

## 好熱細菌製堆肥施与がダイズの生育収量および排水からの栄養分漏出に及ぼす影響

江頭, 知穂  
九州大学大学院生物資源環境科学府

古屋, 忠彦  
九州大学大学院農学研究院

井上, 眞理  
九州大学大学院農学研究院

鄭, 紹輝  
九州大学大学院農学研究院

他

<https://doi.org/10.15017/4330>

---

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 59 (2), pp.99-104, 2004-10-01. 九州大学大学院農学研究院  
バージョン：  
権利関係：

## 好熱細菌製堆肥施与がダイズの生育収量および 排水からの栄養分漏出に及ぼす影響

江頭 知穂<sup>1</sup>・古屋 忠彦\*・井上 眞理  
鄭 紹輝・福山 正隆

九州大学大学院農学研究院植物資源科学部門農業植物学講座作物学研究室

(2004年6月30日受付, 2004年7月13日受理)

### Effect of Thermophile Compost on the Growth and the Seed Yield of Soybean and the Nutrient Leaching Losses from the Soil

Chiho EGASHIRA<sup>1</sup>, Tadahiko FURUYA\*, Mari IWAYA-INOUE,  
Shao-Hui ZHENG and Masataka FUKUYAMA

Laboratory of Crop Science, Division of Agricultural Botany,  
Department of Plant Resources, Faculty of Agriculture,  
Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

#### 緒 言

産業革命以降社会情勢は大きく変化し、人類はこれまでに類をみなないほどの発展を遂げて豊かな社会を形成することに成功した。しかし、その反面、物質循環は乱れ、環境的負荷は増加し、今現在の社会に大きな影を落としている。このような背景から、効率よりも物質循環による再生産に重点をおき、環境と調和のとれた持続的な農業生産の確保を図ることが求められている。その中で、畜産業による家畜糞尿や、農業における農産物残渣等の有機性廃棄物の問題も解決でき、その上化学肥料と比べると環境負荷も少ない堆肥の利用は有望であると考えられる。特に、好熱細菌を利用することにより、発酵期間中に従来知られている60℃よりも高温域(90℃以上)となり、短時間で堆肥化を行うことができ、循環型生産体系にもより組み込まれやすくなる。さらに、この手法を使用すると、堆肥の品質が従来のものよりも向上し、芝生の維持創生およ

び排水による環境汚染を抑制できると報告されている(日高ら, 2004)。

ところで、一般にダイズ栽培で窒素の施肥はほとんど不必要とされる一方で、ダイズの総必要窒素の量から考えると根粒菌由来の窒素だけでは足りず、窒素施肥が必要とする考え(Haper *et al.*, 1974)があるが、窒素の施肥は根粒菌の着生を妨げるという報告も数多くなされている(金山, 1990; 田村, 1997)。その中で、完熟堆肥肥料の施用は、遅効性であるので、根粒への障害も少ないと考えられる上に、開花期やそれ以降の持続的な窒素の供給も期待できるのではないかと考えられる。さらに、通気性等土壌の物理性を改善する効果があることで根粒菌の着生を助長し、活性も高める効果も期待される(吉田, 1979)。そこで、本実験では好熱細菌製の堆肥を使用し、この堆肥肥料がダイズの生育および子実収量に及ぼす影響、ならびにその排水が環境に与える負荷について、化学肥料との対比により検討を行った。

<sup>1</sup>九州大学大学院生物資源環境科学府植物資源科学専攻農業植物学講座作物学研究室

<sup>1</sup>Laboratory of Crop Science, Division of Agricultural Botany, Department of Plant resources, Graduate school of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

\*Corresponding author (E-mail: tfuruya@agr.kyushu-u.ac.jp)

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金(課題番号: 15651034)によって助成されている。

## 材料と方法

### 実験1 排水中の栄養分の測定 (ポット実験)

供試する植物材料としてダイズ (*Glycine max* [L.] Merr. 品種: 丹波黒) を使用し, 九州大学構内のガラス室で2003年6月27日より12月31日までの約6か月間実験を行った。

