

ノ ー ト

秋季畝たて, 施肥, マルチ作業体系における被覆
尿素的冬季から春季にかけての窒素動態*藤原菜世¹・浦田 遥¹・平井英行²
片山勝之³・細川 寿³・岩本 嗣⁴・高橋能彦⁴

キーワード 被覆尿素, 窒素動態, 秋施肥, 野菜, 北陸

1. はじめに

水田転作では一般にムギ・ダイズが栽培されているが, 近年は稲作農家にキャベツ等野菜作導入の方策が検討されている(高山, 2005). しかし, 北陸地方の春季は融雪や天候条件の問題から圃場の乾燥が進まず, 適期に圃場作業を開始することが困難な地域が多い(伊藤, 2000). そこで, 前年秋の圃場条件が良好な時期に耕起・畝たて・施肥・マルチを実施し, 翌年の早春4月上中旬頃にキャベツやカリフラワー等の定植を実施する作業体系が検討されている(片山, 2006).

著者らは上記課題において, 前年秋に施用された肥料, 特に被覆尿素からの窒素溶出が従来提唱されている予測式で推定可能か, 市販の土壤ECプローブで被覆尿素からの窒素溶出の簡易計測が可能か, また上記秋施肥作業体系で初夏採野菜を栽培する場合に適切な溶出パターンを有する肥料の選定等を検討した.

2. 材料および方法

1) 試験圃場

試験は2006年10月から2007年6月に新潟市西区に所在する新潟大学農学部フィールド科学教育研究センター新通

Sayo FUJIWARA, Haruka URATA, Hideyuki HIRAI, Katsuyuki KATAYAMA, Hisashi HOSOKAWA, Yuzuri IWAMOTO and Yoshihiko TAKAHASHI: Movement of elution nitrogen from coated urea during winter and spring period by ridging, fertilizing and mulching in autumn of the previous year

* 本研究は, 先端技術を活用した農林水産高度化事業(農林水産省)「北陸特有の環境条件に即した野菜安定栽培生産技術の開発」において実施したものである.

¹ 新潟大学自然科学研究科(950-2180 新潟市西区五十嵐2の町8050)

² 石川県農業総合研究センター(920-3101 金沢市才田町成295-1)

³ 中央農業研究センター北陸研究センター(943-0154 上越市稲田1-2-1)

⁴ 新潟大学農学部(950-2180 新潟市西区五十嵐2の町8050)

2008年6月20日受付・2009年3月10日受理

日本土壤肥料学雑誌 第80巻 第4号 p.387~391 (2009)

ステーション圃場で実施した. 当該圃場は細粒灰色低地土(シルト質粘土: SiC), 陽イオン交換容量 $22.9 \text{ cmol}_e \text{ kg}^{-1}$ であり, 排水性は悪く, 0~5 cm 深土壌で飽和透水係数 $2.1 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$, 15~20 cm 深土壌で $2.6 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$ であった.

2) 肥料埋設方法

2006年10月30日に耕耘畝立てし(畝幅75 cm, 畝高20 cm, 長さ8 m×2 畝), 畝下に人力で尿素およびシグモイド型溶出被覆尿素(CUS)を埋設した. CUSはCUS30, CUS40, CUS60, CUS80およびCUS100を選定した. CUSに付随する数字は25°C湛水状態で成分窒素の80%溶出に必要な日数を示す. 尚, 溶出抑制期間はそれぞれ順に約15日, 20日, 30日, 40日, 50日である. 現物3gの尿素および被覆尿素をナイロン製不織布袋に詰め, 湿潤土1kgに包埋して更にナイロン網袋に入れた(図1). 肥料の中心が畝上面から深さ5 cmあるいは20 cmになるように各肥料を2反復で埋設した. 畝は黒ビニールマルチで被覆する処理(マルチ区)と裸地のまま(無マルチ区)の2処理区を設定した.

