

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 10mg 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^{57,61,62,96,101,105)}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^{5,7)}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。

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

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は主として土壤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、土壤診断に基づいて土壤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⁶⁰⁾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少ない。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^{59,62)}、畦内施肥⁶¹⁾、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^{54,55)}、セル内施肥^{14,39,51)}および育苗箱施肥^{35,37,38,48)}などで高い率の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、土壤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⁴⁹⁾は、ダイコン、キャベツ、ハクサイなどは土壤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 (本論の第II章の第2節で示したように)、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物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、土壌溶液診断、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。土壌溶液診断は、土壌溶液を採取して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、土壌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^{88,91)}。

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、施肥前の土壌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なければ、得られた結果は一事例的な報告になりかねない。

著者は、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、本論の第III章の第1節で明らかにした。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150mg kg⁻¹以上なら不要、100~150mg kg⁻¹であれば38kg ha⁻¹程度、100mg kg⁻¹以下であれば75kg 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^{255,97,100,111)}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⁹⁰⁾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¹³⁷、Locascioら⁶³、Andersenら³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施肥前の土壌中無機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一定の関係があることを示した⁹。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⁵⁰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¹²⁵(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120 cm程度と考えられる^{22,64,70,71}。このことは、ホウレンソウの場合、深さ15 cm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。

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た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燐硝安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 160kg ha^{-1})におけるチェーンポット内施肥の窒素量は、被覆燐硝安100日タイプを 60kg ha^{-1} 施用することで、標準施肥(基肥窒素 80kg 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) 被覆燐硝安100日タイプをチェーンポット内に 60kg ha^{-1} を施用した場合、追肥窒素 90kg 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 150kg ha^{-1} で、標準施肥 240kg 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0~60cm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燐硝安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) 被覆燐硝安140日タイプを窒素成分で 120kg 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 240kg ha^{-1} に対し50%の減肥となった。
- 4) 本施肥法 120kg 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 120kg 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0~60cmのいずれの層でも少なく、同様に冬どり栽培では深さ0~45cm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 15kg 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2~4cm)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、千葉県の標準収量を確保しながら減肥率を上げるための最適施肥量は、施肥前の土壌診断で、0~30cm層の土壌中硝酸態窒素が 150mg 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 38kg ha^{-1} 程度、 100mg kg^{-1} 以下であれば施肥基準の50%にあたる 75kg 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 180kg ha^{-1} に対して、吸肥力が弱いとされる台木が 143kg ha^{-1} で21%の減肥、吸肥力が強いとされる台木が 135kg ha^{-1} で25%の減肥となった。

3) 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。

4) 栽培跡地の土壌中硝酸態窒素量は、0~30cm層ではいずれの台木区も自根区とほぼ同等であったが、30~60cm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 $1,000\text{g}$ 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 30kg ha^{-1} 以上、無マルチ栽培で 60kg 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 60kg 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(120kg 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 Rodbeck, B. V. (1999). 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.
- 2) 青木宏史・荻原佐太郎・湯橋 勤(1980). 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.
- 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(2002). 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. pp.104-108.
- 5) 千葉県農業総合研究センター(1999). 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. pp.39-143.
- 6) 千葉県農業総合研究センター(2002). 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. pp.94-111.
- 7) 千葉県農業総合研究センター(2003). 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. pp.101-296.
- 8) 千葉県農林水産部業務支援サイト(2000~2002). 農業気象情報. <http://chibaadv.wni.co.jp/>
- 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(2002). *ネギ*. pp.34-38.
- 11) 千葉県野菜試験研究調査基準(2003)
- 12) Cicerone, R. J. (1988). Changes in stratospheric ozone. *Science*. **237** : 35-42.
- 13) Coltman, R. R. (1988). Yields of greenhouse tomatoes managed to maintain specific petiole sap nitrate levels. *HortScience*. **23** : 148-151.
- 14) 福地信彦・草川知行・斉藤研二・小林広行・宇田川雄二(2000). 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.
- 15) 藤澤英司(2001). 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.
- 16) 藤澤英司・羽生友治(2000). 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.
- 17) 藤澤英司・小林 新・羽生友治(1998). 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.
- 18) 郡司掛則昭(1997). 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.
- 19) 郡司掛則昭(2004). 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.
- 20) Hara, Y. (2000). 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.
- 21) Hara, Y. (2000). 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.
- 22) 長谷川周一・波多野隆介・岡崎正規編著(2003). 環境負荷を予測する—モニタリングからモデリングへ—. pp.47-51. 博友社. 東京.
- 23) 林 哲央・日笠裕次・中住晴彦(2004). トマト土壌の下層による窒素施肥改善. *土肥誌*. **75** : 617-621.
- 24) He, Y., Terabayashi, S. and Namiki, T. (1998). 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.
- 25) 日笠祐治(2000). 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.
- 26) 平石雅之・大林延夫・横溝 剛(1969). 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.
- 27) 出岡裕哉・安田典夫(1996). 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. pp.105-106.
- 28) 池田英男(1996). 園芸作物の新しい栄養診断法の開発. *季刊肥料*. **75** : 23-41.
- 29) 池田英男(2002). 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. pp.1-17.
- 30) 岩佐博邦・大塚英一・真行寺孝・井上 満・小林広行(2005). 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.
- 31) 加賀屋博行・菊池英樹・深井 誠(1997). 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. *園学雑*. 東北支部.

