

퇴비의 부숙 과정 중 추출물이 종자 발아력에 미치는 영향

강상재^{1*} · 이창희² · 서상현²

¹상주대학교 환경원예학과, ²경북대학교 농화학과

Effect of Water-Extracts from Sludge Compost on Seed Germination

Sang Jae Kang^{1*}, Chang Hee Lee², and Sang Hyun Seo²

¹Department of Environmental Horticulture, Sangju National University, Sangju 742-711, Korea

²Department of Agricultural Chemistry, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Abstract. In order to evaluate the physicochemical properties of sludge compost and to identify the effects water-extracts from sludge compost in 2, 6, 8, 12 weeks of decomposing process on seed germination and root elongation in cabbage, lettuce, soybean and barley plants was investigated.

The content of total nitrogen in sludge compost increased slightly in 6 weeks decomposing process, and then decreased gradually. Organic matter content decreased continuously overall decomposing process. As decomposition was processing, pH of sludge compost decreased slightly, and EC increase within 6 weeks decomposing process, and then decreased. The content of nitrogen in water-extracts from sludge compost increased within 8 weeks decomposing process and decreased in 12 weeks decomposing process. The content of ammonium nitrogen was similar with that of total nitrogen, and the ratio of ammonium and nitrate increased within 8 weeks, and then decreased. Cation content and EC decreased the late of decomposing process and pH didn't change. The water-extracts from sludge compost during decomposing process inhibited seed germination and root elongation in cabbage (*Brassica campestris*), lettuce (*Lactuca sativa*), barley (*Hordeum vulgare*) and soybean (*Glycine max*). The inhibition of root elongation in cabbage was greater than that of relative seed germination, whereas relative seed germination in lettuce was more inhibit than root elongation. Relative seed germination and root elongation in soybean were inhibited slightly, but those of in barley was inhibited strongly. In this study, we would identify the effects of water-extracts from sludge compost on seed germination and root elongation was different to the species of seed. The inhibition of seed germination and root elongation treated with the water-extracts which extracted from sludge compost in the early stage of decomposing process was greater than that of in the late stage of decomposing process.

Key words : barley, cabbage, lettuce, sludge compost, soybean

*Corresponding author

서 언

유기 또는 자연농업은 인위적인 물질의 투입을 최대한 억제하는 농업으로 이를 위해 농가에서는 여러 가지 친환경적인 방법을 있으며 이중 토양비옥도를 향상시키는 한 방법으로 부산물비료(퇴비) 사용이 증가되고 있다. 이러한 퇴비의 사용으로 고품질의 농산물을 생산할 수 있다고 믿고 있으며 일부 농가에서 시판되는 부산물비료(퇴비)를 유기질비료라 믿고 토양을 비옥하게 만든다고 생각하여 과다 사용하고 있다. 이로 인해 농토에 대한 특정 성분의 과잉 축적에 따른 문제 및

미숙 퇴비 사용에 따른 여러 가지 문제점들이 대두되고 있으며 이를 극복하기 위해 많은 연구들이 진행되고 있다.

국내의 퇴비 관련 연구들은 1970년대에는 인축 분뇨를 대상으로 하여 부족한 토양 유기물 자원을 확보하는 측면에서 수행되었으며(Oh 등, 1971; Hong 등, 1973; Oh 등, 1975; Han 1978), 1980년대는 다양하게 발생하는 유기성 폐기물의 비료로서의 재활용 측면에서 주로 연구되었다(Jeong 등, 1981; Shin 등, 1983; Shin, 1984; Oh 등, 1984; Yuk과 Cho, 1985; Uh과 Han, 1983). 최근에는 퇴비의 유해성에 대한 연구가 진행되

고 있으나 미흡한 실정이다(Seo 등, 1998; Seo 등, 1999).

퇴비의 유해성에 대한 연구는 미숙 퇴비에 초점이 맞추어져 있으며, 특히 미숙 퇴비가 작물 생육을 저해하는 현상이 나타난다고 보고되고 있다. Morel 등(1985)은 미숙 퇴비의 토양 사용은 식물 종자의 발아와 식물 생장에 나쁜 영향을 나타낸다고 하였으며, Zucconi 등(1981)은 이러한 미숙 퇴비의 식물 생장 저해 현상은 미숙 퇴비가 미생물을 활성화하고 토양 유효성 질소의 잔류를 저해하기 때문에 발생한다고 하였다. Kirchman과 Widen(1994)은 퇴비화 과정 중에 있는 퇴비로부터 추출한 물 추출물이 종자 발아를 부분적으로 저해시키거나 발아를 지연시킨다고 보고하였고, Shiralipour 등(1997)은 부숙 과정 2~4주의 퇴비로부터 얻은 물 추출물은 상온에서 종자 발아가 저해되거나 발아가 지연된다는 것을 보고하였다.

