

稲作の施肥改善と環境保全型農業

上野 秀人

Improvement of Fertilizer Application in Rice Production toward Environmentally Conscious Agriculture

Hideto UENO

Summary

The history of promoting the environmentally conscious agriculture began at the 1972 United Nations General Assembly. Thereafter EU and USA issued concrete measures for protecting the environment from pollution of chemical fertilizers and agricultural chemicals and for promoting sustainable agriculture. However, it was not until 1989 that Japanese government established a section for organic farming in the agricultural ministry. Nowadays, the environmentally conscious and sustainable food production has become one of the most urgent demands all over the world. Application of nitrogen fertilizer in the world tends to increase year by year, but in Japan it already reached highest level in the 1960s. It has been pointed that the application of high levels of nitrogen fertilizers gives not only deleterious effects on water quality but also N_2O derived from them accelerates global warming and depletes ozone layer. By using ^{15}N tracer method, we investigated nitrogen dynamics in rice paddy field fertilized with controlled-release coated urea (CRCU). Greater fertilizer efficiency (72%) was observed in the CRCU plot than the control of conventional easy soluble fertilizer (41%). The amount of nitrogen released into the environment, mainly through denitrification, was only 9% from the CRCU but 33% from the conventional fertilizer. These favorable properties of CRCU are considered due to their coordinate release with rice plant growth and its nitrogen demand. Thus, CRCU is a useful fertilizer for environmentally conscious rice production.

1. 環境保全型農業とは

1-1. 世界的な動き

わが国において農業が地球環境に悪影響を及ぼしているという認識に改めざるを得なくなったのはそれほど昔のことではない。農林水産省において認知され、対策措置として本格的に環境保全型農業推進が始められたのは1992年以降のことである。その後、全国的に施肥基準の見直しが行われたり、農業試験研究機関による実態調査・研究が本格的に開始されている。日本は世界的な趨勢に乗った感

第1表 環境保全型農業推進の経緯

年	会議・機関等	内 容
1972	国連人間環境会議 「人間環境宣言」	・人間活動の発展に伴う地球環境の破壊に対し警鐘を鳴らした。
1980	米国政府特別報告書 「西暦2000年の地球」	・土壌流亡や農薬による環境影響、特に化学肥料や農薬による地下水の汚染の増大について警告し、それまでの農法を改めて土壌保全、環境負荷の軽減に配慮した農業に移行する必要性を求めた。
1985	米国政府	・「低投入持続型農業(LISA)が資源の再生産と再利用を可能にし、農薬・化学肥料の投入量を必要最小限に抑えることによって、地域資源と環境を保全しつつ一定の生産力と収益性を確保し、しかも、より安全な食糧生産に寄与しようとする農法の体系である」として政策的に追求されるようになった。
1985	E U	・「環境保全地域」指定の導入などを含む環境保全型農業を目指す政策を導入。 ・「条件不利地域政策」(環境保全的なより粗放的農業への転換を促進する)を採択。
1987	「環境と開発に関する世界委員会」	・将来の世代が自らの欲求を充足する能力を損なうことなく、今日の世代の欲求を満たすことのできるような開発(持続可能な開発)を世界的に、人間活動のあらゆる面において追求することを求めた。
1989	農林水産省	・有機農業開発室を発足。
1992	国連環境開発会議 「環境と開発に関するリオ宣言」	・オゾン層破壊ガス・温室効果ガスの増大、水質汚染、土壌流失、砂漠化、塩類土壌化、酸性雨などの人間活動による環境汚染の全面的激化とグローバル化を指摘、それに対応しての人類の一致した行動を求めた。 ・農業分野では行動計画「アジェンダ21」第14章「持続可能な農業と農村開発」に取り上げられ、持続可能な農業の樹立に向けての資源の保全や農法改善プログラムの作成を要求。
1992	農林水産省	・有機農業開発室を環境保全型農業対策室に改組。農業の持つ物質循環機能を活かし、生産性との調和などに留意しつつ、化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業(環境保全型農業)の推進方針を明確にした。
1993	日本国政府	・環境基本法は「環境への負荷の少ない持続的発展が可能な社会の構築」を目指すとした。 ・農業白書において「地域合意に基づく環境保全型農業の総合的な推進を掲げ、①農業の有する環境保全機能の維持・増進、②環境保全型農業技術の開発・普及、③農業分野におけるリサイクルの促進、を図ることとした。
1994	日本国政府	・環境基本計画が策定。「循環、共生、参加、国際的取り組み」を合い言葉とする。 ・農林水産省において環境保全型農業推進本部を設置し、全国農業協同組合連合中央会、全国生活協同組合連合会を事務局とする全国環境保全型農業推進会議が発足した。
1997	気候変動枠組み条約第3回締約国会議 (地球温暖化防止京都会議)	・先進国における法的拘束力を持つ温室効果ガスの排出削減目標などを定めた「京都議定書」を採択した。焦点となった数値目標については、離航の末、2008年から2012年まで5年間の温室効果ガスの排出量を1990年に比べて日本は6%、米国は7%、EUは8%それぞれ削減することが決まった。削減率は先進国全体では5.2%となる。 ・この目標の対象となる温室効果ガスは二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、HFC、PFC、SF6の6種類。HFC、PFC、SF6については基準年を1995年とすることになった。