- pp.65-66.
- 32) 景山美芙陽・石原正道・巽 稔・西村周一(1961). 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.
- 33) 甲斐寿美徳・小野 忠(1994). 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.
- 34) 金子文宜・大塚英一・山本幸洋・大谷邦洋・犬伏和之・蔵 偉(2002). 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壌水および硝酸態窒素の浸透実態. 土肥誌. 73 : 501-507.
- 35) 金田吉弘(1995). 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.
- 36) 金田吉弘・児玉 徹・長野間宏(1989). 八郎瀧干拓地の輪換水田における側条施肥効果. 土肥誌. 60 : 172-174.
- 37) 金田吉弘・栗崎弘利・村井 隆(1994). 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.
- 38) 金田吉弘・栗崎弘利・村井 隆(1994). 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.
- 39) 環境省環境管理局水環境部(2001). 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>
- 40) 環境省環境管理局水環境部(2002). 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>
- 41) 環境省環境管理局水環境部(2003). 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>
- 42) 環境省(2004). 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>>
- 43) 鈴木 保(2001). 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.
- 44) 川上敬志・松丸恒夫(2003). 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. 千葉農総研報. 3 : 37-44.
- 45) 川上敬志・松丸恒夫(2003). 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. 千葉農総研報. 3 : 45-60.
- 46) 川城英夫(1996). 春ダイコン栽培. 農業技術体系野菜編9. 追録第21号. pp.117-123. 農文協. 東京.
- 47) 川城英夫・武田英之(1986). 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.
- 48) 北村秀教・今井克彦(1995). 肥効調節型肥料による施肥技術の新展開1 水稲の全量基肥施肥技術. 土肥誌. 66 : 241-247.
- 49) 小林 新・藤澤英司・羽生友治(1997). 被覆肥料の溶出に及ぼす水蒸気圧の影響. 土肥誌. 68 : 8-13.
- 50) 小林 新・藤澤英司・久保省三・羽生友治(1997). 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.
- 51) 小出哲哉・伊藤武志(1998). 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.
- 52) 今野陽一・黒田 潤・熊谷勝巳・富樫政博・上野正夫(1998). 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.
- 53) 今野陽一・熊谷勝巳・富樫政博・黒田 潤・上野正夫(2001). 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.
- 54) 小杉 徹・高橋和彦・鈴木則文(2004). 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削減. 土肥誌. 75 : 373-376.
- 55) 甲田暢男・荻原佐太郎(1984). 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.
- 56) 熊澤喜久雄(1999). 地下水の硝酸態窒素汚染の現況. 土肥誌. 70 : 207-213.
- 57) 国包章一(1998). 硝酸性窒素等による水道水の汚染とその健康影響. 日本学会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. pp.33-43.
<http://www.soc.nii.ac.jp/jssspn/info/pdf5_sympo1998.pdf>
- 58) 草川知行(2003). 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. pp.276の6-10. 農文協. 東京.
- 59) 草川知行・松丸恒夫・青柳森一(2003). 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.
- 60) 草川知行・吉井幸子・高崎 強(1999). 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.