3) 肥料および土壌の分析方法

2006年10月30日から2007年6月30日までの試験期間中に8回(12月10日, 3月20日, 4月20日, 5月10日, 5月30日, 6月10日, 6月20日, 6月30日), 埋設肥料と包埋土壌を回収した. 土壌は風乾・砕土・篩別(2 mm)して分析に供した. 土壌分析は10%塩化カリ水溶液で抽出し, インドフェノール法でアンモニア態窒素を, 0.1%硫酸アルミニウム液で抽出(八槇, 2003)・濃縮後にカタルド法で硝酸態窒素を分析した. 回収した被覆尿素は-20°Cで冷凍保存した後に解凍し, 乳鉢で摩砕し硫酸・過酸化水素分解(大山ら, 1991)して, インドフェノール法で残存窒素を分析した.

4) 肥料(CUS60)埋設部位の土壌環境の追跡

埋設した被覆尿素CUS60に密着する形で温度・水分・EC同時計測プローブ(Decagon Devices社製: ECH₂O TEセンサー)を埋設した(図1). 具体的にはマルチ区と無マルチ区の5 cm 深と20 cm 深のCUS60の埋設深度別お

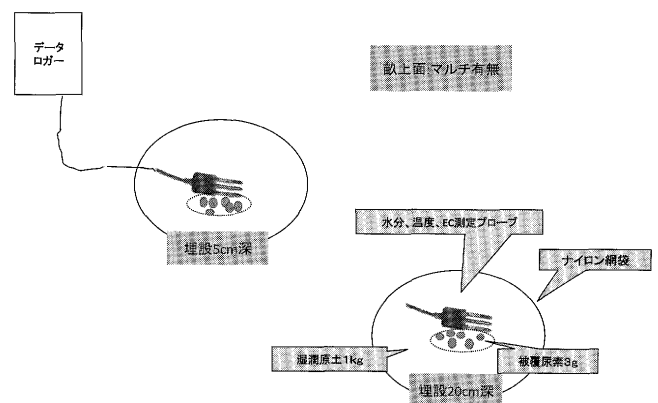


図1 肥料の埋設方法および埋設肥料周辺土壌の土壌環境計測方法の略図

埋設被覆尿素はCUS60を使用した.

よび対照として無施肥土壌（マルチ）の10 cm 深の計5本設置した。それぞれ1時間ごとに地温，土壌水分，土壌溶液ECを計測して，日当たりの平均値を求めた。

地温を基にHara (2000) 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°C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°C) (日)，d: 曲線の形を示す値 (無次元)，k: 標準温度 (25°C) における速度常数 (日⁻¹)，N: 最大溶出量 (gもしくは%)。本式は最大容水量の150%水分条件下で導かれたものである。

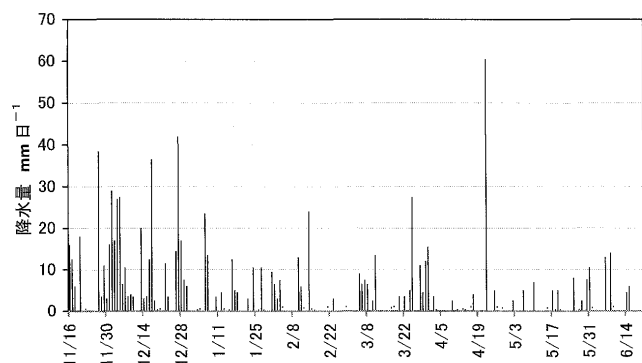


図2 試験期間中の降水量

3. 結果および考察

1) 降水量の推移

図2に試験期間中の降水量の推移を示す。12月は310 mmと平年値 (204 mm) より多かったが，1・2月は暖冬傾向で降雨・降雪が少なく平年の半分近い降水量であった。過去30年間の最大積雪深の平均は12月と3月で約10 cm，1月と2月は30 cmであるが試験年は3月上旬に一時的に6 cmの積雪が観測された以外，積雪は認められなかった。3・4月は平年並みの降水量で推移した。圃場は3・4月でも排水が悪くぬかるんだ状況であった。