퇴비의 부숙도 평가는 퇴비의 물리화학적 및 생물학적 특성의 안정화 정도를 평가하는 개념으로 이해되어야 한다. 퇴비의 부숙도는 식물의 생장과 종자발아에 영향을 미치며 또한 환경적인 유해성을 상당히 포함하고 있으므로 퇴비의 부숙도에 따른 유해성을 평가하는 것은 퇴비의 품질 향상 및 안전 사용을 가능하게 하는 필수요소이므로 이에 관한 연구가 절실히 요구된다(Bertoldi 등, 1975; Chen과 Aviad, 1990; Chen 등, 1997; Morel 등, 1985).

한편 퇴비의 부숙도를 측정하기 위해 식물 독성(phytotoxicity)을 평가하는 것은 퇴비가 토양에 사용되기 전에 환경적인 위험 요소를 없애기 위해서 사용되는 가장 중요한 기준 중에 하나로 사용될 수 있다(Tiquia 등, 1996). 식물종자의 발아시험은 퇴비 중에 존재하는 여러 가지 독성 화합물에 의해 야기되는 피해를 측정하여 판단하기 위하여 실시한다(Wang과 Keturi, 1990). 종자 발아 시험의 대상 식물은 배추, 상추, 당근, 오이, 토마토 등을 포함하여 많은 식물 종들이 사용되며(USEPA, 1982; FDA, 1987) 종자 발아율과 뿌리 생장률은 퇴비의 유해성과 식물독성을 평가하는데 주로 사용된다(Wong, 1985).

우리나라의 퇴비 제조시 주원료나 제조 방법이 외국과는 상이하므로 우리나라 실정에 맞는 퇴비의 평가 기준이 필요하며 이를 정립하기 위한 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다. 따라서 본 논문에서는

Table 1. The composition of composting materials.

	Main materials	Composition rate (%)
Sludge compost	Beer sludge	35
	Fish sludge	35
	Saw dust	30

국내에서 제조되는 퇴비의 제조 과정에서 퇴비화 단계별로 시료를 채취하여 종자 발아와 뿌리의 생장 시험을 통해서 퇴비의 부숙도에 따른 식물 독성(phytotoxicity)을 평가하여 보다 토양환경에 유익하고 고품질의 퇴비생산 및 적정 사용에 관한 기초자료로 활용하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 연구의 공시재료는 Table 1과 같이 맥주슬러지(35%)와 생선 슬러지(35%)를 주원료로 하고 톱밥(30%)을 혼합하여 로터리식 공법으로 제조되고 있는 슬러지퇴비이며 제조 과정 중 일정 기간별로 시료를 채취하였다.

분석용 시료는 Table 1과 같이 원료를 혼합하고 퇴비화를 시작한 후 각각 2, 6, 8, 12주째에 각각 채취하였으며 60°C에서 48시간 건조하여 2 mm체를 통과시킨 시료를 각각 SC-2, SC-6, SC-8, SC-12로 명명하고 보관하면서 실험에 사용하였다.

시료의 물리화학적 특성

시료의 물리화학적 분석은 농촌진흥청농업과학기술원에서 고시한 비료의 품질검사 방법 및 시료채취 기준(RDA, 1996)에 준하여 다음과 같이 실험을 수행하였다. 수분함량은 적외선수분측정기(Denver instrument IR-200)를 이용해 측정하였으며, 전 질소 함량은 auto-Kjeldahl장치(Bchi 323)를 사용하여 Kjeldahl법으로 측정하였다. 유기물 함량은 회화법, pH는 시료에 증류수(1:10)를 첨가하여 30분간 진탕한 후 여과하여 pH-meter(Orion 410A)로 측정하였다. 양이온(K, Ca, Mg) 및 염분(NaCl)함량은 시료를 습식분해한 후 원자흡수분광도법(Shimadzu AA6601F)으로 분석한 후 환산하였다. 염류농도(EC)는 퇴비시료에 10배 부피의 증류수를 첨가하여 30분간 진탕한 후 여과하여 그 여액을 EC-meter(Mettler MC-226)로 측정하였다.

Table 2. Physicochemical properties of sludge compost.

Sludge compost	pH (1:10)	T-N ^y (%)	OM ^x (%)	Cations (mg·kg ⁻¹)			Moisture (%)	EC ^w (dS·m ⁻¹)	NaCl (%)
				Ca ⁺²	K ⁺¹	Mg ⁺²			
SC-2 ^z	6.99	0.95	89.12	10,220	4,700	1,100	4.62	1.58	0.16
SC-6	6.40	3.20	79.09	500	4,100	1,900	2.61	2.55	0.57
SC-8	7.26	3.19	64.72	4,860	6,100	2,600	3.59	2.48	0.37
SC-12	7.09	1.51	49.57	3,280	3,200	2,100	3.96	1.41	0.41

^zSludge compost (SC) was sampled in 2, 6, 8, and 12 weeks of decomposing process.

