

水稲不耕起乾田直播栽培において肥料の種類が 収量・土壌溶液中窒素濃度に及ぼす影響*

赤井 直彦・石橋 英二・大家 理哉

Effect of Fertilizer Types on the Yield and Concentration of Nitrogen in Soil Solution
from Nontillage Direct Sowing Culture of Paddy Rice

Naohiko Akai, Eiji Ishibashi, Masaya Oya

緒 言

岡山県の水稲不耕起乾田直播栽培（以下、不耕起栽培）は、水稲収穫時のコンバインによる切り落としわらがあっても精度良く播種できる播種機の開発により、県南部を中心として1999年には約830haに普及している。この播種機が開発される以前にも不耕起栽培は行われていたが、土壌表面に稲わらがあると播種が困難であったため、稲わらを全量圃場外へ持ち出していた。この稲わら持ち出しの不耕起栽培は、乾田期間中に施用された窒素の利用率が低いため初期生育が抑制されたり、減水深の大きい圃場では入水後の作土の還元化が耕起移植栽培に比べ緩慢で軽度なため、化成肥料の硝化・脱窒・流出量が多く、肥料の増施が必要であった⁶⁾。

現在、県南部の晩生品種の不耕起栽培で主に使用されている肥料は、140日型の被覆尿素（以下、LP140）と速効性の窒素・リン酸・加里とを混合した肥料（以下、LPE80）であり、含まれている窒素のうち20%が速効性である。

不耕起栽培で、被覆尿素的全量基肥施用と、硫酸を分施した場合の施肥窒素利用率を比較した結果、硫酸の利用率は被覆尿素に比べ低く、中でも基肥硫酸は特にその傾向が著しい^{7, 8)}ことが報告されている。その理由として、不耕起栽培では播種時に施用された硫酸が入水までの乾田期間中に硝化され降雨とともに地下へ流亡しや

すく、水稲による利用率が低かったためと考えられた。

環境保全型農業が広く推奨されている現在、肥料の利用率向上は最も重要な課題である。ここでは、¹⁵Nで標識したLP140と硫酸を用い、現在本県で広く使用されているLPE80を想定し、緩効性と速効性それぞれの窒素の利用率とそれらが水稲の生育・収量に与える影響を調査した。また、同時にLPE80、LP140の施用が乾田期間中の土壌溶液中無機態窒素濃度に与える影響についても調査を行った。その結果、岡山県南部の不耕起栽培では基肥として施用された速効性窒素は水稲収量の増加に結びつかないこと、土壌溶液中の硝酸態窒素濃度が高まり環境負荷が懸念されることが明らかになったので報告する。

なお、¹⁵Nの分析に当たり独立行政法人・中央農業総合センター、小野信一博士、高橋茂博士、同・近畿中国四国農業研究センター、山内稔博士、志村もと子博士、上野秀人博士（現愛媛大学）にご指導ご協力を賜った。ここに記して謝意を表します。

材料及び方法

1. 水稲栽培法の概要

水稲による施肥窒素の利用率を明らかにするため栽培試験を行い、水稲の草丈・茎数を調査するとともに葉緑素計（SPAD-502）で葉色を測定した。試験場所は岡山県農業試験場内のコンクリート枠水田（3×3 m）で、これは1991年6月にマサ土の上に中粗粒灰色低地土を客土

* 本報告の一部は2001年日本土壌肥料学会で発表した。

また、本研究は土壌環境負荷低減対策事業（農林水産省農産園芸局農産課）により実施したものである。

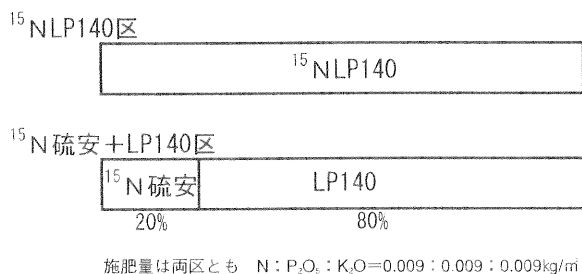
2001年4月5日受理

した水田である。不耕起栽培は1994年から継続している。

水稲種子（品種：アケボノ）を1997年5月19日に30×15cmの間隔で1か所6～7粒播種した。水管理は、入水6月25日、中干し7月31日～8月4日、落水は10月17日とした。灌漑水は水道水を用い、入水後の水の縦浸透はほとんど無かった。

