양수분의 양이 증가

할수록 미생물의 이동 깊이가 증가되었고 한편 수분이 통과되는 시간이 증가됨에 따라 미생물 숫자 또한 증가됨을 알 수 있었다. 따라서 효과적인 토양소독을 위해서는 관행의 토양소독제 처리보다 깊은 약 최소 30cm 까지 토양소독제가 처리되어야 할 것으로 판단된다.

이러한 결과를 종합하여 볼 때 하남지역 시설재배지의 연작장해를 해결하기 위해서는 토양수분관리, 유기물 시용량, 토양소독제 처리량 및 깊이를 결정해야 하며 이에 앞서 해결되어야 될 문제는 이러한 문제점을 가지고 있는 토양의 물리화학적 특성이 반드시 조사되어야 한다.

인용문헌

- 1) 정연태, 엄기태, 신용화, 1976, 우리나라 남해안에 분포된 간척지 토양의 특성에 관한 연구. (구포동에 관하여) 한토비지 9(2): pp.99-105.
- 2) 노대철, 김동한, 엄기태 등, 1985, 간척년대별 토양의 이화학적 변화 연구 농시보고 28(1): pp.20-27.
- 3) 농수산부, 1976, 간척자원 제5차 조사결과서 남해안 농지개발사업 예비 조사 보고서: p.145.
- 4) 소재돈, 유숙중, 김한명 등, 1980, 서남해안 신간척지 토양의 특성에 관한 연구, 농시년보 22: pp.24-30.
- 5) 조영길, 전홍용, 1990, 식질밭토양의 구조개선에 관한 연구. 농업기술연구소 시험연구보고서(토양물리) pp.164-166.
- 6) 조영길, 전홍용, 1991, 식질밭토양의 구조개선에 관한 연구 농업기술연구소 시험연구보고서(토양물리), pp.142-147.
- 7) 조인상, 김이열, 최대웅, 임정남, 엄기태, 1983, 토양의 물리성이 대맥의 뿌리분포에 미치는 영향. 한토비지 16(2): pp.126-130.
- 8) 조인상, 조성진, 1984, 토양개량제 Uresol 및 Bitumen 처리가 토양의 수분이동과 유실에 미치는 영향. 토양입단의 안정성과 보수력변화. 한토비지 16(4): pp.294-300.

- 9) 조인상, 허봉구, 유관식, 엄기태, 조성진, 1987, 토양개량제 처리가 토양의 물리성과 대두수량에 미치는 영향. 한토비지 20(1): pp.29-34.
- 10) 조인상, 현병근, 조현준, 장용선, 신제성, 1997, 토성과 용적밀도가 최소생육제한수분범위에 미치는 영향. 한토비지 30(1): pp.51-55.
- 11) 류인수, 한정립, 조인상, 1995, 토양개량제 처리가 토양물리성 및 상층생육에 미치는 영향. 한토비지. 28(3): pp.249-255.
- 12) 조인상, 조영길, 민경범, 엄기태, 조성진, 1989, 토성 및 유효토심의 차이가 토양수분 변화에 미치는 영향. 농시연보 31(1): pp.6-13.
- 13) 류순호, 1989, 담수토양계에서 염분의 이차원적 확산, 한국토양비료학회지 9권 1호.
- 14) 류순호, 1977, 干拓地 除鹽過程에서 일어나는 토양의 水理傳導導와 流出液의化學的 특성 변화에 관한 실험적 연구. 한국토양비료학회지 8권 2호.
- 15) 류순호, 1988, 담수에 의한 비닐하우스내 토양의 제염. 한국토양비료학회지. 21권 1호.
- 16) 하호성 외 3인, 1997, 남부지방 시설재배지 토양의 염농도 특성. 한토비지. 30(4).
- 17) 황선웅 외 4인, 1993, 몇가지 제염방법에 의한 비닐하우스내 토양의 염류제거효과. 농시논문집 35(1).
- 18) 김필주 외 2인, 1997, 깊이별 용적밀도가 다른 시설재배지내 토양의 염류분포. 한토비지 30(3).
- 19) 김필주 외 2인, 1997, 토양의 용적밀도 변화에 따른 포화수리전도도 및 음이온의 용출 특성. 한토비지. 30(3).
- 20) 임정남 외 3인, 1982, 콩-보리 작부 체계하에서의 대기증발요구 및 토양수분 함수의 증발산량. 한토비지 15(4): pp.213-220.
- 21) Ritchie J. T., 1977, Contribution of the surface energy balance in climatic stress for agriculture, climate-technology seminar proceedings, Univ. Mo, Columbia, pp.56-79.
- 22) Quisenberry V. L., J. R Phillips, 1976,

Quantitative measurement of diffusion coefficient of tridium in the different water contents, SSSA, 32(1): pp.124-127.

참고문헌

1. 농약공업협회, 1997, 농약사용지침서, 농약공업협회
2. USDA., 1997, Agricultural Chemical Handbook, USDA-Extension.
3. 양환승 외, 1995, 신농약, 향문사.
4. 이두연, 백수봉, 1994, 식물병리학, 향문사.
5. 신영오 역, 1985, 토양미생물학, 대광문화사.
6. 서인석, 1994, 식물병리학, 선진문화사.
7. 표현구 외 2인, 1991, 채소원예각론, 향문사.
8. 유철성 편저, 1995, 시설재배 채소, 오성출판사.
9. 나우현, 1986, 비닐하우스 채소재배, 오성출판사.
10. 조백현 외 11인, 1991, 삼정토양학, 향문사.
11. 농업과학기술원, 1994, 1993년도 시험연구 사업 보고서(농업환경부편), 농촌진흥청.
12. 농업과학기술원, 1995, 1994년도 시험연구 사업 보고서(농업환경부편), 농촌진흥청.
13. 농업과학기술원, 1996, 1995년도 시험연구 사업 보고서(농업환경부편), 농촌진흥청.
14. 농업과학기술원, 1997, 1996년도 시험연구 사업 보고서(농업환경부편), 농촌진흥청.