^yTotal Nitrogen.

^xOrganic Matter.

^wElectric Conductivity.

시료의 물 추출물 조제 및 분석

시료의 물 추출물은 슬러지퇴비 20g에 10배 부피의 증류수를 첨가하여 25°C에서 4시간 진탕(130rpm)하고 여과하여 그 여액을 수집하였으며 동일한 과정을 2회 반복 수행하였다. 수집한 여액을 여과(0.45µm)한 후 최종 부피가 100mL가 되도록 감압 농축하여 각각 WSC-2, WSC-6, WSC-8, WSC-12이라 하고 본 실험에 사용 하였다.

시료의 물 추출물의 물리화학적 특성 분석은 표준분석법(RDA, 1996)을 약간 변형하여 다음과 같이 수행 하였다. 전 질소 함량은 auto-Kjeldahl장치(Bchi 323)를 사용하여 Kjeldahl법으로, 암모늄태 질소의 함량은 시료의 물 추출물을 10mL에 5배 부피의 2.0M-KCl를 가하여 30분간 진탕한 후 증류하고 전 질소 함량 측정법과 동일한 방법으로 측정하였다. 질산태질소는 암모늄태질소를 증류하고 난 여액에 devard's alloy 0.2g을 신속하게 넣은 후 켈달법과 동일하게 적용하였으며 기타 특성 분석은 퇴비시료와 동일한 방법으로 수행하였다.

생물 검정

시료의 물 추출물에 대한 식물독성(phytotoxicity)시험에 사용된 대상 식물은 배추(*Brassica campestris*), 상추(*Lactuca sativa*), 보리(*Hordeum vulgare*) 및 콩(*Glycine max*) 등 4종의 식물종자를 사용하였다. 발아 시험은 시료의 물 추출물 각각 5mL를 여과지를 칸 사이에 각각 분주하고, 식물종자는 70% 에탄올로 1~2분간 종피를 소독하고 멸균증류수로 세척한 후 종자의 크기를 고려하여 적정 수의 종자를 정제한 후 27°C, 습도 75%의 성장상에서 수행하였다. 증류수를 처리한 대조구의 종자 발아 수 및 뿌리 길이를 기준으로 하

여 시료의 수용성 추출물 처리구의 종자발아율(Seed Germination)과 상대 뿌리생장을(Root Elongation)로 나타내었으며 뿌리 길이를 함께 표시하였다. 뿌리 생육에 대한 저해 효과를 관찰하기 위해서 발아한 종자의 뿌리 길이를 평균치로 나타내었으며 발아하지 않은 종자는 뿌리생장을 계산에서 제외하였다.

결과 및 고찰

시료의 화학적 특성

슬러지 퇴비(sludge compost)의 퇴비화 단계별 시료의 화학성 분석 결과는 Table 2에 나타낸 바와 같다.

총 질소 함량은 퇴비화 초기 단계인 2주째는 0.95%정도 이었다가 퇴비화 6주째에는 3.20%로 증가하는 경향을 보였다. 퇴비화 8주째 퇴비는 3.19%로 다소 감소하였으며, 퇴비화 12주째에서는 1.51%로 지속적으로 감소하는 경향을 보였다. 시료의 총 질소 함량의 변화는 퇴비화가 진행됨에 따라 퇴비화 6주째까지는 그 함량이 다소 증가하다가 퇴비화가 더 진행됨에 따라서 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 유기물 함량은 퇴비화가 진행될수록 전반적으로 유기물 함량이 감소하는 경향을 나타내었다. 일반적으로 퇴비의 부숙 초기 단계에서는 pH가 감소하는 경향을 나타내지만, 호기성 조건이 안정화되면 미생물의 생육이 왕성해져서 유기태 질소의 암모니아화 작용이 촉진되므로 pH가 상승(Sohn 등, 1996)하는 것으로 알려져 있는데 본 연구에서도 퇴비화가 진행됨에 따라 pH가 감소하다가 퇴비화 후반부에서는 중성 부근을 나타내었다. EC에서는 퇴비화 2주째에는 1.58dS·m⁻¹이던 것이 6주째에는 2.55dS·m⁻¹로 증가한 후 8주째 2.48dS·m⁻¹, 12주째 1.41dS·m⁻¹로 다시 낮아지는 경향을 보였다.

Table 3. Physicochemical properties of water-extracts from sludge compost.