ワグネルポット (1/2000a) に畑土壌 (約15kg) をつめて施肥を行い, 6月27日に1ポット当たりダイズ種子を4粒播種し, 出芽後1本立てにした。処理区は化学肥料区, 堆肥区, 2倍堆肥区 (堆肥区の2倍量の堆肥を施与), および10倍堆肥区 (堆肥中の水溶性N量が化学肥料中の窒素量と等量になるように窒素レベルを調整した結果, 堆肥区の約10倍の量が必要となる処理区) の4処理区を設けた。なお, 化学肥料区は標準施肥量としてポット当たり窒素0.3g, リン酸1.0g, カリウム1.0g になるように複合肥料マメ化成を与えた。また, 堆肥区の施肥量は化学肥料区と同等の窒素レベルに調整したが, リン酸およびカリウムについては, それぞれ1.0g になるように, 堆肥区は溶リンでリン酸0.55g, 塩化カリウムでカリウム0.88g, 二倍堆肥区で同リン酸0.1g, 同カリウム0.24g の化学肥料を別途添加した。なお, 10倍堆肥区においてはリン酸およびカリウムが共に充分量含まれていた (乾物中含有リン酸4.34g, カリウム1.17g) ので新たな添加は行わなかった。各処理区6ポットを用いた。

排水の分析については, 7月14日より灌水を始め, 毎回の灌水量はポット下部の排水口より水が漏れるまでとし, 10月27日まで約7日毎にポットからの排水を全量回収し, RQflex (小型反射式光度計, 関東化学製) により  $\text{NH}_4^+$  濃度,  $\text{NO}_3^-$  濃度,  $\text{PO}_4^{3-}$  濃度を測定, イオンメーター (堀場製作所製) により  $\text{K}^+$  濃度を測定した。また, twin pH (堀場製作所製) を用いて pH, twinCond (堀場製作所製) を用いて塩分濃度の測定を行った。

地上部の植物については, 青立ち程度が激しく成熟期がわかり難かったため, 12月31日に地上部を刈り取り, 主茎長, 主茎節数, 総節数, 分枝数, 稔実英数, 稔実種子数を測定後, 地上部器官すべてを80°Cで2日間通風乾燥させて乾物重の測定を行った。

### 実験2 ダイズの生育収量 (圃場実験)

ダイズ品種フクユタカを使用し, 栽培は九州大学附属農場内圃場において行われた。施肥レベルはポット栽培と同様に化学肥料区, 堆肥区, 2倍堆肥区, 10倍堆肥区の4区を設定した。7月9日に播種し, 栽植密

度は畝間70cm, 株間30cmの2本立て (9.5本/m<sup>2</sup>) で, 各処理区25m<sup>2</sup>の1反復とした。

8月20日 (開花期) にサンプリング調査を行った。調査は, 各処理区より連続して12個体を採取し, 主茎長, 主茎節数, 総節数, 分枝数を測定後, 茎, 葉および葉柄に分別して, 80°Cで約2日間通風乾燥後各器官の乾物重を測定した。

収穫後の調査では8月の調査項目に加え稔実英数, 稔実種子数を測定後, 同様に乾物重の測定を行った。

## 結果

### 1. 好熱細菌製堆肥施与が肥料養分の漏出に及ぼす影響 (ポット実験)

図1, 2にみられるように, 各処理区とも, 排水中の  $\text{NO}_3^-$  量は生育前期の7月中旬, 下旬に多く, 8月以降はどの処理区からも検出されないほど低下した。全生育期間中に排出される  $\text{NO}_3^-$  総量は堆肥使用区全般で化学肥料区よりも低い傾向がみられた。特に, 10倍堆肥区では, 可溶性窒素量で化学肥料区と等しくなるよう調節したにもかかわらず, 化学肥料区より  $\text{NO}_3^-$  の排出量が少なかった。  $\text{NH}_4^+$  の排出量はどの区においても  $\text{NO}_3^-$  に比較して無視できるほど少なかった (データ省略)。つぎに, 排水中の  $\text{PO}_4^{3-}$  含量は,  $\text{NO}_3^-$  に比較して量的には極く少なかったが, その推移, 総量ともに処理区間において差異はなかった (図3, 4)。一方, 排水中の  $\text{K}^+$  の含量は  $\text{NO}_3^-$  と似た傾向を示しており, 排出総量は10倍堆肥区が最も多くなっていた (図5, 6)。これは, 実験開始時に水溶性の窒素量を基準として施肥したために, 10倍区の方が化学肥料区よりも土中の  $\text{K}^+$  量が多くなっていたことが要因であると考えられる。また, 排出量の推移においては  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{K}^+$  イオンは共通した傾向を示し, 測定開始後約2, 3週目で最も高い数値を示した。なお, 排水中塩分総量では  $\text{PO}_4^{3-}$  と似た傾向がみられ, 各処理区内で目立った差はなかった (図7, 8)。

