

側条施肥栽培におけるペースト肥料の窒素組成の違いがホウレンソウの硝酸含量に及ぼす影響

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	三代, 恭広 太田, 勝巳 松本, 真悟
巻/号	76巻6号
掲載ページ	p. 849-857
発行年月	2005年12月

側条施肥栽培におけるペースト肥料の窒素組成の違いが ホウレンソウの硝酸含量に及ぼす影響^{*1}

三代恭広^{*2}・太田勝巳^{*3}・松本真悟^{*4}

キーワード 側条施肥, ペースト肥料の窒素組成, 硝酸, ホウレンソウ

1. はじめに

畑作物に対するペースト肥料の側条施肥は機械施肥により省力化を可能とし、さらに減肥が図られることから、環境保全にも有効な施肥法であるとされている¹⁾。著者らはペースト肥料による側条施肥が、サニーレタスの生育や品質に及ぼす影響について検討し、慣行施肥に対して畝内の2段側条施肥を行うことによって、20%の減肥でも収量を落とすことなく硝酸含量が低下することを見出し、品質の向上にも有効であることを報告した²⁾。また、なたね油かすを施用した側条施肥の方がペースト肥料の場合よりも硝酸含量は低下し、その一因として、土壤中でのなたね油かすの分解から硝酸化成の反応に遅れが生じたため、作物の硝酸態窒素の吸収が抑制されたのではないかと指摘した²⁻⁴⁾。しかし、なたね油かすなどの有機質肥料は、側条施肥の機械化を考えた場合には、その性状などから必ずしも適しているとはいえない。

一方、ペースト肥料には前報で施用した尿素複合ペースト肥料（尿素態窒素を主成分とする肥料）の他にも、有機ペースト肥料も開発されている⁵⁾。有機ペースト肥料は糖蜜アルコール発酵副産液などの有機質原料の割合を高めた肥料であり、原料に含まれる有機成分には各種アミノ酸、ビタミン、核酸、糖などが配合されている⁵⁻⁷⁾。そのため窒素組成や肥料の性状（粘性）が尿素複合ペースト肥料とは異なっている⁷⁾。しかし、ペースト肥料の窒素組成および粘性の違いが土壤中での無機化や作物の硝酸含量に及ぼす影響については、これまで十分に検討されていない。

そこで、本報では粒状化成肥料の全面全層施肥を対照として、尿素複合ペースト肥料および有機ペースト肥料の側条施肥栽培をコンテナ試験で実施し、ホウレンソウの生育や硝酸含量に及ぼす影響について検討した。またペースト肥料の洗浄培養^{8,9)}をポット試験で実施し、土壤の滲出水中に溶出した無機態窒素および有機態窒素を調査すること

により、作物の硝酸低減の要因と考えられた窒素成分の動態やペースト肥料の粘性との関係について検討した。

2. 試験方法

1) 実験1 側条施肥におけるペースト肥料の窒素組成の違いが作物の硝酸含量に及ぼす影響（コンテナ試験）

(1) 耕種概要

ガラス温室内において、24 L容（幅0.20 m、高さ0.20 m、奥行き0.60 m）のコンテナに、パーク堆肥と未耕土のマサ土（花崗岩を母材とする中粗粒黄色土）を同量混和した土壌を18 L（高さ0.15 m）充填し、ホウレンソウ（*Spinacia oleracea* L. var. *crispa*）‘アトラス’を栽培した。混和した供試土壌の理化学性は表1のとおりであった。各処理区の施肥量ならびに肥料の窒素成分の割合を表2に示した。窒素、リン酸、カリはそれぞれ12.0 g m⁻²を標準施肥量¹⁰⁾とし、①慣行区はリン硝安カリ（16-10-14）を土壌全体に混和して施用した。②P1区は尿素態窒素を主成分（99.8%含む）とする尿素複合ペースト肥料（10-10-10）、③P50区は有機態窒素を50%配合した有機ペースト肥料（8-4-6）、④P100区は有機態窒素を100%配合した有機ペースト肥料（4-4-3）とし、それぞれ3要素とも標準施肥量を20%削減した量で側条施肥を行った。側条施肥位置は、ペースト肥料で施用されるホウレンソウ施肥位置¹¹⁾（播種位置横5 cm、深さ2.5 cmと7.5 cmの上下2段）を基準に側条施肥を行った。また、慣行区、P50区およびP100区のリン酸不足分は過リン酸石灰、カリウム不足分は硫酸カリウムで調整し、全処理区とも基肥のみの施用とした。栽培は1処理区あたり3反復とし、9月15日に施肥および播種（1条播き）を行い、本葉が2~3枚に展開後、コンテナあたり10株（栽植密度83.3株 m⁻²）になるように間引きを行い、10月29日（播種後45日）に一斉収穫を行った。

(2) 作物および土壌の採取

作物体は収穫時（播種後45日）の10月29日に採取した。採取した試料は105°Cで1時間の酵素失活処理を行い、その後60°Cで72時間の通風乾燥させた後、ボールミルで粉碎して分析に供した。

土壌は図1に示すように、採取した作物体の直下を中心に採土枠（縦6 cm、横6 cm、深さ6 cm）を打ち込んで掘り出し、①~⑥のブロックに分けて採取した。なお⑤、

^{*1} 本研究の概要は2004年9月の日本土壤肥料学会福岡大会で発表した。

^{*2} 鳥取大学大学院連合農学研究所（現在、三菱農機（株）699-0195 島根県八束郡東出雲町揖屋 667-1）

^{*3} 島根大学生物資源科学部（690-8504 松江市西川津町1060）

^{*4} 島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センター（690-2059 松江市上本庄町2059）

2004年12月20日受付・2005年5月11日受理

日本土壤肥料学雑誌 第76巻 第6号 p.849~857 (2005)

表 1 供試土壌の理化学性

仮比重 (g mL ⁻¹)	pH (H ₂ O)	EC (dS cm ⁻¹)	T-C (g kg ⁻¹)	T-N (g kg ⁻¹)	C/N	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	Truog- P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	交換性塩基 (mg kg ⁻¹)		
									K ₂ O	CaO	MgO
0.74	7.33	0.49	22.1	1.4	15.36	24.7	82.5	302.8	180.8	2,080	19.8

