

秋冬ニンジン作の養分収支と窒素吸収経過に基づく 環境保全型養分管理技術の開発

三浦憲蔵¹・片山勝之²・皆川 望³

目 次

I 緒言	59	III 結果および考察	62
II 材料および方法	60	1. 試験圃場の土壌化学性	62
1. 秋冬ニンジン作の養分管理 (1997~1999年)	60	2. 秋冬ニンジン作の養分収支	63
2. レタス後作ニンジン作の養分管理 (2000~2001年)	60	3. レタス後作ニンジン作の養分収支	63
3. 土壌化学性の分析	61	4. ニンジン作の窒素吸収経過に基づく 被覆尿素の選定	64
4. 養分収支の評価	61	5. 土壌溶液中硝酸態窒素濃度の 実態と推定	66
5. 無機態窒素収支の評価	61	IV 摘要	67
6. 被覆尿素の窒素溶出特性	61	引用文献	68
7. 年間平均土壌溶液中 硝酸態窒素濃度の推定	61	Summary	69

I 緒 言

近年、わが国の畑耕地における化学肥料等の多投は土壌への肥料成分の過剰集積や環境への負荷を引き起こしていることが指摘され、環境保全への関心が高まる中で、こうした問題の解消が求められている。国際的には、OECD農業環境指標の1つに養分使用指標(=投入量-搬出量)が設定されており、1995-1997年の窒素収支については、日本は135kg/haであり、OECD加盟国の平均値23kg/haを大きく上回っていた⁽¹⁾。また、日本の地下水の硝酸汚染は、茶園地帯で特に汚染度が高く、果樹園、野菜畑で汚染地が広く分布していることなどが報告された⁽²⁾。こうした背景から、1999年には公共用水域および地下水中の硝酸性窒素および亜硝酸性窒素が環境基準健

康項目へ移行され、基準値(合計で10mgL⁻¹以下)が設定されたことにより、農用地における硝酸性窒素の排出・地下浸透の低減対策が推進されることとなった。したがって、環境保全型養分管理がますます重要となり、窒素投入量削減による窒素収支の改善が強く求められている。ここでは、秋冬ニンジン作の養分収支に基づく投入量の適正化を図るとともに、ニンジン作の窒素吸収経過を考慮した環境保全型養分管理技術の開発を目指す。

一方、浸透水中硝酸態窒素濃度の実態や窒素収支改善による浸透水中硝酸態窒素濃度の低減効果を明らかにするには、多大の労力を要する。そこで、土壌および有機質資材からの無機態窒素放出量を考慮

平成14年9月24日受付 平成14年12月25日受理

¹土壌肥料部

²企画調整部

³九州沖縄農業研究センター

した収支と土壤溶液中硝酸態窒素濃度の関係を明らかにし、これに基づいて土壤溶液中硝酸態窒素濃度を推定する方法を提示する。さらに、この推定法を

用いて、窒素投入量削減による窒素溶脱量低減の効果を評価する。

II 材料および方法

1. 秋冬ニンジン作の養分管理 (1997～1999年)

地域先導技術総合研究「関東平野における高品質野菜の環境保全型生産技術の確立」(平成9年～13年)の前期3年間においては、秋冬ニンジン作の養分収支に基づく適正施肥量を明らかにするため、中央農業総合研究センター谷和原畑圃場(表層腐植質黒ボク土⁽¹⁾, Silic Andosol⁽²⁾)において試験を実施した。このうち、1999年については、表1に示したとおり、茨城県の野菜栽培基準⁽³⁾に基づく施肥基準量(N-P₂O₅-K₂O = 25-15-25kg/10a)(処理区①),ならびに窒素・リン酸50%削減として、太陽熱処理なし(処理区②)およびあり(処理区③),さらに、窒素・リン酸50%削減かつ投入窒素量の50%を牛ふん堆肥で代替して、太陽熱処理なし(処理区④)およびあり(処理区⑤)を設定した。施肥窒素量の内訳は、表1の注2に示したように、化成肥料と被覆尿素(処理区①～③)または牛ふん堆肥と被覆尿素(処理区④および⑤)の組み合わせとした。ここで、太陽熱処理を行う場合(処理区③と⑤)は初期溶出抑制型のLPコートSS100,行わない場合(処理区①,②および④)はLPコート70を用いた。

ここで、太陽熱処理は、ニンジン播種前の約4週間(6月下旬から7月下旬まで),畝表面を透明ポリエチレンフィルム(厚さ0.03mm)で被った。播種はフィルム除去後,耕耘せずに直ちに行った。施肥は太陽熱処理区では処理開始前に,無処理区では播種前に行った。牛ふん堆肥施用は太陽熱処理区および無処理区とも,太陽熱処理開始前すなわちニンジン播種の約4週間前に行った。

2. レタス後作ニンジン作の養分管理 (2000～2001年)

本地域総合研究の後期2年間においては,現地農家畑の作付体系に準じて,前作にレタスを導入した場合の後作ニンジン作の養分管理について検討した。上記の畑圃場において,2000年の春レタスは,表2

に示したとおり,茨城県の野菜栽培基準⁽³⁾に基づく施肥基準量(N-P₂O₅-K₂O = 20-20-20kg/10a)として,これに牛ふん堆肥2t/10a施用(処理区①)または1t/10a施用(処理区②～⑤)とした。後作の秋冬ニンジン作は,茨城県の施肥基準量(処理区①),ならびに窒素・リン酸50%削減かつ投入窒素量の50%を牛ふん堆肥で代替して,太陽熱処理なし(処理区②)およびあり(処理区③),さらに秋冬ニンジンについて無施肥として,太陽熱処理なし(処理区④)およびあり(処理区⑤)を設定した。ニンジン作施肥窒素量の内訳は,表2の注3に示したように,化成肥料と被覆尿素(処理区①)または牛ふん堆肥と被覆尿素(処理区②および③)の組み合わせとした。ここで,被覆尿素は初期溶出抑制型とし,太陽熱処理を行う場合(処理区③)はLPコートS120,行わない場合(処理区①と②)はLPコートS100を用いた。