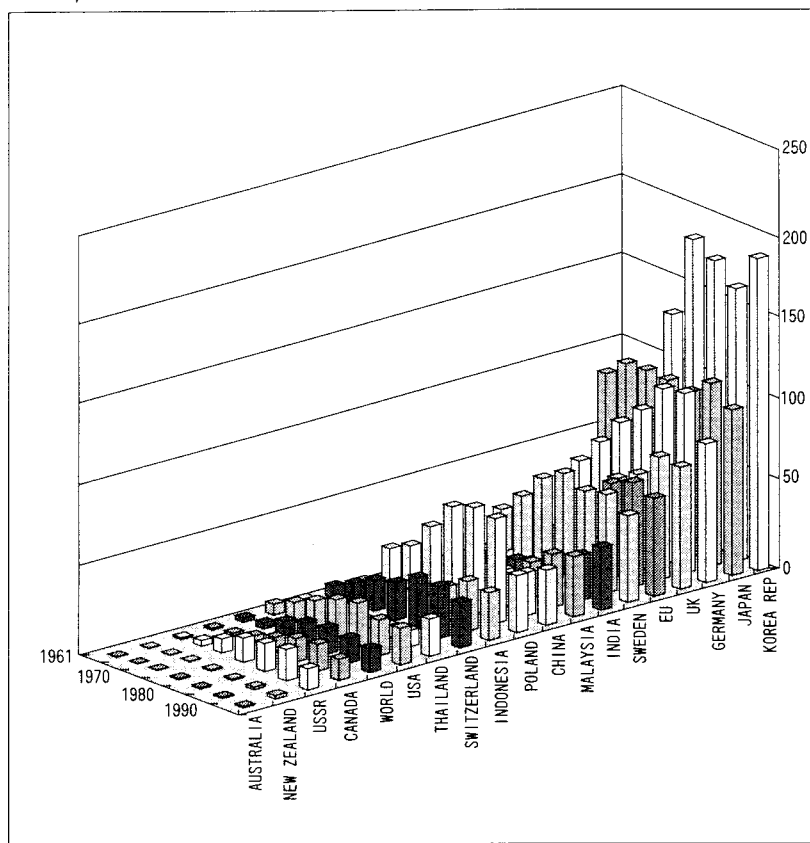
じではあるが、単位面積当たりの化学肥料使用量はE U諸国を越えており(第1図)、農薬使用量は際だって多いことを考えると、米国やE Uの動きに比べ遅きに失した感は否めない(第1表)。

1993年の農業白書によれば、環境保全型農業は「農業の持つ物質循環機能を効かし、生産性との調和などに留意しつつ、土づくり等を通じて化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業」とされている。昨年12月1日～11日は京都国際会議場で、地球温暖化防止京都会議が行われ、今や「地球環境保全」というキーワードは、農業ばかりでなく、全産業界において重要な位置を占めてきており、従来型の「資源・エネルギー多投入」の見直しが迫られてきている。

1-2. 窒素肥料が水質に与える影響

わが国における化学肥料の使用量は1980年代中頃までは飛躍的に増加したが、最近では減少してきている。しかし、日本の単位面積当たりの窒素肥料使用量は、世界的に見てかなり高く、韓国に次いで高くなっている。日本や韓国のような狭小な農耕地において土地生産性を上げるために、集約的農業が行われていることが分かる。