2) 地温の推移

図3に地温の推移を示す。計測期間中，新潟市の12月から2月の月平均気温は5~6°Cであり，過去30年間の平均と比較すると1月と2月は2.6°C，12月と3月は0.6~0.8°C高かった。図3に示された地温はほぼ気温に対応して変化し，冬季間は5°C前後で推移し3月後半から上昇する傾向であった。この中でマルチ5 cm 深の地温は4月上旬から他より日平均で約2°C高く推移したが，無マルチ5 cm 深と20 cm 深およびマルチ20 cm 深はそれぞれ同様の温度変化であり，マルチの地温上昇効果は20 cmの深さでは認められなかった。

3) 土壌水分の推移

図4は試験期間に測定した土壌体積含水率である。土壌

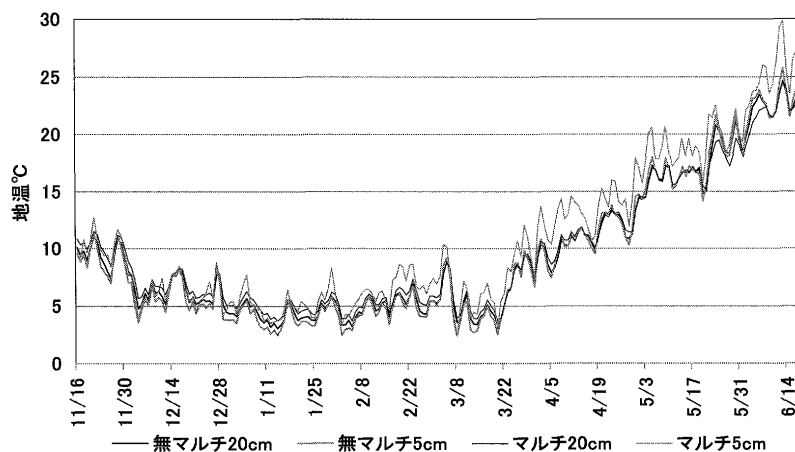


図3 地温の推移

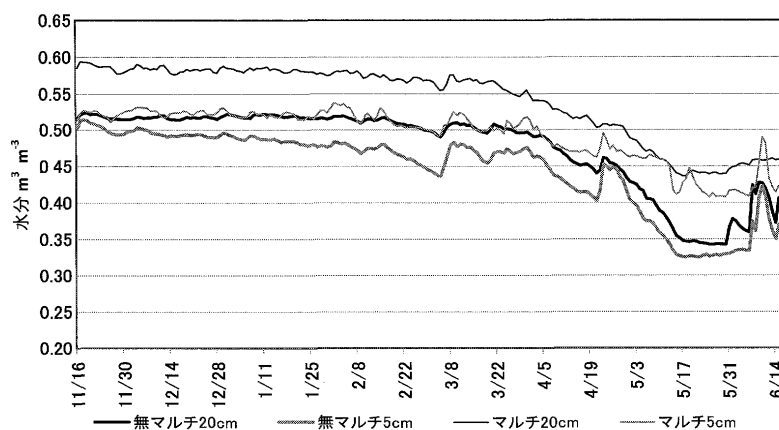


図4 土壌水分の推移

水分は1月までは全区とも最大容水量と同程度の水分で推移し，2月以降無マルチ5 cm 深区の土壤水分が相対的に低下する傾向であった。5月になるとマルチ両区より無マルチ両区の土壤水分が低下する傾向であった。藤澤ら(1998)は被覆尿素からの窒素溶出速度は，土壤水分が最大容水量の40%以下となると低下すると報告している。当該土壤の最大容水量は $0.56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ で，その40%は $0.22 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ に相当する。したがって，試験期間中の土壤水分は被覆尿素からの窒素溶出を抑制する程度までは低下しなかった。

