

## ノ ー ト

## 転作野菜畑に深層施肥した被覆尿素的 窒素動態\*

南雲芳文<sup>1,2</sup>・高橋洋介<sup>3</sup>・藤原菜世<sup>3</sup>・  
大山卓爾<sup>3</sup>・高橋能彦<sup>3</sup>

キーワード 被覆尿素, 転作野菜, 窒素溶出モデル,  
深層施肥

### 1. はじめに

緩効性肥料である被覆尿素等の野菜に対する施肥事例は高橋<sup>1,2)</sup>をはじめ相当数報告されている。著者らは被覆尿素等の深層施肥が転作ダイズの生育・収量等に対して効果が高いことを報告してきた<sup>3,4)</sup>。この一連の研究で、深層施肥した被覆尿素から溶出した尿素は土壌のウレアーゼによって速やかに炭酸アンモニウムになるが、深層土壌の硝酸化成能は低いいためアンモニア態窒素として集積することを報告した。

北陸地域では転作作物としてダイズが主要品目であったが、近年では地域伝統野菜を含め、野菜を転作畑に作付けする事例が多くなっている。また、多くの露地野菜栽培では雑草抑制等のためにマルチ資材での被覆栽培を取り入れている。この場合、株元への追肥は困難であるため畝間に施用している農家もある。

著者らは露地野菜栽培において施肥窒素の溶脱を抑制しつつ効率的な追肥効果を得るために、追肥に相当する溶出パターンを有するシグモイド型被覆尿素有を基肥として深層施用する技術を開発してきた。ここでは、その従来報告されてきた被覆尿素からの窒素溶出推定法<sup>5)</sup>が深層施肥、マルチの有無および土性の異なる転作野菜栽培で適応でき

るかを論じるとともに、施肥深度や窒素形態と窒素動態の関係を報告する。

### 2. 材料および方法

#### 1) 試験圃場

試験は2006年に新潟大学農学部附属フィールド科学教育研究センター新通ステーション圃場で実施した。当該圃場は水田から畑転換後8年目である。試験には排水性が悪い細粒灰色低地土(作土の土性:シルト質埴土(SiC),陽イオン交換容量 $22.9\text{ cmolc kg}^{-1}$ ,以下粘質土壌)と、一部に砂を客土した中粗粒褐色低地土(作土の土性:壤土(L),陽イオン交換容量 $11.4\text{ cmolc kg}^{-1}$ ,以下壤質土壌)の両圃場を供試した。

#### 2) 耕種概要及び被覆尿素的の施肥法

2006年にエダマメ「新小平茶豆」を粘質土壌で、ブロッコリー「緑嶺」を粘質土壌と壤質土壌の両圃場で栽培した。両圃場とも黒マルチ資材で被覆した「マルチ区」と被覆しない「無マルチ区」を設けた。被覆尿素的の施用とマルチの有無以外の管理は新潟県の野菜栽培指針<sup>6)</sup>に従った。各処理区の面積(畝間も含む)、マルチの幅×長さは、粘質土壌については $2.8\text{ m}^2$ ,  $80\text{ cm} \times 200\text{ cm}$ , 壤質土壌については $5.6\text{ m}^2$ ,  $80\text{ cm} \times 400\text{ cm}$ で各区2反復とした。マルチに空けた栽植用の穴は直径 $10\text{ cm}$ で条間 $35\text{ cm}$ , 株間はエダマメが $30\text{ cm}$ , ブロッコリーが $35\text{ cm}$ である。エダマメの播種は $9.5\text{ 粒 m}^{-2}$ (1株2粒播種)で5月16日に、ブロッコリーの定植は $4.1\text{ 本 m}^{-2}$ で8月23, 24日に行った。

施肥量は新通ステーションの慣行に基づき、エダマメには基肥としての肥料を施用せず、追肥相当の被覆尿素として窒素で $72\text{ kg ha}^{-1}$ , ブロッコリーには基肥として窒素で $210\text{ kg ha}^{-1}$ (アンモニア態 $135\text{ kg ha}^{-1}$ , 尿素態 $75\text{ kg ha}^{-1}$ ), 被覆尿素有を窒素で $120\text{ kg ha}^{-1}$ 施用した。被覆尿素有は耕耘, 畝立後, 基肥施用前に播種・定植条の真下を $20\text{ cm}$ 深までスコップで掘り, 手で条施用した。施用後は同じ深さの土を埋め戻して表面に基肥を施用し,  $10\sim 15\text{ cm}$ の深さまでの土壌を耕耘し, 播種・定植を行った。