2001年の春レタスは,表3に示したとおり,茨城県の施肥基準量として,これに牛ふん堆肥2t/10a施用(処理区①)または1t/10a施用(処理区②および③)とした。処理区④および⑤はレタス無作付として,牛ふん堆肥1t/10aのみ施用した。秋冬ニンジンについては,茨城県の施肥基準量(処理区①),ならびに窒素・リン酸50%削減として,太陽熱処理あり(処理区②と④)およびなし(処理区③と⑤)を設定して,試験を実施した。ニンジン作施肥窒素量の内訳は,表3の注3に示したように,処理区①は基肥として化成肥料および追肥として尿素的組み合わせとし,処理区②～⑤については化成肥料と初期溶出抑制型被覆尿素的組み合わせとした。ここで,用いた被覆尿素的のタイプは2000年ニンジン作の場合と同様とした。

2000年および2001年とも牛ふん堆肥は3月上旬(レタス定植の約3週間前),レタス作施肥のための化成肥料はレタス定植前に施用した。ニンジン播種前の太陽熱処理,播種および施肥は上記と同様に行った。

3. 土壌化学性の分析

圃場試験開始前に、土壌（深さ0-15cm）を採取し、pH(H₂O)と無機態窒素は生土、それ以外は風乾細土 (< 2 mm) について次の分析を行った。分析項目は、pH(H₂O) (1:5水浸出-ガラス電極法)、可給態窒素 (30℃ 4週間・保温静置法)、無機態窒素〔硝酸態窒素 (10%塩化カリウム抽出-ジアゾ還元法) とアンモニア態窒素 (10%塩化カリウム抽出-インドフェノール法) の含量〕、可給態リン酸 (トルオーグ法)、交換性カリウム (1M酢酸アンモニウムpH7.0抽出-炎光光度法) である。

4. 養分収支の評価

上記の圃場試験について、レタスは結球部、ニンジンには全部を搬出として、収量調査を行った。作物体および牛ふん堆肥の乾燥粉碎試料について、窒素 (NCアナライザー)、リン酸 (硝酸分解-バナドモリブデン酸法) およびカリウム (硝酸分解-炎光光度法) の含有率を測定した。これらにより、養分収支 (=投入量-搬出量) を評価した。レタス後作ニンジンの養分収支は、前作レタスの養分収支すなわち未回収量が後作ニンジンに供給されると考えて計算を行った。

5. 無機態窒素収支の評価

試験開始前に、15cmごとに深さ60cmまでの土壌試料を採取し、生土を用いて、20℃と30℃の2段階で土壌水分を最大容水量の50~60%に保って培養試験を126日間行った。培養期間中に約2週間ごとに測定した無機態窒素 (=硝酸態窒素+アンモニア態窒素) 量データを用いて窒素無機化特性値の算出および得られた無機化特性値と実測した地温データを用いて無機態窒素放出量の推定を行った。これらについては、表計算ソフト「EXCEL」上で利用できるプログラム⁹⁾を使用した。

牛ふん堆肥については、60℃乾燥・粉碎した試料を用いて、ガラス繊維ろ紙埋設法により窒素分解率を求めた。これに牛ふん堆肥含有窒素量を乗じて、無機態窒素放出量を算出した。

ここで、土壌の仮比重を0.7とすれば、深さ15cmの土壌重量は10a当たり105tとなるので、土壌からの無機態窒素放出量のmg/100gの単位をkg/10aに置き換えて、10a当たりの値とした。ここでは、深さ

60cmまでをニンジンの根群域としたため⁹⁾、深さ15cmごとの無機態窒素放出量を60cmまで積算して、土壌 (0-60cm) からの無機態窒素放出量を求めた。

こうして、作付期間中の土壌 (0-60cm) および牛ふん堆肥からの無機態窒素放出量を求め、これらと施肥窒素量の合計量から窒素搬出量を差し引いて無機態窒素収支を評価した。

6. 被覆尿素の窒素溶出特性

ニンジン生育に伴う窒素吸収経過に適した被覆尿素を選定するため、下記の被覆尿素について、圃場条件下での窒素溶出特性をガラス繊維ろ紙埋設法を用いて評価した。ここでは、太陽熱処理を行う場合は、LPコートS120 (LPS120) とLPコートSS100 (LPSS100)、行わない場合は、LPコートS100 (LPS100) とLPコート70 (LP70) の比較を行った。供試した被覆尿素の表示されている25℃土壌中の窒素溶出特性は以下の通りである。

- ・LPコートS120：溶出抑制約60日間、その後の約60日間で80%溶出
- ・LPコートSS100：溶出抑制約45日間、その後の約55日間で80%溶出
- ・LPコートS100：溶出抑制約30日間、その後の約70日間で80%溶出
- ・LPコート70：約70日間で80%溶出

7. 年間平均土壌溶液中硝酸態窒素濃度の推定

2001年には、ポーラスカップを深さ60cmに埋設し、電動吸引ポンプで-50kPaに減圧して土壌溶液を4月から11月まで計7回採取し、簡易型反射式光度計 (RQフレックス) でNO₃-N濃度を測定した。これに各期間毎の浸透水量を乗じた値の年間合計値を年間浸透水量で除した値を年間平均土壌溶液中硝酸態窒素濃度とした。

浸透水量は降水量から蒸発散量を差し引いて求める。本調査地区の年間平均降水量は約1,200mm、年間蒸発散量は600~700mmであることから、年間浸透水量は500~600mmと推定される。この値は年間降水量の50%の600mmと比べて大きく異なるものではないため、ここでは降水量の50%を浸透水量とした。