2. 窒素吸収量の測定

水稲の調査予定株を中心に直径20cm、高さ23cmの塩化ビニル製の枠を地表面から18cmの深さまで打ち込んだ。そこへ第1図に示した¹⁵Nを含むLP140を施用する区（以下、¹⁵NLP140区）、¹⁵Nを含む硫酸アンモニウムと市販のLP140を混合して施用する区（以下、¹⁵N硫安+LP140区）を設けた。¹⁵NLP140区は¹⁵Nを3.10atom%含むLP140を施用し、¹⁵N硫安+LP140区は¹⁵Nを10.4atom%含む硫安で施肥窒素の20%を施用し、残りの80%は¹⁵Nを含まない市販のLP140を施用した。また、リン酸、加里はPK化成で施用した。施肥量は両区ともN:P₂O₅:K₂O=0.009:0.009:0.009kg/m²とした。



第1図 施用した肥料の種類及び施用割合

1997年7月30日、9月4日、10月23日に稲体をそれぞれ3株採取した。7月30日と9月4日の稲体は茎葉と根に、10月23日の稲体は茎葉と根と籾に分けた。それぞれの乾物重・窒素含有率を測定し、その結果から窒素吸収量を求めた。さらに、発光分光分析⁹⁾により¹⁵Natom%を測定し、次式により¹⁵Nを含む肥料からの窒素吸収量を求めた。

$$^{15}\text{N肥料からの窒素吸収量} = \text{全窒素吸収量} \times \text{植物体中の}$$

$$^{15}\text{Natom}\% \text{ excess} / \text{肥料の} ^{15}\text{Natom}\% \text{ excess}$$

稲体の分析は株毎に行い、結果はその平均値で示した。

3. 被覆尿素からの窒素溶出割合の測定

¹⁵Nを含むLP140と市販のLP140からの窒素の溶出の差異を検討した。2種類のLP140を縦×横：70mm×95mmのポリエチレンを主体とした素材の袋（通称：お茶パック）に10粒程度秤量して入れ、調査圃場の地表面に密着するように袋を置き4方を固定した。これを定期的な実験室に持ち帰り過酸化水素-硫酸分解¹⁾した後、蒸留法で残存窒素含有量を測定した。この値と肥料の元の窒素含有

量の差から窒素溶出率を算出した。

4. 土壤溶液中の無機態窒素濃度の測定

水稲の4株中央に、水稲根が進入しないように前述のように塩化ビニルの枠を打ち込んだ。その中へ鳥山³⁾が用いたのと同じ長さ10cmのポラスカップを、パイプ内の地表面から1cmと3cmの深さに横向きに埋設した。また、ポラスカップの中心が地表面から10cmの深さになるように縦向きにも埋設した。そこへLPE80（以下、LPE80区）、LP140+PK化成（以下、LP140区）、PK化成（PK区）を、それぞれN:P₂O₅:K₂O=0.009:0.009:0.009kg/m²（PK区はN=0kg/m²）になるように施用した。土壤溶液は埋設したポラスカップに真空採血管を接続して概ね1週間毎に採取し、アンモニウム態窒素、硝酸態窒素濃度をTecator社製FIA star 5010 Analyzerを用いて分析した。