化学肥料の施用によって問題となってくるのは、①硝酸態窒素による地下水の汚染、河川・湖沼な



第1図 世界各国の単位面積当たりの窒素肥料使用料 (kg/ha)
FAO統計より

どの閉鎖系水域の富栄養化、②亜酸化窒素ガスの発生、③生産物中の硝酸濃度上昇などである。

欧米では、地下水依存度が高いために、硝酸態窒素による地下水汚染が大きな問題になっている。飲料水に含まれる硝酸態窒素は胃の中で還元されて亜硝酸になり、乳幼児の悪性貧血病およびメタヘモグロビン症を引き起こすとされている。WHOは硝酸態窒素25ppm以上の水を飲まされていた乳幼児2000人の症例を調べ、そのうち160人が死亡したと報告している。米国の窒素肥料施用密度は日本の1/5以下であるから、日本においてこの種の問題が生じるポテンシャル

は単純に考えても5倍高いことになる。1994年度に275自治体が行った調査によれば3.6%の井戸水で硝酸態窒素が10ppmを越えていた。水田地帯では濃度は低いのにに対し、普通畑や集約畑地帯、茶畑地帯、畜産地帯ではかなり高くなっていった。地下水源の硝酸態窒素による汚染のほとんどが農業起源であり、その多くが化学肥料由来であることから、環境保全型農業の推進が望まれている。

地下水汚染に対する取り組みと共に、湖沼などの閉鎖系水域の水質浄化に対する取り組みが進んでいる。琵琶湖は近畿地方一円の水櫃としての役割を果たしているが、富栄養化しているため水質は悪く、その原因として水田からの排水が挙げられている。そのため、農業試験場などによって、①水田の代かき水の排水抑制、②降雨時の表面流出負荷の抑制、③全層施肥、側状深層施肥、省肥、追肥重点、緩効性肥料の使用などの施肥法改善策が出された。その他に霞ヶ浦、手賀沼、印旛沼、児島湖など全国的な問題になり、1984年には環境庁が「湖沼水質保全特別措置法」(湖沼法)を成立させて、地方自治体に対し農業排水や下水道整備などの諸対策を講じている。また1994年に厚生省、環境庁が水道水源を守るために「水道原水水質保全事業の実施の促進に関する法律」、「特定水域利水障害防止のための水道水源水域の水質保全に関する特別措置法」を成立させており、水質をめぐる農業環境対策は急務となってきている。

1-3. 窒素肥料が大気環境に与える影響

1997年12月に行われた「地球温暖化防止京都会議」では、地球温暖化の原因となる二酸化炭素、フロン、メタン、亜酸化窒素(N₂O)の数値目標付き削減計画が採択された。このうち農業が直接の発

生原因となるガスはメタンと亜酸化窒素であるが、日本のような集約的農業においては、化学肥料、農薬、農業機械の製造や使用において多くのエネルギーが消費されており、間接的に二酸化炭素の発生原因となっていることも考慮する必要がある。採択された数値目標については先進国間で法的拘束力が生じているため、早急に具体的な対策を講じる事になると考えられる。

農耕地において亜酸化窒素ガスは、微生物が行う脱窒および硝化作用によって発生する。亜酸化窒素ガス濃度は約310ppbvであり、年率約0.2～0.3%の割合で増加しているという^{10,11)}。二酸化炭素に比べて濃度は低いですが、赤外線に対する吸収効率が二酸化炭素の200倍も高く、また大気中での寿命が約130年と他の温室化ガスよりも長いこと、亜酸化窒素の増加は地球温暖化に大きな影響を与えやすいと言える。さらに亜酸化窒素はオゾン層の破壊ガスとしても働くため、発生抑制を大幅に削減する必要があると指摘されている⁶⁾。施肥窒素に起因する亜酸化窒素の発生量は、正確に調べられていないが、今のところ0.01～2.0%の範囲であると見積もられている¹¹⁾。しかしチャンバー法によるフラックス試験では、施肥によりアンモニアあるいは硝酸濃度が上昇すると、急激に亜酸化窒素発生量が増大することが分かっており、施肥管理がその発生において大きな位置を占めることは明らかである。また亜酸化窒素は高い水溶性を呈することから、地下水脈を通り河川等に流出している可能性が高いと考えられているが、フラックス等は不明であり、今後の調査研究が待たれるところである。