Ⅲ 結果および考察

1. 試験圃場の土壌化学性

1999年試験開始前の土壌(0-15cm)の化学性は表1に示した。土壌試料を採取したのは、苦土石灰施用後であり、pH(H₂O)はニンジン作に好適とされる条件(pH5.5~6.5)^①に矯正されていた。また、野菜

栽培土壌化学性診断基準^②によれば、可給態リン酸は著しく低く(診断基準値:20~100mg/100g)、交換性カリウムは概ね適正範囲(診断基準値:20~55mg/100g)にあった。一方、土壌保全対策事業土壌環境基礎調査の定点調査結果によれば、可給態窒

表1 1999年試験開始前の土壌の化学性

秋冬ニンジン作処理区 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ Okg/10a)/(太陽熱処理)	pH(H ₂ O)	可給態N 無機態N 可給態P ₂ O ₅ 交換性K ₂ O (mg/100g)			
		①基準量(25-15-25)/(-)	5.7	1.1	1.5
②NP50%削減(12.5-7.5-25)/(-)	5.7	1.4	1.5	1.4	41.2
③NP50%削減(12.5-7.5-25)/(+)	5.9	1.1	1.4	1.1	45.3
④NP50%削減・50%牛ふん堆肥代替(12.5-7.5-25)/(-)	5.9	2.0	1.2	1.3	41.8
⑤NP50%削減・50%牛ふん堆肥代替(12.5-7.5-25)/(+)	5.8	1.3	1.7	1.4	43.5
⑥無肥料(-)	5.7	1.3	1.4	0.9	40.9

注1) 1999年6月29日土壌(0-15cm)採取、苦土石灰200kg/10a施用後。

2) 施肥窒素量の内訳(kgN/10a): ①化成(9)+LP70(16), ②化成(4.5)+LP70(8), ③化成(4.5)+LPSS100(8), ④牛ふん堆肥(6.25)+LP70(6.25), ⑤牛ふん堆肥(6.25)+LPSS100(6.25)。

表2 2000年試験開始前の土壌の化学性

春レタス-秋冬ニンジン作処理区 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ Okg/10a)/(太陽熱処理)	pH(H ₂ O)	可給態N 無機態N 可給態P ₂ O ₅ 交換性K ₂ O (mg/100g)			
		①基準量(20-20-20)-基準量(25-15-25)/(-)	5.7	2.1	5.7
②基準量(20-20-20)-NP50%・50%牛ふん堆肥(12.5-7.5-25)/(-)	5.8	2.8	3.2	0.2	47.0
③基準量(20-20-20)-NP50%・50%牛ふん堆肥(12.5-7.5-25)/(+)	6.0	1.6	2.2	0.1	45.2
④基準量(20-20-20)-無施肥(-)	5.9	2.4	2.0	0.1	45.4
⑤基準量(20-20-20)-無施肥(+)	5.9	1.8	2.0	0.1	44.5
⑥無窒素-無窒素(-)	5.9	1.8	1.4	0.1	39.9

注1) 2000年3月6日土壌(0-15cm)採取、苦土石灰300kg/10a施用後・牛ふん堆肥施用前。

2) レタス作前の牛ふん堆肥施用量(N-P₂O₅-K₂Okg/10a): ①2t/10a(30-34-24), ②~⑤1t/10a(15-17-12)。

3) ニンジン作施肥窒素量の内訳(kgN/10a): ①化成(9)+LPS100(16), ②牛ふん堆肥(6.25)+LPS100(6.25), ③牛ふん堆肥(6.25)+LPS120(6.25)。

表3 2001年試験開始前の土壌の化学性

春レタス-秋冬ニンジン作処理区 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ Okg/10a)/(太陽熱処理)	pH(H ₂ O)	可給態N 無機態N 可給態P ₂ O ₅ 交換性K ₂ O (mg/100g)			
		①基準量(20-20-20)-基準量(25-15-25)/(-)	6.0	2.5	2.1
②基準量(20-20-20)-NP50%削減(12.5-7.5-25)/(+)	6.0	2.0	2.6	1.5	58.2
③基準量(20-20-20)-NP50%削減(12.5-7.5-25)/(-)	6.0	2.2	1.5	1.2	46.0
④無作付-NP50%削減(12.5-7.5-25)/(+)	6.0	2.0	0.8	0.8	44.2
⑤無作付-NP50%削減(12.5-7.5-25)/(-)	6.3	2.0	0.8	1.3	40.4
⑥無窒素-無窒素(-)	6.2	1.2	1.7	1.8	49.4

注1) 2001年1月18日土壌(0-15cm)採取、苦土石灰施用前・牛ふん堆肥施用前。

2) レタス作前の牛ふん堆肥施用量(N-P₂O₅-K₂Okg/10a): ①2t/10a(26-38-28), ②~⑤1t/10a(13-19-14)。

3) ニンジン作施肥窒素量の内訳(kgN/10a): ①基肥として化成(9)+追肥として尿素(8×2), ②・④化成(4.5)+LPS120(8), ③・⑤化成(4.5)+LPS100(8)。

素については、関東地方の黒ボク土畑についてのデータ（4巡目：1994～1998年）の平均値7.1mg/100g（N=737）をかなり下回り、本試験圃場の土壤窒素肥沃度は低いと判断された。また、可給態リン酸および交換性カリウムについても、定点調査データの平均値〔可給態リン酸：53.9（N=738）、交換性カリウム：69.5mg/100g（N=743）〕より低かった。2000年および2001年試験開始前の土壤の化学性は、1999年におけるとほぼ同様の傾向を示した（表2、表3）。