なお, ポット実験におけるダイズの成長については, 次項で述べる圃場実験とほぼ同様な傾向を示したので, ここではデータの記述を省略することとした。

### 2. 好熱細菌製堆肥施与がダイズの生育収量に及ぼす影響 (圃場実験)

ダイズの成長量調査は開花期に, また収量調査は成熟期に行った。表1には開花期におけるダイズの生育状況を示した。主茎長において堆肥区で長くなったが, それ以外のすべての形質においては処理区間の差はみ

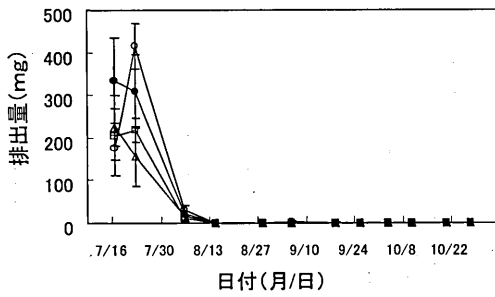


図1 ダイズ生育期間中における排水中の硝酸イオンの推移。

●—化学肥料    □—堆肥  
 ▲—2倍堆肥    ○—10倍堆肥

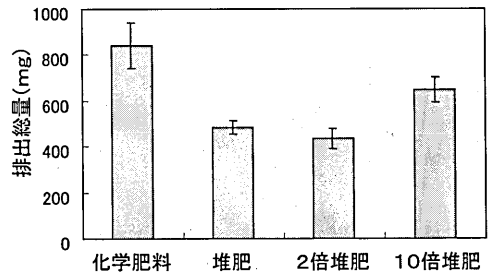


図2 ダイズ生育期間中における排水中の硝酸イオンの総量。

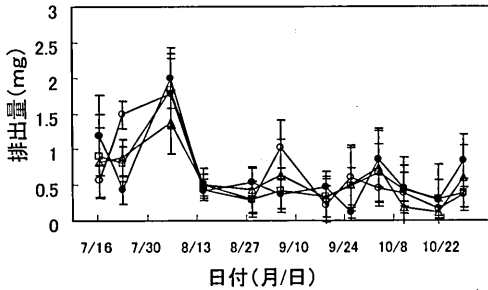


図3 ダイズ生育期間中における排水中のりん酸イオンの推移。

●—化学肥料    □—堆肥  
 ▲—2倍堆肥    ○—10倍堆肥

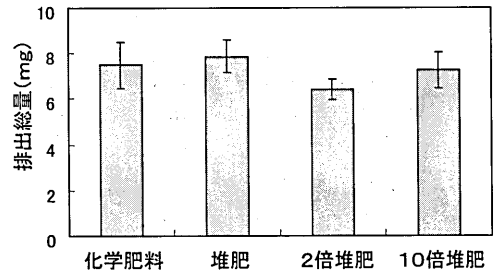


図4 ダイズ生育期間中における排水中のりん酸イオンの総量。

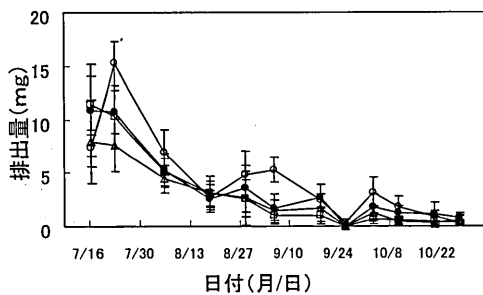


図5 ダイズ生育期間中における排水中のカリウムイオンの推移。

●—化学肥料    □—堆肥  
 ▲—2倍堆肥    ○—10倍堆肥

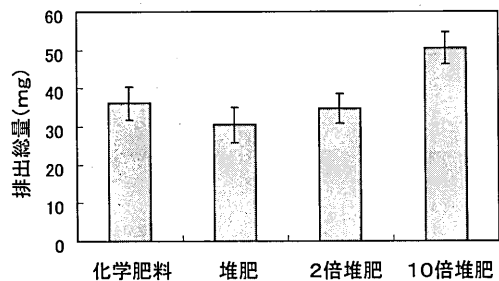


図6 ダイズ生育期間中における排水中のカリウムイオンの総量。

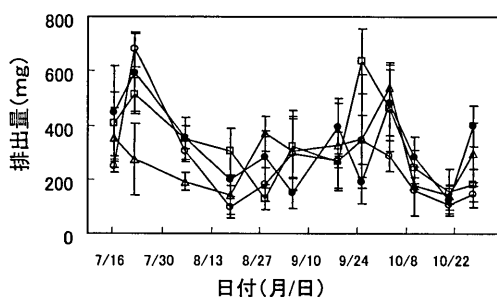


図7 ダイズ生育期間中における排水中の総塩分の推移。

●—化学肥料    □—堆肥  
△—2倍堆肥    ○—10倍堆肥

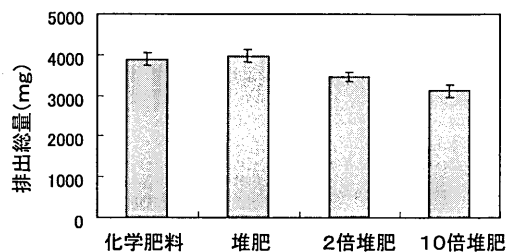


図8 ダイズ生育期間中における排水中の総塩分量。

表1 堆肥施与がダイズの生育に及ぼす影響（開花期調査）。

	主茎長 (cm)	主茎節数	総節数	分枝数	葉面積 (cm <sup>2</sup> )	地上部乾物重 (g)
化学肥料	65.2±2.0b	16.0±0.6a	46.3±4.6a	5.6±0.5a	5645.0±289.6a	31.8±2.0a
