



삼중염을 이용한 음식물 쓰레기 퇴비의 염분(NaCl) 분해방법

김남천, 장병만*

서울보건대학 환경관리과, 장우경화학*

(2004년 8월 19일 접수, 2004년 9월 17일 채택)

Sodium Chloride Decomposing Method in Food Waste Compost using Triple Salt

Nam-Chean Kim, Byung-Man Jang*

Department of environmental Science Technology, Seoul Health College / Chang Woo Kyung Chemical Co.*

ABSTRACT

The characteristics of food waste in our country is high contents of water and sodium chloride(NaCl). Average water contents of household garbage was 80.0%, and those of wastes of restaurants and of wholesale market of agricultural products was 76.9% and 90.0%, respectively. The NaCl contents were high in household garbage and restaurant's waste as 3.36% and 4.84%, respectively. The NaCl contents of food waste composts made by various techniques known upto now were under the level of 1% by fresh weight basis. But these techniques has some problem that is environment pollution from treated water and high equipment cost.

The application to agricultural land of food waste compost that is not sufficiently removed NaCl was considered to be improper due to salt accumulation in soils and plant growth inhibition by salt stress. The purpose of this study is to decompose NaCl in food waste compost using triple salt and this method is differ from existing chemical method. Also, reaction of NaCl with triple salt produced KCl that is basic material of potassium fertilizer.

The experiment results of growing lettuce produced difference between food waste compost and treated food waste compost with triple salt. The latter got more high sprouting ratio and a growth rate.

Key words : Food waste compost, NaCl, KCl, Triple salt

초 록

우리나라 음식물쓰레기의 특징은 높은 수분함량과 고농도의 염분(NaCl)을 함유한다. 음식물쓰레기 수분

함량은 가정의 경우 80.0%이고 음식점이나 농수산물시장에서 발생하는 것은 각각 76.9%와 90.0%의 함량을 가지며 염분 함량은 가정쓰레기와 음식점쓰레기가 각각 3.36%와 4.84%를 함유하고 있다. 음식물쓰레기 퇴비 중 염분함량을 1% 이하로 조절하기 위해 지금까지 여러 가지 방법이 개발되었다. 그러나, 이런 방법들은 침출수 과다로 인한 환경오염 또는 높은 장치비 등의 문제를 가지고 있어 실용화에 어려움을 가지고 있다. 염분이 충분히 제거되지 않은 음식물쓰레기 퇴비를 농경지에 사용할 경우 염해로 인한 식물의 성장장애 및 염류축적이 일어날 수 있다.

본 연구는 음식물쓰레기 퇴비에 함유된 염분을 KHSO_5 , KHSO_4 , K_2SO_4 로 구성된 삼중염을 이용하여 분해하는 방법이며, 기존 화학적 처리방법과 달리 염분을 분해하여 칼륨비료의 원료인 KCl로 전환시켰다. 또한 상주재배시험 결과 음식물쓰레기 퇴비와 삼중염을 처리한 음식물쓰레기 퇴비 간에는 발아율 및 성장상태에서 많은 차이를 나타냈다.

주제어 : 음식물쓰레기퇴비, NaCl, KCl, 삼중염

1. 서론

음식물쓰레기는 자원으로 존재하면서 경제성을 갖지 못하고 있는 대표적인 유기성폐기물로서, 90년대부터 사회적으로 환경오염 물질로 문제화 되자 정부에서는 1995년 쓰레기 종량제를 도입하고, 2005년 1월부터 시지역에서 음식물쓰레기의 직매립을 금지하는 내용을 폐기물관리법에 명시하게 되었으며, 소각, 퇴비화 및 건조 등에 의하여 수분을 제거하여 자원화하거나, 처리하도록 규정하게 되면서 지방자치단체별로 음식물쓰레기 자원화 사업이 확대되고 있다.

2001년 기준 우리나라 음식물쓰레기 발생량은 11,237톤/일로 전체 생활폐기물의 23%에 이르며 금액으로는 15조원(2002년)에 이른다¹⁾. 현재 매립이 45.4%, 소각 9.5%, 재활용이 45.1%를 차지하고 있다.