#### 3) 被覆尿素的のタイプの選択

被覆尿素有からの窒素溶出は, 当該圃場の前年5月中旬から11月末の無マルチ $20\text{ cm}$ 深の地温を, Hara<sup>5)</sup>の作成したエクセルテンプレートに代入して推定した。その結果に基づき5月中旬播種のエダマメの場合, 7月初旬の開花期追肥に対応してはシグモイド型被覆尿素有40日タイプ(以下CUS40と略す), 及び早生の作型もしくは収穫直前までの追肥に対応してCUS30, 60, 80を選定した。8月下旬定植, 9月上旬と10月上旬に追肥予定のブロッコリーの場合についてはCUS30とCUS60を選定した。尚, 各タイプの数字は湛水 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下で窒素成分の80%が溶出するまでの日数を示している。

#### 4) 被覆尿素有からの窒素溶出

栽培期間中の深層施肥位置(深さ $20\text{ cm}$ )の地温をマルチの有無別に記録式温度計(ティアンドデイ社製 おんど

Yoshifumi NAGUMO, Yohsuke TAKAHASHI, Sayo FUJIWARA, Takuji OHYAMA and Yoshihiko TAKAHASHI: Nitrogen release from coated urea fertilized for deep layer in upland vegetable field converted from paddy field.

\*本研究は農林水産省助成研究「北陸特有の環境条件に即した野菜安定栽培技術の開発」および「新鮮でおいしい「ブランド・ニッポン」農産物提供のための総合研究2系:大豆」の一部として実施した。

<sup>1</sup>新潟大学大学院自然科学研究科(950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050番地)

<sup>2</sup>新潟県農業総合研究所作物研究センター(940-0826 長岡市長倉町857)

<sup>3</sup>新潟大学農学部(950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050)

2007年5月21日受付・2007年8月14日受理

日本土壌肥科学雑誌 第79巻 第2号 p.183~187 (2008)

とり Jr.TR-52) で計測した。地温を基に Hara<sup>5)</sup> がリチャーズ式より誘導した以下の式を利用して窒素溶出パターンを推定した。

$$n = N \cdot [1 + d \cdot \exp\{\exp(d+1)^{-1} - k \cdot t\}]^{-1/d}$$

$n$ : 25℃での時間  $t$  までの窒素溶出量 (g もしくは%),  $t$ : アレニウス温度変換日数 (25℃) (日),  $d$ : 曲線の形を示す値 (無次元),  $k$ : 標準温度 (25℃) における速度定数 (日<sup>-1</sup>),  $N$ : 最大溶出量 (g もしくは%)。本式は最大容水量の 150% 条件下で導かれたものである。

また、各タイプ (30 日, 40 日, 60 日, 80 日) の CUS を 3g ずつメッシュ袋に入れて施肥位置 (深さ 20 cm) に埋設し、埋設後 10 日ごとに 2 袋ずつ回収した。回収した CUS は乳鉢ですりつぶし、硫酸・過酸化水素分解<sup>7)</sup> してインドフェノール法で残存窒素を分析し、1 日当たりの窒素溶出量を求めた。

栽培期間中、施肥深に相当する 15~25 cm 層の土壌を適宜採取し、105℃乾燥で含水比を追跡した。

#### 5) 施肥深度の異なる被覆尿素から溶出する窒素の動態

2006 年 5 月 24 日に直径 11 cm、長さ 30 cm の無底塩ビパイプの下層 15 cm に下層土、上層 15 cm に作土を充填し、メッシュ袋に入れた CUS40 現物 3g を 5 cm あるいは 20 cm 深に埋め込み、パイプ全体を圃場に 0~30 cm の深

