

Phyllite를 이용한 수도 육묘용 상토개발과 수분조절제로서의 퇴비화 연구

장기운* · 박영희* · 홍재구**

(*충남대학교 농업생명과학대학 농화학과 · **(주)부농)

Development of Nursery Soil for Rice Seedling and Composting Amendment for Pig Manure Using Phyllite

Chang, Ki-Woon* · Park, Young-Hee* · Hong, Jei-Gu**

*Dept. of Agricultural Chemistry, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University

**Bu-Nong Company, Kyungki 449-926 Korea

적 요

본 연구는 phyllite을 혼합한 수도 육묘용 상토개발과 돈분 퇴비화 과정 중 수분조절제로서의 이용성을 평가하기 위해 수행되었다. 우선, phyllite의 물리화학적 조사를 통하여 phyllite의 농업적 이용성을 평가하기 위해 수행한 실험 결과, Phyllite 용적비중은 1.31 g/cm³이며, 결정 입자들 사이에는 전체의 65% 공극을 가지고 있어 수분을 흡수할 수 있는 표면적이 넓어지므로 수분보유력은 중량비로 43%(1/3bar)이다. 수도 육묘 상토 개발을 위해 phyllite에 zeolite와 hill soil 각각을 100%, 70%, 50%와 30%로 혼합하고, 질소 시비량(0, 1, 2 g/box)을 달리한 육묘 시험에서 벼의 육묘 초기에 phyllite를 zeolite와 혼합할 경우 phyllite 함량이 증가할수록 초장 및 묘 충실도의 증가에 영향을 주며 뿌리의 생육에는 영향을 주지 않았다. 그러나 hill soil과 혼합할 경우, phyllite 함량이 증가할수록 발근율을 증가시키며 초장의 성장에는 영향을 주지 않았다. 단, 벼의 생육에 있어서 육묘 일수가 길어질수록 질소질 비료의 시비는 벼의 생육을 촉진시켰다. 또한 phyllite의 수분조절제로서의 평가를 위해서 톱밥 돈분퇴비(PSC)를 대조구로 하고, phyllite 10%와 톱밥 20%를 사용한 퇴비화(PSPC10)와 phyllite 20%와 톱밥 10%를 사용한 퇴비화(PSPC20) 연구에서는 20%의 phyllite를 첨가한 퇴비화에서는 부숙이 빠르게 진행되었지만, 상대적인 유기물의 감소로 C/N율이 매우 낮았다. 또한 phyllite 퇴비의 안정성을 평가하기 위한 작물재배 결과는 상추 및 열무의 생육 및 수확량은 PSPC10에서는 20 Mg/ha의 사용량이, PSPC20에서 10 Mg/ha이 가장 좋았으며 다른 비에는 나타나지 않았다. 따라서 phyllite는 현재 육묘와 퇴비화에서 사용되고 있는 재료와 비교하여 비교적 양호한 결과를 나타내었으며 앞으로도 좀 더 다양한 농업적 자재로서의 활용연구가 이루어져야 할 것이다.

I. 서론

1. 연구배경 및 필요성

암석이 수 만년 동안 물리적, 화학적 및 미생물학

적인 풍화작용을 받아 지금의 토양 자체로 변화되었으며 이들은 식물체를 기계적으로 지지시켜 주고 작물의 생육에 필요한 각종 양분과 수분을 공급해주는 역할을 한다. 따라서 이러한 토양의 기능을 유지시키고, 손상된 기능을 복원 및 개선시키는 작업은 작물의 영양과 환경보전 측면에서 매우 중요하다고 할

수 있다. 또한 농업적 측면에서는 토양의 특성에 따라 그 장점을 활용하여 농산물의 품질 및 수량의 증가를 위해서 적절하게 이용할 필요성이 있다.

이러한 필요성의 하나로, 벼를 재배할 경우 종자는 모판에 뿌려져 일정 기간동안 생육한 후 이앙하게 되는데 이앙 전까지 인위적인 상토 조절을 통해서 건실한 육묘를 할 수 있다. 상토의 통기성, 보수력, 보비력, 산도, 비중, 병충해, 양분, 재배조건 등의 특징에 의해 종자의 출아율을 높이고 식물체를 지지해주며 뿌리의 생육 조건을 알맞게 조성하여 유효한 영양분을 공급해 주는 기능 등 여러 가지 재배 식물의 묘 육성에 필요한 구실을 담당한다(농민신문, 1999.10.8). 과거에는 대부분 논 토양이나 산 토양을 이용하여 수도 묘의 상토로서 이용하였는데 이러한 토양은 양분의 불균형 및 질소 과다, 병해충 발생의 문제를 야기시켰고, 또한 개간작업과 환경오염으로 건전한 토양 채취의 어려움이 있다. 따라서 재배식물에 알맞는 양질의 상토 공급이 시급하여 현재 다양한 재료를 이용한 상토 개발연구를 하고 있으며 최근에는 고급 농산물의 생산과 재배방법의 간소화뿐만 아니라 재배기술이 다양화됨으로서 그 필요성이 더욱 높아지고 있는 실정이다. 따라서 수도용 상토는 계속적으로 사용이 증대될 것으로 판단되며 새로운 자원을 이용한 수도용 상토 개발이 필요하다고 본다.

올바른 퇴비화 처리를 위해서는 원료 퇴비더미의 환경조건을 미생물이 생육하고 활동하기 좋은 최적의 상태로 유지시키는 기술이 필요한데 이것은 원료 중의 수분함량, 산소량, 이용가능 영양소, 온도, 산도 등 기타 여러 요인들이 복합적으로 최적의 상태를 유지하여야 한다. 그러나 자연상태에서는 축분더미내에서는 앞의 조건들이 완벽하게 갖추기가 어렵기 때문에 인위적인 영향이 가해지게 되는데 축분 중에 부자재를 혼합하는 것이 퇴비화 관련 미생물의 활성도를 높이는 중요한 방법이다.

현재 우리 나라의 연간 배출되는 가축분뇨는 총 3,389만톤으로 돈분이 35.5%로 가장 많으며 우분도 30.7%에 이르고 있다(농림부, 1999). 양축 농가에서 생산되는 분뇨의 수분함량이 평균 82.9%로 분뇨의 수분함량을 줄일 수 있는 방안을 강구해야 하며 특

히 축분을 퇴비화 처리할 경우 부자재로서 수분조절제의 작용이 매우 중요하다.

수분조절제로 쓰일 수 있는 물질은 퇴비화 관련 미생물에 대한 유해성과 작물의 성장 장애 요인이 없어야 한다. 수분 흡수력이 크고 적절한 입도와 다공성 그리고 미생물의 활동에 적절한 산도와 영양소를 갖추고 있으며 원료의 확보가 용이하고, 무엇보다도 원료 수급의 용이성과 가격이 저렴하며 퇴비화 작업이 용이해야 한다. 그리고 발효시 부자재 첨가의 주된 목적은 원활한 퇴비화의 진행에 의한 양질의 퇴비생산에 있으므로 퇴비의 안정성이 가장 중요한 조건이 된다.

톱밥은 퇴비화 시설에서 가장 널리 사용되는 수분조절제로써 수분 흡수능력이 좋고 다른 부자재에 비해 취급이 용이하여 초기 퇴비화 과정에서 악취의 흡착 능력이 있다. 반면에 톱밥은 가격이 상당히 높고 지역에 따라서 구입에 어려움을 겪는 경우도 있다. 톱밥 가격의 대부분은 인건비와 운송비가 차지하여 가격차이가 있으며 원료의 대부분이 수입 목에 의해 충당되는데 이로 인해 외래성 위생해충의 유입과 퇴비화 저해물질의 함유가 우려된다.

왕겨는 톱밥 대체용 자재로 가장 널리 쓰이며 물량이 많고 가격도 톱밥에 비해 싼 편이지만 분해가 잘 되지 않는 단점이 있다. 이 밖에도 수분조절제로 이용되고 있는 물질은 톱밥, 반송퇴비, 우드칩, 또는 zeolite가 일부 사용되고 있다. Zeolite의 경우에는 퇴비화 과정 중에 발생하는 가스량을 감소시켜줄 뿐만 아니라 미생물이 생육할 수 있는 공간을 확보해 주는 역할을 한다는 측면에서 이용되고 있다.

다양한 농업적 자재개발과 함께 축분뇨의 처리방안의 하나인 퇴비화에서 효과적인 수분조절 능력을 가지며 저렴한 가격과 수급문제가 용이한 재료 개발의 필요성에 의해 수분 흡수력이 좋은 phyllite의 사용방안이 제시되었다. 그러나 이러한 무기재료를 이용한 축분뇨 처리에 의해 생성되는 퇴비는 기존의 퇴비화의 수분조절제와는 달리 분해가 되지 않기 때문에 최종적으로 발생하는 퇴비의 부숙도 및 안정성에 대한 연구가 필요하며, 현재 phyllite를 이용한 퇴비화 과정과 퇴비의 효용성에 대한 검증된 자료가

밝혀져 있지 않다. 따라서 퇴비화 과정중의 각종 물리, 화학성 분석에 의한 퇴비의 부숙도 평가가 필요하며, 작물생육시험에 의한 작물과 토양에 미치는 영향을 검토해야 하며 또한 퇴비의 적절한 활용방안을 찾기 위한 연구가 수행되어야 한다.

2. 연구 범위 및 목적

현재 농가의 대부분은 상토를 직접 제조하거나 제조된 상토를 구입하여 사용하고 있다. 야산 등지에서 자연 토양을 채취해서 상토를 직접 제조할 경우, 산림법에 저촉되어 처벌을 받을 뿐만 아니라 농촌인구의 노령화나 부녀화 추세로 이러한 작업의 어려움이 있으며 근래 경지 정리가 되면서 양질의 상토를 구하기가 어렵다. 또한 상토 회사나 연구기관에서도 양질의 상토 원료를 지속적으로 공급하는데 있어서 원료의 수급문제가 제기되고 있다. 이를 해결하기 위해 상토 재료로서 기존에 사용하던 물질 이외에도 부존 자원의 개발 및 활용면에서 다양한 농업적 재료의 개발과 연구가 필요하다.

한편 퇴비화 과정에서 톱밥은 공극 개선제 또는 수분조절제로 가장 많이 이용되고 있는데, 이것은 타 용도로 많이 사용되고 있어 구입 단가가 높을 뿐만 아니라 토양에 과도하게 연용할 경우, 난분해성 물질의 축적으로 토양 물리성 악화가 점점 우려되고 있다. 따라서 톱밥의 사용을 줄이고 공극제와 수분조절제로 사용될 수 있는 재료의 개발이 필요한데 phyllite는 수분조절제나 퇴비화의 촉진제로서 타 재료들 보다 효과와 경제성이 좋다고 예상된다.

따라서 본 연구의 목적은 수도용 상토 개발을 위

하여 천연자원인 phyllite를 이용하여 효율적인 처리량 제시와 함께 질소 시비량을 조절하여 상토 재료로서 이용성을 검증하고자 한다. 또한 퇴비화의 수분조절제로 phyllite를 사용하여 적정 처리량을 제시하고 퇴비의 부숙도, 안정성 및 작물재배시험에서 토양 및 식물체의 물리 화학적 특성을 분석하여 수분조절제로서의 가능성을 규명하고자 한다.

이러한 연구는 제한된 상토 원료와 퇴비화의 수분조절제의 수급문제를 해결할 뿐만 아니라 새로운 천연자원을 개발 및 연구하여 그 특성에 맞도록 자원을 개발하고 실정에 맞는 농업적 효용성을 획득함으로써 농업의 다양성을 꾀할 수 있다.

II. 재료 및 방법

1. 수도 육묘용 상토 개발 및 효용성 연구

가. Phyllite의 특성 조사

1) 화학성 분석

충북 보은군 질신광산에서 채취한 phyllite의 광물화학적 화학조성을 조사하기 위하여 시료와 $Li_2B_4O_7$ 의 비를 1 : 10으로 혼합하여 Micro processing system으로 응용시켜 Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry(ICP-AES)로 분석하였다. 900°C로 가열한 가열감량을 Ignition loss로 하였다.

