

野菜栽培における窒素肥料低減化技術
の開発に関する研究

2007年7月

山本二美

目 次

第 I 章 序 論

1 .	研究の背景と目的	1
2 .	研究の構成	3
	謝 辞	4

第 II 章 ネギのチェーンポット内施肥による 窒素肥料低減化技術

第 1 節 チェーンポット内施肥の施肥窒素量 と追肥窒素量の検討

1 .	緒言	6
2 .	材料および方法	7
3 .	結果	13
4 .	考察	20

第 2 節 チェーンポット内全量窒素施肥が 生育および収量に及ぼす影響

1 .	緒言	24
2 .	材料および方法	24
3 .	結果	30
4 .	考察	41

第 III 章 施設トマトにおける汁液栄養診断に基づく 窒素肥料低減化技術

第 1 節 施肥前の土壌中硝酸態窒素量が汁液栄養診断に

基づく施肥量に及ぼす影響

1 . 緒言	46
2 . 材料および方法	47
3 . 結果	50
4 . 考察	59

第 2 節 接ぎ木栽培における汁液栄養診断に基づく
追肥量の削減

1 . 緒言	63
2 . 材料および方法	63
3 . 結果	66
4 . 考察	68

第 3 節 汁液栄養診断に基づく追肥法の現地実証

1 . 緒言	74
2 . 材料および方法	74
3 . 結果	78
4 . 考察	84

第 IV 章 ダイコンにおける土壌残存窒素を考慮した

窒素肥料低減化技術

1 . 緒言	88
2 . 材料および方法	88
3 . 結果	93
4 . 考察	98

第 V 章 総合考察

102

第 VI 章 摘要	112
引用文献	118
Summary 研究の要約	132

第 I 章 序論

1. 研究の背景と目的

農耕地に施用された肥料中の窒素は、環境中で様々な形態に変化し、肥料等が過剰になった場合は環境汚染物質として問題となる。河川や湖沼に流出した有機態窒素やアンモニア態窒素は富栄養化を招き^{76,102)}、硝化または脱窒の過程で大気中に放出された亜酸化窒素は地球温暖化やオゾン層破壊を促進し^{12,72)}、浸透溶脱した硝酸態窒素は地下水汚染^{34,41,42,56,69,75,77)}を引き起こすなど、施肥窒素が環境汚染の一因となっている。

環境庁は、平成 11 年 2 月 22 日に、水質汚濁に係わる人の健康の保護に関する環境基準および地下水の水質汚濁に係わる環境基準に硝酸性窒素を追加し、硝酸性窒素および亜硝酸性窒素を 10 mg L⁻¹以下と定めた。したがって、作物に施用する窒素量は、生産性だけでなく、環境に配慮することが必要である^{39,40)}。このことは、環境基準を意識した上で、作物が必要とする窒素量を施肥し、土壌中の残存窒素を減らすことが重要であり、生産性をおとすことなく、施肥窒素を削減するために、理論に基づいた低減化技術を開発する必要がある。

施肥量決定の一般的な考え方は、目標収量を得るために必要な窒素吸収量から土壌の供給窒素量を引き、それを施肥窒素の利用率で除したものである。したがって、減肥を考える上で、利用率を高めるための施肥位置の改善、施肥時期の改善および肥料の選択、並びに施肥前の土壌中残存窒素の利用が重要である⁶⁶⁾。

本論では、施肥位置の改善として局所施肥を検討した。局所施肥

は、作物の根が分布する位置にしぼって、あらかじめ肥料を施用し、効率良く肥料成分を吸収させる施肥法である。根圏周辺の狭い範囲に施肥することで大幅な減肥が期待できるが、多量の肥料を集中して施用することから、濃度障害を回避するために、肥料の形態も考慮しなければならない。局所施肥法には、施肥範囲の広い順に、マルチ内施肥^{59,82)}、畦内施肥⁸¹⁾、条施肥⁶⁰⁾、植溝施肥^{14,113,114)}、側条施肥^{36,115)}、植穴施肥³³⁾、ポット内施肥^{54,95)}、セル内施肥および^{14,30,51)}育苗箱施肥^{35,37,38,48)}などがある。ここでは、著者が考案した新しい局所施肥法であるネギのチェーンポット内施肥^{126,127)}を検討した。

次に、施肥時期の改善として汁液栄養診断を検討した。汁液栄養診断は、生育期間中に作物の養分の過不足をリアルタイムに判定する方法である。本診断は、作物の汁液中の硝酸濃度を測定し、それに基づいて施肥量を算出するので、作物の要求に即した施肥法と考えられる。生体試料を搾汁または摩砕して得た汁液を用いて、作物の栄養状態を知ろうとする研究は、海外では1960年代頃から見られるが²⁹⁾、国内では、本格的な汁液栄養診断に関する研究は1990年代に数多く見られるようになった¹⁰⁶⁾。対象作物は主にキュウリ^{32,85)}、イチゴ⁸⁶⁾、ナス⁸⁷⁾、トマト^{32,94,119,122)}などの果菜類およびバラ⁹⁸⁾、シクラメン¹⁰⁵⁾などの花卉類である。これらの研究は、施設における栽培期間の長い作物において、適切な施肥時期および施肥量の決定を検討している。これまで、汁液栄養診断では、土壌残存窒素と施肥窒素の関係が全く明らかにされていないことに注目して、ここではこの点を重視してトマトの汁液栄養診断^{128,129,130)}を検討した。

土壌残存窒素^{18,19)}を考慮した施肥法としては、ニンジン⁵⁸⁾、トマト¹²⁸⁾などで検討されてきた。土壌残存窒素をどの程度の深さまで

考慮するかを検討し，同時に，根部の養分吸収力は，地温に依存するため，土壤中残存窒素と地温の関係を検討した．ここでは，施肥前の土壤残存窒素を考慮した施肥窒素量をダイコン¹²⁵⁾で検討した．

このように，減肥には幾つかの技術があるが，比較的施肥量の多い野菜類で肥料の低減化を図ることは，重要，かつ有意義と考える．

本研究の目的は，窒素の多施肥が招く様々な環境汚染を回避すべく，減肥技術を駆使した窒素施肥量の検討である．また，土壤に残存する窒素をいかに利用するかを検討した．これらのことは，野菜の生産性をおとすことなく，施肥窒素を削減するために理論に基づいた施肥窒素低減化技術を開発することであった．著者のこれまでの研究を「野菜栽培における窒素低減化技術の開発に関する研究」として，ここに整理した．

2. 研究の構成

本研究の内容は，大きく3つに分けられる．

第1は，施肥位置の改善策としては，ネギのチェーンポット内施肥を取り上げた．これは，ネギの育苗用チェーンポットの培養土の中に直接，肥効調節型肥料を混和する施肥技術の開発である．具体的には，チェーンポット内施肥と追肥を組み合わせた施肥技術¹²⁶⁾およびネギが収穫までに必要とする窒素を施用するチェーンポット内全量施肥技術¹²⁷⁾である．特に，本施肥法における栽培跡地の土壤残存窒素に及ぼす影響も検討した（第II章）．

次に，施肥時期の改善策として，トマトの葉柄汁液の硝酸濃度に基づく追肥技術¹²⁸⁾を取り上げた．ここでも，土壤残存窒素と汁液栄養診断に基づく施肥窒素量の関係を検討した．さらに，トマトで

は自根に比べて養分吸収力の強い台木を利用した接ぎ木栽培における汁液栄養診断に基づく施肥窒素量削減¹²⁰⁾を取り上げた。それらに基づいて、本施肥法の現地における実用性を検証した¹²⁹⁾(第三章)。

第3として、土壌残存窒素を考慮した窒素肥料低減化技術として、ダイコンを取り上げた。ダイコンが土壌残存窒素を吸収するのに、地温が深く関係すること、およびどれだけの深さの土壌窒素を利用するかを検討した。併せて、本施肥法の現地における実証を行った¹²⁵⁾(第四章)。

謝辞

本論文を取りまとめるに当たっては、千葉大学園芸学部渡邊幸雄教授、犬伏和之教授、篠原 温教授、坂本一憲准教授並びに渡辺正巳准教授には、懇至なご指導とご校閲を賜った。

千葉県農業総合研究センター藤家梓前センター長並びに松嶋一彦現センター長には、本研究の課題化に当たりご配慮をいただいた。

千葉県農業総合研究センター生産環境部長松丸恒夫博士には、本研究に着手して以来8年の長きにわたるご指導をいただくとともに、本論文のご校閲を賜わった。また、同センター次長安西徹郎博士並びに生産環境部土壌環境研究室長金子文宜博士には、身近にあって論文執筆中、常に叱咤激励をいただいた。

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター土壌作物分析診断手法高度化研究チーム田中福代博士には、作物栄養診断の考え方を教示いただくとともに、本論文の執筆に際し暖かいご指導を賜った。

全国農業協同組合連合会肥料農薬部（元，独立行政法人農業技術研究機構中央農業総合研究センター土壌肥料部長）原田靖生博士には地力窒素と施肥技術に関して，大阪府立大学生命環境科学部池田英男教授には野菜の生理・生態に関して，埼玉県園芸研究所六本木和夫博士には作物栄養診断の手法に関して，いずれも懇切な教示を賜った。

千葉県農業総合研究センター甲田暢男元技監には，野菜の生理・生態および台木栽培に関して教示を賜った。同育種研究所果樹植木育種研究室山本洋子元主席研究員には，統計学および統計処理について，ご指導をいただいた。

千葉県農業総合研究センター生産環境部環境機能研究室青柳森一元室長（現，北総園芸研究所長）並びに同僚の川上敬志氏（現，砂地野菜研究室長）には野菜の生理・生態および栽培技術について，真行寺孝氏（現，環境機能研究室長）並びに大塚英一氏（現，病害虫防除課）には土壌や水の分析について，草川知行氏（現，野菜研究室）並びに山本幸洋博士には研究の取り組み方について，同土壌環境研究室齊藤研二氏には現地における土壌調査とその分析について，それぞれご指導をいただいた。

また，生産環境部環境機能研究室の農業技術員の皆様には，野菜の栽培管理および調査分析において絶大なるご協力をいただいた。

さらに，東葛飾，印旛，山武および長生の各農林振興センターの方々には，現地実証試験を行うにあたり，熱心な農家を紹介していただくと共に，調査等に多大なご協力をいただいた。

これらの方々には心から感謝の意を表します。

第Ⅱ章 ネギのチェーンポット内施肥による窒素肥料低減化技術

Ⅱ-1 チェーンポット内施肥の施肥窒素量と追肥窒素量の検討

1. 緒言

ネギは、露地野菜の中で特に施肥窒素量が多いとされている。夏どりネギの場合、千葉県における基準施肥窒素量⁹⁾は、基肥窒素80 kg ha⁻¹、追肥窒素160 kg ha⁻¹の合計240 kg ha⁻¹であるが、現地では300 kg ha⁻¹以上、時には500 kg ha⁻¹を超える事例がある（千葉県農業普及指導員のアンケート調査による）。一方、ネギの窒素吸収量は、90～130 kg ha⁻¹程度^{31,73,74,123)}であることから、施肥窒素利用率の向上を図ることにより大幅な減肥が可能と考えられる。

ネギ栽培では、これまで作業労力を多く要する地床育苗であったが、軽労化を図ったチェーンポット育苗¹⁶⁾が開発され、1995年頃から千葉県内の主流となっている。チェーンポット育苗とは、水稻用育苗箱に鎖状につながったペーパーポットを敷き、そこに培養土を詰めて播種し、短期間で定植用稚苗をつくる方法である。ところが、県の施肥基準⁹⁾は、従来の地床育苗した大苗利用を前提として設定されている。したがって、育苗および定植方法が大きく変わるチェーンポット育苗によるネギ栽培には、それに適した施肥量があると考えられる。

以上のような背景から、ネギ栽培の新しい減肥技術としてチェーンポット育苗の培養土に直接施肥する育苗箱施肥を検討した。これは著者の研究グループが開発したキャベツのセル内施肥³⁰⁾をヒントに考案したもので、チェーンポット内施肥と命名した。

2. 材料および方法

【試験1】 追肥窒素量を一定にした場合のチェーンポット内施肥

窒素量の検討

1) 試験場所

試験場所は、千葉県農業総合研究センター（千葉市）の露地ほ場とした。土壌は、表層腐植質黒ボク土（米神統）で、土性は壤土である。土壌の化学性は、全炭素 3.54 %、全窒素 0.26 %、ECは 8.1 mS m⁻¹、pH(H₂O)は 6.2で、土壌中硝酸態窒素は 3.7 mg kg⁻¹である。前作はニンジンである。

2) 試験設計

ネギの作型は、2月まきの夏どりとした。チェーンポット内に施用した肥効調節型肥料は、被覆燐硝安 100日タイプ（2401-100S：チッソ旭肥料社、東京）とした。被覆燐硝安のチェーンポット内の施用は、育苗箱毎に行った。培養土 5Lと所定量の被覆燐硝安（101～304 g/箱）を混合し、育苗箱内に敷いたペーパーポット内に約 4.5 Lを詰めた。そこに専用播種機をもちいて播種し、残りの被覆燐硝安を含んだ培養土で覆土した。試験区は、追肥窒素量を標準施肥と同等の 160 kg ha⁻¹一定にして、チェーンポット内施肥窒素量のレベルを変えて設定した。試験区を第1表に示す。

標準区は、千葉県施肥基準⁹⁾に準じ、チェーンポット内には窒素無施肥で、基肥窒素 80 kg ha⁻¹を CDU化成（N-P₂O₅-K₂O=15-15-15）で全面全層施用とした。供試面積は、1区 22.5 m²で3反復とした。無窒素区は、チェーンポット内および基肥と追肥を窒素無施用とした。被覆燐硝安100日タイプの成分は、N-P₂O₅-K₂O=24-1-0であるため、リン酸

第1表 追肥窒素量を一定にした場合のチェーンポット内施肥窒素量の試験区

試験区	チェーンポット 内施肥窒素量 (kg ha ⁻¹)	本ほ施肥窒素量		総施肥窒素量 (kg ha ⁻¹)	減肥率* (%)
		基肥 (kg ha ⁻¹)	追肥 (kg ha ⁻¹)		
標準	—	80	160	240	—
ポット内20kg	20	—	160	180	25
ポット内40kg	40	—	160	200	17
ポット内60kg	60	—	160	220	8
無窒素	—	—	—	0	100

* 減肥率は、標準区の総施肥窒素量に対する減少割合である。

は，BM 熔リン（N-P₂O₅-K₂O=0-20-0）を用いて各区 200 kg ha⁻¹，加里は，硫酸加里（N-P₂O₅-K₂O=0-0-50）を用いて各区 150 kg ha⁻¹をそれぞれ基肥として全面全層に施用した．また，粒状苦土石灰（アルカリ分 55%，可溶性苦土 15%）1Mgha⁻¹および籾がら入り完熟牛ふん堆肥（N-P₂O₅-K₂O=1.02-1.02-1.29）10 Mg ha⁻¹を各区に全面全層で施用した．

3) 耕種概要

供試品種は，‘吉蔵’（武蔵野種苗）でコーティング種子である．播種は 2004 年 2 月 10 日に行った．チェーンポット（CP-303，日本甜菜製糖社，東京）は，1 冊 264 穴（1 穴：径 3 cm, 高さ 3 cm）が長さ 13.5 m でチェーン状に連結している．育苗箱は，水稲用トレイ（縦 30 cm × 横 60 cm × 高さ 4 cm）を用い，育苗箱にチェーンポット 1 冊をセットして培養土（商品名：げんきくん果菜 200，コープケミカル社，東京）を充填した．げんきくん果菜 200 の窒素成分は，200 mg L⁻¹である．播種は，チェーンポット 1 穴当たり 2.5 粒（1 穴 3 粒用の播種板を改良し 2 粒と 3 粒を各穴へ交互に播く）とした．播種量は 543,200 粒 ha⁻¹とした．チェーンポットは 823 冊 ha⁻¹とした．育苗時の床温は，発芽を均一にするために播種から 10 日間のみ 20℃一定とした．育苗時の灌水は，9 時と 13 時に苗を観察して培養土の表面が乾いていれば，ホースに噴頭を付けて行った．定植は畦間 90 cm，溝幅 30 cm，深さ 10 cm に，チェーンポット専用定植機（商品名：ひっぱりくん，日本甜菜製糖社，東京）を用いて 3 月 24 日に行った．専用定植機（ひっぱりくん）は，移植を手作業で行う必要がなく，溝部に沿って人がこの定植機を引くことで，チェーン状に連結している苗を簡単に定植できる．追肥は，燐硝安加里

(N-P₂O₅-K₂O=15-15-12) を用いて窒素成分で 1 回当たり 40 kg ha¹ を 5 月 24 日, 6 月 8 日, 7 月 9 日, 7 月 30 日の 4 回で施用した。土寄せは, 追肥と同日に 4 回および 6 月 29 日の合計 5 回行った。収穫は 2004 年 9 月 2 日に行った。

4) 肥効調節型肥料の窒素溶出率測定方法

被覆燐硝安 140 日タイプ 5.00 g を培養土 100 g に均一混和し, それを目合い 1 mm メッシュのポリエチレン製網袋 (縦 20 cm, 横 15 cm) に包んで, 播種時に培養土を充填した育苗箱へ埋設した。次に, ネギ定植時に, 育苗箱に埋設した網袋を取り出し, ネギほ場の深さ 10 cm に埋設した。その後ネギ土寄せ時に, 埋設した網袋の上にも土寄せし, 埋設深度をほ場条件と合わせた。肥料の入った網袋は, 定植時およびその後約 1 ヶ月毎に掘り出した。掘り出した肥料は, 付着した土壌を水で洗い, 水分を拭きとった後, 乳鉢中で蒸留水を加えながらすりつぶした。懸濁状とした肥料液を 500 mL のメスフラスコに移し, 蒸留水を加えて約 400 mL とし, 往復振とう機で 30 分間振り混ぜた後, 標線まで水を加えた。被覆燐硝安の無機態窒素溶出量は, 不純物をろ紙 (No. 6) で取り除き, イオンクロマトグラフィー (イオンクロマトシステム, 日立製作所社製) によりアンモニア態窒素と硝酸態窒素を測定した。

5) 生育, 収量および施肥窒素利用率の調査方法

生育および収量調査は, 千葉県野菜試験研究調査基準¹⁾によった。ただし, 調製収量については, 出荷規格²⁾では軟白長 27 cm 以上および太さ 1.0 cm 以上のものと 2 重の基準があるが, 本報では全株を対象とした。ネギは, 根を切断後, 3 葉を残して軟白が見えるまで剥き, 長さ 60 cm に切り, それを調製重とした。生育調査は 1 区 0.9 m²

(重量は全株を，生育は中庸な株 20 本を対象とした) の 3 反復，収量調査は 1 区 1.35 m² (重量は全株を，生育は中庸な株 30 本を対象とした) の 3 反復とした．施肥窒素利用率は，各施肥区の窒素吸収量から無窒素区の窒素吸収量を引き，各施肥区の施肥窒素量で除した．

6) 植物体の全窒素分析法

第 1 回追肥時および収穫時に掘り出したネギを，水洗いし，80℃，3 日間通風乾燥後，粉碎し，NC アナライザー (スミグラフ NC-900，住化分析センター社製，東京) で全窒素を測定した．

7) 土壌中硝酸態窒素分析法

施肥前の土壌は，深さ 0～60 cm において 15 cm 層毎に，各ほ場の 2 ヶ所から採取し，それを混合して 1 サンプルとした．これを 3 反復のほ場でそれぞれ実施した．収穫終了直後の土壌は，土寄せした土壌を平らにした後，ネギ植え付け直下の位置から前記と同様に採取した．土壌の硝酸態窒素量は，生土 20 g に 100 mL の蒸留水を加えて 30 分間振とうし，濾過後，オートアナライザー (トラックス 800，ブランルーベ社製，東京) により分析した．

【試験 2】チェーンポット内施肥における追肥窒素量の検討

1) 試験場所

試験場所は，試験 1 と同じである．ほ場の土壌 EC は 16.4 mS m⁻¹，pH (H₂O) は 5.7 で，前作はネギである．

2) 試験設計

試験区は，試験 1 の結果からチェーンポット内施肥窒素量を 60 kg ha⁻¹ とし，追肥窒素量のレベルを変えて設定した．追肥区の追肥回数 は，試験 1 の結果から 4 回から 3 回に減らした．試験区を第 2 表

第2表 チェーンポット内施肥における追肥窒素量の試験区

試験区	チェーンポット 内施肥窒素量 (kg ha ⁻¹)	本ほ施肥窒素量		総施肥窒素量 (kg ha ⁻¹)	減肥率* (%)
		基肥 (kg ha ⁻¹)	追肥 (kg ha ⁻¹)		
標準	—	80	160(40×4回)	240	—
追肥60kg	60	—	60(20×3回)	120	50
追肥90kg	60	—	90(30×3回)	150	38
追肥120kg	60	—	120(40×3回)	180	25
無窒素	—	—	—	0	100

* 減肥率は、標準区の総施肥窒素量に対する減少割合である。

に示す。標準区および無窒素区は、試験 1 と同じとした。

3) 耕種概要

播種は 2005 年 2 月 16 日、定植は 3 月 31 日に行った。標準区の追肥は、追肥 I が 6 月 7 日、追肥 II が 7 月 8 日、追肥 III が 8 月 1 日、追肥 IV が 8 月 22 日の 4 回に分けて施用した。各追肥区の追肥は、追肥 I を除いた。土寄せは標準区の追肥に合わせて各区 4 回行った。収穫は 2005 年 9 月 16 日に行った。その他の栽培概要は、試験 1 と同じとした。

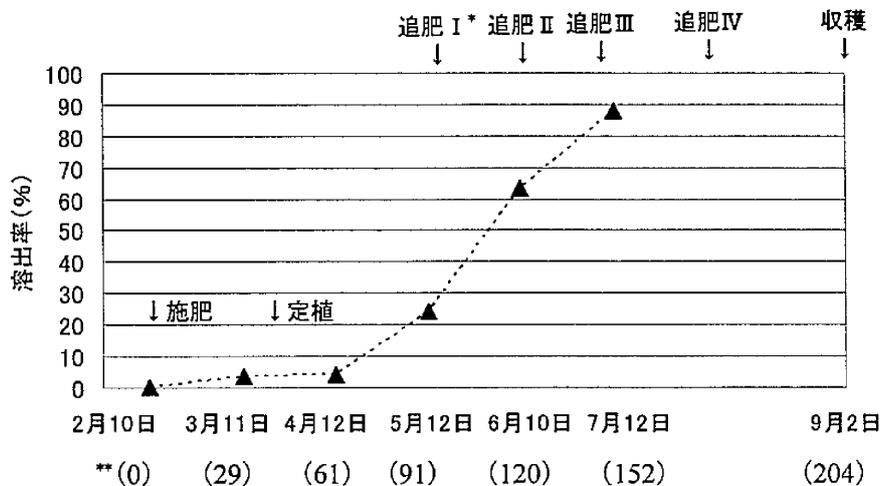
4) 肥効調節型肥料の窒素溶出率測定方法、5) 生育、収量および施肥窒素利用率の調査方法、6) 植物体の全窒素分析法、7) 土壌中硝酸態窒素分析法は、試験 1 に準じた。

3. 結果

【試験 1】追肥窒素量を一定にした場合のチェーンポット内施肥窒素量の検討

被覆磷硝安 100 日タイプの無機態窒素溶出率は、定植直前の 3 月 11 日では 3.3 % と育苗期間中にはほとんど溶出しなかった。また、追肥 2 回目直後である 6 月 10 日の無機態窒素溶出率は、63.5 % であった（第 1 図）。

追肥開始前のネギの生育は、ポット内 20 kg 区が 1 本重と総重が標準区と比べて少なかったが、ポット内 40 kg 区とポット内 60 kg 区では、草丈、葉鞘長、葉鞘径、生葉数および総重の項目で標準区と差がなかった。しかし、ポット内 40 kg 区の 1 本重は標準区に比べて平均値が少なかった。一方、各ポット内施肥区のネギの生育は障害が認められなかった。窒素吸収量は、標準区が 9.7 kg ha⁻¹ に対し、



第1図 被覆磷硝安100日タイプの無機態窒素溶出率の推移(2004年)

* 追肥 I ~ IV は, 標準区における追肥時期を示す.

** ()内は, 施肥後の経過日数を示す.

第3表 追肥窒素量を一定にした場合のチェーンポット内施肥窒素量が追肥開始前のネギの生育と窒素吸収量に及ぼす影響 (2004年5月24日調査)

	生育調査						窒素吸収量 (kg ha ⁻¹)
	草丈 (cm)	葉鞘長 (cm)	葉鞘径 (mm)	生葉数 (枚)	1本重 (g)	総重 (kg ha ⁻¹)	
標準	42 a*	5.2 a	7.9 a	3.9 a	12.4 a	4,121 a	9.7 a
ポット内20kg	39 ab	5.2 a	7.0 ab	3.2 ab	8.4 bc	3,010 b	7.1 b
ポット内40kg	39 a	5.6 a	7.9 a	3.7 a	11.0 ab	3,926 a	9.2 a
ポット内60kg	40 a	5.4 a	8.0 a	3.8 a	11.9 a	3,901 a	9.1 a
無窒素	34 b	3.9 b	6.1 b	2.6 b	6.6 c	1,906 c	4.5 c

* 異なる英小文字は, Tukey法により5%水準で有意差あり. n=3.

ポット内 20 kg 区は 7.1 kg ha^{-1} と少なかったが，ポット内 40 kg 区が 9.2 kg ha^{-1} ，ポット内 60 kg 区が 9.1 kg ha^{-1} と同等であった（第 3 表）。

収穫時のネギの生育は，ポット内 20 kg 区が標準区と比べ草丈が低く，葉鞘径が劣り 1 本重も少なかった（第 4 表）。ポット内 40 kg 区では 1 本重で平均値が少なかった。ポット内 60 kg 区では，すべての調査項目で標準区と同等であった。窒素吸収量は，標準区で 93 kg ha^{-1} に対し，ポット内 20 kg 区が 74 kg ha^{-1} と少なく，ポット内 40 kg 区で 91 kg ha^{-1} ，ポット内 60 kg 区で 102 kg ha^{-1} と同等であった。施肥窒素利用率は，標準区の 26 % に対し，ポット内 40 kg 区が 31 %，ポット内 60 kg 区が 33 % と向上した。収量の総重量および調製重は，ポット内 20 kg 区が標準区と比べ少なかったが，ポット内 40 kg 区では統計的な差は認められないものの少ない傾向を示し，ポット内 60 kg 区では同等であった（第 2 図）。調製重は，ポット内 60 kg 区が $34,340 \text{ kg ha}^{-1}$ と千葉県施肥基準の目標収量（ $35,000 \text{ kg ha}^{-1}$ ）をほぼ確保できた。

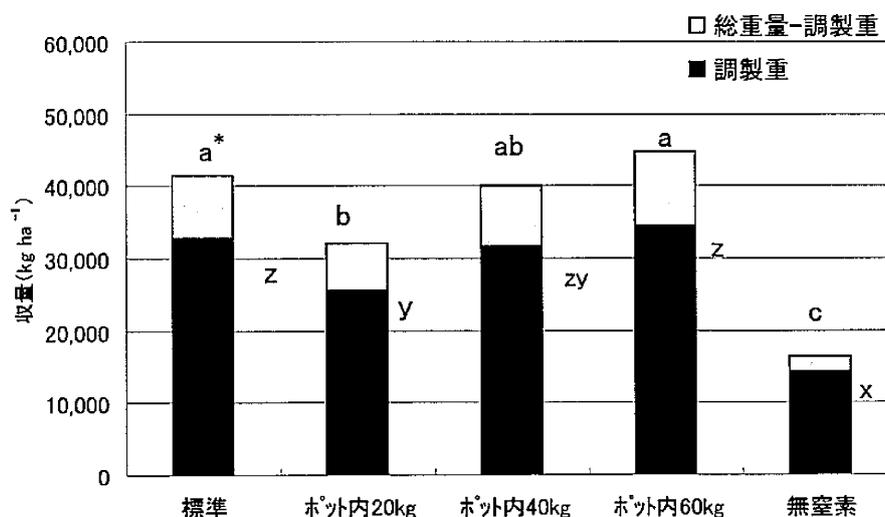
収穫直後の土壤中硝酸態窒素量は，ポット内 20 kg 区の 0～30 cm の各層で標準区より少なく，ポット内 40 kg 区とポット内 60 kg 区では 0～60 cm のいずれの層とも標準区とほぼ同等であった（データ省略）。

以上のことから，追肥開始前の生育，収穫時の生育，収量および収穫直後の土壤中硝酸態窒素量から判断して，チェーンポット内の施肥窒素量は， 60 kg ha^{-1} が適すると考えられた。また，供試肥料の被覆燐硝安 100 日タイプの窒素溶出率は，追肥Ⅱ（6月 8日）の直後で 63.5 % で，まだ，窒素成分が残存していた。したがって，追肥Ⅰ（5月 24日）は省略でき，追肥回数を合計 3 回に減らすことが可能と考えられた。

第4表 追肥窒素量を一定にした場合のチェーンポット内施肥窒素量が収穫時のネギの生育と窒素吸収量に及ぼす影響 (2004年9月2日調査)

試験区	生育調査					窒素 吸収量 (kg ha ⁻¹)	施肥窒素 利用率 (%)
	草丈 (cm)	葉鞘長 (cm)	葉鞘径 (mm)	生葉数 (枚)	1本重 (g)		
標準	84 ab*	36 a	16 a	3.5 a	116 a	93 a	26
ポット内20kg	83 b	35 a	14 b	3.3 a	92 b	74 b	24
ポット内40kg	84 ab	36 a	15 a	3.3 a	111 ab	91 a	31
ポット内60kg	88 a	36 a	16 a	3.5 a	123 a	102 a	33
無窒素	75 c	31 b	11 c	2.4 b	50 c	30 c	

* 異なる英小文字は, Tukey法により5%水準で有意差あり. n=3.



第2図 追肥窒素量を一定にした場合のチェーンポット内施肥窒素量がネギの収量に及ぼす影響(2004年)

* 異なる英小文字は, Tukey法により5%水準で有意差あり. n=3.
abcは総重量, xyzは調製重に対して有意差を示す.

【試験2】チェーンポット内施肥における追肥窒素量の検討

被覆燐硝安 100 日タイプの無機態窒素溶出率は，定植時では 2.2 % と育苗期間中には，ほとんど溶出しなかった．また，追肥区の追肥（標準追肥 2 回目）直前である 6 月 30 日の無機態窒素溶出率は，71.0 % であった（データ省略）．

追肥開始前のネギの生育は，追肥区では，各項目とも標準区と差がなかった．窒素吸収量は，追肥区が 14.9 kg ha^{-1} で，標準区の 11.6 kg ha^{-1} より多かった（第 5 表）．

収穫時のネギの生育は，追肥 60 kg 区では生葉数と 1 本重が標準区と比べ平均値が劣り，追肥 90 kg 区および追肥 120 kg 区では，草丈，1 本重などすべての生育調査項目で差がなかった（第 6 表）．窒素吸収量は，追肥 90 kg 区が 109 kg ha^{-1} ，追肥 120 kg 区が 116 kg ha^{-1} と標準区の 104 kg ha^{-1} 同等か，それ以上であったのに対し，追肥 60 kg 区が 98 kg ha^{-1} であった．また，施肥窒素利用率は，標準区 25 % に対し，追肥 90 kg 区で 43 %，追肥 120 kg 区で 40 % に向上した．収穫時のネギの収量は，追肥 60 kg 区の総重量，調製重がともに標準区と比べ統計的な差はないものの劣る傾向を示したが，追肥 90 kg 区および追肥 120 kg 区では同等か，それ以上で，特に調製重では追肥 90 kg 区で $37,280 \text{ kg ha}^{-1}$ ，追肥 120 kg 区で $39,180 \text{ kg ha}^{-1}$ と千葉県施肥基準の目標収量（ $35,000 \text{ kg ha}^{-1}$ ）を上回った（第 3 図）．

収穫直後の土壌中硝酸態窒素量は，標準区が 0 ～ 30 cm の各層で 40 mg kg^{-1} 以上，30 ～ 60 cm の各層で 50 mg kg^{-1} 以上に対し，追肥 60 kg 区では 15 ～ 30 cm 層を除いて，いずれの層でも 20 mg kg^{-1} 以下，追肥 90 kg 区も 15 ～ 30 cm 層を除いて，いずれの層でも 30 mg kg^{-1} 以下と明らかに減少した．追肥 120 kg 区では，慣行区と比べ 0 ～ 45 cm 層で同等，45

第5表 チェーンポット内施肥における追肥前のネギの生育と窒素吸収量

(2005年6月1日調査)

試験区	生育調査						窒素吸収量 (kg ha ⁻¹)
	草丈 (cm)	葉鞘長 (cm)	葉鞘径 (mm)	生葉数 (枚)	1本重 (g)	総重 (kg ha ⁻¹)	
標準	39 a*	6.6 a	7.7 a	3.4 a	13 a	6,122 a	11.6 b
追肥	38 a	7.5 a	7.5 a	3.5 a	12 a	6,044 a	14.9 a
無窒素	27 b	6.1 a	5.2 b	3.0 b	5 b	2,367 b	4.2 c

* 異なる英小文字は, Tukey法により5%水準で有意差あり. n=3.