以上より、関東地方の黒ボク土畑のうちで、本試験圃場の窒素、リン酸およびカリウムの肥沃度は低いと考えられた。

2. 秋冬ニンジン作の養分収支

1999年ニンジン作において三要素を施肥基準量投入とした場合（図1の処理区①）、窒素収支は16.8kg/10a、リン酸収支は12.5kg/10aとなり、収支から見て窒素とリン酸の投入量過剰となった。また、カリウム収支は-3.8kg/10aとなり、土壌からの収奪が見られた。しかし、窒素とリン酸投入量を施肥基準量の50%削減とすれば、窒素収支は5.5kg/10a、リン酸収支は5.2kg/10aとなり、施肥基準量投入の場合より大幅に改善され、カリウム収支は-0.8kg/10aとなり、土壌からの収奪傾向は軽減された（図1の処理区②）。また、窒素とリン酸投入量を施肥基準量の50%削減かつその投入窒素量の50%牛ふん堆肥代替としても同様の結果が得られた（図1の処理区④）。さらに、

線虫および雑草防除の面で減農薬技術として普及が期待される太陽熱処理を併用としても同様となった（図1の処理区③と⑤）。

全収量については、窒素とリン酸投入量を施肥基準量とした処理区①の4.2t/10aと比較して、処理区④でやや低かったが、その他の処理区では、ほぼ同等の全収量が得られた（図1の注）。

以上より、秋冬ニンジン作の養分収支に基づき、窒素とリン酸の施肥基準量の50%削減、さらにその投入窒素量の50%牛ふん堆肥代替およびこれらと太陽熱処理併用としても収量が維持される可能性が示された。

3. レタス後作ニンジン作の養分収支

2000年の前作レタスの養分収支によれば、施肥基準量かつ牛ふん堆肥投入では、三要素の未回収量が非常に多くなることが示された（図2のレタス作処理区①～⑤）。2001年の前作レタスにおいても施肥基準量かつ牛ふん堆肥施用の処理区①～③では、同様の結果となった（データ省略）。この未回収量が後作ニンジンに供給されると考えると、2000年のニンジン作処理区①～⑤では、いずれも窒素とリン酸の収支が大幅にプラスとなり、供給量が著しく過剰の結果となった（図2のニンジン作処理区①～⑤）。また、ニンジン作無施肥処理区④と⑤以外では、カリウム供給量も大幅に過剰となった。2001年のニンジン作処理区①～③についても、同様に三要素の収

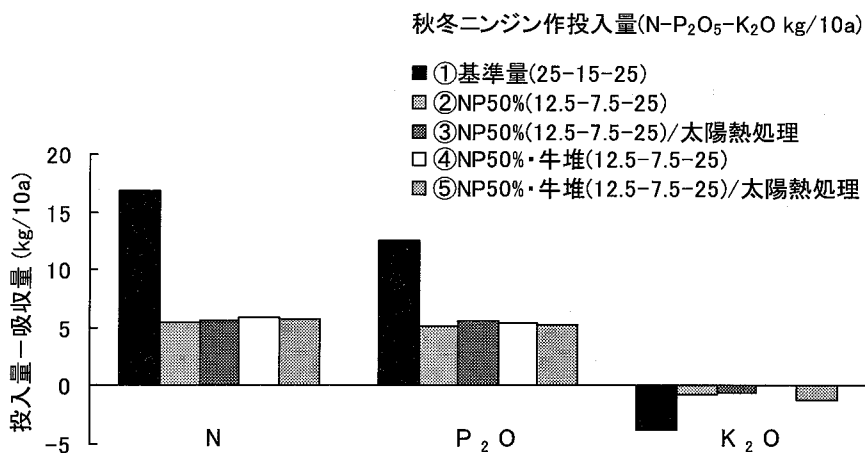


図1 秋冬ニンジン作の養分収支（1999年）

注）根部全収量：①4.2、②4.0、③4.2、④3.8、⑤4.1（t/10a）。

支が大幅にプラスとなった (データ省略)。

2000年の後作ニンジン養分収支から見て、無施肥処理区④と⑤においても窒素とリン酸の供給量が過剰の結果となった。ニンジンの全収量については、太陽熱処理を行わなかった処理区②と④の比較では、処理区④で低く、また太陽熱処理を行った処理区③と⑤の比較では、処理区⑤で低かった (図2の注2)。このことは、本試験圃場の場合、前作レタスに対して養分投入量が過剰であっても、後作ニンジンについて無施肥ではなく、適切な施肥を行う必要があることを示唆している。したがって、環境保全型生産

の視点から、前作レタスについて養分投入量を削減し、レタス作の養分収支を改善することが今後の課題である。この点で、長野県で行われているレタスの全面マルチ栽培⁽¹²⁾は、肥料の溶脱を軽減できるため、有効な技術であると考えられる。