2) X-선 회절분석

Phyllite의 X-선 회절분석은 다음과 같은 조건에서 수행하였다.

• Diffractometer type : PW1710 BASED	• Start angle : 6.020
• Tube anode : Cu	• End angle : 59.980
• Generator tension (kV) : 40	• Maximum intensity : 1722.25
• Generator current (mA) : 20	• Step size : 0.020
• Wavelength Alpha 1 : 1.54060	• Time per step : 0.250
• Wavelength Alpha 2 : 1.54439	• Type of scan : continuous
• Intensity ratio (alpha2 / alpha1) : 0.500	• Intensities converted to : automatic

3) SEM 및 Porosity 분석

퇴비화 과정 중 phyllite의 수분조절 능력은 광물이 갖는 결정조직 및 공극에 의해 결정되므로 scanning electron micrograph와 porosity의 분석을 통해 phyllite의 표면구조와 공극량 및 공극의 분포도를 조사하였다. SEM 촬영은 Hitachi사의 S-2400형으로 300~1000 배율에서 관찰하였으며, mercury porosimeter는 Micro Meritics Autopore II 9220의 기종으로 조사하였다.

4) 열에 대한 안정성 조사

열에 대한 안정성 조사는 phyllite의 분해도 및 안정성을 조사하기 위한 것으로 20°C에서 1000°C까지 온도를 변화시키면서 phyllite의 질량변화의 정도와 구조 및 성분의 변화를 일으킬 때 소요되는 열용량을 관찰하였다. 측정 기기는 NETZSCH Simultaneous Thermal Analyzer STA 406기종에 의해 분석하였다.

나. 수도 육묘 방법 및 생육조사

품종은 중만성종인 동진벼(*Oryza sativa L.*)를 사용하였으며 phyllite와 충남대학교 부속농장에서 채취한 식양토인 hill soil과 시판 중인 zeolite를 사용하였으며 이화학성 분석은 표 4에서 나타내었다. 표 1은 phyllite와 zeolite, hill soil의 혼합비율과 질소 시비량을 달리한 상토 처리구 내용을 나타낸 것으로 phyllite에 zeolite와 hill soil 각각을 100%, 70%, 50% 및 30%의 비율로 혼합하였으며, 대조구는 관행상토 A와 B로 하였다. 또한 혼합한 육묘 상자당 질소를 성분량의 기준으로 0, 1, 2 g씩 전량 기비로 파종 전에 상토에 혼합 처리하였다. 비중은 요소[(NH₂)₂CO]를 사용하였다.

육묘 방법은 품종을 2,000배 액의 종자소독제에 24시간 침지하여 소독한 후 일정한 용기에 넣어 5일간 침종시켜 2~3mm 최아시켰다. 육묘 상자(58cm×28cm×3cm)에 비닐을 깔고 혼합한 상토를 상자당 3.5kg씩 채우고, 충분히 관수한 후 상자당 250g을 파종하였다. 파종 후 대전시 유성구 충남대학교 농과대학 부속농장에 위치한 주야의 온도가 28/20°C로 유지되는 자연광의 온실에서 완전 임의 배치하여 출아 및

육묘 실험을 3반복으로 수행하였다. 육묘 기간은 20일이었으며 파종 후 8일과 16일째에 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준(1995)에 준하여 지상부와 지하부로 나누어 조사하였다. 생육조사 후에 70°C의 온풍 건조기에서 2일간 건조시킨 후 건물중을 측정하였으며 산 분해를 통해 벼의 무기성분함량을 조사하였다.

2. 수분조절제로서의 퇴비화 연구

가. 퇴비화 시설 및 방법

본 실험에서 이용한 퇴비화는 충남대학교 농과대학 부속농장에 위치한 1,69m³(1.3m×1.3m×1m)의 발효조에서 호기성 정체식(Baruker system)으로 실시하였다. 대조구는 톱밥을 30% 혼합(Pig manure+Saw dust : PSC)하였으며, phyllite 10%와 톱밥 20%를 혼합한 처리구(Pig manure+Saw dust+Phyllite 10% :

Table 1. Mixing ratios of phyllite, zeolite and hill soil, and fertilization level of nitrogen

Items	Treatments	
	Mixing ratios (%)	Applied N (g/box)
P-Z*	70:30	0
		1
		2
P-Z	50:50	0
		1
		2
P-Z*	30:70	0
		1
		2
P-H*	70:30	0
		1
		2
P-H	50:50	0
		1
		2
P-H	30:70	0
		1
		2
Phyllite	100	0
Zeolite	100	0
Hill soil	100	0
Control A	100	0
Control B	100	0

* Phyllite (P) + Zeolite (Z), # Phyllite (P) + Hill soil (H)

PSPC-10)와 phyllite 20%와 톱밥 10% 혼합한 처리구 (Pig manure+Saw dust+Phyllite 20% : PSPC-20)를 설정하였다. 톱밥과 phyllite를 돈분과 고르게 혼합하여 세 처리구의 발효조에 동일량을 채웠으며 110일 동안 퇴비화 연구를 수행하였다. 공기의 공급은 시간당 720m³의 송풍기로 매일 5분씩 송풍을 실시하여 퇴비화 정도를 관찰하였다. 그림 1에 퇴비화의 시설을 간략하게 나타내었다.

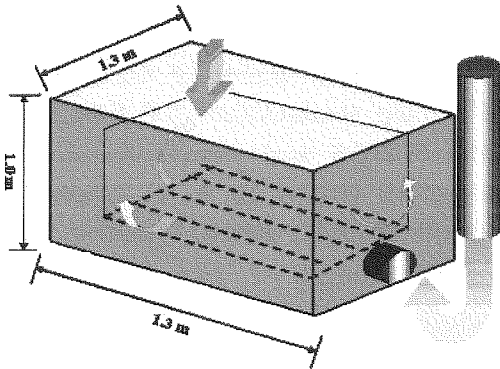


Fig 1. Diagram of non-agitated bed system used in composting.

나. 이화학성 분석 및 측정방법

1) 온도 측정

퇴비화 기간중의 퇴비더미의 온도를 측정하기 위해 Digital thermometer(HY-550)를 이용하였으며, 시료채취지점 가로선상의 3곳에서 표면으로부터 5, 15, 50cm 깊이에서 온도를 측정하였다.

2) 화학성 분석

화학성 분석은 농촌진흥청의 토양화학분석법(1998)에 의거하여 총 탄소는 dry-ash법, 총 질소는 Kjeldahl법, 양이온치환능력은 1N-NH₄OAc법을 이용하였고, NO₃⁻-N, NH₄⁺-N은 2M-KCl로 침출한 후 중류법을 이용하였다. pH, EC는 1 : 5법을 이용하여 측정하였고, 중금속 및 무기성분은 HClO₄로 분해한 후 Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry(ICP-AES)와 Atomic Absorption Spectro-photomete(AA)로 측정하였다.

3) 물리성 분석

수분보유능, 용적밀도, 공극율은 Martin R. C.(1993)의 Soil Sampling and Method of Analysis에 의거하여 측정하였다.

4) 원형여지크로마토그래피

원형여지크로마토그래피는 0.5% AgNO₃ 용액으로 여과지(Watman No. 42, Ø 11cm)를 2~3분간 충분히 적신 후, dry oven에서 건조시켜 aluminum foil에 보관하였다. 시료에 0.1N NaOH용액 10 ml를 가하여 진탕하면서 실온에서 16시간 방치후 추출한 후에, 원심분리(Refrigerator centrifuge : himac CR 20B2, HITACHI)하여 얻은 상정액 1 ml를 개조식 conway unit 안에 넣어 20~30분간 전개시켜 크로마토그램을 얻었다.

5) 식물독성시험

식물독성시험은 약 60°C에서 2시간 환류냉각 추출하여 얻은 용액을 여과한 후, 여과지가 깔린 petri dish에 여과액 5 ml를 넣고 건설한 종자를 파종하여 생장기(Growth chamber : 상대습도 50%, 온도 28°C)에서 5일간 생육시켜 G.I.(Germination Index)값을 구하였다.

3. 퇴비제품의 작물에 대한 효용성 평가

가. 재료 및 방법

1/2,000 a wagner pot에 토양 5 kg에 대하여 돈분 톱밥퇴비(PSC)와 phyllite의 혼합비율을 달리한 돈분 phyllite퇴비(PSPC)를 0, 10, 20, 40 Mg/ha씩 처리하여 상추(*Lactuca sativa L.*)와 열무(*Raphanus sativus L. f.*)를 3반복으로 재배하였다. 작물의 생육조사는 농촌진흥청의 농사시험연구 조사기준(1998)에 준하여 측정했으며, 엽록소(Chlorophyll) 함량은 Chlorophyll Meter(Minolta Chlorophyll Meter Spad-502)로 측정하였다. 퇴비시용에 의한 토양의 물리화학성 변화를 조사하기 위해 비료분석법해설(농업과학기술원) 및 토양화학분석법(농촌진흥청)에 의거하여 분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수도 육묘용 상토개발 및 효용성 연구

가. Phyllite의 특성 조사

1) 물리화학적 조사

Phyllite 용적비중은 각각 1.31 g/cm³이며, 광물의 공극율은 결정 입자내의 기공량을 나타낸 값으로 phyllite의 결정 입자들 사이에 전체의 65% 공극을 가지며, 이러한 성질에 의해 수분을 흡수할 수 있는 표면적이 넓어 phyllite는 43%(1/3bar)의 수분 보유력을 나타내게 된다.

표 3에 나타낸 phyllite의 주요 화학적 성분은 SiO₂와 Al₂O₃로 구성되어 있으며 전체의 구성성분 중 phyllite는 81.6%를 차지하고 있고 Fe₂O₃와 MgO함량이 많은 편이다. 그리고 상토로서 이용할 타 재료들

과의 토양의 화학 분석결과(표4), phyllite의 pH는 5.6으로 약산성이고, 질소함량이 거의 없으며, 치환성 양이온은 Ca²⁺이 9.8 cmol+/kg로 hill soil보다는 높지만 zeolite보다 적은 양이며, 양분 보유력을 나타내는 CEC에서는 zeolite가 89.5 cmolc/kg로 가장 높으며, phyllite는 23.4 cmolc/kg로서 hill soil (10.2 cmolc/kg)보다는 크게 나타났다.

2) X-선 회절분석

그림. 2는 phyllite의 광물학적 특성을 조사하기 위해서 X-선 분석을 한 결과이다. 2θ가 6.12°, 20.8°, 26.3°, 50.1°의 peak는 quartz(-SiO₂)에 의한 회절선이며, 19.3°, 45.8°의 peak는 Alumina(Al₂O₃)에 의한 회절선으로 판단된다. 또 25.1°의 peak는 muscovite(K₂O · 3Al₂O₃ · 6SiO₂ · 2H₂)를 나타내며 30.9°와 42.4°의 peak에서는 mullite(Al₁₆SiO₁₂O₁₃)로 나타났다. 즉 phyllite는 대부분이 SiO₂와 Al₂O₃이 포함된 광물로 구성되어 있으며

Table 2. Physical properties of phyllite

Material	Bulk density	Porosity	Water holding capacity(%)				Coefficient of permeability
	g/cm ³	%	0.1	0.3	0.5	1.0	cm/h
Phyllite	1.31	65	44.8	42.9	42.2	40.5	1.1

Table 3. Chemical properties of phyllite and zeolite

(Unit : %)

Items	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	lg.Loss
Phyllite	68.9	11.3	0.2	5.5	1.2	0.1	3.1	0.1	0.1	9.0
Zeolite	67.1	13.5	1.3	1.8	2.4	1.5	0.8	0.2	-	11.2

Table 4. Chemical properties of phyllite, zeolite and hill soil

Materials	pH	EC	T-C	T-N	Avail -P ₂ O ₅	Ex. Cations				CEC
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	
	1:5	dS/m	%	mg/kg	cmol+/kg				cmolc/kg	
Phyllite	5.6	0.21	1.11	0.03	48.9	9.8	3.8	0.5	0.2	23.4
Hill soil	5.1	0.12	1.21	1.20	15.2	4.9	1.2	0.4	0.2	10.2
Zeolite	7.0	0.11	0.25	0.02	18.5	62.1	12.4	23.9	9.2	89.5

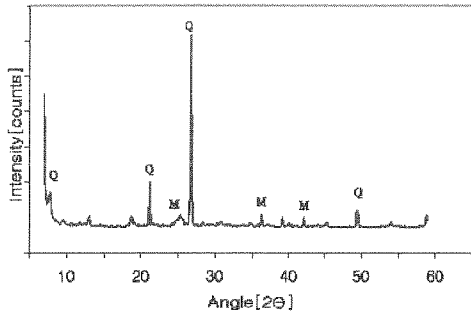
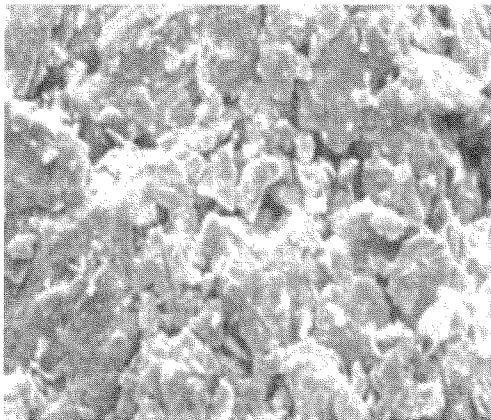


Fig 2. X-ray diffraction patterns of phyllite.