堆肥	70.9±4.7a	16.3±0.5a	48.8±3.8a	6.0±1.0a	5352.4±554.9a	30.3±3.9a
2倍堆肥	64.4±4.1b	15.8±1.0a	51.3±3.0a	6.7±0.8a	5635.4±570.4a	31.1±2.3a
10倍堆肥	64.1±2.3b	16.6±0.5a	47.6±4.1a	6.3±1.5a	5373.2±528.2a	33.1±3.6a

表中の値は個体当たりの平均値および標準偏差を示す。

異なるアルファベットが付いている場合は、5%水準で有意差があることを示す。

表2 堆肥施与がダイズの収量および収量構成要素に及ぼす影響（収穫期調査）。

	主茎長 (cm)	主茎節数	総節数	分枝数	稔実さや数	稔実粒数	稔実粒重 (g)	百粒重 (g)	地上部乾物重 (g)
化学肥料	73.1±3.1a	16.7±1.4a	83.7±8.8b	9.9±1.5b	92.7±17.9b	131.1±20.5c	30.1±6.9b	23.3±1.7ab	69.1±9.7b
堆肥	65.7±6.8b	15.8±1.8a	84.7±9.8b	10.6±1.9ab	107.2±11.0ab	164.2±14.5b	39.6±3.1a	24.4±2.6a	87.6±9.1a
2倍堆肥	70.2±5.6ab	15.8±1.5a	84.0±8.4b	11.0±1.2ab	76.8±19.1c	105.3±24.4d	22.4±3.3c	23.4±2.5ab	54.5±7.8c
10倍堆肥	71.8±5.6a	16.2±0.6a	95.0±8.4a	12.0±1.6a	109.6±12.2a	191.9±20.7a	36.2±5.9a	22.1±2.0b	80.1±10.6a

表中の値は個体当たりの平均値および標準偏差を示す。

異なるアルファベットが付いている場合は、5%水準で有意差があることを示す。

られなかった。それに対して、成熟期では化学肥料区に比較して、総節数、分枝数および稔実莢数については10倍堆肥区、稔実粒数、稔実粒重および地上部乾物重については、堆肥区および10倍堆肥区で有意な増加がみられた（表2）。特に、総節数や分枝数、莢数の項目でその増加傾向は著しかった。しかし、2倍堆肥区では、他の2倍堆肥施与区とは違って、地上部の乾物重や、稔実莢数、粒数、粒重など収量に関する要素において逆に化学肥料区より低かった。