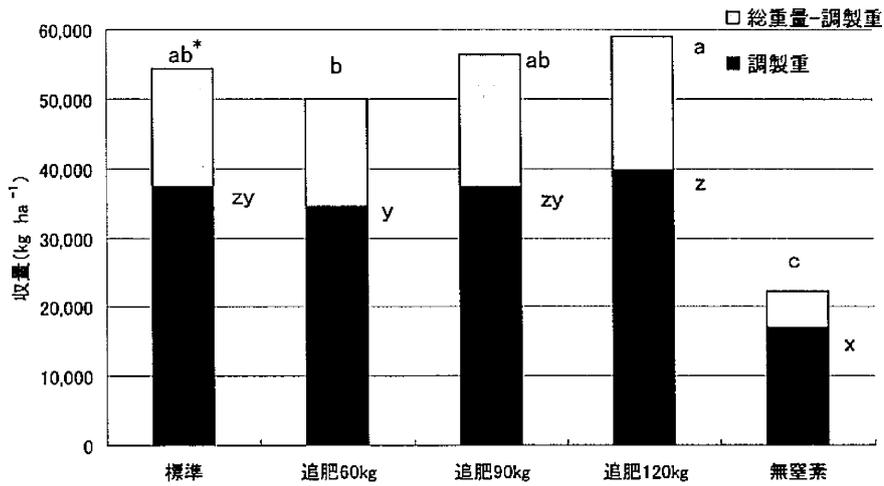
第6表 チェーンポット内施肥における追肥窒素量が収穫時のネギの生育と

窒素吸収量に及ぼす影響

(2005年9月16日調査)

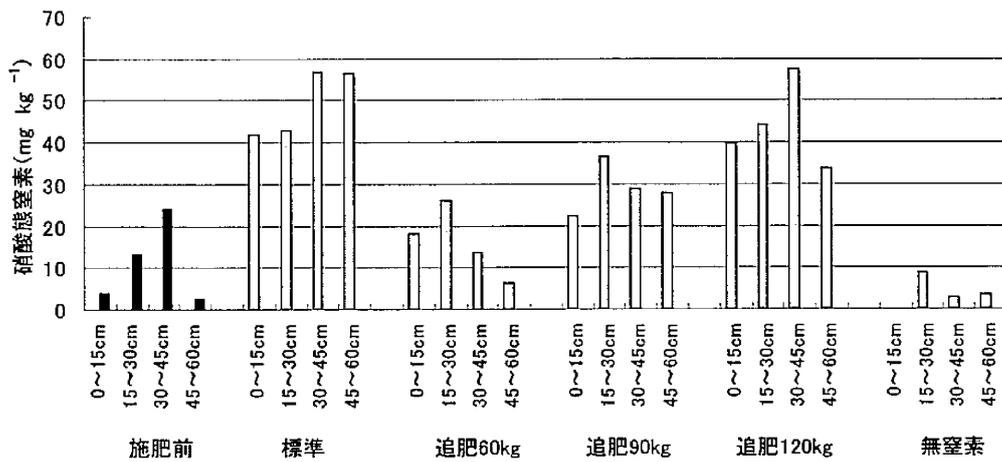
試験区	生育調査					窒素 吸収量 (kg ha ⁻¹)	施肥窒素 利用率 (%)
	草丈 (cm)	葉鞘長 (cm)	葉鞘径 (mm)	生葉数 (枚)	1本重 (g)		
標準	88 a*	28 a	19 a	5.0 a	148 a	104 ab	25
追肥60kg	85 a	27 a	19 a	4.7 a	136 a	98 b	45
追肥90kg	86 a	28 a	20 a	5.0 a	149 a	109 ab	43
追肥120kg	87 a	28 a	19 a	4.9 a	154 a	116 a	40
無窒素	72 b	25 a	13 b	3.6 b	65 b	44 c	

* 異なる英小文字は, Tukey法により5%水準で有意差あり. n=3.



第3図 チェーンポット内施肥における追肥窒素量が収量に及ぼす影響(2005年)

* 異なる英小文字は, Tukey法により5%水準で有意差あり, n=3.
 abcは総重量, xyzは調製重に対して有意差を示す.



第4図 チェーンポット内施肥における追肥窒素量が収穫跡地の土壤中硝酸態窒素量に及ぼす影響(2005年)

～ 60 cm 層で明らかに減少した（第 4 図）。

以上のことから，追肥開始前の生育，収穫時の生育，収量および収穫直後の土壤中硝酸態窒素量から判断して，チェーンポット内施肥窒素 60 kg ha^{-1} の場合，追肥窒素量は， 30 kg ha^{-1} を 3 回で施用する 90 kg ha^{-1} が適すると考えられた。

4. 考察

千葉県におけるネギのチェーンポット育苗の普及率は，市場出荷農家を対象とした場合 80 % を超えている（2005 年現在，千葉県農業普及指導員の調査による）。本育苗法がネギ栽培者に広く受け入れられた理由は，作業の省力化，軽労化と作業時間の短縮にあると考えられる。相楽⁹²⁾によれば従来の地床育苗では，ネギ 1 ha を栽培するのに育苗面積が 0.2 ha 必要で，育苗期間が約 3 ヶ月である。一方，チェーンポット育苗では，播種面積が 0.05 ha（育苗箱約 800 個）で育苗期間が 2 ヶ月弱である。また，土屋¹⁶⁾によれば播種から定植までの作業時間は，地床育苗が約 1,430 時間であるのに対し，チェーンポット育苗では，約 210 時間で，85 % も短縮されたことになる。

西畑ら⁷³⁾は，ネギのチェーンポット内へ肥効調節型肥料 LPS60（チッソ旭肥料社）と LPS160（同）を 1：2 に混合して施用したが，濃度障害によりネギの発根が制限されて生育抑制が認められたと報告している。西畑らが供試した肥料 LPS60 と LPS160 は，初期の窒素溶出を抑えるシグモイドタイプであるが，初期から中期に 25℃ 一定で 10 % 程度溶出する（チッソ旭肥料社による）ため，育苗中に窒素濃度が高くなり苗の生育に障害が発生したと考えられる。

一方，岩佐ら³⁰⁾は，キャベツのセル内施肥において，初期溶出を

極限まで抑えた被覆燐硝安 70 日タイプ (2401-70S) を利用することで、1ヶ月弱の育苗期間中に濃度障害は発生せず、最高で 60% の減肥に成功している。以上のことから、ネギのチェーンポット内にこのような初期溶出抑制型の肥効調節型肥料を施用することにより、育苗箱施肥で問題になる育苗時の濃度障害が回避でき、究極の局所施肥として施肥窒素利用率が向上し、減肥できるという考えに立って本研究に着手した。

初期溶出抑制型の肥効調節型肥料として、キャベツセル内施肥に使用したものと同タイプの被覆燐硝安を選定した。ただし、夏ネギのチェーンポット育苗期間は 2ヶ月弱で、在ほ期間もキャベツより長いことを考慮して被覆燐硝安の 100 日タイプ (2401-100S) を採用した。ここで、今回のチェーンポット内施肥においては、苗の濃度障害は発生しなかったことから、育苗中の窒素溶出量を算出した。被覆燐硝安 100 日タイプのチェーンポット内施肥における育苗中の窒素溶出率は、3.3% である (2004 年)。本肥料の窒素溶出率は、温度 25℃ 一定の場合、施肥後 30 日までが 3% 以下、施肥後 30~100 日にかけて 80% (チッソ旭肥料社による) とされるが、ほぼ理論通りであった。ポット内施肥窒素量 60 kg ha⁻¹ の場合、チェーンポット育苗箱に施用した肥料は 304 g/箱であり、育苗期間中に溶出した窒素は 2.41 g/箱となる。また、使用した培養土中に窒素が 200 mg L⁻¹ あり 1.00 g/箱含まれる。したがって、チェーンポット育苗培養土内には、窒素が最大で 3.41 g/箱存在する。育苗培養土の水分率が 30% と仮定すると育苗箱内の窒素濃度は 2,570 mg L⁻¹ となる。しかし、これは理論上溶出する累積値であって、肥料窒素は、育苗期間中に毎日少量ずつ溶出することおよびネギが窒素を吸収することなどを考えると、現

実的には 2,000 mg L⁻¹ を超えることはないと考えられる。

著者はチェーンポット育苗 28 日目のネギ苗を供試して、溶液中の硝酸態窒素濃度と生育との関係を検討した。硝酸態窒素濃度 4,000 mg L⁻¹ 溶液に 3 日間浸漬させると、3 日目には葉色が濃くなり、約 80 % の株の葉先が萎縮した。また、硝酸態窒素濃度 2,000 mg L⁻¹ 溶液ではほとんど正常であった(データ省略)。したがって、被覆燐硝安 100 日タイプを供試したチェーンポット内施肥では、育苗期間中にネギ苗に濃度障害が発生しない程度に窒素を抑制できたと判断した。

栽培跡地における土壤中硝酸態窒素量は、チェーンポット内施肥の追肥 90 kg 区が標準区に対し、0 ~ 60 cm のいずれの層でも減少した。また、追肥 120 kg 区の 45 ~ 60 cm 層の土壤中硝酸態窒素量は追肥 90 kg 区と同等で、標準区と比べて明らかに少なかった。標準区の下層で土壤中硝酸態窒素量が多かったことは、窒素吸収量の 2 倍程度を施用し、吸収できなかった窒素が溶脱して集積した結果と考えられる。標準区は、全面全層施肥であるため、ネギが主として作土層の施肥窒素を吸収するのに対して、チェーンポット内施肥では、施肥窒素が植え付け位置周辺に集中しているため、効率よく窒素を吸収することができ、その結果、窒素の溶脱量が標準区よりも少なく、下層の窒素が少なかったと考えられる。林ら²¹⁾によればネギの窒素吸収根域は、概ね 0 ~ 20 cm 層と報告しているが、チェーンポット育苗のネギは、定植位置が表層より 10 cm 程度低く植えつけられることで、深さ 0 ~ 30 cm 程度の土壤中硝酸態窒素をネギが吸収すると考えられた(第 4 図)。

ネギの減肥に関する技術は、定植時に溝部分に局所施肥する溝施肥が報告されている。今野ら²²⁾は、チェーンポット苗を利用した秋

冬どり栽培において、CDU複合燐加安と被覆燐硝安加里ロング424（100日タイプ、チッソ旭肥料社）で基肥全量溝施肥し追肥なしで、標準窒素施肥量（250 kg ha⁻¹）の20%減肥で収量が増加したと報告している。田中らは、セル成型苗を利用して基肥全量溝施肥を夏どり¹³³⁾と秋冬どり¹³⁴⁾栽培で検討している。夏どり栽培では、CDU入りロング複合S712（100日タイプ、チッソ旭肥料社）を溝施肥し追肥なしで、標準窒素施肥量（280 kg ha⁻¹）の40%減肥を達成している。これらの報告では、ネギ定植時に溝施肥として速効性肥料と肥効調節型肥料を組み合わせた基肥全量施肥で減肥を達成している。ネギの溝施肥は、溝幅約30 cmに肥料を施用する。一方、著者が提示したチェーンポット内施肥は、チェーンポット幅すなわち、溝幅約3 cmに肥料を施用したことになる。したがって、チェーンポット内施肥は、溝施肥に比べて施肥幅が約1/10であることから、より局所的な施肥法と考えられる。また、今回のチェーンポット内施肥では、減肥率が38%にとどまったが、多肥栽培が行われてきた現地のネギほ場では土壌残存窒素が多く、追肥窒素をさらに減少させることが可能と考えられた。

以上のように、夏どりネギにおけるチェーンポット内施肥では、初期の窒素溶出を抑えたシグモイド型の肥効調節型肥料である被覆燐硝安を施用することで、育苗中の苗に濃度障害をおこすこともなく、標準施肥と同等の収量が得られた。本施肥法は、施肥窒素利用率が標準施肥と比べて向上することにより、大幅な減肥が実現でき、跡地の土壌中残存窒素量も減少したことから、環境負荷も軽減できる画期的な新技術であると結論づけた。

II-2 チェーンポット内全量窒素施肥が生育および 収量に及ぼす影響

1. 緒言

II-1では、窒素の初期溶出抑制にすぐれた被覆燐硝安の100日タイプ(2401-100S, チッソ旭肥料)を用いて、育苗箱施肥と追肥を組み合わせた体系のチェーンポット内施肥を考案した。その後、新たに被覆燐硝安140日タイプ(2401-140S, チッソ旭肥料)が開発された。ネギの生育期間が、夏どりおよび秋冬どり栽培とも、育苗に2ヶ月弱およびほ場で6ヶ月程度であることを考慮すると、140日タイプを利用することで追肥を省略したチェーンポット内全量窒素施肥が可能と考えられたので、その点について検討した。

2. 材料および方法

【試験1】 夏どりネギにおけるチェーンポット内全量窒素施肥の検討

1) 試験場所

試験場所は、千葉県農業総合研究センター(千葉市)内の育苗ガラスハウスおよび露地ほ場とした。土壌は、表層腐植質黒ボク土(米神統)で、土性は壤土である。施肥前土壌のECは 16.0 mS m^{-1} 、pH(H₂O)は5.7で、前作はネギである。

2) 試験設計

ネギの作型は、2月まきの夏どりとした。チェーンポット内に施用した窒素肥料は、肥効調節型肥料の被覆燐硝安140日タイプとした。被覆燐硝安のチェーンポット内の施用は、育苗箱毎に行った。培養土5Lと所定量の被覆燐硝安(456~760g/箱)を混合し、育苗箱

内に敷いたペーパーポット内に約 4.5 L を詰めた。そこに専用播種機をもちいて播種し、残りの被覆燐硝安を含んだ培養土で覆土した。試験区は、第 7 表に示した。チェーンポット内施肥窒素量のレベルを 90 kg ha^{-1} 、 120 kg ha^{-1} 、 150 kg ha^{-1} の 3 水準に設定した。標準区は、千葉県施肥基準⁹⁾に準じ、チェーンポット内には窒素無施肥で、基肥窒素 80 kg ha^{-1} を CDU 化成 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=15\text{-}15\text{-}15$) で全面全層施用とした。追肥窒素 160 kg ha^{-1} を燐硝安加里 S552 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=15\text{-}15\text{-}12$) で施用した。無窒素区は、チェーンポット内および基肥と追肥を窒素無施肥とした。

被覆燐硝安 140 日タイプの成分は、 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=24\text{-}1\text{-}0$ であるため、リン酸は、BM 熔リン ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=0\text{-}20\text{-}0$) を用いて各区 200 kg ha^{-1} 、加里は、硫酸加里 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=0\text{-}0\text{-}50$) を用いて各区 150 kg ha^{-1} をそれぞれ基肥として試験ほ場の全面全層に施用した。また、粒状苦土石灰 (アルカリ分 55%，可溶性苦土 15%) 1 Mg ha^{-1} および籾がら入り完熟牛ふん堆肥 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=1.02\text{-}1.02\text{-}1.29$) 10 Mg ha^{-1} を各区に全面全層で施用した。

3) 耕種概要

供試品種は、‘吉蔵’ (武蔵野種苗) でコーティング種子である。播種は 2005 年 2 月 16 日に行った。水稻用育苗トレイ (縦 30 cm × 横 60 cm × 高さ 4 cm) にチェーンポット (CP-303, 日本甜菜製糖社) 1 冊をセットして培養土 (商品名: げんきくん果菜 200, コープケミカル社) および試験に沿った窒素肥料を充填した。播種は、チェーンポット 1 穴当たり 2.5 粒 (1 穴 3 粒用の播種板を改良し 2 粒と 3 粒を各穴へ交互に播く) とした。定植は、畦間 90 cm, 溝幅 30 cm, 深さ 10 cm

第7表 夏どりネギのチェーンポット内全量窒素施肥の試験区

試験区	チェーンポット 内施肥窒素量 (kg ha ⁻¹)	本ほ施肥窒素量		総施肥窒素量 (kg ha ⁻¹)	減肥率* (%)
		基肥 (kg ha ⁻¹)	追肥 (kg ha ⁻¹)		
標準	—	80	160(40×4回)	240	—
ポット内90kg	90	—	—	90	63
ポット内120kg	120	—	—	120	50
ポット内150kg	150	—	—	150	38
無窒素	—	—	—	0	100

* 減肥率は、標準区に対する各区の総施肥窒素量の減少割合である。

に、チェーンポット専用定植機（商品名：ひっぱりくん，日本甜菜製糖社）を用いて3月31日に行った。したがって、チェーンポット内施肥区ではグラントレベルより約10 cm下に施肥したことになる。標準区の追肥は、燐硝安加里を用いて窒素成分で1回当たり40 kg ha⁻¹を6月7日，7月8日，8月1日，8月22日の4回で施用した。土寄せは，標準区の追肥に併せてすべての試験区とも4回行った。収穫は2005年9月16日に行った。供試面積は，1区22.5 m²で3反復とした。

4) 肥効調節型肥料の窒素溶出率測定方法

被覆燐硝安100日タイプ5.00 gを培養土100 gに均一混和し，それを目合い1 mmメッシュのポリエチレン製網袋（縦20 cm，横15 cm）に包んで，播種時に培養土を充填した育苗箱へ埋設した。次に，ネギ定植時に，育苗箱に埋設した網袋を取り出し，ネギほ場の深さ10 cmに埋設した。その後ネギ土寄せ時に，埋設した網袋の上にも土寄せし，埋設深度をほ場条件と合わせた。肥料の入った網袋は，定植時およびその後約1ヵ月毎に掘り出した。被覆燐硝安の無機態窒素溶出量は，掘り出した肥料を水洗いして，磨砕し水抽出後，オートアナライザー（イオンクロマトシステム，日立製作所社製，東京）で分析した。

5) 生育および収量調査方法

生育および収量調査は，千葉県野菜試験研究調査基準¹¹⁾によった。ただし，調製収量については，出荷規格³⁾では軟白長27 cm以上および太さ1.0 cm以上のものと2重の基準があるが，本報では全株を対象とした。すなわち，根を切断後，3葉を残して軟白が見えるまで剥き，長さ60 cmに切り，それを調製重とした。定植時の苗質調査

は 1 区 20 株の 3 反復，標準区の追肥前における生育調査は 1 区 0.9 m²（重量は全株を，生育は中庸な株 20 本を対象とした）の 3 反復，収量調査は 1 区 1.35 m²（重量は全株を，生育は中庸な株 30 本を対象とした）の 3 反復とした。

6) 植物体の全窒素分析法

第 1 回追肥時および収穫時のネギは，水洗いし，80℃，3 日間通風乾燥後，粉碎し，NC アナライザー（スミグラフ NC-900，住化分析センター社製）で全窒素を測定した。

7) 土壌中硝酸態窒素分析法

施肥前の土壌試料は，深さ 0～60 cm において 15 cm 層毎に，各ほ場の 2ヶ所から採取し，それを混合して 1 サンプルとした。これを 3 反復のほ場でそれぞれ実施した。収穫終了直後の土壌試料は，土寄せした土壌を平らにした後，ネギ植え付け直下の位置から前記と同様に採取した。土壌の硝酸態窒素量は，生土 20 g に 100 mL の蒸留水を加えて 30 分間振とうし，ろ過後，オートアナライザー（トラックス 800，ブランルーベ社製）により分析した。

【試験 2】冬どりネギにおけるチェーンポット内全量窒素施肥の検討

1) 試験場所

試験場所は，試験 1 に同じとした。施肥前土壌の EC は 7.0 mS m⁻¹，pH (H₂O) は 5.9 である。前作はネギである。

2) 試験設計

ネギの作型は，5 月まきの冬どりとした。チェーンポット内に施用した窒素肥料および試験区のチェーンポット内施肥窒素量のレベルは，試験 1 に同じとした。試験区は，第 8 表に示した。

標準区は，現地で広く利用されている秋冬どりの標準施肥¹⁰⁾に準

第8表 冬どりネギのチェーンポット内全量窒素施肥の試験区

試験区	チェーンポット 内施肥窒素量 (kg ha ⁻¹)	本ほ施肥窒素量		総施肥窒素量 (kg ha ⁻¹)	減肥率* (%)
		基肥 (kg ha ⁻¹)	追肥 (kg ha ⁻¹)		
標準	—	120	120(40×3回)	240	—
ポット内90kg	90	—	—	90	63
ポット内120kg	120	—	—	120	50
ポット内150kg	150	—	—	150	38
無窒素	—	—	—	0	100

* 減肥率は、標準区に対する各区の総施肥窒素量の減少割合である。

じ，チェーンポット内には窒素無施肥で，基肥窒素 120 kg ha⁻¹を CDU 化成で全面全層施用とした．追肥窒素 120 kg ha⁻¹を燐硝安加里 S552 で施用した．無窒素区は試験 1 に同じとした．

3) 耕種概要

播種は 2005 年 5 月 31 日，定植は 7 月 7 日に行った．標準区の追肥は，燐硝安加里 S552 を用いて窒素成分で 1 回当たり 40 kg ha⁻¹を，9 月 8 日，10 月 28 日，11 月 28 日の 3 回に分けて施用した．土寄せは，標準区の追肥に併せて 3 回および 10 月 12 日，11 月 18 日の計 5 回行った．収穫は 2006 年 1 月 18 日に行った．その他の栽培概要は，試験 1 に同じとした．

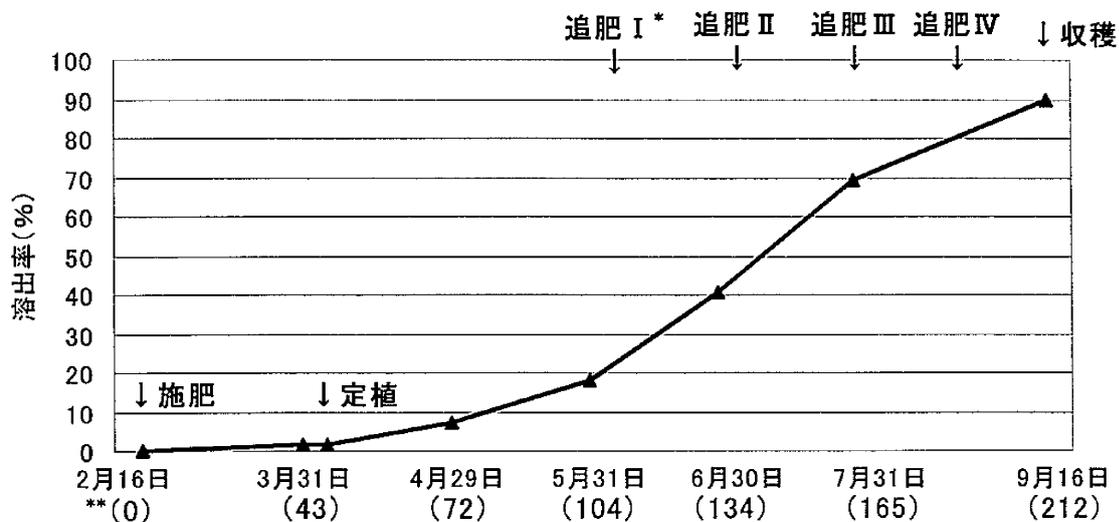
4) 肥効調節型肥料の窒素溶出率測定方法，5) 生育および収量調査方法，6) 植物体の全窒素分析法，7) 土壌中硝酸態窒素分析法は，試験 1 に準じた．

3. 結果

【試験 1】 夏どりネギにおけるチェーンポット内全量窒素施肥の検討

被覆燐硝安 140 日タイプの無機態窒素溶出率は，定植時で 1.6 % であり，育苗期間中にはほとんど溶出しなかった（第 5 図）．ほ場埋設後の溶出率はゆるやかに上昇し，追肥 I の時期には約 25 %，追肥 II の時期には約 45 % になった．また，収穫時の無機態窒素溶出率は 89.7 % であった．

ネギの発芽は，観察によればコーティング種子の利用により，いずれの処理区でも良好であった．また，育苗期間中に苗はいずれの処理区においても障害が見られなかった．定植時の苗質は，標準区に比べてポット内 90 kg 区およびポット内 120 kg 区の草丈と 1 本重が



第5図 夏どりネギにおける被覆燐硝安140日タイプの無機態窒素溶出率の推移(2005年)

* 追肥 I ~ IV は, 標準施肥区における時期を示す.

** () は, 施肥後の日数を示す.

第9表 夏どりネギのチェーンポット内全量窒素施肥量における定植時の苗質 (2005年3月31日調査)

試験区	草丈 (cm)	1本重 (g)
標準	15.0 b*	0.24 b
ポット内90kg	15.7 ab	0.28 b
ポット内120kg	16.0 ab	0.28 b
ポット内150kg	18.1 a	0.36 a

* 異なる英小文字は, Tukey法により5%水準で有意差あり. n=3.

同等で、ポット 150 kg 区の草丈と 1 本重が有意に優った（第 9 表）。また、定植時の苗の根は、いずれの処理区でも健全で、障害は認められなかった。

追肥開始前のネギの生育は、標準区と比べてポット内 90 kg 区の 1 本重が軽いものの株数が多くて総重量が同等であったが、ポット内 120 kg 区およびポット内 150 kg 区では、1 本重が重い傾向を示し株数も多いことから総重量が有意に優った（第 10 表）。また、この時点で窒素吸収量は、各ポット内施肥区とも標準区と有意差はなく同等であったが、ポット内 150 kg 区はポット内 90 kg 区と比べると有意に多かった。

収穫時のネギの生育は、いずれの項目とも各ポット内施肥区が標準区と同等であった（第 11 表）。1 本重は、ポット内 150 kg 区がポット内 90 kg 区と比べて有意に優った。株数は、標準区と比べてポット内 90 kg 区が同等であったが、ポット内 120 kg 区およびポット内 150 kg 区では有意に多かった。また、窒素吸収量は、各ポット内施肥区とも標準区と同等であったが、ポット内 150 kg 区はポット内 90 kg 区と比べると有意に多かった。施肥窒素利用率は、標準区の 22 % に対し、ポット内 90 kg 区で 34 %、ポット内 120 kg 区で 44 %、ポット内 150 kg 区で 49 % といずれも向上した。

総重量は、標準区と比べて各ポット内施肥区とも有意差がなく同等であったが、ポット内 150 kg 区はポット内 90 kg 区と比べると有意に優った（第 6 図）。調製重は、標準区の 30,910 kg ha⁻¹ と比べてポット内 90 kg 区が 30,130 kg ha⁻¹ と同等であったが、ポット内 120 kg 区が 37,490 kg ha⁻¹ およびポット内 150 kg 区が 39,560 kg ha⁻¹ と有意に優り、千葉県施肥基準の目標収量 35,000 kg ha⁻¹ を上回った。

第10表 夏どりネギのチェーンポット内全量窒素施肥量が標準区の追肥開始前の生育と窒素吸収量に及ぼす影響 (2005年6月1日調査)

試験区	ネギの生育*					株数 (本/m ²)	総重量 (kg ha ⁻¹)	窒素吸収量 (kg ha ⁻¹)
	草丈 (cm)	葉鞘長 (cm)	葉鞘径 (mm)	生葉数 (枚)	1本重 (g)			
標準	38 a**	7.3 a	6.7 a	3.5 a	9.3 a	39 b	3,561 b	9.2 ab
ポット内90kg	34 ab	6.7 a	5.8 ab	3.2 a	7.1 b	47 a	3,378 b	8.8 b
ポット内120kg	38 a	6.7 a	6.7 a	3.7 a	10.6 a	43 ab	4,444 a	11.4 ab
ポット内150kg	38 a	6.8 a	6.8 a	3.6 a	9.9 a	49 a	4,839 a	13.0 a
無窒素	32 b	6.9 a	5.4 b	3.3 a	6.1 b	41 b	2,482 c	4.9 c

*ネギの生育は、0.9m²当たりから抽出した中庸な株20本の平均値。

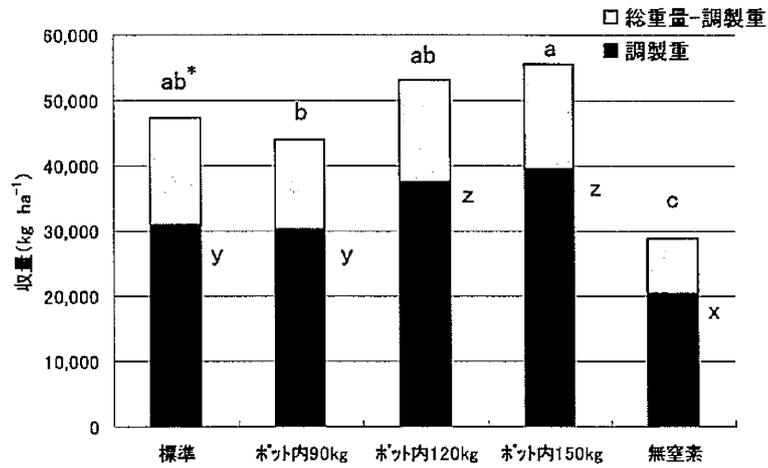
** 異なる英小文字は、Tukey法により5%水準で有意差あり。 n=3.

第11表 夏どりネギのチェーンポット内窒素全量施肥量が収穫時の生育と窒素吸収量に及ぼす影響 (2005年9月15日調査)

試験区	ネギの生育*					株数 (本/m ²)	窒素 吸収量 (kg ha ⁻¹)	施肥窒素 利用率 (%)
	草丈 (cm)	葉鞘長 (cm)	葉鞘径 (mm)	生葉数 (枚)	1本重 (g)			
標準	90 a**	27 a	19 a	4.9 a	146 ab	33 b	107 ab	22
ポット内90kg	85 a	28 a	18 a	4.8 a	137 b	35 ab	85 b	34
ポット内120kg	86 a	28 a	18 a	4.7 a	145 ab	39 a	108 ab	44
ポット内150kg	89 a	28 a	18 a	4.6 a	148 a	37 a	129 a	49
無窒素	77 b	27 a	14 b	4.0 b	85 c	31 b	55 c	-

*ネギの生育は、1.35m²当たりから抽出した中庸な株30本の平均値。

** 異なる英小文字は、Tukey法により5%水準で有意差あり。 n=3.



第6図 夏どりネギのチェーンポット内窒素全量施肥が収量に及ぼす影響

* 異なる英小文字は, Tukey法により5%水準で有意差あり. n=3.

abcは総重量, xyzは調整重に対して有意差を示す.