結 果

1. 水稲の生育

¹⁵NLP140区と¹⁵N硫安+LP140区の草丈・茎数・葉色（SPAD葉色計値）の時期別推移を第2図に示した。草丈は生育期間を通じて区による差は見られなかった。茎数は6月下旬から7月下旬の間¹⁵N硫安+LP140区がm²当たり50～70本程度¹⁵NLP140区を上回った。しかし、それ以降差は見られなかった。有効茎歩合は¹⁵NLP140区が65.6%、¹⁵N硫安+LP140区が57.2%であった。葉色値は6月下旬から7月上旬は¹⁵N硫安+LP140区が高く、7月中旬から8月中旬には¹⁵NLP140区の方が高くなったが、8月下旬には差はほとんど見られなくなった。

2. 被覆尿素からの窒素の溶出

¹⁵Nを含むLP140と市販のLP140からの窒素の溶出パターンを第3図に示した。最終的な窒素の溶出率は両肥料ともに92%程度で差は見られなかった。

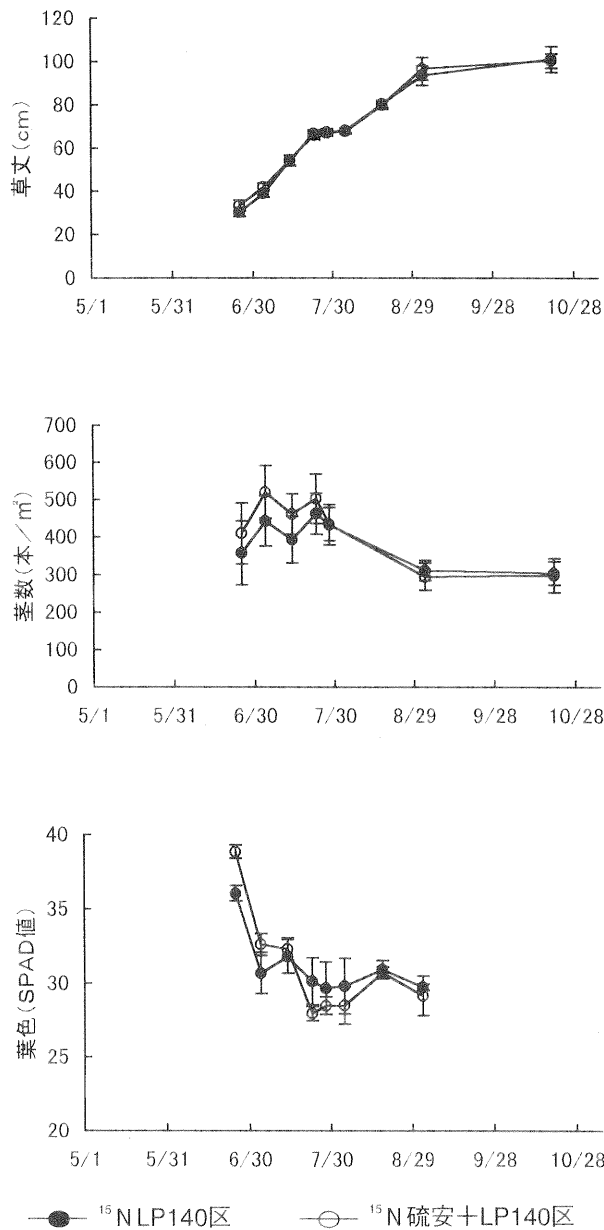
3. 施肥窒素の吸収量及び利用率

時期別に採取した¹⁵NLP140区と¹⁵N硫安+LP140区の水稲乾物重を第4図に示した。7月30日の乾物重は¹⁵N硫安+LP140区が上回ったが、9月4日以降は¹⁵NLP140区が上回った。10月23日の籾重は¹⁵NLP140区がm²当たり0.637kgであるのに対し、¹⁵N硫安+LP140区のそれは0.567kgであった。

次に窒素吸収量を第5図に示した。窒素吸収量は9月4日以降¹⁵NLP140区が上回った。10月23日の¹⁵N硫安+LP140区の窒素吸収量は¹⁵NLP140区の90%程度であった。