4) 土壤電気伝導度 (EC) の推移

図5にプローブをCUS60に密着させた土壤ECの推移を示す。マルチ5 cm 深区では3月後半からEC値が高くなり，5月後半にピークとなった。無施肥土壤とマルチ5 cm 深区を除けば他の3区は5月初め頃からEC値が上昇し，5月後半から6月前半にピークとなった。また，無マルチ区ではマルチ区よりピークの高さが低かった。マルチ5 cm 深区では地温の上昇により速めに溶出した窒素がEC値を上昇させたと考えられるが，間接的手法であり，肥料とECプローブの密着程度や溶出尿素的アンモニア化成や硝酸化成までの時間的差異および土壤水分の移動に伴う無機態窒素溶脱量等が反映され，誤差が生じる可能性もある。同様の地温で推移したマルチ20 cm 深区に比べて，無マルチ両区では5月後半から6月にかけてのEC値の上昇が少なく，溶出窒素が硝酸化成され20 cm 以下の下層に溶脱したと考えられた。

本試験でのEC値と後述するCUS60の周辺土壤に残存する硝酸態窒素量とには $r=0.896$ ，無機態窒素(アンモニア態窒素および硝酸態窒素)量とには $r=0.935$ の相関があり，施肥部位周辺の窒素動態を簡易に計測するためにECプローブの利用は一定程度有効と考えられるが，上記に述べたように間接的手法であり，別途直接的手法を併用して精度を確認していく必要がある。

5) 埋設CUSからの窒素溶出予測と実測

図6に各CUSからの窒素溶出をHara(2000)の提案

するパラメータで予測した結果と期間毎にCUSを回収して分析した実測値を示す。溶出が速いCUS30とCUS40は予測と実測で異なり，CUS30は予測より速く，CUS40は予測より遅くなった。それより遅い溶出タイプでは予測と実測は概ね合致した。しかし，地温から推定されたようなマルチ5 cm 深区の窒素溶出が速くなるという傾向は認められなかった。マルチ5 cm 深区では土壤水分の移動が少なく，溶出窒素が被覆尿素周辺に滞留し，肥料内部と肥料周辺の浸透圧差が少なく窒素溶出が抑制された可能性もある。CUS30やCUS40で予測と実測が異なった詳細な原因は不明であるが，低温時では被覆尿素からの窒素溶出は明確なピークを示さずブロードになった。特に溶出抑制期間を有するCUSは低温条件で推定誤差が拡大する可能性がある。現有パラメータ等の再検討の必要性については今後の課題としたい。

6) 肥料埋設周辺土壤の無機態窒素残存量

回収した肥料の周辺土壤に含有される無機態窒素量を図7に示す。尿素区の無機態窒素はマルチの有無や施肥深度に関わらず速やかに減少し，3月20日では 30 mg-N kg^{-1} 以下となった。マルチ5 cm 深区の減少程度は遅かったが，マルチ20 cm 深区では無マルチ両区と同程度の速さで減少した。これは前報(南雲ら，2008)で夏季に当該圃場の施肥深別に施肥窒素動態を検討したところ，5 cm 深施用に比べて20 cm 深に施用した施肥窒素の溶脱が少なかったという結果と異なった。この理由は本試験のマルチ20 cm 深部位は土壤水分の横方向や20 cm より下層への肥料窒素の移動があったためと推定される。これは尿素区だけでなく，各CUS区でも同様の傾向であった。

溶出の速いCUS30では土壤残存無機態窒素量のピークが3月～4月であり，以降は減少した。同様に他のCUSも溶出の時期に応じて土壤に集積する傾向であった。マルチ5 cm 深区では他の区に比べて硝酸態窒素の含有量が多かった。表層土壤は硝酸化成能が高く，土壤水分の上下移動が大きい無マルチ5 cm 深区では生じた硝酸態窒素は速やかに溶脱するが，水分移動の小さいマルチ5 cm 深区で