表 2 ホウレンソウのコンテナ試験における各処理区の窒素成分割合および施肥量

処理区	肥料**	窒素成分割合 (%)				施肥量 (g m ⁻²)		
		有機態 N***	尿素態 N	アンモニア態 N	硝酸態 N	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
慣行	粒状化成	—	—	40.0	60.0	12.0	12.0	12.0
P 1*	尿素複合ペースト	0.2	99.8	—	—	9.6	9.6	9.6
P 50*	有機ペースト	50.0	50.0	—	—	9.6	9.6	9.6
P 100*	有機ペースト	100.0	—	—	—	9.6	9.6	9.6

* 慣行区に対して 20% 減肥で施用, 施肥は播種位置横 5 cm, 深さ 2.5 cm と 7.5 cm 位置に片側側条 2 段施肥。

** 慣行区はリン硝安カリ (N-P₂O₅-K₂O=16-10-14), P 1 区は尿素複合 (N-P₂O₅-K₂O=10-10-10), P 50 区は有機態窒素 50% 配合 (N-P₂O₅-K₂O=8-4-6), P 100 区は有機態窒素 100% 配合 (N-P₂O₅-K₂O=4-4-3) 肥料をそれぞれ使用。リン酸不足分は過リン酸石灰, カリウム不足分は硫酸カリウムで調整。

*** 尿素態を除く有機態窒素の有機成分は核酸, ビタミン, 各種アミノ酸が配合, 成分は P 1 区, P 50 区, P 100 区とも同様。

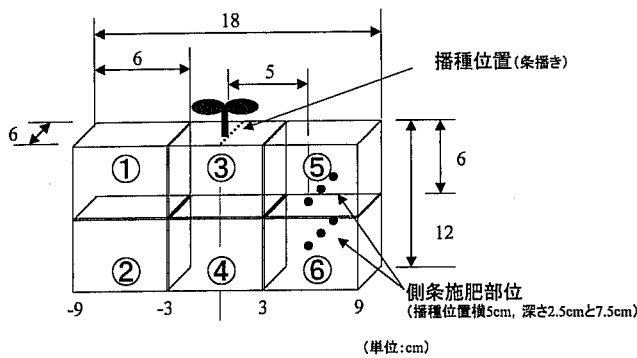


図 1 ホウレンソウのコンテナ試験における土壌採取ブロック

⑥位置に側条施肥の施用部位が収まるように設定した。採取した土壌は直ちに 2 mm の篩いを通して分析に供した。

(3) 作物および土壌の分析

作物体の硝酸, 全窒素および還元型アスコルビン酸を測定した。作物体中の硝酸は乾燥粉末試料 0.5 g に蒸留水 50 mL を加え, 1 時間振とう後ろ過し, 得られた抽出液を Cataldo 法¹²⁾ で定量した。全窒素は乾燥粉末試料を C/N アナライザー (住友ケミカル社製, NC-80 Auto) により定量した。還元型アスコルビン酸は生鮮試料 10 g に 10% メタリン酸を加えて摩砕して, 終端濃度が 5% となるように水で 200 mL に定容後ろ過し, ろ液を高感度反射式光度計 (Merck 社製, RQ フレックス) で測定した^{13,14)}。土壌の無機態窒素は生土 10 g に 2 M 塩化カリウム溶液 100 mL

を加えて 1 時間振とう後ろ過し¹⁵⁾, 水蒸気蒸留法¹⁶⁾ により硝酸態窒素およびアンモニア態窒素を定量した。

2) 実験 2 洗浄培養における滲出水の窒素成分とペースト肥料の粘性との関係

(1) 施肥および滲出水の採取

ペースト肥料の土壌中での無機化や窒素形態変化の推移を調査するため, 滲出水の洗浄培養試験を行った。処理および方法を表 3 と図 2 に示した。施用した肥料と土壌および各処理区は実験 1 と同様である。1/5,000 a ワグネルポットに土壌を 3.0 kg 充填し, リン硝安カリを土壌中に混和して施用した慣行区とペースト肥料をポット中心から横 5 cm, 深さ 5 cm 位置に円弧状に施用した P 1 区, P 50 区および P 100 区を設定した。全処理区とも施肥窒素量は 400 mg N pot⁻¹ (20 g m⁻²) とした。施肥後, ポット上面より 25°C に保持した水を灌水した。灌水は灌水開始から 2 時間かけて, ポット下部の排出口から滴下する滲出水量が 100 mL になるように調整しながら行った。滲出水を採取した後のポットは, 直ちに 25°C の恒温器内で培養を行った。培養は 1 処理区あたり 3 反復とし, 40 日間行い, その間の滲出水は 5 日ごとに合計 9 回 (900 mL) 採取して分析に供した。

(2) 滲出水の窒素分析

滲出水中の硝酸態窒素は Cataldo 法¹²⁾, アンモニア態窒素はインドフェノール法^{17,18)} によりそれぞれ測定を行った。またベルオキソニ硫酸カリウム分解法¹⁹⁾ により全窒

表 3 滲出水の洗浄培養試験における処理区および施肥量

処理区*	肥料*	施肥方法	施肥窒素量 (mg N pot ⁻¹)	土壌充填量 (kg pot ⁻¹)
慣行	粒状化成	土壌混和	400	3.0
P 1	尿素複合ペースト	局所施肥	400	3.0
P 50	有機ペースト	局所施肥	400	3.0
P 100	有機ペースト	局所施肥	400	3.0