4. LP140及び硫安からの窒素吸収量及び利用率

¹⁵Nを含むLP140及び¹⁵Nを含む硫安からの窒素吸収量



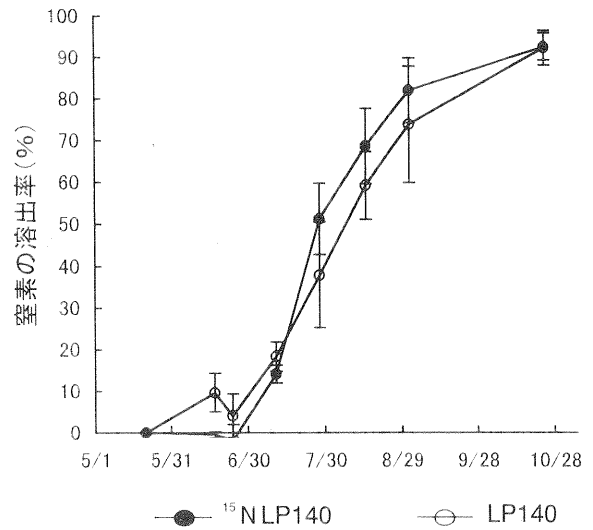
第2図 水稲の草丈・茎数・葉色の時期別変化
誤差線は標準偏差を示す

を第6図に、窒素利用率を第7図に示した。10月23日のLP140からの窒素吸収量は、 m^2 当たり0.003kgであるのに対し、硫酸は0.0003kgであった。また、LP140の窒素利用率は49.8%であるのに対し、硫酸は26.2%であった。

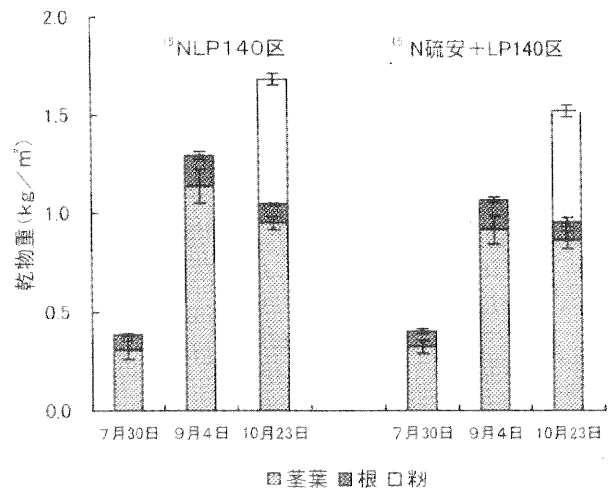
第8図に全窒素吸収量に占めるLP140と硫酸からの窒素吸収割合を部位別に示した。10月23日のLP140由来の窒素は、茎葉と根では約30%、根では約20%を占めていた。一方、硫酸由来の窒素は各部位とも3~4%にすぎなかった。