さで埋設した。また無肥料区として CUS40 を添加しないものを埋設した。供試土壌は前述の粘質土壌で、作土は圃場の 0~15 cm 深、下層土は同 15~30 cm 深から採取したものをを用いた。2 ヶ月後の 7 月 25 日にパイプを回収し、5 cm 毎に土壌中の無機態窒素の含有量を測定した。アンモニア態窒素は 10% 塩化カリ抽出後インドフェノール法、硝酸態窒素は 0.01% 塩化アルミで抽出<sup>8)</sup> 後、濃縮してカタルド法で分析した。また回収された CUS40 中の窒素残存量から埋設期間中に溶出した窒素量を計算した。

#### 6) 窒素肥料種別の施肥窒素動態

被覆尿素と他の肥料との窒素動態の違いをみるため、2005 年に新潟県農業総合研究所の転換畑ダイズ栽培圃場 (細粒グライ土: 作土の土性 LiC, 陽イオン交換容量 25.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 以下長岡圃場) で培土期に CUS60, 石灰窒素および硫酸を追肥として条施用して各肥料の硝酸化成を追跡した。追肥以外、ダイズの栽培は新潟県の慣行に従った。基肥 (アンモニア態窒素 16 kg ha<sup>-1</sup>) を全面に散布・耕起直後ダイズ (品種: エンレイ) を播種密度 8.9 粒 m<sup>-2</sup> で 5 月 31 日に播種した。追肥は供試肥料を 7 月 9 日に畝肩面に窒素として 60 kg ha<sup>-1</sup> を条施用し、5 cm 高に培土した。7 月 26 日, 8 月 12 日, 24 日および 9 月 6 日に施肥条の深さ 10 cm までの土壌を移植ごとで採取し、アンモニア態窒素については前述のインドフェノール法、硝酸態窒素については八槓<sup>8)</sup> の方法で分析した。また、無追肥区を対照区として同様に採土、分析した。