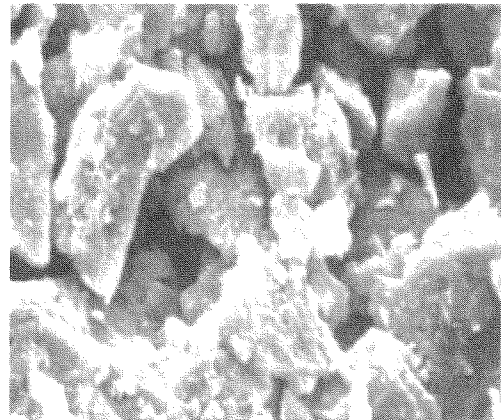
그 종류도 매우 다양함을 알 수 있다.

3) Scanning electron micrograph(SEM)와 Porosity 분석

그림 3은 광물의 표면구조와 함께 결정구조를 확인할 수 있는 전자현미경 사진을 나타낸 것으로 그림 A($\times 300$)에서는 결정구조를 확인하기 어려우나 B의 경우 1000배의 배율로 확대시킨 사진에서 phyllite의 미세한 입자들이 서로 응결된 모양을 나타내고 있다. 결정의 크기가 불균일하며 다양한 구성 성분들로 이루어져 있으므로 결정상태 역시 일정한 결정모양을 형성하지 않음을 확인할 수 있다. 또한 phyllite는 결정 상태 및 입자의 크기가 일정하지 않기 때문에 공극의 크기 및 분포도 매우 다양함을 확인할 수 있다.



A ($\times 300$)



B ($\times 1000$)

Fig 3. Scanning electron micrograph of phyllite.

이러한 것은 표 9에 나타낸 phyllite의 mercury porosimeter 조사에서 잘 알 수 있다. Phyllite의 공극 전체의 부피와 면적은 각각 0.645 ml/g와 21.6 m²/g이며, 평균 크기의 공극을 나타내는 median pore의 부피와 면적은 8.742 ml/g와 0.006 m²/g이다. 또한 공극 전체의 부피는 zeolite와 비슷하며 공극의 면적은 zeolite가 137.4 m²/g로 더 크지만 median pore의 부피와 면적은 phyllite가 더 크음을 알 수 있다. 이러한 결과는 phyllite와 zeolite의 거의 같은 공극율을 가지지만 phyllite는 전체적으로 공극 면적이 작으므로 기공들이 고르게 분포되어 있지 않으며, 분포되어 있는 공극이 zeolite보다 부피와 면적이 크므로 거포(巨砲)로 형성되어 있음을 알 수 있다. 흡수율과 공극율은 거의 직선상의 뚜렷한 정의 관계를 가져 공극율이 클수록 흡수능력의 증가 경향을 나타낸다는 보고가 있다(윤현수 외, 1993). 즉 phyllite에 형성되어 있는 기공들은 부피와 면적이 크므로 수분 흡수력의 증가를 기대할 수 있다.

4) 열에 대한 안정성 조사

그림 4에서 TG(Thermal gravimetry)는 1000°C까지의 승온 결과 온도에 따른 중량변화를 나타낸 것으로 일반적으로 점토광물의 중량감소는 흡착수, 층간수 및 결정수의 탈수작용에 기인한다. 흡착수나 층간

수가 있는 경우에는 저온영역에서 급격한 중량감소가 있으며, 결정수가 없는 경우에는 중온영역에서 탈수작용이 시작된다(Na., 1988). 따라서 110°C까지의 급격한 질량감소는 phyllite의 흡착수나 층간수 수분의 증발에 의한 것으로 보인다. 고온으로 갈수록 유기성 물질들과 점토광물 입자의 연소로 생성된 H₂O, CO₂, N₂ 등이 입자 내로부터 빠져나감으로 질량감소가 서서히 진행되고 있음을 알 수 있는데 phyllite의 1000°C까지의 승온 결과 전체중량의 8.12%의 질량 변화가 있었다.

그림 4의 DSC(Differential Scanning Calorimetry)에서 흡열반응을 보인 곳은 모두 4군데이며 572.4°C와 655.0°C에서 가장 큰 엔탈피의 변화가 있었다. Na 등은 100°C 부근의 peak는 흡착수의 손실에 의한 것이며 450°C~600°C에서 결정입자내의 hydroxyl group이 제거되며 SiO₂와 Al₂O₃의 분해는 511°C에서 일어난다고 하였다. 따라서 61.9°C에서는 phyllite의 흡착수의 제거에 의한 peak이며, 572.4°C와 655.0°C에서는 SiO₂, Al₂O₃의 구조 변성에 의한 peak임을 알 수 있다. 그리고 873.3°C에서는 탄산염광물의 변성작용에 의한 것으로 추정된다.

따라서 phyllite의 주요 성분은 572.4°C와 655°C에서 가장 큰 열을 소모하여 분해되지만 이때의 감소되는 질량은 전체 질량 감소량에 비하여 매우 적은 양이다. 대부분의 질량 변화는 비교적 저온에서 일어나며, phyllite의 흡착수의 증발과 가용성 성분의 분해에 의한 것으로 판단된다.

5) pH의 변화에 따른 이온 용출 특성조사

pH 변화에 따른 phyllite, zeolite 및 hill soil의 이온 용출 특성은 pH 2에서 pH 9로 증가함에 따라서 이온의 용출량이 감소하였다. 가장 많이 용출되는 phyllite의 이온은 Al>Mg>Ca 순이며, zeolite는 Ca>Na>Si, hill soil은 Al>Ca>Si 순으로 나타났다. pH 7에서 이온 용출이 가장 많은 것은 zeolite이며, phyllite는 중성보다는 산성일 때 이온 용출량이 가장 많았다. 따라서 phyllite는 pH에 따라서 용출되는 이온의 종류 및 그 양이 다르기 때문에 작물에 적용할 경우 pH의 조건에 따라 작물의 생장에 영향을 줄 것으로

판단된다.

나. 수도 육묘 생육조사

1) Phyllite에 대한 zeolite와 hill soil의 혼합비율에 따른 벼의 생육조사

Phyllite에 zeolite와 hill soil의 혼합비율을 100, 70, 50 및 30%로 각각 달리 혼합하여 상토를 제조하였으며, 관행상토 A와 B를 대조구로 한 20일 동안의 벼의 생육조사 결과는 표 6과 7에 나타내었다.

표 6은 벼의 생육 8일째와 16일째에 벼의 지상부 생육조사 결과를 나타낸 것이다. 생육 8일째에 성모율이 가장 좋은 처리구는 94%인 PH(7:3)이며, zeolite에서는 83%로 가장 저조하였지만 대부분의 처리구에서 90% 이상의 양호한 결과를 나타내었다.

Phyllite의 초장과 엽수는 각각 5.1 cm와 2.3개 엽이며, hill soil은 4.8 cm와 2.2개 엽이었다. 이러한 결과는 PZ와 PH에서도 거의 비슷한 경향으로 나타나며 대체적으로 좋은 생육을 나타내었다. 특히 PZ(7 : 3)에서는 초장과 엽수가 각각 5.2 cm와 2.4개 엽으로 가장 컸다. Phyllite에 hill soil과 zeolite를 혼합한 처리구

Table 5. Porosity analysis of phyllite and zeolite

Materials	Total pore		Median pore	
	Volume ml/g	Area m ² /g	Volume ml/g	Area m ² /g
Phyllite	0.648	21.6	8.742	0.0061
Zeolite	0.641	137.4	0.602	0.0043

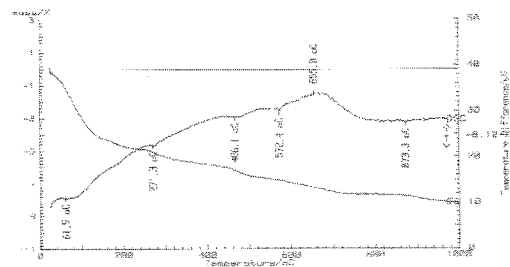


Fig 4. Changes of phyllite according to temperature difference.

에서 hill soil의 함량에 따른 차이는 없었지만 zeolite의 함량이 증가할수록 엽수는 변화가 없었지만 초장은 점점 감소하였다.

묘 충실도는 phyllite와 PZ(7 : 3)에서 4.42 mg/cm와 hill soil은 4.12 mg/cm로 다른 처리구에 비해 높은 값을 보였다. 이러한 이유는 다른 처리구에 비해 건물중이 증가되었기 때문이다. 결국 PZ에서는 phyllite의 함량이 증가할수록 초장의 생육이 양호하며 묘 충실도가 높았지만 P-H에서는 hill soil의 함량이 증가할수록 엽수는 일정한 변화를 보이지 않았고 초장 및 묘 충실도는 증가하였다. Hill soil과 PH(3:7)에서 뿌리의 길이는 각각 12.5 cm와 12.6 cm로 다른 처리구에 비해 높았으며, 발근율이 우수한 처리구는 hill soil(45%)과 phyllite(45%)이며 PH(3:7)는 43%의 발근율을 나타내었다. 즉 뿌리생육은 PZ보다 PH가 더 양호하였으며 hill soil의 함량이 증가할수록 뿌리의 길이와 발근율이 증가하였다. 결국 생육 8일째의 생육 조사결과, 벼의 생육정도는 양분의 공급력보다는 상토의 물리성에 의해 영향을 받으며, phyllite와 hill soil의 생육이 양호하였지만 zeolite의 함량이 증가할수록 상토의 물리성은 악화되어 벼의 생육 저해현상이 발생하였다. 또한 phyllite에 hill soil과 zeolite를 혼합한 모든 상토에서의 벼 생육은 관행상토 A와 B보다 양호한 결과를 나타내었다.

육묘 16일째에 벼의 생육조사 결과, phyllite와 hill soil보다는 PH 및 PZ에서의 생육이 양호하였으며 지상부의 생육정도는 PH보다는 PZ에서 더 좋았다.

Zeolite가 증가할수록 초장의 생육이 증가하였으며 특히 PZ(3 : 7)에서 초장이 9.2 cm로 가장 크며, 묘 충실도에서는 PZ(7 : 3)가 3.7 mg/cm로 가장 좋았다. 이러한 이유는 육묘 상자에 양분을 첨가하지 않았기 때문에 작물이 이용할 수 있는 양분은 상토 원료에서만 공급되며, 작물이 이용할 수 있는 원료의 양분 유효도는 상토 원료에 따라서 다르기 때문이다. 즉 phyllite와 hill soil 보다 zeolite의 치환성 양이온과 CEC가 높으므로 벼가 이용할 수 있는 양분은 zeolite로부터 공급되는 양이 상대적으로 많기 때문에 벼의 생육차이가 생긴 것으로 판단된다.