* 実験 1 と同様。

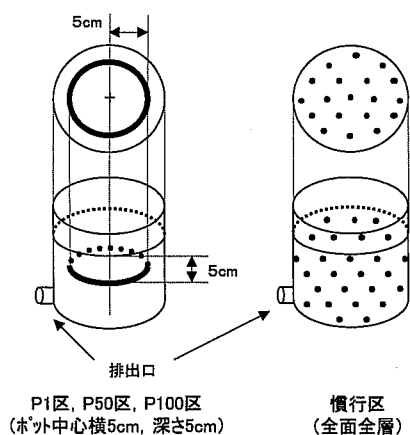


図2 滲出水の洗浄培養試験における各処理区の施肥位置

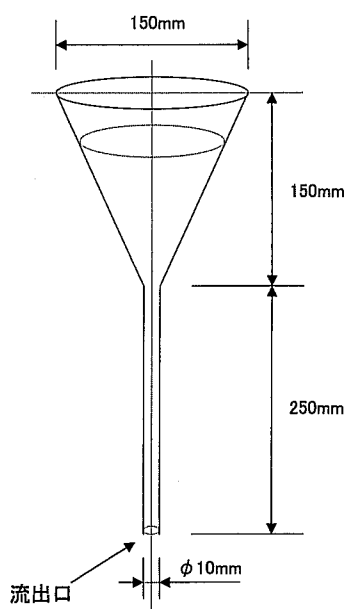


図3 粘度測定容器

素を測定し、全窒素から硝酸態窒素とアンモニア態窒素を除外した数値を有機態窒素とした。

(3) ペースト肥料の粘性試験

ペースト肥料の粘性は、泥水の粘性測定法として規格されるファンネル粘度を指標に測定した²⁰⁾。ファンネル粘度とは泥水500gをファンネル容器(漏斗)に入れて、すべてが流出し終わる時間(秒数)で示される。本試験では図3に示すファンネル容器を用いて、ペースト肥料500gが流出し終わる時間を測定した²¹⁾。

3. 結 果

1) 実験1

(1) 作物体の収量、窒素吸収量、硝酸含量および還元型アスコルビン酸含量

収穫時(播種後45日目)の新鮮重、乾物重および窒素吸収量を図4に示した。各測定項目とも慣行区とP1区、P50区およびP100区に差異はなく、処理区間に有意差

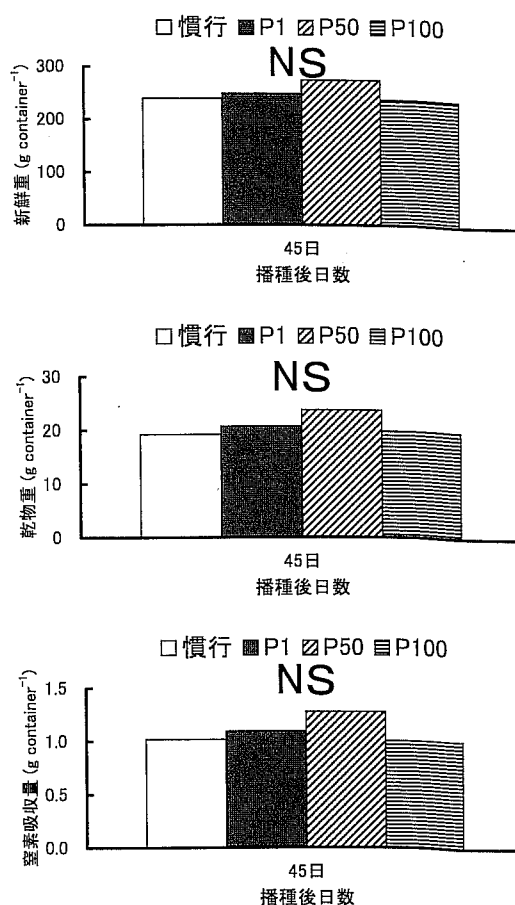


図4 コンテナ試験における各処理区のハウレンソウの新鮮重、乾物重および窒素吸収量
コンテナあたりの株数は10株、NSは5%水準で有意差がないことを示す(Tukey's test, $n=3$)。

は認められなかった。収穫時の作物体の硝酸含量と還元型アスコルビン酸含量を図5に示した。還元型アスコルビン酸含量は慣行区よりP1区、P50区、P100区が高くなる傾向を示したが、処理区間に有意差は認められなかった。一方、硝酸含量はペースト肥料を施用した区では慣行区よりも低く、P1区>P50区>P100区であった。また慣行区を100とした場合の指数は尿素複合ペースト肥料を施用したP1区で89(11%減少)、有機ペースト肥料を施用したP50区で79(21%減少)、P100区で69(31%減少)となり、P100区の硝酸含量は慣行区に対して有意に低下した。

(2) 土壌中の無機態窒素

収穫時において、砕土砕を打ち込んで採取した各ブロック跡地土壌の硝酸態およびアンモニア態窒素量の分布を図6に示した。慣行区の硝酸態窒素は①~⑥の全ブロックで100 mg kg⁻¹以上であり、④および⑥には350 mg kg⁻¹以上存在した。一方、P1区、P50区およびP100区の硝酸態窒素は、①~⑥の全ブロックともP1区>P50区>P100区となり、尿素複合ペースト肥料(P1区)と比較して、有機ペースト肥料(P50区、P100区)で低くなった。また有機ペースト肥料区内では有機態窒素の配合割合

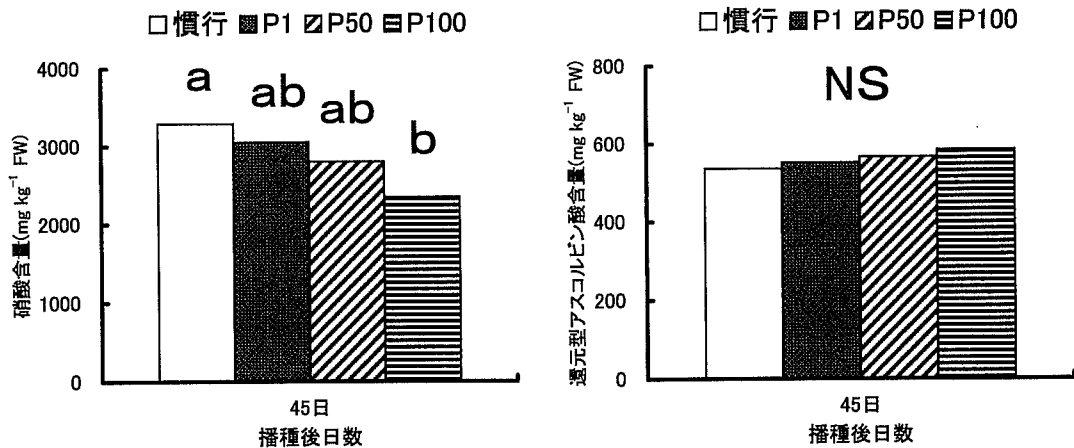


図5 コンテナ試験における各処理区のホウレンソウの硝酸含量および還元型アスコルビン酸含量異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す。NSは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey's test, $n=3$)。