Sludge compost	pH	Nitrogen content (%)			Cations (mg·kg ⁻¹)			EC ^x (dS·m ⁻¹)
		T-N ^y	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Ca ⁺²	K ⁺¹	Mg ⁺²	
WSC-2 ^z	6.76	0.17	0.06	0.09	4.91	149.46	8.44	3.43
WSC-6	6.41	0.28	0.10	0.14	8.82	82.03	6.06	3.14
WSC-8	6.25	0.23	0.10	0.12	9.88	45.44	5.51	3.29
WSC-12	6.51	0.19	0.05	0.13	2.93	22.31	1.53	1.72

^zWater extract from sludge compost (WSC) was extracted in 2, 6, 8, and 12 weeks of decomposing process.

^yTotal nitrogen.

^xElectric conductivity.

Table 4. Germination percent and relative root elongation for cabbage treated with water-extracts of sludge compost.

Treatm,ent time	Seed germination (%)				Root elongation (%) (mm) ^y			
	WSC-2 ^z	WSC-6	WSC-8	WSC-12	WSC-2	WSC-6	WSC-8	WSC-12
1 day	90.0	100	100	100	21.6 (1.0±0.0)	48.3 (2.2±0.5)	51.5 (2.4±0.5)	64.9 (3.0±0.5)
2 days	92.5	100	100	100	32.7 (4.2±0.6)	64.9 (8.3±0.9)	73.2 (9.3±0.5)	82.6 (10.5±0.9)
3 days	96.7	100	100	100	52.4 (12.0±1.1)	82.5 (18.9±2.1)	95.3 (21.8±1.5)	98.0 (22.5±1.4)
5 days	96.7	100	100	100	63.8 (30.1±2.2)	100 (47.2±2.0)	100 (47.2±2.0)	100 (47.2±2.0)
10 days	96.7	100	100	100	64.4 (31.0±2.2)	100 (48.2±3.1)	100 (48.2±3.1)	100 (48.2±3.1)

^zWater extract from sludge compost (WSC) was extracted in 2, 6, 8, and 12 weeks of decomposing process.

^yMean ± SE (n=10).

시료의 물 추출물에 대한 화학적 특성

슬러지 퇴비(sludge compost)의 퇴비화 단계별 시료의 물 추출물에 대한 물리화학적 특성과 질소의 함량 변화를 Table 3에 나타내었다.

총 질소 함량은 퇴비화 2주째는 0.17%를 나타내었으며, 퇴비화가 진행됨에 따라서 그 함량이 증가하다가 퇴비화 12주째에는 0.19%로 감소하였다. 암모니아태 질소는 퇴비화 2주째는 0.06%를 나타내었으며 퇴비화가 진행될수록 증가하다가 퇴비화 후반부에는 0.05%로 낮아지는 경향을 보였으며, 질산태 질소는 퇴비화 초기 단계에 0.09%에서 전반적으로 증가하는 경향이 나타내어 암모니아태질소와 질산태질소의 비가 8주까지는 증가하다가 12주째에는 오히려 감소하는 경향을 보였다. Finstein과 Miller(1985)는 퇴비화 단계에서 아질산염이나 질산염이 생겨날 때가 퇴비를 이용할 수 있는 시기라고 하여 질산화 정도로 퇴비의 부숙도를 판정하였으며, Riffaldi(1986)는 퇴비의 부숙도 평가에 있어서 암모늄태질소의 감소와 안정화 그리고 질산염의 증가가 안정화 지표라고 하였는데 본 연구에서는

12주간 발효한 시료에서 그러한 경향이 나타났다. 양이온 함량은 퇴비화가 진행됨에 따라 퇴비화 초기 단계보다 퇴비화 후반부에서 모든 양이온 함량이 감소하는 경향을 나타냈으며, 특히 다른 양이온에 비하여 K함량이 퇴비화 초기 단계보다 크게 감소하는 경향을 보여 주었다. pH의 경우에는 뚜렷한 변화를 나타내지 않았고 평균 pH 6.48정도를 나타내었으며, EC의 경우에는 퇴비화 2주째는 3.43dS·m⁻¹에서 12주째 1.72dS·m⁻¹로 낮게 나타났다.

시료의 물 추출물에 대한 종자발아 및 뿌리생장

퇴비화 각 단계별로 채취한 시료(sludge compost)의 물 추출물에 대한 4종의 식물종자의 발아율과 뿌리 생장율을 조사한 결과를 Table 4~6에 나타내었다. 퇴비화 기간별 시료의 물 추출물에 대한 발아 시험에서 배추 종자의 발아율은 퇴비화 2주째 시료의 물 추출물 처리구에서 발아율은 발아 1일째에 90.0%를 나타내었으며 2일째에는 92.5%, 3일째에는 96.7%, 5일째부터는 96.7%로 발아율의 변화가 크지 않았으며 발아 초

퇴비의 부숙 과정 중 추출물이 종자 발아력에 미치는 영향

Table 5. Germination percent and relative root elongation for lettuce treated with water-extracts of sludge compost.