PH에서는 초장은 PZ보다 생육이 저조하였으며 뿌리 길이 및 발근율은 PZ보다 양호하였다. 즉 뿌리생육에서는 PH가 더 좋은 생육결과를 보인 이유는 hill soil에서는 지상부의 생육이 지하부의 생육속도가 지상부의 생육속도보다 빠르기 때문으로 판단된다. 그리고 묘 충실도가 모든 처리구에서 감소한 이유는 벼의 뿌리생육은 생육 8일째까지 진행한 반면 초장 및 엽수의 생장은 육묘기간 동안 계속 진행되어 지상부 생육이 상대적으로 증가하였기 때문이다. 관행상토 A와 B가 다른 처리구들의 묘 충실도 특히 더 낮은 이유는 A와 B에는 함유된 비료성분의 영향으로 초장의 생육이 촉진되었기 때문이다.

즉, 양분이 없는 상태에서의 16일째까지의 생육 결과는 초장의 생장율이 평균 34~44%이며, PZ(3 : 7)에서는 54%의 가장 높은 신장율을 보였다. 이러한 이유는 zeolite와 혼합된 phyllite의 상호작용으로 양분

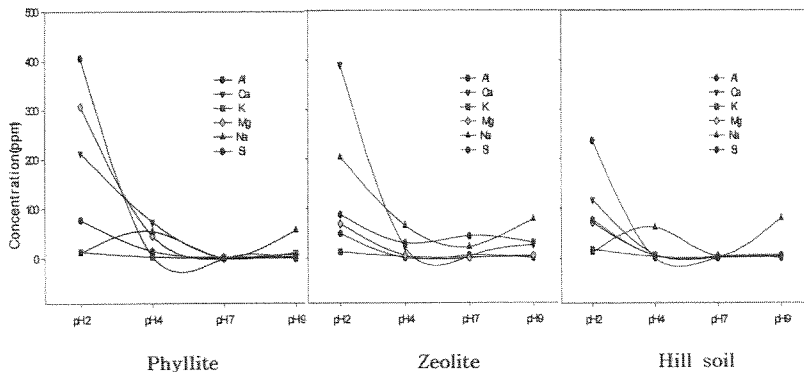


Figure 5. Changes of phyllite, zeolite and hill soil according to pH difference.

공급력이 증대되었을 것으로 추측된다.

2) 제조된 상토의 질소 시비량에 따른 벼의 생육 조사

벼의 2엽기까지는 주로 배유양분에 의존하여 생육되기 때문에 어린모는 8일 정도 육묘하여 2엽기 이전에 이앙을 한다. 하지만 육묘시에 상토에 시비하지 않으면 기계 이앙이 가능한 초장인 8cm에 미달할 뿐만 아니라 매트형성이 제대로 형성되지 않아 모를 이앙기에 탑재하기가 곤란하고 결구가 심하게 발생한다. 따라서 김 등은 생육시기별 양분 흡수 정도를 알기 위한 시험이 수행되었는데 벼는 출아 직후부터 양분을 흡수하여 어린 모도 무비구보다는 질소를 시비하는 것이 초장이 길고 건물중도 무겁다고 하였다 (김상주, 1996). 표 7은 혼합된 육묘 상자당 질소함량

을 0, 1, 2 g씩 시비하여 벼의 생육상태를 표시한 것이다. 생육 8일째에 PZ와 PH는 질소함량이 증가함에 따라 엽수의 증가 외에 다른 변화는 없었다. 즉 질소는 벼의 지상부의 생육을 촉진시켰지만 그 정도는 매우 미약하여 건물중에는 영향을 주지 않았기 때문이다. Phyllite와 hill soil을 혼합한 상토에서는 관행상토와 비슷한 발근율을 보였으며 질소함량에 따라서 일정한 경향은 보이지 않았다. 생육 18일째 질소함량이 증가함에 따라서 모든 처리구에서 초장, 엽수, 건물중이 증가하였으며 PZ에서 보다 PH의 초장이 더 길며, PZ(5 : 5)에서 2 g의 질소를 처리했을 때 5.4cm의 가장 큰 초장의 변화가 있었다. 그리고 묘층실도에서 처리구 모두 질소를 시비하지 않을 때와 비교해서 감소하였는데 이것은 생육초기에는 뿌리의 생장율이 초장의 생장율에 비해서 더 빠르고 후기

Table 6. Changes of rice growth affected by variation of mixing ratio of phyllite, zeolite and hill soil

Seeding days	Treatments	Mature seeding rate	Plant height	No.leaves	Dry weight/ Plant height	Root length	Root DW /Leaf DW
		%	cm	No.plant	mg/cm	cm	%
8	PZ(7:3)	93	5.2	2.4	4.42	11.7	37.4
	PZ(5:5)	92	4.9	2.3	2.95	11.5	44.1
	PZ(3:7)	92	4.2	2.4	3.38	10.5	38.1
	PH(7:3)	94	4.8	2.3	2.75	11.2	42.0
	PH(5:5)	91	4.7	2.2	3.15	12.2	43.3
	PH(3:7)	93	4.9	2.1	4.04	12.6	44.0
	Phyllite	92	5.1	2.3	4.43	11.5	45.1
	Hill soil	93	4.8	2.2	4.12	12.5	45.1
	Zeolite	83	4.1	2.0	3.68	11.2	39.1
	A	93	4.4	2.2	3.66	10.3	45.0
B	93	3.9	2.2	3.61	11.5	44.0	
16	PZ(7:3)	-	7.9	2.8	3.70	14.6	32.0
	PZ(5:5)	-	8.4	2.8	3.10	14.7	32.9
	PZ(3:7)	-	9.2	2.6	3.14	14.9	31.1
	PH(7:3)	-	7.5	2.7	3.25	16.5	37.8
	PH(5:5)	-	8.0	2.8	3.41	15.5	29.8
	PH(3:7)	-	8.1	2.6	3.03	15.4	34.5
	Phyllite	-	7.4	2.6	3.22	12.3	45.4
	Hill soil	-	7.2	2.6	3.35	12.3	37.1
	Zeolite	-	7.1	2.4	3.11	11.5	38.7
	A	-	12.3	2.9	2.71	13.5	27.8
B	-	12.0	2.9	2.67	14.1	27.5	

갈수록 초장의 신장이 증가되기 때문에 상대적으로 묘 충실도가 감소하기 때문이다.

3) 벼의 식물체 분석

표 8은 육묘 기간 동안 각각의 처리구에서 성장한 벼의 무기성분함량을 조사한 것이다. Phyllite와 zeolite

Table 7. Changes of root growth of rice affected by nitrogen fertilizer rate on the different nursery soil

Seeding days	Treatments	Applied N level	Plant height	Leaves	Dry weight/ Plant height	Root length	Root DW /Leaf DW
		g/box	cm	No. plant ⁻¹	mg/cm	cm	%
8	PZ(7:3)	0	5.2	2.4	4.4	11.7	37.4
		1	5.0	2.4	3.6	11.2	34.3
		2	5.2	2.5	3.6	12.5	45.7
	PZ(5:5)	0	4.9	2.3	3.0	11.5	44.1
		1	4.7	2.2	3.2	12.1	49.7
		2	5.0	2.3	3.6	10.5	23.2
	PZ(3:7)	0	4.2	2.2	3.6	10.5	38.1
		1	5.0	2.3	3.7	11.3	40.8
		2	5.0	2.4	3.7	11.5	39.1
	PH(7:3)	0	4.8	2.2	2.8	11.2	42.0
		1	5.2	2.3	3.1	10.6	40.6
		2	4.8	2.3	3.0	11.0	30.0
	PH(5:5)	0	4.7	2.2	3.2	12.2	43.3
		1	4.8	2.2	3.9	10.5	33.3
		2	4.7	2.3	3.9	12.2	42.5
	PH(3:7)	0	4.8	2.1	2.7	12.6	44.0
		1	5.0	2.2	2.8	11.6	43.3
		2	5.1	2.2	2.8	11.8	46.1
16	PZ(7:3)	0	7.9	2.8	3.7	15.6	34.0
		1	11.6	2.7	2.8	14.6	26.8
		2	12.8	3.0	2.7	15.8	29.2
	PZ(5:5)	0	8.4	2.6	3.1	14.7	32.9
		1	8.5	2.6	2.9	14.8	33.9
		2	13.4	2.8	2.7	15.5	28.3
	PZ(3:7)	0	9.2	2.7	3.2	15.9	30.5
		1	11.6	2.6	2.6	16.2	30.4
		2	12.6	2.8	2.6	16.5	30.9
	PH(7:3)	0	7.6	2.8	3.2	16.0	33.7
		1	8.9	2.8	3.1	16.1	33.2
		2	10.4	3.0	2.7	15.8	32.3
	PH(5:5)	0	8.1	2.6	3.4	15.5	29.8
		1	9.7	2.6	3.0	15.9	30.4
		2	9.5	2.8	2.8	16.1	30.9
	PH(3:7)	0	8.2	2.6	3.3	15.4	34.5
		1	10.5	2.7	2.9	15.8	33.9
		2	11.2	2.8	2.6	15.8	34.1

의 주성분이 SiO₂와 Al₂O₃이고 phyllite는 Mg와 Fe 성분이 많으며 Ca, K, Na 등의 성분은 zeolite가 더 많이 포함되어 있다. 이러한 성분의 함량차이로 인해서 각 처리구별로 무기성분들이 벼의 체내로 이행하는 정도가 차이가 나며 PH보다 질소함량이 증가할수록 식물체내의 이온도 증가하였다. 즉 PZ의 처리구에서 생육한 벼에서 각 이온들의 함량이 더 많음을 볼 수 있고, 혼합된 상토 종류의 물리 화학적인 특성에 의해 작물이 이용할 수 있는 유효도가 증가한 것으로 판단된다.

2. 퇴비화 과정 중 이화학성 변화 및 부숙화 연구

1) 원료의 특성

본 실험에 사용된 돈분과 톱밥의 화학성은 표 3에 나타내었다. 돈분의 pH는 7.1로 중성이었고, 질소량은 1.32%이며 C/N율은 32.2로 나타났다. 톱밥은 질소 성분이 거의 없어서 C/N율은 641로 높으며 pH와 CEC

는 각각 6.2와 14.5 cmol/kg로 돈분에 비해 낮으며 칼리, 석회 및 마그네슘의 함량도 적었다.

2) 온도

본 실험을 수행한 기간에 퇴비의 온도변화는 퇴비화 초기부터 약 22일까지 온도가 급격히 상승하였다가 서서히 감소하였다. 퇴비화 55일째에 뒤집기 이후 다시 온도가 상승한 후에는 40°C 내외의 온도를 유지하였다. 퇴비화를 시작한 후 18일째 1차 뒤집기 작업 후에 PSC의 온도는 급격히 상승한 데 반해 PSCP-10과 PSCP-20은 오히려 감소하다가 상승하였고, 퇴비화 55일째에 뒤집기 작업 후의 온도는 감소하지 않고 오히려 PSC보다 온도가 높았다.

PSCP-10과 PSCP-20의 온도변화는 PSC보다 급격한 온도변화는 없었는데 이러한 결과는 돈분과 혼합한 톱밥과 phyllite에 의한 공극율의 차이 때문이다. PSC는 톱밥이 phyllite보다 공극이 우수하여 퇴비화 초기에 산소공급이 양호하기 때문에 혼합된 돈분에서

Table 8. The contents of mineral ions in rice at different nursery soil

Treatments	Applied N level	Na	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O
	g/box						
PZ(7:3)	0	0.13	0.28	0.16	0.08	0.25	0.51
	1	0.13	0.21	0.21	0.35	0.21	1.38
	2	0.11	0.19	0.20	0.19	0.20	1.25
PZ(5:5)	0	0.13	0.21	0.16	0.21	0.15	0.90
	1	0.16	0.21	0.17	0.28	0.16	1.02
	2	0.15	0.22	0.15	0.19	0.17	1.10
PZ(3:7)	0	0.10	0.20	0.17	0.40	0.15	0.82
	1	0.12	0.26	0.13	0.20	0.26	1.08
	2	0.10	0.22	0.29	0.48	0.36	0.73
PH(7:3)	0	0.07	0.17	0.23	0.39	0.11	0.75
	1	0.13	0.24	0.15	0.36	0.15	0.80
	2	0.10	0.20	0.18	0.29	0.20	0.96
PH(5:5)	0	0.07	0.14	0.14	0.28	0.12	0.85
	1	0.17	0.24	0.13	0.28	0.14	0.62
	2	0.13	0.27	0.13	0.29	0.11	0.88
PH(3:7)	0	0.10	0.08	0.08	0.22	0.11	0.75
	1	0.13	0.16	0.14	0.28	0.13	0.82
	2	0.15	0.22	0.15	0.29	0.21	0.88

미생물 활동이 촉진되고, 비교적 가용성 성분이 초반기에 공급되어 부숙조건을 만족시킴에 따라 온도가 높게 상승되었다. 그러나 PSPC-10과 PSPC-20은 phyllite의 미세한 입자상태 때문에 퇴비더미의 통기성이 원활하지 않았으며, 또한 phyllite가 토분의 수분을 빠르게 흡수해서 퇴비화 초기의 온도가 상승하는데는 다소 시간이 걸리며, 온도변화는 PSC보다는 낮음을 알 수 있다. 따라서 PSPC-10은 퇴비화 18일 만에 73℃로 상승했지만 PSPC-20은 22일에 71.5℃로 처리구 중에서 가장 낮으며 퇴비화가 진행될수록 PSPC-10과 PSPC-20은 PSC보다 높은 온도를 유지하였다.

