

有機栽培転換期における土壌無機態窒素の推移と 堆肥施用がニンジン、レタス収量に及ぼす影響

建部雅子*¹・唐澤敏彦*²・駒田充生*²・佐藤文生*³・西村誠一*⁴・高橋 茂*²・加藤直人*²

目 次

I. はじめに	25	2. 土壌無機態窒素の推移	32
II. 試験方法	26	3. ニンジンの生育と収量	33
1. 供試圃場と試験区画	26	4. レタスの生育と収量	35
2. 処理	27	5. 乾物重, 養分吸収量および収量の比較	36
1) 処理区の構成と処理名	27	6. 土壌無機態窒素と収量の関係	36
2) 施肥処理区における窒素施用量の設定	27	7. レタスの初期生育に対する 堆肥施用の効果	36
3) ニンジンの処理	28	8. 窒素収支	39
4) レタスの処理	29	IV. 考察	42
5) その他	29	1. 土壌無機態窒素の推移	42
3. 耕種概要	30	2. ニンジンの収量	42
1) ニンジン	30	3. レタスの収量	43
2) レタス	30	4. 堆肥施用の効果	43
4. 調査方法	30	5. まとめ	44
1) 土壌調査	30	V. 摘要	44
2) 作物体調査他	30	謝辞	44
3) 気象観測値および統計処理	31	引用文献	44
III. 結果	31	Summary	51
1. 試験期間の気象条件	31		

I. はじめに

日本における有機農業の発展は長く民間の運動として進められてきており^(8,9), 有機栽培農家はこれまで独自の栽培法を工夫して有機農産物を供給してきた。しかし, 有機栽培の個々の技術は栽培者, 栽培グループで特徴的であり, それぞれの技術を普遍化していく機会は多くはなかった。そのような中, 2006年12月に「有機農業の推進に関する法律」が施行され, 有機農業に関する技術の研究開発および

その成果の普及を促進する方針が打ち出された。

また, 有機農産物の規格としては, 1999年に有機農産物の日本農林規格(有機JAS規格)が設けられた。この制度による有機認証圃場の面積は2012年においても国内の耕地面積の0.21%で, 有機農産物は2011年度, 国内の総生産量の0.24%に過ぎない⁽¹⁶⁾。西尾⁽¹⁴⁾は日本の有機農産物に対する需要の多くを輸入に頼っている現状を示すとともに, 有

平成24年10月2日受付 平成25年12月25日受理

*1 農研機構フェロー, 元農研機構中央農業総合研究センター

*2 農研機構中央農業総合研究センター 土壌肥料研究領域

*3 農研機構野菜茶業研究所

*4 農研機構中央農業総合研究センター 企画管理部, 元土壌肥料研究領域

機農業は地域の物質循環を活用することを原則としているのであるから、有機農業の健全な発展には有機農産物の自給率を高めることが必要であろうと述べている。

有機栽培技術の確立には第一に収量性の確保が重要と考える。篠崎・胡⁽²⁰⁾は松山市の有機生協に出荷している農家を対象としたアンケートから、有機農業の継続には安定した収量の確保が必要と述べている。Seufert et al⁽¹⁹⁾はこれまで世界各地で行われた研究を精査し、比較可能な66の論文を分析して、有機農法と慣行農法の収量比較を行った。それによると、有機農法の収量は一般に慣行農法の収量を下回り、その収量差は-5%から-34%まで、農法、農地の特性等、状況によって大きく変動した。そして、持続可能な食料生産の重要手段としての有機農業を確立するには、有機農法の収量を制限している諸要因の解明をさらに進める必要があるとしている。

国内において、有機農業の成立条件を土壌肥料的な側面から評価した研究として、まず、山田・鎌田⁽²⁵⁾の研究が上げられる。彼らは、1989年より9年間にわたって、化学肥料区に対し化学肥料と等量の窒素施用のナタネ油かす区、化学肥料の3.3倍の窒素施用の牛糞堆肥区の収量性を比較した。その結果、冬作において、ナタネ油かす区はレタス、タマネギの収量が化学肥料区と同等であり、牛糞堆肥区はタマネギで年次を平均すると化学肥料と同等の収量が得られることを示した。2007年に小野寺・中本^(17,18)は露地野菜の無化学肥料栽培法を検討し、施肥標準量の全量を堆肥および有機質肥料で施用した全量有機区でスイートコーンおよびレタスの収量、養分吸収量は化学肥料区と同等以上であることを示

した。また、山崎・日高⁽²⁶⁾は市販有機質肥料および地域の未利用有機質資材として学校給食一次発酵物に焼成鶏ふんを加えた資材を用いた有機栽培を慣行栽培と比較した結果、露地栽培のハウレンソウ、ニンジン、ダイコンにおいて、ほぼ同等の収量を得た。これらの結果は有機質資材のみからの養分供給によって化学肥料施用に匹敵する収量が得られることを示している。

農研機構においても、科学的な根拠に基づいた有機栽培技術体系を提示するために、2008年より交付金プロジェクト研究「有機農業の生産技術体系の構築と持続性評価法の開発」が開始された。その中で、中央農業総合研究センターでは試験圃場内に有機、慣行圃場を設定し、有機圃場は有機JAS規格に則り、夏まきニンジン、冬作レタス栽培体系の実証試験を開始した。慣行圃場は化学肥料、化学合成農薬、除草剤を用いた一般的な栽培法を行ったのに対し、有機圃場は養分供給として有機質資材を用い、雑草防除としてニンジンにおいて重要な基本技術になっている太陽熱処理⁽⁵⁾を導入し、病害虫については無防除とした。

本研究では作物生産が不安定とされる有機栽培転換期において慣行栽培の8割以上の収量を得ることを目標として、有機栽培と慣行栽培の土壌、作物のみならず広範囲の項目で調査、比較を行っている。本論文はその中で、転換開始3年間の有機資材の施用による土壌無機態窒素濃度の推移を調査し、その収量性との関係を化学肥料施用の場合と比較して論じたものである。また、牛ふん堆肥の施用効果についても併せて検討した。

II. 試験方法

1. 供試圃場と試験区画

中央農業総合研究センター（茨城県つくば市）において、2008年8月から2011年4月まで、ニンジン-レタスの体系で各3作の栽培試験を行った。供試圃場は、前歴は異なるが隣接する2枚の淡色黒ボク土圃場A、B（合計28a）である。圃場Aは低養分で維持されてきたナタネ採種圃場、圃場Bは緑肥の施肥試験後、ソルガムを均一栽培し鋤混んだ圃場であり、本試験開始時の土壌化学性は表1のように

圃場Bの方が可給態窒素、トルオーグリン、交換性陽イオンなどが高かった。この2枚の圃場それぞれに有機試験2区画と慣行試験1区画を付図1のように配置し（2反復）、それぞれの区画には付図1に準じた処理を与えた。さらに、一部の区画内には分割処理として堆肥施用の有無、太陽熱処理の有無を設けた。なお、各処理区は幅1.2m、長さ12mの畝4本からなる。

2. 処理

1) 処理区の構成と処理名

ニンジンおよびレタスの年次別の施肥処理名を表2, 3に示す。施肥処理としてニンジン、レタスともに有機質資材を用いた区を複数設けたが、これらを総称する場合は有機区と述べる。

ニンジン、レタスともに一部の施肥処理区に堆肥施用の有無を処理として設け、また、ニンジンの有機区では一部の施肥処理区に太陽熱処理の有無を設けたが、これらの処理の有無は+, -で表示した。有機区では堆肥施用あり、太陽熱処理ありを基本と

し、太陽熱処理を行わない慣行区においては堆肥施用区を基本とした。そしてこれらの処理区の表記については+M, +Sを省略して表示することとする(例, 有機質肥料区)。堆肥施用なしの処理は-Mを表示し(例, 有機質肥料-M区)、太陽熱処理なしの処理は-Sを表示する(例, 有機質肥料-S区)。

2) 施肥処理区における窒素施用量の設定

ニンジン、レタスとも1作目の基本的な窒素施用量(慣行区の窒素施用量)は茨城県野菜栽培基準を基に設定した⁽²⁾。2作目以降は、前作の土壤無機態

表1 試験開始前の供試圃場の主要な土壤化学性

圃場	土壤採取日	pH	EC mS m ⁻¹	トルオーグリン P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹ 乾土	交換性陽イオン			可給態窒素* mg kg ⁻¹ 乾土
					K ₂ O	CaO	MgO	
					mg kg ⁻¹ 乾土			
圃場A	2008年 4月 16日	6.6	9.0	13	647	4,470	621	28
圃場B	2008年 10月 7日	7.1	16.8	100	1,254	5,880	972	34

*上蘭⁽²⁴⁾による

表2 ニンジンの施肥処理名と窒素施用量および各施肥処理における堆肥処理の有無と太陽熱処理の有無

年次	圃場	施肥処理 (注1)	窒素施用量 g m ⁻² (注2)	堆肥処理の有無 (注3)	太陽熱処理の有無 (注4)
2008年	A	有機質肥料	21	+, -	+, -
		慣行	15	+, -	-
2009年	A	有機質肥料	17	+, -	+, -
		鶏ふん+魚かす	14	+	+
		慣行	12	+, -	-
	B	魚かす追肥	8	+, -	+, -
		無肥料	1	+	+
		慣行	12	+, -	-
2010年	A	有機質肥料(残効)	0	+, -	+, -
		鶏ふん+魚かす	14	+	+
		慣行	12	+, -	-
	B	魚かす追肥	8	+, -	+, -
		無肥料	0	+	+
		慣行	6	+, -	-

注1) 有機質肥料: 全量基肥で施用, 鶏ふん+魚かす: 基肥, 追肥を窒素量で半量ずつ施用, 魚かす追肥: 基肥は施用せず追肥のみ施用, 慣行: 基肥と追肥を半量ずつ施用

注2) 窒素施用量は堆肥からの窒素 1 g m⁻² を含めた値。2008年, 2009年はニンジン播種前に堆肥を施用しており, 堆肥施用区では無施用区に比べて施肥窒素を 1 g m⁻² 減じた(なお, 2010年はニンジン播種前には堆肥を施用せず)。

注3) +は堆肥施用, -は堆肥無施用

注4) +は太陽熱処理あり, -は太陽熱処理なし

表3 レタスの施肥処理名と窒素施用量および各施肥処理における堆肥処理の有無

年次	圃場	施肥処理 (注1)	窒素施用量 g m^{-2} (注2)	堆肥処理の有無 (注3)
2009年	A	有機質肥料	33	+, -
		慣行	20	+, -
	B	有機質肥料	33	+, -
		慣行	20	+, -
2010年	A	有機質肥料	20	+, -
		鶏ふん	20	+
		慣行	20	+, -
	B	鶏ふん	20	+, -
		鶏ふん半量	10	+
		慣行	20	+, -
2011年	A	有機質肥料	10	+, -
		鶏ふん	25	+
		慣行	10	+, -
	B	鶏ふん	25	+, -
		無肥料	1	+
		慣行	10	+, -

注1) いずれの処理も全量を基肥として施用

注2) 堆肥施用区は堆肥からの窒素 1 g m^{-2} を含めた値. 3カ年ともレタス定植前に堆肥を施用しており, 堆肥施用区では無施用区に比べて施肥窒素を 1 g m^{-2} 減じた.

注3) +は堆肥施用, -は堆肥無施用

窒素量の測定結果から適正あるいは過剰, 不足を判断して基本施用量を調整した.

次に, 有機区と慣行区で作物の窒素吸収量が同等になるように, 有機質資材の窒素施用量を設定した. このためには, 有機質資材の窒素肥効率⁽¹³⁾を用いた. 窒素肥効率とは化学肥料中の窒素利用率と比較した場合の有機質資材中窒素利用率の比率である (窒素肥効率 = 有機質資材中窒素の利用率 ÷ 化学肥料中窒素の利用率, 利用率は施用した窒素量のうち作物に吸収された窒素量の割合). この窒素肥効率 (以下, 肥効率と略す) を簡易分析により^(1,4)あるいは経験値により仮定し, 有機質資材の窒素施用量 = 慣行区の窒素施用量 ÷ 肥効率の式から施用量を算出した. なお, 肥効率は作物による吸収量が得られた後に確定する値であり, 有機質資材の施用時には簡易分析から得た場合でも仮定の値である.