農耕地に起因する亜酸化窒素発生メカニズム（土壌微生物による生成過程）	
嫌氣的条件（脱窒）	$\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \uparrow \rightarrow \text{N}_2 \uparrow$ (酸素分圧が高いほど亜酸化窒素発生割合が高くなる。)
好氣的条件（硝化）	$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NOH} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \uparrow \rightarrow \text{NO}_2^-$ 、 $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \uparrow \rightarrow \text{N}_2 \uparrow$ (酸素分圧が低いほど亜酸化窒素発生割合が高くなる。)

2. 被覆尿素施用水田における窒素動態

2-1. 被覆尿素肥料

被覆肥料は、高度な肥効調節を行うためにポリオレフィン系樹脂でコーティングされたものである。溶出特性は、コーティング樹脂の成分を変えることにより、溶出パターンや溶出量を変えることができる。市販品においては肥料成分、肥効期間や溶出パターンが異なる種々のタイプが製造されており、栽培品種の養分吸収パターンや土壌条件に適合したものを選択することができ、水田作、畑作とも幅広く用いられている。とくに稲作においては全量基肥施肥技術、いわゆる「基肥一発施肥」や「育苗箱全量施肥」の研究が進められており、従来の施肥体系である基肥、分けつ肥、つなぎ肥、穂肥、実肥などの施肥にかかる労力を軽減させる省力、低コスト稲作技術として注目されている^{2,4,5,7)}。

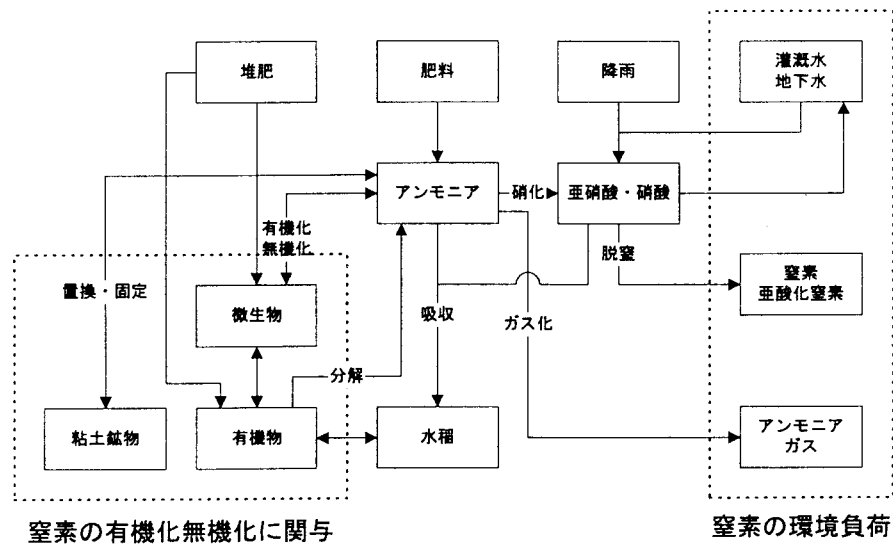
栽培における特徴として、無効茎数が減少し、穂揃いがよくなることが報告されており、収量も従来の施肥体系と同程度かそれ以上である^{3,8)}。また、減水深の大きい土壌や穂肥能力の弱い土壌においては、安定増収が得られやすいという特長を持っており、有効な施肥体系として定着しつつある。

実際の使用面においては、品種、作柄、気象、土壌などの要因を考慮して、施用量や種類を決定するわけであるが、施用が過剰な場合や肥料溶出パターンと作物の窒素吸収パターンがずれた場合は、不経済であるばかりでなく、余剰の窒素が作物生育に悪影響を与えたり、環境中に流出して水系の汚染をもたらす可能性がある。作物の窒素吸収パターンに合致した合理的施肥を行うには、土壌からの無機化発現や肥料からの溶出を含む窒素動態を正確に把握する必要がある。