4. ニンジンの窒素吸収経過に基づく被覆尿素の選定

ニンジンは発芽から初期生育までが緩やかであり、また収穫まで120日間程度を要することから、茨城県の野菜栽培基準⁽⁴⁾では、こうした生育経過を考慮

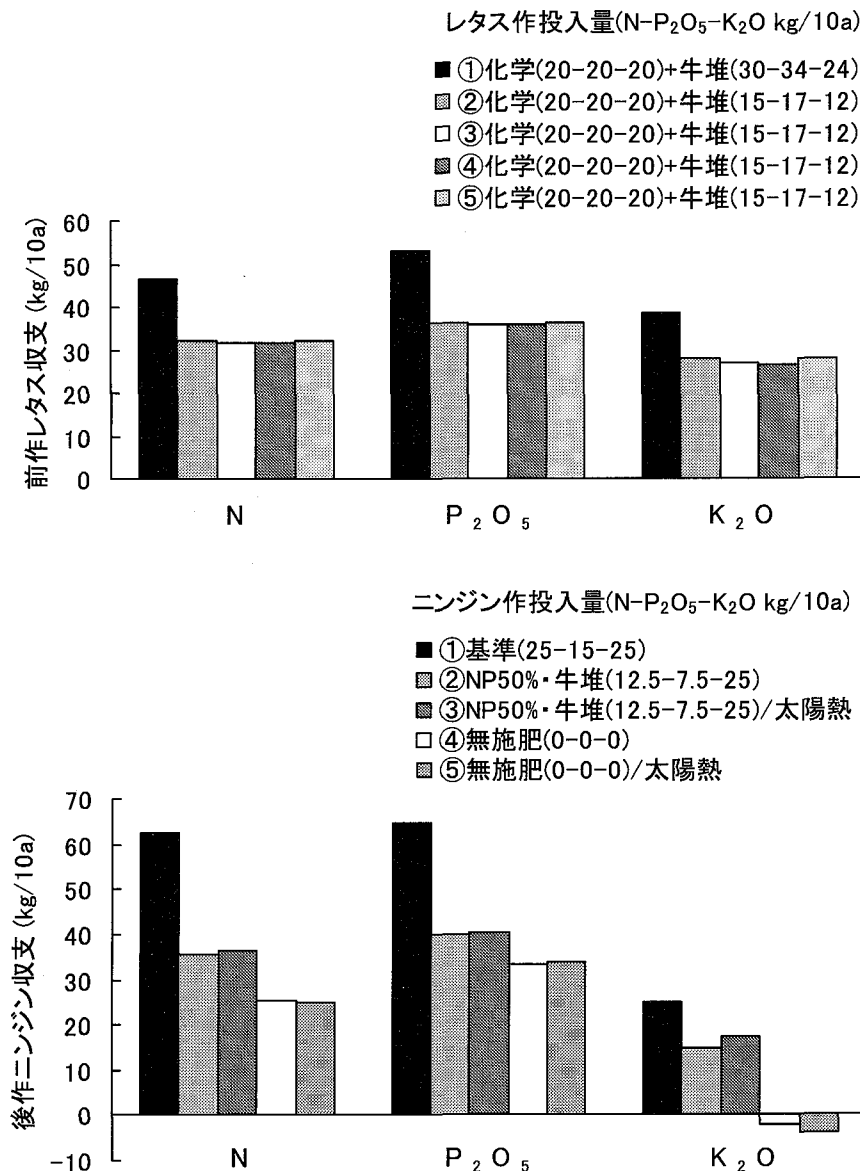


図2 レタスーニンジン作の養分収支 (2000年)

注1) レタス結球部全収量: ①2.3, ②1.9, ③2.1, ④2.2, ⑤2.2 (t/10a).
 2) ニンジン根部全収量: ①4.9, ②4.7, ③4.0, ④4.2, ⑤3.7 (t/10a).

して基肥9kgN/10aに加えて、播種後30日頃と60日頃の2回に分けて追肥各8kgN/10a(=16kgN/10a)を施用することとされている。また、基肥の条施と播種後45日頃の追肥1回により、基肥窒素量25%および追肥窒素量60%削減が可能であるとされ⁹⁾、これが低投入型施肥法として併記されている。しかし、肥効調節型肥料を利用して追肥を省略し、全量基肥施用とすれば、省力化が可能となるとの観点から、ここでは、ニンジンの窒素吸収特性に適した被覆尿素の選定を検討した。一方、岐阜県では、被覆肥料の利用による施肥基準が策定されており、施肥窒素量を15kg/10aとしても目標収量が得られ、生育障害および土壤中残存窒素量が減少し、地下水汚染が軽減された⁷⁾。しかし、ニンジン生育初期の窒素吸収割合が小さいことから、これに対応した初期溶出抑制型の被覆肥料の利用が求められるとした。

2000年においては、初期溶出抑制型を含めた被覆尿素の窒素溶出特性を検討した(図3)。太陽熱処理を行わない場合、LPS100では播種後60日頃までの窒素溶出が抑制されるため、LP70より窒素溶出量が少なく、ニンジンの窒素吸収経過に近いと考えられた。

太陽熱処理による線虫密度抑制効果は、深さ10cm程度までであることから、不耕起で播種を行うことが必要であり、また雑草発生抑制効果を維持する点

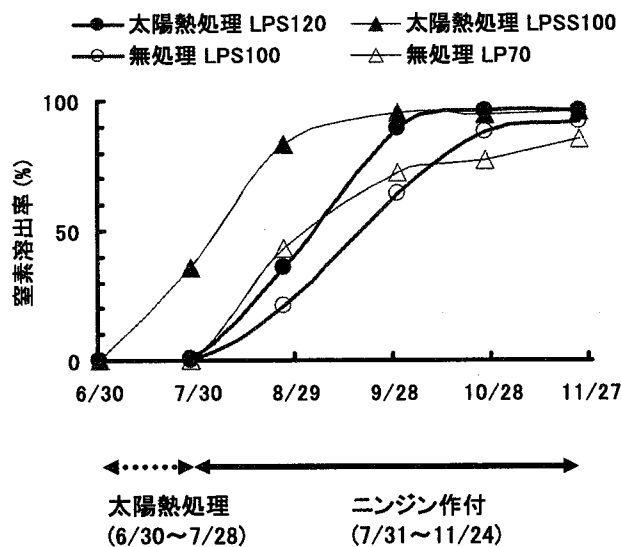


図3 被覆尿素の窒素溶出特性(2000年)