3) ニンジンの処理

年次別の処理と窒素施用量を表2に示す. 2008

年は圃場Aのみで試験を開始した. 有機区として有機質肥料を全量基肥で用いた有機質肥料区を設けた. 慣行区の窒素施用量は 15 g m^{-2} である. 有機質肥料区は有機質肥料の窒素肥効率を 0.7 と仮定し^(1,4), 窒素 21 g m^{-2} 施用とした.

2009年是有機区として圃場Aに有機質肥料区, 鶏ふん+魚かす区, 圃場Bに魚かす追肥区, 無肥料区を設けた. 慣行区の窒素施用量は前年より減らし 12 g m^{-2} とした. 有機質肥料区の窒素施用量は肥効率を 0.7 として, 17 g m^{-2} とした. 鶏ふん+魚かす区は窒素の半量を基肥として発酵鶏ふん (肥効率 1 と仮定) で, 残りを追肥として魚かす (肥効率 0.75 と仮定) で施用し, 窒素 14 g m^{-2} 施用とした. 魚かす追肥区は基肥を施用せず, 魚かす追肥のみで窒素 8 g m^{-2} 施用とした. 無肥料区は堆肥のみを施用した.

2010年は, 有機質肥料区をそれまでに施用された肥料の残効を見るため無施肥とした. その他は2009年と同様である.

慣行区は3カ年とも、窒素肥料として硫酸を用い、半量を基肥、半量を追肥とした。ただし、2010年の圃場Bの慣行区は追肥のみ施用とした。

4) レタスの処理

年次別の処理と窒素施用量を表3に示す。2009年は圃場A、Bともに有機区として有機質肥料を用いた区を設けた。慣行区の窒素施用量は 20 g m^{-2} である。有機区は有機質肥料の肥効率を0.6と仮定し^(1,4)、窒素 33 g m^{-2} 施用とした。

2010年は有機区として圃場Aに有機質肥料区、鶏ふん区を、圃場Bに鶏ふん区、鶏ふん半量区を設けた。慣行区の窒素施用量は前年同様 20 g m^{-2} とした。前年の土壌分析結果から、冬期でもマルチ、トンネル下での有機質肥料からの窒素無機化が速やかであることが認められたので、有機質肥料の肥効率を1とし、窒素 20 g m^{-2} 施用とした。鶏ふん区は発酵鶏ふんを用いたが、同じく肥効率を1と仮定し、窒素 20 g m^{-2} 施用とした。

2011年は有機区として圃場Aに有機質肥料区、鶏ふん区を、圃場Bに鶏ふん区、無肥料区を設けた。慣行区の窒素施用量は前年より減らし 10 g m^{-2} とした。有機質肥料区は肥効率を1とし、窒素 10 g m^{-2} 施用である。鶏ふん区は前年の鶏ふんからの窒素無機化が少なかったことから肥効率を0.37と仮定し^(1,4)、窒素施用量を 25 g m^{-2} とした。

慣行区は2009年のみ窒素施用量の3割を緩効性のイソブチルアルデヒド縮合尿素 (IB) としたが、その他はすべて硫酸を用いた。

なお、レタス栽培では全量を基肥として施用した。

5) その他

堆肥施用区においては、籾殻牛ふん堆肥 $1.7\sim 2.0\text{ kg m}^{-2}$ を2009年までは年2回 (ニンジン、レタス作前)、2010年からは年1回 (レタス作前) 施用した。各作付期間における堆肥からの窒素供給量を 1 g m^{-2} と仮定し、堆肥施用区では無施用区に比べて施肥窒素を 1 g m^{-2} 減じた。これは使用堆肥の分析結果から、緩効性窒素は考慮しなくて良いレベルであり速効性窒素は 0.5 g kg^{-1} と推定されたため、堆肥 2 kg m^{-2} 当たり 1 g m^{-2} 供給されるとした^(1,4,23)。

また、ニンジンの有機区では雑草防除のため太陽熱処理⁽⁵⁾を行ったが、これは透明マルチで播種畝を約1ヶ月被覆するもので、6月中旬～7月初めに施肥した後、透明ポリエチレンフィルム (厚さ 0.02 または 0.03 mm) で被覆し、約1カ月後に除去する方法である。この太陽熱処理を有機区の一部で行わず、太陽熱無処理区とした。

施用有機質資材の成分組成を表4に示す。有機質肥料はフェザーミール、魚かす、なたね油かす等の有機質資材を原料にして造粒製造した市販の有機JAS適応可能銘柄である。

ニンジン作、レタス作ともに慣行区のリン酸は重焼燐を用い、施用量は原則として有機区に合わせた。P₂O₅が 20 g m^{-2} を越す場合は 20 g m^{-2} とした。カリウムは硫酸カリ肥料を用い、原則として有機区

表4 供試した有機質資材とその成分組成

有機質資材	使用作物	分析値 (乾物当たり%)
		N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
籾殻牛ふん堆肥		1.8-2.5-2.6
発酵鶏ふん	2009年ニンジン	4.8-6.6-4.5
	2010年レタス	2.1-7.5-6.1
	2010年ニンジン	3.0-5.6-3.8
	2011年レタス	3.7-4.4-3.7
	2009年ニンジン	6.7-9.2-0.6
魚かす	2010年ニンジン	8.9-5.4-0.6
	ニンジン	7.6-6.4-7.1
市販有機質肥料	レタス	7.2-8.1-4.1

に合わせたが、圃場の交換性カリウムが高い圃場Bの慣行区で施肥量を減らした(付表1)。

なお本試験では、1.2 mの栽培畝にのみ施肥し、0.6 mの通路は無施肥のため、栽培畝における窒素濃度は肥料を一律に施用した場合の1.5倍となる。

3. 耕種概要

1) ニンジン

有機区は年により6月中旬あるいは7月初めに畝ごとに手作業で肥料を散布し、平畝ロータリーマルチを用いて肥料混和、平畝整形と同時に太陽熱処理用のマルチを設置した(太陽熱無処理区を除く)。約1カ月後の7月中旬あるいは8月初めに太陽熱処理のマルチを除去し、同時に慣行区の施肥および全区の播種を行った。播種にはロール式クリーンシーダ(アグリテクノ矢崎製)を用いた。2010年は短時間豪雨と高温による発芽不良のため、播き直しを行った。品種は‘向陽二号’、栽植様式は1畝に4条、株間8 cmである。慣行区には除草剤トリフルラリン乳剤、殺菌剤ポリオキシン水和剤など、殺虫剤DDVP乳剤などを散布した。追肥を行う区では9月あるいは10月に追肥し、11月あるいは12月に収穫した。収穫残渣は持ち出した。なお、供試した農薬を付表2に、播種日、収穫日等を付表3に示す。

2) レタス

レタス品種は‘ステディ’で、12月上旬から200穴セルトレイで育苗した。定植15~40日前に堆肥および肥料を施用した。堆肥は手作業で散布し、ロータリーで混和した。肥料も手作業で散布し、平畝ロータリーマルチで混和と同時に黒色ポリエチレンフィルム(厚さ0.02 mm)で被覆し、続いてトンネルを設置した(ポリオレフィン系フィルム厚さ0.075 mm 開孔率1.5%)。1月下旬あるいは2月上旬に定植した。栽植様式は1畝に4条、株間30 cm、条間27 cmの千鳥植えである。3月15日頃から雨天、曇天日を除き日中はフィルムの裾を上げて換気をした。また、4月以降はフィルムの裾を常時上げた状態で栽培した。慣行区には殺菌剤イソプロジオン水和剤など、殺虫剤DDVP乳剤などを散布した(付表2)。圃場Bは4月20~26日、圃場Aは4月26~27日に収穫した(付表3)。収穫残渣は持ち出した。レタス栽培床の黒色ポリエチレン

フィルムは2009年圃場Aではレタス収穫直後に除去し、2009年圃場Bと2010年には次作ニンジンの太陽熱処理開始(6月中旬)まで張っておいた。

4. 調査方法

1) 土壌調査

施肥前から収穫までの期間、ニンジンで7~9回、レタスで6回、下記の作物体調査が始まってからは土壌、作物同時に採取した。検土杖を用いて株間から、15 cmの深さで1区8箇所ずつ採取し混合した。生土10 gに100 g L⁻¹ KCl 100 mLを加えて抽出し、硝酸態窒素(NO₃-N)、アンモニア態窒素(NH₄-N)をオートアナライザー(QuAAtro 2-HR, ビーエルテックKK)で測定し(NO₃-N:銅ヒドラジン還元,スルファニルアミド・ナフチルエチレンジアミン法, NH₄-N:サリチル酸法)、合計して土壌無機態窒素とした。

2) 作物体調査他

主要な処理でニンジンは3週間おきに0.5~1.0 m×4条ずつ、レタスは2週間おきに0.6 m×4条ずつサンプリングを行い、部位別に生重、乾物重測定後、分析試料を調製した。収穫期にはすべての処理で生育期と同様の調査の他、1区につきニンジンは1.0~2.5 m×4条を収穫し、地上部と根部の生重を、レタスは3 m×4条を収穫し、結球と外葉の生重を測定した。前述のように本試験では栽培畝1.2 mに対し通路を0.6 m取っているが、施肥量、収量、乾物重などはすべて通路を含めた面積当たり表示である。なお、ニンジンは収穫した根部のうち、病害虫被害個体や生育不良個体を除き、面積当たり根部収量を算出した。レタスについては生育不良や欠株を避けて均一な生育の所から収穫し、全収穫個体から面積当たり結球重を算出した。風乾試料をケルダール分解後、オートアナライザー(QuAAtro 2-HR, ビーエルテックKK)により、全窒素、リン含有率を測定した(全窒素:サリチル酸法, リン:モリブデンブルー法)。カリウム、カルシウム、マグネシウムは1N HCl抽出後、発光分光分析装置(パーキンエルマー Optima4300DV)で測定した。なお、2010年レタスのみイオンクロマトグラフ(横河IC7000, カラム Shodex IC YK-421)で測定した。

太陽熱処理の雑草防除効果を見るため、処理終了1か月後に、畝の中央を中心に幅1m、長さ1m内の雑草をすべて採取し、種類毎に分別後、80℃で乾燥し、重量を測定した。

3) 気象観測値および統計処理

2008年～2011年の月別平均気温と降水量を農業環境技術研究所総合気象観測データより得た。

2010年、2011年のレタス栽培時には、マルチ・トンネル内土壌および裸地の地表下5cmの地温を測定した。マルチ・トンネル内の地温は圃場Aの有機質肥料区において、温度センサーは銅-コンスタント熱電対（地中に常時挿入）、記録計はキャンベル社CR1000を用い、10分間隔3反復で測定した値から日平均値を算出した。また、圃場A内の裸地

の地温を記録計キャンベル社CR10Xを用い、センサー、測定方法はマルチ・トンネル内と同様として測定した。

統計処理は、圃場A、B別々に、堆肥施用区、無施用区を持つ施肥処理について年次+施肥処理（有機区、慣行区）+堆肥処理の三元配置の分散分析を行った。年次×処理に交互作用がある場合は単純主効果検定を行い、年次ごとに差を検定した。次に、堆肥無施用区を持たない施肥処理については、堆肥施用区、無施用区の両方を持つ施肥処理のうちの堆肥施用区とともに年次+施肥処理の二元配置で分散分析を行った。さらに、ニンジンの太陽熱処理については年次+堆肥処理+太陽熱処理の三元配置の分散分析を行った。

III. 結果

1. 試験期間の気象条件

2008年～2011年の月別平均気温と降水量を図1に示す。ニンジン生育期間のうち、2009年は7月、8月の平均気温が低めであり、2010年は高めであった。2008年の8、9月の合計降水量は414mmと多く、2009年は8月が176mmで9月の降水量は極端に少なかった。2010年は8月の降水量が極端に少

なく、9月には425mmの多雨となった。レタス生育期間では、2009年に比べ、2010年には2、4月の、2011年には3、4月の平均気温が低めであった。降水量は2009年は1月に多かった。