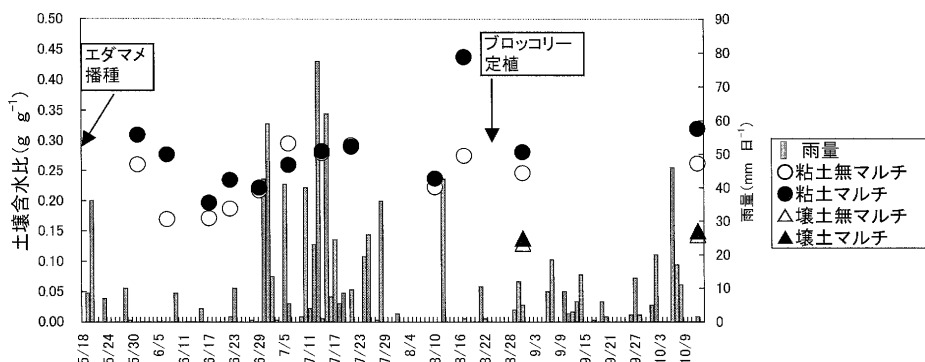


図1 土性の違いおよびマルチの有無と土壌水分 (2006 年) 土壌は 15~25 cm 深の層から採取

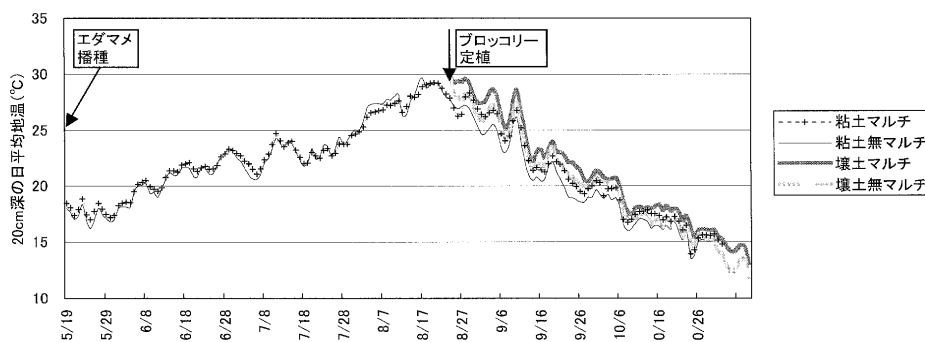


図2 土性の違いおよびマルチの有無と地温の推移 壤土は 8 月後半から計測

3. 結果および考察

1) 土壌水分と地温の推移

図1と図2にエダマメおよび引き続き栽培したブロッコリー栽培期間の土壌水分と地温の推移をそれぞれ示す。2006年は6月の雨量が70 mm (アメダス, 新潟) と少なく、7月の雨量は466 mm と多かった。粘質土壌の含水比は6月では0.2 g g<sup>-1</sup>前後に低下し、7月以降は0.25~0.3 g g<sup>-1</sup>に上昇した。梅雨入り直後の比較的雨量が多い時期(6月30日から7月5日) 以外はマルチ区の水分が高かった。壤質土壌では0.15 g g<sup>-1</sup>程度の値であった。

試験開始時から8月末までの地温はマルチの有無による差は少なかったが、8月末以降はマルチ区の日平均地温の方が高く推移した。また、壤質土壌の方が粘質土壌より高めに推移した。これは水分の違いにより、土壌の比熱や熱伝導率が異なる<sup>9)</sup> ことが影響していると思われる。

2) 被覆尿素からの窒素溶出

図3にエダマメ圃場での各種被覆尿素からの溶出パターンを示す。無マルチ区のCUS30, 40, 60 及びマルチ区のCUS30, 60は概ね推定溶出パターンと実測溶出パターンが合致したが、両区のCUS80は明確な実測溶出ピークが認められなかった。マルチ区は無マルチ区と推定溶出パターンはほぼ同様であるが、実測溶出パターンはやや速い傾向が伺えた。特にマルチ区のCUS40は推定溶出より実測溶出の方が2週間程度速かった。藤澤ら<sup>10)</sup> は被覆肥料からの成分溶出速度は、土壌水分が十分である場合(最大容水量の60%) に比べて土壌水分が最大容水量の40%より低い場合は低下すると報告している。本試験でも6月は雨が少なく、粘質土壌は6月7日の時点では最大容水量(0.83 g g<sup>-1</sup>) の20%程度まで乾燥し、乾燥の著しい無マルチ区はマルチ区より実測の溶出が若干遅れる傾向であった。また、本試験においてはマルチ区、無マルチ区とも比較的乾燥している状態であり、実測溶出パターンは推定溶出パターンに比べやや遅くなることが予想されたが、溶出

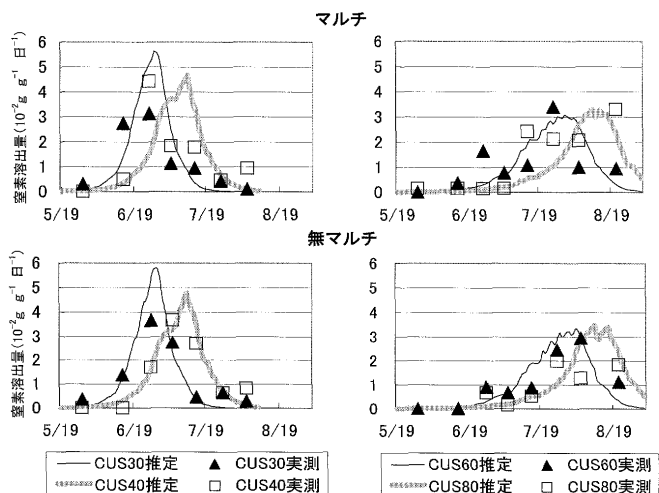


図3 各種CUSからの窒素溶出のマルチの有無による違い(エダマメ圃場)  
窒素溶出単位はCUS含有窒素1gからの1日当たり窒素溶出量

のタイプが比較的短いCUS30, 40, 60について既存の推定法の適用が可能であった。これについての原因は不明であるが、既存の研究<sup>5)</sup> は溶出期間中一定水分条件下で行われたものであり、水分条件の変動等が影響していることも考えられ、事例を積み重ねる必要があると思われる。