が高いほど硝酸態窒素の存在量は低下した。さらにペースト肥料を施用したいずれの区においても、施用部位⑤、⑥以外の①～④(無施用部位)に、硝酸態窒素が比較的高い数値で認められたことから、施用部位を中心に横方向へ移動する傾向を示した。アンモニア態窒素は慣行区の①がP1区、P50区、P100区より低い傾向にあったものの、硝酸態窒素はほぼ全処理区および全ブロックで大きな差異は認められなかった。

①～⑥のアンモニア態および硝酸態窒素の総量を求め、各処理区土壌の無機態窒素量を表4に示した。慣行区の無機態窒素量は有機ペースト肥料を施用したP50区やP100区より高く、慣行区ではその93%以上が硝酸態窒素で占められていた。P50区およびP100区の無機態窒素量は慣行区と比較して、それぞれ82%および58%であり、有機態窒素の配合割合が高くなるほど低かった。一方、P1区、P50区、P100区におけるアンモニア態窒素量の差異はわずかであり、処理による変化は小さかった。

2) 実験2

(1) 滲出水中の無機態窒素および有機態窒素の推移

洗浄培養試験における各処理区の滲出水中の硝酸態窒素濃度およびアンモニア態窒素濃度の推移を図7に示した。慣行区の硝酸態窒素は培養直後に 400 mg L^{-1} 以上を示した後に低下し、20日目以降は 100 mg L^{-1} 前後で推移した。一方、P1区およびP50区の硝酸態窒素は培養後10日目まで、P100区は15日目まではほとんど認められなかった。また溶出後の硝酸態窒素濃度はP1区>P50区>P100区で推移した。

アンモニア態窒素は慣行区が培養直後に 50 mg L^{-1} 以上であったが、以後は極めて低い値で推移した。またP50区は5日目に 80 mg L^{-1} であったが以後は漸減し、P1区およびP100区と同様に $30\sim 40 \text{ mg L}^{-1}$ で推移した。アンモニア態窒素は硝酸態窒素と比較して、各処理区間の差異は小さく、無機態窒素の溶出は硝酸態窒素を主体としていた。

各処理区の滲出水中の有機態窒素濃度の推移を図8に示した。P1区とP100区は培養後5日目が最も高く、以後低下した。P50区は培養直後が最も高く、以後低下した。また20日目までの溶出量はP50区およびP100区と比較して、P1区は極めて高い値で推移した。P1区、P50区、P100区とも20日目以降の溶出はほとんど認められなかった。慣行区は培養期間を通して有機態窒素の溶出は極めて少なく、ほぼ一定の値で推移した。

(2) 滲出水中の窒素成分の累積溶出量とペースト肥料の粘性

ペースト肥料の窒素成分の溶出量の違いには、肥料の粘度が影響されるのではないかと推察したため、ペースト肥料のファンネル粘度(500 g s^{-1})を測定したところ、P1区が2.84秒、P50区が5.90秒、P100区が15.96秒であり、尿素複合ペースト肥料(P1区)が最も粘性は低く、また有機ペースト肥料(P50区、P100区)は有機態窒素の配合割合が高いほど粘度は高かった。図7および図8に示した無機態窒素および有機態窒素の累積溶出量を求め、粘度との関係を図9に示した。無機態窒素および有機態窒素とも粘度が高くなるほど溶出量は低下する傾向を示した。また有機態窒素についてはP1区に対して、P50区およびP100区は 100 mg pot^{-1} 以上も低い値を示した。

各処理区における滲出水中の窒素成分の累積溶出量および全窒素の溶出率を表5に示した。硝酸態窒素は慣行区が $143.3 \text{ mg N pot}^{-1}$ で最も高く、P1区の2.9倍、P50区の3.7倍、P100区の6.5倍であった。アンモニア態窒素はP50区が最も高かったが、各処理区間に硝酸態窒素ほどの差異は認められなかった。一方で有機態窒素はP1区が $148.4 \text{ mg N pot}^{-1}$ で最も高く、P50区の3.5倍、P100区の5.0倍であった。また、全窒素および全窒素の溶出率を比較すると、P1区>慣行区>P50区>P100区であった。P1区は施肥窒素の5割以上が溶出し、溶出した窒素成分は無機態より有機態が多かったため、窒素の多くは尿素態で溶出したものと推察される。