レタス栽培時の5cm深の日平均地温を図2に示す。トンネル設置後、マルチ・トンネル内土壌の地温は裸地土壌の地温より高く推移した。トンネル設

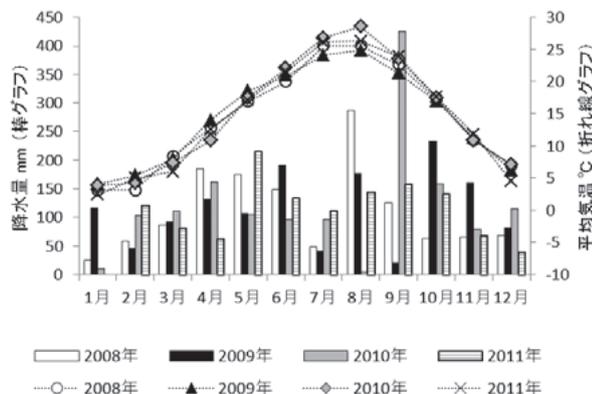


図1 試験期間の平均気温と降水量（月別）の推移

農業環境技術研究所総合気象観測データによる

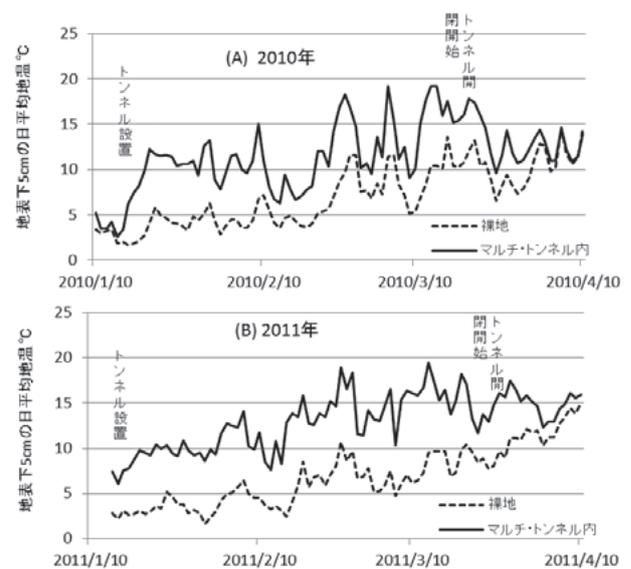


図2 レタス栽培時におけるマルチ・トンネル内土壌および裸地土壌の地温（5cm深）の推移

(A) 2010年 (B) 2011年

置からトンネル開閉開始までの約2ヶ月間の平均値は2010年には11.5℃で裸地土壌に比べて5.6℃高く、2011年には12.5℃で6.9℃高かった。

2. 土壌無機態窒素の推移

土壌無機態窒素濃度の推移をニンジン生育期間について図3に、レタス生育期間について図4に示す。ニンジン栽培における太陽熱処理開始時(6月中旬)には、2009年の魚かす追肥区、慣行区(圃場B)および2010年の有機質肥料区、慣行区(圃場A、

B)で高い無機態窒素の値を示した。これらの区は前作レタスの黒色マルチをニンジンへの施肥、太陽熱処理開始直前まで張っており、レタス収穫時の無機態窒素が降雨によって溶脱されることなく、表層に残存したものと考える。また、太陽熱処理後の播種時には、3カ年とも有機質肥料区で高かった。しかし、播種前に値の高かったこれらの区でもその後8、9月の降雨により無機態窒素は急速に溶脱し、2008年、2010年は有機区、慣行区いずれも追肥を行わないと25 mg kg⁻¹ 乾土以下と低く推移し

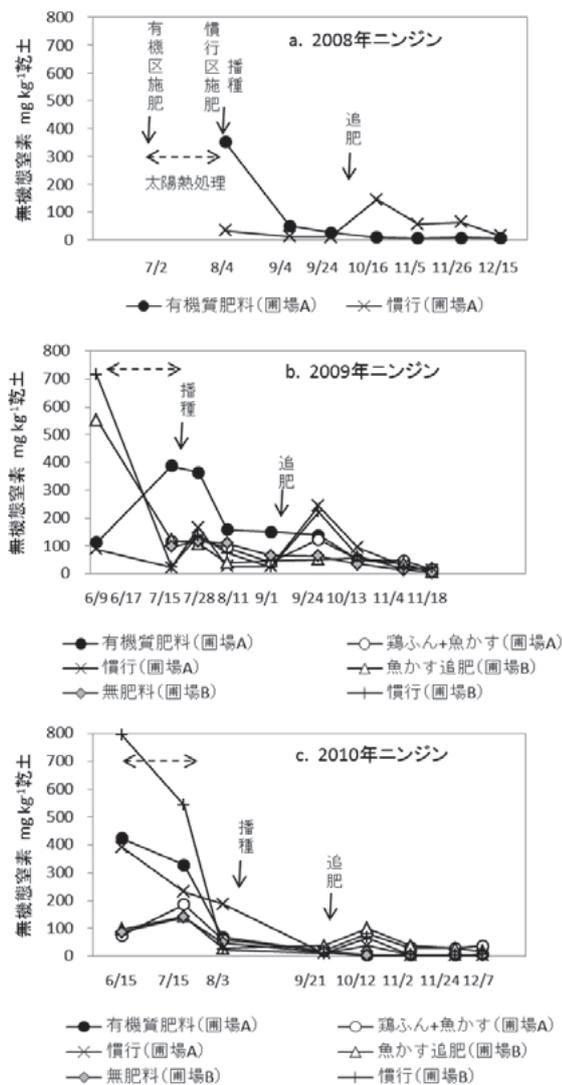


図3 ニンジン生育期間の土壌無機態窒素濃度の推移 (0~15cm深)

有機区は堆肥施用、太陽熱処理ありの区と比較、慣行区は堆肥施用区と比較した
 <----->有機区における太陽熱処理期間
 有機区の施肥：太陽熱処理開始時、慣行区の施肥：播種時

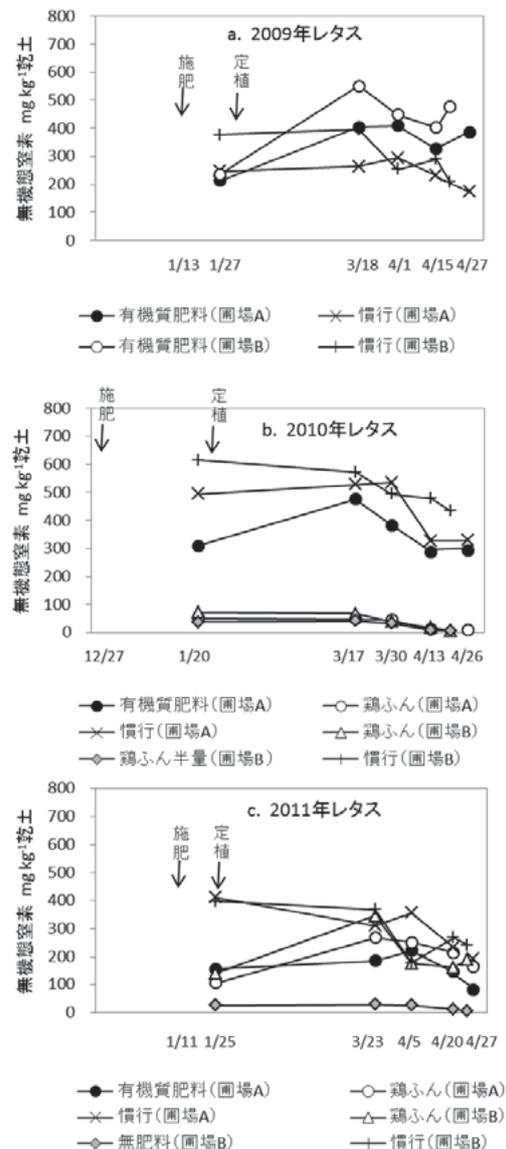


図4 レタス生育期間の土壌無機態窒素濃度の推移 (0~15cm深)

有機区、慣行区ともに堆肥施用区と比較した

た。2009年は他の2年より降水量が少なかったため、無機態窒素は2008、2010年より高い値で推移した。追肥区では、追肥の2、3週間後の土壌調査時に無機態窒素濃度の上昇が認められた。この上昇は有機区では慣行区に比べ2009年は小さかったが、2010年は同等であった。なお、2009年に魚かす追肥後の無機態窒素濃度が低かったのは、9月の降水量が極端に少なく乾燥したことにより魚かすの分解が遅れたためと思われる。

レタス作（図4）については、3カ年とも冬期のマルチ、トンネル下で有機質肥料からの窒素の無機化は速やかで、レタスの生育が急速に進み始める3月中下旬には有機質肥料区は慣行区とともに高い濃度で無機態窒素が存在した。有機質肥料区の肥効率を0.7として窒素施用量を慣行区より高く設定した2009年には、有機質肥料区の無機態窒素が慣行区に優り、両区の窒素施用量が等しい2010年、2011年には慣行区で優った。また、有機質肥料区および慣行区では収穫まで高い値で推移した。有機区のうち2010年の鶏ふん区は低い値で推移したが、肥効率を0.37として多施用した2011年には有機質肥料と同様に高く推移した。2010年の鶏ふん半量区、2011年の無肥料区は低い値で推移した。いずれの区も3月下旬から収穫までの無機態窒素濃度の変動は大きくはなかった。

3. ニンジンの生育と収量

ニンジン作では有機区において雑草防除を目的として太陽熱処理を行ったが、3カ年とも防除効果は十分認められた。2010年の太陽熱処理終了1カ月後の雑草調査結果を見ると、太陽熱処理をしない圃場では耕起後の1カ月間にスベリヒユやエノキグサなど様々な雑草が発生したが、太陽熱処理をした圃場では、同期間において外部から侵入したと見られるスベリヒユが若干見られる程度であった。また、慣行区は除草剤散布により雑草の発生は概ね抑制されたが、栄養繁殖するスベリヒユの発生は抑制されず、この点において、防除効果は除草剤散布より太陽熱処理の方が優った（図5）。なお、雑草調査が終わった後、太陽熱処理なしの区では手除草を行い、雑草は持ち出した。

2009年には有機区で10月上旬（収穫30日前）からヨトウガを主にした食害が一気に広がり、地上

部はほとんど葉柄のみの状態になった。2008年、2010年には目立った食害は認められなかった。

ニンジンの根部収量の処理間差を表5-1、2、3に示す。まず、有機質肥料区、魚かす追肥区と慣行区の比較および堆肥の有無の比較を行うと（表5-1）、圃場Aの有機質肥料区、圃場Bの魚かす追肥区の根部収量はそれぞれの慣行区に比べ食害を受けた2009年のみ有意に低かったが、2008年、2010年には慣行区との間に有意差は認められなかった。堆肥施用の効果については圃場Aでのみ認められ、堆肥を施用することによって根部収量は有意に増加した。次に、堆肥無施用区を持たない鶏ふん+魚かす区、無肥料区について慣行区と比較すると（表5-2）、鶏ふん+魚かす区の根部収量は慣行区より有意に低かった。しかし、本検定においても食害を受けた2009年の影響が大きかったものと思われる。また、無肥料区は魚かす追肥区、慣行区との間に有意差は無かった。2010年は追肥直後の9月下旬の多雨によって窒素が溶脱しやすい状況であったため、追肥の効果が判然としなかったと考えられる。太陽熱処理の有無の影響を圃場Aの有機質肥料区、および圃場Bの魚かす追肥区で比較すると（表5-3）、圃場A、Bともに太陽熱処理は根部収量に有意な差はもたらさなかった。ニンジン有機区においては太陽熱処理を行うと手で除草した場合と同等の収量を得られることが示された。