図4にブロッコリー圃場における被覆肥料からの窒素溶出パターンを土性別に示す。壤質土壌の含水比は約0.15 g g<sup>-1</sup>と少ないが、最大容水量(0.37 g g<sup>-1</sup>) の40%であり、同時期の粘質土壌と同等であった。壤質土壌は地温が高く推移したために、推定溶出は粘質土壌より少し速かったが、実測の溶出に大きな差は認められなかった。またCUS30は溶出ピークが認められたが、CUS60については推定、実測とも明確な溶出ピークとならなかったが、溶出パターンはほぼ合致した。これは溶出ピークの時期が地温の低下する時期と重なったためと考えられる。

以上のように本圃場においてHara<sup>5)</sup> の推定法は、深層施肥されたCUS30および60についてはマルチの有無、土性の違いに関わらず適用が可能であった。

3) 施肥深度と土壌窒素動態

無底パイプの深さ5 cmと20 cmにそれぞれ施用したCUS40から溶出した窒素の動態を図5に示す。2ヶ月の埋設期間後回収したCUS40の窒素残存量より、この期間中に5cm深施用区では88%、20cm深施用区では85%の窒素がCUS40から溶出した(このデータは図中に示していない)。硝酸態窒素量は各層において微量であったが、これは7月の雨量が466 mmと多く、被覆尿素から溶出し硝化された窒素はほとんどが30 cm以下の層へ溶脱した結果と思われる。CUSより溶出し、0~30 cmの層にアンモニウム態窒素として残留している割合は、5 cm深施用区は1.2%に対して、20 cm深施用区が28%と約20倍多かった

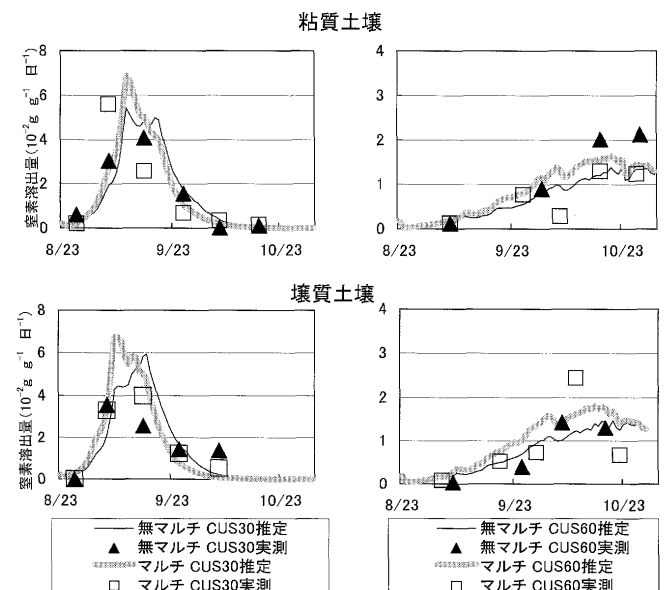


図4 CUSからの窒素溶出の土性およびマルチの有無による違い(ブロッコリー圃場)  
窒素溶出単位はCUS含有窒素1gからの1日当たり窒素溶出量

た。これは転換畑の深層土壌は硝酸化成能が低い<sup>4)</sup> ことに起因していると考えられる。

長岡圃場 (LiC) 転作畑の畝表層 5 cm 深に硫安、CUS60 および石灰窒素を条施用し、0~10 cm 深土壌におけるその後の窒素動態を追跡した結果を図 6 に示す。栽培期間の降水量は 5 月 31 日~7 月 8 日が 214 mm、~7 月 26 日が 103 mm、~8 月 12 日が 86 mm、~8 月 24 日が 230 mm、~9 月 6 日が 43 mm であった。前項でも触れたように、試験期間中の降雨により硝酸態窒素の一部は 10 cm 以下に溶脱されるためこの結果は厳密には硝酸化成を示していないが、土壌中無機態窒素に占めるアンモニア態窒素の割合で推定する硝酸化成能は CUS60 > 硫安 > 石灰窒素であり、尿素から転化する炭酸アンモニウムの硝酸化成が一番速く、ジシアンジアミドによる硝酸化成抑制効果のある石灰窒素<sup>11)</sup> の硝酸化成が遅れる結果となった。なお、基肥としてアンモニア態窒素を全面に施用しているが、追肥の約 4 分の 1 の量であり、7 月 26 日の対照区の無機態窒素濃度も低かったため特に考慮はしなかった。