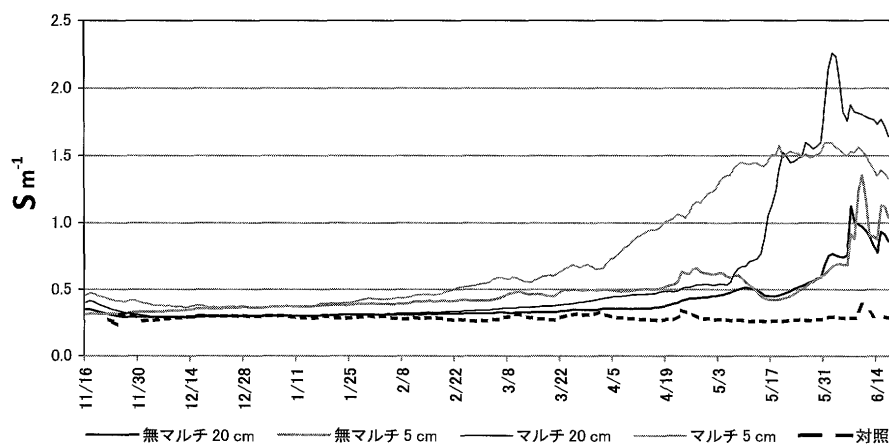


図5 土壤EC値の推移
ECプローブとCUS60を密着させて計測した。

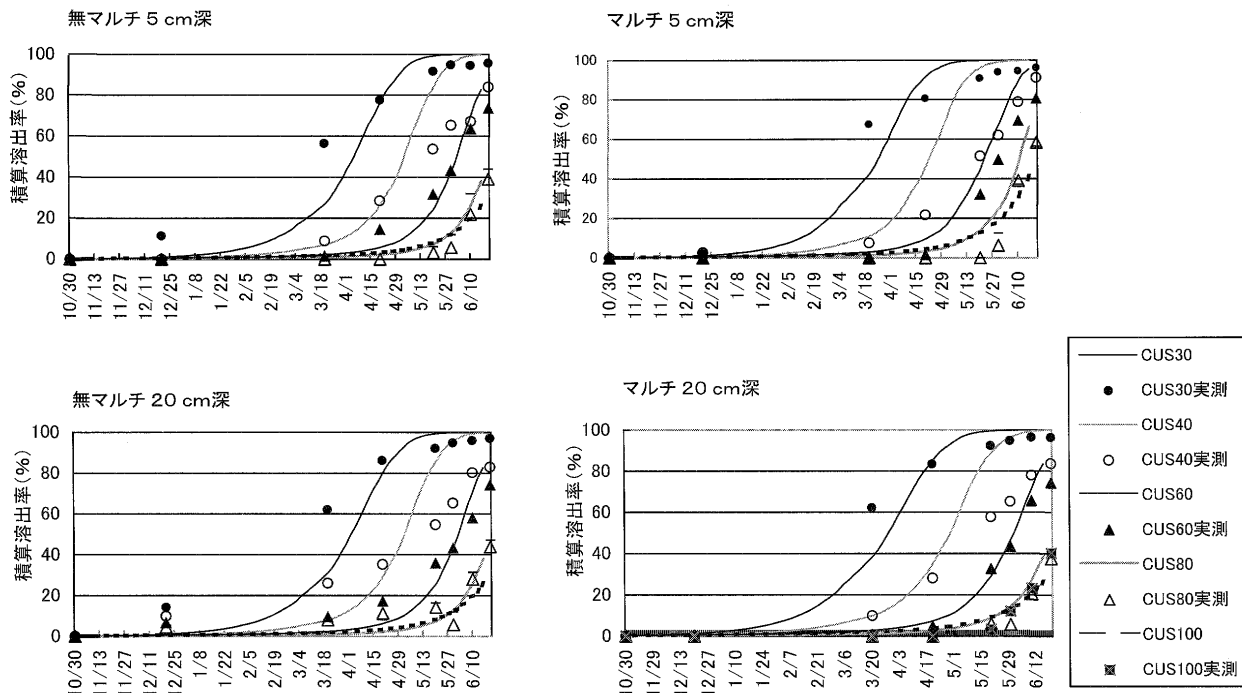


図6 埋設CUSからの窒素溶出予測と実測

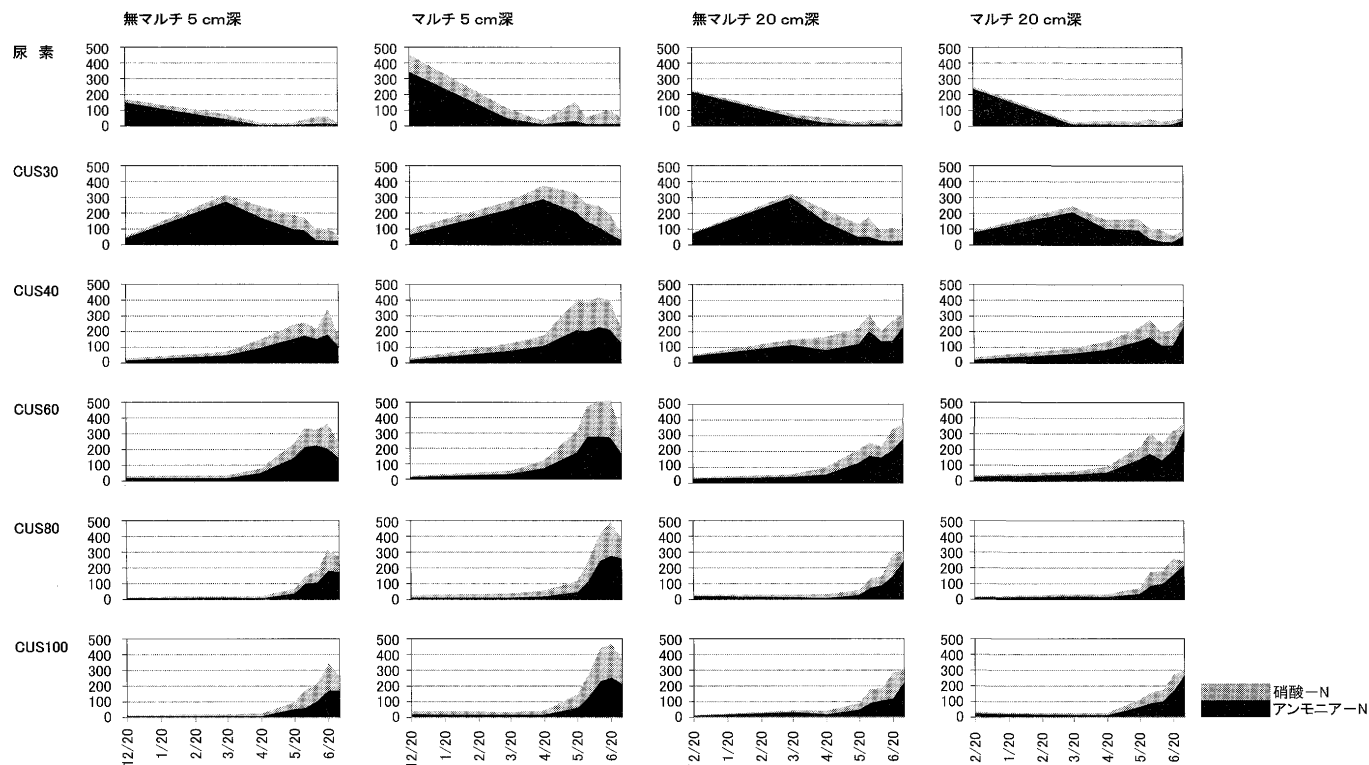


図7 埋設肥料周辺土壌の窒素残存量 (単位: mg-N kg^{-1})

は溶脱が抑制された結果と考えられる。

以上から、前年秋畝立て・施肥・マルチ作業体系でキャベツやカリフラワー等の野菜を翌春に栽培する場合、定植の時期と栽培期間の長短に対応する溶出タイプの肥料を選定することで施肥効果が向上すると考えられた。具体的な事例として新潟市等で10月末から11月初旬に畝立て施肥を実施し、4月上旬に定植する栽培体系ではCUS40が適切な肥効パターンを有するタイプであり、栽培が7月頃ま