5. 土壌溶液中の無機態窒素濃度

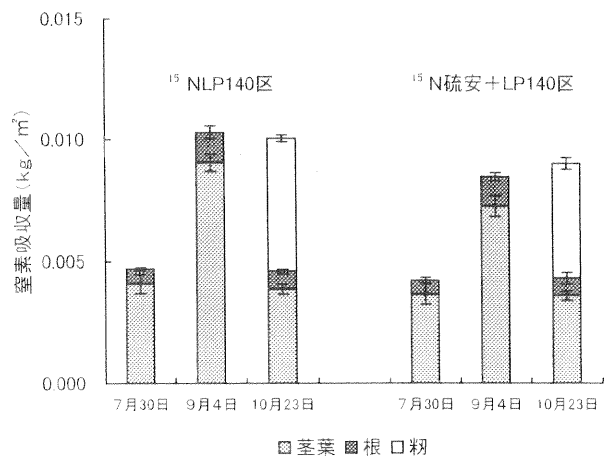
土壌溶液中のアンモニウム態窒素、硝酸態窒素濃度を



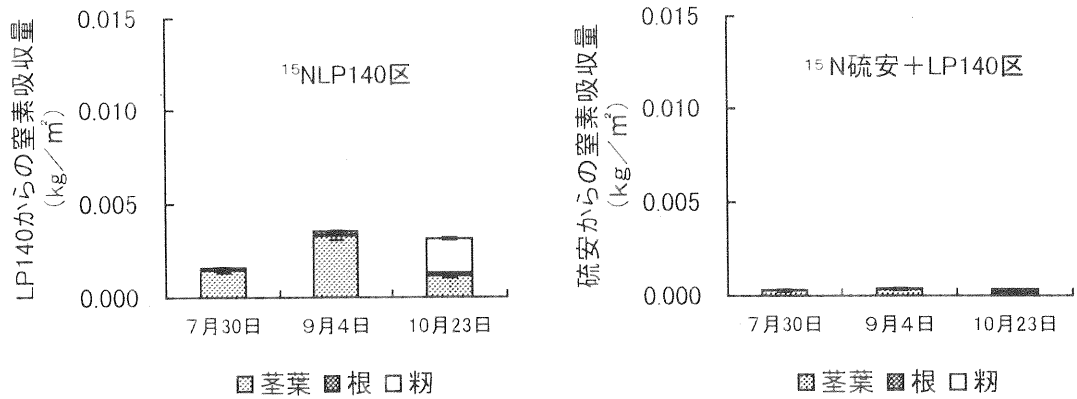
第3図 被覆尿素からの窒素の溶出率
誤差線は標準偏差を示す



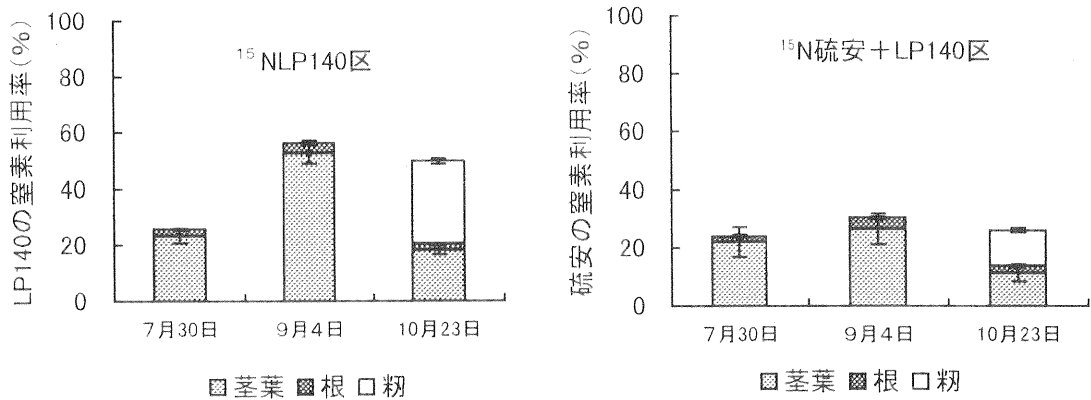