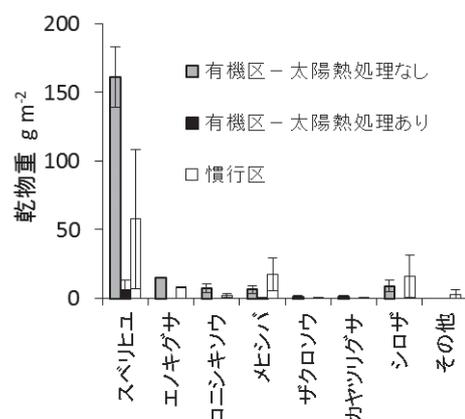


図5 有機区での太陽熱処理の有無および慣行区における雑草量の比較（2010年8月19日）

バーは標準偏差を表す

表 5-1 ニンジン根部収量の処理間差 (年次, 施肥処理, 堆肥処理の比較)

	年次	施肥処理 注 1	堆肥 注 2	根部収量 kg m ⁻²	
圃場 A	2008 年	有機質肥料	+ M	3.11	
		有機質肥料	- M	2.93	
		慣行	+ M	3.84	
		慣行	- M	2.85	
	2009 年	有機質肥料	+ M	2.41	
		有機質肥料	- M	2.58	
		慣行	+ M	4.09	
		慣行	- M	3.82	
	2010 年	有機質肥料 (残効)	+ M	3.35	
		有機質肥料 (残効)	- M	2.85	
		慣行	+ M	3.63	
		慣行	- M	3.40	
	分散分析 (3-way factorial ANOVA) 注 3				
		年次			ns
		施肥処理			***
		堆肥処理			*
	年次×施肥処理			*	
	年次×堆肥処理			ns	
	施肥処理×堆肥処理			ns	
	年次×施肥処理×堆肥処理			ns	
圃場 B	2009 年	魚かす追肥	+ M	2.40	
		魚かす追肥	- M	2.50	
		慣行	+ M	4.19	
		慣行	- M	3.59	
	2010 年	魚かす追肥	+ M	3.13	
		魚かす追肥	- M	3.55	
		慣行	+ M	3.70	
		慣行	- M	3.36	
	分散分析 (3-way factorial ANOVA) 注 3				
		年次			ns
		施肥処理			***
		堆肥処理			ns
	年次×施肥処理			**	
	年次×堆肥処理			ns	
	施肥処理×堆肥処理			ns	
	年次×施肥処理×堆肥処理			ns	

注 1) 有機の各区は太陽熱処理ありの区で比較

注 2) + M: 堆肥施用, - M: 堆肥無施用

注 3) ***, **, * はそれぞれ 0.1%, 1%, 5% 水準で有意差あり, ns は有意でないことを示す
単純主効果検定を行った (年次ごとに施肥処理の効果を調べた)

圃場 A の 2008 年には, 有意差なし

圃場 A の 2009 年には有機質肥料 < 慣行 (p = 0.005)

圃場 A の 2010 年には, 有意差なし

圃場 B の 2009 年には, 魚かす追肥 < 慣行 (p = 0.001)

圃場 B の 2010 年には, 有意差なし

表 5-2 ニンジン根部収量の処理間差（年次、施肥処理の比較）

	年次	処理 注 1	根部収量 kg m ⁻²	
圃場 A	2009 年	有機質肥料	2.41	
		鶏ふん+魚かす	2.25	
		慣行	4.09	
	2010 年	有機質肥料（残効）	3.35	
		鶏ふん+魚かす	3.38	
		慣行	3.63	
	分散分析（2-way factorial ANOVA）注 2			
		年次		ns
		処理		**
	年次×処理		ns	
圃場 B	2009 年	魚かす追肥	2.40	
		無肥料	2.73	
		慣行	4.19	
	2010 年	魚かす追肥	3.13	
		無肥料	3.68	
		慣行	3.70	
	分散分析（2-way factorial ANOVA）注 2			
		年次		ns
		処理		**
	年次×処理		ns	

注 1) 有機の各区は堆肥施用，太陽熱処理あり
 注 2) **は 1%水準で有意差あり，nsは有意でないことを示す
 処理の効果を BONFERRONI で検定すると
 圃場 A は，慣行 > 有機質肥料，鶏ふん+魚かす
 圃場 B は，慣行 > 魚かす追肥

表 5-3 ニンジン根部収量の処理間差（年次、堆肥、太陽熱処理の比較）

	年次	堆肥 注 1	太陽熱処理 注 2	根部収量 kg m ⁻²	
圃場 A 有機質 肥料区	2008 年	+ M	+ S	3.11	
		+ M	- S	2.97	
		- M	+ S	2.93	
		- M	- S	2.60	
	2009 年	+ M	+ S	2.41	
		+ M	- S	2.47	
		- M	+ S	2.58	
		- M	- S	2.40	
	2010 年	+ M	+ S	3.35	
		+ M	- S	2.98	
		- M	+ S	2.85	
		- M	- S	2.48	
分散分析（3-way factorial ANOVA）注 3					
	年次			ns	
	堆肥処理			ns	
	太陽熱処理			ns	
	年次×堆肥処理			ns	
	年次×太陽熱処理			ns	
	堆肥処理×太陽熱処理			ns	
	年次×堆肥処理×太陽熱処理			ns	
圃場 B 魚かす 追肥区	2009 年	+ M	+ S	2.40	
		+ M	- S	2.33	
		- M	+ S	2.50	
		- M	- S	2.50	
	2010 年	+ M	+ S	3.13	
		+ M	- S	4.01	
		- M	+ S	3.55	
		- M	- S	3.75	
	分散分析（3-way factorial ANOVA）注 3				
		年次			***
		堆肥処理			ns
		太陽熱処理			ns
	年次×堆肥処理			ns	
	年次×太陽熱処理			ns	
	堆肥処理×太陽熱処理			ns	
	年次×堆肥処理×太陽熱処理			ns	

注 1) + M：堆肥施用，- M：堆肥無施用
 注 2) + S：太陽熱処理あり，- S：太陽熱処理なし
 注 3) ***は 0.1%水準で有意差あり，nsは有意でないことを示す

4. レタスの生育と収量

3カ年とも，生育および窒素吸収量は圃場 B で圃場 A より早く高まり，収穫期も 1 週間程度早まった。レタスの収量（結球重）の処理間差を表 6-1, 2, 3 に示す。まず，有機質肥料区，鶏ふん区と慣行区の比較および堆肥の有無の比較を行うと（表 6-1），圃場 A の有機質肥料区の収量は慣行区に有意に優

り，圃場 B の鶏ふん区の収量は 2011 年のみ慣行区に有意に優った。また，圃場 A, B ともに堆肥を施用することによって無施用に比べ収量は有意に増加し，堆肥施用の効果が認められた。2009 年のみ存在する圃場 B の有機質肥料区については単年度で分析すると（表 6-2），有機質肥料区の収量は慣行区より有意に低く，また堆肥施用が無施用に優った。

次に、堆肥無施用区を持たない圃場Aの鶏ふん区と圃場Bの鶏ふん半量区(2011年は無肥料)について慣行区と比較すると(表6-3)、2011年圃場Bの無肥料区の収量が鶏ふん区、慣行区より低かった他は、有意差は見られなかった。

5. 乾物重、養分吸収量および収量の比較

収穫期の全乾物重、窒素吸収量および収量について有機、慣行間の比較を行った。対応する慣行区の値を100とした場合の有機区の百分比を表7に示す。なお、窒素吸収量が同じになるように設定した区のみを比較するため、窒素施用量が0または半量の処理は除いた。また、ニンジンの場合、虫害のあった2009年は除いた。各処理の平均で、ニンジン乾物重は慣行に比べて84、窒素吸収量も84と有機区で劣った。同様の比較を収量で行うと、有機区は平均で慣行区の96であった。レタス乾物重は慣行に比べて有機で110、窒素吸収量は107と有機区で優った。また、収量は慣行に比べて平均で127と有機区で優った。なお、窒素以外の養分については有機、慣行の処理間で供給量を統一しなかったため、比較を行わなかった。

次に、収穫期の全乾物重、養分吸収量および収量について堆肥施用の有無を比較した。対応する堆肥無施用区の値を100とした場合の堆肥施用区の百分比を表8に示す。ニンジンは各処理の平均で全乾物重が堆肥施用により110となり、カルシウム以外の吸収量の増加は全乾物重の増加を上回った。収量は堆肥施用により113となった。レタスでは各処理の平均でリン吸収量は137、カリウム吸収量は129と乾物重の118より堆肥施用による増加が大きく、窒素、カルシウム、マグネシウム吸収量の増加も全乾物重の増加を上回った。収量は堆肥施用により143と大きく増加した。これは堆肥無施用の慣行区で特に収量が低かったことが影響している。両作物とも有機区より慣行区で堆肥の効果がより大きい傾向があった。

両作物とも堆肥施用/堆肥無施用および有機/慣行の収量の百分比が全乾物重の百分比より大きかったのは、堆肥施用区が無施用区より、あるいは有機区が慣行区より乾物の収穫部位への分配が上回り、さらに収穫部位の水分含有率が高い傾向であったこ

とによる。なお、ニンジン、レタスの乾物重と養分吸収量の実数は付表4, 5に示した。

6. 土壌無機態窒素と収量の関係

ニンジンにおいて、追肥施用による土壌無機態窒素濃度のピークが見られた追肥2, 3週間後の土壌無機態窒素を横軸に、根部収量を縦軸にして3ヶ年の結果をプロットした。虫害によって収量の低かった2009年有機区は除いた。その結果、土壌無機態窒素が高いほど収量が高まる傾向が見られ($r = 0.694$, 1%水準で有意差あり)、有機区、慣行区を込みにして収量に対する追肥の効果が認められた(図6)。

レタスでは3月末から収穫期までの土壌無機態窒素の平均値と結球重との関係を3ヶ年込みにプロットしたところ、両者の間に明確な関係は認められなかった(図7)。しかし、同じ土壌無機態窒素レベルで堆肥施用区に比べ無施用区の収量は低く、堆肥施用、無施用で土壌無機態窒素と結球重との関係は異なった。堆肥施用区をみると土壌無機態窒素の上昇にともなって結球重は増加するものの、その後低下に転じる傾向が認められた。そこで曲線当てはめの検定を行うと、堆肥施用区では有意確率0.006で二次曲線が当てはまり、両者の間に一定の傾向が認められた。そして、結球重は 280 mg kg^{-1} 乾土付近をピークとして土壌無機態窒素の上昇にともない増加した後、減少に転じた。堆肥無施用区では両者の関係ははっきりしなかった。

本試験の供試土壌の平均仮比重は0.69であり、作土15cmで 1 m^2 の土壌の重量は 103.5 kg であった。また、試験方法(II-2-5)で示したように、通路には施肥せず、その分を栽培畝に上乘せしたため、測定部位の栽培畝では窒素濃度は肥料を一律に施用した場合の1.5倍の濃度となっている。したがって、本土壌では土壌無機態窒素濃度(x)と面積当たり無機態窒素量(y)の関係は、

$$y(\text{g m}^{-2}) = x(\text{mg kg}^{-1}) \times 1/1.5 \times 103.5 \times 1/1000$$
となり、土壌無機態窒素濃度 280 mg kg^{-1} 乾土は面積当たりに換算すると 19.3 g m^{-2} であった。

7. レタスの初期生育に対する堆肥施用の効果

レタス生育初期の乾物重、窒素、リン、カリウ

表 6-1 レタス結球重の処理間差 (年次, 施肥処理, 堆肥処理の比較)

	年次	施肥処理	堆肥注 1	結球重 kg m ⁻²	
圃場 A	2009 年	有機質肥料	+ M	4.61	
		有機質肥料	- M	4.14	
		慣行	+ M	4.50	
		慣行	- M	3.40	
	2010 年	有機質肥料	+ M	3.97	
		有機質肥料	- M	3.35	
		慣行	+ M	2.75	
		慣行	- M	1.60	
	2011 年	有機質肥料	+ M	3.48	
		有機質肥料	- M	2.06	
		慣行	+ M	2.69	
		慣行	- M	1.48	
分散分析 (3-way factorial ANOVA) 注 2					
	年次			***	
	施肥処理			**	
	堆肥処理			***	
	年次×施肥処理			ns	
	年次×堆肥処理			ns	
	施肥処理×堆肥処理			ns	
	年次×施肥処理×堆肥処理			ns	
圃場 B	2010 年	鶏ふん	+ M	2.53	
		鶏ふん	- M	1.93	
		慣行	+ M	2.71	
		慣行	- M	1.76	
	2011 年	鶏ふん	+ M	4.97	
		鶏ふん	- M	4.27	
		慣行	+ M	4.50	
		慣行	- M	2.77	
	分散分析 (3-way factorial ANOVA) 注 2				
		年次			***
		施肥処理			*
		堆肥処理			**
	年次×施肥処理			*	
	年次×堆肥処理			ns	
	施肥処理×堆肥処理			ns	
	年次×施肥処理×堆肥処理			ns	