収穫直後の土壤中硝酸態窒素量は，標準区が 0～15 cm 層で 23 mg kg⁻¹，15～30 cm 層で 53mg kg⁻¹，30～45 cm 層で 37 mg kg⁻¹，45～60 cm 層で 21 mg kg⁻¹であったのに対し，ポット内 90 kg 区とポット内 120 kg 区では，0～15 cm 層で標準区に比べやや多い値を示したが，15～60 cm 層で低かった（第 7 図）。特に，30～60 cm の各層では 5 mg kg⁻¹前後と著しく少なかった。一方，ポット内 150 kg 区では，0～15 cm 層で標準区と比べて多く，30～60 cm の各層で少なかった。

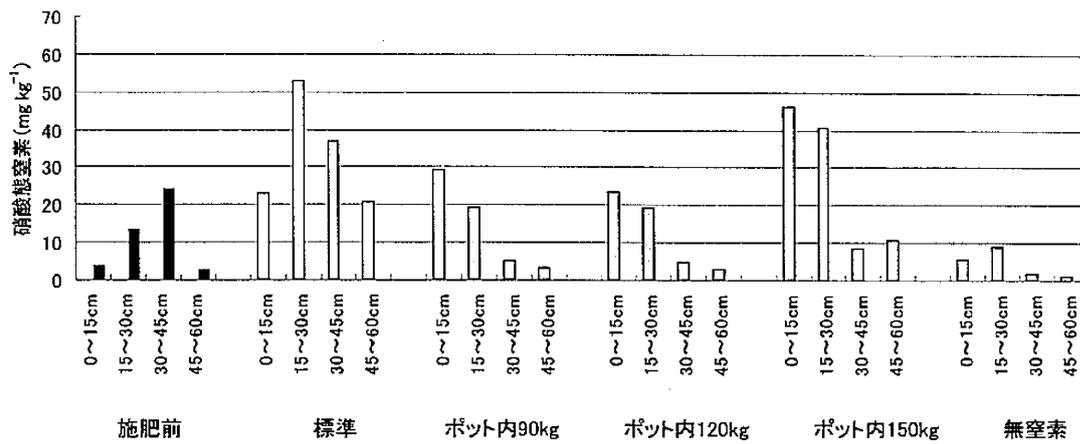
以上のように，標準区と比べて収穫時の生育が同等で株数が多くて調製重が増加し，施肥窒素利用率が向上して，収穫直後の土壤中硝酸態窒素量が減少したポット内 120 kg 区が，夏どりネギ栽培におけるチェーンポット内全量施肥に適すると考えられた。

【試験 2】 冬どりネギにおけるチェーンポット内全量窒素施肥の検討

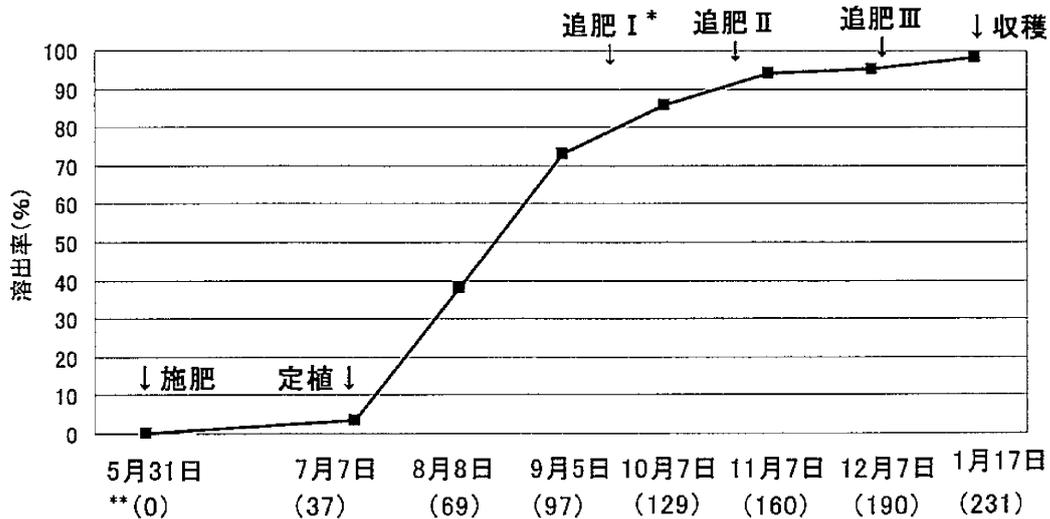
被覆燐硝安 140 日タイプの無機態窒素溶出率は，定植時では 3.4 % で，育苗期間中にはほとんど溶出しなかった（第 8 図）。しかし，ほ場に埋設後は溶出率が急速に上昇し追肥 I までに約 80 % となった。収穫時の無機態窒素溶出率は 98.2 % であった。

ネギの発芽は，観察によればコーティング種子の利用により，いずれの処理区でも良好であった。また，育苗期間中に苗はいずれの処理区においても障害が見られなかった。定植時の苗質は，草丈では標準区と比べてポット内 90 kg 区が同等で，ポット内 120 kg 区とポット 150 kg 区が有意に高かった（第 12 表）。1 本重では標準区と比べてポット内 90 kg 区とポット内 120 kg 区が同等で，ポット 150 kg 区が有意に重かった。また，定植時の苗の根は，いずれの処理区でも健全で，障害は認められなかった。

追肥開始前のネギの生育は，いずれの項目とも各ポット内施肥区



第7図 夏どりネギにおけるチェーンポット内窒素全量施肥と収穫跡地の土壤中硝酸態窒素量



第8図 冬どりネギにおける被覆燐硝安140日タイプの無機態窒素溶出率の推移(2005年)

* 追肥 I ~ III は、標準施肥区における時期を示す。

** () は、施肥後の日数を示す。

第12表 冬どりネギのチェーンポット内全量窒素施肥量における定植時の苗質 (2005年7月7日調査)

試験区	草丈 (cm)	1本重 (g)
標準	15.8 c*	0.25 b
ポット内90kg	16.8 bc	0.29 b
ポット内120kg	17.5 ab	0.32 ab
ポット内150kg	19.4 a	0.38 a

* 異なる英小文字は, Tukey法により5%水準で有意差あり. n=3.

第13表 冬どりネギのチェーンポット内全量窒素施肥量が標準区の追肥開始前の生育と窒素吸収量に及ぼす影響 (2005年9月8日調査)

試験区	ネギの生育*					株数 (本/m ²)	総重量 (kg ha ⁻¹)	窒素吸収量 (kg ha ⁻¹)
	草丈 (cm)	葉鞘長 (cm)	葉鞘径 (mm)	生葉数 (枚)	1本重 (g)			
標準	54 a**	5.6 a	10.6 a	3.4 ab	25 a	48 a	13,117 a	23.7 a
ポット内90kg	50 a	5.8 a	9.8 a	3.6 ab	23 a	45 a	10,592 b	21.7 a
ポット内120kg	54 a	5.7 a	10.0 a	3.5 ab	25 a	47 a	12,124 ab	26.5 a
ポット内150kg	52 a	5.6 a	10.1 a	4.1 a	26 a	45 a	11,517 ab	24.6 a
無窒素	35 b	3.8 b	6.0 b	2.6 b	9 b	45 a	3,981 c	7.2 b

*ネギの生育は, 0.9m²当たりから抽出した中庸な株20本の平均値.

** 異なる英小文字は, Tukey法により5%水準で有意差あり. n=3.

が標準区と同等であった（第 13 表）。株数は，すべての処理区で差がなかった。総重量は，標準区と比べてポット内 90 kg 区が有意に軽く，ポット内 120 kg 区とポット内 150 kg 区が同等であった。また，窒素吸収量は，各ポット内施肥区がいずれも標準区と同等であった。

収穫時のネギの生育は，いずれの項目とも各ポット内施肥区が標準区と同等であった（第 14 表）。株数は，すべての処理区で差がなかった。窒素吸収量は，各ポット内施肥区とも標準区と同等であったが，ポット内 150 kg ha⁻¹ 区はポット内 90 kg 区に比べると有意に多かった。施肥窒素利用率は，標準区の 30% に対し，ポット内 90 kg 区で 63%，ポット内 120 kg 区で 60%，ポット内 150 kg 区で 57% といずれも向上した。

収量は，総重量では各ポット内施肥区とも標準区と有意差がなく同等であったが，ポット内 150 kg 区はポット内 90 kg 区と比べると有意に優った（第 9 図）。調製重は，各ポット内施肥区と標準区にいずれも有意差はなかった。しかし，ポット内 120 kg 区は 33,163 kg ha⁻¹，ポット内 150 kg 区は 34,030 kg ha⁻¹ で目標収量（35,000 kg ha⁻¹）をほぼ確保したが 90 kg 区は 31,004 kg ha⁻¹ でやや劣った。

収穫直後の土壌中硝酸態窒素量は，標準区の 0～15 cm 層で 100 mg kg⁻¹，15～30 cm 層で 65 mg kg⁻¹，30～45 cm 層で 13 mg kg⁻¹，45～60 cm 層で 8 mg kg⁻¹ であったのに対し，ポット内 90 kg 区では 0～60 cm のいずれの層も 1 mg kg⁻¹ と少なく，ポット内 120 kg 区では 0～45 cm の各層で 4 mg kg⁻¹ 以下と少なく，45～60 cm の層で 21 mg kg⁻¹ と多かった（第 10 図）。ポット内 150 kg 区では 0～45 cm の各層で 13 mg kg⁻¹ 以下と少なく，45～60 cm の層で 34 mg kg⁻¹ と多かった。

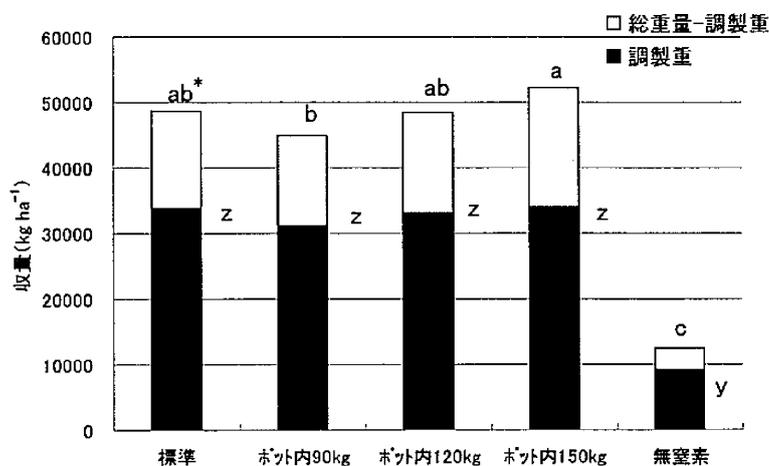
以上のように，標準区に比べて収穫時の生育と収量が同等で，施

第14表 冬どりネギのチェーンポット内窒素全量施肥量が収穫時の生育と窒素吸収量に及ぼす影響 (2006年1月18日調査)

試験区	ネギの生育*					株数 (本/m ²)	窒素 吸収量 (kg ha ⁻¹)	施肥窒素 利用率 (%)
	草丈 (cm)	葉鞘長 (cm)	葉鞘径 (mm)	生葉数 (枚)	1本重 (g)			
標準	89 a**	28 a	18 a	4.7 a	120 a	42 a	94 ab	30
ポット内90kg	85 a	27 a	18 a	4.7 a	119 a	41 a	78 b	63
ポット内120kg	90 a	27 a	18 a	4.6 a	120 a	44 a	94 ab	60
ポット内150kg	91 a	28 a	19 a	4.8 a	134 a	42 a	107 a	57
無窒素	59 b	24 b	9 b	3.4 b	26 b	42 a	22 c	-

*ネギの生育は、1.35m²当たりから抽出した中庸な株30本の平均値。

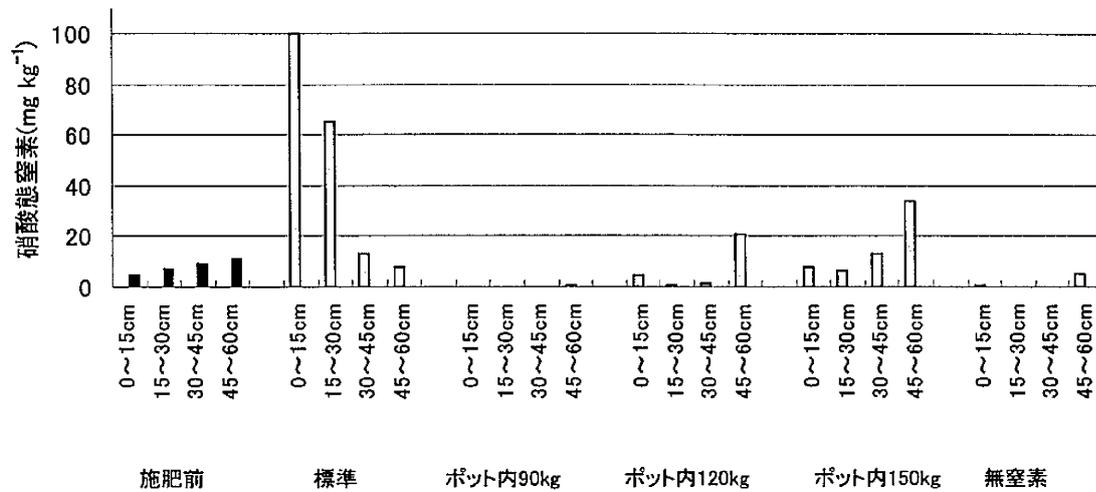
** 異なる英小文字は、Tukey法により5%水準で有意差あり。 n=3.



第9図 冬どりネギのチェーンポット内窒素全量施肥が収量に及ぼす影響

* 異なる英小文字は、Tukey法により5%水準で有意差あり。 n=3.

abcは総重量、xyzは調整重に対して有意差を示す。



第10図 冬どりネギにおけるチェーンポット内窒素全量施肥と
収穫跡地の土壤中硝酸態窒素量

肥窒素利用率が向上し、収穫直後の土壤中硝酸態窒素量が減少したポット内 120 kg 区が、冬どりネギ栽培におけるチェーンポット内全量施肥に適すると考えられた。

4. 考察

チェーンポット内全量窒素施肥を開発するにあたり、キャベツのセル内施肥³⁰⁾から多くの情報を得た。具体的には、育苗箱内に窒素全量を直接施用できること、初期の窒素溶出を抑えた肥効調節型の肥料を用いることで苗の生育に障害がなかったこと、高い水準の減肥に成功していることなどである。

本試験で供試した被覆燐硝安 140 日タイプの窒素溶出率は、温度 25℃ 一定の場合、施肥後 40 日までが 3% 以下、40～140 日にかけて 80% とされる。ただし、温度 25℃ に対し 10℃ 低い 15℃ 一定では窒素溶出率は半減し、10℃ 高い 35℃ 一定では約 2 倍となる（チッソ旭肥料による）。今回の試験における窒素溶出率は、夏どり栽培の育苗期間が 44 日でハウス内の平均温度が 15～20℃ の条件で 1.6% であった。同様に、冬どり栽培の育苗期間が 38 日でハウス内の平均温度が 25～30℃ で 3.4% であった。したがって、本肥料の初期窒素溶出は、育苗期間とハウス内温度を考慮すればほぼ理論通りの初期抑制型であった。また、夏どり栽培における露地での本肥料の窒素溶出率は、収穫時の 9 月 16 日（施肥後 212 日目）に 89.7% であった。一方、冬どり栽培における露地での本肥料の窒素溶出率は、収穫日の 1 月 17 日（施肥後 231 日目）に 98.2% であった。

前項 II - 1 の試験ではチェーンポット内に窒素で 60 kg ha⁻¹ 相当の施用量に対して、今回は 120 kg ha⁻¹ 相当施用したため、育苗箱内窒

素濃度を前項と同様に算出し、濃度障害との関係を検討した。その結果、培養土内の水分率が30%と仮定すると冬どり栽培における育苗箱内の窒素濃度は、最大で3,940 mg L⁻¹となる。しかし、肥料窒素は、育苗期間中(37日間)に毎日少量ずつ溶出すること、および溶出窒素はネギに吸収されることなどを考慮すると、実際の窒素濃度は3,940 mg L⁻¹をかなり下回ると考えられる。前項で示したようにネギ苗に濃度障害が発生する溶液中硝酸態窒素濃度は、4,000 mg L⁻¹程度と考えられる。それゆえ、ネギ苗の生育に濃度障害が発生しなかったと推察した。

これに関して、金田ら³⁷⁾は、水稻の育苗箱全量施肥において、被覆尿素を利用し、育苗期間中の窒素溶出率が2.8%であったが苗の生育に障害がなく、標準と同等の収量が得られたと報告している。この場合の育苗箱内窒素濃度をネギ同様に試算すると、水稻育苗中に溶出する窒素濃度の最大値は、約4,500 mg L⁻¹となる。松丸⁶⁵⁾によれば、水稻の耐塩性はトマトに比べて低い。また、大沢⁸¹⁾によれば、各種蔬菜の新鮮重の半減をきたす培養液中塩類濃度は、ネギがトマトと比べて高い。これらのことから、塩類濃度による生育障害は、ネギが水稻よりも発生しにくいと考えられる。これらのことを総合的に判断して、被覆燐硝安140日タイプをチェーンポット内に窒素成分で前項の2倍となる120 kg ha⁻¹相当量を施用しても、育苗中にネギ苗に濃度障害が発生しない程度に窒素溶出を抑制できたと推定した。

実際の定植時の苗質は、夏どりでは標準区と比べてチェーンポット150 kg区で草丈が長く1本重が増加したが(第9表)、各ポット内施肥区の苗に障害がなく、かつ、定植作業にも支障がなかった。

また、冬どりにおける定植時の苗質も、ほぼ同様の結果で（第 12 表）、苗に障害がなく、定植作業にも支障がなかった。

標準区の追肥開始前（定植後約 2 ヶ月後）のネギの株数は、夏どりでは標準区に比べて各ポット内施肥区が有意に優り（第 10 表）、冬どりでは両施肥区に差がなかった（第 13 表）。おそらく、夏どりでは定植が 3 月下旬のため地温が低く、露地に直接施用された基肥肥料からでは窒素をネギが十分吸収できなかったが、各ポット内施肥区ではポット内に存在する窒素をネギが効率よく吸収し、その結果、株数の減少を抑制できたと考えられた。一方、冬どりでは定植が 7 月上旬で地温が高く、標準区および各ポット内施肥区ともネギが窒素を効率よく吸収したため、両施肥区に差がなかったと考えられた。

栽培跡地における土壤中硝酸態窒素量は、夏どり栽培では、チェーンポット内に被覆燐硝安肥料を窒素成分で 120 kg ha^{-1} 相当量を施用することで標準施肥に対し、0～60 cm のいずれの層でも少なかった（第 7 図）。同様に、冬どり栽培でも標準施肥に対し、0～45 cm のいずれの層でも少なかった（第 10 図）。このことは、標準区では全面全層施肥であるためネギが主として根圏域の施肥窒素を吸収し、それ以外はあまり吸収できないのに対して、チェーンポット内施肥では施肥窒素が植え付け位置周辺に集中しているため、効率よく窒素を吸収することができ、その結果、窒素の溶脱量が標準区よりも少なく下層の窒素が少なかったと考えられる。チェーンポット育苗のネギは、定植位置が表層より 10 cm 程度低く植えつけられることで深さ 0～30 cm 程度²³⁾の土壤中硝酸態窒素をネギが吸収すると考えられる。

前項のチェーンポット内施肥＋追肥の体系では，施肥窒素利用率が標準区の25％に対して43％に向上し，38％の減肥となったことを報告した．チェーンポット内全量窒素施肥は，施肥窒素利用率が標準区の22％に対して44％に向上し，50％減肥となったことから，より肥料効率の高い施肥技術であると評価できる．また，一般的には，施肥窒素量が増加すると施肥窒素利用率は低下する傾向にあるが，夏どりネギのチェーンポット内施肥の施肥窒素利用率は，ポット内施肥窒素量が多くなることで高くなった．これは植物体の窒素含有率が向上したことによる．おそらく，夏どりネギでは，ネギの肥大期に生育適温を迎えており，ぜい沢吸収が発生したためと考えられた．

チェーンポット内全量窒素施肥は，チェーンポット内施肥＋追肥の体系の複合型であり，育苗箱内施肥と位置づけることができる．ただし，チェーンポット内施肥＋追肥の体系も，現地ほ場においては有効な減肥技術と考えられる．本県の夏どりおよび秋冬どりネギの標準的な施肥窒素量は， 240 kg ha^{-1} である．しかし，両作型とも現地では，施肥窒素量が 300 kg ha^{-1} 以上であることが珍しくなく，時には 500 kg ha^{-1} を超える事例が確認されている．したがって，現地ネギほ場の土壌は，非常に残存窒素が多くなっているのが現状である．このような残存窒素が多い土壌，すなわち，施肥前の土壌中硝酸態窒素が多い（ 60 mg kg^{-1} 以上，これは黒ボク土の仮比重を0.67とすると施肥窒素で 60 kg ha^{-1} 以上に相当する）場合には，前項で示したチェーンポット内窒素量を 60 kg ha^{-1} とし，生育に合わせて追肥量を調整する方が，より減肥になる可能性がある．

著者は，野菜の露地栽培では局所施肥が有力な減肥技術¹²⁶⁾であ

ることを指摘した。局所施肥は、作物の根が分布する位置にあらかじめ肥料を施用し、効率よく肥料成分を吸収させる方法である⁵⁾。これまで報告された野菜の露地栽培における局所施肥法^{30,51,52,59,60,113,114)}を俯瞰すると、施肥位置が狭い範囲に限定されるほど肥料の利用効率は高くなる傾向がある。チェーンポット内施肥は、減肥率が20～40%のネギ溝内施肥^{52,113,114)}と比べて施肥位置が狭く、50%と高い減肥に成功した。チェーンポット内施肥は、溝内施肥に比べて施肥幅が1/10程度に狭くなったことで、施肥窒素利用率が向上したと考えられる。

チェーンポット内施肥は、施肥窒素が植え付け位置周辺に集中しているため、肥効調節型肥料から徐々に溶出する窒素をネギが効率よく吸収することで、チェーンポット120kg区が標準区と比べて中期の生育（標準区の第1回の追肥期）がほぼ同等、かつ、収量および窒素吸収量も同等に確保できたと考えられる。その結果、チェーンポット120kg区の窒素溶脱量は、標準区よりも少なく、栽培跡地の下層の土壤中硝酸態窒素が少なくなったと考えられる。

以上のように、夏どりおよび冬どりネギ栽培におけるチェーンポット内全量窒素施肥は、被覆燐硝安140日タイプを施用することで、育苗中の苗に濃度障害をおこすことなく、50%の減肥が可能になった。これは施肥窒素利用率が、夏どり栽培では44%に、冬どり栽培では60%に向上し、過剰な施肥を抑えることができたことによると考えられた。また、栽培跡地の土壤残存窒素量が減少したことから環境負荷の軽減も可能になった。著者は、チェーンポット内全量窒素施肥法をネギ栽培における新しい減肥技術として提唱する。

第Ⅲ章 施設トマトにおける汁液栄養診断に基づく

窒素肥料低減化技術

Ⅲ－１ 施肥前の土壤中硝酸態窒素量が汁液栄養診断に基づく

施肥量に及ぼす影響

1. 緒言

トマトなどの果菜類は栽培期間が長く、肥培管理の中で追肥の時期と量が生産物の収量や品質を決定するポイントである。これまで、追肥は、あらかじめ予定された時期に一定量を与えるか、農家が経験と勘を基に生育状態を観察して判断していた。このような方法では、必ずしも適切な時期に施用しているか明らかでなく、過剰に施肥されている傾向にあった¹²⁹⁾。この欠点を補うため、近年、トマト栽培では作物栄養診断の研究^{1,13,32,63,94,119,122)}が進められている。汁液栄養診断は、作物の汁液の硝酸濃度を測定し、それに基づいて施肥する方法で、より作物の要求に即した手法と考えられる。建部ら¹⁰⁷⁾や出岡ら²⁷⁾により、作物の汁液硝酸濃度を簡易に分析する方法が報告され、迅速な栄養診断が可能となった。

一方、郡司掛^{18,19)}が指摘するように、栽培が長期にわたる作目では、過剰施肥に伴い、残存窒素すなわち施肥前の土壤中硝酸態窒素が多量に存在し、その量によっては作物の初期生育に影響を及ぼすのを無視できないものと考えられる。しかし、栄養診断に基づいた適正窒素施肥量を検討した研究のなかで、施肥前の土壤中硝酸態窒素量の影響をみたものは見あたらない。

そこで、著者は施肥前の土壤中硝酸態窒素量の異なるほ場を供試し、栄養診断に基づく追肥法における窒素施肥量と収量に及ぼす影

響を検討した。

2. 材料および方法

1) 栽培法

試験場所は、千葉県農業総合研究センター（千葉市）内のビニールハウスとした。

土壌は、表層腐植質黒ボク土（米神統）で、土性は壤土である。土壌の化学性は、全炭素 3.51 %，全窒素 0.30 %，pH(H₂O) は 6.2 である。前作はトマトである。トマトの作型は半促成栽培で、供試品種は‘ハウス桃太郎’（タキイ種苗）である。栽植密度は、畦幅 130 cm，株間 35 cm の 1 条植 (21,980 株 ha⁻¹)，整枝法は，直立 1 本仕立 9 段どりとした。施肥は千葉県施肥基準⁹⁾に準じた。基準基肥は，CDU 化成 (N-P₂O₅-K₂O=15-15-15) を用いて窒素成分で 150 kg ha⁻¹ を定植 10 日前に全面施用した。基準追肥は，千葉液肥 2 号 (N-P₂O₅-K₂O=10-4-8) を用いて窒素成分で 1 回当たり 15 kg ha⁻¹ とし，月に 2 回の割合で合計 11 回行った。ただし，最終の追肥は，窒素成分で 10 kg ha⁻¹ とし，追肥の総窒素成分を 160 kg ha⁻¹ とした。栄養診断に基づく追肥は，栄養診断試料調整法および栄養診断に基づく追肥法に示した。

2) 各年次の設計

試験は，施肥前に土壌中硝酸態窒素量を調査し，栄養診断の期間中に葉柄汁液の硝酸濃度に差がでるように，基肥窒素量を数レベル設けた。この条件下で，汁液栄養診断に基づく追肥を行う方法を 1998 年～ 2000 年の 3 年間実施した。3 ヶ年の試験区，前作および施肥前の土壌中硝酸態窒素量をまとめて第 15 表に示した。

1998 年の試験区は，基肥窒素量を変えた以下の 4 区，すなわち，

第15表 3カ年の試験区、前作および施肥前の深さ別土壤中硝酸態窒素量

年度	試験区(基肥窒素量:基準150kg ha^{-1})	前作	施肥前の土壤中硝酸態窒素(mg kg^{-1} 乾土)			
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	45-60cm
1998年	基肥100%、基肥50%、基肥25%、基肥0%	トマト、除塩処理	30	60	50	80
1999年	基肥100%、基肥50%、基肥25%、基肥0%	トマト、基準施肥	190	150	110	120
2000年	同上	トマト、基準50%施肥	140	120	80	90
	基肥100%、基肥50%、基肥0%、基準施肥	トマト、基準施肥	200	180	110	130

基肥窒素量を県施肥基準の 150 kg ha^{-1} 施用した区（基肥 100 % 区）， 75 kg ha^{-1} 施用した区（基肥 50 % 区）， 38 kg ha^{-1} 施用した区（基肥 25 % 区）， 0 kg ha^{-1} とした区（基肥 0 % 区）を設けた。追肥は，いずれも栄養診断に基づき，基準値を下回った場合，動力噴水器を用いて所定量の液肥を希釈して，かん水用チューブから施用した。各区 2 反復とした。供試ほ場は，基肥施用 1 ヶ月前に 5 日間かん水を続けて除塩を行った。播種は 1998 年 9 月 21 日，定植は 11 月 26 日，栄養診断は 1999 年 1 月 14 日から 6 月 2 日にかけて行った。

1999 年の試験区は，施肥前の土壤中硝酸態窒素が異なる 2 ほ場で設定した。それぞれのほ場に，1998 年と同様の基肥窒素量の異なる 4 区を設け，反復はとらなかった。播種は 1999 年 9 月 22 日，定植は 11 月 22 日，栄養診断は 2000 年 1 月 13 日から 5 月 31 日にかけて行った。

2000 年の試験区は，栄養診断施肥区と基準施肥区を設けた。栄養診断施肥区は，1998 年に準じて基肥窒素量の異なる以下の 3 区，基肥 100 % 区，基肥 50 % 区および基肥 0 % 区とした。対照となる基準施肥区は，千葉県 of 施肥基準に準じて基肥窒素を 150 kg ha^{-1} ，追肥窒素 160 kg ha^{-1} の合計 310 kg ha^{-1} とした。各区 2 反復とした。播種は 2000 年 10 月 2 日，定植は 11 月 27 日，栄養診断は 2001 年 1 月 14 日から 6 月 2 日にかけて行った。

3) 収量調査法

トマトの収量調査は，収穫期間中毎週 2 回行った。収穫物は，園芸作物出荷規格³⁾に基づき，上物と下物に分けて個数と重量を調査した。収量の調査は，各区 20 株とした。

4) 栄養診断法

栄養診断のための試料採取は，以下の方法^{119,120)}で行なった。採取

するトマト部位は、ピンポン玉程度に肥大した果房（直径2～4 cm）直下の葉の中央に位置する小葉の葉柄とした。小葉柄は、試験区に設けた収量調査区画20株のなかからそれぞれランダムに7～10葉採取した。葉柄汁液は、得られた小葉柄を1 cm程度に細断し、ニンニク絞り器を用いて採取し、これを1サンプルとした。実施する天候および時間は、雨天を避け、晴天又は曇天の午前中（9～12時）とした。硝酸濃度の分析は、採取した葉柄汁液を蒸留水で100倍又は50倍に希釈して小型反射式光度計（RQフレックスシステム、関東化学社製、東京）で測定した¹⁰⁷⁾。

5) 栄養診断に基づく追肥法

追肥は、葉柄汁液の硝酸濃度が2,000 mg L⁻¹を下回った時、その翌日に、千葉液肥2号（N-P₂O₅-K₂O=10-4-8）を窒素成分で15 kg ha⁻¹施用した。

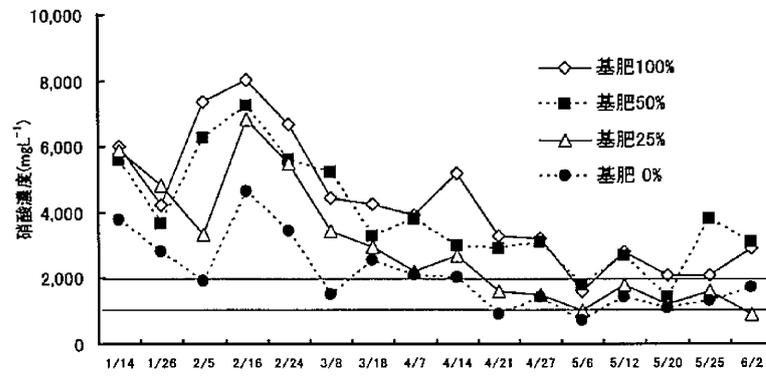
6) 土壌中硝酸態窒素の分析

土壌試料は、毎作施肥7日前と収穫終了の翌日に、ベッド中央部の深さ0～60 cmから15cm層毎に採取した。硝酸態窒素濃度は、生土20 gに100 mLの蒸留水を加えて30分間振とうし、濾過後、オートアナライザー（トラックス800：ブランルーベ社製）により分析した。

3. 結果

1) 栄養診断に基づく追肥と収量との関係

（1998年）異なる基肥量条件下におけるトマト葉柄汁液の硝酸濃度推移（反復1）を第11図に示した。葉柄汁液の硝酸濃度は、基肥100%区および基肥50%区では5月上中旬に2,000 mg L⁻¹前後を推移し、摘心処理した5月下旬以降は2,000 mg L⁻¹以上になった。基肥0%区は



第11図 異なる基肥量条件下におけるトマト葉柄汁液の硝酸濃度推移(反復1, 1998年)

収穫開始直前の3月上旬に $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ を下回り、基肥 25% 区は4月下旬から $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ 以下となった。また、基肥 25% 区と基肥 0% 区では、 $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ を基準に追肥したにも関わらず、4月下旬以降6月初旬まで $1,000 \text{ mg L}^{-1}$ 前半、場合によっては、 $1,000 \text{ mg L}^{-1}$ 以下で推移し、摘心処理後も $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ 以上にならなかった。反復 2 における葉柄汁液の硝酸濃度推移は、反復 1 とほぼ同じ傾向を示した（データ省略）。