第4図 乾物重の時期別推移
誤差線は標準偏差を示す



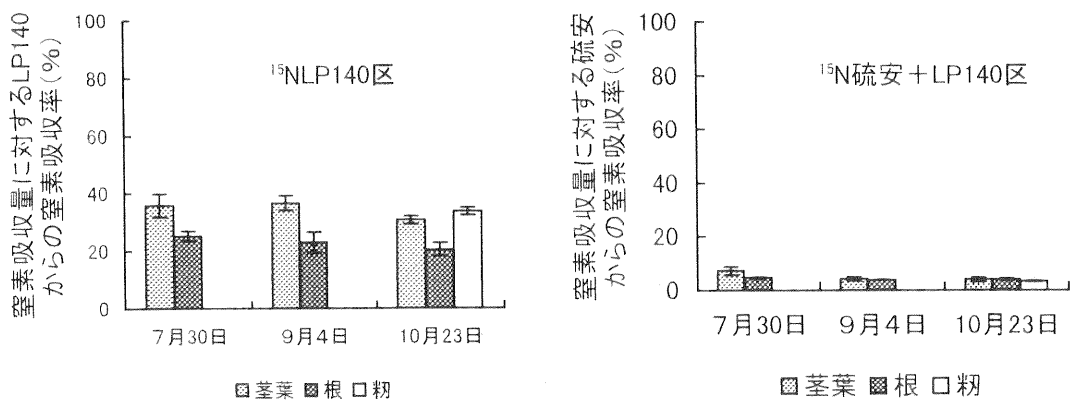
第5図 窒素吸収量の時期別推移
誤差線は標準偏差を示す



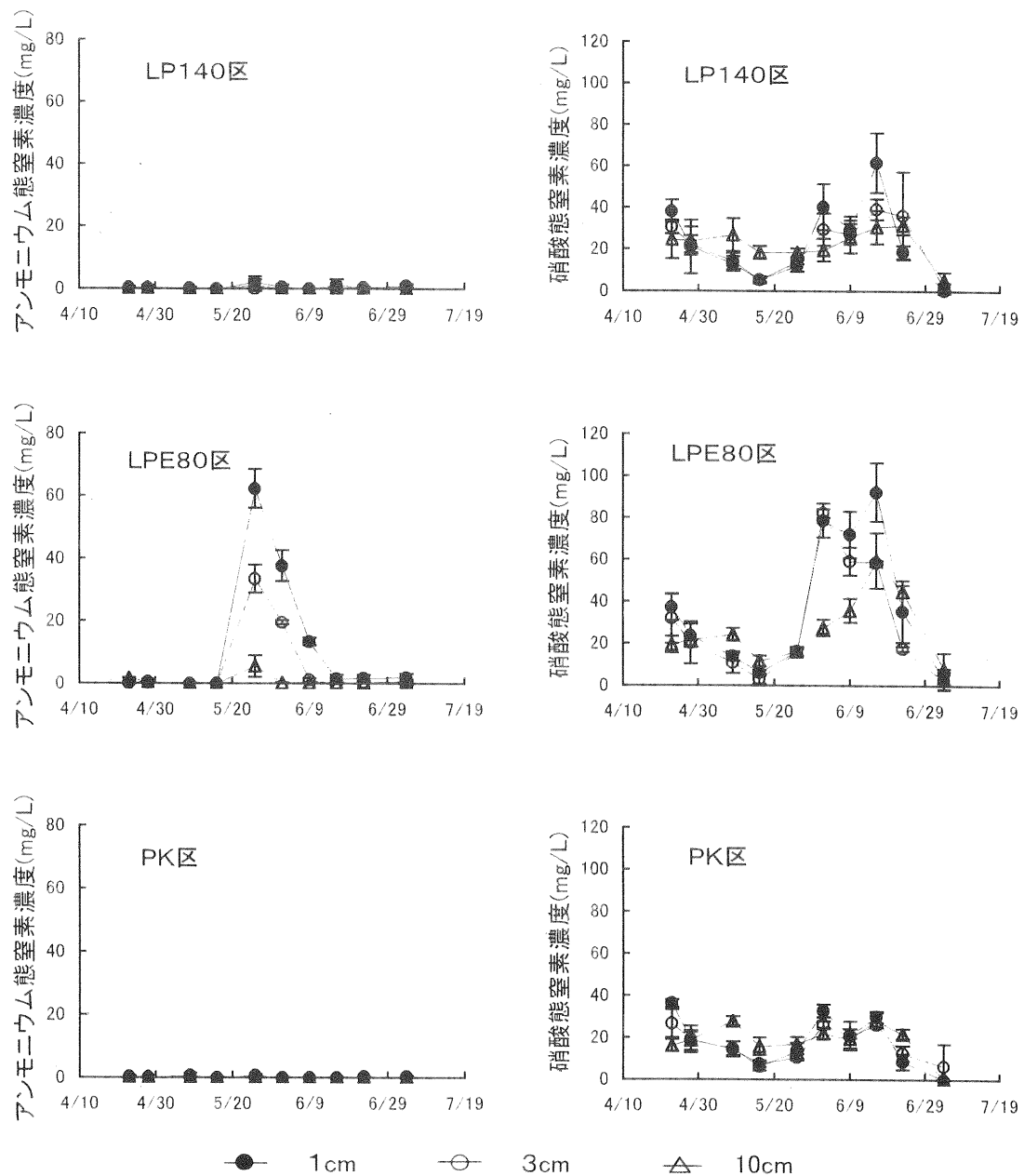
第6図 ^{15}N を含むLP140及び ^{15}N を含む硫安からの窒素吸収量
誤差線は標準偏差を示す