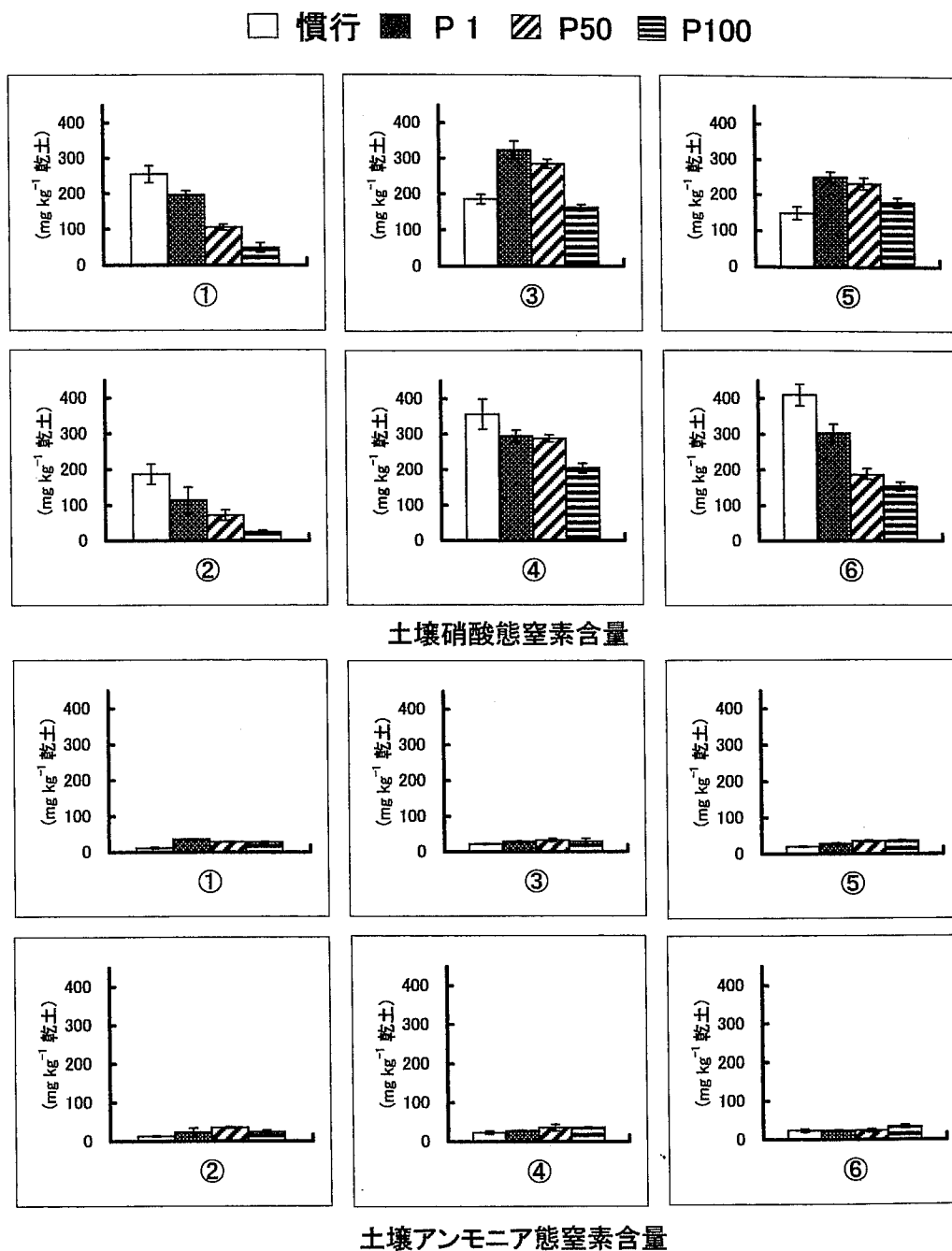


図6 ハウレンソウのコンテナ試験における各処理区の跡地土壤の無機態窒素の分布
バーは標準誤差を示す。①～⑥は土壤採取ブロックを示す。

表4 ハウレンソウのコンテナ試験における各処理区の跡地土壤の無機態窒素総量

処理区	硝酸態窒素 (mg kg ⁻¹)	アンモニア態窒素 (mg kg ⁻¹)	無機態窒素 (mg kg ⁻¹)
慣行	1,541.9	113.6	1,655.5 (100)*
P1	1,478.8	167.1	1,645.9 (99)*
P50	1,167.7	192.8	1,360.5 (82)*
P100	772.0	187.5	959.5 (58)*

* カッコ内の数字は慣行区の無機態窒素を100とした指数。

無機態窒素総量は土壤採取ブロック①～⑥を加算した数値を示す。

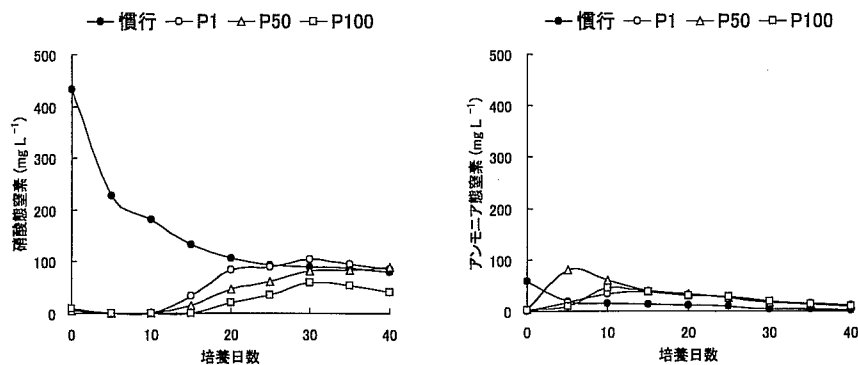


図 7 洗浄培養試験における各処理区の滲出水中の無機態窒素濃度の推移

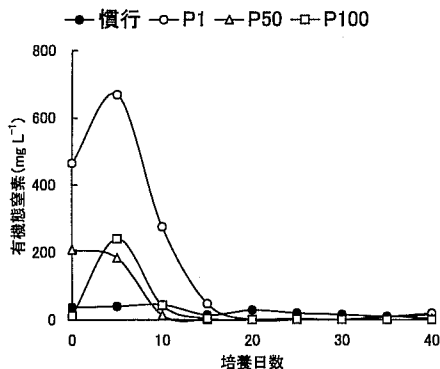


図 8 洗浄培養試験における各処理区の滲出水中の有機態窒素濃度の推移

有機態窒素濃度は全窒素濃度を測定し、無機態窒素濃度を除算した数値を示す。

4. 考 察

実験 1 において、窒素組成の異なるペースト肥料を用いて側条施肥栽培を行い、ハウレンソウの硝酸含量に及ぼす影響について検討した。ペースト肥料を側条施肥で施用した P1 区、P50 区および P100 区は、慣行区に対して収量および窒素吸収量が同等であったにもかかわらず、硝酸含量は低下する傾向が認められた (図 4, 5)。ペースト肥料の側条施肥栽培が、慣行施肥の 20% 減肥でも収量を落とすことなく、硝酸低減に効果があったことについてはレタスを対象とした前報²⁾と同様であり、本試験においても施用効果が再現された。