## 考 察

### 1. 排水中の栄養分漏出

今回の実験において、排水中の窒素のほとんどは

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>として計測された。そのNO<sub>3</sub><sup>-</sup>総量は堆肥使用区において低く、含有窒素量が約10倍であってもなお化学肥料区よりも低かった（図1, 2）。化学肥料区で施肥した窒素量は0.3gであったがそれ以上に窒素が溶出していた。これは、畑土壌が含有していた窒素が同時に溶出したものと考えられ、このことを加味すれば、堆肥区や2倍堆肥区では堆肥からの窒素の溶出はほぼなかったと推察できる。溶出窒素量で調整したにもかかわらず2倍堆肥区、10倍堆肥区で化学肥料区よりもNO<sub>3</sub><sup>-</sup>排出量が低くなった原因としては、土中有機物が増加したことにより土壌CEC（陽イオン交換容量）値が増加し（吉田ら, 2004）、主たる漏出栄養分である陰イオンが土壌により多く吸着されたことが

考察される。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は地下水の汚染源となることが知られており、本実験の結果から、堆肥肥料の使用は地下水汚染の対策にかなり有効であるとも考えられる。また、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>値やK<sup>+</sup>値、塩分値においても、堆肥を施与した区で成分溶出の抑制効果がみられた(図3~6)。なおK<sup>+</sup>値では、10倍区で数値が高い理由は前述のとおりである。堆肥区では、化学肥料区に比べポット中のカリウム含量は、約170mg多く含まれているにもかかわらず、排出量の差はそれよりはるかに少なく、約15mgを示した。

## 2. 堆肥施用区におけるダイズの生育量、収量および収量構成要素について

収量および収量構成要素において、圃場栽培したフクユタカは2倍堆肥区において収量は低かったが、堆肥区および10倍堆肥区において高くなる傾向を示していた(表2)。

現在、ダイズ栽培における施肥は基肥のみが一般的で、開花期までの栄養成長量を確保することが主目的である。その後、根粒活性は最大に達するので、窒素供給は根粒による固定窒素に頼るようになる(高橋, 2003)。基肥に窒素成分が少ない場合、初期生育量が確保できず、窒素成分が多い場合、根粒の成長を抑制するので、登熟後期には窒素不足が起こるジレンマがある。その解決策には、窒素成分を長期にわたって徐々に放出する緩効性肥料が開発されている。堆肥は、有機態から無機態までさまざまな形態の窒素を含んでいるので、まさに天然型の緩効性肥料であるといえる。本実験では、堆肥の施与は開花期までの栄養成長にほとんど影響を及ぼさなかったが(表1)、結莢数および子実重に効果があった。これは、堆肥施与により長期にわたって緩やかな窒素供給に起因していることが考えられる。しかしながら、無機態窒素を多く含む堆肥の施肥量が多かったために根粒菌着生が抑制される可能性や(吉田, 1979)、堆肥に含まれる窒素形態によって窒素が有効に活用されないことも報告されており(Tester, 1989)、事前に堆肥の性質を考慮した上で施与量を決める必要がある。

一般に、化学肥料はすぐに溶解して地下に浸透する可能性が高く、地下水汚染の原因となるばかりか、圃場中に残る量が少ないために開花期などに追肥を施さないと生育や収量に影響が出てしまう。それに比較すると、堆肥肥料は緩やかに土中に窒素を放出し、地下水汚染は少なく、しかも窒素供給の面では遅効性があるため追肥を省くことが可能である。また、ダイズなどマメ科作物では土壌の物理性向上による根粒菌の発