3) 수분함량

그림 7은 퇴비화 기간중의 수분함량을 나타낸 것으로 퇴비화가 진행될수록 수분함량이 낮아지며 퇴비화 50일까지 모든 처리구에서 수분의 감소율이 가장 컸다. 그 이후부터는 조금씩 감소하여 45%의 수분함량을 전후로 안정화되었다. 이러한 결과는 퇴비화가 진행될수록 퇴비더미의 열이 발생하여 수분증발을 증가시킨 것으로 보인다. 또한 phyllite의 수분흡

수력으로 인해서 PSCP-10과 PSCP-20에서는 PSC보다 함수량이 적었으며, 퇴비화가 진행될수록 함수량의 변화는 PSC보다 크지 않았다. 그리고 퇴비화가 진행되는 동안 phyllite의 함량에 따른 함수량의 차이가 있었는데 PSCP-20이 PSPC-10보다 더 높은 함수율을 나타내었다.

4) pH

본 실험에서 퇴비 혼합원료의 pH는 약 7.6이었고, 퇴비화 초기와 뒤집기 작업 후에는 pH가 급격히 상승한 후 서서히 감소하는 경향을 보였으며 퇴비화 70일 이후에는 중성에 가까운 값을 나타내었다. 이러한 결과는 퇴비화 초기에는 퇴비더미 내의 산소 부족으로 인한 혐기 상태의 유발로 유기산의 생성이 억제되는 반면에 생성된 NH₃가 퇴비더미 내부에 존재하기 때문에 pH가 상승하게 된다. 하지만 시간이 지남에 따라 서서히 호기적 상태로 변하면서 유기산의 양이 상대적으로 증가하여 pH가 저하되어 결국 pH가 6.5로 안정화되는 것으로 추측된다.

그림 8에서 보는 바와 같이 PSPC-20은 퇴비화 초

Table 9. Chemical properties of pig manure and saw dust

Treatments	PH (1:5)	T-C	T-N	C/N ratio	Ca	Mg	K	CEC cmol _e /Kg
		%						
Pig manure	7.1	32.5	3.12	10.4	0.54	0.32	0.56	23.5
Saw dust	5.7	44.9	0.07	641	0.08	0.14	0.12	14.5

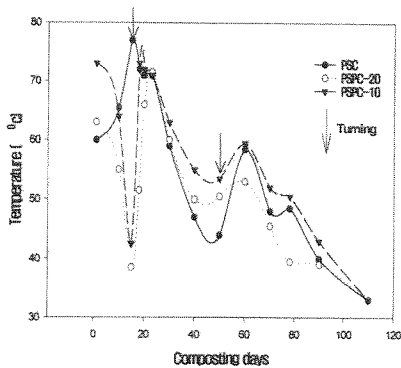


Fig 6 Changes of temperature during composting

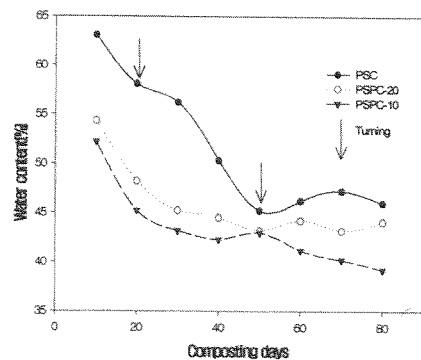


Fig. 7 Changes of water content during composting

기에 pH 8.3으로 가장 높게 나타났으며, 퇴비화 40일째에 pH의 급격한 감소로 퇴비화 기간 중에 pH의 변화가 가장 빠르게 진행되었다. PSCP-10은 PSC와 거의 같은 pH 변화를 보였지만 PSC보다는 퇴비화가 진행될수록 더 높은 pH를 나타냈다. 즉, phyllite의 함량이 많을수록 퇴비화 기간 중에 높은 pH를 나타내며, pH의 감소율이 빨리 진행됨을 알 수 있다.

5) Electrical conductivity(EC)

퇴비화 과정 중 EC는 유기물이 분해되면서 유리되는 이온들의 활성으로 증가된다. 퇴비화에서 EC값에 기여하는 물질은 저급지방산과 암모니아이고 특히 암모니아의 기여도가 크다. 즉, EC값은 퇴비중 유기물이 이온화 정도를 평가할 수 있는 지표로 사용할 수 있게 된다(유영석, 퇴비화의 이론 및 응용, 1999). 그림 9에 나타난 것처럼 퇴비화가 안정화되었을 때 EC값을 보면, PSC는 15.63%, PSCP-10은 25.5%, PSCP-20은 29.84%의 증가율을 보였다.

PSC의 경우 PSCP보다 비교적 초기에 EC값이 높고 퇴비화 20일 이후에 급격한 증가를 보였으며 퇴비화 55일째에 뒤집기 이후에 다시 상승하여 안정화되었다. PSCP-10과 PSCP-20의 EC값은 서서히 증가하는 경향을 보였지만 PSC보다는 EC의 증가율이 컸다.

6) Total carbon(T-C) 및 Total nitrogen(T-N)

그림 10은 T-C의 변화를 나타낸 것으로 퇴비화 초

기에 PSC의 49%의 탄소함량이 분해되기 시작해서 최종적으로는 45%를 나타내었고, PSCP-10과 PSCP-20은 각각 36%와 34%의 탄소가 분해되어 26%와 14%로 감소하였다. 퇴비화 초기에 탄소함량은 미생물 활동이 급격히 증가되어서 유기물 분해의 진행이 촉진되어 감소되었고, 모든 처리구에서 60일 이후에 탄소의 감소율이 안정화되었다. 퇴비화 초기의 미생물의 활동이 증가되어 암모니아의 휘산 및 질산성 작용으로 암모니아는 감소하며 질산태 질소의 함량이 증가하게 된다. 그림 11은 질소함량의 변화를 나타낸 것으로, 퇴비화 초기에는 암모니아의 감소와 퇴비화 40일째에는 질산태 질소의 증가 때문에 퇴비화 기간 중에 총 질소의 함량은 크게 변하지 않았다. 하지만 퇴비화 40일을 전후로 phyllite함량이 증가할수록 총 질소는 감소하며, 그 이후부터는 증가하였는데 이러한 이유는 phyllite가 퇴비화에 있어서 온도 유지 및 적당한 수분조절능력으로 미생물의 활동이 증가되었기 때문이다.

7) 탄질율(C/N ratio)

퇴비화 초기에는 질소함량이 적고 탄소량은 많기 때문에 C/N율은 높게 나타났으며, 퇴비화가 진행될수록 PSC의 C/N율은 19이며 PSCP-10과 PSCP-20은 각각 12와 6으로 감소하였다. 본 연구에서는 C/N율 감소의 주원인이 총 탄소량은 감소한데 비해서 총 질소함량은 큰 변화가 없었기 때문이다. 이러한 C/N율의 변화는 기존의 퇴비화와 큰 차이를 보이고 있

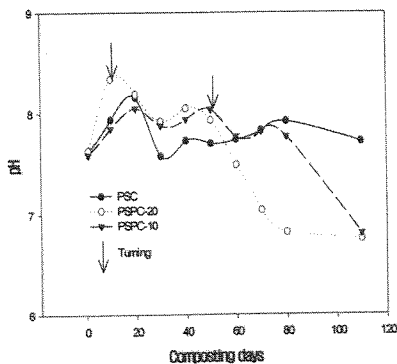


Fig 8. Changes of pH during composting.

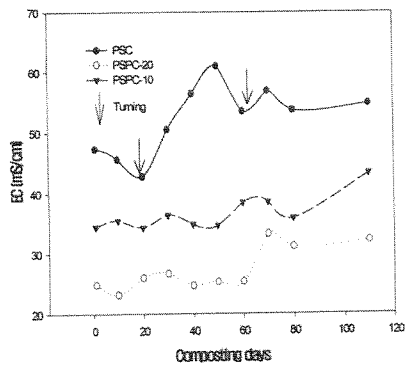


Fig 9. Changes of EC during composting.

다. 톱밥의 경우 탄소의 공급으로 적정 수준의 C/N율의 변화를 보이지만 분해속도가 빠르고 지속적인 탄소 공급원이 어렵기 때문에 장기간에 걸친 퇴비화는 어렵다.

이에 반하여 phyllite는 퇴비화의 탄소공급원이 되지 못하여 C/N율이 매우 낮지만, 수분 보유력이 크고 분해가 되지 않기 때문에 지속적으로 축분뇨를 처리하는 로타리식의 연속적인 퇴비화 장치에 적용할 수 있는 특유의 장점을 갖는다.

8) Cation Exchange Capacity(CEC)

퇴비화가 진행될수록 CEC는 증가하는데 이는 유기물의 분해에 의한 lignin, phenolic hydroxyl기 및 carboxyl기 등의 증가에 의한 음전하량의 증가로서 설명할 수 있다(Harada, Y., 1980). 일반적인 CEC를 통한 부숙도 평가기준으로서 Riffaldi는 60 cmol/kg

이상일 때 부숙이 되었다고 판단한다(Chang et al., 1997). 본 실험의 CEC 결과는 퇴비화 18일째 뒤집기 작업 후에 유기물의 분해가 촉진되어 CEC가 크게 증가되었고, 퇴비화가 진행될수록 계속적인 증가를 보였다. 최종적으로 PSC의 CEC는 92 cmol/kg이고 PSPC-10과 PSPC-20은 61 cmol/kg으로 거의 비슷하게 나타났다. 퇴비화 후기에 PSPC-10과 PSPC-20의 CEC는 감소하였지만 PSC의 CEC는 증가한 이유는 phyllite는 분해가 되지 않고 남아 있어서 유기물의 함량이 상대적으로 감소하였기 때문이다.

9) NH_4^+ -N 및 NO_3^- -N

퇴비화 초기에 유기물의 암모니아성 작용(ammunification)에 의해 생성된 NH_4^+ -N은 질산화작용(nitrification)에 의해 NO_3^- -N으로 전환되거나 암모니아 가스로 휘산되기 때문에 퇴비화 과정중의 NH_4^+ -N

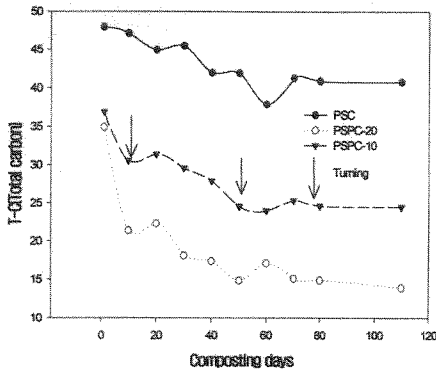


Fig 10. Changes of T-C during composting.