Treatment time	Seed germination (%)				Root elongation (%) (mm) ^y			
	WSC-2 ^z	WSC-6	WSC-8	WSC-12	WSC-2	WSC-6	WSC-8	WSC-12
1 day	15.8	47.4	65.8	68.4	30.6 (0.6±0.0)	69.7 (1.3±0.1)	67.6 (1.2±0.1)	100 (1.8±0.1)
2 days	27.6	55.2	56.9	63.8	51.5 (1.9±0.2)	73.2 (2.7±0.2)	73.5 (2.7±0.2)	100 (3.7±0.2)
3 days	42.6	56.1	64.2	77.7	76.4 (5.6±1.1)	85.2 (6.2±1.3)	87.6 (6.4±1.0)	100 (7.3±1.2)
5 days	43.2	48.6	52.9	70.3	100 (17.7±1.6)	100 (17.7±1.6)	100 (17.7±1.6)	100 (17.7±1.6)
10 days	43.8	48.0	51.6	69.9	100 (18.7±2.1)	100 (18.7±2.1)	100 (18.7±2.1)	100 (18.7±2.1)

^zWater extract from sludge compost (WSC) was extracted in 2, 6, 8, and 12 weeks of decomposing process.

^yMean ± SE (n=10).

Table 6. Germination percent and relative root elongation for soybean treated with water-extracts of sludge compost.

Treatment time	Seed germination (%)				Root elongation (%) (mm) ^y			
	WSC-2 ^z	WSC-6	WSC-8	WSC-12	WSC-2	WSC-6	WSC-8	WSC-12
1 day	0	0	0	0	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
2 days	0	0	0	0	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
3 days	33.2	0	33.3	100	68.7 (11.4±1.0)	0 (0)	94.4 (15.7±1.1)	77.3 (12.8±1.1)
5 days	100	100	100	100	86.8 (23.7±2.2)	90.8 (24.8±2.5)	100 (27.3±2.1)	100 (27.3±1.9)
10 days	100	100	100	100	88.3 (30.2±3.2)	91.7 (31.4±2.8)	100 (34.2±3.0)	100 (34.2±2.7)

^zWater extract from sludge compost (WSC) was extracted in 2, 6, 8, and 12 weeks of decomposing process.

^yMean ± SE (n=10).

기에 약간의 저해작용이 확인되었다. 그에 비해 퇴비화 6주째, 8주째, 12주째 시료의 물 추출물 처리구에서는 발아 1일째에 발아율이 100%를 나타내었다. 배추 종자의 뿌리 성장율은 퇴비화 2주째 시료의 물 추출물 처리구에서 발아시험 1일째에 21.6%, 2일째에 32.7%, 3일째에 52.4%, 5일째에는 63.8%, 10일째에는 64.4%로 뿌리생장은 시간이 경과해도 대조구에 비해 상당한 저해를 나타내었으며 퇴비화 6주째와 8주째 시료의 물 추출물에 대해서는 발아 1일째에 뿌리 성장율이 각각 48.3%와 51.5%를 나타내던 것이 5일째부터는 각각 발아율 100%에 이르러 비교적 빠른 시일에 회복되었다. 퇴비화 12주째 시료의 물 추출물 처리구에서는 발아 1일째에 뿌리 성장율이 64.9%, 2일째에 82.6%, 3일째 98.0%, 5일째부터는 100%를 나타내어 그 저해 효과가 현저히 감소하는 경향을 나타내었다(Table 4).

상추 종자에 대한 발아율과 뿌리생장을 시험에서도 전반적으로 종자 발아에 대한 저해가 확인되었다. 퇴비화 2주째 시료의 물 추출물 처리구에서 저해가 더 크게 나타났으나 퇴비화가 진행될수록 종자 발아에 대한 저해가 적어지는 경향을 보였다. 뿌리 성장율에서 퇴비화 초기 단계 시료의 물 추출물은 퇴비화 후반부 시료의 물 추출물에 비해 저해 효과가 크게 나타났으며 발아 초기에 저해 효과가 현저히 관찰되어 배추에 대한 시험과 유사한 경향을 나타내는 것이 확인되었다.

퇴비화 단계별 시료의 물 추출물에 대한 발아 시험 결과 배추 종자에서는 뿌리 성장에 대한 저해가 종자 발아에 대한 저해에 비해 더 크게 나타났으나 상추 종자에 대해서는 뿌리 성장에 비해 종자 발아에 대한 저해가 더 크게 나타났다. 이러한 종자 발아와 뿌리 생육에 대한 저해는 시간이 경과함에 따라 다소 감소

히는 경향을 보였으나, 발아 초기의 저해작용의 영향이 지속됨을 관찰할 수 있었다. 작물에 따라서 그 정도는 달랐으나 종자 발아와 뿌리 생육을 저해함을 관찰할 수 있었으며, 퇴비화 초기 단계 시료 처리구에서 저해 현상이 현저히 나타남을 관찰할 수 있었다(Table 5).