注) 埋設日: LPS120とLPSS100は6月30日, LPS100とLP70は7月28日。

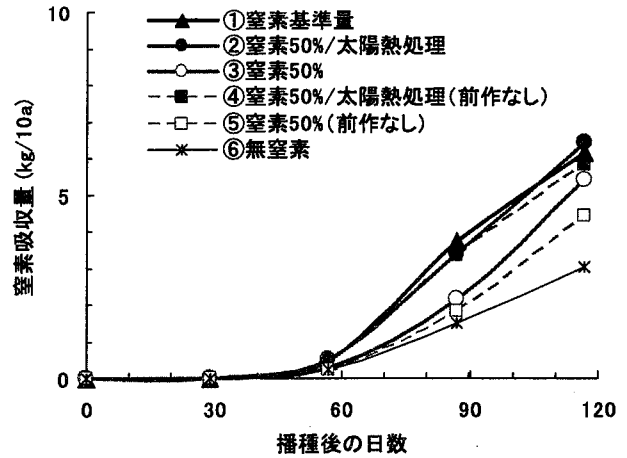


図4 ニンジンの窒素吸収経過の比較(2001年)

注1) ①窒素基準量: 基肥9kg/10a+追肥8kg/10a×2(計25kgN/10a),
 ②窒素50%/太陽熱処理: 化成4.5kg/10a+LPS120 8kg/10a,
 ③窒素50%: 化成4.5kg/10a+LPS100 8kg/10a,
 ④窒素50%/太陽熱処理(前作なし): 化成4.5kg/10a+LPS120 8kg/10a,
 ⑤窒素50%(前作なし): 化成4.5kg/10a+LPS100 8kg/10a,
 2) 根部全収量: ①3.4, ②3.9, ③2.9, ④3.8, ⑤2.6, ⑥2.0(t/10a).
 3) 土壌(0-60cm)からの無機態窒素放出量: ①23.2, ②19.9, ③18.7, ④13.8, ⑤12.9, ⑥10.6(kg/10a).

でも同様に播種前の耕耘を避けることが肝要であることが本地域総合研究で明らかにされた¹⁰⁾。したがって、太陽熱処理を施す場合、処理開始前に施肥を行うこととなるため、処理期間中および生育初期に窒素溶出が抑制されることが必要となる。図3から、太陽熱処理期間中、LPS120では窒素溶出はほとんど認められず、さらに播種後60日頃まではLPSS100より窒素溶出が低く抑えられることから、LPS120の利用が望ましいと考えられた。ただし、図3によれば、LPS120(太陽熱処理)の窒素溶出率はLPS100(無処理)のそれより高く推移し、LPS120の方がLPS100より2~4週間程度、肥効の発現が早いことが示された。したがって、年次により気温が低い場合、LPS100では肥効の発現が不十分となる危険性がある。

2001年においては、こうして選定した被覆尿素を利用した処理区②~⑤とニンジン作施肥基準量の処理区①におけるニンジンの窒素吸収経過を比較した(図4)。窒素施肥基準量の50%削減として、追肥を行わずLPS100を利用した処理区③は、窒素施肥基準量投入かつ2回追肥を行った処理区①より、窒素吸収量は低く推移し、収穫時にはその差が小さくなったものの、全収量は低くなった(図4の注2)。

2001年は、作付期間中の気温が平年並みであった前年より低く、LPS100からの窒素溶出率が予想したより低く推移したため、窒素吸収量が低くなったと考えられた。また、前作レタスなしの処理区⑤は、処理区③と同様にLPS100を用いたが、窒素吸収量は収穫時まで処理区③より低く推移した。これは、処理区⑤の作付期間中の土壌（深さ0-60cm）からの無機態窒素放出量すなわち地力窒素量が比較的低いことが起因していると考えられた（図4の注3）。

一方、窒素施肥基準量の50%削減として、追肥を行わずLPS120を利用した太陽熱処理区②については、処理区①とほぼ同様の窒素吸収経過を示し、ニンジン全収量は処理区①より高くなった。前作レタスなしの処理区④については、処理区②と同様にLPS120を用いており、処理区②と同等の窒素吸収経過と全収量が得られた。

以上より、太陽熱処理を行わない場合はLPS100、行う場合はLPS120を利用することで、窒素投入量を50%削減し、追肥を省略できる可能性が示された。関東地方の黒ボク土畑のうちで、本試験圃場の土壌窒素肥沃度は低い方に属すると考えられることから、この技術の適用範囲は比較的大いと思われるが、今

後、こうした被覆尿素利用の場合の最適な窒素投入量を土壌窒素肥沃度レベルとの関係で明らかにする必要がある。ただし、被覆尿素は温度依存性であるため、気温が平年より低い場合、肥効の発現が不十分となる。逆に、気温が高い場合、肥効が早めに発現される。被覆尿素の利用にあたっては、こうした気象条件との関係について留意する必要がある。

5. 土壌溶液中硝酸態窒素濃度の実態と推定

2001年試験圃場におけるレタス—ニンジン作の窒素収支（＝投入量－搬出量）に基づく年間平均土壌溶液中硝酸態窒素濃度の推定値（＝窒素収支÷浸透水量）は、対象圃場の例では、窒素収支30kg/10a程度の場合、深さ60cmの年間平均土壌溶液中硝酸態窒素濃度の実測値と概ね一致したが、窒素収支の値がより小さい場合は過小に、より大きい場合は過大に評価された（図5）。すなわち、窒素収支の値がゼロの時、年間平均土壌溶液中硝酸態窒素濃度の実測値がゼロにならないのは、土壌窒素の無機化による硝酸態窒素の放出があるためと解釈できる。また、窒素収支の値が大きい場合（ここでは、>30kg/10a）