でと長期間になる場合はCUS60との併用が適当と考えられる。また、マルチの有無や施肥深度別に肥料のタイプを変更する必要はないと思われた。本作業体系はマルチを基本としているが、無マルチの場合は施肥窒素の溶脱による損失が想定される。前報(南雲ら, 2008)では20 cm施肥深は施肥窒素の溶脱が少ないという結果であったが、本試験では土壌水分移動条件が異なったためか同様な結果は得られなかった。現在、当該作業体系における最適な施肥深

度等については、キャベツやカリフラワー等を供試して栽培試験を継続している。

4. まとめ

1) 北陸地域で効率的に初夏採野菜を栽培するため、前年秋に畝たて・施肥・マルチを実施して翌年の早春に野菜苗を定植する栽培体系を検討している。この技術支援のため、前年施用肥料の窒素動態を検討した。

2) マルチ5 cm 深の地温は他より高めに推移したが、無マルチ5 cm 深と20 cm 深およびマルチ20 cm 深では同様な地温で推移した。冬季間の土壌水分はマルチ有無や深度に関わらず最大容水量に近く、春以降も各区とも被覆尿素的窒素溶出に影響があるほどは乾燥しなかった。

3) 埋設被覆尿素的に EC 測定プローブを密着させ、土壌 EC 値を追跡した。EC 値は被覆尿素的周辺土壌に含有する硝酸態窒素含有量等と相関があったが、被覆尿素的からの窒素溶出を簡易計測するには、溶出尿素的のアモニア化成や硝酸化成までの時間や無機態窒素溶脱が関係し、計測誤差が生じる可能性があった。

4) 埋設肥料の周辺土壌に残留する無機態窒素は概ね肥料窒素溶出に応じて増減したが、マルチ区の表層では窒素の溶脱が抑制されていた。リチャーズ式を利用して溶出抑制期間のある被覆尿素的から窒素溶出を予測するには、冬季の低温条件では溶出が速いタイプで推定誤差を生じる可能性があった。

5) 以上、定植時期と栽培期間の長短に対応した溶出タイプの肥料を選定すれば、秋畝たて・施肥・マルチ・春定植栽培が可能であることを確認した。新潟市等で10月

末から11月初旬に畝立て施肥を実施し、4月上旬に定植する栽培体系ではCUS40が適切な肥効パターンを有するタイプであり、栽培が7月頃までと長期間になる場合はCUS60との併用が適切と考えられた。現在、当該作業体系においてキャベツ等を供試し、栽培試験を継続中である。

謝辞：本研究を行うにあたり、共同研究機関である新潟県農業総合研究所、富山県農業技術センター及び被覆肥料を提供いただいた全農にいがた肥料工場とチッソ旭(株)の関係各位に感謝する。

文 献

- 藤澤栄司・小林 新・羽生友治 1999. 被覆尿素的の溶出速度に及ぼす土壌水分の影響. 土肥誌, 69, 582-589.
- 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, 693-702.
- 伊藤公一 2000. 北陸地域の水田転作の実態と園芸作物導入上の課題. 園芸学会北陸支部平成12年シンポジウム講演要旨, 14-21.
- 片山勝之 2006. 北陸特有の環境条件に即した野菜安定生産技術の開発. 農林水産省高度化事業18015. <http://www.aftis.or.jp/project/hightech/h18/pdf/18015.pdf>
- 南雲芳文・高橋洋介・藤原菜世・大山卓爾・高橋能彦 2008. 転作野菜畑に深層施肥した被覆尿素的の窒素動態. 土肥誌, 79, 183-187.
- 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 1991. 硫酸-過酸化水素分解法による、植物、厩肥試料中に含まれる、N, P, K の分析. 新潟大学農学部研報, 43, 111-120.
- 高山真幸 2005. 稲単作地域における転作野菜の生産拡大方策. 東北農業研究, 58, 259-260.
- 八槨 敦 2003. 紫外部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.