콩 종자에 대한 종자 발아율은 발아 2일차까지는 발아가 되지 않았는데 퇴비화 2주째 시료의 물 추출물에서는 발아 3일째에 33.2%의 발아율을 나타내었으며 발아 5일째부터는 발아율이 100%에 이르렀다. 퇴비화 6주째와 8주째 시료의 물 추출물에서는 발아 5일째에 100%를 나타내었으며 퇴비화 12주째 시료의 물 추출물에서는 발아 3일째에 100%의 발아율을 나타내었다. 콩 종자에 대한 퇴비 물 추출물의 발아 저해작용은 발아 초기에 다소 관찰되었으나 시간이 경과함에 따라 저해는 거의 관찰할 수 없었다. 콩 종자는 뿌리 생장율에서도 퇴비화 2주째 시료의 물 추출물에 대해서는 발아 3일째에 68.7%, 발아 5일째에 86.8%, 발아 10일째에는 88.3%의 뿌리 생장율을 나타내었다. 퇴비화 6주째 시료의 물 추출물의 경우에는 발아 5일째에 90.8%를 나타내었으며, 발아 10일째에는 91.7%의 뿌리 생장율을 나타내었으며 퇴비화 8주째 시료의 물 추출물에서는 발아 3일째에 94.4%, 발아 5일째에는 100%에 이르렀다. 퇴비화 12주째 퇴비 물 추출물의 경우에는 발아 3일째에 77.3%를 나타내던 것이 발아 5일째에는 100%의 뿌리 생장율을 나타내었다(Table 6). 콩 종자에 대한 발아 저해 효과는 발아 초기에 미약하게 나타났으며 퇴비화 후반부 시료 처리구에서는 저해 효과를 거의 관찰할 수 없었다.

보리 종자는 퇴비화 2주째와 6주째 시료의 물 추출물에서는 발아 10일째까지 발아가 이루어지지 않았다. 퇴비화 8주째 시료의 물 추출물의 경우에 발아 3일째에 25%의 발아율을 나타내었으며 그 이후 발아율의 변화는 관찰되지 않았다. 퇴비화 12주째 시료의 물 추출물에서는 발아 3일째에 50%의 발아율을 나타내었으며 발아 3일째 이후에는 변화가 관찰되지 않았다. 보리 종자의 뿌리 생장율은 퇴비화 2주째와 6주째 시료의 물 추출물에서는 발아가 이루어지지 않았으며 퇴비화 8주째 시료의 물 추출물에 대해서는 발아 10일째에도 16.6%의 낮은 뿌리 생장율을 나타내었다. 퇴비화 12주째 시료의 물 추출물에서는 발아 3일째에 98.3%, 발아 5일째에는 61.7%, 발아 10일째에는 63.0%의 뿌리 생장율을 나타내었다(Table 7).

슬러지 퇴비(sludge compost)의 퇴비화 단계별 시료의 물 추출물에 대한 콩과 보리 종자의 발아시험 결과 콩 종자에서는 발아 저해가 있었으나 그 정도는 극히 미약했다. 반면 보리 종자에서는 발아 저해 작용이 뚜렷하게 나타났으며 특히 퇴비화 2주, 6주, 8주째 시료의 물 추출물 처리구에서는 발아가 전혀 이루어지지 않았다. 퇴비화 후반부 시료의 물 추출물 처리구에서는 그 저해작용이 다소 적게 나타났으나 발아 전 과정에 걸쳐 저해가 지속됨을 관찰할 수 있었다.

Cheng 등(1989)에 의하면 식물 종의 독성에 대한 민감도는 식물의 저장양분(food reserves)의 양에 의존한다고 보고하고 있다. 그의 연구에서 저장양분이 많은 곡류 및 근채류가 비교적 더 작은 저장양분을 갖는 엽채류보다도 독성에 대한 내성이 더 크다고 보고하였

Table 7. Relative seed germination and root elongation for barley treated with water-extracts from sludge compost.

Treatment time	Seed germination (%)				Root elongation (%) (mm) ^y			
	WSC-2 ^z	WSC-6	WSC-8	WSC-12	WSC-2	WSC-6	WSC-8	WSC-12
1 day	0	0	0	0	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
2 days	0	0	0	0	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
3 days	0	0	25.0	50.0	0 (0)	0 (0)	16.4 (4.5±0.2)	98.3 (26.9±3.3)
5 days	0	0	25.0	50.0	0 (0)	0 (0)	15.8 (12.0±2.3)	61.7 (46.9±4.1)
10 days	0	0	25.0	50.0	0 (0)	0 (0)	16.6 (12.9±1.3)	63.0 (61.2±5.1)

^zWater extract from sludge compost (WSC) was extracted in 2, 6, 8, and 12 weeks of decomposing process.