음식물쓰레기의 재활용 방법으로는 2000년 기준 사료화 64.1%, 퇴비화 36.5%, 메탄화 및 기타가 21.1%를 차지하고 있다. 사료화는 구제역 파동 이후 급격히 줄어들고 있고, 메탄화도 관련기술이 미흡한 상황이라 향후 퇴비화의 처리비용이 크게 증가할 것으로 예측된다²⁾.

퇴비화는 “유기물이 미생물에 의하여 분해되어 안정화되는 과정이며 그 최종물질은 환경에 영향을 주지 않아야하고, 토양에 사용할 수 있어야하며,

저장하기에 충분한 부식도 상태의 물질로 변화시키는 생화학적 공정 또는 고체 폐기물의 유기성분을 인위적으로 만든 조건하에서 연속적으로 생물학적 처리를 하는 것” 이라고 정의한다. 따라서 퇴비화의 정의에는 농업적 이용을 위한 것 뿐만 아니라 폐기물 처리차원의 퇴비화도 포함하고 있다. 이와 같이 퇴비화는 쓰레기 처리와 양질의 농자재 확보 두 가지 목적을 포함하고 있다³⁾.

음식물쓰레기는 농산물을 가공하여 이용한 후에 발생하는 폐기물이기 때문에 주성분과 함량은 일반 퇴비원료와 차이가 없다⁴⁾. 그럼에도 음식물쓰레기를 퇴비화 하여 양질의 퇴비를 생산하는데 있어서 가장 큰 문제로 지적되는 것은 염분이다. 염분은 한국인의 음식문화 특성상 소금, 간장, 된장, 고추장 등과 같은 각종 장류 및 젓갈류의 사용이 빈번하기 때문이며 음식물쓰레기의 발생원 및 식염은 계절에 따라 차이가 있을수 있으나 염분의 함량은 평균 3.45%의 함량을 보였다⁵⁾.

음식물쓰레기로 만든 퇴비의 경우 염분이 작물의 성장에 영향을 미쳐 보급에 중요한 걸림돌이 되어 왔다. 현재 우리나라 음식물쓰레기 퇴비화시설의 공통된 문제점은 함수율이 너무 높아 발효의 어려움이 있으며, 생산단계에서는 악취문제이며 시비 단계에서는 염분문제이다.

이중에서 염분저감기술은 음식물쓰레기 퇴비화의 재활용 촉진을 위한 기술개발분야 정책에 부합

되며 시기상 적절하다고 생각된다.

음식물쓰레기를 이용하여 퇴비를 만드는 과정에서 염분을 제거하기 위한 기존 기술은 물을 이용한 세척법, 기계장치를 이용한 압착법, 화학적 처리법, 전기분해법등이 있다.

물을 이용한 세척법의 경우, 많은 양의 물을 사용하게 되므로 세척수로 인한 2차오염 및 하수처리장과 연계하여 건설해야하는 문제가 있으며 기계장치를 이용한 압착법은 음식물쓰레기 중에 함유된 수분을 기계적 방법으로 제거함으로써 침출수와 함께 염분을 제거하는 방법으로 일정부분 음식물쓰레기에 함유된 염분을 제거할 수 있으나 최종 퇴비제품에서 건조 등에 의한 농축효과로 인해서 만족할만한 제거효과를 기대할 수 없다.

전기분해법은 음식물쓰레기를 전기분해하여 염분을 제거하는 방법이지만 유해한 염소가스가 발생하고 처리비용 및 시설비가 많이 요구되는 단점을 가지고 있다.

화학적인 방법의 경우 생석회(CaO)를 이용하여 염분을 제거하는 방법이 알려져 있는데 생석회의 경우 물과 반응하여 높은 열을 내며 수산화칼슘을 생성시킨다. 그 반응식은 다음과 같으며, 이것을 소화(slaking)라고 한다.