注 1) + M : 堆肥施用, - M : 堆肥無施用
 注 2) ***, **, * はそれぞれ 0.1%, 1%, 5% 水準で有意差あり, ns は有意でないことを示す
 単純主効果検定を行った (年次ごとに施肥処理の効果を調べた)
 圃場 B の 2010 年には有意差なし
 圃場 B の 2011 年は鶏ふん > 慣行 (p = 0.018)

表 6-2 レタス結球重の処理間差 (施肥処理, 堆肥処理の比較)

	施肥処理	堆肥注 1	結球重 kg m ⁻²
圃場 B	有機質肥料	+ M	4.33
	有機質肥料	- M	3.55
	慣行	+ M	5.16
	慣行	- M	4.29
分散分析 (2-way factorial ANOVA) 注 2			
	施肥処理		**
	堆肥処理		**
	施肥処理×堆肥処理		ns

注 1) + M : 堆肥施用, - M : 堆肥無施用
 注 2) ** は 1% 水準で有意差あり, ns は有意でないことを示す

表 6-3 レタス結球重の処理間差 (年次, 施肥処理の比較)

	年次	施肥処理注 1	結球重 kg m ⁻²
圃場 A	2010 年	有機質肥料	3.97
		鶏ふん	2.86
		慣行	2.75
圃場 B	2011 年	有機質肥料	3.48
		鶏ふん	4.49
		慣行	2.69
分散分析 (2-way factorial ANOVA) 注 2			
	年次		ns
	処理		*
	年次×処理		*
圃場 B	2010 年	鶏ふん	2.53
		鶏ふん半量	2.04
		慣行	2.71
圃場 B	2011 年	鶏ふん	4.97
		無肥料	2.81
		慣行	4.50
分散分析 (2-way factorial ANOVA) 注 2			
	年次		***
	処理		**
	年次×処理		*

注 1) 有機, 慣行の各区は堆肥施用
 注 2) ***, **, * はそれぞれ 0.1%, 1%, 5% 水準で有意差あり, ns は有意でないことを示す
 単純主効果検定を行った (年次ごとに施肥処理の効果を調べた)
 圃場 A の 2010 年には有意差なし
 圃場 A の 2011 年には有意差なし
 圃場 B の 2010 年には有意差なし
 圃場 B の 2011 年は鶏ふん, 慣行 > 無肥料 (p = 0.004)

表7 全乾物重、窒素吸収量および収量における有機、慣行の比較 (慣行区に対する有機区の百分比で表す)

年次	圃場	処理 注1	全乾物重	窒素吸収量		収量
ニンジン 2008年	A	有機質肥料	76	72	81	
		〃 - S	69	61	78	
		〃 - M	89	80	103	
		〃 - M - S	80	73	91	
2010年	A	鶏ふん+魚かす	81	89	96	
	B	魚かす追肥	73	79	87	
		〃 - S	88	88	110	
		〃 - M	97	102	106	
		〃 - M - S	106	113	113	
ニンジン各処理平均			84	84	96	
レタス 2009年	A	有機質肥料	93	98	102	
		〃 - M	94	102	122	
	B	有機質肥料	86	85	84	
		〃 - M	82	86	83	
2010年	A	有機質肥料	144	144	147	
		〃 - M	142	147	210	
		鶏ふん	120	86	106	
	B	鶏ふん	87	65	96	
		〃 - M	84	59	117	
2011年	A	有機質肥料	106	111	134	
		〃 - M	133	112	140	
		鶏ふん	130	151	174	
	B	鶏ふん	106	114	111	
		〃 - M	130	143	154	
レタス各処理平均			110	107	127	

窒素吸収量が同じになるように設定した有機区と慣行区を比較した (窒素施用量が0または半量の区は除いた。また、ニンジンにおいては食害のあった2009年は除いた)。

注1) - S: 太陽熱処理なし, - M: 堆肥無施用

表8 全乾物重、養分吸収量および収量における堆肥施用の有無の比較 (無堆肥区に対する堆肥区の百分比で表す)

年次	圃場	処理 注1	全乾物重	吸収量					収量
				N	P	K	Ca	Mg	
ニンジン 2008年	A	有機質肥料	101	115	116	116	106	124	107
		〃 - S	101	104	114	105	97	118	115
		慣行	117	119	131	128	109	110	135
2010年	A	有機質肥料	122	129	138	126	119	258	118
		〃 - S	125	127	131	128	114	179	125
		慣行	107	109	114	108	104	105	106
	B	魚かす追肥	92	104	96	102	108	101	88
		〃 - S	103	104	100	98	92	99	109
		慣行	122	133	139	136	125	127	112
ニンジン各処理平均			110	116	120	116	108	136	113
レタス 2009年	A	有機質肥料	104	103	108	110	109	135	115
		慣行	105	107	115	111	111	113	136
	B	有機質肥料	122	121	118	126	126	126	122
		慣行	116	120	133	127	127	130	120
2010年	A	有機質肥料	114	119	123	123	121	114	119
		慣行	117	126	169	140	124	121	174
	B	鶏ふん	109	119	129	112	107	106	133
2011年	A	慣行	109	113	142	126	124	131	155
		有機質肥料	127	137	173	141	125	122	169
	B	慣行	160	139	159	173	138	140	187
		鶏ふん	103	109	118	105	96	103	118
		慣行	127	138	162	159	131	134	162
レタス各処理平均			118	121	137	129	120	123	143

堆肥施用区、無施用区がともにある処理で比較した。

注1) - S: 太陽熱処理なし

ム含有率の堆肥施用、無施用による違いを、各年次、圃場別にそれぞれの慣行区の値を100として百分比で表した(図8)。なお、カリウム含有率は2010年のみ分析した。年次、堆肥処理、施肥処理の三元配置の分散分析を行った結果、圃場Aの窒素含有率は堆肥施用>堆肥無施用($p < 0.001$)であった。乾物重、リン含有率、圃場Bの窒素含有率は、堆肥の効果年次によって異なったことから、年次ごとに堆肥処理、施肥処理の二元配置の分散分析を行った。その結果、乾物重は2010年、2011年の圃場Aにおいて堆肥施用>堆肥無施用(2010年 $p = 0.041$, 2011年 $p = 0.002$)であった。リン含有率は2009年の圃場A以外で堆肥施用>堆肥無施用(圃場Aの2010年 $p = 0.008$, 2011年 $p < 0.001$, 圃場Bの2009年 $p = 0.019$, 2010年 $p = 0.004$, 2011年 $p = 0.006$)であった。圃場Bの窒素含有率は2010年のみ堆肥施用>堆肥無施用($p = 0.011$)であるものの、施肥処理との間に交互作用が認められた($p = 0.027$)。また、カリウム含有率は2010年圃場Bにおいて堆肥施用>堆肥無施用($p < 0.001$)であるものの、施肥処理との間に交互作用が認められた($p = 0.002$)。

以上のことから、生育初期の乾物重は圃場Aでは

堆肥施用で高く、圃場Bにおいても高い傾向が認められた。しかも作物体の窒素、リン、カリウム含有率は堆肥施用で高い傾向があった。なかでもリン含有率の上昇程度は窒素、カリウム含有率より大きく、生育初期のリン含有率が堆肥施用によって有意に高まることが示された。

生育初期のリン含有率と収穫1, 2週前の全乾物重との間には正の相関関係が認められ($r = 0.624$, 1%水準で有意差あり)、生育初期のリン含有率が高いほど収穫に近い時期の乾物重が大きいことが示された(図9)。

8. 窒素収支

窒素吸収量はニンジンで4~7, レタスで6~14 $g m^{-2}$ であった(表9)。施用量から吸収量を差し引いた窒素収支は、堆肥のみ施用の無肥料区や残効を見るため無施肥としたニンジン2010年の有機質肥料区ではマイナスであった。ニンジンにおいて追肥のみ施用した2009, 2010年の魚かす追肥区、2010年の慣行区(圃場B)、また2010年レタスの鶏ふん半量区では小さい値であった。一方、肥効率を考慮して多施用となった有機質肥料区や鶏ふん区では高くなり、残存窒素量の多いことが示された。

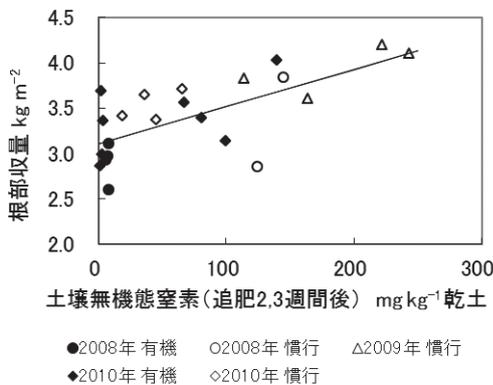


図6 土壌無機態窒素濃度(追肥2, 3週間後)とニンジン収量との関係

(虫害を受けた2009年有機区を除く)
 $y = 0.0041x + 3.106$ $R^2 = 0.481$ $n = 22$

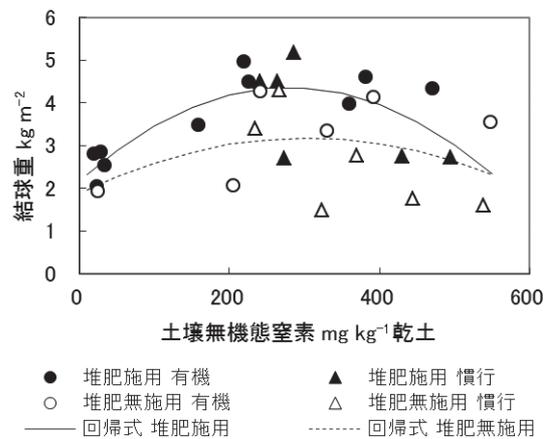


図7 土壌無機態窒素濃度とレタス結球重との関係

土壌無機態窒素：3月下旬から収穫期までの土壌無機態窒素の平均値

堆肥施用区 $y = -0.0000278x^2 + 0.0156x + 2.17$ $R^2 = 0.545$ $n = 16$
 堆肥無施用区 $y = -0.0000142x^2 + 0.0086x + 1.87$ $R^2 = 0.129$ $n = 12$