^yMean ± SE. (n=10).

다. 그러나 본 연구에서는 상추와 배추, 콩의 세 종류의 종자에서는 유사한 경향을 나타내었으며 보리종자에서 가장 민감한 저해작용을 나타내어 그들의 연구결과와는 약간 다른 경향을 나타내었다.

적 요

슬러지퇴비의 제조과정에서 2, 6, 8, 12주째 시료의 수용성 추출액이 몇 가지 식물의 종자 발아율과 뿌리 생장에 미치는 영향에 대하여 조사한 결과는 다음과 같다. 퇴비시료 중의 총 질소 함량의 변화는 퇴비화 6주째까지는 그 함량이 다소 증가하다가 그 이후에는 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 유기물 함량은 퇴비화가 진행될수록 전반적으로 유기물 함량이 감소하는 경향을 나타내었고, pH는 감소하다가 퇴비화 후반부에서는 중성 부근을 나타내었으며 EC는 6주째에는 증가하다가 다시 낮아지는 경향을 보였다. 시료의 수용성 추출액의 총 질소 함량의 변화는 점차 그 함량이 증가하다가 퇴비화 12주째에는 감소하였다. 암모니아태 질소의 함량변화는 총질소의 변화와 같은 양상이었으며 암모늄태질소와 질산태질소와의 비율은 8주째까지는 증가하다가 12주째에는 오히려 감소하는 경향을 보였다. 양이온 함량은 퇴비화가 진행됨에 따라 퇴비화 초기 단계보다 퇴비화 후반부에서 모든 양이온 함량이 감소하는 경향을 나타냈다. pH는 뚜렷한 변화를 보이지 않았으며 평균 pH 6.48정도를 나타내었으며 EC는 퇴비화 2주째는 $3.43\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 12주째 $1.72\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 낮게 나타났다.

배추 종자에서는 뿌리 생장에 대한 저해가 종자 발아에 대한 저해 보다 더 크게 나타났으나 상추 종자에서는 뿌리 생장에 비해 종자 발아에 대한 저해가 더 크게 나타났다. 퇴비화 과정 중 시료의 수용성 추출액에 대한 콩과 보리 종자의 발아시험 결과 콩 종자에서는 발아 저해가 있었으나 그 정도는 극히 미약했다. 반면 보리 종자에서는 발아 저해 작용이 뚜렷하게 나타났으며 특히 퇴비화 2주, 6주, 8주째 시료의 수용성 추출액 처리구에서는 발아가 전혀 이루어지지 않았다. 결론적으로 퇴비의 수용성 추출액의 저해작용은 식물의 종에 따라 그 정도는 다르게 확인되었으며, 종자 발아와 뿌리 생육에 대한 저해는 퇴비의 부숙 시간이 경과함에 따라 다소 감소하는 경향을 보였다.

전체적으로 부숙 초기 퇴비의 수용성 물 추출액이 종자 발아와 뿌리 생장에 대한 저해가 크게 나타났으며 퇴비화가 진행될수록 종자 발아 및 뿌리 생장이 회복되는 경향을 나타내었다.

주제어 : 발아시험, 뿌리생장을, 수용성추출액, 슬러지퇴비

사 사

이 논문은 상주대학교 2007년 학술연구지원금에 의해 연구되었음.

인용문헌

- Bertoldi, M.D., U. Citemesi, and M. Griselli. 1975. Bulking agent in sludge composting. *Compost Science* 21:32-36.
- Chen, Y. and T. Aviad. 1990. Effect of humic substances on plant growth. In: P. MacCarty, C. E. Clapp., R. L. Malcolm and P. R. Bloom (eds.) *Humic substances in soil and crop science: Selected readings. Proceedings of a symposium cosponsored by the International Humic Substances Society, Chicago, IL.* p. 161-186.
- Chen, K.S., Y.G. Lo., C.H. Chang, and S.S. Yang, 1997. Utilization of thermophilic *actinomycetes* in agricultural waste treatment. In: *Abstracts of the 2nd International Conference on Environmental Chemistry and Geochemistry in the Tropics.* p. 24. Ed. by Tahir, N. M. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Cheng, Y.H., M.H. Wong, and N.F.Y. Tam, 1989. Root and shoot elongation as an assessment of heavy metal toxicity and 'Zn equivalent value' of edible crops. *Hydrobiol.* 188:377-383.
- Finstein, M.S. and F.C. Miller. 1985. Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odor control, and cost effectiveness. In: *Composting of Agricultural and Other Wastes,* p. 13-26. Ed. by Gasser, J. K. R., Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Food and Drug Administration(FDA). 1987. Seed germination and root enlongation. Environmental assessment of technical assistance document 4.06. The centre for food safety and applied nutrition and the centre of veterinary medicine. U.S. Department of health and human services. Washington. D. C.
- Han, K.H. 1978. Utilization of industrial wastes for organic fertilizer use. *Kor. Soc. of Soil and Fert.*