異なる基肥量が栄養診断に基づく追肥量および収量に及ぼす影響を第 16 表に示した。基肥と追肥との合計施肥窒素量は、基肥 100% 区が追肥 1.0 回で 165 kg ha^{-1} 、基肥 50% 区が追肥 3.0 回で 120 kg ha^{-1} 、基肥 25% 区が追肥 7.5 回で 151 kg ha^{-1} 、基肥 0% 区が追肥 8.5 回で 128 kg ha^{-1} であった。

株当たり総収量は基肥 100% 区と基肥 50% 区が $3,700 \text{ g}$ 以上であったのに対し、基肥 25% 区が $3,147 \text{ g}$ 、基肥 0% 区が $3,082 \text{ g}$ と少なかった。上物収量は、基肥 100% 区と基肥 50% 区が $2,400 \text{ g}$ 台であったのに対し、基肥 25% 区と基肥 0% 区が $2,200 \text{ g}$ 台と統計的有意差はなかったものの少ない傾向にあった。

（1999年）施肥前の土壌中硝酸態窒素量が多いほ場と少ないほ場におけるトマト葉柄汁液の硝酸濃度推移を第 12 図に示した。土壌中硝酸態窒素量が多いほ場における葉柄汁液の硝酸濃度は、すべての区で収穫開始となった3月上旬に $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ 前後まで急激に低下し、トマトの摘心処理を行った5月上旬までは $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ 前後を推移し、それ以降はすべての区で $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ 以上となった。

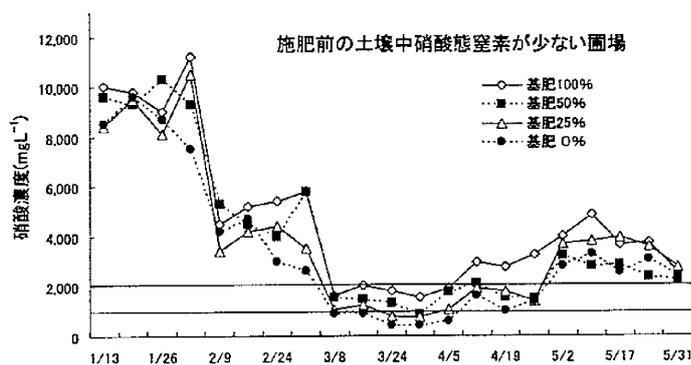
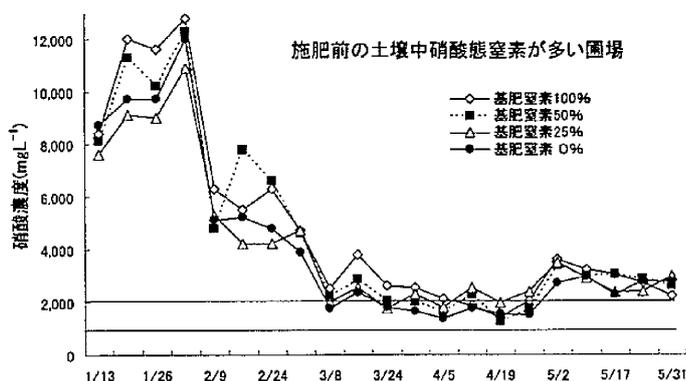
施肥前の土壌中硝酸態窒素量が少ないほ場における葉柄汁液の硝酸濃度は、収穫開始となった3月上旬に急激に低下し、 $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ を

第16表 異なる基肥量が栄養診断に基づく追肥量および収量に及ぼす影響(1998年)

試験区	施肥窒素量 (kg/ha)			総収量 (株当たり)		上物収量 (株当たり)	
	基肥	追肥	合計	個	g	個	g
基肥100%	150	15 (1.0)	165	33.7 a	3,942 a	22.2 a	2,462 a
基肥50%	75	45 (3.0)	120	32.5 a	3,786 a	22.2 a	2,426 a
基肥25%	38	113 (7.5)	151	31.1 a	3,147 b	22.7 a	2,230 a
基肥0%	0	128 (8.5)	128	30.8 a	3,082 b	23.2 a	2,242 a

z ()内の数値は、2反復を平均した追肥回数を示す。

y 異なる英小文字は、Tukey法により5%で有意差あり。n=2。



第12図 施肥前の土壤中硝酸態窒素量が多いほ場と少ないほ場におけるトマト葉柄汁液の硝酸濃度推移(1999年)

基準に追肥したにも関わらず，3月上旬から4月上旬にかけてすべての区で $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ を下回った．それでも基肥 100 % 区，基肥 50 % 区および基肥 25 % 区では $1,000 \text{ mg L}^{-1}$ 以上はほぼ維持できたが，基肥 0 % 区では $1,000 \text{ mg L}^{-1}$ を大幅に下回った．摘心処理を行った5月上旬以降は，すべての区で $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ 以上で推移した．

施肥前の土壤中硝酸態窒素量が異なるほ場における栄養診断に基づく追肥量および各区の収量に及ぼす影響を第 17 表に示した．施肥前の土壤中硝酸態窒素量が多いほ場における基肥と追肥との合計窒素量は，基肥 100 % 区が追肥 2 回で 180 kg ha^{-1} ，基肥 50 % 区が追肥 3 回で 120 kg ha^{-1} ，基肥 25 % 区が追肥 4 回で 98 kg ha^{-1} ，基肥 0 % 区が追肥 7 回で 105 kg ha^{-1} であった．一方，施肥前の土壤中硝酸態窒素量が少ないほ場では，基肥 100 % 区が追肥 4 回で 210 kg ha^{-1} ，基肥 50 % 区が追肥 7 回で 180 kg ha^{-1} ，基肥 25 % 区が追肥 8 回で 158 kg ha^{-1} ，基肥 0 % 区が追肥 8 回で 120 kg ha^{-1} であった．

トマト収量は，施肥前の土壤中硝酸態窒素量が多いほ場では，株当たり総収量および上物収量は，いずれの区でも同等であった．一方，施肥前の土壤硝酸態窒素量が少ないほ場において，総収量は，基肥 100 % ～基肥 25 % 区が約 $4,000 \text{ g}$ であるのに対し基肥 0 % 区が $3,763 \text{ g}$ ，同様に，上物収量も基肥 100 % ～基肥 25 % 区が約 $2,700 \text{ g}$ であるのに対し基肥 0 % 区が $2,429 \text{ g}$ といずれも少ない傾向を示した．

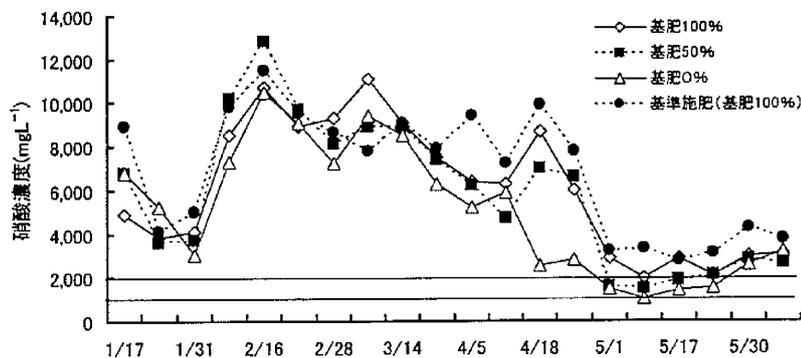
(2000年) 異なる基肥量条件下におけるトマト葉柄汁液の硝酸濃度推移 (反復 1) を第 13 図に示した．葉柄汁液の硝酸濃度は，各区とも収穫開始時の3月中旬で $8,000 \text{ mg L}^{-1}$ 以上あったが，0 % 区が，4月中旬に急激に低下し $3,000 \text{ mg L}^{-1}$ 程度となり，100 % 区および 50 % 区が5月上旬に急激に低下し，100 % 区が $3,000 \text{ mg L}^{-1}$ 程度，50 % 区が $2,000 \text{ mg L}^{-1}$

第17表 施肥前の土壤中硝酸態窒素が異なるほ場における
栄養診断に基づく追肥量および各区の収量(1999年)

施肥前の土壤中硝酸態窒素が多い圃場							
試験区	基肥窒素 (kg ha^{-1})	追肥窒素 (kg ha^{-1})	施肥窒素 (kg ha^{-1})	総収量 (株当たり)		上物収量 (株当たり)	
				個	g	個	g
基肥100%	150	30 (2)	180	31.7	4,182	21.2	2,730
基肥50%	75	45 (3)	120	31.5	4,116	23.0	2,973
基肥25%	38	60 (4)	98	31.3	4,145	22.0	2,858
基肥0%	0	105 (7)	105	31.3	4,121	22.5	3,002

施肥前の土壤中硝酸態窒素が少ない圃場							
試験区	基肥窒素 (kg ha^{-1})	追肥窒素 (kg ha^{-1})	施肥窒素 (kg ha^{-1})	総収量 (株当たり)		上物収量 (株当たり)	
				個	g	個	g
基肥100%	150	60 (4)	210	32.1	3,844	22.7	2,657
基肥50%	75	105 (7)	180	33.0	4,075	22.4	2,732
基肥25%	38	120 (8)	158	32.1	4,131	22.5	2,791
基肥0%	0	120 (8)	120	32.0	3,763	21.0	2,429

z ()内の数値は、追肥回数を示す。



第13図 異なる基肥量条件下におけるトマト葉柄汁液の硝酸濃度推移(反復1, 2000年)

程度になった。その結果、基肥 100 % 区では、収穫中期の 5 月上旬に 2,000 mg L⁻¹ を 1 回のみ下回り、基肥 50 % 区および基肥 0 % 区で、収穫中期の 5 月上中旬に 2,000 mg L⁻¹ を数回下回ったものの 1,000 mg L⁻¹ 以上を維持することができた。摘心処理後の 5 月中旬以降はすべての区で 2,000 mg L⁻¹ 以上となった。また、参考として測定した基準施肥区では、全期間において葉柄汁液の硝酸濃度が 2,500 mg L⁻¹ を下回ることにはなかった。反復 2 における葉柄汁液の硝酸濃度推移は、反復 1 とほぼ同じ傾向を示した（データ省略）。

異なる基肥量条件下における栄養診断に基づく追肥量が収量に及ぼす影響を第 18 表に示した。基肥と追肥との合計窒素量は、基肥 100 % 区が追肥 1.0 回で 165 kg ha⁻¹、基肥 50 % 区が追肥 4.0 回で 135 kg ha⁻¹、基肥 0 % 区が追肥 5.0 回で 75 kg ha⁻¹ であった。栄養診断に基づいた各区の総収量および上物収量は、いずれも基準施肥区と同等以上であった。

2) 収穫終了跡地の土壌中硝酸態窒素

1999 年に実施した施肥条件の異なるほ場においてトマトを栽培した跡地土壌中硝酸態窒素量を第 14 図に示した。施肥前の土壌硝酸態窒素量が多いほ場においては、すべての区の 0 ~ 30 cm 層で 30 mg kg⁻¹ 以下であった。30 ~ 45 cm 層では基肥 100 % 区と基肥 50 % 区が 100 mg kg⁻¹ 程度、基肥 25 % 区と基肥 0 % 区が 40 ~ 50 mg kg⁻¹ であった。45 ~ 60 cm 層では基肥 100 % 区と基肥 50 % 区が 150 ~ 180 mg kg⁻¹、基肥 25 % 区と基肥 0 % 区が 80 mg kg⁻¹ 程度であった。

施肥前の土壌硝酸態窒素量が少ないほ場においては、すべての区の 0 ~ 30 cm 層で 20 mg kg⁻¹ 以下で、30 ~ 45 cm 層で 70 mg kg⁻¹ 以下であった。45 ~ 60 cm 層では基肥 50 % 区を除くと 80 mg kg⁻¹ 以下であった。

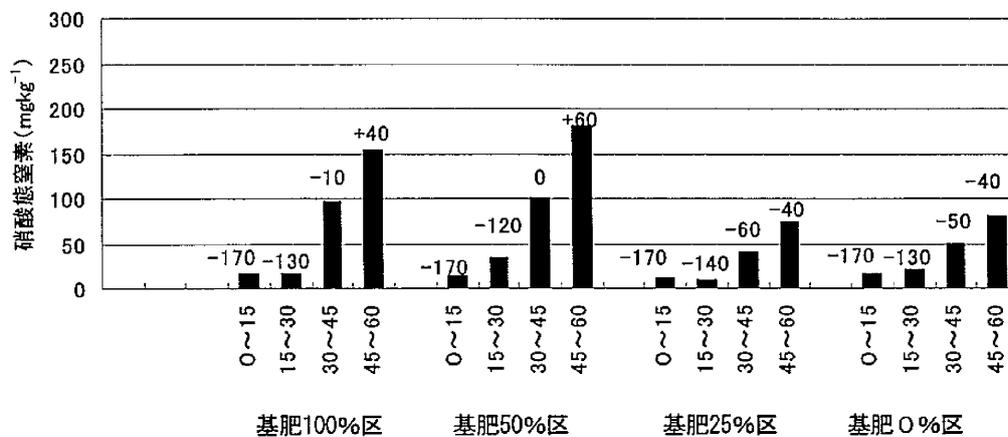
第18表 異なる基肥量が栄養診断に基づく追肥量および各区の収量に及ぼす影響(2000年)

試験区	施肥窒素量 (kg ha ⁻¹)			総収量 (株当たり)		上物収量 (株当たり)	
	基肥	追肥	合計	個	g	個	g
基肥100%	150	15 (1.0)	165	34.1 a	4,009 a	22.0 a	2,851 a
基肥50%	75	60 (4.0)	135	35.6 a	4,168 a	23.6 a	2,948 a
基肥0%	0	75 (5.0)	75	35.6 a	4,108 a	22.2 a	2,809 a
基準施肥	150	160 (11.0)	310	35.5 a	3,976 a	22.8 a	2,797 a

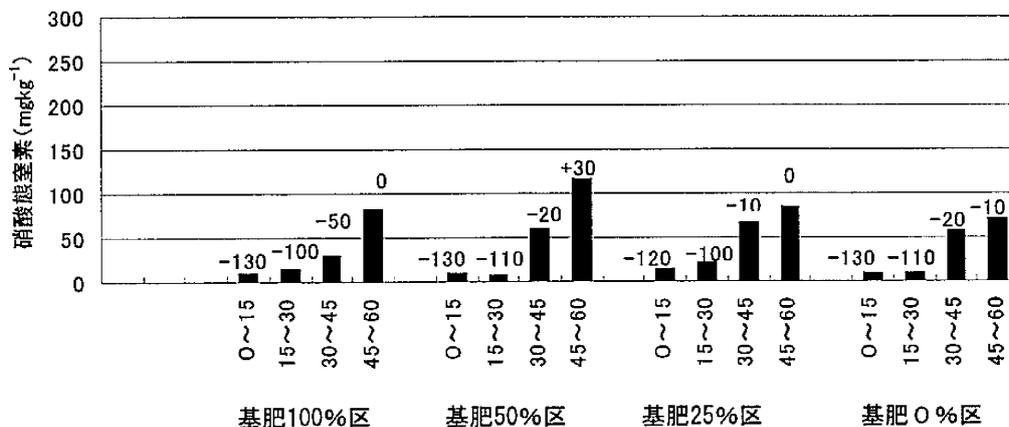
z ()内の数値は, 2反復を平均した追肥回数を示す.

y 同一英小文字は, Tukey法により5%で有意差なし. n=2.

(施肥前の土壤硝酸態窒素量が多いほ場)



(施肥前の土壤硝酸態窒素量が少ないほ場)



第14図 施肥条件の異なるほ場におけるトマトを栽培した
跡地土壤中硝酸態窒素量(1999年)

注) 棒グラフの上部の数字は、施肥前の土壤中硝酸態窒素量から跡地の土壤中硝酸態窒素量を引いた値(mg kg^{-1})。

このように、施肥前の土壌硝酸態窒素量の多少に関わらず、すべての区で基肥 25 % 区と基肥 0 % 区は、0 ~ 30 cm 層で 30 mg kg⁻¹ 以下、30 ~ 60 cm 層で 80 mg kg⁻¹ 以下となり、ほぼ同等であった。また、基肥 100 % 区と基肥 50 % 区は、施肥前の土壌硝酸態窒素量の多少に関わらず 0 ~ 30 cm 層で 30 mg kg⁻¹ 以下で、30 ~ 60 cm 層では、施肥前の土壌硝酸態窒素量が多い場合は 180 mg kg⁻¹ 以下、少ない場合は 120 mg kg⁻¹ 以下であった。

施肥前と跡地の土壌中硝酸態窒素量の差を第 14 図の棒グラフの上部に数値で示した。施肥前の土壌中硝酸態窒素量の多い場合において、栽培跡地の土壌中硝酸態窒素量は、いずれの区も 0 ~ 15 cm 層では 170 mg kg⁻¹、15 ~ 30 cm 層では 120 ~ 140 mg kg⁻¹ 施肥前より減少した。30 ~ 45 cm 層では基肥 100 % 区と基肥 50 % 区が施肥前とほぼ同等、基肥 25 % 区と基肥 0 % 区で 50 ~ 60 mg kg⁻¹ 減少した。45 ~ 60 cm 層では基肥 100 % 区と基肥 50 % 区で 40 ~ 60 mg kg⁻¹ 施肥前より増加し、基肥 25 % 区と基肥 0 % 区では 40 mg kg⁻¹ 程度減少した。一方、施肥前の土壌中硝酸態窒素量の少ない場合において、栽培跡地の土壌中硝酸態窒素量は、いずれの区も 0 ~ 15 cm 層では 120 ~ 130 mg kg⁻¹、15 ~ 30 cm 層では 100 ~ 110 mg kg⁻¹ 施肥前より減少した。30 ~ 45 cm 層では基肥 100 % 区と基肥 50 % 区が 20 ~ 50 mg kg⁻¹ 減少し、基肥 25 % 区と基肥 0 % 区で 10 ~ 20 mg kg⁻¹ 減少した。45 ~ 60 cm 層では基肥 50 % 区を除けば、施肥前とほぼ同等であった。

4. 考察

栄養診断に基づく施肥をより効果的で信頼性の高いものにするためには、試験の前提条件を整理しながら栄養診断による施肥試験を

行い，科学的に検証を行う必要がある．筆者らは，特に施肥前の土壤中硝酸態窒素がトマトの生育に大きく関わることに注目した．そこで，本試験では施肥前の土壤中硝酸態窒素量の違いによる，適正な基肥および追肥量の整理を試みた．

千葉県施肥基準の基肥窒素量に対し基肥 100 %，基肥 50 %，基肥 25 %，基肥 0 %（それぞれ窒素として 150、75、38、0 kg ha⁻¹）を設定し，栄養診断に基づく追肥を行う試験を 1998 ～ 2000 年の 3 年間実施した．その結果，目標収量を確保するための最適総施肥窒素量は，年次，基肥量ごとに異なっていた．すなわち，本施肥法を適用して最も肥料を節約した上で目標収量を維持したのは，1998 年は基肥 50 % 区で総施肥窒素量は 120 kg ha⁻¹，1999 年は，施肥前の土壤中硝酸態窒素量が多いほ場では基肥 25 % 区で総施肥窒素量が 98 kg ha⁻¹、施肥前の土壤中硝酸態窒素量が少ないほ場では基肥 25 % 区で総施肥窒素量が 158 kg ha⁻¹，2000 年は基肥 0 % 区で追肥窒素のみの 75 kg ha⁻¹を与えた処理区であった．これを，施肥前の土壤中硝酸態窒素濃度で整理してみると，除塩処理により最も硝酸態窒素が少なかった 1998 年の試験では，基準の 50 % の基肥を必要としたが，施肥前に 200 mg kg⁻¹ という高濃度硝酸態窒素を含んでいた 2000 年の試験では基肥は不要であった．またその中間濃度の 1999 年の試験では基肥は 25 % が適正であった．このことは，試験年次を超えて，土壤中の硝酸態窒素の範囲により基肥の削減率を推定できることを示唆するものである．

1999 年の試験における施肥前と跡地との土壤中硝酸態窒素量の差について，0 ～ 60 cm の各層の平均値で見ると，施肥前の土壤中硝酸態窒素量が多いほ場では，基肥 100 % 区と基肥 50 % 区が 57 ～

69 mg kg⁻¹、基肥 25 % 区と基肥 0 % 区が 97 ~ 105 mg kg⁻¹であった。一方、土壤中硝酸態窒素量が少ないほ場では、基肥窒素量に関わらず、その差は 56 ~ 70 mg kg⁻¹と同程度であった。供試ほ場の来歴や試験設計から、土壌からの無機化、脱窒、溶脱の処理間差は小さいものと仮定すると、作付け前後の土壤中硝酸濃度の差が基肥の施用量が少ない処理区で大きかったことは、トマトによる土壤中硝酸態窒素の吸収量が大きかったことによるものと考えられる。施肥前の土壤中硝酸態窒素は基肥の速効性窒素と同様とみなせるので、トマトの窒素吸収において施肥前の土壤中硝酸態窒素は無視できない。

さらに、施肥前と跡地との土壤中硝酸態窒素量の差（第 14 図）から、0 ~ 30 cm 層においてトマトが施肥前の土壤中硝酸態窒素量を効率よく利用していることが理解できる。特に、基肥窒素が少ない場合、トマトへの土壤中硝酸態窒素の寄与は大きいと考えられる。それゆえ、土壌診断に基づいた基肥窒素の施用が重要と考えられた。基肥窒素量の目安としては、施肥前の土壌診断で 0 ~ 30 cm 層の硝酸態窒素が 150 mg kg⁻¹以上なら不要、100 ~ 150 mg kg⁻¹であれば県施肥基準の 25 % にあたる 38 kg ha⁻¹程度、100 mg kg⁻¹以下であれば施肥基準の 50 % にあたる 75 kg ha⁻¹程度と判断した。

以上のように、トマトの目標収量を得るのに必要な窒素は、予め施肥前の土壤中硝酸態窒素量を測定し、基肥量を適正に設定した上で、栄養診断に基づいて追肥の時期と量を判断していくことが望ましいと考えられる。

栄養診断の方法については、半促成栽培ではトマト肥大期の果房直下にある葉柄が最も敏感に植物体の栄養状況を反映すると判断し、山田ら¹²⁰⁾の手法を採用した。また、基準値についても、山田

ら¹⁹⁾が半促成栽培の収穫期で 1,000 ~ 2,000 mg L⁻¹としたことに着目し、本試験では 2,000 mg L⁻¹ 一定とした。理由は、1,000 mg L⁻¹ を基準に追肥をしたのでは、結果的に 1,000 mg L⁻¹ 以下になることが予想され、2,000 mg L⁻¹ を基準に追肥をすれば結果的に 1,000 ~ 2,000 mg L⁻¹ を維持できると判断したことによる。

3年間施肥試験を行った結果、葉柄汁液の硝酸濃度が 1,000 mg L⁻¹ を下回らない範囲で管理できれば、従来の基準施肥量に対して最大で 76 % の減肥が可能で、しかも同等以上の収量が得られた。また、栄養診断追肥を実施していくと、跡地土壌に余剰の窒素を残さなくなると考えられる。このような栽培前の土壌中硝酸態窒素濃度が低く保たれているようなほ場において、収穫期の葉柄汁液中硝酸態窒素濃度が 1,000 mg L⁻¹ を保てないような場合には、栄養診断の間隔を短縮したり、一回の追肥量を多くするなどの方策により、葉柄汁液の硝酸濃度を適正值まで上げることは可能と考えられる。しかし、頻繁な栄養診断は農家での負担が増加し、一回の窒素量を増やすと成分濃度上昇による根系の障害や液肥ではかん水量の増加による肥料の拡散・溶脱も考えられるなど、現実的ではない。また、土壌中硝酸態窒素量が最も少ない条件のほ場（1998年の試験）ではそれ以外の年次と比べて収量レベルが低く、しかも、基肥が少ない処理区では総収量が有意に低くなった。気候等、年次間の差について考慮する必要はあるものの、収量を確保するには生育初期に一定量の速効性窒素が必要であることを示すものと考えられる。

以上のことから、半促成栽培トマトにおいて、本試験で採用した施肥前の土壌診断と収穫期の栄養診断に基づく施肥法は、採取位置、基準値、間隔と一回の追肥量を含めて合理的であり、現場に適応可

能であると判断した。また，本試験は，表層腐植質黒ボク土の結果であるが，多腐植質や淡色などの黒ボク土であれば応用が可能と考えられる。

Ⅲ－２ 接ぎ木栽培における汁液栄養診断に基づく追肥量の削減

1. 緒言

近年，国内の施設野菜では，土壤消毒剤として最も効果のあった臭化メチル剤の使用が禁止となった。その結果，薬剤では，複数の土壤病害虫に対し十分な消毒効果が期待できなくなった。一方，台木は，土壤病害虫に対し複合抵抗性を有することから，接ぎ木栽培は土壤病害虫対策の手段として注目されてきた。台木は，一般に自根に比べて吸肥力が強いとされており^{2,55,97,103,111)}，接ぎ木栽培で栄養診断に基づく追肥を実施すると施肥窒素および土壤中硝酸態窒素がより効果的に利用されて，さらなる減肥が可能であると推察された。そこで，本報ではトマト半促成栽培において汁液栄養診断に基づく追肥による減肥効果を，接ぎ木および自根の両栽培法間で比較した。

2. 材料および方法

1) 試験場所

試験は，千葉県農業総合研究センター（千葉市）内の2棟のガラスハウス（12.8m × 7.5m = 96 m²，前作トマト）で実施した。土壤は，表層腐植質黒ボク土（米神統）である。施肥1ヶ月前に，約200 mm/日かん水による除塩を7日間行った。処理後の土壤中硝酸態窒素量は，ハウス1では0～60 cmの各層とも10～20 mg kg⁻¹で，平均13

mg kg⁻¹であった。ハウス 2 では 0 ~ 60 cm の各層とも 20 mg kg⁻¹以上で、平均 30 mg kg⁻¹であった。また、ハウス 1 の土壌（深さ 0 ~ 15 cm）は EC が 18.4 mS m⁻¹、pH(H₂O)が 6.6、ハウス 2 の土壌は EC が 18.9 mS m⁻¹、pH(H₂O)が 6.9 であった。

2) 試験区の設定

試験区は、自根区（対照）に対し、吸肥力の異なる 4 種類の台木を供試した 4 区の合計 5 区とした。供試品種は、台木 1 が ‘ジョイント’（サカタのタネ）、台木 2 が ‘ドクター K’（タキイ種苗）、台木 3 が ‘マグネット’（サカタのタネ）、台木 4 が ‘影武者’（タキイ種苗）とした。なお、メーカーカタログでは、吸肥力の弱い品種は ‘ジョイント’ と ‘ドクター K’、吸肥力が強い品種は ‘マグネット’ と ‘影武者’ である。供試株数は 1 区 15 株（6.8 m²）とし、汁液栄養診断、生育、収量および品質の調査は、両端の株を除いた 13 株（5.9 m²）で実施した。試験はそれぞれハウスを反復とする 2 反復で行った。

3) 栽培概要

トマトの作型は、半促成栽培とした。穂木は ‘ハウス桃太郎’（タキイ種苗）とした。栽植密度は畦幅 130 cm、株間 35 cm の 1 条植 (21,980 株 ha⁻¹) とした。整枝法は斜め誘引の 10 段どりとした。施肥前の土壌中硝酸態窒素量は、13 ~ 30 mg kg⁻¹ であることから、基肥窒素量は、前々報¹²⁸⁾の結果に基づき千葉県施肥基準⁹⁾の 50% の 75 kg ha⁻¹ を、CDU 化成 (N-P₂O₅-K₂O=15-15-15) で施用した。また、牛ふん堆肥 (N-P₂O₅-K₂O=1.02-1.02-1.29) を 10 Mg ha⁻¹ 施用した。追肥は、汁液栄養診断^{119,120)}に基づいて施用した。播種は 2003 年 10 月 23 日、接ぎ木は 11 月 14 日、定植は 12 月 12 日であった。栄養診断は 2004 年 2 月 18 日から 5

月 19 日，収穫は 2004 年 3 月 17 日から 6 月 18 日に実施した。

4) 調査方法

生育調査は，摘心時の 2004 年 4 月 27 日に行った。草丈は，地際から成長点までの長さとし，葉長と葉幅は，第 5 果房直下にある本葉，茎径は第 5 果房直下で測定した。葉色は，第 5 果房直下にある本葉の最大小葉を葉緑素計（SPAD-502，コニカミノルタ社，東京）を用いて測定した。

収量調査は，収穫期間中毎週 2 回行った。収穫物は，園芸作物出荷規格⁹⁾に基づき，上物と下物に分けて個数と重量を調査した。

果実の品質については，1 区 20 個体で 2004 年 5 月 18 日に実施した。糖度は，屈折式糖度計（ATAGO-N1，アタゴ社，東京）で，硬度（貫入抵抗値）は，直径 8 mm の円錐型先端を装着した圧縮荷重測定器（DPS II-R，イマダ社，東京）で測定した。

5) 栄養診断法

汁液栄養診断は，既報^{119,120)}に準じ，第 1 果房肥大期から第 10 果房肥大期まで週 1 回行った。その概略は，ピンポン玉程度に肥大した果房（直径 2～4 cm）直下の葉の中央に位置する小葉の葉柄を，調査対象 13 株の中からランダムに 7～10 葉採取し，搾汁液の硝酸濃度を小型反射式光度計¹⁰⁷⁾（RQ フレックスシステム，メルク社製，）で測定するものとした。

追肥は，葉柄汁液の硝酸濃度が 2,000 mg L⁻¹を下回った時¹²⁸⁾，その翌日に，千葉液肥 2 号（N-P₂O₅-K₂O=10-4-8）を窒素成分で 15 kg ha⁻¹施用した。なお，この栄養診断基準値は，穂木（ハウス桃太郎）が同じであれば，台木の品種に関わりなく 2,000 mg L⁻¹で良いこと¹³¹⁾を確認している。

6) 土壤中硝酸態窒素分析法

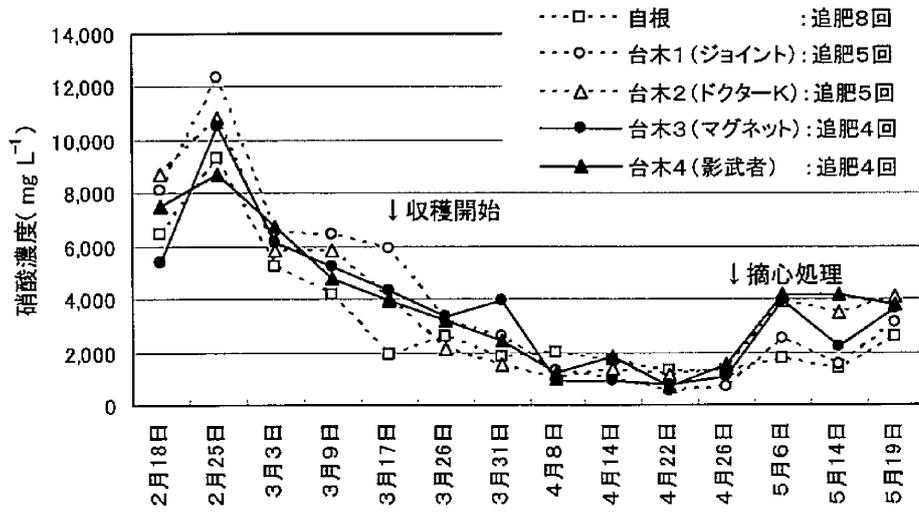
土壤は、施肥7日前に深さ0～60 cmについて15 cm層毎に各ハウスとも3ヶ所採取し、あわせて1サンプルとした。収穫終了後の土壤は、深さ0～60 cmについて15 cm層毎に各区ベッド中央部から2ヶ所採取し、あわせて1サンプルとした。

硝酸態窒素濃度は、生土20 gに100 mLの蒸留水を加えて30分間振とうし、濾過後、オートアナライザー（トラックス 800：ブランルーベ社製、東京）により分析した。