생성된 수산화칼슘은 물에 조금밖에 녹지 않고, 온도가 올라가면 용해도는 낮아지며 수용액은 석회수라 하며 강한 염기성을 띤다. 고체나 용액 상태에서 이산화탄소를 흡수하여 물에 녹지 않는 탄산칼슘으로 변하고, 또 염소를 흡수해서 차아염소산칼슘을 만들 수 있으며 소금과 반응하여 염화칼슘과 수산화나트륨으로 분해 될 수 있는 문제점을 가지고 있다.

이와 같이 음식물쓰레기로 만든 퇴비 중에 염분 제거방법은 여러 가지 방법이 제안 되었지만 실제 적용에는 많은 문제점을 가지고 있었다.

본 연구에서는 기존의 염분 분해 방법의 문제점을 해결하기위해 산화전위 및 반응성이 매우 큰 KHSO_5 , KHSO_4 , K_2SO_4 로 구성된 삼중염(Triple

salt)을 이용하여 염분을 분해시키면서 칼륨비료의 원료인 KCl을 생성하는 기작으로 음식물쓰레기 퇴비 중에 염분을 효율적으로 제거할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 실험재료

본 실험에 사용된 음식물쓰레기 퇴비는 충남 공주에 위치한 C.M산업 음식물쓰레기 퇴비를 사용하였으며 반응에 사용된 삼중염(Triple salt)은 Shangyu Jiehua Chemical Co., Ltd.(중국)의 제품을 사용하였다. 삼중염 중 각 성분의 함량은 KHSO_5 43%, KHSO_4 23%, K_2SO_4 32%였다. 음식물쓰레기 퇴비 중 염분분석을 위해 사용된 AgNO_3 와 K_2CrO_4 는 Junsei(일본)의 1급 시약을 사용하였다. XRD 검량선 작성을 위해 사용된 NaCl, KCl은 Junsei(일본)의 1급 시약을 사용하였다. 재배 시험에 사용된 상추종자는 대농종묘의 “뚝섬상추”를 사용하였다.

2.2 음식물쓰레기 퇴비 중 염분함량 측정

2.2.1 Mohr 적정법

음식물쓰레기 퇴비에 함유된 염분의 양을 측정하기 위해 먼저 20g의 음식물쓰레기 퇴비를 계량한 후 105℃ 오븐에서 5시간 동안 건조하여 시료 중 함유된 수분의 양을 측정하였고 여기에 증류수 150ml를 가한 후 믹서를 이용 5분 동안 균질화시켰다. 균질화된 시료를 삼각 플라스크에 옮기고 100℃에서 3분간 끓여준 다음 냉각 후 여과하였다. 용액 5ml를 취하여 250ml삼각 플라스크에 옮기고 증류수 95ml를 가하여 전체양이 100ml가 되도록 하였다. 여기에 지시약으로 5% K_2CrO_4 용액 1ml를 가한 후 0.1N AgNO_3 로 적정하였다⁶⁾.

2.2.2 회화 적정법

음식물쓰레기 퇴비에 함유된 염분의 양을 측정하기 위해 또 다른 방법으로 음식물쓰레기 퇴비를 회화한 후 염분 양을 측정하였다. 먼저 20g의 음식물

쓰레기 퇴비를 계량한 후 105℃ 오븐에서 5시간 동안 건조하여 시료 중 함유된 수분의 양을 측정하였고 시료를 도가니에 옮겨서 전기로에 넣은 후 600℃에서 2시간 동안 회화하였다. 얻어진 잔유물 중 물에 대한 가용성 성분을 100ml 물을 이용하여 추출하였으며 용액 5ml를 취하여 250ml삼각 플라스크에 옮기고 증류수 95ml를 가하여 전체양이 100ml가 되도록 하였다. 여기에 5% K₂CrO₄ 용액 1ml를 가한 후 0.1N AgNO₃로 적정하였다.

2.3 NaCl 및 KCl분석을 위한 시료의 전처리

XRD(X-Ray Diffractometer)기기를 이용하여 NaCl 및 KCl를 분석하기 위해 음식물쓰레기 퇴비 400g을 계량한 후 음식물쓰레기 퇴비에 대해 중량비로 각각 1%(Sample 1), 2%(Sample 2) 비율로 삼중염을 계량하고 증류수 300ml에 용해한 삼중염 용액을 음식물쓰레기 퇴비와 혼합, 12시간 동안 방치하였다. 12시간 경과 후 여기에 증류수 2,000ml을 가한 후 믹서를 이용 5분 동안 균질화시켰다.