第7図 ^{15}N を含むLP140及び ^{15}N を含む硫安からの窒素利用率
誤差線は標準偏差を示す



第8図 各部位の窒素吸収量に対する ^{15}N を含むLP140及び ^{15}N を含む硫安からの窒素吸収率
誤差線は標準偏差を示す



第9図 土壌溶液中のアンモニウム態窒素濃度及び硝酸態窒素濃度の推移
誤差線は標準偏差を示す

第9図に示した。アンモニウム態窒素は5月下旬～6月上旬にLPE80区の1cmの深さでは最高60mg/L程度、3cmの深さでは40mg/L程度検出された。しかし、その他の時期や他の区の土壌溶液からはほとんど検出されなかった。

硝酸態窒素はすべての区の土壌溶液から検出された。しかし、速効性窒素を施用したLPE80区では最高100mg/L程度検出されたのに対し、施用していないLP140、PK区ではそれに比べ低い濃度であった。6月25日の入水後はすべての区で硝酸態窒素は検出されなくなった。

考 察

本県南部の不耕起栽培では、LP140と速効性窒素を混合した窒素施肥が広く普及している。

本試験では、LP140に硫酸を混合して施用すると6月下旬から7月下旬にかけて葉色が濃くなり、また7月中旬から8月中旬の茎数も増加した。しかし、収穫時の籾乾物重の増加には結びつかなかった。これは、両区の窒素施肥量は同じでも、LP140に比べ硫酸由来窒素の利用率が低く収穫期の窒素吸収量が増加しなかったことや、

速効性窒素施用は無効分げつが増加し穂数増に結びつかなかったことなどが考えられる。

本県南部の水稲栽培では、初期生育量の過剰な増大は有効茎歩合の低下を招き、必ずしも収量増に結びつくものではない。また、不耕起栽培は生育後半まで根の活力が高いこと¹⁾や、不耕起栽培土壌は地力窒素の発現が後半にずれするため秋まさり的な生育をする²⁾と言われており、これらのことから本県南部の不耕起栽培では、初期生育を旺盛にする必要がないと考えられる。また今回の結果から播種時に施用した速効性窒素は、利用率が26%と低く、また収穫期の全窒素吸収量に占める割合も3%程度と低いことも明らかになった。以上のように、水稲の生育、収量、施肥窒素利用率などから見て、不耕起栽培に速効性窒素肥料の施用は必要ないと考えられる。

乾田期間中の土壌溶液中アンモニウム態窒素濃度は、速効性窒素を含む肥料の施用により増加する。硝酸態窒素も同様である。LPE80区で高濃度の硝酸態窒素が検出される時期は、アンモニウム態窒素の検出ピークよりやや遅れた。これは5月中旬に施用された速効性窒素が乾田期間に硝化され、硝酸態窒素に変化したためと考えられる。土壌溶液中での硝酸態窒素の増加は、降雨や入水により系外へ流亡する窒素量が増加し、地下水の硝酸汚染につながる可能性がある。