前報²⁾では数種の肥料を用いて側条施肥栽培を行い、尿素複合ペースト肥料 (本試験では P1 区に相当) よりも、なたね油かすの施用により、レタスの硝酸含量が低下することを報告した。さらにその一因として、なたね油かすは施用後の窒素の溶出や移動性が尿素複合ペースト肥料よりも低かったため、硝酸態窒素の吸収が抑制されることを指

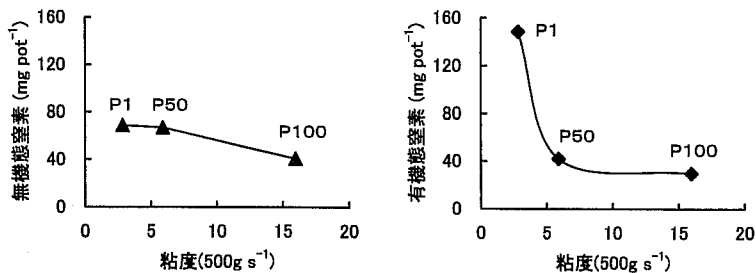


図 9 洗浄培養試験におけるペースト各処理区の滲出水中の無機態窒素量および有機態窒素量と粘度との関係
無機態窒素量および有機態窒素量はポットあたりの累積溶出量を示す。

表 5 洗浄培養試験における各処理区の滲出水中の各窒素成分の累積溶出量および溶出率

処理区	累積溶出量 (mg N pot ⁻¹)*				全窒素溶出率 (%)**
	硝酸態窒素	アンモニア態窒素	有機態窒素	全窒素	
慣 行	143.5	13.5	22.4	179.2	44.8
P 1	49.9	19.0	148.4	217.3	54.3
P 50	38.4	28.8	42.1	109.3	27.3
P 100	22.1	19.1	29.9	71.1	17.8

* 滲出水中の各窒素成分の累積濃度 (mg L⁻¹) に滲出水総量 (900 mL) を乗算した数値を示す。

** ポットあたりの施肥窒素量 (400 mg N pot⁻¹) に対する全窒素の溶出率を示す。

摘した。一方、本試験において、ペースト肥料を施用した3処理区の硝酸含量はP1区>P50区>P100区となり、尿素態窒素を主成分とする尿素複合ペースト肥料(P1区)より、有機ペースト肥料(P50区、P100区)を施用した方が硝酸含量は低く、また有機ペースト肥料は有機態窒素の配合割合が高いほど硝酸含量は低下する傾向を示した。ペースト肥料の窒素の溶出については、高橋²²⁾がペースト肥料の局所施肥と粒状肥料の全面全層施肥を行った圃場から溶出した土壤水中の硝酸態窒素を調査し、ペースト肥料を畝中央の深さ7.5 cm位置に局所施肥した場合、畝上面から深さ15 cm位置の土壤水中の硝酸態窒素濃度は、施肥後40日で、粒状肥料の全面全層施肥と比較して著しく低かった(約1/3倍量に低下)ことを報告している。本試験においても、実験2で滲出水中の各窒素成分の溶出特性を検討したところ、ペースト肥料を施用したP1区、P50区およびP100区の硝酸態窒素量は慣行区に対して著しく低く、高橋の報告と同様であった(表5)。一方、有機態窒素量はP50区やP100区と比較してP1区は極めて高く、また培養直後から5日目までが最も高かったことから(表5、図8)、P1区においては尿素態窒素の施肥位置からの溶出が顕著であったと考えられる。

有機ペースト肥料は尿素複合ペースト肥料と比較して、糖蜜アルコールなどの発酵副産物の割合が高く、肥料の粘性も異なっている⁵⁻⁷⁾。そのため、滲出水から溶出した有機態窒素量に差異があったことについては、ペースト肥料の粘度の影響をも考慮する必要があると考えられる。実験2において、ペースト肥料の粘度はP1区よりP50区で高く、さらにP100区は顕著に高かった。また粘度が高いほど滲出水中の無機態窒素や有機態窒素の溶出量は低下する傾向を認めた(図9)。すなわち尿素複合ペースト肥料は、粘性が低く、施用後に施肥位置から溶出し易かったため、溶出後の無機化が促進されたものと考えられる。一方、有機ペースト肥料は有機態窒素の配合割合が高いほど粘性が高く、肥料が施肥位置から溶出しにくかったため、尿素複合ペースト肥料よりも無機化が遅れたものと推察される。また粘度以外の要因として、ペースト肥料の窒素組成の違いによる影響も考えられる。尿素複合ペースト肥料の窒素成分はその大半が尿素態である。尿素は水溶性であり、また非電解性の物質であることから、施用後すぐには土壤表面荷電に吸着されにくいため、溶出し易かったことが考えられる²³⁾。一方で、有機ペースト肥料はアミノ酸やタンパク質などの荷電をもつ有機成分を主体とすることから、比較的土壤に吸着され易く、そのため溶出しにくかったものと考えられる^{24,25)}。実験2でP1区とP50区の粘性の差は比較的小さかったものの、有機態窒素の溶出量はP50区が顕著に低かったことから(図9右)、異なる窒素組成であったことも溶出性の違いに影響を及ぼしたものと思われる。