균질화된 시료를 삼각 플라스크에 옮기고 100℃에서 3분간 끓여준 다음 냉각 후 여과하였다. 여과된 용액을 Evaporator를 이용하여 증발 농축하였고 농축된 용액을 건조기에 넣어 200℃로 6시간 동안 건조한 후 건조된 시료를 도가니에 옮기고 600℃에서 2시간 동안 회화하였다. 얻어진 잔유물 중 물에 대한 가용성 성분을 250ml 증류수를 이용하여 추출하였으며, 추출된 용액을 다시

Evaporator로 완전히 감압 농축하여 흰색의 분말을 얻었으며 이 분말을 105℃ 오븐에서 5시간 동안 건조하여 XRD 분석을 위한 시료를 얻었다.

2.3.1 XRD를 이용한 NaCl 및 KCl 분석

XRD를 사용하여 음식물쓰레기 퇴비에 함유된 NaCl 및 KCl의 함량을 분석하기 위해 검량선을 작성하였다.

검량선을 작성하기 위해 표준품 NaCl 및 KCl을 각각 ball mill을 이용하여 분쇄한 후 200mesh 표준체로 균일한 입도를 얻었다. 얻어진 표준품 NaCl, KCl의 농도를 달리하면서 XRD를 측정, 검량선을 작성하였다.

2.4 염분에 의한 작물생육 저해

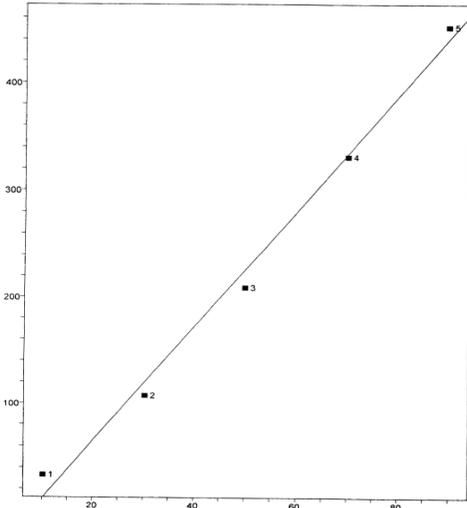
삼중염으로 처리된 음식물쓰레기 퇴비의 작물에 대한 생육 저해의 영향을 알아보기 위해 염분 농도에 가장 예민한 상추를 이용하여 발아율 및 생육 등의 실험을 하였다. 25(L)×30(W)×15(H)cm용기에 각각 흙 6kg씩을 넣고 흙만을 넣은 Blank, 삼중염으로 처리되지 않은 음식물쓰레기 퇴비만을 시비한 대조군, 그리고 음식물쓰레기 퇴비 대비 2% 삼중염으로 처리한 음식물쓰레기 퇴비를 시비한 실험군으로 나누어서 실험하였다. 음식물쓰레기 퇴비 시비량은 1.5~2톤/10a를 기준으로 하여 중간 값인 1.75톤/10a가 되도록 시비하였다⁷⁾.

상추 종자는 총 12개 pot에 깊이 1cm로 파종하였으며 각 pot에는 상추씨를 2개씩 파종하였다.