窒素無施用のPK区でも、土壌溶液中の硝酸態窒素濃度は乾田期間中に20~30mg/L程度存在した。このことから、5月中旬に播種し、6月中旬に入水する県南部の不耕起栽培では、水稲の生育初期でも土壌から窒素がかなり供給されるものと考えられる。

また、乾田期間中でも降雨が多く水分が豊富にある条件では、田面に稲わらが施用される不耕起栽培の表層は必ずしも酸化的ではなく、むしろ、稲わらの表層施用により酸化層の形成が妨げられると共に還元層の発達をもたらすことが知られている¹⁰⁾。このため、表層に施用された速効性のアンモニウム態窒素から生成された硝酸態窒素は脱窒を受け大気中に窒素ガスとして放出されやすくなることも考えられる。

これらのことから、県南部の不耕起栽培において播種時に速効性窒素を施用しても、それが全窒素吸収量に占める割合は小さく、成熟期の乾物重・収量も増加しないことが明らかになった。また、速効性のアンモニウム態窒素は硝酸態窒素に変化し、系外に流亡すると環境に悪影響を及ぼすことが懸念される。

摘 要

県南部の水稲不耕起乾田直播栽培において、速効性窒

素と140日型の被覆尿素の窒素利用率を明らかにするため、¹⁵Nでラベルした硫酸とLP140を用いて、水稲栽培試験を実施した。

1. 収穫期の窒素吸収量に占める速効性窒素由来の窒素吸収割合は3.3%にすぎなかった。また、速効性窒素の施用は、生育初期の茎数を増加させたが、成熟期の乾物重や玄米収量は増加しなかった。
2. 速効性窒素を施用することにより土壌溶液中のアンモニウム態窒素が増加し、遅れて硝酸態窒素が増加する。この硝酸態窒素は入水とともに無くなり、下層へ流亡していると考えられた。
3. これらの結果から県南部の不耕起栽培では速効性窒素を含まない被覆尿素のみで窒素を供給することが望ましいと考えられた。

引用文献

1. 二見敬三・渋谷政夫(1990) 不耕起直播栽培水稲の根活力分布. 土肥誌, 61: 406~407.
2. Kamekawa, K., T. Nagai, S. Sekiya and T. Yoneyama (1990) Nitrogen Uptake by Paddy Rice (*Oryza sativa* L.) from ¹⁵N Labelled Coated Urea and Ammonium Sulfate. Soil Sci Plant Nute., 36: 333~336.
3. 金田吉弘・栗崎弘利・村井 隆(1993) 基肥窒素の形態と施肥位置が不耕起直播水稲の窒素吸収に及ぼす影響. 東北農業研究, 46: 71~72.
4. 水野直治・南 松雄(1980) 硫酸一過酸化水素による農作物中のN、K、Mg、Ca、Fe、Mn定量のための迅速前処理法. 土肥誌, 51: 418~420.
5. 野々山芳夫(1981) 水稲の不耕起直播栽培に関する土壌肥料学的研究. 中国農試報, 18: 1~62.
6. 大森 正(1980) 水稲の不耕起栽培に関する土壌・肥料的研究. 岡山農試臨時報告, 71: 1~80.
7. 佐藤徳雄・渋谷暁一・三枝正彦・阿部篤郎(1993) 肥効調節型被覆尿素を用いた水稲の全量基肥不耕起直播栽培. 日作紀, 62: 408~413.
8. 鳥山和伸・石田博(1987) 土壌溶液モニター法による水田土壌中のNH₄-N消失時期の把握. 土肥誌, 58: 747~749.
9. 山室成一・河野通佳(1997) 発光分光分析法による重窒素定量法の改良. 北陸農試報, 20: 45~57.
10. 兪益東・木村真人・和田秀徳・高井康雄(1990) 稲わら表面施用に伴う土壌からの無機・有機成分の放出と生物的窒素固定活性. 土肥誌, 61: 579~585.