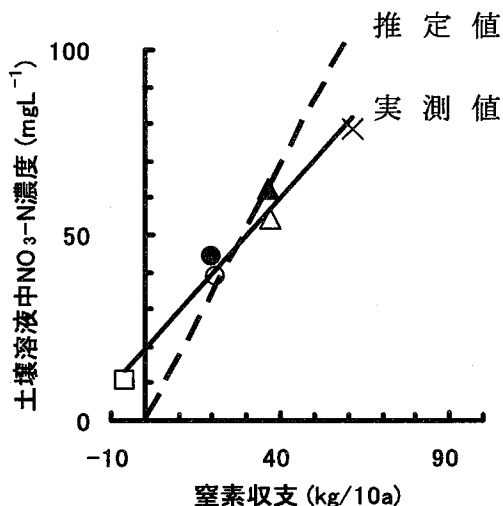


図5 窒素収支と年間平均土壌溶液中硝酸態窒素濃度の推定値および実測値の関係（2001年）

注) ×：処理区①，▲：処理区②，△：処理区③，●：処理区④，○：処理区⑤，□：処理区⑥。

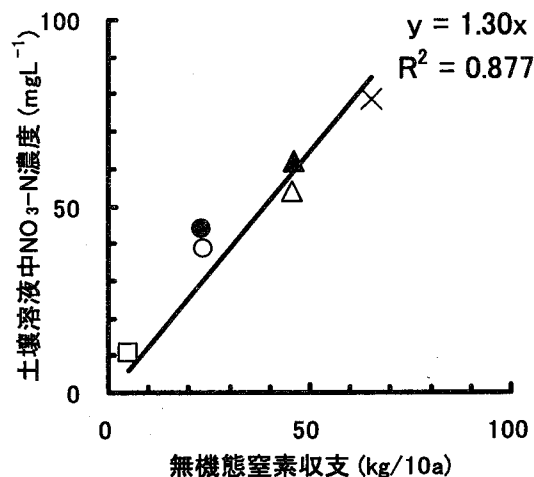


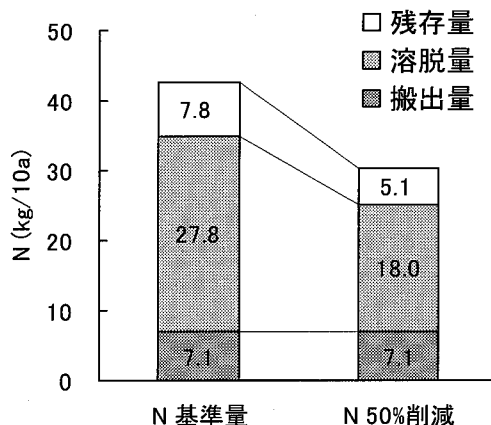
図6 無機態窒素収支と深さ60cmの年間平均土壌溶液中硝酸態窒素濃度実測値の関係（2001年）

注1) ×：処理区①，▲：処理区②，△：処理区③，●：処理区④，○：処理区⑤，□：処理区⑥。
2) 無機態窒素収支＝供給量（土壌(0-60cm)および牛ふん堆肥からの無機態窒素放出量＋施肥窒素量）－搬出量

実測値が推定値を下回るのは、投入窒素の中に有機質資材（ここでは、牛ふん堆肥）が含まれ、投入全窒素量のすべてが無機化するのではないためと考えられる。以上の点から、土壤溶液中硝酸態窒素の推定のためには、土壤および有機質資材からの窒素無機化量を考慮する必要があることが示唆された。

そこで、深さ60cmまでを根群域として、土壤（0-60cm）および牛ふん堆肥からの無機態窒素放出量を考慮した無機態窒素収支〔=供給量（土壤および牛ふん堆肥からの無機態窒素放出量+施肥窒素量）-搬出量〕と深さ60cmの年間平均土壤溶液中硝酸態窒素濃度の実測値の関係を求めたところ、両者の間には、非常に高い正の相関関係が認められた（図6）。したがって、関係式 $y = 1.30x$ を用いて、無機態窒素収支(x)から土壤溶液中硝酸態窒素濃度(y)を推定することが可能となる。ここで、各処理区の土壤（0-60cm）からの無機態窒素放出量は、図4の注3に示したように、10.6~23.2kg/10aの範囲にある。また、牛ふん堆肥からの無機態窒素放出量を評価する基礎となる牛ふん堆肥の窒素無機化率は25.4%と推定した。

上記の関係式を用いて、ニンジン作の窒素投入量を施肥基準量25kg/10aの50%削減とした時の窒素溶脱量低減の効果を以下のように推定し、その結果を図7に示した。ここでは、土壤（0-60cm）からの無機態窒素放出量は17.7kg/10a、搬出量は7.1kg/10aと仮定して、無機態窒素収支(x)を求めたところ、窒素施肥基準量（=25kg/10a）では35.6kg/10a、窒素投入量50%削減（=12.5kg/10a）では23.1kg/10aとそれぞれ評価された。これらの値を関係式 $y = 1.30x$ に代入して、年間平均土壤溶液中硝酸態窒素濃度(y)をそれぞれ推定した。さらに、これらの値に年間降水量1,200mmの50%と仮定した浸透水量600mmを乗じ



施肥窒素	25.0	12.5
土壤窒素(0-60cm)	17.7	17.7
窒素供給量 計	42.7	30.2 (kg/10a)

図7 秋冬ニンジン作における供給された無機態窒素のゆくえ

- 注1) 土壤窒素(0-60cm): 17.7kg/10a (2001年試験圃場の無窒素区⑥を除く無機態窒素放出量の平均値)の場合。
 2) 窒素搬出量: 7.1kg/10a (収量4t/10a)の場合。
 3) 年間降水量: 1,200mmの場合。

て、窒素溶脱量は窒素施肥基準量の場合、27.8kg/10aと計算され、窒素投入量50%削減の場合、18.0kg/10aに、すなわち前者の窒素溶脱量より35%低減できると推定された。また、図7では、無機態窒素収支から窒素溶脱量を差し引いて、窒素残存量とした。これは深さ60cm以内に残存し、作付期間内に溶脱されなかった量として算出されたものである。

本推定法は、土壤タイプや降水量等の条件が同等の場合に適用可能であり、こうした条件に対応した無機態窒素収支と土壤溶液中硝酸態窒素濃度の関係を予め求めておく必要がある。