3. 結果

1) トマトの葉柄汁液中硝酸濃度推移および施肥窒素量

トマトの葉柄汁液中硝酸濃度推移(反復1)を第15図に示した。硝酸濃度は、収穫開始前の3月3日から3月17日にかけて、各台木区ともに自根区に比べて高く推移した。各台木区間に顕著な差はなかった。3月17日には、自根区では2,000 mg L⁻¹を下回ったが、各台木区では、4,000 mg L⁻¹以上を維持していた。収穫開始後である3月31日には、自根区と台木2区が2,000 mg L⁻¹を下回ったが、その他の台木区では2,000 mg L⁻¹以上であった。4月8日から4月26日にかけては、自根区および各台木区でいずれも2,000 mg L⁻¹を下回った。その後、摘心処理を行った4月27日以降の硝酸濃度は、5月6日の自根区および5月14日の自根区と台木1区を除き、いずれも2,000 mg L⁻¹以上で推移した。栽培期間中の合計追肥回数は、自根区の8回に対して、台木区で4～5回であった。反復2における葉柄汁液中硝酸濃度推移もほぼ同様の傾向を示した。その合計追肥回数は、自根区の6回に対して、各台木区ではいずれも4回であった。



第15図 トマトの葉柄汁液中硝酸濃度推移(反復1:2004年)

台木の異なる接ぎ木トマトの栄養診断に基づく追肥が施肥窒素量に及ぼす影響を第19表に示した。追肥窒素量は、自根区の 105 kg ha^{-1} (平均追肥回数7回) に対して、台木1区と台木2区が 68 kg ha^{-1} (平均追肥回数4.5回)、台木3区と台木4区が 60 kg ha^{-1} (平均追肥回数4回)であった。総施肥窒素量は、自根区が 180 kg ha^{-1} に対して、台木1区と台木2区が 143 kg ha^{-1} 、台木3区と台木4区が 135 kg ha^{-1} であった。各台木区の自根区に対する施肥窒素減肥率は、21～25%であった。

2) トマトの生育、収量および品質

台木の異なる接ぎ木トマトの摘心時の生育を第20表に、収量を第16図に、果実の糖度および硬度を第21表に示した。

摘心時の生育は、いずれの調査項目とも、区間差は認められなかった。また、上物収量および総収量とも、区間差は認められなかった。糖度および硬度についても、区間差は認められなかった。

3) 栽培跡地の土壌中硝酸態窒素量

栽培跡地の土壌中硝酸態窒素量(反復1)を第17図に示した。栽培跡地の土壌中硝酸態窒素は、自根区では0～30 cm層で $18 \sim 20 \text{ mg kg}^{-1}$ 、30～45 cm層で 29 mg kg^{-1} 、45～60 cm層で 17 mg kg^{-1} であった。それに対して各台木区では0～30 cm層では、 $13 \sim 18 \text{ mg kg}^{-1}$ と自根区と同等かやや少なく、30～60 cm層では吸肥力の弱いとされている台木1区と台木2区で 15 mg kg^{-1} 程度と少なく、吸肥力が強いとされている台木3区と台木4区で 10 mg kg^{-1} 程度とさらに少なかった。反復2もほぼ同様の傾向を示した。

4. 考察

本研究の目的は、栄養診断に基づく施肥法において、台木の有する

第19表 台木の異なる接ぎ木トマトの栄養診断に基づく追肥が施肥窒素量に及ぼす影響

試験区	台木品種	吸肥力	追肥 (回)	施肥窒素量		
				基肥 (kg ha ⁻¹)	追肥 (kg ha ⁻¹)	総量 (kg ha ⁻¹)
自根(対照)	—	—	7.0 a	75	105 a	180 a
台木1	ジョイント	弱	4.5 b	75	68 b	143 b
台木2	ドクターK	弱	4.5 b	75	68 b	143 b
台木3	マグネット	強	4.0 b	75	60 b	135 b
台木4	影武者	強	4.0 b	75	60 b	135 b

注1) 吸肥力の強弱は、種苗会社のカタログによる。

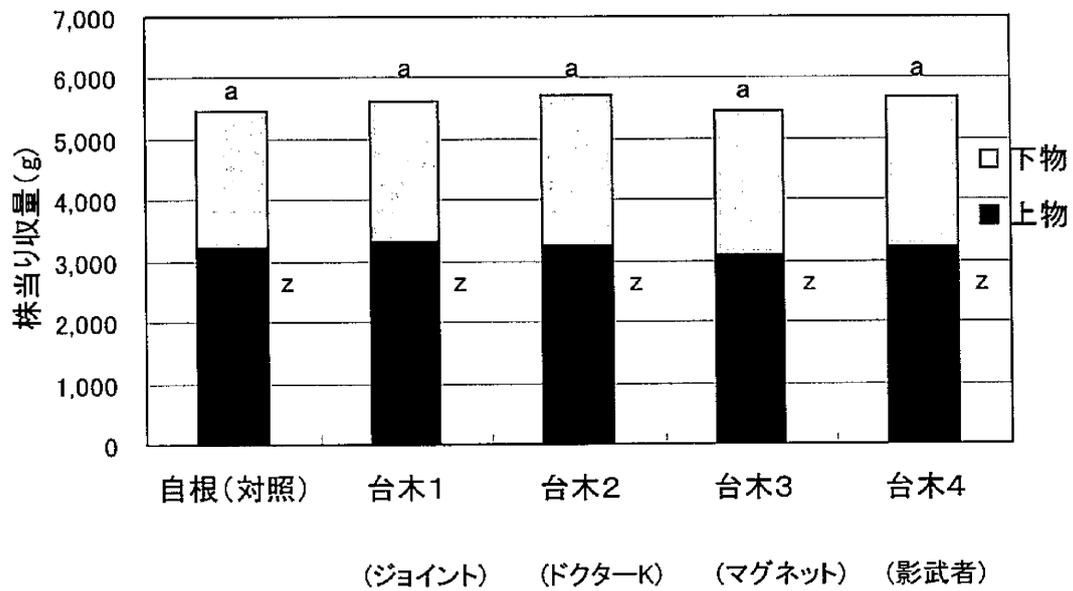
注2) 追肥回数、追肥量は、反復1と反復2の平均値である。

注3) 異なる英小文字は、Tukey法により5%水準で有意差あり。n=2。

第20表 台木の異なる接ぎ木トマトの摘心時の生育 (2004年4月27日)

試験区	台木品種	草丈 (cm)	葉長 (cm)	葉幅 (cm)	茎径 (mm)	葉色
自根(対照)	—	299 a	49 a	49 a	12.7 a	47.9 a
台木1	ジョイント	292 a	48 a	52 a	13.4 a	46.6 a
台木2	ドクターK	284 a	47 a	48 a	12.3 a	47.4 a
台木3	マグネット	286 a	50 a	52 a	13.7 a	47.4 a
台木4	影武者	282 a	46 a	48 a	12.8 a	46.9 a

注1) 同一英小字は、Tukey法により5%水準で有意差なし。n=2。



第16図 台木の異なる接ぎ木トマトの栄養診断に基づく追肥が収量に及ぼす影響

注1) 収量の重量は、反復1と反復2の平均値である。

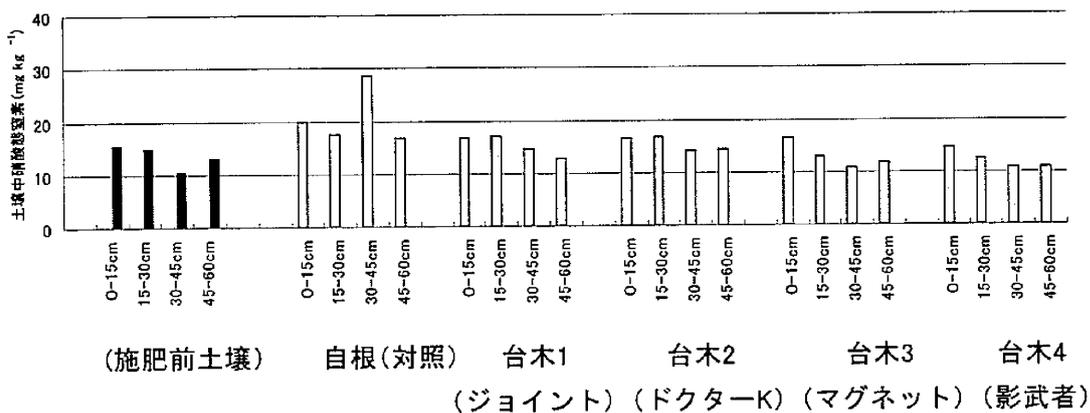
注2) 同一英小文字は、Tukey法により5%水準で有意差なし。n=2。

aは総収量、zは上物収量に対する有意性を示す。

第21表 台木の異なる接ぎ木トマトの栄養診断に基づく追肥が
果実の糖度と硬度に及ぼす影響(2004年5月18日)

試験区	台木品種	糖度 (Brix)	硬度 (g/cm ²)
自根(対照)	-	6.1 a	599 a
台木1	ジョイント	6.0 a	583 a
台木2	ドクターK	6.0 a	581 a
台木3	マグネット	5.9 a	575 a
台木4	影武者	6.1 a	589 a

注1) 同一英小文字は, Tukey法により5%水準で有意差なし. n=2.



第17図 栽培跡地の土壤中硝酸態窒素量(反復1:2004年)

強い吸肥力（「吸肥力」は一般に園芸学で使用される語彙であるが、土壌肥料学的には「養分吸収力」と考えられる）^{2,55,97,103,111)}によって、接ぎ木栽培では自根栽培より高い減肥効果が得られるという仮説の検証である。ここでは、4品種の台木を供試して、接ぎ木栽培における栄養診断に基づく追肥が施肥窒素量および収量・品質に及ぼす影響を自根栽培と比較した。ここでは、台木の吸肥力の違いを比較するため、2つの種苗会社から、吸肥力の異なるとされる2品種の台木をそれぞれ選定した。

その結果、診断基準値を硝酸濃度 $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ とした栄養診断に基づいて追肥を行うと、最も硝酸濃度が低下する収穫始期から摘心期においても $1,000 \sim 2,000 \text{ mg L}^{-1}$ に維持することができた（第22図）。しかもその収量は全処理区で有意差は無く、本作型の目標収量⁹⁾である約 12 Mg ha^{-1} （株当たり約 $5,500\text{g}$ ）を確保できた。このように、トマト半促成栽培の栄養診断に基づく追肥法は、接ぎ木栽培においても適応できることが明らかとなった。

本試験における追肥窒素量は、自根区の 105 kg ha^{-1} に対して、各台木区で $60 \sim 68 \text{ kg ha}^{-1}$ と有意に減少した（第19表）。その結果、総施肥窒素量は、自根区の 180 kg ha^{-1} に対して、各台木区では $135 \sim 143 \text{ kg ha}^{-1}$ となり、 $21 \sim 25\%$ の減肥となった。また、栽培跡地の土壌中硝酸態窒素量は、深さ $0 \sim 30 \text{ cm}$ 層では自根区および各台木区ともほぼ同等であったが、深さ $30 \sim 60 \text{ cm}$ 層では自根区に比べていずれの台木区も少なかった（第17図）。これは、台木が自根に対して施肥窒素を含めた下層の土壌窒素を効率よく吸収・利用したためと考えられた。

甲田・荻原⁵⁹⁾は、トマトに台木を利用すると草勢が旺盛になり果

実の小玉化や品質の低下を招くので、自根栽培より施肥を控えて草勢をコントロールする必要があるとしている。本試験では、台木を利用しての栄養診断に基づいた追肥により過剰な施肥が回避され、栄養成長に偏ることなく、生殖成長とのバランスが保たれたことで、収量を維持しつつ減肥が可能になったと考えられた。

著者は、台木の吸肥力の強さが接ぎ木栽培における高い減肥効果の要因とすれば、台木の中でも吸肥力の強い品種の方が効果は高いと推測したが、実際には台木品種間で有意差は認められなかった。種苗会社によると、台木の吸肥力は同一ほ場の同一施肥条件における作物の草勢の強さで評価するとしている。今回の試験ほ場では除塩作業を行ったため、現地ハウス土壌と比較して極めて土壌窒素が少なく、種苗メーカーの設定した条件よりも低い窒素レベルであったため、草勢が旺盛にならず、品種間差が明確に現れなかったと考えられた。

さらに、吸肥力に関しては、根部の影響を指摘する報告が見られる。田中・佐藤^{110,111)}、田中・嶋田¹¹²⁾および鈴木・森下¹⁰³⁾は、キャベツあるいはナスにおいて吸肥力の強弱は、根群域の深さ、および根量の多少に関連があると指摘している。本試験では、栽培跡地 30～60cm 層の土壌中硝酸態窒素が各台木区で自根区より明らかに減少していたが、根部の調査を行っておらず、根群の発達との関連は検討できなかった。

以上のように、トマト接ぎ木栽培では、汁液栄養診断に基づく追肥を実施すると、生育、収量および品質は低下せずに、総施肥窒素量は、台木品種に関わらず自根栽培に比べて 21～25% の減肥となることが明らかになった。これは、土壌中硝酸態窒素を効率よく吸

収・利用できる台木の吸肥力の強さに起因するものと考えられた。

なお、トマト台木の品種間の吸肥力の相違と減肥率との関連について、土壌残存窒素の多い条件で、根群域の調査を加えて解析する必要がある。

Ⅲ－３ 汁液栄養診断に基づく追肥法の現地実証

1. 緒言

Ⅲ－１では、トマト半促成の自根栽培において汁液栄養診断基準¹⁰⁾に基づく追肥により、大幅な減肥が可能であることを明らかにし、これはトマトが土壌中硝酸態窒素を有効に利用することに起因すると結論づけた。さらに、栄養診断に基づく追肥による施肥量削減を効果的に行うために、施肥前の土壌中硝酸態窒素量によって基肥量を調節することを提唱した。

本研究では、トマト半促成の自根栽培においてリアルタイム栄養診断に基づく追肥により、標準収量を維持した上で減肥が可能であることを実証するために、現地農家ほ場で試験を行った。併せて、葉柄汁液中硝酸濃度の測定について、小型反射式光度計^{107,121)}に比べて、取り扱いがより簡便な硝酸イオン試験紙⁹⁰⁾の適用性を検討した。

2. 材料および方法

1) 試験場所

試験は千葉県市川市のT農家およびO農家の施設ほ場で行った。T農家では連棟のビニールハウス(260 m²)を、O農家ではガラスハウス(面積 1,200 m²)を使用した。ハウス内土壌はいずれも表層腐植

質黒ボク土であった。

2) 試験設計

施肥処理は、各農家の慣行に基づく慣行追肥区と、葉柄汁液中硝酸濃度が基準値 ($2,000 \text{ mg L}^{-1}$) を下回った場合に施肥する栄養診断追肥区を設けた(第 22 表)。T 農家の慣行追肥区は、基肥窒素 300 kg ha^{-1} とし、追肥窒素 20 kg ha^{-1} を 2 回施用した。また、基肥前に馬ふん堆肥を 40 Mg ha^{-1} 施用した。O 農家の慣行追肥区は、基肥窒素 160 kg ha^{-1} とし、追肥窒素 30 kg ha^{-1} を 2 回施用した。一方、基肥前に堆肥は施用しなかった

3) 栽培法

両農家のトマト半促成栽培の耕種概要を第 23 表に示した。T 農家では、供試品種は‘サンロード’ (サカタのタネ)、播種は 2000 年 10 月 15 日、定植は 12 月 23 日とした。栽培密度は、条間 150 cm、株間 40 cm で整枝はつるおろし仕立 14 段どりとした。試験区は、各 40 株 (24.0 m^2) を供試した。そのうち、20 株を対象に栄養診断および収量調査を行った。栄養診断は 2001 年 3 月 15 日から 6 月 21 日まで毎週 1 回行った。収穫期間は 5 月 5 日～7 月 13 日であった。

O 農家では、供試品種は‘桃太郎’ (タキイ種苗)、播種は 2000 年 10 月 25 日、定植は 2001 年 1 月 5 日とした。栽培密度は、条間 130 cm、株間 40 cm で整枝は U ターン仕立 14 段どりとした。試験区は、各 40 株 (20.8 m^2) を供試した。そのうち、20 株を対象に栄養診断および収量調査を行った。栄養診断は 2001 年 2 月 22 日から 6 月 21 日まで毎週 1 回行った。収穫期間は 4 月 5 日～7 月 11 日であった。

4) 収量調査法

トマトの収量調査は、各農家とも収穫期間中毎週 3 回行った。収

第22表 施肥設計

農家	試験区	堆肥*	基肥窒素 (kg ha ⁻¹)	追肥窒素 (kg ha ⁻¹)
T	慣行追肥	有	300	20×2回
	栄養診断追肥	有	300	汁液診断**
O	慣行追肥	無	160	30×2回
	栄養診断追肥	無	160	汁液診断**

*堆肥は、美駒グリーン(馬ふん堆肥: N-P₂O₅-K₂O = 1.1-0.6-1.8) 施肥量は、40 Mg ha⁻¹

**汁液診断は、汁液の硝酸濃度が2,000 mg L⁻¹を下回ったときに、T農家20 kg ha⁻¹、O農家30 kg ha⁻¹を追肥

第23表 トマト半促成栽培の耕種概要

農家	供試品種	播種	定植	栄養診断期間	収穫果房
T	サンロード	2000年	2000年	2001年	段位 14
		10月15日	12月23日	3月15日～6月21日	
O	桃太郎	2000年	2001年	2001年	14
		10月25日	1月5日	2月22日～6月21日	

穫物は園芸作物出荷規格³⁾に基づき農家が上物と下物に分けて重量を調査した。調査株数は両農家とも各区 20 株とした。

5) 栄養診断法

栄養診断のための試料採取は、既法¹⁹⁾に準じて行なった。具体的には、ピンポン玉程度（直径 2～4 cm）に肥大した果房直下の葉の中央に位置する小葉を、20 株の中からランダムに 7～10 枚程度採り、その葉柄汁液をニンニク搾り器で採取した。

硝酸濃度は、硝酸イオン試験紙（メルコクアント試験紙、メルク社製、測定範囲：0～500 mg L⁻¹）を用いて測定した。付属の 0, 10, 25, 50, 100, 250, 500 mg L⁻¹の各チャートの色と硝酸イオン試験紙の発色程度を比較した。さらに各チャート毎に+（プラス：やや濃い）と-（マイナス：やや薄い）を目視で細分化した。具体的には、チャート 100 mg L⁻¹とチャート 250 mg L⁻¹間では、チャート 100 mg L⁻¹の色よりやや濃いと判定した場合に 150 mg L⁻¹、チャート 250 mg L⁻¹の色よりやや薄いと判定した場合に 200 mg L⁻¹とした。

硝酸イオン試験紙の場合、最も目視判定がしやすいと考えられた 50 mg L⁻¹のチャート色に栄養診断の基準値 2,000 mg L⁻¹を合わせるために、葉柄汁液を 40 倍に希釈した。すなわち、採取した葉柄汁液を樹脂製の 2 mL 駒込ピペットで 1.0 mL 採って 50 mL ビーカーに入れ、ビーカーの目盛りを利用して精製水で 40 mL に希釈した。

また、同一サンプルを小型反射式光度計（RQ フレックスシステム、メルク社製、測定範囲：5～225 mg L⁻¹）でも測定した。測定範囲の関係から希釈倍率を 50 倍または 100 倍とした。

6) 土壌調査法

土壌は、施肥前と収穫終了後に、ベッド中央部の深さ 0～90 cm

について 15 cm 層毎に各区 2 カ所から採取し，各層毎に混和して 1 サンプルとした．硝酸態窒素濃度は，生土 20 g に 100 mL の蒸留水を加えて 30 分間振とうし，ろ過後，オートアナライザー（トラックス 800：ブランルーベ社製）により分析した．

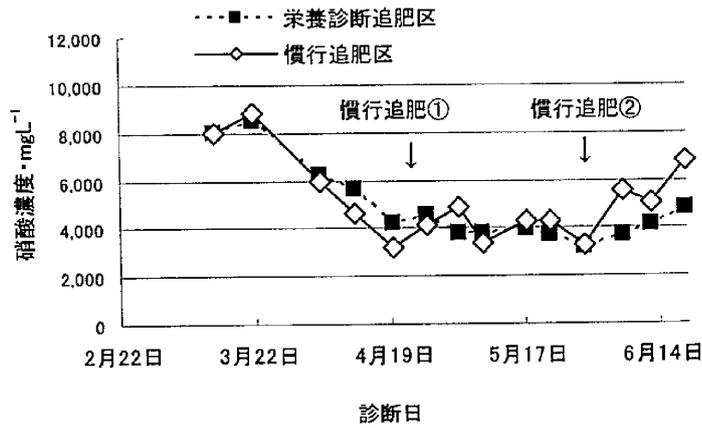
3. 結果

1) 栄養診断に基づく追肥が施肥窒素量と収量に及ぼす影響

T 農家におけるトマト葉柄汁液中硝酸濃度推移および追肥時期を第 18 図に示した．硝酸濃度は，慣行追肥区および栄養診断追肥区のいずれも $3,000 \text{ mg L}^{-1}$ 以上で推移した．その結果，慣行追肥区では 2 回追肥したのに対して，栄養診断追肥区では追肥を行わなかった．T 農家における収量は，上物収量および総収量のいずれも，慣行追肥区と栄養診断追肥区が同等であった．（第 19 図）．

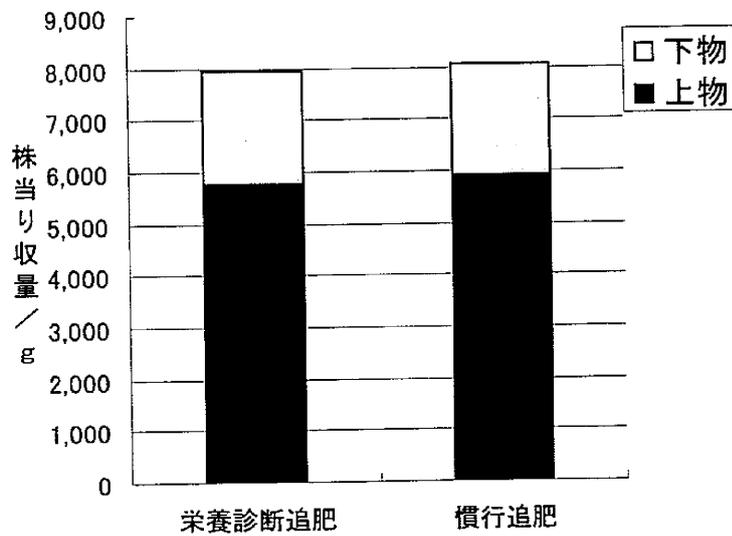
O 農家におけるトマト葉柄汁液中硝酸濃度推移および追肥時期を第 20 図に示した．栄養診断追肥区では 6 月 7 日に基準値を下回ったため追肥を行った．最終的には，追肥は慣行追肥 2 回に対し，栄養診断追肥区では 1 回となった．O 農家におけるトマト収量は，上物収量および総収量のいずれも，慣行追肥区と栄養診断追肥区が同等であった（第 21 図）．

T 農家におけるトマト栽培前後の土壌中硝酸態窒素を第 22 図に示した．施肥前の硝酸態窒素は，0～60 cm で 200 mg kg^{-1} 以上，60～90 cm で 300 mg kg^{-1} 以上あった．栽培終了後は，慣行追肥区および栄養診断追肥区とも 0～75 cm で 300 mg kg^{-1} 以上と増加した．しかし，表層 0～15 cm の土壌中硝酸態窒素量は，慣行追肥区が 620 mg kg^{-1} に対し，栄養診断追肥区で 350 mg kg^{-1} と明らかに少なかった．

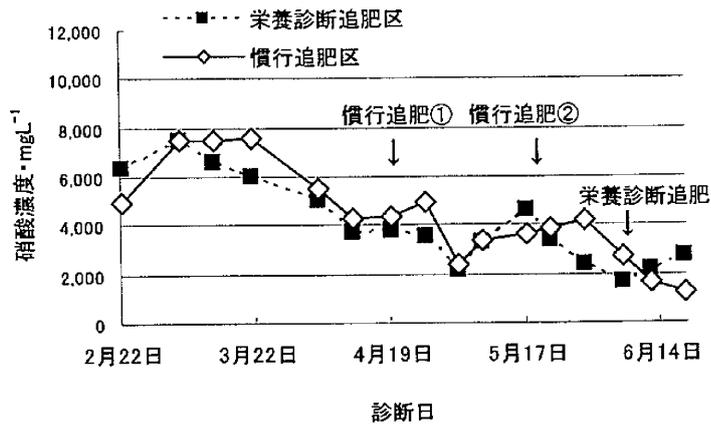


第18図 T農家におけるトマト葉柄汁液中硝酸濃度推移および追肥時期(2001年)

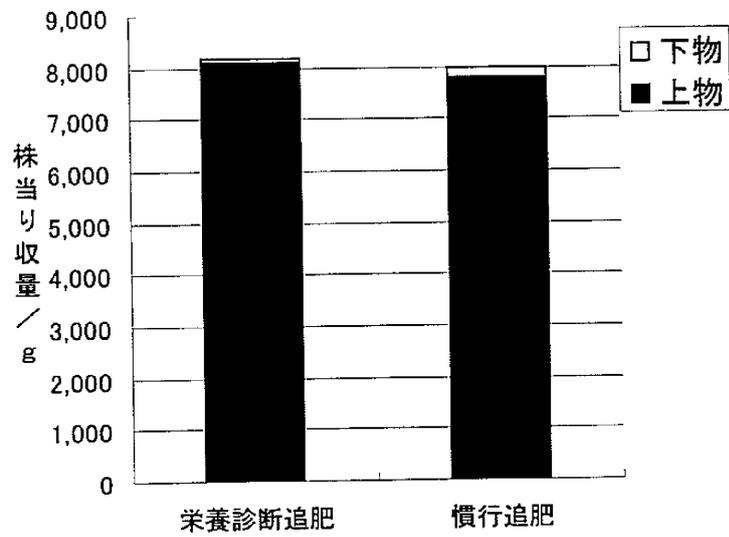
注) 栄養診断区は追肥なし。



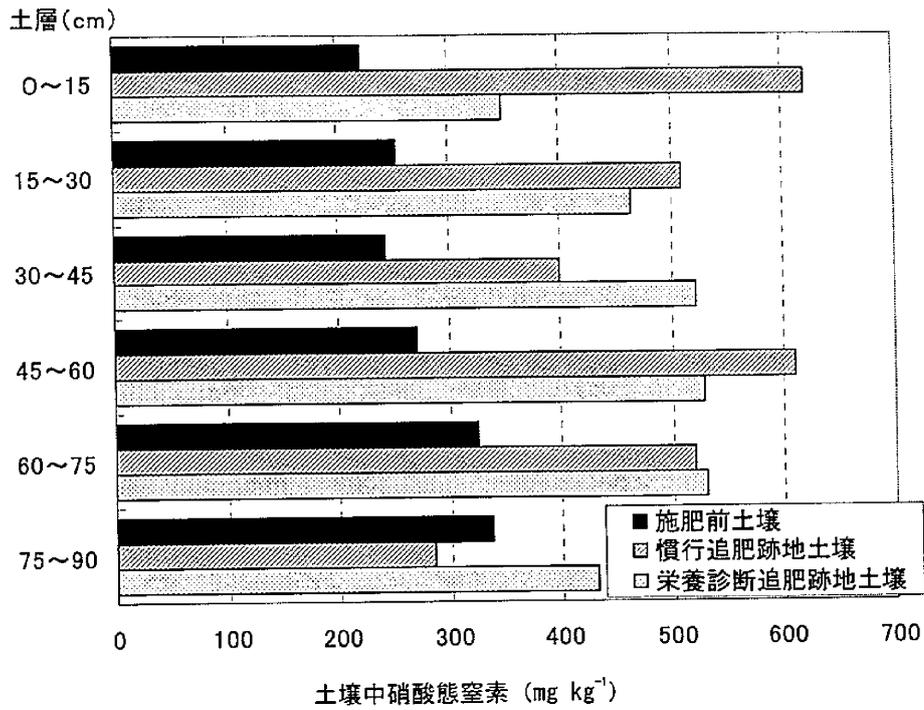
第19図 T農家の栄養診断に基づく追肥におけるトマトの収量



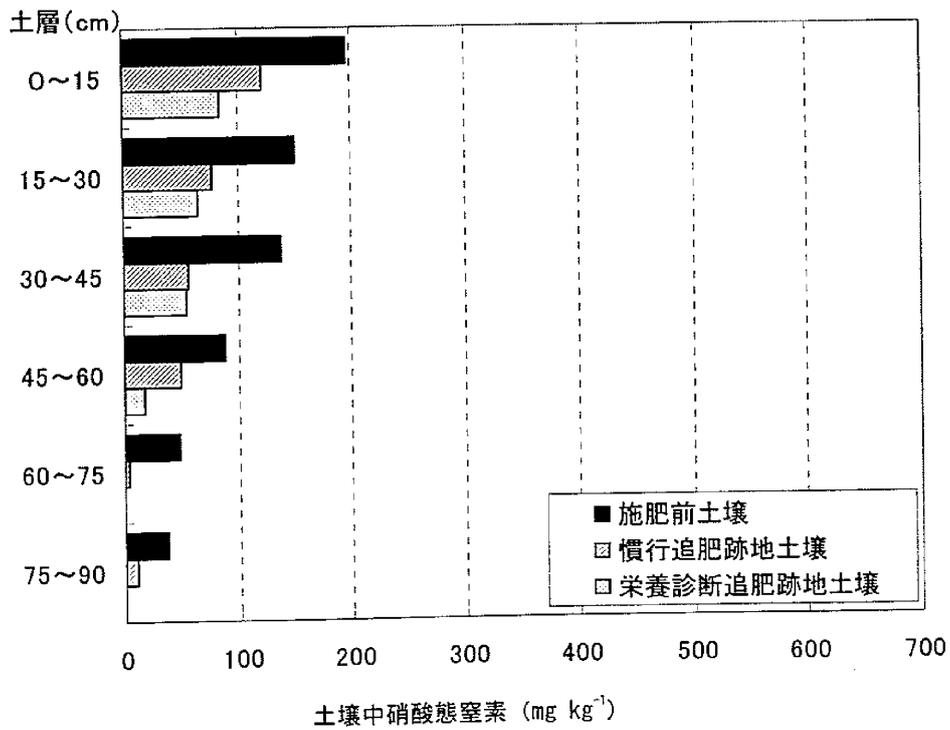
第20図 O農家におけるトマト葉柄汁液中硝酸濃度推移および追肥時期(2001年)



第21図 O農家の栄養診断に基づく追肥におけるトマトの収量



第22図 T農家におけるトマト栽培前後の土壤中硝酸態窒素



第23図 O農家におけるトマト栽培前後の土壤中硝酸態窒素

0 農家におけるトマト栽培前後の土壤中硝酸態窒素を第 23 図に示した。施肥前の硝酸態窒素は、0～60 cm 層で 90～190 mg kg⁻¹、60～90 cm 層で 40～50 mg kg⁻¹ で下層にいくほど低下した。栽培終了後では、慣行追肥区は 0～60 cm 層で 50～120 mg kg⁻¹、60～90 cm 層で 5～10 mg kg⁻¹ であったのに対し、栄養診断追肥区は 0～60 cm 層で 20～80 mg kg⁻¹、60～90 cm 層では検出されず、慣行追肥区より低い値であった。

以上のように、両農家ともトマトの収量は、慣行追肥区と栄養診断追肥区が同等であったが、追肥量は慣行追肥区に比べ栄養診断追肥区が 0～50 % と減少した。また、栽培終了後の土壤中硝酸態窒素は、慣行追肥区に比べ栄養診断追肥区が明らかに少なかった。