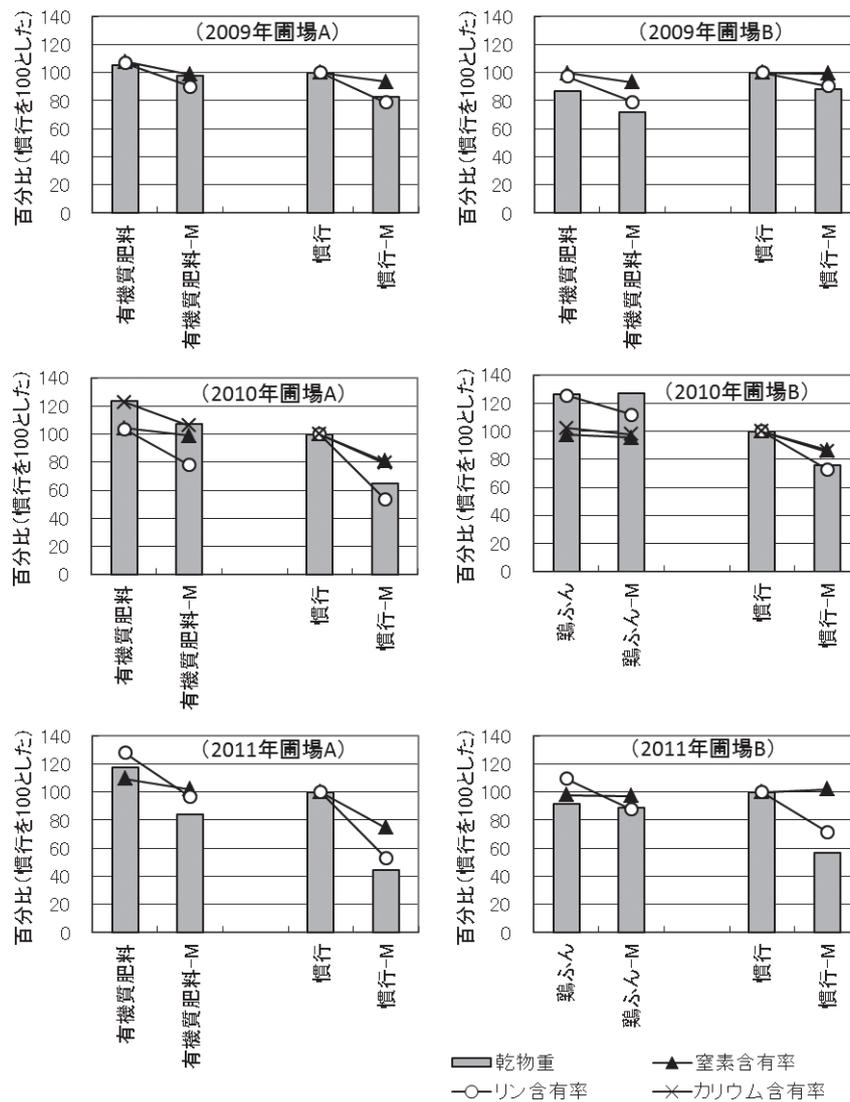


図8 生育初期のレタス乾物重と窒素，リン，カリウム含有率の堆肥施用，無施用による違い

- M：堆肥無施用

2009年：3月18日，2010年：3月17日，2011年：3月23日

乾物重，窒素，リン，カリウム含有率は百分比で図示した

(各年とも，圃場別にそれぞれの慣行区を100として百分比を計算)

カリウム含有率は2010年のみ分析した

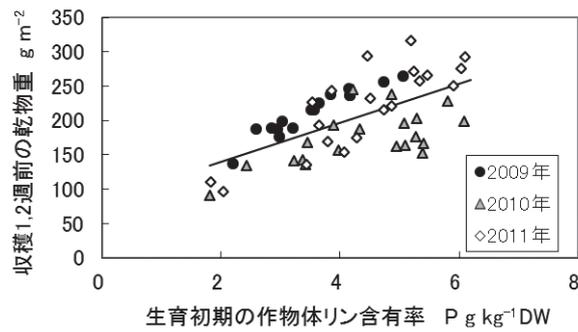


図9 レタス生育初期の作物体リン含有率と収穫1, 2週前の全乾物重との関係

$$y = 28.35x + 82.67 \quad R^2 = 0.389 \quad n = 56$$

表9 ニンジン、レタス作における一作毎の窒素収支（窒素施用量-窒素吸収量）

作物 年次	圃場	処理名	窒素吸収量 g m ⁻²	窒素収支 g m ⁻²
ニンジン				
2008年	A	有機質肥料	4.0	17.0
		慣行	5.5	9.5
2009年	A	有機質肥料	4.0	13.0
		鶏ふん+魚かす	3.6	10.4
	B	慣行	7.1	4.9
		魚かす追肥	4.1	3.9
2010年	A	無肥料	4.3	-3.3
		慣行	7.0	5.0
	B	有機質肥料(残効)	4.1	-4.1
		鶏ふん+魚かす	4.8	9.2
レタス				
2009年	A	慣行	5.5	6.5
		魚かす追肥	5.2	2.8
	B	無肥料	5.0	-5.0
		慣行	6.6	-0.6
2010年	A	有機質肥料	10.4	22.6
		慣行	10.6	9.4
	B	有機質肥料	12.1	20.9
		慣行	14.2	5.8
2011年	A	有機質肥料	13.9	6.1
		鶏ふん	8.4	11.6
	B	慣行	9.9	10.1
		鶏ふん	8.4	11.6
2010年	A	鶏ふん半量	7.1	2.9
		慣行	14.0	6.0
	B	有機質肥料	7.5	2.5
		鶏ふん	10.3	14.7
2011年	A	慣行	6.8	3.2
		鶏ふん	11.0	14.0
	B	無肥料	6.1	-5.1
		慣行	9.7	0.3

各処理とも堆肥施用区（さらに有機区の場合は太陽熱処理ありの区）で比較した

IV. 考察

1. 土壤無機態窒素の推移

冬のレタス作でマルチおよびトンネルを設置することにより、地温(5 cm深)は5.6~6.9℃上昇した(図2)。その結果、本試験で用いた有機質肥料からの窒素無機化は速やかであり、3月下旬以降、土壤無機態窒素濃度は高い値で推移した(図4 a, b, c)。有機質肥料の肥効率を1として硫安と同量の窒素施用量であった2010年、2011年には有機質肥料区の土壤無機態窒素濃度は硫安の場合よりやや少ないものの、冬作においてもマルチ、トンネル下有機質肥料から十分な窒素が無機化されることが示された。したがって、当初、仮定した有機質肥料の窒素肥効率は0.6~0.7であったが、実際には肥効率1として施用するのが望ましかったと考える。ただし、有機質肥料のすべてに当てはまるわけではなく、用いている原料やその比率によって肥効率は当然変わるものと思われる。

2010年レタスの鶏ふん区では、土壤無機態窒素濃度は低く推移したが、これはこの際に使用した発酵鶏ふんの全窒素含有率が2.1%(表4)と低かったためと考えられる。土壤中における鶏ふんの窒素無機化率は、その全窒素含有率が低いほど小さく、全窒素含有率が2%程度の鶏ふんでは4週間培養での無機化率は20%以下であることが報告されている^(7, 22)。そこで、2011年レタス作では全窒素含有率が比較的高い発酵鶏ふんを用いるとともに、2010年に開発された堆肥の窒素肥効評価法^(1, 4)によって肥効率を0.37と推定して施用量を決定した。これにより、2011年では鶏ふん区の土壤無機態窒素濃度は有機質肥料と同等に推移したと考えられる。表4に示したように市販の発酵鶏ふんの全窒素含有率には幅があり、窒素肥効も異なるため、種々の簡易分析法や肥効評価法^(4, 7, 11, 22)を活用して窒素肥効を推定することが重要と考えられた。

夏の露地ニンジン作においては、前作レタスの残存窒素、さらに有機区においては1カ月の太陽熱処理によりニンジン播種時の土壤無機態窒素は高レベルとなった(図3 a, b, c)。しかし、つくば地域の8, 9月の降水量は多く、播種時点での無機態窒素のかなりの部分は9月以降は15 cm以下の層に溶脱し

たものとする。市販の有機配合肥料の窒素無機化パターンは硫安など化学肥料とほぼ同様と考えて、溶脱量が多ならないよう施用する必要がある。発酵鶏ふんは先にも示したように資材ごとに窒素含有率や肥効率が異なる。肥効率を考慮して施用すれば、硫安などと同様の施肥効果が得られるが、当作で利用されない窒素が土壤に蓄積されることになる。有機質肥料の肥効率を0.6や0.7として施用した場合および発酵鶏ふんの肥効率を0.37として施用した場合、投入量から吸収量を差し引いた窒素収支はニンジン栽培でもレタス栽培でも高い値であった(表9)。

石橋⁽³⁾は有機栽培において、堆肥など有機質資材からの窒素肥効評価法の現状および養分過剰の実態と問題点について述べている。有機質資材を用いる場合には肥効率を仮定して施肥設計を行う必要があるが、気象条件、土壌条件等により必ずしも仮定通りに窒素が供給されるわけではない。本研究では土壌中の無機態窒素の推移を追跡したことで、窒素供給の過不足が明確に示された。したがって、有機栽培においては土壌分析により有機質資材施用量の妥当性を検証していくことが、慣行栽培以上に重要であると考えられる。また、今回、有機資材施用土壌の無機態窒素を追跡したが、当作で可給化されない窒素の土壌への蓄積やその後の放出について明らかにすることが今後の重要な課題であると考えられる。

2. ニンジンの収量

ニンジンの根部収量において、地上部が食害を受けた2009年を除くと有機の各区と慣行区との間には有意な差は見られなかった(表5-1, 2)。しかし、有機、慣行で窒素吸収量が同じになるように設定した区と比較すると、平均して全乾物重は慣行区に比べて84、窒素吸収量は84、根部収量は96と有機区でやや劣る傾向があった。有機区、慣行区で同じ窒素吸収量になるように窒素施用量を設定したが、収穫時の窒素吸収量は有機区で慣行区より低かったことになる。ただし、有機区の窒素吸収量は、有機区で追肥を行わない2008年に低いものの、有機区でも追肥を行った2010年には慣行区に近い値であった(表7)。ニンジン根部収量は追肥2, 3週間後の土壤無機態窒素

が高いほど高まる傾向があり、追肥の効果が認められた(図6)。したがって、有機区においても追肥により生育後半の窒素供給を高めることにより、慣行区と同等の根部収量が得られるものと考えられる。

有機区の追肥は魚かすを用いたが、慣行区の硫酸追肥と同様に効果があったと考える。生育初期の窒素吸収量の少ないニンジンには初期溶出抑制型の被覆肥料の利用が望ましいとされる^(6,10)。今回は魚かすを用いたが、肥効調節型肥料の使えない有機栽培においては、さらに利用しやすい速効性の追肥用資材の充実が望まれる。また、本試験でも認められたように、追肥時期の降雨状況によって追肥窒素の効果が異なると考えられるため、追肥を複数回に分けて行うことにより収量の安定化を図ることも必要と考えられる。

3. レタスの収量

有機質肥料区の結球重は2009年の圃場Bでは慣行区に劣ったが、圃場Aでは慣行区に優った。鶏ふん区の結球重は、肥効率1として施用した2010年には慣行区との間に有意差はなく、肥効率0.37とした2011年には圃場Bで慣行区に有意に優った。すなわち、有機質肥料区と多施用した鶏ふん区では慣行区より結球重が優る傾向であった(表6-1, 2, 3)。有機、慣行で窒素吸収量が同じになるように設定した区で比較すると、平均して全乾物重は慣行区に比べて有機区で110、窒素吸収量は107、結球重は127と有機区で優った(表7)。レタスでは窒素吸収量において慣行区を上回る有機区が多く、このことが平均して有機区の結球重が慣行区を上回る要因であったと考える。土壤無機態窒素濃度が低く推移した2010年鶏ふん区では、窒素吸収量は慣行区を下回った。しかし、窒素吸収量が慣行区を上回った有機区で土壤無機態窒素濃度が慣行区より高く推移したわけではなかった(図4b, c)。

土壤無機態窒素を3月末から収穫期までの平均値で表し結球重との関係を見ると、堆肥施用と無施用で異なり、堆肥区だけに注目すると結球重は 280 mg kg^{-1} 乾土程度をピークとして土壤無機態窒素の上昇にともない増加した後、減少に転じた(図7)。中村ら⁽¹²⁾はレタスの最適窒素吸収量 $7 \sim 9 \text{ g m}^{-2}$ を得るには栽培跡地土壤の硝酸態窒素量+窒素吸収量として $10 \sim 13.5 \text{ g m}^{-2}$ の窒素が必要であると、またその値が 30 g m^{-2} を超えるとレタ

スの窒素吸収量は漸減していくことを示している。本試験の土壤無機態窒素濃度 280 mg kg^{-1} 乾土は面積当たりに換算すると 19.3 g m^{-2} であり、レタスの窒素吸収量の平均値 10.0 g m^{-2} (表9)を加えると 29.3 g m^{-2} となる。したがってレタスへの窒素供給量が 29 g m^{-2} 以上になると結球重が低下する傾向は既往の結果と同様であった。この関係は堆肥施用の有機区、慣行区を込みにして得られたものであり、有機、慣行栽培ともに過剰の窒素施用は収量減に結びつくことが示された。