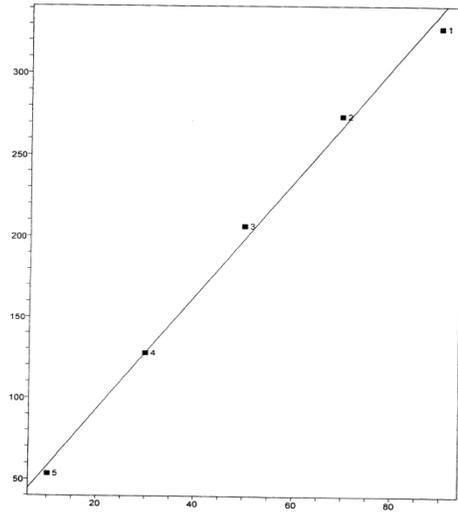
[Table 1] Measurement of NaCl Content in Food Waste Compost

Sample	Mohr method		Ash method	
	*Titration (ml)	NaCl (%)	*Titration (ml)	NaCl (%)
1	2.00	1.753	3.10	1.811
2	2.10	1.841	3.15	1.841
3	2.05	1.797	3.00	1.753
4	2.10	1.841	-	-
Average		1.808		1.802

* Titration amount of 0.1N-AgNO₃ sol'n



[Fig. 1] XRD calibration curve of standard NaCl



[Fig. 2] XRD calibration curve of standard KCl.

[Table 2] Amount of extracted Inorganic compound from food waste compost

Used triple salt	1% Triple salt	2% Triple salt
NaCl(%)	8.869	13.009

3. 결과 및 고찰

3.1 음식물쓰레기 퇴비의 염분함량

[Table 1]에는 Mohr 적정법과 회화 적정법에 의한 음식물쓰레기 퇴비중의 염분함량을 측정하여 비교해서 나타내었다.

Mohr 적정법으로 분석 했을 때의 음식물쓰레기 퇴비에서 염분의 량은 평균 1.808%(1.753~1.841%)를 함유한 것으로 나타내었고, 회화 적정법으로 분석 했을 때에도 Mohr 적정법과 비슷한 1.802%(1.753~1.841%)로 나타내었다.

3.2 삼중염으로 처리한 음식물쓰레기 퇴비 중의 KCl 전환율

표준품 NaCl, KCl의 농도를 달리하면서 XRD를 측정, 검량선을 작성하였으며 검량선은 [Fig. 1], [Fig 2]와 같다.

상기 검량선에서 얻을 수 있는 NaCl 및 KCl 농도 측정을 위한 식은 다음과 같다.

$$\text{NaCl 농도} = 0.186208 \times \text{피크넓이} + 7.986598$$

$$\text{KCl 농도} = 0.285105 \times \text{피크넓이} - 6.507072$$

음식물쓰레기 퇴비 400g에 사용된 삼중염 첨가 량에 따른 시료의 추출, 여과, 증발, 회화, 추출, 증발, 건조하여 얻은 결정체(NaCl)의 양은 [Table 2]와 같다.

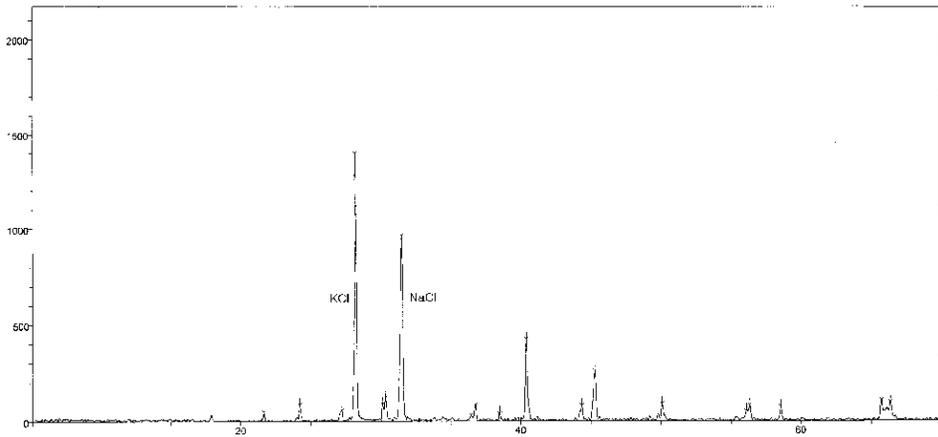
이렇게 얻어진 결정을 XRD를 사용하여 분석하였으며 XRD spectrum은 [Fig. 3]과 같다.

XRD 분석 결과 첨가된 삼중염에 따른 시료 내에 함유된 NaCl과 KCl 양 그리고 NaCl이 KCl로의 전환율은 [Table 3]과 같다.