ペースト肥料の移動性については、加藤・鎌田²⁶⁾が無機態窒素を主成分とするペースト肥料を裸地圃場(褐色低

地土および酸性褐色森林土)に側条施肥し、無機態窒素の移動性を調査した結果、施用後22~63日目にかけて、施肥位置から上下・横方向に移動したとし、また硝酸態窒素の移動が無機態窒素の移動に反映されたことを報告している。本試験においても、ペースト肥料を施用したホウレンソウ栽培跡地土壤の硝酸態窒素量は、施肥位置⑤、⑥ブロックから横方向への移動を示し(図6)、加藤・鎌田の報告と同様の傾向を示すものであった。さらに各ブロックへ移動した硝酸態窒素は、いずれもP1区>P50区>P100区であった。すなわち、側条施肥栽培において、有機ペースト肥料は尿素複合ペースト肥料と比較して、有機態窒素の組成の違いや肥料自体の粘性が高いため、施肥窒素の溶出や移動が少なく、そのため無機化および硝酸化に遅れが生じたことから、作物の硝酸態窒素の吸収を抑制したものと推察された。また慣行区に対して硝酸含量が低下したにもかかわらず、収量や窒素吸収量が同等であったことについては、レタス栽培でペースト肥料を施用した前報²⁾や、ホウレンソウ栽培では有機質肥料や被覆肥料を施用した松本³⁾および建部²⁷⁾によっても報告されている。さらに窒素吸収量が慣行区と同等であった要因として、緩効的な肥効による効率的な窒素吸収および硝化過程の窒素を吸収していた可能性も考えられる^{2,3,27)}。つまり有機ペースト肥料は施肥位置に有機態で存在する期間が長いため、緩効的な肥効が持続したものと推察される。

なお、実験1において栽培跡地土壤の硝酸態窒素は比較的高い値となった。畑作物のハウス栽培においては、土壤に比較的多くの堆肥を施用することが一般的に行われており^{28,29)}、本試験でもバーク堆肥を施用して栽培を行った。このためバーク堆肥からの窒素の無機化についても考慮する必要もあるが、本試験結果は、処理間に比較的明瞭な差異が認められていたことから、ペースト肥料の種類の違いが生育や作物の硝酸含量に及ぼす影響を反映していたと推察される。

また前述した高橋の報告²²⁾では、ペースト肥料の局所施肥が粒状肥料の全面全層施肥と比較し、土壤水中の硝酸態窒素濃度が低下したことについて、地下水への窒素溶脱、すなわち環境負荷の軽減に効果があったと指摘している。本試験においても、滲出水中の硝酸態窒素の累積溶出量は、ペースト肥料で施用した3処理区が慣行区より極めて少なかった。しかし、P1区は有機態窒素の累積溶出量がP50区の3.5倍、P100区の5.0倍であり、全窒素の累積溶出量は慣行区より高かった。前述したように、P1区では尿素態窒素が多量に溶出したものと考えられ、ペースト肥料の施肥窒素の溶脱を考える場合、無機態窒素だけではなく、尿素態窒素の溶出についても留意する必要があった。一方、アミノ酸などの有機成分を主体とする有機ペースト肥料は、有機態窒素の配合割合が高いほど、施肥窒素の流亡が抑制されたことから、窒素負荷の軽減にも有効であると思われた。

以上より、有機ペースト肥料の施用は機械施肥による畝

内への側条施肥が可能であることから、作物品質や環境への影響を重視した野菜生産に有望であると考えられる。しかし、肥料の溶出性は土壌の違いや地温、降雨などの自然環境にも影響されるため、圃場における効果の検証や土壌の種類の違いによる肥効特性を明らかにすることによって、ペースト局所施肥の実用化技術として構築していく必要があると思われる。

5. 要 約

粒状化成肥料の慣行施肥（全面全層施肥）を対照とし、窒素組成の異なる3種類のペースト肥料（尿素複合ペースト肥料、有機態窒素50%配合ペースト肥料、有機態窒素100%配合ペースト肥料）を施用して、ハウレンソウの側条施肥栽培を実施し、生育や硝酸含量に及ぼす影響について検討した。また同肥料の洗浄培養試験を実施し、土壌滲出水中の窒素成分の溶出経過やペースト肥料の粘性の違いから、硝酸化成や環境負荷に及ぼす影響についても検討した。

1) ハウレンソウの収量や窒素吸収量に処理区間の差異は認められなかった。

2) 有機態窒素の配合割合が高い有機ペースト肥料ほど、粒状化成肥料の慣行施肥や尿素複合ペースト肥料の施用と比較して、硝酸含量が低下した。

3) 有機ペースト肥料は尿素複合ペースト肥料よりも、肥料の粘性が高く、また施肥窒素の溶出量や栽培跡地の硝酸態窒素の移動量は低かった。特に有機態窒素の溶出量は著しく低下した。

4) 以上より、有機態窒素の配合割合が高い有機ペースト肥料の施用は、粒状化成肥料および尿素複合ペースト肥料の施用よりも、土壌中での硝酸化成に遅れが生じるため、作物の硝酸態窒素の吸収を抑制したと考えられた。また施肥窒素の流亡が抑制され、環境負荷の軽減にも有効であると推察された。