4. 堆肥施用の効果

本試験では有機区、慣行区のいずれにおいても堆肥施用を基本とした。その上で、堆肥の効果を見るため、一部の処理に堆肥無施用区を設けた。

レタスにおいては、有機区、慣行区ともに収量、乾物生産、養分吸収量に対して堆肥施用の効果が大きかった(表8)。堆肥施用が生育初期の窒素、リン、カリウムの吸収、特にリン吸収を高めることによって生育が旺盛になり、それが収量の増加に結びついたと考える(図8, 9)。同じ土壤無機態窒素レベルで堆肥施用区の結球重が無施用区の結球重に優ったことも窒素以外の養分の効果を示唆しており、主にリンの効果であろうと思われる(図7)。筆者らはスイートコーンの生育初期の乾物重およびリン含有率が堆肥施用により高まり、その結果、収穫適期が早まることを報告している⁽²¹⁾。このメカニズムの詳細は不明であるが、堆肥中の有機物によって堆肥リンの土壤への吸着が抑制されるため、作物生育初期のリン吸収が高まるのではないかと推察する。また、ニンジンに比べレタスで堆肥施用効果が大きかったのは初期生育期間が2月、3月と低温期で土壤からのリン吸収が困難な時期であったためと考える。

このような堆肥の効果は慣行区で有機区よりも大きい傾向があった(表8)。これは有機区では有機質肥料や鶏ふん、魚かすからもある程度の有機物が投入されるのに対し、慣行区では堆肥を施用しないと、有機物がほとんど投入されないためと考える。慣行栽培においても堆肥施用は昔から推奨されており、堆肥等有機物の利用に関してはこれまで多くの研究がある⁽¹⁵⁾。有機栽培において、有機質肥料や発酵鶏ふんなど肥料効果を期待する資材だけの栽培はあまりなく、ほとんどの場合、堆肥の施用が行

われていると思われる。堆肥の効果には、土壌の物理性の改善、生物性の改善、養分吸収促進効果など様々な効果が示されているが、本試験ではリン吸収促進効果について示すことができたと考える。

有機栽培において、家畜ふん堆肥はリン、カリウムの大きな供給源である。小野寺・中本^(17,18)は露地野菜の無化学肥料栽培ではまずカリウム施用量を元に堆肥の施用量を決め、堆肥で補えない窒素、リン酸、カリウムを各種有機質肥料で補うとしている。本試験では施肥設計において堆肥中のリン、カリウムを考慮しなかった。また、鶏ふんの施用量によっては多量のカリウムが施用されることとなった。今後、リン、カリウムの養分収支を明らかにし、堆肥や有機質資材からのカリウムの過剰供給に配慮することが必要と考える。

5. まとめ

以上、有機転換3年間において、有機質資材からの養分供給により、ニンジンの収量は平均して慣行栽培の96%とやや劣る傾向があり、一方、レタスでは平均して慣行栽培の127%の収量が得られた。そして、有機質肥料、発酵鶏ふん、魚かすなどの有機質資材の施用による土壌無機態窒素の推移が化学肥料を施用した場合と同程度である場合、慣行栽培と同等の収量が得られたことから、有機栽培においても慣行栽培と同様に施用資材からの無機態窒素の放出量が収量性を説明する基本であると考えられる。また、有機栽培、慣行栽培のいずれにおいても生育初期に作物のリン吸収が高まるのが堆肥施用の効果が発現する要因の一つであると考えられる。

V. 摘要

有機圃場、慣行圃場を設定して、ニンジン、レタス栽培体系の実証試験を行い、3年間の土壌無機態窒素を追跡するとともに、有機、慣行栽培における収量性を比較した。

- 1) 夏の露地や冬のマルチ、トンネル下で供試した有機質肥料の窒素無機化は速やかであり、化学肥料に匹敵する窒素肥効が認められた。供試発酵鶏ふんは肥効率を考慮して施用すると、有機質肥料と同等の土壌無機態窒素レベルを示した。
- 2) 降雨の影響が大きな夏まき露地のニンジン作では、播種時の高濃度の無機態窒素は有効に利用されなかった。有機栽培ニンジンにおいても追肥の効果が認められ、慣行栽培と同様に追肥重

点の施肥体系が有効であると考えられる。

- 3) 堆肥施用のレタス作において、結球重は土壌無機態窒素が高まるにつれて増加したが、無機態窒素が 280 mg kg^{-1} 乾土を超えると減少に転じ、有機、慣行栽培ともに過剰の窒素施用は収量減に結びつくことが示された。
- 4) レタス作では有機、慣行栽培ともに収量、乾物生産等に対する堆肥の施用効果が大きかった。堆肥のリンが初期生育を促進することが一要因と考えられる。
- 5) 有機転換3年間において、ニンジンの収量は平均して慣行栽培の96%とやや劣る傾向があった。一方、レタスでは平均して慣行栽培の127%の収量が得られた。

謝 辞

圃場試験の実施および調査に当たっては中央農業総合研究センターの染谷隆司氏、東郷勇氏、濱田重彦氏、佐藤和也氏、堀内祐児氏の支援をいただいた。根本由美子氏、増田和子氏、田山範子氏には調査、

分析の協力をいただいた。また、統計処理については中央農業総合研究センター光永貴之博士にご教授いただいた。これらの方々に深く感謝申し上げる。

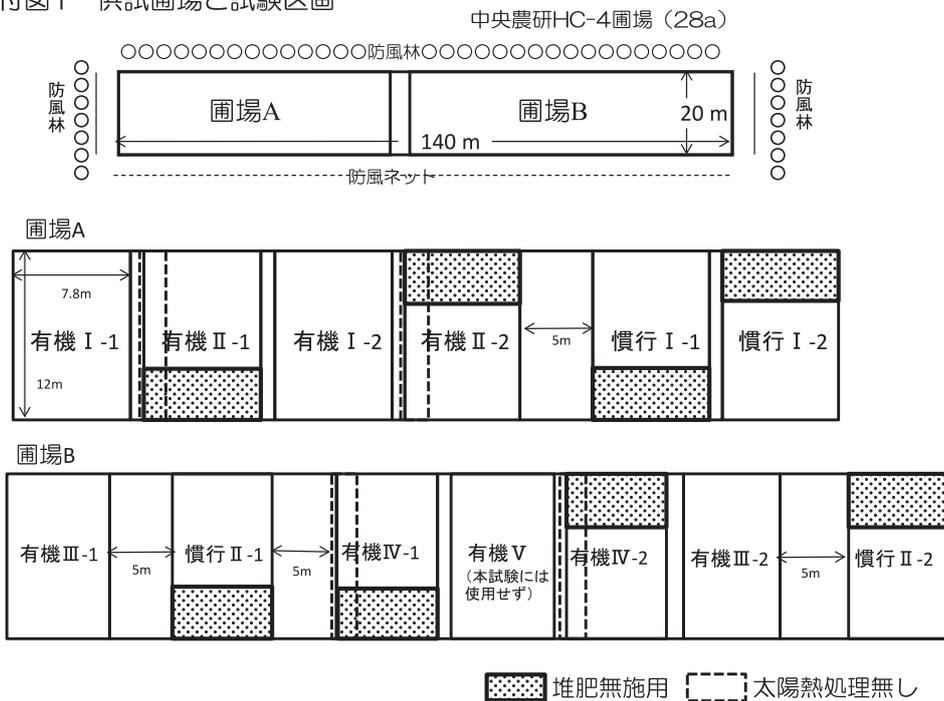
引用文献

1. 中央農業総合研究センター (2010) 主な家畜ふん堆肥の窒素肥効とその有効利用法
http://taihi.dc.affrc.go.jp/doc/document/how_to_use.pdf
2. 茨城県 (2004) 茨城県野菜栽培基準. http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyohozen_type/

h_sehi_kizyun/iba02.html

3. 石橋英二 (2010) 堆肥など有機質資材の活用技術. 農林水産技術研究ジャーナル, **33**, 31-35
4. 実用技術開発事業 18053 マニュアル作成委員会 (2010) 家畜ふん堆肥の肥料成分・窒素肥効評価マニュアル. 159 ~ 160, 170-171
5. 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. 中央農研研報, **3**, 81-87
6. 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報, **4**, 1-35
7. 橘田安正・茂角正延・水落勁美 (2002) 採卵鶏由来鶏糞の窒素成分と窒素無機化率との関係. 土肥誌, **73**, 263-269
8. 熊澤喜久雄 (1989) 「有機農業と現代農業」[1]. 農業および園芸, **64**, 89-103
9. 松崎敏英 (1989) わが国における有機農業の現状. 農業および園芸, **64**, 123-132
10. 三浦憲蔵・片山勝之・皆川望 (2003) 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. 中央農研研報, **3**, 59-69
11. 村上圭一・小阪幸子・原正之 (2007) 鶏ふん堆肥の尿酸測定による可給態窒素量の評価. 土肥誌, **78**, 85-87
12. 中村隆一・目黒孝司・元木征治 (1996) 春夏まきレタスの品質向上対策. 土肥誌, **67**, 692-695
13. 西尾道徳 (2006) 堆肥の肥効率の検証. 農業技術大系, 土壌施肥編, 5-1 巻, 畑 162-8 ~ 162-15
14. 西尾道徳 (2011) 環境保全型農業レポート No.172 世界の有機農業の現状 (2). <http://lib.ruralnet.or.jp/libnews/nishio/nishio172.htm>
15. 農林水産技術会議事務局 (1989) 有機物利用技術, 自然と調和した農業技術編 第2章土壌生産機能維持向上技術. 292-352
16. 農林水産省 2012. 有機食品の検査認証制度 <http://www.maff.go.jp/jas.kikaku/youki.htm>
17. 小野寺政行・中本洋 (2007a) 北海道における堆肥と各種有機質肥料を用いた露地野菜の無化学肥料栽培. 土肥誌, **78**, 611-616
18. 小野寺政行・中本洋 (2007b) たい肥と各種有機質資材を用いた露地野菜の無化学肥料栽培法とその圃場適正評価. 北農, **74**, 27-34
19. Seufert V., Ramankutty N. and Foley J. A. (2012) Comparing the yield of organic and conventional agriculture. *Nature*, **485**, 229-232
20. 篠崎里沙・胡 柏 (2009) 有機農産物についての消費者意識と生産農家の実態把握－消費者と生産者のアンケート調査より－. 愛媛大学農学部紀要, **54**, 11-17
21. 建部雅子・岡崎圭毅・岡 紀邦・唐澤敏彦 (2010) 堆肥施用畑におけるダイコン、スイートコーンの窒素吸収と品質への影響. 土肥誌, **81**, 23-30
22. 棚橋寿彦・矢野秀治 (2004) 鶏ふん堆肥の窒素含量に基づく肥効推定法. 土肥誌, **75**, 257-260
23. 棚橋寿彦・矢野秀治・伊藤元・小柳渉 (2010) 牛ふん・豚ふん堆肥中のリン酸マグネシウムアンモニウム存在とその評価のための抽出法. 土肥誌, **81**, 329-335
24. 上藺一郎・加藤直人・森泉美穂子 (2010) 80℃ 16時間水抽出液のCOD簡易測定による畑土壌可給態窒素含量の迅速評価. 土肥誌, **81**, 252-255
25. 山田裕・鎌田春海 (1989) 有機農業の技術的評価 (第1報) 有機栽培が野菜の収量および土壌に及ぼす影響. 神奈川農総研研報, **131**, 1 ~ 13
26. 山崎晴民・日高伸 (2007) 未利用有機物の利用と耕種的防除の組み合わせによる露地野菜栽培. 埼玉農総研研報, **7**, 78-83

付図1 供試圃場と試験区画



各区画における年次、作物別の施肥処理

区画名	2008年		2009年		2010年		2011年	
	ニンジン	レタス	ニンジン	レタス	ニンジン	レタス	ニンジン	レタス
圃場A	有機 I	-	-	鶏ふん+魚かす	鶏ふん	鶏ふん+魚かす	鶏ふん	
	有機 II	有機質肥料	有機質肥料	有機質肥料	有機質肥料	有機質肥料	有機質肥料	有機質肥料
	慣行 I	慣行	慣行	慣行	慣行	慣行	慣行	慣行
圃場B	有機 III	-	-	無肥料	鶏ふん半量	無肥料	無肥料	無肥料
	有機 IV	-	有機質肥料	魚かす追肥	鶏ふん	魚かす追肥	鶏ふん	鶏ふん
	慣行 II	-	慣行	慣行	慣行	慣行	慣行	慣行