- 61) L'hirondel, J.-L.(1999). Are dietary nitrates a threat to human health? In: Morris, J. and Bate, R. Fearing Food : Risk, Health and Environment. pp.38-46. Butterworth-Heinemann. Oxford.
- 62) L'hirondel, J. - L. (1999). Dietary nitrates pose no threat to human health. In: Morris, J. and Bate, R. Environmental Health. Third World Problems. pp.119-128. Butterworth-Heinemann. Oxford.
- 63) Locascio, S.J., Hochmuth, G.J., Rhoads, F.M., Olson, S.M., Smajstria, A.G. and Hanlon, E.A. (1997). Nitrogen and potassium application scheduling effects on drip irrigated tomato yield and leaf tissue analysis. HortScience. 32 : 230-235.
- 64) 町田治幸(1985). 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. p.277. 農文協. 東京.
- 65) 松丸恒夫(1995). 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.
- 66) 松丸恒夫(2002). 千葉県における野菜の減肥栽培技術. 農業技術. 57 : 549-553.
- 67) 松本英一・平山 力・青木 武・小山田勉(1994). 畑作地帯の浅層地下水水質実態. 茨城農総研報. 1 : 63-78.
- 68) 松本正雄(1983). ダイコンの肥大根発達の生理. 農業技術大系. 野菜編. 9. pp.23-40. 農文協. 東京.
- 69) 松島松翠(1984). 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.
- 70) 三木直倫(1999). 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. pp.246-248.
- 71) 三木直倫・安積大治・須田達也(1999). 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.
- 72) 陽 捷行(1995). 地球環境変動と農林業. pp. 7-14. 朝倉書店. 東京.
- 73) 西畑秀二・松本美枝子(2001). 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.
- 74) 西畑秀二・宮元史登・松本美枝子・金森松夫(2002). 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.
- 75) 西尾道徳(2001). 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.
- 76) 西尾道徳(2005). 農業と環境汚染. pp.125-138. 農文協. 東京.
- 77) 小川吉雄・石川 実・吉原 貢・石川昌男(1979). 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.
- 78) 岡田 毅(1997). 野菜ハンドブック. pp.324-327. 千葉県農業改良協会. 千葉.
- 79) Ono, K., Tarashima, I. and Watanabe, A. (1996). Interaction between nitrogen deficit of plant and nitrogen content in the old leaves. Plant Cell Physiol. 37 : 1083-1089.
- 80) 大沢孝也(1961). 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.
- 81) 大川浩司・林 悟郎(1998). 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.
- 82) 大塚英一・草川知行・山本幸洋・松丸恒夫(2001). 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.
- 83) 大山信雄(1985). 東北地方の水稲栽培における側条施肥法. 土肥誌. 56 : 343-345.
- 84) 李 光植・喻 景植・松井佳久(1991). 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.
- 85) 六本木和夫(1991). 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.
- 86) 六本木和夫(1992). 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.
- 87) 六本木和夫(1993). 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.
- 88) 六本木和夫(1996). 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.
- 89) 六本木和夫(1998). 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.
- 90) 六本木和夫(2000). 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. pp.69-75. 日本土壌協会. 東京.
- 91) 六本木和夫・加藤俊博(2000). 野菜・花卉の養液土耕. pp.100-126. 農文協. 東京.
- 92) 相楽徳康(1999). ネギ地床育苗. 農業技術大系. 野菜編. 8-1. pp.203-208. 農文協. 東京.