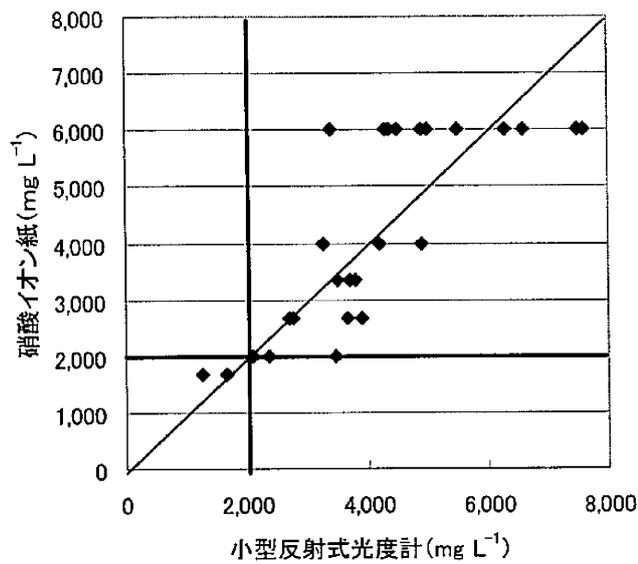
2) 葉柄汁液中硝酸濃度測定法の小型反射式光度計と

硝酸イオン試験紙との比較

小型反射式光度計による汁液中硝酸濃度と硝酸イオン試験紙の判定結果との関係を第 24 図に示した。

硝酸イオン試験紙の色は、小型反射式光度計による測定値が高いほど赤紫色がより濃くなった。硝酸イオン試験紙のチャート 50 mg L⁻¹ (原液 2000 mg L⁻¹) を基準とした赤紫の発色程度による硝酸濃度の判定は容易であり、かつ、小型反射式光度計の結果とよく一致した。

一方、100 mg L⁻¹ (原液 4,000 mg L⁻¹) 以上のチャートの色は赤紫色がかなり濃く、目視による濃度判定が難しかった。硝酸イオン紙の比色段階は、0,10, 25, 50, 100, 250, 500 mg L⁻¹ であり、高濃度域ほど間隔が広がる。したがって、高濃度域でばらつくのをやむを得ないが適切なチャート域 (ここでは 50 mg L⁻¹) では誤った判定をする可能性は低かった。



第24図 小型反射式光度計による汁液中硝酸濃度と硝酸イオン試験紙の判定結果との関係

- 注1) データは、O農家の慣行追肥区と栄養診断追肥区による。
- 注2) 表示は汁液濃度としての換算値。
- 注3) 硝酸イオン紙は、各チャート毎に+(プラス:やや濃い)と-(マイナス:やや薄い)に目視で細分化した。すなわち、 100mgL^{-1} と 250mgL^{-1} のチャート間では、 100mgL^{-1} よりやや濃い場合を 150mgL^{-1} 、 250mgL^{-1} よりやや薄い場合を 200mgL^{-1} と判定した。

4. 考察

著者は、栄養診断に基づく追肥法を用いることにより収量性を維持しつつ減肥になることを現地農家は場で実証しようとした。その中で特に、土壌中硝酸態窒素が施肥前と栽培後でどのように変化するかを検討した。

現地2農家の施肥前の土壌中硝酸態窒素量は、T農家の0～60 cm層では200 mg kg⁻¹以上、一方、O農家の0～60 cm層では90～190 mg kg⁻¹と極端に異なっていたが、基肥窒素量をあえて変更せず各農家慣行量を施用し、栄養診断に基づく追肥を行った。その結果、T農家では、施肥前の土壌中硝酸態窒素が多量に残存するにも関わらず、県の標準基肥の2倍に当たる300 kg ha⁻¹の窒素肥料および馬ふん堆肥40 Mg ha⁻¹を投入したところ、葉柄汁液の硝酸濃度は常に3,000 mg L⁻¹以上で推移し、栄養診断追肥区では追肥が必要なかった。千葉県の本作型の施肥基準⁹⁾は、基肥窒素150 kg ha⁻¹と追肥窒素160 kg ha⁻¹の合計310 kg ha⁻¹であること、さらに、本作型のトマトの窒素吸収量は250～280 kg ha⁻¹程度^{45,118)}と推定されることを考慮すると、T農家では、必要以上の多量の窒素が施用されたと考えられる。これは、栽培跡地の土壌中硝酸態窒素が、施肥前より深さ0～75 cmのいずれの層でも大幅に増加した(第22図)ことから推察される。

一方、O農家の栄養診断追肥区は基肥窒素160 kg ha⁻¹と追肥窒素30 kg ha⁻¹の合計190 kg ha⁻¹で、県施肥基準の310 kg ha⁻¹より少ないものの、収量が慣行追肥区と同等の約160 Mg ha⁻¹で、同作型の県標準収量(14段どりで140～170 Mg ha⁻¹)に達していた。

この場合、O農家の栄養診断追肥区では葉柄汁液の硝酸濃度が1,000 mg L⁻¹以下になることは無かった。このことは、硝酸濃度が最も

低下する収穫期にも $1,000 \text{ mg L}^{-1}$ を確保できれば収量維持と減肥の両者を満足できることを示した前報¹²⁸⁾の結果を裏付ける。

また、栄養診断追肥区の栽培跡地土壤中硝酸態窒素量は $0 \sim 90 \text{ cm}$ のいずれの層でも施肥前より明らかに減少した（第 23 図）。このことは、栄養診断に基づく追肥により適正な施肥が行われ、トマト作付け前の土壤中硝酸態窒素が有効に利用された結果であると考えられる。さらに、慣行追肥区の跡地土壤中硝酸態窒素が、栄養診断施肥区と比べて $0 \sim 90 \text{ cm}$ のいずれの層でも多いことから、慣行追肥区の追肥窒素 1 回分である 30 kg ha^{-1} は過剰であったと判断された。

次に、農家ほ場における硝酸濃度の測定方法として、小型反射式光度計と比べて取り扱いが簡便な硝酸イオン試験紙の利用が可能であるかを検討した。

六本木⁹⁰⁾は、硝酸イオン試験紙を用いて汁液の正確な値を判断するには 100 mg L^{-1} 以下のチャートの色で判定すべきで、そのレベルになるように純水で希釈する必要があるとしている。これに対して筆者は、目視判断のポイントとして濃度判定がしやすいと考えられる 50 mg L^{-1} の発色に着目し、診断基準が $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ であることから、葉柄汁液の希釈倍率を 40 倍とした。

同一サンプルについて小型反射式光度計の測定値と硝酸イオン試験紙の測定を比較すると、 50 mg L^{-1} のチャート色（図中の $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ ）を基準とした赤紫の発色程度による硝酸濃度の判定は容易で、小型反射式光度計による測定結果とほぼ一致した（第 24 図）。一方、 100 mg L^{-1} 以上のチャート色（図中の $4,000 \text{ mg L}^{-1}$ ）では赤紫の発色が濃くて目視による硝酸濃度の判定が難しく、小型反射式光度計の測定結果とも一致しなかった。しかし、汁液原液で 4000 mg L^{-1} に相当する濃度域

は実際の追肥有無の判定には関係しない。硝酸イオン紙の比色段階は、高濃度域ほど間隔が広がる。それゆえ、適切な判断チャート域があると考えられる。今回、40倍の希釈率と50 mg L⁻¹のチャート色を基準とした判定を用いれば、間違った追肥有無の判定をする可能性は低いと考えられた。さらに、測定に使用する器具が、駒込ピペットとビーカーのみであることから、現地ほ場における汁液中硝酸濃度の測定には、取り扱いが簡便で、かつ安価な硝酸イオン試験紙が適していると考えられた。

郡司掛^{18,19)}が指摘するように、栽培が長期にわたる作物では、過剰施肥に伴い硝酸態窒素が土壌に多量に残存し、その量によっては作物の生育や収量に影響を及ぼすのを無視できないと考えられる。現地T農家では、施肥前の残存窒素が多量に存在するにも関わらず、千葉県基準窒素基肥量の2倍程度施用していた。現在のところトマトに明らかな過剰障害は発生していないものの、環境負荷や経費削減の観点から改善を要すると考えられる。

今回、対象とした2農家は、いずれも半促成トマトと抑制キュウリを組み合わせた体系で、同一ハウスで20年以上栽培を続けている。千葉県の施肥基準⁹⁾によると抑制キュウリの施肥基準は、基肥窒素150 kg ha⁻¹と追肥窒素120 kg ha⁻¹の合計270 kg ha⁻¹である。トマト作で過剰施肥のT農家では、キュウリの基肥窒素は無施用とし、追肥窒素は経験と勘に基づいて施用している。おそらく、トマトでの過剰施肥分をキュウリで吸収することにより、跡作土壌の残存窒素を200～300 mg kg⁻¹程度まで減少させていると推測される。年間を通じると過剰障害が発生しない程度に推移しているものの窒素過剰気味であり、その結果として土壌中硝酸濃度が高く推移しているこ

とは否めない。一方、0農家の基肥窒素はトマトとキュウリのいずれも県標準施肥とほぼ同等量を施用し、追肥窒素は経験と勘に基づいて施用していた。その結果、トマトの施肥前土壌の残存窒素は、0～60 cm層で140～190 mg kg⁻¹程度におさまったと考えられた。

本試験では現地試験という制約から追肥窒素についてのみ検討したが、基本的には施肥前の土壌残存窒素を考慮して基肥窒素の施用量を削減する必要がある¹²⁸⁾、施肥前の残存窒素が多ければさらなる減肥が可能であろう。その結果、土壌中硝酸態窒素を低いレベルに保つことができれば、作物が本来必要とする時期に必要な量だけ施肥する効率的な施肥に収束することが期待される。このことは1990年代に国内で最初に作物栄養診断の研究に着手した六本木⁸⁹⁾の、施設栽培において養分富化のない効率的な施肥管理の手段として汁液栄養診断を位置づけようとする考えと一致する。

最後に、今回対象とした2農家は栽培歴が20年以上と長く、これまでどおり経験と勘により追肥の判断ができると考えており、栄養診断を行う必要性を感じてはいない。このように、認識のないまま極端な多肥栽培が行われている場合も多いと考えられる。汁液栄養診断に基づく施肥法は、科学的根拠に基づく減肥技術であり、これらのデータは現地農家に施肥の改善を強く促す根拠として、今後、利用されることを期待する。

第Ⅳ章 ダイコンにおける土壌残存窒素を考慮した

窒素肥料低減化技術

1. 緒言

千葉県秋まき年内どりダイコンの前作には、スイカ、ニンジン等が作付けされ、収穫後の土壌残存無機態窒素（以下、残存窒素とする）が多いことが指摘されている⁶⁹⁾。したがって、これら残存窒素を利用した施肥は、ダイコンの収量を維持しつつ窒素施肥量を削減する方法として有効と考えられる。また、本作型は9月上旬から下旬に播種し、11月上旬から12月上中旬にかけて収穫されるため、播種期の違いが窒素施肥量に強く影響する。すなわち、9月上旬播種では、根部肥大期が適温であるため、施肥基準相当量でよいが、9月下旬播種では、根部肥大期が低温期に当たるため、施肥基準量以上の窒素が必要であることが現地事例を基に報告されている⁷⁰⁾。

以上のような背景から、本研究は、残存窒素を考慮した秋まき年内どりダイコンの播種期別の好適窒素施肥量について検討した。

2. 材料および方法

(1) 残存窒素を考慮した好適窒素施肥量の決定（場内試験）

1) 試験場所および土壌

試験は、千葉市緑区大膳野町にある千葉県農業総合研究センター生産環境部環境機能研究室ほ場で実施した。供試ほ場の土壌は、表層腐植質黒ボク土である。

2) 試験区の構成

試験区は、2000年9月中旬および下旬播種では、残存窒素と施肥

窒素の合計量で 30 kg ha⁻¹ 区, 60 kg ha⁻¹ 区, 90 kg ha⁻¹ 区, 120 kg ha⁻¹ 区および 150 kg ha⁻¹ 区の 5 区を設定した。同様に, 2001 年 9 月上旬播種では, 残存窒素のみ区, 30 kg ha⁻¹ 区, 60 kg ha⁻¹ 区, 90 kg ha⁻¹ 区および 120 kg ha⁻¹ 区の 5 区を設定した (第 24 表)。なお, 試験区の窒素量の設定にあたっては, 千葉県施肥基準⁹⁾から秋播秋冬どりダイコンの窒素施肥基準量 90 kg ha⁻¹を参考にした。さらに, 各区にそれぞれマルチ処理の有無を設け, 合計 10 処理区とした。試験は, 供試面積を 1 区 30 m²で 2 反復とした。

残存窒素は, 土壌の仮比重を 0.67 とし, 0 ~ 15 cm 層の土壌中無機態窒素量 (mg kg⁻¹) を施肥窒素相当量 (kg ha⁻¹) として換算した。供試肥料は, CDU 化成 (N-P₂O₅-K₂O=15-15-15) とし, リン酸および加里は, それぞれ BM 熔リンおよび硫酸加里で各区 150 kg ha⁻¹となるように調整した。

3) 供試品種および耕種概要

品種は, ‘秋いち’ (タキイ種苗) を用いた。播種期は, 9 月上旬播種が 2001 年 9 月 5 日, 9 月中旬播種が 2000 年 9 月 14 日, 9 月下旬播種が 2000 年 9 月 25 日とした。栽植密度は, 無マルチ区では, 条間 60 cm 1 条, 株間 30 cm (55,556 株 ha⁻¹), マルチ区では, ベッド幅 70 cm 2 条, 株間 30 cm (51,280 株 ha⁻¹) とした。マルチ資材は, 厚さ 0.2 mm の透明ポリフィルム (9230 透明: みかど加工, 東京) を使用した。間引きは, 各播種期とも播種後約 14 日目に行った。収穫は, 2001 年 9 月上旬播種が 11 月 8 日, 2000 年 9 月中旬播種が 11 月 14 日, 2000 年 9 月下旬播種が 12 月 8 日に行った。

4) 収穫物調査および土壌分析

ダイコンは, 各収穫日毎に 1 区 20 本ずつ抜きとり, 洗浄後, 葉

第24表 場内ほ場における各試験区の残存窒素と施肥窒素

試験区 合計窒素	2000年		2001年	
	残存窒素	施肥窒素	残存窒素	施肥窒素
150	27	123	—	—
120	27	93	25	95
90	27	63	25	65
60	27	33	25	35
30	27	3	25	5
残存窒素のみ	—	—	25	0

注1) 合計窒素は、残存窒素 (kg ha^{-1}) と施肥窒素 (kg ha^{-1}) を加えた。

注2) 残存窒素は、施肥前の0~15cm層の土壤中無機態窒素量 (mg kg^{-1}) を施肥窒素相当量 (kg ha^{-1}) に換算。

注3) 2000年は9月中旬および下旬播種，2001年は9月上旬播種における試験区である。

注4) 2000年は残存窒素のみ区を設定せず，2001年は150区を設定せず。

部と根部に切断し生体重を測定した。調査は、千葉県調査基準¹³⁾に準じた。

施肥7日前に深さ0～15 cmの土壌を1区3カ所から採取し、1つにまとめて分析試料とした。土壌中無機態窒素は、生土20 gに100 mLの蒸留水を加えて30分間振とうし、濾過後、オートアナライザー（トラックス800：ブランルーベ社製）法により分析した。

(2) 残存窒素を考慮した好適窒素施肥量の現地実証（現地試験）

1) 試験場所

現地実証試験は、山武郡山武町の農家3戸（U、S、T）のほ場（表層腐植質黒ボク土）で2000年～2001年に行った。各農家の残存窒素量は前作の違いで異なり、U農家は、前作が2000年はサツマイモ、2001年はソルゴーで、残存窒素量15～17 mg kg⁻¹で‘少’、S農家は、ニンジンとズッキーニで、残存窒素量57～72 mg kg⁻¹で‘中’、T農家は、スイカ連作で、残存窒素量162～198 mg kg⁻¹で‘多’であった。

2) 試験区の構成

試験区は、各農家に以下の3区を設定した（第25表）。①農総研基準区：残存窒素と施肥窒素の合計量12kg ha⁻¹施用。②農家慣行区：残存窒素と各農家慣行施肥窒素の合計量を施用。③無施肥区：施肥窒素なしで残存窒素のみ。なお、T農家は2年間とも、残存窒素量が農総研基準区の設定量を上回ったので、②、③の2区で試験を実施した。残存窒素は、試験1の場内試験と同様に算出した。作型は、9月下旬播種の年内どりとした。

3) 供試品種および耕種概要

品種は‘秋いち’（タキイ種苗）を用いた。肥料は、U農家では‘味好1号’（N-P₂O₅-K₂O=6-8-4）、S農家およびT農家では‘ガンマ有

第25表 農家ほ場における前作と各試験区の窒素施肥設計

	試験区	U農家	S農家	T農家
2000年	農総研基準	120 (105)	120 (63)	- -
	農家慣行	65 (50)	147 (90)	202 (40)
	無施肥 (前作)	15 (0) (サツマイモ)	57 (0) (ニンジン)	162 (0) (スイカ)
2001年	農総研基準	120 (103)	120 (48)	- -
	農家慣行	77 (60)	132 (60)	238 (40)
	無施肥 (前作)	17 (0) (ソルゴー)	72 (0) (ズッキーニ)	198 (0) (スイカ)

注1) 無施肥区の窒素量は、施肥前の0~15cm層の土壤中無機態窒素量 (mg kg^{-1}) を施肥窒素相当量 (kg ha^{-1}) に換算。

注2) () 内の数値は、施肥窒素量 (kg ha^{-1})。

注3) 供試肥料は、U農家では‘味好1号’ (N-P₂O₅-K₂O=6-8-4)、S農家およびT農家では‘ガンマ有機’ (N-P₂O₅-K₂O=5-6-1)。

機' (N-P₂O₅-K₂O=5-6-1) の各配合有機質資材を施用した。播種期は、2000年および2001年とも9月27～30日で、いずれもマルチ栽培とした。マルチの規格は、試験1の場内試験に準じた。

4) 収穫物調査および土壌分析

収穫物調査は、農家の出荷時期にあわせて、2000年播種ではML級(900 g)を基準として2000年12月13日に、2001年播種ではL級(1,000 g)を基準として2002年1月13日に行った。調査個体数、調査項目および土壌分析方法は、試験1の場内試験に準じた。

3. 結果

(1) 残存窒素を考慮した好適窒素施肥量の決定(場内試験)

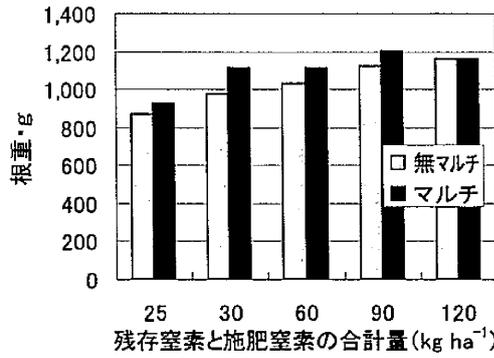
9月上旬播種におけるダイコンの根重は、残存窒素と施肥窒素の合計量が30 kg ha⁻¹以上のマルチ区、60 kg ha⁻¹以上の無マルチ区およびマルチ区で、L級に区分される1,000 g以上となった(第25図)。

9月中旬播種におけるダイコンの根重は、残存窒素と施肥窒素の合計量が60 kg ha⁻¹以上のマルチ区および無マルチ区で1,000 g以上となった(第26図)。

9月下旬播種におけるダイコンの根重は、残存窒素と施肥窒素の合計量が90 kg ha⁻¹以上のマルチ区で1,000 g以上となったが、無マルチ区では残存窒素と施肥窒素の合計量の多少に関わらず1,000 gの根重を得られなかった(第27図)。

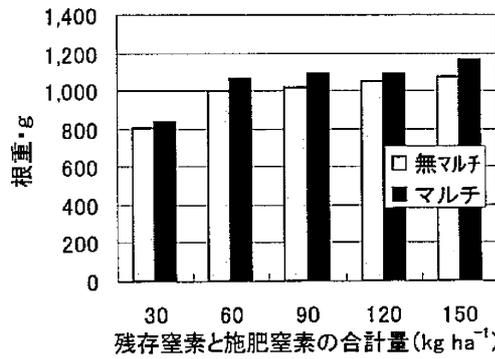
(2) 残存窒素を考慮した好適窒素施肥量の現地実証(現地試験)

2000年におけるU農家の根重は、農総研基準区では950 g、農家慣行区では910 gで、ML級である900 g以上のダイコンが得られたが、無施肥区では745 gであった(第26表)。葉重は、農総研基準区228 g、



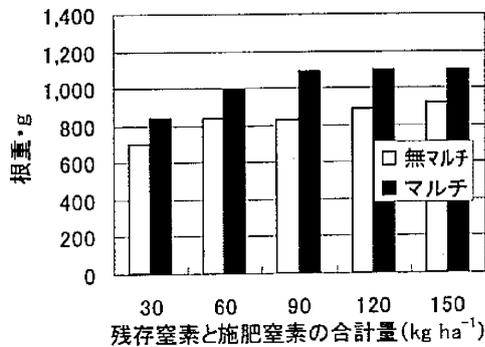
第25図 9月上旬播種におけるダイコンの平均根重

(播種：2001年9月5日 収穫：11月8日)
注) 1区当たり20本調査.



第26図 9月中旬播種におけるダイコンの平均根重

(播種：2000年9月14日 収穫：11月16日)
注) 1区当たり20本調査.



第27図 9月下旬播種におけるダイコンの平均根重

(播種：2000年9月25日 収穫：12月8日)
注) 1区当たり20本調査.

第26表 現地ほ場におけるダイコンの生育(2000年)

農家	試験区	葉数 (枚)	葉長 (cm)	根長 (cm)	根径 (mm)	葉重 (g)	根重 (g)	葉色
U	農総研基準	24.6	41.7	33.7	71.1	228	950	31.8
	農家慣行	25.3	41.9	32.5	70.8	248	910	33.8
	無施肥	24.8	39.7	30.7	65.8	192	745	29.4
S	農総研基準	26.4	40.9	33.5	70.4	255	913	32.8
	農家慣行	25.3	40.1	31.8	71.8	241	918	34.3
	無施肥	26.6	41.0	31.4	69.0	260	802	31.6
T	農家慣行	27.1	42.9	33.9	70.3	274	887	30.9
	無施肥	26.4	41.2	34.3	69.8	259	879	31.5

注1) ダイコンの調査は20本で行い、表中数値は1本当たりの平均値。

注2) 葉色は葉緑素計 (SPAD-502、ミノル製) による測定値。

第27表 現地ほ場におけるダイコンの生育(2001年)

農家	試験区	葉数 枚	葉長 cm	根長 cm	根径 mm	葉重 g	根重 g	葉色
U	農総研基準	16.1	33.7	35.7	73.1	138	1127	24.0
	農家慣行	15.6	31.0	33.3	70.2	114	944	21.5
	無施肥	13.0	29.4	30.3	66.1	84	767	22.1
S	農総研基準	15.9	33.5	34.8	71.7	133	1053	23.7
	農家慣行	15.5	34.1	34.5	69.9	137	1041	24.3
	無施肥	15.6	35.8	32.7	69.4	149	908	25.0
T	農家慣行	15.4	38.4	34.5	71.7	170	946	26.9
	無施肥	17.5	38.0	34.0	71.0	196	931	30.1

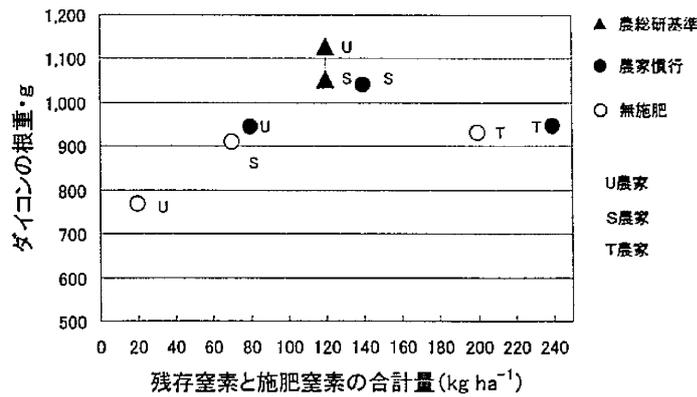
注) 第26表と同じ。

農家慣行区 248 g, 無施肥区 192 g であった。S 農家の根重は, 農総研基準区では 913 g, 農家慣行区では 918 g であり, ML 級のダイコンが得られたが, 無施肥区では 802 g であった。葉重は, 241 ~ 260 g で区間差は小さかった。T 農家の根重は, 農家慣行区では 887 g, 無施肥区では 879 g と両区とも ML 級に達しなかった。葉重は 259 ~ 274 g で区間差は小さかった。

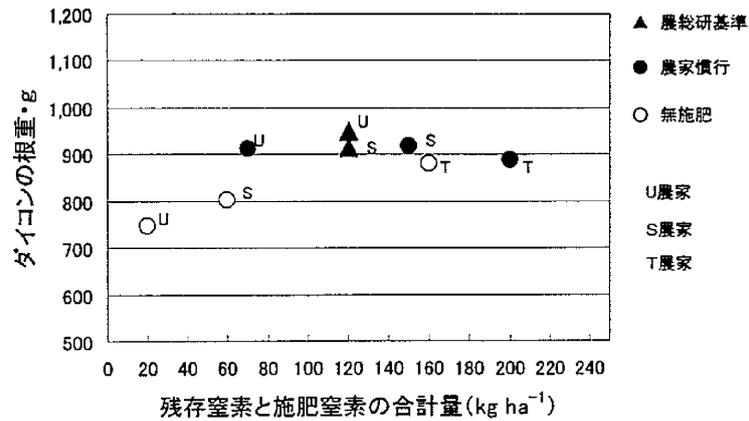
2001 年における U 農家の根重は, 農総研基準区では 1,127 g で L 級になったが, 農家慣行区では 944 g, 無施肥区では 767 g と L 級に達しなかった(第 27 表)。葉重は, 農総研基準区 138 g, 農家慣行区 114 g, 無施肥区 84 g であり, 残存窒素と施肥窒素の合計量が少ない区ほど軽くなった。S 農家の根重は, 農総研基準区では 1,053 g, 農家慣行区では 1,041 g で L 級に達したが, 無施肥区では 908 g であった。葉重は, 133 ~ 149 g で区間差は小さかった。T 農家の根重は, 農家慣行区では 946 g, 無施肥区では 931 g となり, 両区とも L 級に達しなかった。葉重は 170 ~ 196 g で, U 農家および S 農家の農総研基準区の葉重 133 ~ 138 g に対して, 明らかに重かった。

2000 年の現地ほ場における残存窒素と施肥窒素の合計量と 9 月下旬播種ダイコンの根重との関係をみると, U 農家と S 農家の農総研基準区および農家慣行区は, 残存窒素と施肥窒素の合計量が 65 ~ 147 kg ha⁻¹ で ML 級である 900 g 以上の根重が得られた(第 28 図)。しかし, U 農家と S 農家の無施肥区は, 残存窒素と施肥窒素の合計量が 15 ~ 57 kg ha⁻¹ で, 根重が 900 g 以下であった。T 農家の農家慣行区および無施肥区は, 残存窒素と施肥窒素の合計量が 162 ~ 202 kg ha⁻¹ で, 根重が 900 g に達しなかった。

2001 年の現地ほ場における残存窒素と施肥窒素の合計量と 9 月下



第28図 現地ほ場における残存窒素と施肥窒素の合計量と9月下旬播種ダイコンの根重との関係(2000年)



第29図 現地ほ場における残存窒素と施肥窒素の合計量と9月下旬播種ダイコンの根重との関係(2001年)

旬播種ダイコンの根重との関係では，U農家の農総研基準区とS農家の農家慣行区および農総研基準区は，残存窒素と施肥窒素の合計量が120～132 kg ha⁻¹で，1,000g以上の根重が得られた（第29図）。一方，U農家の無施肥区，農家慣行区およびS農家無施肥区は，残存窒素と施肥窒素の合計量が17～77 kg ha⁻¹で，根重が1,000g以下であった。T農家の農家慣行区および無施肥区は，残存窒素と施肥窒素の合計量が198～239 kg ha⁻¹で，根重が1,000g以下であった。

4. 考察

1) 播種期別年内どりダイコンの残存窒素を考慮した

適正窒素施肥量

窒素吸収量に見合った施肥量を検討した報告⁹⁾によれば，1994年に設定された施肥基準以下の施肥量でも収量が確保できる品目のひとつにダイコンがある。特にダイコンの秋まき年内どり栽培では，試験期間の4年とも無窒素区と標準施肥区（施肥窒素90 kg ha⁻¹）との生育に差がなく，いずれも1,000g以上の根重が得られている。その要因として，0～30 cm層の残存窒素量が40 mg kg⁻¹以上と高かったことが指摘されている。また，ダイコンの窒素吸収量は，無窒素区で135 kg ha⁻¹，窒素90 kg ha⁻¹の標準施肥区で，150 kg ha⁻¹であり，施肥窒素利用率は17%であった。このことから，ダイコンは，施肥窒素より地力窒素を吸収する品目であるとしている。一方，著者が行った1997年の現地調査⁹⁾では，根重1,000gのダイコンが得られたときの窒素吸収量は，94～174 kg ha⁻¹（平均136 kg ha⁻¹）であった。

上記の知見に基づいて，場内試験において残存窒素を考慮したダイコンの好適窒素施肥量を検討したところ，以下の結果が得られた。

すなわち、ダイコンの目標収量を得るためには、9月上旬播種の場合、残存窒素と施肥窒素の合計量がマルチ栽培では、 30 kg ha^{-1} 以上、無マルチ栽培では 60 kg ha^{-1} 以上必要であった。同様に、9月中旬播種の場合は、マルチの有無に関わらず残存窒素と施肥窒素の合計量は 60 kg ha^{-1} 以上、9月下旬播種の場合は、マルチ処理が必須で、残存窒素と施肥窒素の合計量は 90 kg ha^{-1} 以上必要であった。

次に、現地試験において9月下旬播種時の残存窒素を考慮した好適窒素施肥量を 120 kg ha^{-1} で実施したところ、残存窒素と施肥窒素の合計量が $77 \sim 147 \text{ kg ha}^{-1}$ の範囲でM L級またはL級の根重のダイコンが得られた。このことは場内試験における適正量の $90 \sim 120 \text{ kg ha}^{-1}$ を実証したことになる。一方、残存窒素と施肥窒素の合計量が 162 kg ha^{-1} 以上で根重が低下したことから、この窒素量は、秋まき年内どりダイコンにおいては過剰域であると考えられた。

2) ダイコンの窒素吸収根域と残存窒素との関係

ダイコンの窒素吸収根域に関する報告では、三木ら^{70,71)}は、根長は $100 \sim 120 \text{ cm}$ 程度で作物の中では最も深い部類に属するとしている。町田⁶⁴⁾は、根系の広がり、主根で $180 \sim 200 \text{ cm}$ 、側根で $60 \sim 100 \text{ cm}$ に達すると報告している。また、長谷川ら²²⁾は、主要作物の中で根長が 100 cm 以上あるダイコン、秋まきコムギおよびテンサイを深根性作物として位置づけ、土壌に集積した塩類の回収作物として適していると述べている。すなわち、ダイコンは、深い位置まで根を張り地力窒素を利用するタイプであると言える。八槇・安西¹²⁰⁾によれば、黒ボク土の野菜畑においては 4 m の常総粘土が出現する下層まで硝酸態窒素が多く存在するので、深層部分の窒素供給も考慮する必要があるとしている。そこで、本試験でも深層部分の影響を考え、

ダイコンの地力窒素吸収根域を0～120 cm層までと仮定し，その土層中の全硝酸態窒素量を試算した．

場内における施肥前残存窒素量は，2000年の0～15 cm層で27 kg ha⁻¹であることから，0～120 cm層では，27 kg ha⁻¹が8層と仮定して，216 kg ha⁻¹と推定した．同様に，2001年では，25 kg ha⁻¹であり，200 kg ha⁻¹と推定した．この深い土層まで考慮した推定残存窒素量は，根重1,000 gのダイコン得るのに必要な窒素吸収量が約130 kg ha⁻¹としても，十分な供給量である．

3) ダイコンの生育適温と施肥窒素量との関係

深い土層からの窒素供給が考えられる本試験において，9月上旬播種（2001年）のマルチ栽培では少量の施肥窒素（5 kg ha⁻¹）で根重1,000 gのダイコンが得られた（第24表と第25図）．しかし，播種期が約20日間遅い9月下旬播種（2000年）のマルチ栽培では比較的多量の施肥窒素（63～93 kg ha⁻¹）が必要であった（第24表と第27図）．このようにダイコンの施肥窒素量は播種時期によって著しく異なった．以下に，この理由を生育期間中の気温との関係から考察した．