白井ら<sup>12,13)</sup> は条施肥では硝酸化成が阻害されることによりアンモニア態窒素濃度が高くなり、キャベツの生育が遅れると報告している。この傾向は特に根群形成が少ない

冬採り収穫の場合に明確であり、特に冬場の微生物活性の劣る条件ではこの問題が大きくなる可能性がある。しかし硝酸態窒素よりアンモニア態窒素を好む作物を栽培する場合は、施肥深度による硝酸化成能の違い<sup>4)</sup> を利用して施肥窒素の溶脱を抑制する方法は環境保全的施肥として検討に値するものと考えられる。本報告で用いた窒素溶出推定法により作目・作型にあった溶出パターンを持つ被覆尿素を選択し、施肥深度を変えることにより硝酸化成を調整することは、作物の安定生産と環境保全型農業の両立を図る技術となり得る。

4. まとめ

1) 転作畑で春から夏にかけての地温はマルチの有無で差は少なかったが、夏から秋ではマルチ区の地温が高く推移した。無マルチ区はマルチ区より土壌水分が少なく、梅雨前の小雨条件では最大容水量の 20% に低下した。

2) 5 月から 8 月における深層施肥された被覆尿素からの実測の窒素溶出は CUS30~60 では概ね推定溶出と近いパターンであったが、CUS80 は明確な溶出ピークが得られなかった。8 月から 10 月では CUS30, 60 の実測溶出は土性に関わらず推定溶出と同じパターンであった。CUS60 は明確な溶出ピークは得られなかった。

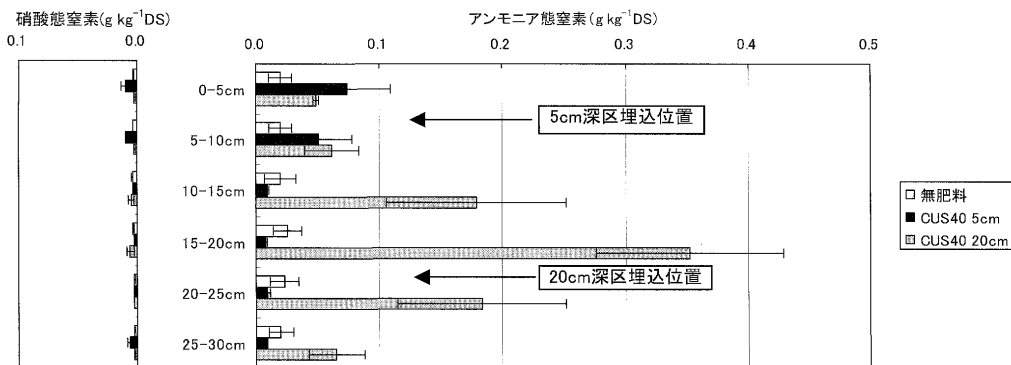


図 5 パイプ埋設法による CUS40 の施肥深と深度別の無機態窒素濃度 (粘質土壌) 2006 年 5 月 24 日~7 月 25 日埋設。図中のエラーバーは標準偏差を示す。