[Table 3]에서와 같이 음식물쓰레기 퇴비에 대하여 증량비로 1%의 삼중염을 사용한 경우 44.26%, 2%의 삼중염을 사용하였을 경우 50.17%의 NaCl이 KCl로 전환 되었다.

3.3 염분에 의한 작물생육 저해 실험

일반적으로 Na에 대한 생육반응의 차이에 따라 식물들은 4군으로 분류할 수 있다. A군에 속하는 식물들은 생육저해 없이 Na를 K 대신 흡수할 수 있으며, 더욱이 K 함량 증가에 의해서 일어나지 않



[Fig.3] XRD spectrum of extracted inorganic compound from food waste compost.

[Table3] Conversion Ratio and Amount of KCl From NaCl

Division	NaCl content(wt%)	KCl content(wt%)	Conversion ratio(%)
1% Triple salt	49.6	39.4	44.26
2% Triple salt	28.7	28.9	50.17

[Table4] A Ratio of Germination of Lettuce Followed by Different Cultivation Condition

Sample	Number of sowing Pot (Ea)	Number of germination Pot (Ea)	Germination ratio(%)
Blank	12	8	66.67
Control group	12	5	41.67
Test group	12	8	66.67

는 생장 촉진이 Na 이온에 의해 부가적으로 나타난다.

B군에 속하는 식물들에게서는 뚜렷하지는 않으나 Na⁺에 의한 생육반응이 관찰되며, A군 식물에 비해 적은 비율의 K가 생육 감소 없이 Na로 대체될 수 있다. C군에서는 매우 제한적이거나 K에 대한 Na의 대체가 일어날 수 있으나 Na가 생장촉진을 시키지는 않는다. D군의 식물은 K의 대체가 불가능하다.

A군에 속하는 식물에는 명아주과의 많은 식물들, 예를 들면 사탕무, table beet, 순무, swiss chart와 C군 식물에 속하는 많은 초본류 등을 들 수 있으며, B군에 속하는 식물들은 배추, 무, 면화, 완두콩, 아파, 밀, 시금치 등이다. 한편 C군에 속하는 식

물들은 보리, 기장, 벼, 귀리, 토마토, 감자와 ryegrass 등이고, D군에는 상추, 옥수수, 호밀, 대두, Phaselous bean과 티모시가 속한다. 농업적으로 중요한 대부분의 작물들은 C와 D군에 속하여 혐염성이 크고 따라서 내염성이 약하다⁸⁾. 삼중염으로 처리하지 않은 음식물쓰레기 퇴비와 삼중염으로 처리한 음식물쓰레기 퇴비가 작물 생육에 미치는 영향을 알아보기 위해 염분에 가장 취약한 상추를 이용하여 저해 및 재배실험을 하였다.

그 결과 상추씨 파종 후 발아율은 [Table 4]와 같으며 음식물쓰레기 퇴비를 시비하지 않은 Blank 및 삼중염으로 처리한 음식물쓰레기 퇴비를 시비한 실험군에서는 66.67%의 동일한 발아율을 나타낸 반면 삼중염으로 처리하지 않은 음식물쓰레기



[Fig. 4] Comparison of growing state of lettuce followed by different cultivation condition(after 1 month).



[Fig. 5] Comparison of lettuce's state followed by different cultivation condition(after 1 month).

퇴비를 시비한 대조군에서는 발아율이 현저하게 낮게 나타내었다.

발아 후 상추의 상태는 [Fig. 4]와 같다.

상추의 발육상태를 확인하고자 파종 1개월 후 group별로 1개씩을 채취하여 관찰하였는데 [Fig. 5]에서 보는 바와 같이 control group(삼중염 미처리)과 test group(삼중염 처리) 간에는 성장률 및 뿌리 발육상태에서 큰 차이를 보였다. 삼중염으로 처리한 음식물쓰레기 퇴비를 시비한 시료에서 상추의 성장률 및 뿌리 발육상태가 삼중염 처리를 하지 않은 음식물쓰레기 퇴비를 시비한 대조군 대비 우수하였다.