- 93) 坂口雅巳・日笠祐治・中住晴彦・大村邦男(2003). 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.
- 94) 坂口雅巳・日笠祐治・中住晴彦(2004). 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.
- 95) 佐藤之信・安達栄介・中西政則・齋藤謙二・安藤隆之(2006). 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.
- 96) 関本 均・児玉いち子・小松孝行(2000). 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.
- 97) 嶋田典司・守谷松次(1977). 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.
- 98) 白崎隆夫(1996). 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.
- 99) 穴戸良洋・新井和夫・熊倉裕史・伊 千鍾・施山紀男(1990). 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.
- 100) 穴戸良洋・伊 千鍾・湯橋 勤・施山紀男・今田成雄(1991). トマトにおける葉の光合成・転流・分配の経時的变化と果実肥大に対する葉位別寄与度. 園学雑. 59 : 771-779.
- 101) 孫 尚穆・米山忠克(1998). 野菜の硝酸. 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. pp.53-56.
<http://www.soc.nii.ac.jp/jssspn/ino/pdf5_sympo1998.pdf>
- 102) 総務省(2004). 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>
- 103) 鈴木敏征・森下正博(2002). 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.
- 104) 高橋能彦・土田 徹・大竹憲邦・大山卓爾(2003). 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.
- 105) 高崎正・和久井隆(1998). 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. pp.524-525.
- 106) 建部雅子(2001). 作物の汁液診断技術とその展開方向. 農業技術. 56 : 245-250.
- 107) 建部雅子・米山忠克(1995). 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.
- 108) 田中章男(1998). 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. pp.44-52.
<http://www.soc.nii.ac.jp/jssspn/info/pdf5_sympo1998.pdf>
- 109) Tanaka, F. (2003). Plant Nutrition Diagnosis in Japan, with a Special Focus on Crop Quality and the Environment. Food & Fertilizer Technology Center. Extension Bulletin. 536 : 1-13.
- 110) 田中達也・佐藤 直(1997). 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.
- 111) 田中達也・佐藤 直(1998). 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.
- 112) 田中達也・嶋田永生(1996). 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.
- 113) 田中有子(1999). ネギ栽培について. 季刊肥料. 83 : 76-81.
- 114) 田中有子・小山田勉(2000). 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.
- 115) 辻 藤吾(2000). 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.
- 116) 土屋恭一(1999). 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. pp.209-219. 農文協. 東京.
- 117) 上野正夫(2001). 環境保全と新しい施肥技術. 安藤 環・越野正義編. pp.162-174. 養賢堂. 東京.
- 118) 山崎浩司(1998). 養分吸収の特徴と施肥の考え方. 農業技術大系. 野菜編. 1. pp.基345-348. 農文協. 東京.
- 119) 山田良三・加藤俊博・井戸 豊・関 稔・早川岩夫(1995). 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.
- 120) 山田良三・関 稔(1998). 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. pp.424-423.
- 121) 山崎晴民(2000). 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. pp.77-83. 日本土壌協

- 会、東京。
- 122) 山崎晴民・六本木和夫(1992). 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.
- 123) 山口紀彦・斎藤雅人・藤沢春樹・井口慎太郎・鍛名春三(2004). 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. pp.154-155.
- 124) 八槇 敦・安西徹郎(2004). 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.
- 125) 山本二美・草川知行・松丸恒夫(2006). 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.
- 126) 山本二美・松丸恒夫(2007). 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.
- 127) 山本二美・松丸恒夫(2007). 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: 371-378.
- 128) 山本二美・松丸恒夫(2005). 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.
- 129) 山本二美・松丸恒夫(2006). 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.
- 130) 山本二美・松丸恒夫(2006). 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, 75別1: 164.
- 131) 山本二美・松丸恒夫(2007). 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: 391-394.
- 132) 山本二美・松丸恒夫(2005). 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, p. 9.
- 133) 山本二美・松丸恒夫(2006). 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, p.19.
- 134) 吉富 浩(1999). 根深ネギの収穫・出荷. 農業技術大系, 野菜編, 8-1, pp.271-277. 農文協, 東京.
- 135) 吉岡 宏・高橋和彦・新井和夫・長岡正昭(1977). 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.

Summary

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

Futami YAMAMOTO

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.
 - 4) 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.
- 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.