IV 摘 要

秋冬ニンジン作の養分収支と窒素吸収経過に基づく環境保全型養分管理技術の開発を行うとともに、土壤溶液中硝酸態窒素濃度の推定法を提示し、次の結果を得た。

(1) 本試験圃場の土壤（表層腐植質黒ボク土）の窒素、リン酸およびカリウム肥沃度は、関東地方の黒ボク土畑の中では、低い方に属すると考えられ

た。

(2) 秋冬ニンジン作における窒素とリン酸投入量を施肥基準量の50%削減とすれば、施肥基準量投入の場合より、窒素とリン酸収支が大幅に改善され、全収量については施肥基準量投入の場合とほぼ同等となった。さらに、その投入窒素量の50%牛ふん堆肥代替や太陽熱処理併用としても同様となった。

(3) レタス-ニンジン作付体系で、レタス作に施肥基準量かつ牛ふん堆肥を投入すると、三要素の未回収量が非常に多く、後作ニンジンに対して供給量過剰となるので、レタス作投入量を削減し、養分収支を改善することが求められた。

(4) ニンジンは生育初期の窒素吸収量が少ないため、この期間の窒素溶出が抑制されるLPS100の利用が、また作付前に太陽熱処理を行う場合は、処理期間中と生育初期の窒素溶出が抑制される

LPS120の利用が望ましいと判断された。

(5) 土壌 (0-60cm) および牛ふん堆肥からの無機態窒素放出量を考慮した収支と年間平均土壌溶液中硝酸態窒素濃度実測値の間には非常に高い正の相関関係が認められた。これに基づく土壌溶液中硝酸態窒素濃度推定法によりニンジン作窒素施肥基準量の50%削減とすれば、窒素溶脱量を35%低減できると試算された。

引用文献

1. 千葉県農林部農産課 (1994) 主要農作物等施肥基準. 372p.
2. FAO (1998) World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports, 84, Rome, 91p.
3. 古江広治・上沢正志 (2001) “参考一表計算ソフトを用いた無機化特性値算出”：反応速度論的手法での土壌および有機質資材の有機態窒素の無機化特性値データ集—アンケート調査とりまとめ—. 農業研究センター研究資料, 43, 45-49.
4. 茨城県農業総合センター (1998) 野菜栽培基準. 262p.
5. 河野 隆 (1999) 畑作物の窒素吸収経過と施肥管理. 農業技術, 54, 271-274.
6. 片山勝之・皆川 望・三浦憲蔵 (2003) 透明ポリエチレンフィルムの土壌表面被覆による太陽熱処理の雑草防除効果. 中央農業総合研究センター研究報告, 3, 81-87.
7. 北嶋敏和 (1991) 黒ボク土壌における「にんじん」の効率的施肥. 岐阜県農業総合研究センター研究報告, 4, 1-35.
8. 熊澤喜久雄 (1999) 地下水の硝酸態窒素汚染の現況. 土肥誌, 70, 207-213.
9. 皆川 望・相場 聡・片山勝之・三浦憲蔵 (2003) 露地における太陽熱処理のネコブセンチュウ等の防除効果. 中央農業総合研究センター研究報告, (投稿中).
10. 農業技術研究所 (1983) 農耕地土壌の分類—土壌統の設定基準および土壌統一覧表— 第2次案改訂版. 75p.
11. OECD (2000) Environmental Indicators for Agriculture, Methods and Results, Executive Summary. Paris, 53p.
12. 高橋正輝 (1998) 肥効調節型肥料による施肥技術の新展開 5. 野菜の施肥技術 (その2). 土肥誌, 69, 303-309.

Efficient Nutrient Management Technology for Carrot Based on Nutrient Balance and Nitrogen Uptake Pattern

Kenzo Miura^{*1}, Katsuyuki Katayama^{*2} and Nozomu Minagawa^{*3}

Summary

The efficient nutrient management technology for the carrot cultivation was developed taking account of nutrient balance and nitrogen uptake pattern, in order to reduce the nitrogen leaching from the rooting zone. Available nutrient status with nitrogen, phosphorus and potassium at the experimental field was relatively low compared with volcanic ash upland soils in the Kanto region.

The nitrogen and phosphorus balance became much lower in the 50% reduction than in the standard application rates of nitrogen and phosphorus for the carrot cultivation. The carrot yield was similar in the both cases. Similar results were also obtained with the use of the cattle feces compost substituted for the half out of the 50% reduction of the standard application rate of nitrogen and with the treatment of solarization at the same time. In the cropping pattern of lettuce and carrot, much amounts of non-recovered nitrogen, phosphorus and potassium were found from the nutrient balance in case of the standard application rates along with cattle feces compost for lettuce. Thus, the application rates of the three elements for the lettuce should be reduced to improve the nutrient balance.

In the early growth stage of carrot, the amount of nitrogen taken up by carrot was relatively low. Thus, coated fertilizer suitable for the pattern of nitrogen uptake, i.e., LPS100 was considered to be appropriate. On the other hand, in the case of the use of solarization, LPS120 might be useful because of repression of nitrogen release during the period from solarization to the early growth stage of carrot.

The close relationship was found between the inorganic nitrogen balance in consideration of the amount of inorganic nitrogen released from the soil (0-60cm) and cattle feces compost, and the mean annual nitrate nitrogen concentration in the soil solution at the depth of 60cm. Based on the relationship, the method to estimate nitrate nitrogen concentration in the soil solution was proposed. Using this method, the amount of nitrogen leaching was evaluated to be reduced by 35% through the reduction of 50% of the standard application rate of nitrogen.

Received: 25 December, 2002

^{*1} Dept. of Soils and Fertilizers, National Agricultural Research Center

^{*2} Dept. of Research Planning and Coordination, National Agricultural Research Center

^{*3} National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region