付表1 各処理のリン酸、カリウム施用量

作物 年次	圃場	処理名	P ₂ O ₅ -K ₂ O g m ⁻²	作物 年次	圃場	処理名	P ₂ O ₅ -K ₂ O g m ⁻²
ニンジン				レタス			
2008年	A	有機質肥料	20-20	2009年	A	有機質肥料	37-16
		慣行	20-20			慣行	20-20
		有機質肥料	16-16			2010年	A
鶏ふん+魚かす	15-5	鶏ふん	43-23				
慣行	15-5	慣行	20-20				
2009年	A	有機質肥料	16-16	2010年	A	有機質肥料	22-10
		鶏ふん+魚かす	15-5			鶏ふん	43-23
		慣行	15-5			慣行	20-20
2010年	A	有機質肥料	0-0	2011年	A	有機質肥料	11-5
		鶏ふん+魚かす	20-7			鶏ふん	29-24
		慣行	20-7			慣行	10-5
2010年	B	魚かす追肥	6-0	2011年	B	鶏ふん	29-24
		無肥料	0-0			無肥料	0-0
		慣行	7-0			慣行	10-5
2010年	B	魚かす追肥	8-0	2011年	B	鶏ふん	29-24
		無肥料	0-0			無肥料	0-0
		慣行	8-0			慣行	10-5

付表2 慣行区に使用した農薬の一覧

作物 年次	農薬の種類		作物 年次	農薬の種類	
ニンジン			レタス		
2008年	除草剤	トリフルラリン乳剤	2009年	殺虫剤	DDVP乳剤
	殺虫剤	DDVP乳剤		殺菌剤	プロシミドン水和剤
		PAP乳剤			イソプロジオン水和剤
	殺菌剤	TPN水和剤	2010年	殺虫剤	イソキサチオン粒剤
	イソプロジオン水和剤			DDVP乳剤	
殺虫剤	DDVP乳剤			クロルフェナピル水和剤	
2009年	殺虫剤	PAP乳剤	殺菌剤	ジエトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤	
	殺菌剤	ポリオキシン水和剤		イソプロジオン水和剤	
2010年	殺虫剤	DEP乳剤		ジエトフェンカルブ・プロシミドン水和剤	
		シベルメトリン乳剤	2011年	殺虫剤	イソプロジオン水和剤
		DDVP乳剤		殺菌剤	ジエトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤
	殺菌剤	イミノクタジアルベシル酸塩水和剤			ジエトフェンカルブ・プロシミドン水和剤

付表3 播種, 定植, 収穫等の日付

ニンジン	2008年	2009年	2010年	レタス	2009年	2010年	2011年
堆肥施用	6月26日	6月10日	-	堆肥施用	1月13日	12月17日	12月21日
有機区施肥	7月 2日	6月17日	6月15日	施肥	1月13日	12月17日	1月11日
太陽熱処理開始				マルチ設置			
太陽熱処理終了	8月 4日	7月17日	7月21日 (播き直し 8月10日)	トンネル被覆開始	1月19日	1月15日	1月14日
慣行区施肥 全区播種				定植			
追肥	10月 2日	9月 3日	9月22日	収穫	4月20, 27日	4月21, 26日	4月26, 27日
収穫	12月16日	11月 5日	12月 8日				

付表4 ニンジン収穫期の乾物重および養分吸収量

年次	圃場	処理 注	全乾物重 g m ⁻²	吸収量 g m ⁻²				
				N	P	K	Ca	Mg
2008年	A	有機質肥料	394	3.98	0.64	11.1	1.76	0.46
		〃 - S	358	3.39	0.55	9.4	1.67	0.38
		〃 - M	397	3.67	0.57	9.8	1.73	0.37
		〃 - M - S	357	3.35	0.48	9.0	1.78	0.32
		慣行	523	5.53	0.81	16.1	2.53	0.48
		〃 - M	447	4.65	0.62	12.6	2.32	0.43
2009年	A	有機質肥料	316	3.97	1.02	14.3	2.29	0.47
		〃 - S	362	4.34	1.10	15.0	2.36	0.50
		〃 - M	377	3.86	0.84	14.3	2.22	0.45
		〃 - M - S	324	3.61	0.84	13.1	2.03	0.42
		鶏ふん+魚かす	326	3.57	0.83	14.2	2.12	0.40
		慣行	557	7.06	1.35	23.5	3.77	0.75
		〃 - M	524	6.62	0.99	20.0	3.84	0.68
	B	魚かす追肥	355	4.14	0.96	15.8	2.10	0.45
		〃 - S	359	4.10	1.08	16.2	2.21	0.50
		〃 - M	366	4.11	0.90	15.0	2.05	0.44
		〃 - M - S	323	3.45	0.87	12.5	1.75	0.40
		無肥料	414	4.34	0.97	16.3	2.34	0.49
		慣行	590	6.99	1.33	21.9	3.73	0.73
		〃 - M	531	6.51	1.15	19.3	3.67	0.68
2010年	A	有機質肥料 (残効)	468	4.14	0.73	16.0	2.56	0.83
		〃 - S	404	3.54	0.63	13.2	2.00	0.51
		〃 - M	384	3.20	0.53	12.7	2.19	0.32
		〃 - M - S	337	2.87	0.50	11.0	1.78	0.30
		鶏ふん+魚かす	464	4.77	0.83	18.4	2.35	0.48
		慣行	577	5.48	0.80	18.6	2.68	0.53
		〃 - M	539	5.01	0.70	17.2	2.58	0.50
	B	魚かす追肥	477	5.19	0.92	17.9	2.67	0.48
		〃 - S	584	5.85	1.08	20.3	2.92	0.56
		〃 - M	527	5.11	0.97	17.7	2.53	0.48
		〃 - M - S	572	5.67	1.08	20.6	3.14	0.56
		無肥料	561	5.03	1.03	19.3	3.28	0.56
		慣行	661	6.64	1.24	21.5	3.26	0.66
〃 - M	541	5.01	0.89	15.8	2.60	0.52		

注) - S: 太陽熱処理なし, - M: 堆肥無施用

付表5 レタス収穫期の乾物重および養分吸収量

年次等	圃場	処理名 注	全乾物重 g m ⁻²	吸収量 g m ⁻²				
				N	P	K	Ca	Mg
2009年	A	有機質肥料	271	10.4	1.20	20.0	2.30	1.30
		〃 - M	262	10.2	1.13	18.4	2.11	0.96
		慣行	290	10.6	1.18	21.1	2.20	0.84
		〃 - M	277	10.0	1.03	19.1	2.00	0.74
	B	有機質肥料	305	12.1	1.32	23.0	2.48	0.92
		〃 - M	252	10.1	1.13	18.3	1.98	0.74
		慣行	356	14.2	1.78	26.3	3.11	1.14
		〃 - M	307	11.9	1.34	20.7	2.45	0.87
2010年	A	有機質肥料	348	13.9	1.49	26.1	3.12	1.21
		〃 - M	305	11.7	1.21	21.2	2.58	1.06
		鶏ふん	296	8.4	1.18	19.9	2.65	0.80
		慣行	247	9.9	1.02	19.7	2.31	0.81
	B	〃 - M	217	8.1	0.63	14.7	1.97	0.68
		鶏ふん	260	8.4	1.20	18.5	2.51	0.78
		〃 - M	239	7.1	0.93	16.5	2.34	0.74
		鶏ふん半量	250	7.1	1.04	17.2	2.52	0.77
2011年	A	慣行	323	14.0	1.58	26.1	3.50	1.32
		〃 - M	290	12.1	1.09	20.2	2.75	0.97
		有機質肥料	264	7.5	0.91	16.9	1.95	0.71
		〃 - M	208	5.5	0.53	12.0	1.57	0.58
	B	鶏ふん	323	10.3	1.28	22.7	2.17	0.83
		慣行	252	6.8	0.67	15.6	1.83	0.65
		〃 - M	157	4.9	0.42	9.0	1.33	0.46
		鶏ふん	288	11.0	1.49	21.8	2.25	0.83
	〃 - M	280	10.1	1.27	20.7	2.34	0.81	
	無肥料	213	6.1	0.78	14.0	2.24	0.69	
	慣行	274	9.7	1.27	21.6	2.60	0.94	
	〃 - M	217	7.1	0.78	13.6	1.97	0.70	

注) - M : 堆肥無施用

Changes in Soil Inorganic Nitrogen Concentrations and their Relationship with Yields of Carrot (*Daucus carota* L.) and Lettuce (*Lactuca sativa* L.) during the Transition Period of Organic Farming

Masako Takebe^{*1}, Toshihiko Karasawa^{*2}, Michio Komada^{*2}, Fumio Sato^{*3},
Seiichi Nishimura^{*4}, Shigeru Takahashi^{*2} and Naoto Kato^{*2}

Summary

Some farmers are known to have difficulties in beginning organic farming, and hence the ratio of the area of organic farms to the whole farmland area and the ratio of organic production to total agricultural production remains low in Japan. It is necessary to get stable yields to motivate farmers and expand the organic farming area. A field experiment investigating organic farming was begun in 2008, and the yield and soil inorganic nitrogen levels in organically- and conventionally-cultivated carrot and lettuce fields were compared for 3 years, in a Hapludands field in NARO Agricultural Research Center (36° 02' N, 140° 10' E) located in Tsukuba, Japan. In the study, the target yield of the organic crops was over 80% of the conventional crop yield. Soil inorganic nitrogen concentrations (0-15 cm layer) were measured during the growing period of carrot and lettuce at 2 or 3 weekly intervals, and the effect on the productivity of organic crops was studied by comparison with conventional crops.

1. Nitrogen mineralization of applied marketed organic fertilizer was rapid under the field cultivation of carrots in summer and the mulch and tunnel cultivation of lettuces in winter. The nitrogen efficiency was almost the same as that of applied chemical fertilizer. The fermented chicken manure gave equal soil inorganic nitrogen levels to the marketed organic fertilizer when it was supplied at a modified amount according to the nitrogen efficiency rate.

2. The abundant inorganic nitrogen at the sowing time was not useful for the field cultivation of carrot as much

precipitation caused nitrogen leaching. Carrot yields increased with an increase in the soil inorganic nitrogen concentration at 2 or 3 weeks after top dressing in the case of both organic and conventional cultivation. Therefore it was advisable to raise the proportion of the top dressing for both the organic and conventional cultivation of carrots.

3. Lettuce yield increased with an increase in the average soil inorganic nitrogen concentration during the growing period up to about 280 mg kg⁻¹ dry soil, and then decreased. The application of excess nitrogen resulted in low yields for both organic and conventional cultivation.

4. The application of cattle manure compost was effective for winter lettuce production in both organic and conventional cultivation. Lettuce dry weights and phosphorus concentrations in the early growth stage were higher in plots with applied compost than in plots without compost, and the phosphorus concentration of lettuce was highly correlated with the dry weight at 1 or 2 week before harvest. A positive effect of the cattle manure compost was the phosphorus supply from the compost which accelerated the early growth of the lettuce.

5. In the 3 years during the transition period to organic farming, yields of carrot and lettuce cultivated organically, which received nutrients from the organic fertilizers, was on average 96 and 127%, respectively, of that of crops grown conventionally. The released inorganic nitrogen from the organic fertilizers explained the productivity of organic cultivation as well as conventional cultivation.

*1 present: Fellow of National Agriculture and Food Research Organization (NARO), Ex-member of NARO Agricultural Research Center

*2 NARO Agricultural Research Center Soil Science and Plant Nutrition Division

*3 NARO Institute of Vegetable and Tea Science

*4 NARO Agricultural Research Center Department of Planning and General Administration, Ex-member of NARO Agricultural Research Center Soil Science and Plant Nutrition Division