ダイコンの生育適温については，川城・武田⁴⁷⁾，松本⁶⁸⁾，平石ら²⁶⁾による詳細な報告がある．これらによれば，ダイコンの生育適温は，地上部が肥大する前期が21～23℃程度，根部が肥大する後期が16～20℃程度である．また，根部が肥料を吸収する地温は，15～19℃程度と考えられ，根部の肥大は，地温が2℃以下では停止する．一方，町田⁶⁴⁾は，ダイコン根部の肥大が地温に強く影響されるとして，マルチ処理により地温が無マルチと比べて2℃程度高くなり，その結果，肥大が促進したことを報告している．

また，試験を実施した2000年と2001年の千葉地区の根部肥大期の

平均気温は、千葉県農林水産部業務支援サイト⁸⁾を利用すると、2001年9月上旬播種で17.0℃、2000年9月中旬播種で15.4℃、2000年9月下旬播種で11.8℃であった。

そこで、この気温データおよび前述のマルチ栽培時の温度上昇を播種期別に目標収量が得られた下限の施肥窒素量を併記すると、気温の高い9月上旬播種では無マルチ栽培（根部肥大期平均温度17.0℃）で施肥窒素が35 kg ha⁻¹、マルチ栽培（同19.0℃）で施肥窒素が5 kg ha⁻¹必要であった（第24表と第25図）。同様に、9月中旬播種では、無マルチ栽培（同15.4℃）およびマルチ栽培（同17.4℃）は、それぞれ施肥窒素が33 kg ha⁻¹であった（第24表と第26図）。一方、低温期の9月下旬播種では、無マルチ栽培（同11.8℃）で窒素施肥量に関わらずダイコンは肥大せず、マルチ栽培（同13.8℃）で必要な施肥窒素が63～93 kg ha⁻¹であった（第24表と第27図）。

このように、ダイコンは、気温が低い場合、根部の窒素吸収力が低下するので施肥窒素量を増加する必要があると考えられた。これに関して、川城⁴⁰⁾は、春どりダイコンにおいて播種期が遅いほど窒素施肥量を減少できることを報告し、春どりダイコンは、12月播種で施肥窒素150 kg ha⁻¹、1月播種で同80 kg ha⁻¹、3月播種で同50 kg ha⁻¹としている。この報告内容も根部肥大期の気温がより高くなることで窒素施肥量が減少したと考察すれば、本研究の結果と一致する。

以上、これまで述べてきた場内試験および現地実証試験の残存窒素を考慮した窒素施肥量は、窒素吸収根域および根部肥大期の気温を考えると合理的なものと判断した。

第 V 章 総合考察

農耕地，特に野菜畑に必要以上に施用された窒素は，環境中で様々な形態^{12,72,76,102)}に変化し，過剰になった場合は環境汚染物質として問題となる^{34,41,42,56,69,75,77)}。

環境庁は，平成 11 年 2 月 22 日に，水質汚濁に係わる人の健康の保護に関する環境基準および地下水の水質汚濁に係わる環境基準に硝酸性窒素を追加し，硝酸性窒素および亜硝酸性窒素の総量を 10 mg L⁻¹以下と定めた。このため，作物に施用する窒素量は，生産性だけでなく，環境に配慮することが必要である^{39,40)}。一方，消費者側からは，安全・安心な農産物^{57,61,62,96,101,108)}を要望する声が高まり，化学肥料や化学合成農薬をできるだけ低減して栽培した農産物が求められている。

このような流れは全国的なものであり，千葉県においても同様で，農業と環境をテーマに千葉県農業総合研究センターでこれらに対応すべくプロジェクト事業が始まった。すなわち，千葉県環境保全型農林業技術開発研究事業⁵⁷⁾において，減窒素肥料・減化学農薬を研究課題として取り組んだ。著者は，本プロジェクトに参画し，野菜における減窒素肥料をテーマに取り組んできた。

そこで，著者は，これまで研究してきた減窒素および減肥の考え方を整理し，野菜栽培における窒素肥料低減化技術に関して総合的な考察をおこなった。

施肥量を決定するに当たっては，目標収量，成分吸収量，成分の天然供給量，肥料成分の利用率を考慮する必要がある。一般に，施

肥量は下記の式で表される。

$$\text{施肥量} = \frac{\text{目標収量を得るため必要吸収量 (①)} - \text{天然供給量 (②)}}{\text{肥料成分の利用率 (③)}}$$

肥料成分の利用率 (③)

ここで、①は野菜の目標の生育量や収量を確保するために必要な窒素吸収量、②は主として土壌中の残存窒素を指している。③は使用する肥料等の種類や施肥位置等によって異なってくる。

施肥窒素量を決定する3つの要因のうち、①の「目標収量を得るための必要吸収量」については、生育時期別に必要成分量を把握することにより、無駄な時期の施肥を削減できる。②の「天然供給量」については、土壌診断に基づいて土壌残存窒素の有効利用を図ることによって、施肥量を低減することができる。また、③の「肥料成分の利用率」については、野菜に効率的に利用されるような肥料や施肥法を導入し、肥料窒素の利用率を高めることによって施肥量を低減することができる。これが窒素肥料低減の基本的な考え方⁶⁾である。そのための技術として、ここでは、チェーンポット内施肥（局所施肥）、汁液栄養診断に基づく追肥（施肥時期の改善）および土壌残存窒素の利用をとり上げた。

1. ネギのチェーンポット内施肥（局所施肥）

局所施肥は、作物の根が分布する位置に肥料を施用し、効率よく肥料成分を吸収させる施肥法である。現在は、農業機械を利用することにより作業の省力化が優先されているために全面全層施肥が一般的となっているが、全面施肥は作物の植え付けられていない位置にまで施肥されているため、肥料の利用率が低いという短所がある。それに対して、局所施肥には以下のような長所がある。①施用され

た肥料が作物に有効に吸収され、肥料の利用率、すなわち施肥効率が
高く、肥料の流出や揮散が少なく、水系や大気に対する負荷がす
くない。②肥料が効率的に吸収されるため、生育が促進され、収量
の確保や品質向上が図られる。③肥効効率が高いため、減肥栽培が
可能となり、資源を大切にできる。④作物の生育ステージに合った
最適位置に施用することにより、生育制御も容易になる。

一般に、局所施肥は、施肥幅が広いマルチ内施肥^{59,82)}、畦内施肥⁸¹⁾、
条施肥⁶⁰⁾、側条施肥^{36,104,115)}および植溝施肥^{14,133,144)}などと比べて、より
施肥幅を限定した植穴施肥³³⁾、ポット内施肥^{54,95)}、セル内施肥^{14,30,51)}
および育苗箱施肥^{35,37,38,48)}などで高い減肥に成功している。また、こ
れらの事例で共通することは、適正な肥料の選択すること、および
局所施肥と追肥を組み合わせるより全量基肥として局所施肥した方
が減肥割合が向上することである。

各作物の施肥に当たっては、土壌中の窒素濃度と生育時期別の養
分吸収経過の解析から合理的施肥を行うことが重要である。一般的
に、作物の生育初期には根域の広がり小さく肥料の吸収量も少な
い。この時、局所施肥により効率的に養分を吸収させて、良い生育
を促すことが可能な作物種としては、比較的濃度障害（アンモニア
害も含む）を受けにくい耐塩性の作物種が適する。キャベツ、ハク
サイ、ホウレンソウ、スイートコーン、タアサイなどがある。作物
の窒素吸収量に対する施肥量の倍率と相対的耐塩濃度との関係⁴³⁾
は、ダイコン、キャベツ、ハクサイなどは土壌溶液濃度を高くしな
いと十分に肥料を吸収できないと考えられている。これらの作物で
は条施肥などにより肥料濃度を局所的に高め生育の前段階で十分吸
収させることにより、収量の維持を図りつつ肥料を減らすことが可

能となる。一方、耐塩性が弱く、施肥量の倍率が高いネギ、タマネギ、イチゴなどの栽培期間の長い作物は、適期少量の多数回追肥により肥料の利用率を高めることが出来る。このことは、今回、ネギを供試して極めて局所的なチェーンポット内に肥効調節型肥料を用いることで高い減肥効果が得られたことで裏付けられる。

著者が新しい局所施肥として提示したネギのチェーンポット内施肥は、育苗箱内施肥に位置づけられる。本施肥法における施肥窒素利用率は、標準施肥区の22～30%に対して44～60%（第11表、第14表）と約2倍に向上した。さらに、跡地土壌の土壌中硝酸態窒素量は、標準施肥区に比べてチェーンポット内施肥区が0～60cm層において減少した（第7図、第10図）。このように（本論のⅡ-2で示したように）、本施肥法は、野菜栽培における局所施肥として施肥窒素利用率が最も高いとされるセル内施肥以上に優れた効果を示し、水稻の育苗箱全量施肥に近いと考えられた。

金田ら^{37,38)}は、水稻の育苗箱全量施肥において、施肥窒素利用率が79%まで向上したことを報告している。水稻栽培では、播種から収穫までの生育時期別窒素吸収量が解明されており^{35,48,117)}、生育時期に合った窒素溶出パターンをもつ肥効調節型肥料の開発が進んでいる^{20,21,49,50)}。今後、野菜栽培においても各作目の生育時期別窒素吸収量を十分に解明し、それに見合った肥効調節型肥料^{15,16,17)}の開発がなされるべきであろう。

2. トマトの汁液栄養診断に基づく追肥（施肥時期の改善）

作物の栄養生理に基づいた肥培管理を行うには、その作物の栄養状態を把握する診断法を確率する必要がある。その方法としては観察

法，土壤溶液診断，および作物栄養診断がある⁹⁾。観察法は，作物体の葉色や樹勢を観て，経験は勘に基づいて判断する。この方法は，篤農家や栽培経験の豊富な者ができるもので，普遍化することは難しい。土壤溶液診断は，土壤溶液を採取して EC などを測定し，追肥の有無を決定する方法である。しかし，土壤中の窒素不足を確認してから追肥するのでは，作物に効果が現れるまでにタイムラグがあり，施肥時期の遅れが懸念される⁹⁾。作物（汁液）診断は，作物体内の汁液中硝酸濃度から判断する方法で，迅速な判断が可能である。作物体内の硝酸濃度は，窒素施肥量に対応して増減するため，これを計測することでリアルタイムな追肥の有無を決定できる^{88,91)}。

汁液栄養診断に関する研究は，国内では，1990年代から数多く見られるようになった¹⁰⁶⁾。これらの研究では，施設における栽培期間の長い作物において，適切な施肥時期および施肥量の決定が検討された。その結果，作物のリアルタイム栄養診断は肥料の節約と環境への窒素負荷軽減，さらには栽培制御による高品質化の技術として，既に幾つかの道県で普及に移されている^{88,93)}。

一方，Tanaka¹⁰⁹⁾は2003年に国内の作物栄養診断の研究をレビューし，現状でも一定の減肥効果は得ているものの，それぞれが独自の手法を用いたり，試験の前提となったほ場条件が十分には検討されていないため再現性に乏しく，精度と汎用性の高い診断法の確立は遅れているとしている。

確かに，国内で最も多く研究されている品目のひとつであるトマトにおいても，異なる作型では栄養診断の対象となる葉柄の採取位置が一定していない^{94,119,122)}。また，これまで発表されてきた国内の栄養診断に関する報告では，施肥前の土壤中硝酸態窒素量を考慮し

ていない場合が多い。栄養診断による施肥では、施肥前の土壌条件を示して論議する必要があると考えられる。施肥前の土壌中硝酸態窒素の情報があれば、得られた結果は一事例的な報告になりかねない。

筆者は、汁液栄養診断に基づく施肥において、特に施肥前の土壌中硝酸態窒素がトマトの生育に大きく関わることに注目した。そのことを、本論のⅢ-1で明らかにした。栄養診断に基づく追肥では、施肥前と跡地との土壌中硝酸態窒素量の差（第14図）から、0～30cm層においてトマトが施肥前の土壌中硝酸態窒素量を効率よく利用していることが理解できる。特に、基肥窒素が少ない場合、トマトに対する土壌中硝酸態窒素の寄与は大きいと考えられる。それゆえ、土壌診断に基づいた基肥窒素の施用が重要と考えられた。トマトの半促成栽培の基肥窒素量は、施肥前の土壌診断で0～30cm層の硝酸態窒素が 150 mg kg^{-1} 以上なら不要、 $100 \sim 150 \text{ mg kg}^{-1}$ であれば 38 kg ha^{-1} 程度、 100 mg kg^{-1} 以下であれば 75 kg ha^{-1} 程度と判断した。

また、著者は、施設トマトでは土壌病害虫が問題となっており、その対策として台木が利用されていることに着目した。台木は、一般に自根に比べ、養分吸収力（吸肥力）が強いとされている。そこで、栄養診断に基づく施肥法において、台木の有する強い養分吸収力^{2,55,97,103,111}によって、接ぎ木栽培では自根栽培より高い減肥効果が得られることを実証した（第19表）。これは、汁液栄養診断に基づく施肥により、台木が自根に対して施肥窒素を含めた下層の土壌窒素を効率よく吸収・利用したためと考えられた。この台木利用における栄養診断の結果は、栄養診断に基づく施肥が、土壌窒素を効率よく利用することを示すと共に、栄養診断が科学的根拠に基づく施肥法

であることを立証したことになる。

トマトの栄養診断の基準値は山崎ら¹²²⁾、山田ら¹¹⁹⁾および坂口ら⁹⁴⁾により報告されているが、それらは一致していない。これは、作型が異なることや、栄養診断に用いた葉柄の採取位置が異なることによる。また、これまでトマトの葉柄中硝酸濃度は、下位葉で高く上位になるほど低いことが報告されている^{24,25,29,84,94,119)}。

坂口ら⁹⁴⁾は、生育時期におけるシンク活性^{79,99,100,135)}が強い夏秋どり栽培では上位葉の葉柄硝酸濃度は窒素施肥量に関わらず低くなるので、第1果房直下葉のような下位葉を対象にした方がトマトの窒素栄養状態をより反映すると述べている。一方、Coltmanら¹³⁾、Locascioら⁶⁾、Andersenら¹⁾は、若い成葉の葉柄中硝酸濃度の安定した部位を診断対象としている。本試験で検討した半促成栽培では、栄養診断は1月から5月に実施することから、上位葉の葉柄硝酸含有率は比較的安定している¹³⁵⁾と考えられる。山田ら¹²⁰⁾は、半促成栽培ではピンポン玉程度(2~4 cm)に肥大した果房直下の葉柄の硝酸濃度が最も低く、かつ安定していると報告している。

栄養診断に適する葉柄の位置が異なる原因は、これまでの報告を総合的に考察すると、作型によりトマトの生育時期のシンク活性に強弱^{79,99,100,135)}があるためと考えられた。また、報告されている栄養診断に適する葉柄は、葉柄汁液中の硝酸濃度がより安定、かつ栄養状態を適正に示す位置である。したがって、トマトの葉柄汁液の硝酸濃度が安定、かつ栄養状態を適正に示す位置は、促成栽培¹²²⁾および半促成栽培^{120,128)}のようにシンク活性がより弱い場合は上位葉(具体的にはピンポン玉程度に肥大した果房直下葉)が適し、夏秋どり栽培⁹⁴⁾のようにシンク活性がより強い場合は下位葉(具体的には第

1果房直下葉) が適すると考えられた。

以上のことから、汁液栄養診断の研究に関して、以下の2点が最も重要と考えられた。①施肥前の土壤中硝酸態窒素量を示して減肥の議論をすること。②栄養診断の対象となる葉位は、シンク活性が安定し、かつ栄養状態を適正に示される部位にすることである。これらのことを踏まえれば、汁液栄養診断に基づく施肥法は、科学的根拠に基づく減肥技術であり、施肥の改善を強く促す根拠として、今後、利用されると考えられた。

3. 土壌残存窒素の利用

土壌診断に基づいて施肥前の土壌残存窒素^{18,19)}を評価し、施肥窒素量を決定することは、減肥技術の基本にして必須である。前項で示したように、トマトの汁液栄養診断に基づく追肥においても、土壌残存窒素が基肥窒素量と深く関わっていた。

著者らは、火山灰土の夏まき秋冬どりニンジンと秋まき年内どりダイコン栽培において、施肥を行い、播種した直後の作土の無機態窒素量と収量の間に関係があることを示した⁴⁾。黒ボク土壌の仮比重を0.67として、深さ0～15cmの作土の無機態窒素含量から換算すると、土壌の無機態窒素量1 mg kg⁻¹が窒素量1 kg ha⁻¹に相当する。夏まき秋冬どりニンジンにおいて、目標の収量を得るには播種直後の無機態窒素量が80 mg kg⁻¹以上必要であった。同様に、秋まき年内どりダイコンにおいて、43 mg kg⁻¹で以上必要であった。

さらに夏まき秋冬どりニンジン⁵⁸⁾では、施肥前の作土無機態窒素量と施肥窒素量の合計量と収量の関係が明らかにされ、合計量が150 kg ha⁻¹以上であれば、目標の収量が得られると報告されている。

その結果，夏まき秋冬どりニンジン栽培では，150 kg から播種前の無機態窒素量を (mg kg^{-1}) を引くことで，前作の残存窒素を考慮した施肥量が決定できる．このように土壌診断を行ったうえで，適正な窒素量が決定されることにより，農地に対する窒素投入量が削減され，環境負荷が低減されると考えられる．

本論文では，秋まき年内どりダイコンにおいて，播種期別，かつマルチ処理の有無別に，土壌残存窒素を考慮した施肥窒素量を本論の第IV章で，明らかにした¹²⁰⁾ (第25図，第26図，第27図)．また，ダイコンが土壌残存窒素を効率よく利用する場合，どの程度の深さまで土壌残存窒素を考慮できるかを考察した．ダイコンが吸収できる土壌残存窒素は，深さ120cm程度と考えられる^{22,64,70,71)}．このことは，ハウレンソウの場合，深さ15cm程度¹³²⁾であることを考慮すると，土壌残存窒素の利用は，野菜の品目により異なることを留意する必要がある．同時に，ダイコンの根部が土壌残存窒素を吸収する力は，地温に強く依存することを明らかにした．すなわち，ダイコンの根部は，地温15℃以上であれば土壌残存窒素を活発に吸収するが，12℃以下ではほとんど吸収しなかったことである．したがって，土壌残存窒素の利用については，野菜の品目に適した地温が確保できているか留意する必要がある．

このように，土壌残存窒素を考慮して作物が必要とする施肥窒素量を定めることで，収量を確保しつつ減肥が可能である．このことは，すべての野菜において，基本かつ必須の減肥技術と考えられる．また，必要以上に窒素を施用しないことから，土壌への窒素負荷が軽減され，環境保全的な施肥技術になると考えられた．

おわりに

野菜栽培における窒素肥料低減化技術の開発に際し，ここでは，施肥位置の改善（局所施肥），施肥時期の改善（汁液栄養診断）および土壌残存窒素の利用についてとりまとめた．ところで，これらの施肥技術は，それぞれが独立したものではなく，互いに関連している．局所施肥において，施肥前と栽培跡地では明らかに土壌残存窒素が減少した．同様に，汁液栄養診断による施肥でも，施肥前と栽培跡地では明らかに土壌残存窒素が減少した．このことは，根拠に基づく施肥技術は，土壌残存窒素も有効に利用していることを示すものである．

したがって，適正な施肥技術が同一ほ場で継続的に実施された場合，土壌残存窒素が極めて少なくなることから，施肥窒素量は作物が必要かつ，十分な量に収束すると考えられる．このことは，本論文における一連の研究の目的である「適正な施肥技術により窒素による環境汚染を防止できること」に帰着する．

著者は，これまで「窒素肥料低減化」という語彙を使ったが，その意味するところは，「作物が必要とする適切な窒素量の施肥」である．そこで，著者は，「窒素肥料低減化技術」とは，「作物が必要かつ，十分な施肥窒素量を決定するための最適な技術」と位置づけたい．

第VI章 摘要

農耕地，特に野菜畑に必要以上に施用された窒素は，農作物に吸収されない余剰窒素として，浸透溶脱し，地下水の硝酸濃度を高める可能性がある．したがって，作物に施用する窒素量は，生産性だけでなく，環境に配慮することが必要である．このことは，従来の施肥基準を見直し，作物が必要とする窒素量を効率よく施用することが重要であることを意味する．

著者は，これまで野菜の施設および露地栽培における施肥窒素の低減方策を研究課題として取り組んできた．施肥量決定の一般的な考え方は，目標収量を得るために必要な窒素吸収量から土壌の供給窒素量を引き，それを施肥窒素の利用率で除したものである．そこで，減肥技術を開発するに当たり，施肥位置の改善，施肥時期の改善，および施肥前の土壌窒素を考慮した施肥からなる，3つの大課題として取り上げ，野菜栽培における窒素肥料低減化技術の開発に関する研究としてまとめた．

第II章では，施肥窒素利用率を高める方法として，施肥位置の改善を肥効調節型肥料を用いてネギのチェーンポット内施肥という新しい施肥技術^{126,127)}を開発した．第III章では，施肥時期の改善としてトマトの汁液栄養診断に基づく追肥技術^{128,129,130)}を開発した．第IV章では，施肥前の土壌中硝酸態窒素の有効利用として，ダイコンの土壌残存窒素を考慮した施肥技術¹²⁵⁾を開発した．

試験結果の概要は，以下のとおりである．

1. ネギのチェーンポット内施肥による窒素肥料低減化技術

(1) チェーンポット内施肥の施肥窒素量と追肥窒素量の検討

- 1) 夏ネギ栽培において、肥効調節型肥料をチェーンポット内の培養土に施肥する減肥技術を検討した。
- 2) 窒素初期溶出を抑制したシグモイド型の被覆磷硝安100日タイプ(2401-100S)の育苗期間中の窒素溶出率は、3.3%で、ネギ苗に濃度障害は発生せず、標準栽培苗と同等の生育であった。
- 3) 追肥窒素量一定(標準窒素 160 kg ha^{-1})におけるチェーンポット内施肥の窒素量は、被覆磷硝安100日タイプを 60 kg ha^{-1} 施用することで、標準施肥(基肥窒素 80 kg ha^{-1})と同等の収量を得た。また、本肥料の窒素溶出経過から、追肥の回数は、標準施肥の4回に対し、3回で良いと判断した。
- 4) 被覆磷硝安100日タイプをチェーンポット内に 60 kg ha^{-1} を施用した場合、追肥窒素 90 kg ha^{-1} で標準施肥と同等の収量を得た。この時の総施肥窒素量は 150 kg ha^{-1} で、標準施肥 240 kg ha^{-1} に対して38%の減肥となった。また、施肥窒素利用率は、標準施肥の25%に対して43%に向上した。
- 5) チェーンポット内施肥における栽培跡地の土壌中硝酸態窒素量は、標準施肥と比べ深さ0~60 cmのいずれの層でも減少した。

(2) チェーンポット内全量窒素施肥が生育および収量に及ぼす影響

- 1) 夏どりおよび冬どりネギ栽培において、肥効調節型肥料を用いたチェーンポット内全量窒素施肥技術を開発した。
- 2) 窒素の初期溶出を抑制した肥料である被覆磷硝安140日タイプ(2401-140S)の育苗期間中の窒素溶出率は、夏どりが1.6%、冬ど

りが 3.4 % で、いずれの作型でも育苗中のネギ苗に濃度障害は発生しなかった。

- 3) 被覆磷硝安 140 日タイプを窒素成分で 120 kg ha^{-1} 施用することで、夏どり栽培および冬どり栽培とも追肥なしで標準施肥と同等の収量を得ることができた。この場合、標準施肥の施肥窒素量 240 kg ha^{-1} に対し 50% の減肥となった。
- 4) 本施肥法 120 kg ha^{-1} 区の施肥窒素利用率は、夏どり栽培で標準施肥の 22% に対して 44% に向上し、冬どり栽培では、同 30% に対して 60% に向上した。
- 5) 本施肥法 120 kg ha^{-1} 区における栽培跡地の土壌中硝酸態窒素量は、標準施肥と比べて夏どり栽培では深さ 0~60 cm のいずれの層でも少なく、同様に冬どり栽培では深さ 0~45 cm の層で少なかったため、環境負荷の軽減にも効果が認められた。

2. 施設トマトにおける汁液栄養診断に基づく窒素肥料低減化技術

(1) 施肥前の土壌中硝酸態窒素量が汁液栄養診断に基づく

施肥量に及ぼす影響

- 1) 作付け前の土壌中硝酸濃度が異なる圃場でのトマト半促成栽培において、基肥窒素量を変えた条件下で栄養診断に基づく追肥を行う試験を 1998 ~ 2000 年の 3 年間実施した。
- 2) 栄養診断に基づく追肥は、葉柄汁液中の硝酸濃度が $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ を下回った時に液肥を用いて窒素成分で 1 回当たり 15 kg ha^{-1} 施用した。葉柄汁液中の硝酸濃度は、ピンポン玉大（直径 2 ~ 4 cm）の大きさに肥大した果房直下の葉で、かつ中位に位置する小葉の葉柄を対象とし、第 1 果房肥大期より最終果房肥大期まで毎週 1

回測定した。

- 3) 葉柄汁液の硝酸濃度に基づく本施肥法で、千葉県標準収量を確保しながら減肥率を上げるための最適基肥量は、施肥前の土壌診断で、0～30 cm層の土壌中硝酸態窒素が 150 mg kg^{-1} 以上なら不要、 $100 \sim 150 \text{ mg kg}^{-1}$ であれば県施肥基準の25%にあたる 38 kg ha^{-1} 程度、 100 mg kg^{-1} 以下であれば施肥基準の50%にあたる 75 kg ha^{-1} 程度であった。
- 4) これらの条件で、トマト葉柄汁液の硝酸濃度を収穫始期から摘心期において $1,000 \sim 2,000 \text{ mg L}^{-1}$ に維持することにより、目標収量を確保することができた。この時の窒素の減肥率は、千葉県の施肥基準に対して49～76%となった。

(2) 接ぎ木栽培における汁液栄養診断に基づく追肥量の削減

- 1) 施設トマトの台木を利用した接木栽培において、栄養診断に基づく追肥が施肥窒素量に及ぼす影響を自根栽培を対照に検討した。台木は、吸肥力の強いとされる2品種と吸肥力の弱いとされる2品種を供試した。
- 2) トマトの葉柄汁液中硝酸濃度は、自根区が $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ 程度に下回った時、いずれの台木区も $4,000 \text{ mg L}^{-1}$ 程度と高かった。栄養診断に基づいた追肥回数は、自根区の7.0回に対して、吸肥力が弱いとされる台木で4.5回、吸肥力が強いとされる台木で4.0回であった。その結果、総施肥窒素量は、自根区の 180 kg ha^{-1} に対して、吸肥力が弱いとされる台木が 143 kg ha^{-1} で21%の減肥、吸肥力が強いとされる台木が 135 kg ha^{-1} で25%の減肥となった。
- 4) トマトの収量は、汁液栄養診断に基づく追肥により、いずれの台

木区も自根区と同等であった。また、果実の糖度および硬度は、いずれの台木区も自根区と同等であった。

- 5) 栽培跡地の土壌中硝酸態窒素量は、0～30 cm層ではいずれの台木区も自根区とほぼ同等であったが、30～60 cm層では自根区に比べていずれの台木区でも少なかった。

(3) 汁液栄養診断に基づく追肥法の現地実証

- 1) トマト半促成栽培において、汁液栄養診断に基づく追肥が施肥窒素量と収量に及ぼす影響を現地農家ほ場で実証した。
- 2) 土壌条件の異なる現地2農家での栄養診断追肥の実証試験において、葉柄汁液の硝酸濃度 $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ を基準に追肥することで、慣行追肥と同等の収量を確保できた。この時の追肥窒素量は、農家慣行追肥量の0～50%であった。
- 3) 栄養診断に基づく追肥により、追肥量を削減しても収量を確保できた理由は、必要以上の施肥を行わないことで土壌窒素を有効に利用したためであると考えられた。
- 4) 栄養診断時におけるトマト葉柄汁液中硝酸濃度の測定は、現地農家ほ場では取り扱いが簡便で、かつ安価な硝酸イオン試験紙が利用できると考えられた。

3. ダイコンにおける土壌残存窒素を考慮した窒素肥料低減化技術

- 1) 黒ボク土における秋まき年内どりダイコン栽培において、残存窒素を考慮した窒素施肥量について播種期を3回に分けて検討した。
- 2) 9月上旬播種の場合、L級に区分される1,000 gの根重を得るには、

残存窒素と施肥窒素の合計量がマルチ栽培で 30 kg ha^{-1} 以上，無マルチ栽培で 60 kg ha^{-1} 以上必要であった。

3) 9月中旬播種の場合，マルチの有無に関わらず，同 60 kg ha^{-1} 以上必要であった。

4) 9月下旬播種の場合，マルチ栽培が必須で同 $90 \sim 120 \text{ kg ha}^{-1}$ 必要であった。

5) 現地ほ場における 9月下旬播種のマルチ栽培において，残存窒素と施肥窒素の合計量が基準量 (120 kg ha^{-1}) より少なくとも，また，極端に多くとも根重が減少したことから，残存窒素と施肥窒素の合計量は， $90 \sim 120 \text{ kg ha}^{-1}$ が適正であることが実証できた。

引用文献

- 1) Anderson, P.C., Rhoads, F.M., Olson, S.M. and Brodbeck, B.V. : Relationships of nitrogenous compounds in petiole sap of tomato to nitrogen fertilization and the value of these compounds as a predictor of yield., *HortScience.*, **34**, 254-258 (1999)
- 2) 青木宏史・荻原佐太郎・湯橋 勤 : トマトの褐色根腐病防除のための接ぎ木トマトの台木と品質, 千葉農試研報, **21**, 131 ~ 138 (1980)
- 3) 千葉県園芸作物出荷規格 (青果物編) ,(1999)
- 4) 千葉県農業総合研究センター : 地域基幹農業技術体系化促進研究, 有機質資材投入等による持続的安定生産技術研究成果報告書, 104 ~ 108 (2002)
- 5) 千葉県農業総合研究センター : 研究成果集3. 環境保全型農林業技術開発研究事業, 第I期研究成果集, 39~143 (1999)
- 6) 千葉県農業総合研究センター : 研究成果集 4. 緊急技術開発促進事業, 主要露地野菜の安定生産のための窒素施用法の確立, 94 ~ 111 (2002)
- 7) 千葉県農業総合研究センター : 研究成果集 5. 環境保全型農林業技術開発研究事業, 第II期研究成果集, 101~296 (2003)
- 8) 千葉県農林水産部業務支援サイト, 農業気象情報, <http://chibaadv.wni.co.jp/> (2000 ~ 2002)
- 9) 千葉県主要農作物等施肥基準(2004)
- 10) 千葉県主要露地野菜の安定生産のための窒素施肥法の確立, ネギ, 34 ~ 38 (2002)
- 11) 千葉県野菜試験研究調査基準(2003)
- 12) Cicerone, R.J. : Changes in stratospheric ozone, *Science.*, **237**, 35-42 (1988)

- 13) Coltman, R.R. : Yields of greenhouse tomatoes managed to maintain specific petiole sap nitrate levels. *HortScience.*, **23**, 148-151 (1988)
- 14) 福地信彦・草川知行・斉藤研二・小林広行・宇田川雄二：育苗培養土への被覆肥料の混合がキャベツセル成型苗の生育に及ぼす影響，園学雑，**69**別2，405(2000)
- 15) 藤澤英司：被覆肥料の溶出機構の解明と野菜の施肥改善への適用，土肥誌，**72**，337～338(2001)
- 16) 藤澤英司・羽生友治：土壌水分の影響を考慮した被覆肥料の溶出測定，土肥誌，**70**，607～614(2000)
- 17) 藤澤英司・小林新・羽生友治：被覆肥料の溶出速度に及ぼす土壌水分の影響，土肥誌，**69**，582～589(1998)
- 18) 郡司掛則昭：土壌診断による野菜栽培土壌の合理的肥培管理法：季刊肥料**76**，12～23(1997)
- 19) 郡司掛則昭：露地野菜栽培の窒素負荷評価に有効な農作業の点検表，土肥誌，**75**，359～362(2004)
- 20) Hara, Y. : Application of the Richards function to nitrogen release from coated urea at a constant temperature and relationships among the calculated parameters. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **46**, 683-691 (2000)
- 21) Hara, Y. : Estimation of nitrogen release from coated urea using the Richards function and investigation of the release parameters using simulation models, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **46**, 693-701 (2000)
- 22) 長谷川周一・波多野隆介・岡崎正規編著：環境負荷を予測する－モニタリングからモデリングへ－，博友社，47～51(2003)
- 23) 林哲央・日笠裕次・中住晴彦：トマト土壌の下層による窒素施肥改善，土肥誌，**75**，617～621(2004)