文 献

- 1) 桃野 寛・加藤 淳・道場三喜雄：野菜におけるペースト肥料の効果的施肥技術（第2報） スポット施肥播種機の開発，北農，58，404～409（1991）
- 2) 三代恭広・太田勝巳・松本真悟：ペースト肥料による側条施肥栽培がレタスの生育および品質に及ぼす影響，土肥誌，75，431～438（2004）
- 3) 松本真悟・阿江教治・山縣真人：有機質肥料の施用がハウレンソウの生育および硝酸，シュウ酸，アスコルビン酸含量に及ぼす影響，同上，70，31～38（1999）
- 4) Matsumoto, S., Ae, N. and Yamagata, M.: Nitrogen uptake response of vegetable crops to organic materials. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 45, 269～278（1999）
- 5) 御子柴穆：ペースト肥料，肥料便覧，第5版，p.129～132，農山漁村文化協会，東京（1997）
- 6) 加藤 淳・桃野 寛・鎌田賢一：野菜におけるペースト肥料の効果的施肥技術（第1報）ダイコンに対する側条施肥法の開発，北農，58，301～307（1991）
- 7) 三菱農機株式会社作業機部・片倉チッカリン株式会社札幌支店：ペースト側条施肥システムの解説書（北海道版），p.1～4（1985）
- 8) 土壤養分測定法委員会編：土壤養分分析法，p.209，養賢堂，東京（1978）
- 9) 山縣真人・阿江教治・大谷 卓：作物の生育反応に及ぼす有機態窒素の効果，土肥誌，67，345～353（1996）
- 10) 島根県農林水産部：土壤肥料対策指導指針，p.46（1989）
- 11) 長野県野菜花き試験場：ハウレンソウに対するペースト状肥料の局所機械・機械播種同時作業，関東東海農業研究成果情報，p.69～70（1994）
- 12) 大山卓爾：無機態窒素，植物栄養実験法，植物栄養実験法編集委員会編，p.174～179，博友社，東京（1997）
- 13) 静岡県農林水産部：簡易小型反射式光度計を用いた作物・土壌の簡易測定法，あたらしい農業技術，No.357，p.3～15（2001）
- 14) 建部雅子・米山忠克：作物栄養診断のための小型反射式光度計による硝酸および還元型アスコルビン酸の簡易測定法，土肥誌，66，155～158（1995）
- 15) Bremner, J. M.: Nitrogen availability indexes; in *Method of Soil Analysis, Part 2*, ed. C. A. Black et al., p.1324～1345, American Society of Agronomy, Inc., Publisher, Madison, U.S.A. (1965)
- 16) 嶋田典司：アンモニウム態窒素，硝酸態窒素，土壤標準分析・測定法，土壤標準分析・測定法委員会編，p.105～116，博友社，東京（1994）
- 17) 吉川重彦・木方展治・鳥山和伸：土壤溶液モニタリング，植物栄養実験法，植物栄養実験法編集委員会編，p.390～397，博友社，東京（1997）
- 18) Rhine, E. D., Sims, G. K., Mulvaney, R. L. and Pratt, E. J.: Improving the Berthelot reaction for determining ammonium in soil extracts and water. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62, 473～480（1998）
- 19) 長田 隆：全窒素，土壤環境分析法，土壤環境分析法編集委員会編，p.390～391，博友社，東京（1997）
- 20) 石油開発公団編：石油用語辞典，p.279～280，日本石油コンサルタント，東京（1974）
- 21) 越野正義：窒素負荷を軽減する新施肥法，環境保全と新しい施肥技術，p.116～128，養賢堂，東京（2001）
- 22) 高橋正輝：省力・環境保全的な局所施肥法，環境保全と新しい施肥技術，p.188～205，養賢堂，東京（2001）
- 23) 奥田 東：土の中の窒素の動向，肥料学概論，p.144～159，養賢堂，東京（1985）
- 24) Knut, K.: Amino acid absorption by arctic plants: Implications for plant nutrition and nitrogen cycling. *Ecology*, 75, 2373～2383（1994）
- 25) Knut, K.: Landscape patterns of free amino acid in arctic tundra soil. *Biogeochemistry*, 31, 85～98（1995）
- 26) 加藤 淳・鎌田賢一：畑土壌における肥料成分の移動，北農，56，40～50（1989）
- 27) 建部雅子・佐藤信仁・石井かおる・米山忠克：緩効性窒素肥料の施用がハウレンソウのシュウ酸，アスコルビン酸，硝酸，糖，硝酸含有率に与える影響，土肥誌，67，147～154（1996）
- 28) 三好 洋・嶋田永生・石川昌男・伊達 昇：畑地の改良，土壤肥料用語辞典，p.167～172，農文協，東京（1996）
- 29) 前田正男・松尾嘉郎：ハウス土壌，土壌の基礎知識，p.175～183，農文協，東京（1997）

Effects of Differences in the Nitrogen Composition of Paste-Like Fertilizer Applied as Side Dressing on Growth and the Nitrate Concentration of Spinach (*Spinacia oleracea* L. var. *crispa*)

Yasuhiro Mishihiro, Katsumi Ohta* and Shingo Matsumoto*
(Grad. Sch. Agric. Sci., Tottori Univ., *Fac. Agric., Shimane Univ.)

To evaluate the effects of differences in nitrogen composition in paste-like fertilizers applied as side dressing, growth and nitrate concentration of spinach (*Spinacia oleracea* L. var. *crispa*) grown in containers were examined and compared to standard fertilization using a compound fertilizer (standard, N, P₂O₅ and K₂O applied to the soil at a rate of 120 mg kg⁻¹). Three kinds of paste-like fertilizer, which differ in nitrogen source, i. e. urea, a 1 : 1 mixture of urea and residual liquid with fermented molasses (RLFM) and RLFM, were applied to the soil as side dressing at a rate that was 20% below the standard. Dry matter production and N uptake in spinach treated with paste-like fertilizers was comparable to that treated with standard fertilizer, while the nitrate concentration in spinach treated with paste-like fertilizers was lower than that treated with standard fertilizer. Among the paste-like fertilizers, the nitrate concentration in spinach decreased with the increasing rate of RLFM, in which the major N sources were composed of proteins and amino acids.

To understand the possible explanation for better growth and low nitrate concentration in spinach treated with paste-like fertilizer despite the lower application rate, N concentrations of ammonium, nitrate and organic N were assessed temporally by leaching water from fallow plots. At the initial time of incubation, the nitrate concentration in the leaching water from the standard fertilizer was higher than that from paste-like fertilizer treatments. The paste-like fertilizer composed of urea, however, showed a higher concentration of organic N which was supposed to be urea. The fertilized-N of the standard and paste-like fertilizer composed of urea might be immediately eluviated by irrigation. However, N concentration in the leaching water after treatments with paste-like fertilizer composed of RLFM was lower than that of the former treatments, suggesting that fertilized-N might remain localized. The amount of N eluviated during incubation showed a negative correlation with the viscosity of the paste-like fertilizer. The highest viscosity was observed in the paste-like fertilizer composed of RLFM, followed by a 1 : 1 mixture of urea and RLFM, and the paste-like fertilizer composed of urea was the lowest in viscosity. Therefore, it was suggested that the paste-like fertilizer composed of RLFM or a 1 : 1 mixture of urea and RLFM showed limited N leaching due to the high viscosity. Therefore, spinach could take up N efficiently.

Key words nitrate, nitrogen composition of paste-like fertilizer, side dressing, spinach

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 76, 849-857, 2005)