- 11:195-206.
8. Hong, C.W., Y.G. Jung, C.S. Park, and Y.S. Kim. 1973. The chemical properties and fertilizer effect of a residual by-product of glutamic acid fermentation I. Chemical properties and effect on the growth of corn. Kor. Soc. of Soil and Fert. 6:159-163.
 9. Jeong, G.Y., J.S. Shin, Y.S. Park, and K.H. Han. 1981. Use of industrial wastes as sources of organic fertilizer I. Resource survey 14:83-87.
 10. Kirchmann H. and P. Widen. 1994. Fatty acid formation during composting of separately collected organic household waste. Compost Science and Utilization 2:17-19.
 11. Morel, J.L., F. Colin, J.C. Germon, P. Godin, and C. Juste. 1985. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost. In Composting of Agricultural and Other Wastes, ed. J. K. R. Gasser. Elsevier Applied Science, New York, USA, p. 56-72.
 12. Oh, W.K., B.L. Cho, and K.E. Lee. 1971. The effect of soil addition to oil-cake on decaying of the oil-cake and its efficiency as a fertilizer. Kor. Soc. of Soil and Fert. 4:137-141.
 13. Oh, W.K., J.S. Oh, and G.H. Lee. 1975. Studies on the use of glutamic acid fermentation residuum in agriculture. Kor. Soc. of Soil and Fert. 8:97-103.
 14. Oh, W.K., C.S. Lee, and H.K. Kwak. 1984. Effect of sewage sludge application on yield in paddy soil. Kor. Soc. of Soil and Fert. 17:134-140.
 15. Riffaldi, R., R. Levi-Minzi, and A. Pera. 1983. Humic fraction of organic wastes. Agric. Ecosyst. 10:353-359.
 16. Rural Development Administration (RDA). 1996. Methods of fertilizer chemical analysis and sampling.
 17. Seo M.C., K. Kuroda, D. Hanajima, and K. Haga. 1998. Effect of thermophilic ammonium tolerant bacteria on malodors emission of composting of pig manure. Kor. Soc. of Soil and Fert. 31:77-84.
 18. Seo M.C., K.H. So, and W.M. Park. 1999. Assays of maturity and antifungal activity against plant pathogen during the animal manure composting process. Kor. Soc. of Soil and Fert. 32:285-294.
 19. Shin, J.S., D.K. Lim, and K.S. Seong. 1983. Use of industrial wastes as sources of organic fertilizer II. Effect of activated sludge from alcohol fermentation on rice. Kor. Soc. of Soil and Fert. 16:256-259.
 20. Shin, J.S. 1984. Use of industrial wastes as sources of organic fertilizer III. Effect of lime added sludge on upland crop of corn. Kor. Soc. of Soil and Fert. 17:51-54.
 21. Shiralipour, A., D.B. McConnell, and W.H. Smith. 1997. Phytotoxic effects of a short-chain fatty acid on seed germination and root length of *Cucumis Sativus* cv. 'Poinset'. Compost science & Utilization 5:47-52.
 22. Sohn B.K., J.H. Hong, and K.J. Park. 1996. Comparative studies on static windrow and aerated static pile composting of the mixtures of cattle manure and rice hulls I. Variation of physicochemical parameters. Kor. Soc. of Soil and Fert. 29:403-410.
 23. Tiquia, S.M., N.F.Y. Tam, and I.J. Hodgkiss. 1996. Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-mature sawdust litter. Environ. Pollut. 93:249-256.
 24. Uhm, D.I. and K.W. Han. 1983. Study on the application of miwon organic fertilizer (by product of amino acid fermentation to the ginseng cultivation) I. The application effect of miwon organic fertilizer on the germination rate of ginseng seed, growth of ginseng plant and physicochemical properties of soil. Kor. Soc. of Soil and Fert. 16:274-279.
 25. US Environmental Protection Agency (USEPA). 1982. Seed germination/ root elongation toxicity test. EG-12. Office of Toxic substances. Washington. D. C., USA.
 26. Wang, W. and P.H. Keturi. 1990. Comparative seed germination tests using ten plant species for toxicity assessment of a metal engraving effluent sample. Wat. Air Soil Pollut. 52: 369-376.
 27. Wong, M.H. 1985. Effects of animal manure composts on tree(*Acasia confusa*) seedling growth. Agric. Waste 13:261-272.
 28. Yuk, C.S., and S.J. Cho. 1985. Effect of beer sewage sludge application on red pepper. Kor. Soc. of Soil and Fert. 18:113-120.
 29. Zucconi, F., A. Para, and M. Forte. 1981. Biological evaluation of compost maturity. BioCycle 7:27-29.