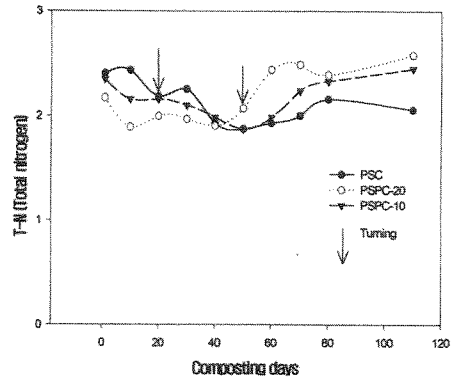


Fig 11. Changes of T-N during composting.

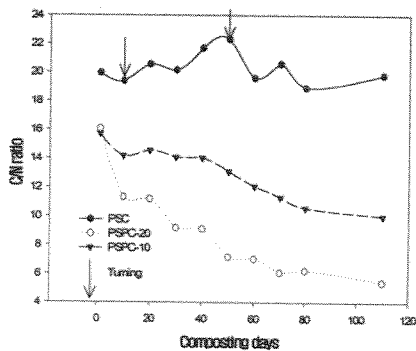


Fig 12. Changes of C/N ratio during composting.

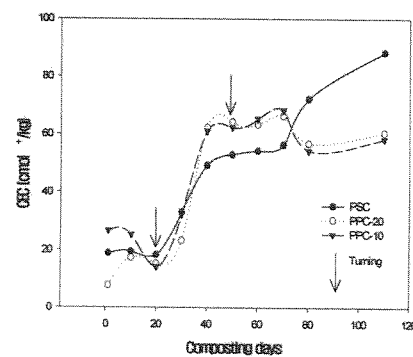


Fig 13. Changes of CEC during composting.

은 증가되다가 감소된다. 암모니아성작용은 온도에 좌우되며 40~50°C 사이에서 반응이 빨리 완결되었으나, 50~55°C 사이에서 NH₄⁺-N이 가장 많이 축적되었다(Burrows, Y, 1959).

그림 14에서 보는 바와 같이 NH₄⁺-N은 초기에 증가하여 약 40일 이후부터는 급격한 감소를 보였으며 NO₃⁻-N은 반대로 상승하였다. 이러한 결과는 초기에 유기물의 암모니아성 작용에 의해 NH₄⁺-N이 상승하였고, 온도가 50°C 이하로 떨어지는 2개월 이후부터 NH₄⁺-N이 암모니아 가스로 휘산되는 등의 요인에 의해 감소된 것으로 해석되며 퇴비가 분해될수록 질산화작용이 점점 증가하기 때문으로 판단한다.

10) 물리성 변화

Phyllite는 퇴비화에 있어서 다른 부재료에 비하여 작은 입자크기와 수분보유능 등의 물리성은 퇴비화에 있어 수분의 흡수와 돈분 혼합을 유리하게 하며, 과다하게 처리된 논의 처리가 가능하기 때문에 퇴비화에 있어 적정 수분함량을 유지할 수 있게 한다.

표 10에서 나타난 것처럼 phyllite의 함량이 증가할수록 퇴비의 용적비중과 입자밀도는 증가하였으며 공극률은 감소하는 경향을 나타내었다.

11) 원형여지 크로마토그래피에 의한 퇴비의 부속도 판정

원형여지 크로마토그래피법은 이동속도가 빠른 저분자 화합물은 크로마토그램이 빠르게 전개되어 이동되고, 분해가 잘 되지 않는 고분자 화합물들은 이동속도가 느려서 중심부에 남아 있으면서 옅은 자주색을 나타내는 것을 이용한다(Lee, 1997). 그림 14는 퇴비화의 30일, 60일, 90일, 110일에 채취한 시료로 원형여지크로마토그래피를 이용하여 실험한 것으로 모든 처리구에서 30일까지는 발효가 진행중이며 60일 이후부터 톱니의 형성정도와 퍼짐의 크기가 더 양호하므로 안정된 부속이 진행되고 있음을 알 수 있으며, PSC보다는 PSPC-20과 PSPC-10에서 더 양호하며 특히 PSPC-20에서 더 안정적인

을 알 수 있다.

12) 식물독성시험

식물독성시험은 퇴비의 안정성 평가방법 중 하나로 퇴비 추출물에 식물의 종자를 파종해 발아율과 뿌리길이를 조사하여 식물독성 여부를 판단하는 것으로 증류수와 퇴비추출물의 발아율과 뿌리길이를 이용하여 germination index(G.I.) 값을 구할 수 있다. 퇴비화 중에 생성되는 수용성 염류, 중금속, 무기원소, 유해성 유기화합물이나 휘발성물질 등으로 인해서 발아율을 저해하여 낮은 G.I.값을 나타낸다(Chang, K, 1997). 일반적으로 G.I.값이 80 이상일 때 식물체에 독성이 없다고 하였고(Zuccuni, F, 1981), 50 이상이면 퇴비로서 사용이 가능하다고 알려져 있다. 그림 15에서 퇴비화 60일째까지 계속적으로 G.I.값이 증가하였고 그 이후로는 안정되게 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 것은 퇴비화가 진행되는 동안 뒤집기 작업으로 미생물의 활성이 증가되기 때문이며, 60일 이후로는 비교적 안정된 값을 나타내는데 이것은 부속의

Table 10. Physical properties of saw dust compost and phyllite compost

Composts	B.D.	P.D.	Porosity
	g/ml		%
PSC	0.729	1.803	59,580
PSPC-10	0.918	2.130	56,969
PSPC-20	1.051	2.303	54,359

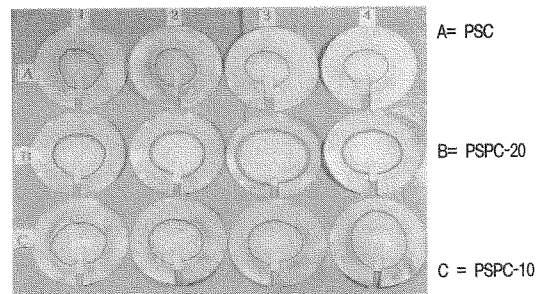


Fig. 14. Evaluation of compost maturity by circular paper chromatography during the composting.

증가로 식물의 성장률도 증가하고 있음을 알 수 있다. 퇴비화 60일째 G.I.값의 변화가 매우 불안정하였으며 퇴비화가 안정될수록 PSCP-10과 PSCP-20이 PSC보다 더 큰 G.I.값을 나타냈다.

13) 퇴비의 공정규격에 의한 품질평가

현행 농업과학기술원의 퇴비공정규격에 의한 최종 제조된 퇴비 측정 결과, PSCP-20인 경우 유기물은 29.5%, 유기물/질소 비는 16.5로서 공정규격에 적합하였고, PSC의 Cu의 함량이 417 mg/kg, NaCl 함량이 0.9%로 공정규격보다 초과되지는 않았으나 규제값에 근사치임을 유의해야 할 것이다.

3. 퇴비제품의 작물에 대한 효용성 평가

가. 퇴비시용에 의한 토양의 이화학성 변화

1) 토양의 화학성 변화

표 12에서는 공시토양에 돈분 톱밥퇴비와 phyllite를 첨가한 퇴비의 시용 수준에 따른 토양의 화학성을 측정할 결과이다. 퇴비의 시용량이 증가할수록 모든 항목에서 증가되는 경향을 보였다.

퇴비의 EC값이 높기 때문에 시비한 토양의 EC가 크게 상승하였으며 퇴비의 40 Mg/ha을 처리하였을 경우, 모든 처리구에서 EC값이 2 dS/m 이상으로 나타났다.

열무와 상추의 생육 30일째 토양의 화학성을 조사한 결과는 표 13과 14에 나타내었다. 시험 전 토양의 화학성 결과와 비교하여 시험 후에는 모든 성분들이 증가하였으며, 특히 상추의 경우 phyllite 퇴비량이 증가할수록 유효인산 및 EC가 크게 증가하였다. 열무의 경우 질소, 유기물함량과 CEC는 시험 전보다 감소하였는데 이것은 열무의 질소 이용율이 높음을 알 수 있다.

2) 토양의 물리성 변화

토양의 물리성 측정결과, 퇴비의 처리량이 증가할수록 공극률, 수분보유능 및 용적비중은 증가하였다. 돈분 phyllite퇴비의 경우, 돈분 톱밥퇴비보다 공극률 및 수분보유력이 더 크며 용적비중도 매우 높았다. 이것은 돈분 톱밥퇴비의 bulk density는 0.73 g/cm³이며 particle density가 1.80 g/cm³로 높으며, 첨가된 phyllite

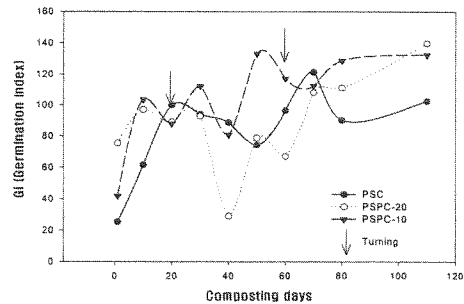


Fig. 15. Changes of G. I. value during the composting.

Table 11. Content of heavy metals and chemical components of the saw dust compost and phyllite compost

Items	O.M	O.M./N	As	Cd	Hg	Pb	Cr	Cu	NaCl
	%	ratio							
PSC ^a	65.3	35.5	8	ND ^d	ND	ND	13	417	0.78
PSCP ^b -10	41.4	19.5	35	ND	ND	ND	50	154	0.45
PSCP ^c -20	29.5	16.5	12	ND	ND	ND	17	225	0.67
Specification	>25	<50	<50	<5	<2	<150	<300	<500	<1

a : Pig manure-Saw dust Compost

b : Pig manure-Phyllite 10% Compost

c : Pig manure-Phyllite 20% Compost

d : None Detection

함량 때문이다. 시비한 동일한 퇴비량에서 돈분 phyllite 퇴비에서는 용적비중이 1.3 g/cm³인 phyllite의 함량이 상대적으로 많기 때문에 퇴비 사용량이 증가할수록 공극률 및 용적비중의 증가율이 크지 않았으며 수분보유력은 오히려 증가하였다.

나. 열무 및 상추의 생육조사

1) 퇴비 사용에 따른 열무의 생육 및 수량 조사

열무의 지상부 생육조사결과 30일째에 엽장은 PSPC10-20에서 엽장의 생육이 가장 좋았으며 엽수는 PSPC10-20에서 가장 좋은 생육결과를 나타냈다. PSPC20의 경우 PSPC20-10에서 생육 20일째와 30일째 모두 엽장과 엽수의 생육이 좋았으며 엽록체함량도 같은 경향이였다. 대조구에 비해 모든 처리구들의 엽장과 엽수, 엽록체함량이 좋은 생육결과를 보였다. 열무의 총 중량, 엽중, 근장의 생육조사와 수확량을 조사한 결과는 표 17 및 그림 16에 나타냈다. 열무의

Table 12. Chemical properties of soil amended with compost

Treatments	pH	EC	T-N	O.M.	Avail.P ₂ O ₅	CEC	Ex. Cations(cmole _c /kg)		
	(1:5)	(dS/m)	%		(mg/kg)	(cmole _c /kg)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
Control	5.6	0.1	0.04	0.08	55	8.2	1.20	0.52	0.12
PSC ^a -10 ^b	6.1	0.8	0.06	1.13	68	8.0	1.18	0.59	1.22
PSC-20	5.8	1.0	0.06	1.21	84	9.6	1.52	1.58	1.54
PSC-40	6.5	2.5	0.08	3.15	94	11.6	2.54	2.23	1.89
PSPC10 ^c -10	5.7	1.5	0.06	1.06	88	9.2	1.11	1.96	1.51
PSPC10-20	6.2	2.1	0.07	2.11	90	10.1	1.56	2.31	0.97
PSPC10-40	6.5	2.9	0.08	2.27	98	13.0	3.54	2.80	1.49
PSPC20 ^d -10	5.8	1.1	0.10	1.24	87	8.9	2.03	1.87	1.95
PSPC20-20	6.1	1.4	0.11	2.14	96	10.9	2.41	2.23	1.36
PSPC20-40	6.8	2.6	0.12	2.54	103	12.3	3.22	3.51	2.86

a : Pig manure-Saw dust Compost

b : Compost Mg/ha

c : Pig manure-Phyllite 10% Compost

d : Pig manure-Phyllite 20% Compost

Table 13. Chemical properties of soils grown *Raphanus* after compost application

Treatments	pH	EC	T-N	O.M.	Avail.P ₂ O ₅	CEC	Ex. Cations(cmole _c /kg)		
	(1:5)	(dS/m)	%		(mg/kg)	(cmole _c /kg)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
Control	6.6	0.6	0.07	0.06	88	7.6	1.57	1.03	1.03
PSC-10	5.8	1.1	0.06	1.07	168	7.0	1.78	0.39	1.53
PSC-20	6.1	1.3	0.01	1.37	167	8.6	2.71	1.19	0.87
PSC-40	6.5	1.0	0.48	2.29	160	10.4	1.95	0.93	0.73
PSPC10-10	5.7	1.2	0.06	1.26	188	9.2	2.06	0.87	1.51
PSPC10-20	5.9	1.6	0.06	1.41	319	9.6	2.36	1.00	0.97
PSPC10-40	6.3	2.0	0.09	1.88	326	12.2	3.55	1.57	1.09
PSPC20-10	5.8	1.2	0.06	1.24	173	8.0	2.68	1.07	0.95
PSPC20-20	6.5	1.7	0.08	1.57	291	10.0	2.51	1.23	1.64
PSPC20-40	7.0	2.3	0.14	1.84	303	11.0	3.56	2.43	2.86

수량조사 결과, 총 중량과 근중 등 모든 항목에서 PSPC10-20이 가장 우수한 수확량을 나타내었다. PSC에서는 생육기간 동안 대조구에 비해 생육이 좋지만 다른 처리구에 비해 상태가 불량했으며 PSPC10은 생육기간 내내 다른 처리구들에 비해 가장 우수한 성장을 보였으며 특히 총 중량에서 PSPC20-10보다 높은 수확량을 얻을 수 있었다.