達も期待することができる。今回の実験で堆肥肥料使用区は化学肥料使用区と比べ植物体の成長や収量といった点で劣らず、しかも排出窒素量をかなり抑えることができた。

以上のことより、適量の堆肥肥料の使用は環境保全のみならず、ダイズの子実生産の点からみても有望であるといえよう。

## 摘 要

一般に、ダイズ栽培においては、初期の窒素施肥を多くすると根粒の窒素固定作用を抑制し、また少なくとも初期の生育不良や、後半の「窒素切れ」を起こす恐れがある。したがって、窒素を緩やかに放出するタイプの緩効性肥料がよく用いられている。一方、堆肥肥料はそのような緩効性を持ち、堆肥の施用は、ダイズの根粒菌の成長や窒素固定活動を抑制することなく、ダイズに長期間安定した窒素供給ができることが期待される。そこで、本実験では好熱細菌製の堆肥を使用し、この堆肥肥料がダイズの生育および子実収量に及ぼす影響と環境に与える負荷について、化学肥料との比較により検討した。

排水中の窒素排出量は、化学肥料区に比較して堆肥区、2倍堆肥区では少なく、10倍堆肥区で同程度であった。他の栄養分の排出においても堆肥施用区で化学肥料区と同程度か抑えられる傾向がみられた。一方、ダイズの生育については、開花期までの成長量はどの堆肥区でも、化学肥料区とほぼ同程度であったが、収穫期において稔実莢数、稔実粒数、子実重などは、堆肥区、10倍堆肥区で化学肥料区よりも多かった。以上のことから、堆肥肥料の適量施用は、環境保全の点からも、ダイズの生育や収量の点からも有効であると考えられた。

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり、堆肥の作成に多大なご協力いただいた鹿児島市の(株)山有の山村正一社長に、また、実験にあたり貴重な御助言を頂いた九州大学大学院農学研究院の金澤晋二郎教授に御礼申し上げます。

## 文 献

- Haper, J.E 1974 Soil and symbiotic nitrogen requirements optimum soybean production. *Crop Sci.*, 14: 255-260  
日高史子・Phan Thuy・井上眞理・古屋忠彦・鄭紹輝・福山正隆 2004 好熱細菌製コンポストがヒメコウライシバの生育と肥料養分漏出に及ぼす影

- 響. 九大農学芸誌, 59: 1-8
- 金山喜則 1990 ダイズの生育における窒素固定と窒素施肥のかかわり—根粒菌窒素固定の硝酸態窒素による阻害のメカニズム—. 農業および園芸, 65: 1016-1022
- 高橋能彦 2003 土壤肥料, 4) 窒素肥料. 海妻ら編, 食用マメ類の科学—現状と展望—. 養賢堂, 東京, 383-389頁
- 田村有希博 1997 ダイズの根粒活性制御機構の解明 (1) ダイズの根粒活性に及ぼす窒素の影響. 日本土壤肥科学会誌, 68: 301-306
- Tester, C. F. 1989 Tall fescue growth in greenhouse, growth chamber, and field plots amended with age sludge compost and fertilizer. *Soil Science*, 148: 452-458
- 吉田重方 1979 ダイズの窒素栄養におよぼす堆肥施用の影響. 日作紀, 48: 17-24
- 吉田重方・角谷弘雅・桑井利章 2004 食品排水汚泥コンポストの長期連用効果の解析. 農業および園芸, 79: 386-392

## Summary

In soybean cultivation, fertilizer application is in a dilemma between more nitrogen supply suppresses the nitrogen fixation of root nodules, and nitrogen deficiency at the early stage causes the shortage of vegetative growth. Compost fertilizer is considered that release the nitrogen gradually in a long period. The objective of this experiment was to determine the effect of thermophile garbage compost on the growth and the seed yield of soybean and the nutrient leaching losses from the soil by the comparison with chemical fertilizer. Thermophile garbage compost was applied in the pots and the field before sowing of soybean. The amounts of compost application were adjusted as it contained the same (1-T), 2-times (2-T), and 10-times (10-T) of total nitrogen compared with that of chemical fertilizer.

The  $\text{NO}_3\text{-N}$  and potassium leached from the soil were significantly lower in 1-T and 2-T, and about same even in 10-T, compared with that of chemical fertilizer applied soil. However, the compost application had no effect on the leaching of phosphorus and the total EC. Soybean plant growth was not affected by the compost application until the flowering stage. However, the pod number, seed number and seed weight increased in 1-T and 10-T at harvest time. This effect is suggested that compost fertilizer could supply the nitrogen to the plants especially at the late growth stage. From the above results, it is considered that thermophile garbage compost is not only effective for preventing the nutrient leaching but also suitable as a fertilizer in soybean cultivation.