- 24) He, Y., Terabayashi, S. and Namiki, T. : The effects of leaf position and time of sampling on nutrient concentration in the petiole sap from tomato plants cultured hydroponically. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, **67**, 331-336 (1998)
- 25) 日笠祐治 : 露地および施設野菜における診断技術と施肥管理, 北海道土壌肥料研究通信 **46**, 43 ~ 56 (2000)
- 26) 平石雅之・大林延夫・横溝剛 : 三浦ダイコンの生産予測に関する研究 (第1報) 根部の発育に対する気温と日射量の影響, 神奈川園芸試験場研報, **26**, 43 ~ 51 (1969)
- 27) 出岡裕哉・安田典夫 : 小型反射式高度計システムによるトマトの葉柄汁液中硝酸態窒素の簡易分析法, 平成7年度関東東海農業研究成果情報, 105 ~ 106 (1996)
- 28) 池田英男 : 園芸作物の新しい栄養診断法の開発, 季刊肥料, **75**, 23 ~ 41 (1996)
- 29) 池田英男 : 農業技術研究機構, 近畿中国四国農業研究センター編, 園芸作物の栄養診断, 1 ~ 17 (2002)
- 30) 岩佐博邦・大塚英一・真行寺孝・井上満・小林広行 : セル培養土内基肥施用によるキャベツの減窒素栽培. 千葉農総研研報, **4**, 23 ~ 32 (2005)
- 31) 加賀屋博行・菊池英樹・深井誠 : ネギの養分吸収に関する試験 (第2報) 夏どり作型, 秋冬どり作型の養分吸収と施肥法, 園芸要旨, 東北支部, 65 ~ 66 (1997)
- 32) 景山美芙陽・石原正道・巽 穰・西村周一 : そ菜の窒素栄養に関する研究 (第1報) 窒素栄養の診断について, 農業技術研究所報告, **E9**, 161 ~ 183 (1961)
- 33) 甲斐寿美徳・小野 忠 : 緩行性肥料の植穴施肥によるレタス,

- ブロッコリーの増収技術，九農研，56，68(1994)
- 34) 金子文宜・大塚英一・山本幸洋・大谷邦洋・犬伏和之・戴偉
：パンライシメータ法による関東ローム堆積露地畑における土
壤水および硝酸態窒素の浸透実態，土肥誌，73，501～507(2002)
- 35) 金田吉弘：肥効調節型肥料による施肥技術の新展開 2 不耕起
移植栽培の育苗箱全量施肥技術：土肥誌，66，176～181(1995)
- 36) 金田吉弘・児玉 徹，長野間宏：八郎潟干拓地の輪換水田に
おける側条施肥効果，土肥誌，60，172～174(1989)
- 37) 金田吉弘・栗崎弘利・村井 隆：肥効調節型肥料を用いた育
苗箱全量施肥による水稲不耕起移植栽培：土肥誌，65，385～
391(1994)
- 38) 金田吉弘・栗崎弘利・村井 隆：肥効調節型肥料を用いた育
苗箱全量施肥による育苗箱全量施肥法(第1報) 肥効調節型肥
料の層状施肥，東北農業研究，47，115～116(1994)
- 39) 環境省環境管理局水環境部：硝酸性窒素および亜硝酸性窒素
に係る水質汚染対策資料 <http://www.env.go.jp/hourei/index_sougou.html>
(2001)
- 40) 環境省環境管理局水環境部：平成13年度地下水質測定結果につ
いて <http://www.env.go.jp/water/chikasui/hokoku_h13/index.html>(2002)
- 41) 環境省環境管理局水環境部：農用地土壌汚染防止対策の概要
<http://www.env.go.jp/water/dojo/nouyo/gaiyo_h14.pdf>(2003)
- 42) 環境省：硝酸性窒素による地下水汚染対策事例集
<<http://www.env.go.jp/press/press.php3?serial=5097>>(2004)
- 43) 鈴木 保：露地野菜の養分吸収特性に合わせた施肥法，農業
技術，56，35～39(2001)

- 44) 川上敬志・松丸恒夫：根域制限による施設野菜の環境保全型栽培（第1報）遮根シート栽培トマトの土量と生産力及び全面敷設栽培の施肥法，千葉農総研研報，3，37～44（2003）
- 45) 川上敬志・松丸恒夫．根域制限による施設野菜の環境保全型栽培（第2報）トマト・キュウリ作付け体系における遮根シートの敷設方法に対応した減肥栽培の実証，千葉農総研研報，3，45～60（2003）
- 46) 川城英夫：春ダイコン栽培，農業技術体系野菜編9，追録第21号，117～123（1996）
- 47) 川城英夫・武田英之：根菜類の生育並びに根形に及ぼす土壌環境の影響（第1報）ダイコンの生育並びに根形に及ぼす地温と土壌水分の影響，千葉農試研報，27，13～20（1986）
- 48) 北村秀教・今井克彦：肥効調節型肥料による施肥技術の新展開1 水稻の全量基肥施肥技術，土肥誌，66，241～247（1995）
- 49) 小林 新・藤澤英司・羽生友治：被覆肥料の溶出に及ぼす水蒸気圧の影響，土肥誌，68，8～13（1997）
- 50) 小林 新・藤沢英司・久保省三・羽生友治：樹脂系被覆肥料の溶出制御と反応速度論的解析による溶出評価（第3報），ガウス補正法による溶出モデル式の改良，土肥誌，68，467～492（1997）
- 51) 小出哲哉・伊藤武志：キャベツにおけるセル培養土内基肥施用法の確立，愛知農総試研報，30，145～152（1998）
- 52) 今野陽一・黒田 潤・熊谷勝巳・富樫政博・上野正夫：ネギの全量基肥局所施肥における施肥効率，東北農業研究，51，231～232（1998）

- 53) 今野陽一・熊谷勝巳・富樫政博・黒田 潤・上野正夫：肥効調節型肥料を利用したネギの全量基肥局所施肥栽培，山形農試研報，**35**，37～43（2001）
- 54) 小杉 徹・高橋和彦・鈴木則文：肥効調節型肥料を用いたセルリー鉢上げ時施用による施肥料量削減，土肥誌，**75**，373～376（2004）
- 55) 甲田暢男・荻原佐太郎：トマトの接ぎ木栽培における台木別の生育・養分吸収・光合成特性，千葉農試研報，**25**，101～111（1984）
- 56) 熊澤喜久雄：地下水の硝酸態窒素汚染の現況，土肥誌，**70**，207～213（1999）
- 57) 国包章一：硝酸性窒素等による水道水の汚染とその健康影響，日本学術会議公開シンポジウム，土と水と食品中の硝酸をめぐる諸問題，講演資料，33～43
<http://www.soc.nii.ac.jp/jssspn/info/pdf5_sympo1998.pdf>（1998）
- 58) 草川知行：夏まきニンジン－残存窒素を考慮した施肥量の決定－（環境保全型施肥）．農業技術大系土壌施肥編，**6-1**，276の6～10（2003）
- 59) 草川知行・松丸恒夫・青柳森一：マルチ内施肥によるトンネル春夏どりニンジンの減肥栽培，園学雑，**72**，432～439（2003）
- 60) 草川知行・吉井幸子・高崎 強：条施肥畦立て機を利用したキャベツの減化学肥料栽培技術，千葉農試研報，**40**，1～8（1999）
- 61) L'hirondel, j.-L. :Are dietary nitrates a threat to human health? In:Morris, J. and Bate, R. *Fearing Food:Risk, Health and Environment*. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK., 38 -46(1999)

- 62) L'hirondel, j.-L. :Dietary nitrates pose no threat to human health.In:Morris, J. and Bate, R.
Environmental Health. Third World Problems. Oxford, UK., 119 -128(1999)
- 63) Locascio, S.J., Hochmuth, G.J., Rhoads, F.M., Olson, S.M., Smajstria, A.G. and Hanlon,
E.A. : Nitrogen and potassium application scheduling effects on dripirrigated tomato
yield and leaf tissue analysis. *HortScience.*, **32**,230-235 (1997)
- 64) 町田 治幸 : 種類別の施肥技術-ダイコン. 農業技術大系土壌施
肥編, **6-1**, 277 (1985)
- 65) 松丸 恒夫 : 作物の塩化ナトリウム過剰障害と塩分限界濃度,
農及園, **70**, 475 ~ 479 (1995)
- 66) 松丸 恒夫 : 千葉県における野菜の減肥栽培技術, 農業技術,
57, 549 ~ 553 (2002)
- 67) 松本 英一・平山 力・青木 武・小山田 勉 : 畑作地帯の浅層
地下水水質実態, 茨城農総研研報, **1**, 63 ~ 78 (1994)
- 68) 松本 正雄 : ダイコンの肥大根発達の生理. 農業技術大系野菜
編, **9**, 23 ~ 40 (1983)
- 69) 松島 松翠 : 化学肥料の地下水汚染に関する調査 : 日本農村医
学会雑誌, **33**, 173 ~ 82 (1984)
- 70) 三木 直倫 : 野菜畑における物質移動. 北海道農業と土壌肥料,
日本土壌肥料学会北海道支部編, 246 ~ 248 (1999)
- 71) 三木 直倫・安積 大治・須田 達也 : 農業域内での環境負荷の実
態と制御法 - 畑・野菜地域における特性と解明上・制御上の
問題点. 北海道土壌肥料研究通信, **45**, 7 ~ 22 (1999)
- 72) 陽 捷行 : 地球環境変動と農林業, 朝倉書店, 東京, 7 ~ 14
(1995)
- 73) 西畑 秀二・松本 美枝子 : ネギの生育に合わせた肥効調節型肥

- 料による窒素供給(第2報)育苗箱施用の検討, 園学雑, **70** 別2, 286(2001)
- 74) 西畑秀二・宮元史登・松本美枝子・金森松夫: ネギの生育に合わせた肥効調節型肥料による窒素供給(第3報) ペーパーポット育苗における施肥技術の検討, 園学雑, **71** 別2, 341(2002)
- 75) 西尾道徳: 作物種類別の施肥窒素負荷量に基づく地下水の硝酸性窒素汚染リスクの評価手法, 土肥誌, **72**, 522~528(2001)
- 76) 西尾道徳: 農業と環境汚染, 農文協, 東京, 125~138(2005)
- 77) 小川吉雄・石川 実・吉原 貢・石川昌男: 畑地からの窒素の流出に関する研究, 茨城農試特別研究報告, **4**, 1~71(1979)
- 78) 岡田毅: 千葉県農業改良協会. 野菜ハンドブック, 324~327(1997)
- 79) Ono, K., Tarashima, I. and Watanabe, A.: Interaction between nitrogen deficit of plant and nitrogen content in the old leaves. *Plant Cell Physiol.*, **37**, 1083-1089(1996)
- 80) 大沢孝也: 砂耕による蔬菜の耐塩性に関する研究(第4報) 特に無機栄養より見た蔬菜の相対的耐塩性と塩害について, 園学雑, **30**, 241~252(1961)
- 81) 大川浩司・林悟郎: 機械利用によるうね内条施肥法がキャベツの生育一斉性と肥料の利用率に及ぼす影響, 愛知農総試研報, **30**, 157~162(1998)
- 82) 大塚英一・草川知行・山本幸洋・松丸恒夫: マルチ内施肥法を用いたニンジン栽培における肥料窒素の溶脱抑制, 園学雑, **70** 別2, 287(2001)
- 83) 大山信雄: 東北地方の水稲栽培における側条施肥法, 土肥誌, **56**, 343~345(1985)

- 84) 李 光植・喻 景権・松井佳久：果実収穫期の水耕栽培トマトにおける無機元素の器管別・節位別分布，土肥誌，**62**，461～468(1991)
- 85) 六本木和夫：果菜類の栄養診断に関する研究（第1報）葉柄汁液の硝酸態窒素濃度に基づくキュウリの栄養診断，埼玉園試研報，**18**，1～15(1991)
- 86) 六本木和夫：果菜類の栄養診断に関する研究（第2報）葉柄汁液の硝酸態窒素濃度に基づくイチゴの栄養診断，埼玉園試研報，**19**，19～29(1992)
- 87) 六本木和夫：果菜類の栄養診断に関する研究（第3報）葉柄汁液の硝酸態窒素濃度に基づくナスの栄養診断，埼玉園試研報，**20**，19～29(1993)
- 88) 六本木和夫：リアルタイム栄養診断の開発と普及の可能性，農業技術，**51**，219～222(1996)
- 89) 六本木和夫：リアルタイム診断による施設果菜類の効率的施肥管理技術に関する研究，土肥誌，**69**，19～29(1998)
- 90) 六本木和夫：施設果菜類のリアルタイム診断：土壌・水・作物体の診断に係わる最新の測定技術，土づくり特集第13号，日本土壌協会，69～75(2000)
- 91) 六本木和夫・加藤俊博：野菜・花卉の養液土耕，農文協，東京，100～126(2000)
- 92) 相楽徳康：ネギ地床育苗，農業技術大系野菜編，**8-1**，203～208(1999)
- 93) 坂口雅巳・日笠祐治・中住晴彦・大村邦男：ハウストマト窒素栄養診断マニュアルの作成，農業及園芸，**78**，1196～1200(2003)

- 94) 坂口雅巳・日笠祐治・中住晴彦：ハウス夏秋どりトマトにおける窒素栄養診断法，土肥誌，75，29～35(2004)
- 95) 佐藤之信・安達栄介・中西政則・齋藤謙二・安藤隆之：ネット入り肥料を用いた育苗ポット内局所施肥法によるスイカ全量基肥栽培，土肥誌，77，87～91(2006)
- 96) 関本 均・児玉いち子・小松孝行：野菜汁飲料中の硝酸濃度の調査とその摂取量に関する一考察，土肥誌，71，700～702(2000)
- 97) 嶋田典司・守谷松次：園芸作物の接ぎ木に関する栄養生理的研究，(第2報)接木植物(キュウリ，カボチャ)による各種濃度の培養液からの養分吸収，土肥誌，48，396～401(1977)
- 98) 白崎隆夫：野菜，花きの栄養診断：リアルタイム栄養診断，季刊肥料，75，11～21(1996)
- 99) 宍戸良洋・新井和夫・熊倉裕史・伊 千鍾：施山紀男：トマトにおける成育ステージおよび摘心処理が光合成および転流・分配に及ぼす影響，野菜試研報，C1，63～73(1990)
- 100) 宍戸良洋・伊 千鍾・湯橋 勤・施山紀男・今田成雄：トマトにおける葉の光合成・転流・分配の経時的変化と果実肥大に対する葉位別寄与度，園学雑，59，771～779(1991)
- 101) 孫 尚穆・米山忠克：野菜の硝酸，日本学術会議公開シンポジウム，土と水と食品中の硝酸をめぐる諸問題，講演資料，53～56 <http://www.soc.nii.ac.jp/jssspn/ino/pdf5_sympo1998.pdf> (1998)
- 102) 総務省：湖沼の水環境の保全に関する政策評価書，<http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040803_3_h.html> (2004)
- 103) 鈴木敏征・森下正博：少施肥条件で栽培されたナスの生育・

- 収量に及ぼす台木品種の影響, 園学雑, 71, 568 ~ 574 (2002)
- 104) 高橋能彦・土田 徹・大竹憲邦・大山卓爾: シグモイド型被覆尿素側条施肥によるダイズの増収効果, 土肥誌, 74, 55 ~ 60 (2003)
- 105) 高崎正・和久井隆: 簡易栄養診断によるシクラメンの2月播種5号鉢生産. 平成9年度関東東海農業研究成果情報, 524 ~ 525 (1998)
- 106) 建部雅子: 作物の汁液診断技術とその展開方向, 農業技術, 56, 245 ~ 250 (2001)
- 107) 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システム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)
- 108) 田中章男: 食品中の硝酸レベルと健康問題, 日本学会議公開シンポジウム, 土と水と食品中の硝酸をめぐる諸問題, 講演資料, 44 ~ 52 <http://www.soc.nii.ac.jp/jssspn/info/pdf5_sympo1998.pdf> (1998)
- 109) Tanaka, F. : Plant Nutrition Diagnosis in Japan, with a Special Focus on Crop Quality and the Environment. Food & Fertilizer Technology Center. Extension Bulletin., 536, 1-13 (2003)
- 110) 田中達也・佐藤 直: 窒素肥料反応の異なるキャベツ3品種の生育と時期別養分吸収に関する品種間差異, 土肥誌, 68, 493 ~ 500 (1997)
- 111) 田中達也・佐藤 直: 接ぎ木法を利用したキャベツ品種の窒素反応特性の解析, 土肥誌, 69, 641 ~ 643 (1998)
- 112) 田中達也・嶋田永生: キャベツ3品種の肥料濃度反応特性と

- 根系の発達，土肥誌，67，619～625（1996）
- 113） 田中有子：ネギ栽培について，季刊肥料，83，76～81（1999）
- 114） 田中有子・小山田勉：セル成型苗利用による秋冬穫りネギの肥効調節型肥料を用いた全量基肥溝施肥法：茨城農総セ園研報，8，19～26（2000）
- 115） 辻 藤吾：ペースト肥料による水稻の初期生育抑制障害と障害に対する資材の施用効果，土肥誌，71，454～463（2000）
- 116） 土屋恭一：ネギ連結ポット（チェーンポット）苗の育苗，農業技術大系野菜編，8-1，209～219（1999）
- 117） 上野正夫：環境保全と新しい施肥技術，安藤環・越野正義編，養賢堂，162～174（2001）
- 118） 山崎浩司：養分吸収の特徴と施肥の考え方，農業技術大系，野菜編，1，基345～348（1998）
- 119） 山田良三・加藤俊博・井戸豊・関 稔・早川岩夫：リアルタイム土壌・栄養診断に基づくトマトの効率的肥培管理，（第1報）葉柄汁液の硝酸濃度に基づく診断基準の作成，愛知農総試験報，27，205～211（1995）
- 120） 山田良三・関 稔：葉柄汁液を用いたトマト栄養診断のための硝酸イオン測定条件，平成10年度関東東海研究成果情報，424～423（1998）
- 121） 山崎晴民：反射式光度計による作物体の診断技術，土壌・水・作物体の診断に係わる最新の測定技術，土づくり特集第13号，日本土壌協会，77～83（2000）
- 122） 山崎晴民・六本木和夫：葉柄汁液の硝酸態窒素によるトマトの栄養診断，土肥要旨集 38，82（1992）

- 123) 山口紀彦, 斎藤雅人, 藤沢春樹, 井口慎太郎, 蝦名春三: 肥効調節型肥料を用いた砂丘畑ネギ全量基肥栽培の溶脱窒素低減効果, 東北・土壌肥料部会資料, 154 ~ 155 (2004)
- 124) 八槇敦・安西徹郎: 下総台地黒ボク土畑下層における硝酸態窒素の実態と環境負荷評価. 千葉農総研研報, 4, 107~116 (2004)
- 125) 山本二美・草川知行・松丸恒夫: 土壌残存窒素を考慮した年内どりダイコンの窒素施肥量, 千葉農総研研報, 5, 19 ~ 26 (2006)
- 126) 山本二美・松丸恒夫: 夏どりネギにおけるチェーンポット内施肥の施肥窒素量と追肥窒素量の検討, 土肥誌, 78, 179 ~ 186 (2007)
- 127) 山本二美・松丸恒夫: ネギのチェーンポット内全量窒素施肥が生育および収量に及ぼす影響, 土肥誌, 78(4), (印刷中)
- 128) 山本二美・松丸恒夫: 施設トマトにおける施肥前の土壌中硝酸態窒素量が栄養診断に基づく施肥量に及ぼす影響, 土肥誌, 76, 825 ~ 831 (2005)
- 129) 山本二美・松丸恒夫: 施設トマトにおける汁液栄養診断に基づく追肥法の現地実証, 土肥誌, 77, 413 ~ 418 (2006)
- 130) 山本二美・松丸恒夫: 施設トマト栽培における栄養診断に基づく追肥法が施肥量と収量に及ぼす影響 (第5報) 吸肥力の異なる台木を利用した場合の適正な診断基準値の検討, 園学雑要旨, 75別1, 164 (2006)
- 131) 山本二美・松丸恒夫: 接ぎ木栽培によるトマトの汁液栄養診断に基づく追肥量の削減, 土肥誌, 78(4) (印刷中)

- 132) 山本二美・松丸恒夫：根箱における施肥位置の違いが野菜の生育・窒素吸収に及ぼす影響，（第1報）ホウレンソウとダイコンの違い，土肥学会関東支部要旨,9(2005)
- 133) 山本二美・松丸恒夫：根箱における施肥位置の違いが野菜の生育・窒素吸収に及ぼす影響，（第2報）根菜類におけるニンジンとダイコンの違い，土肥学会関東支部要旨,19(2006)
- 134) 吉富 浩：根深ネギの収穫・出荷，農業技術大系野菜編,8-1, 271～277 (1999)
- 135) 吉岡 宏・高橋和彦・新井和夫・長岡正昭：果菜類における光合成産物の動態に関する研究 I，トマト ¹⁴C 同化産物の流転・蓄積に及ぼす夜温並びに生育中の照度，N 濃度処理の影響，野菜試報告, A3, 31～41 (1977)

Development of Techniques to Reduce the Amount of Nitrogen Fertilizers for Upland Vegetable Cultivation

Nitrogen applied in excess to agricultural land, especially upland fields for vegetables, is not absorbed by crops. The excessive nitrogen penetrates and leaches into groundwater, increasing its nitrate concentration. Therefore, nitrogen applications to crops need to take into consideration not only productivity but also environment. In other words, it is important to review conventional standard fertilizer application rates and efficiently apply the amounts of nitrogen required by crops.

The author has studied methods to reduce nitrogen application for protected and open-field cultivations of vegetables. The amount of applied nitrogen is generally determined by subtracting the amount of nitrogen supplied by soil from the amount of absorbed nitrogen required for a standard yield and dividing the difference by the use efficiency of applied nitrogen. In developing techniques for low-fertilizer application, the author studied methods for increasing the use efficiency of applied nitrogen by improving fertilizer placement and the time of fertilizer application. The author further studied fertilizer application methods that took into account residual nitrogen in soil for the efficient use of soil nitrate before fertilizer application.

I . Fertilizer Placement (Localized Deep Placement of Fertilizer)

1. Effects of Nitrogen Fertilizer Levels as Related to Application Method in Chain Pot

System by Using Release Controlled Fertilizer and Topdressing for Summer Welsh Onion

- 1) Low fertilizer application technique was studied for summer welsh onion by applying a release-controlled fertilizer to substrate in chain pots.
- 2) The nitrogen release rate of a coated ammonium nitrate phosphate (2401-100S) of a

100-day sigmoid type for suppressed initial nitrogen release was 3.3% during the period of raising seedlings. No high-concentration damage was observed on welsh onion nursery plants, which grew as well as standard cultivation nursery plants.

- 3) Under a constant amount of top dressed nitrogen (standard application rate of nitrogen, 160 kg ha⁻¹), the amount of nitrogen from 60 kg ha⁻¹ of the 100-day type coated ammonium nitrate phosphate by the application method in chain pot system yielded an equivalent harvest to that from a standard application rate (basal dressing nitrogen, 80 kg ha⁻¹). Also, from the nitrogen release rate of this fertilizer, top dressing applied three times was judged adequate in contrast to four applications prescribed for the standard application rate.
- 4) When 60 kg ha⁻¹ of the 100-day type coated ammonium nitrate phosphate was applied in the chain pots, 90 kg ha⁻¹ of top dressed nitrogen resulted in an equivalent harvest to that from the standard application rate. The total amount of applied nitrogen was 150 kg ha⁻¹, which was 38% lower than 240 kg ha⁻¹ from the standard application rate of nitrogen. The utilization ratio of applied nitrogen also increased to 43% in contrast to 25% for the standard application rate.
- 5) Soil nitrate in the soil after cultivation from the application method in chain pot system was lower in all soil horizons ranging 0-60 cm than that from the standard application rate.

2. Effects of a Release Controlled Fertilizer for the Application of Total Basal Dressing

Nitrogen within a Chain Pot System on the Growth and Harvest of Welsh Onion

- 1) I developed a method for the application of total fertilizer nitrogen within a chain pot system using a release controlled fertilizer for summer welsh onion and for winter welsh onion.

- 2) The ratio of nitrogen leaching out of a coated ammonium, nitrate, and phosphate preparation of a 140-day type (2401-140S), a fertilizer with initial nitrogen leaching suppressed, was 1.6% for summer welsh onion and 3.4% for winter welsh onion during the period of raising seedlings. No high-concentration damage of onion nursery plants occurred with either cropping type during the period of raising seedlings.
- 3) The application of the release controlled ammonium, nitrate, and phosphate preparation of a 140-day type at 120 kg ha⁻¹ without top dressing yielded harvests for summer welsh onion and for winter welsh onion, which were equivalent to harvests obtained from a standard fertilizer application rate. This resulted in a low-fertilizer application: 50% to 240 kg ha⁻¹ of nitrogen, the standard fertilizer application rate.
- 4) This fertilizer application method improved the recovery ratio of applied nitrogen to 44% for summer welsh onion of the 120 kg ha⁻¹ plot from 22% of the plot of the standard application rate. This fertilizer application method also increased the ratio to 60% for winter welsh onion from 30%.
- 5) The amount of soil nitrate remaining after cultivation for summer welsh onion in the plot of 120 kg ha⁻¹ of nitrogen applied by this fertilizer application method was less in every soil layer 0-60 centimeters deep than the amount of the soil nitrate in the plot of the standard rate of nitrogen application. The amount of the soil nitrate remaining after cultivation for winter welsh onion similarly decreased in soil horizons 0-45 centimeters deep.

II . Fertilizer Application Time(Realtime Diagnosis)

1. Effect of Soil Nitrate before Cultivation on N Application rate of Green House Tomato based on Realtime Diagnosis with Petiole Sap

- 1) This study was carried out to clarify the effects of soil nitrate before cultivation and

amounts of basal-dressed nitrogen on additional N application rate and yields of semi-forced tomato for three years from 1998 to 2000.

- 2) The amounts and timing of additional N dressing was determined based on diagnosis of petiole sap nitrate. The top-dressing was carried out with a liquid fertilizer when nitrate concentration of leaflet's petiole sap of leaf beneath fruit which is 2-4 cm declined below 2,000 mg L⁻¹.
- 3) For standard yield by the method of fertilizer application based on this condition, no basal-dressed nitrogen was required when soil nitrate before cultivation was 150 mg kg⁻¹ dry soil or higher in the 0-30 cm layer; 38 kg ha⁻¹ of basal-dressed nitrogen, which corresponds to 25% of the standard rate of fertilizer application of Chiba Prefecture, was optimum when soil nitrate before cultivation was 100-150 mg kg⁻¹ dry soil; 75 kg ha⁻¹ of basal-dressed nitrogen, which corresponds to 50% of the standard, was optimum when soil nitrate before cultivation was under 100 mg kg⁻¹ dry soil.
- 3) A standard yield was secured and the rate of nitrogen fertilizer application decreased by 49-76% to the standard by keeping the nitrate concentration of tomato petiole sap between 1,000-2,000 mg L⁻¹ from early harvest time to topping time under these conditions.

2. Reduction of Amount of Top-dressed Nitrogen Based on Nitrate Diagnosis of Petiole Sap for Rootstock Tomato.

- 1) Greenhouse tomato was cultivated by graft culture using rootstocks to compare with scion root culture for the effectiveness of top-dressed nitrogen method based on nitrate diagnosis with petiole sap to determine N application rate. The rootstocks tested were two varieties with strong nutrient absorption ability and two varieties

with weak nutrient absorption ability.

- 2) The nitrate concentration of tomato petiole sap was high, about 4,000 mg L⁻¹, in all rootstock plots when the nitrate concentration was low, about 2,000 mg L⁻¹, in scion root plots. The number of top-dressings based on the nitrate diagnosis was 7.0 for the scion root plots, whereas the number was 4.5 for the plots of rootstocks with weak nutrient absorption ability and 4.0 for the plots of rootstocks with strong nutrient absorption ability. Consequently, total N application rate was decreased to 143 kg ha⁻¹, 21% reduction, for the rootstock plots of weak nutrient absorption ability from 180 kg ha⁻¹ for the scion root plots and to 135 kg ha⁻¹, 25% reduction, for the rootstock plots of strong nutrient absorption ability.
- 3) Tomato harvest from all the rootstock plots given top-dressings based on nitrate diagnosis with petiole sap was equivalent with tomato harvest from the scion root plots. The Brix and firmness of the fruit from all the rootstock plots were also equivalent with the Brix and firmness of the fruit from the scion root plots.
- 4) The amount of soil nitrate after harvest in the 0–30 cm layers of all the rootstock plots was nearly the same as the amount in the 0–30 cm layers of the scion root plots but smaller in the 30–60 cm layers of all the rootstock plots than in the 30–60 cm layers of the scion root plots.

3. Actual Proof of Top-dressed Nitrogen Method Based on Nitrate Diagnosis with Petiole Sap of Tomato in Farmer's Greenhouses.

- 1) A technique for reducing fertilizer application while maintaining harvest by top-dressing based on nitrate diagnosis of petiole sap in the semi-forcing cultivation of tomato was demonstrated at farmers greenhouses where soil conditions and fertilizer application practices were different.

- 2) Petiole saps from leaves beneath fruit which was 2–4 cm were measured for nitrate concentration and top-dressing based on nitrate diagnosis was applied when the nitrate concentration decreased below 2,000 mg L⁻¹.
- 3) Top-dressing based on nitrate diagnosis could be maintained at 1,000–2,000 mg L⁻¹ during the harvest time when the nitrate concentration of tomato petiole sap decreased to the minimum under these conditions and harvests equivalent to those obtained by top dressing conventionally applied by the farmers were secured.
- 4) The amounts of top-dressed nitrogen ranged 0–50% of those conventionally applied by the farmers. In addition, soil nitrate after cultivation with top-dressing based on nitrate diagnoses decreased considerably from that with top dressing conventionally applied by the farmers. Soil nitrogen was thought to be utilized effectively.
- 5) Both a simple reflection photometer and nitrate test strips were used for the measurement of nitrate concentration of tomato petiole sap. The nitrate test strips were considered practical because they were easy to handle in the field and low in price.

III . Nitrogen Application Rate for Japanese Radish Based on Soil Nitrate before Fertilizer Application

- 1) Japanese radish was cultivated by fall seeding for fall–winter harvest in Andosol to study nitrogen application rate based on soil nitrate before fertilizer application. Seeds were sown at three different timings. Chain pot system is the raising–seedlings method which places the paper pot (chain pot) connected in the shape of a chain into the nursery box of Welsh onion. This method is the epoch raising–seedlings method

for the ability to plant the chain pot seedling by the planting machine.

- 2) When the seeding was early in September, the total sum of soil nitrate before fertilizer application and nitrogen application combined required to obtain a root weight of 1,000 grams, which is classified as large size, was 30 kg ha⁻¹ or more by mulching culture and 60 kg ha⁻¹ or more by non-mulching culture, respectively.
- 3) When the seeding was in the middle of September, the total sum was 60 kg ha⁻¹ or more regardless of mulching.
- 4) When the seeding was late in September, mulching culture was essential and the total sum was 90–120 kg ha⁻¹.
- 5) In the mulching culture in a farmer's field seeded late in September, yield decreased whether the total sum was less than the recommended rate of fertilizer (120 kg ha⁻¹) or significantly more than that. The results provided an actual proof that the proper level of the total sum was 90–120 kg ha⁻¹.