PSPC20은 PSPC20-10의 경우 생육이 양호하였지만 퇴비량이 증가할수록 생육저해가 심하였으며 특히 생육 30일째에 근중의 생육이 가장 저조하였다. 이러한

결과는 퇴비량이 증가할수록 염의 농도가 증가하여 열무의 생육을 저해시켰으며, phyllite 함량이 증가할수록 열무의 생육이 불량하였으며 특히 PSPC10-40에서 생육이 가장 저조하였다.

2) 상추의 생육 및 수량조사

상추의 생육조사 결과, PSPC10-10에서 가장 좋은 생육결과를 나타냈으며 시용한 퇴비량이 증가할수록 염농도가 증가하여 상추의 생육저해가 나타났으며

Table 14. Chemical properties of soils grown *Lactuca* after compost application

Treatments	pH	EC	T-N	O.M.	Avail. P ₂ O ₅	CEC	Ex. Cations (cmol _c /kg)		
	(1:5)	(dS/m)	%	%	(mg/kg)	(cmol _c /kg)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
Control	5.1	0.5	0.07	0.84	59	8.8	1.84	0.71	0.56
PSC-10	7.2	2.5	0.13	0.90	93	9.3	2.80	1.87	1.64
PSC-20	7.0	2.5	0.23	1.09	103	10.8	3.69	3.03	2.83
PSC-40	7.0	3.0	0.23	1.87	110	12.8	3.27	2.07	2.56
PSPC10-10	6.8	1.3	0.08	0.94	117	10.8	3.14	1.43	1.83
PSPC10-20	6.9	2.5	0.12	1.76	200	11.8	3.54	2.03	2.44
PSPC10-40	6.5	2.6	0.18	1.83	286	12.0	3.32	2.45	3.15
PSPC20-10	6.9	1.9	0.08	0.89	167	11.0	2.58	2.50	1.99
PSPC20-20	6.8	3.2	0.29	1.02	446	11.9	2.62	3.41	3.01
PSPC20-40	7.2	3.0	0.17	1.61	514	12.6	4.41	2.54	3.29

Table 15. Physical properties of soil amended with compost

Treatments	Bulk density	Porosity	Water holding capacity
	g/cm ³	%	%
Control	1.22	30.2	14.4
PSC-10	1.41	32.9	18.8
PSC-20	1.67	38.8	18.6
PSC-40	1.95	43.8	20.4
PSPC10-10	1.27	23.4	16.4
PSPC10-20	1.79	24.7	22.2
PSPC10-40	1.82	30.4	25.6
PSPC20-10	1.89	29.4	19.8
PSPC20-20	2.02	25.1	21.9
PSPC20-40	2.32	22.3	30.8

특히 PSC-40에서 생육이 가장 저조하였다. PSPC10-10과 PSPC10-20에서 잎의 생장이 좋은 이유는 phyllite 성분에 의한 양분 보유력이 증가되어 생육기간 동안 생육이 좋았지만 phyllite 함량이 높은 PSPC20에서는 미분의 phyllite가 공극을 및 투수성 등 토양 물리성을 악화시켜서 상추의 생육을 저해한 것으로 보인다.

상추의 총 수량 및 잎의 중량을 조사한 결과는 표 19와 그림 17에 나타내었다. PSC의 경우 PSC-10에서 수확량이 가장 좋았으며, 퇴비량이 증가할수록 감소하였다. PSPC10-20에서 상추의 수확량이 다른 처리구들에 비해서 가장 좋았으며 특히 PSPC10에서는 PSPC20-10이 가장 양호하였으며 퇴비량이 증가할수록 가장 저조한 수확량을 나타내었다. 이러한 결과는 상추의 생육조사와 같이 phyllite가 오히려 생육을 저해시킴을 알 수 있었다.

다. Phyllite 퇴비의 안정성 평가

Phyllite를 이용한 돈분퇴비에 대한 상추와 열무의 생육실험 결과, 열무에서는 PSPC10과 PSPC20이 PSC보다 생육이 양호하였다. 특히 PSPC10-20에서 가장 좋은 생육효과가 있었다. 상추에서는 생육초기에는 PSC-10에서 생육이 좋았지만 생육 후기에는

PSPC10-20과 PSPC20-10에서 수확량이 증가되었다. PSC보다 PSPC의 시용 효과가 좋았으며, PSPC20과 PSC에서는 퇴비사용량이 증가할수록 생육저해정도가 심하였으며 두 종류의 작물재배 결과 생육 및 수확량은 PSPC10-20과 PSPC20-10에서 가장 좋았으며 다른 피해는 나타나지 않았다. 따라서 phyllite를 이용하여 생산된 퇴비를 작물을 재배할 경우, PSPC10에서는 20 Mg/ha와 PSPC10에서는 10 Mg/ha의 시용량이 가장 적당하였다.

IV. 결론

본 연구는 phyllite의 수도 육묘용 상토개발과 돈분 퇴비화 과정 중 수분조절제로서의 이용성을 평가하기 위해 수행하였다. 우선, phyllite의 물리화학적 광물조사를 통하여 농업적 자재로서 이용가능성을 조사하였으며, 수도 육묘 상토 개발을 위해 phyllite에 zeolite와 hill soil 각각을 100%, 70%, 50%와 30%로 혼합하고, 질소 시비량(0, 1, 2 g/box)을 달리한 상태에서 비의 육묘 실험을 하였다. 20일간의 비 육묘 기간 동안 비의 지상부, 지하부 생육조사를 통하여 phyllite의 적정사용량 및 질소 시비량에 따른 생육 정도를 평가하였다.

퇴비화의 수분조절제로서의 평가를 위해서 톱밥

Table 16. Growth characteristics of *Raphanus* in soils applied with compost

Treatments	Length of leaf(mm)		Number of leaf(ea)		Chlorophyll(mg/100cm ²)	
	20 days	30 days	20 days	30 days	20 days	30 days
Control	15.3	20.6	4.33	6.53	3.15	4.11
PSC-10	29.4	31.4	7.12	7.45	4.13	4.55
PSC-20	25.7	31.5	6.70	7.98	4.03	4.95
PSC-40	25.6	27.0	6.53	7.25	4.13	4.21
PSPC10-10	28.6	34.4	7.16	9.70	3.99	4.10
PSPC10-20	32.0	36.3	7.70	9.30	3.59	4.05
PSPC10-40	22.7	30.8	7.77	9.38	4.13	4.27
PSPC20-10	30.0	33.4	7.45	8.83	4.36	4.66
PSPC20-20	24.7	32.5	6.38	7.28	4.15	4.24
PSPC20-40	26.9	31.2	7.43	7.25	4.11	4.01

돈분퇴비(PSC)를 대조구로, phyllite 10%와 톱밥 20%를 사용한 퇴비화(PSPC10)와 phyllite 20%와 톱밥 10%를 사용한 퇴비화(PSPC20) 연구를 수행하였다.

퇴비화 장치에서 기간별로 시료를 채취하여 각종 물리화학적 분석방법을 통해 퇴비의 부숙도를 평가하고 생성되는 퇴비의 효용성과 안정성 평가를 위해 포트실험을 통해 비료의 가치를 평가하였다.

Table 17. Yield of *Raphanus* in soils applied with compost

Treatments	Total weight	Weight of root	Lenght of root
	g/ea		cm
Control	60.8	3.56	4.01
PSC-10	93.0	5.59	7.08
PSC-20	90.5	5.12	4.93
PSC-40	76.0	4.20	4.85
PSPC10-10	126.0	5.21	7.81
PSPC10-20	131.0	7.11	6.15
PSPC10-40	121.0	6.87	5.90
PSPC20-10	103.0	5.20	6.90
PSPC20-20	91.2	5.17	8.70
PSPC20-40	85.8	4.32	6.23

1. Phyllite의 광물학적 특성조사

- (1) Phyllite의 80.1%가 SiO_2 와 Al_2O_3 으로 구성되어 있으며 SiO_2 와 Al_2O_3 은 구조적으로 매우 안정되어 570°C 이상에서 분해되었으며 전체 질량의 8.12%가 감소되었다. 하지만 대부분의 질량변화는 200°C까지의 온도에서 발생되었으며 흡착수 및 미량의 성분들이 쉽게 유리되었다.

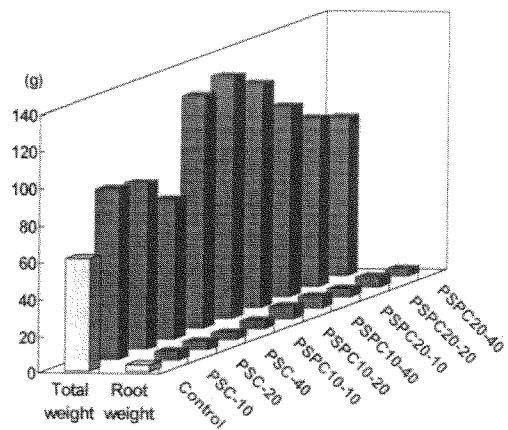


Fig 16. Yield of *Raphanus* in soils applied with compost

Table 18. Growth characteristics of *Lactuce* in soils applied with compost

Treatments	Length of leaf(cm)		Width of leaf(cm)		Chlorophyll(mg/100cm ²)	
	20 days	30 days	20 days	30 days	20 days	30 days
Control	4.23	6.5	6.3	8.6	2.11	2.22
PSC-10	11.8	14.7	10.8	14.4	2.35	2.30
PSC-20	10.4	12.4	9.2	12.4	2.20	2.22
PSC-40	7.2	8.0	8.2	9.0	2.12	2.22
PSPC10-10	12.2	15.6	10.0	13.0	2.32	2.75
PSPC10-20	11.5	15.0	10.5	12.6	2.44	2.66
PSPC10-40	10.2	11.6	8.2	9.6	2.32	2.75
PSPC20-10	13.2	14.0	9.5	13.3	2.23	2.85
PSPC20-20	11.5	13.2	9.1	11.5	2.35	2.56
PSPC20-40	10.0	11.5	9.1	10.5	2.34	2.55

(2) Phyllite의 공극량은 65%이며 작은 기공들이 넓게 분포되어 있기보다는 거포(巨砲)로 형성되어 있고 상대적으로 기공의 분포도는 적었다.