파종 2개월경과 후 삼중염으로 미처리한 퇴비를 시비한 것(control group)과 삼중염으로 처리한

퇴비를 시비한 시료(test group) 간에 성장률 및 뿌리 발육상태 차이는 [Fig. 6], [Fig. 7]과 같다.

4. 결론

본 연구는 음식물쓰레기 퇴비에 함유된 염분을 환경친화적인 방법으로 저감시키기 위한 기술을 실험을 통하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

KHSO₅ 43%, KHSO₄ 23%, K₂SO₄ 32%로 구성된 삼중염을 물에 용해하여 음식물쓰레기 퇴비와 반응시킨 결과 NaCl이 칼륨비료의 원료인 KCl로 전환됨을 XRD 분석을 통해 확인할 수 있었고, NaCl이 삼중염과 반응하여 KCl로서의 전환율은



Test group
(treat a food waste compost
with triple salt)

Control group
(not treat a food waste
compost with triple salt)

[Fig. 6] Comparison of growing state of lettuce followed by different cultivation condition(after 2 month).



[Fig. 7] Comparison of lettuce's state followed by different cultivation condition(after 2 month).

삼중염을 음식물쓰레기 퇴비 중량대비로 1%로 처리할 때 44.26%, 2%로 처리할 때 50.17% 전환되었다.

삼중염으로 처리한 음식물쓰레기 퇴비의 작물에 대한 영향을 알아보기 위하여 염분에 가장 취약한 상추를 대상으로 재배실험하였으며, 음식물쓰레기 퇴비 중량대비로 2% 삼중염으로 처리한 음식물쓰레기 퇴비와 삼중염으로 처리하지 않은 음식물쓰레기 퇴비를 1.75톤/10a의 비율로 시비하였다. 발아율에 있어 음식물쓰레기 퇴비를 전혀 시비하지 않은 군과 삼중염으로 처리된 음식물쓰레기 퇴비를 시비한 군은 공히 66.67%의 발아율을 보였으나

삼중염으로 처리하지 않은 음식물쓰레기 퇴비를 시비한 군에서는 41.67%의 낮은 발아율을 보였다.

성장상태 및 뿌리상태를 비교하여 보았을때도 삼중염으로 처리한 음식물쓰레기 퇴비군이 대조군보다 양호한 상태를 나타냄을 알 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 삼중염을 사용하여 음식물쓰레기 퇴비 중에 함유된 염분을 저감 또는 제거할 경우 기존 화학적 처리법에서 나타나는 유해한 물질이 발생하지 않을 뿐만 아니라 식물생장에 도움이 되는 KCl이 생성되므로 음식물쓰레기 퇴비에 함유된 염분을 환경친화적으로 제거할 수 있는 방법이라고 판단되며 음식물쓰레기 퇴비화에 크게 기여할

것으로 전망된다.

참고문헌

1. 환경부, “환경백서” (2001)
2. 신항식, 황응주, 지제성, “한국의 음식찌꺼기 관리 현황 및 전망”, 한국유기성폐자원학회지. 6(2), pp 1~6 (1998)
3. 정광용, “유기성 폐자원 비료화 방안”, 21세기를 향한 비료개발과 정책방향 심포지엄, 한국토양 비료학회, pp 48-90 (1995)
4. 농촌진흥청, “음식물 쓰레기 퇴비화 기술개발”, p 5 (1999)
5. 정국레, “서울시내 대중식사 중 식염함량에 대한 조사 연구” 한국식품과학회지. 19(6), pp 475~479 (1987)
6. “토양화학분석법”. 농촌진흥청 (1988)
7. 이상민. “부산물 퇴비와 화학비료 시비기준 설정”. 농촌진흥청 농업과학연구소 시험연구 보고서, pp 64~71 (1998)
8. Flowers, T. J. and Lauchi, A. “Sodium versus Potassium : Substitution and compartmentation”, In ‘Encyclopedia of Plant Physiology, New Series’, Springer-Verlag, Berlin., Vol. 15B, pp 651-681 (1983) 