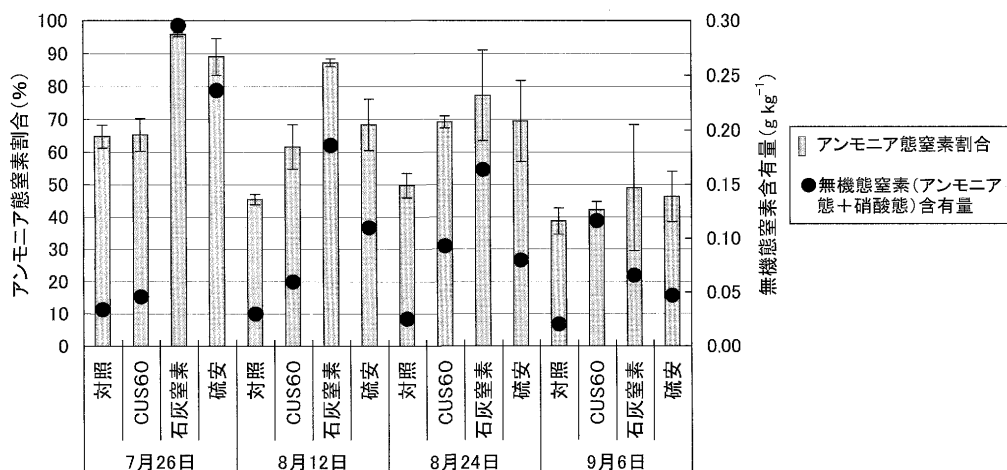


図 6 施肥窒素の形態と土壌中の無機態窒素に占めるアンモニア態窒素の割合 (2005 年) CUS60 の窒素溶出率 8/12: 30%, 8/24: 60%, 9/6: 70%。図中のエラーバーは標準偏差を示す。

3) CUS40 を 20 cm 深土壌に施用した場合、溶出窒素はアンモニア態窒素として、5 cm 深施用の場合より 20 倍多く施肥部位土壌に残留していた。被覆尿素は深層施用することで溶出する窒素の硝酸化成を抑さえる効果が期待できた。

4) 以上の結果に基づき、既存の窒素溶出推定法はエダマメ栽培期間中の深層施肥された CUS30, 同 40, 同 60, ブロccoli栽培期間中の深層施肥された CUS30, 同 60 からの窒素溶出推定に適用できると考えられた。

謝辞：本研究を行うに当たり中央農業研究センター・北陸研究センターおよび新潟県農業総合研究所、富山県農業技術センター、石川県農業総合研究センターの関係各位に感謝する。また、被覆肥料を提供していただいた全農にいがた新潟肥料工場、チッソ旭肥料（株）、石灰窒素を提供していただいた電気化学工業（株）の各位および窒素溶出パターン推定について指導いただいた九州沖縄農業研究センター原嘉隆氏に感謝する。

#### 文 献

- 1) 高橋正輝：肥効調節型肥料による施肥技術の新展開 5. 野菜の施肥技術（その1）, 土肥誌, **69**, 201~205 (1998)
- 2) 高橋正輝：肥効調節型肥料による施肥技術の新展開 5. 野菜の施肥技術（その2）, 土肥誌, **69**, 303~309 (1998)
- 3) 高橋能彦：水田転換畑におけるダイズに対する深層施肥法の開発と安定多収効果の解析, 新潟農試研報, **41**, 53~104 (1996)
- 4) 高橋能彦・池主俊昭・中野富夫・大山卓爾：ダイズ栽培圃場において追肥または深層施肥した被覆尿素の土壌中における動態, 土肥誌, **64**, 338~340 (1993)
- 5) 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**, 693~702 (2000)
- 6) 新潟県農林水産部農産園芸課編：野菜栽培指針, p. 352~368, 276~279, 新潟県農林水産部, 新潟 (2003)
- 7) 大山卓爾・伊藤道秋・小林京子・荒木 創・安吉佐和子・佐々木 修・山崎拓也・曾山久美子・種村竜太・水野義孝・五十嵐太郎：硫酸一過酸化水素分解法による、植物、厩肥試料に含まれる、N,P,K の分析, 新潟大学農学部研報, **43**, 111~120 (1991)
- 8) 八槇 敦：紫外吸光度法を利用した土壌中硝酸態窒素の迅速測定法, 土肥誌, **74**, 195~197 (2003)
- 9) 佐久間敏雄：土壌学, p. 125~129, 文永堂, 東京 (1984)
- 10) 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)
- 11) 栗原 淳, 越野正義：肥料製造学, p. 67~71, 205~208, 養賢堂, 東京 (1986)
- 12) 白井一則・井上恒久：被覆尿素の施肥位置が秋冬キャベツ（年明け採り）の生育に及ぼす影響, 愛知農総研報, **31**, 121~130 (1999)
- 13) 白井一則・山田良三・今川正弘：鉍質土壌畑での全量基肥栽培における施肥位置が秋冬野菜の生育に及ぼす影響, 愛知農総研報, **33**, 161~168 (2001)