2. 수도 육묘용 상토 개발

(1) Phyllite에 대한 zeolite와 hill soil의 혼합비율에 따른 생육조사에서

- ① 육묘 8일째에 phyllite와 hill soil 전량을 사용한 처리구에서 초장과 묘층실도 및 발근율이 좋았다. 혼합비율을 달리 했을 경우 phyllite의 함량이 많을수록 초장 및 묘층실도가 좋았으며 hill soil의 혼합량이 증가할수록 발근율 및 뿌리의 생육이 좋았다.
- ② 육묘 16일째에는 상토 원료에 비료성분이 부족하여 전체적으로 비의 생육이 매우 저조하였다. Zeolite의 혼합량이 증가할수록 초장 및 지상부의 생육이 양호하였으며 지하부의 생육 정도는 hill soil의 혼합량이 증가할수록 더 좋은 결과를 보였다. 하지만 혼합한 상토에서는 양분 공급력이 부족하여 관행상토 A와 B에 비해 생육이 저조하였다.

(2) 제조된 상토의 질소함량에 따른 생육조사

육묘 8일째까지 질소의 시비량에 따른 생육 정도 차이는 일정한 경향을 찾을 수 없었으며 육묘 16일째에 모든 처리구에서 질소함량이 증가할수록 비의 지상부 및 지하부의 생육이 증가하였다. Phyllite와 zeolite의 혼합 처리는 phyllite와 hill soil의 혼합처리구보다 생육이 양호하였으며 특히 P-Z(5 : 5)에서 생육이 가장 좋았다.

3. 수분조절제로서의 퇴비화 연구

- (1) 퇴비화 기간 중 처리구별 최고 온도와 도달 시간은 PSC는 77°C와 15일, PSPC-20은 71.5°C와 22일, PSPC-10은 73°C와 18일이었다. Phyllite는 퇴비화의 주 발효가 진행되는 동안에 고온의 온도 유지를 가능하게 하였으며, 급격한 온도의 변화는 없었다.
- (2) Phyllite의 함량이 많을수록 퇴비화 기간 중에 높은 pH를 나타내며, pH의 감소율이 빨리 진행되었다. pH는 초기에 증가하다가 pH 6.5에서 안정되었으며 PSPC-20의 경우가 비교적 pH저하 속도가 빨랐다.

Table 19. Yield of *Lactuca* in soils applied with compost

Treatments	Fresh weight(g/ea)		Weight of leaf(g/ea)	
	20days	30days	20days	30days
Control	15.3	32.6	10.3	15.6
PSC ^a -10 ^b	24.2	51.3	12.6	26.5
PSC-20	20.3	42.8	12.0	23.4
PSC-40	16.6	39.7	10.3	18.5
PSPC10 ^c -10	26.8	50.8	13.6	28.8
PSPC10-20	30.2	53.8	15.4	30.5
PSPC10-40	28.9	38.6	14.3	23.9
PSPC20 ^d -10	28.9	52.9	15.0	29.5
PSPC20-20	25.3	48.3	14.6	28.3
PSPC20-40	20.6	38.3	13.3	20.6

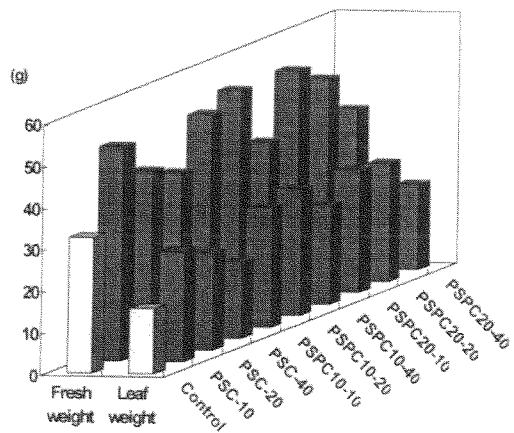


Fig 17. Yield of *Lactuca* in soils applied with compost

- (3) 퇴비화기간 중 EC의 변화는 서서히 증가하다가 안정화되었는데, 퇴비화 후의 EC의 증가율은 PSPC-20 > PSPC-10 > PSC 순으로 감소하였다.
- (4) CEC값은 시간의 경과에 따라 차차 증가하였으며 최종적으로 PSC에서 92 cmolc/kg로 가장 높으며, PSPC-20과 PSPC-10은 퇴비화 후기에 phyllite의 함량이 상대적으로 증가하여 CEC는 감소하였다.
- (5) 탄소량은 퇴비화 초기 PSC가 가장 높고 PSPC-20과 PSPC-10은 유사하여 차차 감소하였다. 질소량은 단기적 변화는 컸으나 장기적으로는 거의 변화가 없어 결과적으로 C/N율의 감소를 보였고 감소 폭은 PSPC-20이 가장 크게 나타났다.
- (6) 미생물의 활발한 분해는 암모니아성 작용(ammonification)과 질산화 작용(nitrification)에 의해 NH_4^+ -N과 NO_3^- -N를 생성시키고, 퇴비화 40일째 NH_4^+ -N는 감소하고 NO_3^- -N는 증가하였다. 특히, PSPC-20에서 가장 빠른 변화가 있었다.
- (7) 원형여지 크로마토그래피와 식물독성 실험의 결과 처리구별 큰 차이는 나타나지 않았으나 퇴비화 60일 이후부터 PSPC-20 > PSPC-10 > PSC 순으로 부숙이 안정화되었다.

4. 퇴비의 안정성 평가

- (1) 퇴비량이 증가할수록 토양의 물리화학성의 변화가 있었으며 상대적인 phyllite가 증가하여 토양의 공극 및 투수성을 저하시켰다.
- (2) 열무의生育 결과, PSPC10과 PSPC20이 PSC보다生育이 양호하였으며 특히 PSPC 10-20에서 가장 좋은生育효과가 있었다.
- (3) 상추에서는生育초기에는 PSC-10에서生育이 좋았지만生育 후기에는 PSPC10-20과 PSPC20-10에서 수확량이 증가되었다.
- (4) 두 종류의 작물재배결과生育 및 수확량은 PSPC10-20과 PSPC20-10에서 가장 좋았으며

다른 비에는 나타나지 않았다. 따라서 phyllite를 이용한 퇴비화에 의해 생산된 퇴비를 사용 수준별로 작물을 재배 할 경우, PSPC10에서는 20 Mg/ha와 PSPC20에서는 10 Mg/ha의 사용량이 가장 적당하였다.

참고 문헌

1. Burrows, S.(1951), Journal of the Science of food and Agriculture, 2, 403.
2. Harada, Y. and A. Inoko(1980), Relationship between cation-exchange capacity and degree of maturity of city refuse compost, Soil Sci. plant Nutr., 26(3) : 353~362.
3. Martin, R. C.(1993), Soil Sampling and Method of Analysis, Canadian Society of Soil Science : 529-555.
4. Zucconi, F., A. Pera, M. Forte and M. D. Bertoldi(1981), Evaluating toxicity of immature compost, Biocycle, 22 : 54~57.
5. 김상주, 신진산, 이문희, 박모상, 오윤진(1991), 벼 기계이앙 어린모 매트형성 촉진을 위한 Metalxyl 종자 침출 효과, 한국작물학회지 36(4): 287~293.
6. 김상주, 전연태, 박양홍(1990), 다단식 시령을 이용한 벼 어린모 육묘기술, 한국작물 학회지 35(6) : 492~496
7. 김상주, 최민구, 이선영, 유추현, 조수연(1996), 상토 종류별 질소 시비량이 벼 어린모 묘소질 및 배양양분 소모에 미치는 영향, 한국작물학회지 41(5) : 514~520.
8. 김용재, 신해용, 장강연(1988), 수도재배 이앙에 있어서 파종량이 배양물질의 소모 및 묘소질에 미치는 영향, 한국작물학회지 33(2) : 146~156
9. 나기창, 이동진, 김규한, 김정택(1988), 옥천층군의 변성혼재암 내에 부존된 탄질물의 흑연화 작용 및 안정 동위원소비에 관한 연구, 지질학회지 제24권, 199~212
10. 농림부(2000), 축산연구소 연구보고서
11. 농민신문, 1999. 10. 8일자

12. 농업과학기술원(1995), 비료분석법해설.
13. 농촌진흥청(1995), 농사시험연구조사기준.
14. 농촌진흥청(1998), 토양광물, 한국토양비료학회지 31 : 36~44
15. 농촌진흥청 농업기술연구소(1998), 토양화학분석법.
16. 박래연(1978), 벼 기계이앙 재배의 신기술 (어린모, 중묘, 성묘), 작물시험장 15~69.
17. 박완철, 하준수, 김태형, 신남철(1996), 축분 퇴비화장치 설계인자의 퇴비 안정도에 대한 영향 평가, 한국퇴비물학회지 13(4) : 476~486.
18. 이선용, 전연태, 박양홍(1990), 벼 어린모 완전 육묘 및 수도재배 기술 학위시험, I. 어린모 양분흡수 생리 구명시험. 호남시험보고서 : 210~212
19. 이주삼, 정재춘, 김남천(1995), 가정 및 축산폐기물의 퇴비화, 동화기술.
20. 오윤진 외 7인(1992), 기계 이앙모의 기술. I. 벼 어린모 기계이앙 재배기술 : 62~98.
21. 유영석(1997), 공극개선제의 혼합비율에 따른 제지·하수슬러지의 퇴비화 과정중 이화학적변화, 석사학위논문 : 11~36.
22. 유영석 외 13명(1999), 퇴비화의 이론 및 응용, 제3장 퇴비화의 이론, 동화기술. 49~
23. 윤세영(1996), 팽화왕겨의 퇴비화에 관한 연구, 한토비지 29(2) : 124~129.
24. 윤용대, 박양홍(1984), 수도 기계이앙 육묘에 관한 연구, 제 5보, 종자 육묘시 배유 양분의 소모가 묘 생육 및 활착에 미치는 영향, 한국작물학회지 27(1) : 25~30.
25. 윤용대, 오용비, 박성상, 박래경, 박양홍(1989), 벼 어린모 기계 이앙 재배 연구, I. 상토 종류 및 출아장 의 차이가 어린모 기계이앙 재배에 미치는 영향, 한국작물학회지 34 : 428~433.
26. 윤현수, 박용순, 이춘오, 이병대, 김경수(1993), 문경-상주사이에 분포하는 화강암류 석재의 암석학적 연구, 암석학회지. 2 : 32~40
27. 장기운, 김필주, 민경훈(1995), 음식물찌꺼기 고속발효기에 의해 처리된 퇴비의 안정성 검토
유기성 폐자원학회지 3(1) : 35~42.
28. 장기운, 윤종영(1999), 왕겨를 이용한 축분노 감량형 퇴비화, 석사학위논문 14~30
29. 장기운, 이상석(1998), 음식물찌꺼기 퇴비의 시용에 따른 토양의 이화학적 변화 및 작물 체내 염류의 흡수, J. of KOWREC 6(2) : 81-94.
30. 장기운. 이인복, 임재신(1995), 음식물찌꺼기를 이용한 퇴비의 부숙과정 중 이화학적 특성의 변화, 유기성 폐자원학회지 3(1) : 3~11.
31. 장기운, 조성현, 이인복(1998), 지속적 농업을 위한 고성능 토양의 개발 연구 I. 계분 및 돈분퇴비의 연용이 방울토마토의 생육 및 토양의 이화학적성에 미치는 영향, J. Korean Agric. Chem. Soc. 41(6) : 451-156.
32. 정광용(1995), 유기질 및 부산물 비료 활용상의 실제, 유기성퇴비물 비료화의 문제점과 대책 심포지움 : 17~45.
33. 최민규, 김상수(1996), 벼 기계이앙 육묘용 상토 효과 구명시험, 호남시험보고서. 313~315
34. 최부술(1991), 벼 어린모 이앙 육묘방법, '91 호남시험보고서 : 215~221.
35. 한진관, 고종한, 김두열(1999), 팽연화 왕겨를 이용한 벼 육묘기술 연구, 농기연 보고서 45~50.
36. 황동영, 김순철, 전연태, 김세현(1992), 남부 평야지대 벼 어린모 기계이앙 한계기 구명, 농사시험론 문집(수도편) 34(2) : 78~84.
37. 황동용, 박성태, 김순철(1996), 벼 기계 이앙용 고령토 세라믹 상토 시험. 영남시험보고서 321~323