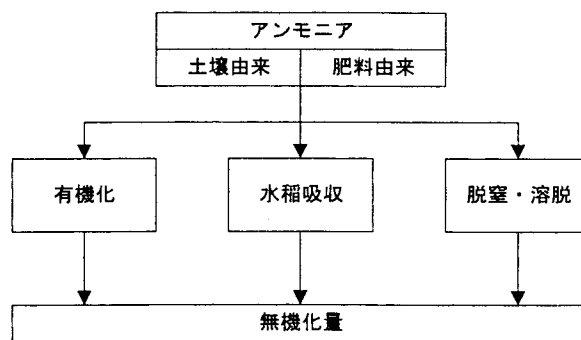
2-2. アンモニアトレーサー法

水田土壌の窒素動態の測定においては、差し引き法により“net”（正味）の動態量が測定されきたが、近年は窒素の安定同位体元素である重窒素（ ^{15}N ）を用いた“gross”（総体）の動態量を測定する方法（アンモニアトレーサー法）が開発されてきた。例えば水田土壌100gから1週間で10mgの窒素が無機化し、同時に10mgの窒素が土壌微生物によって取り込まれた場合、差し引き法では収支が0になるため、「何も変化は起こらなかった」事になるが、アンモニアトレーサー法では無機化量10mg、有機化量10mgと評価されることになる。

水田土壌中の窒素動態は複雑であるが、ほとんどのフラックスにおいてアンモニア態窒素が関与している。そこで重窒素でラベルした少量のアンモニアを水田に注入し、トレーサー（追跡子）としてその行方を調べ、量的把握を行うことが、アンモニアトレーサー法の原理である。ここでは ^{15}N アンモニアトレーサーを用いて土壌中の窒素動態の解明を行い、さらに重窒素ラベルした被覆尿素肥料を用いることにより、肥料由来窒素の動態の解析を行った。これにより栽培時期別の土壌窒素の無機化発現量や肥料からの溶出量はもとより、水稻吸収量、有機化量、脱窒・溶脱量を土壌窒素由来と肥料窒素由来に分けて求めることが可能となる。



第2図 水田土壌における窒素動態



第3図 アンモニアトレーサー法による水田の窒素動態解析模式図

2-3. 窒素動態の測定法

(1) 試験区の設置とトレーサーの注入

試験区は、重窒素ラベルした被覆尿素肥料 ($^{15}\text{N-LP}$ コート140、3.053 atom%) 施用区 (以下 $^{15}\text{N-LP}$ 区) と通常の被覆尿素施用区 (以下 $^{14}\text{N-LP}$ 区) の2区とした。試験区圃場は窒素無施用とし、各区には栽植様式 (縦15cm×横30cm) の大きさの亚克力製枠 (高さ30cm) を押し込みながら適当数設置し、枠内に各被覆尿素肥料を1.125 g (=10kgN/10a) ずつ施用してよく混合して、ヒノヒカリを枠内土壌の中心付近に3株ずつ移植した。次に $^{14}\text{N-LP}$ 区の第1枠へアンモニアトレーサーとして、3.679%の重窒素含有の塩化アンモニウム溶液20mlを、横穴ロック針 (長さ10cm) の付いた注射器で枠内の土壌に均一になるように注入した。同時に $^{15}\text{N-LP}$ 区の第1枠にも同じ窒素当量である3.611%の塩化アンモニウム (^{14}N) 溶液20mlを同様に注入した。注入後、3週間後に処理枠の植物体と枠内の土壌 (9 kg) を採取し、植物体はできるだけ土壌を回収し、洗浄した後、乾燥させて粉碎試料とした。また試料採取と同時に、次の3週間の窒素動態を測定するために、両区の第2枠に塩化アンモニウムを注入した。水稻栽培期間中、この一連の繰り返しを5回行った。

(2) 分析

植物体試料0.5 g をケルダール法によって全窒素分析を行い、再蒸留液を発光分光分析計 (日本分光(株)社製、N-151型) を用いて重窒素濃度測定を行った。土壌はポリバケツに回収し、攪拌板付電動ドリルで十分に混合した後、2 mmのフルイを通して、水分含量測定、全窒素濃度測定および重窒素濃度測定を行った。またアンモニア態窒素は10%塩化カリウムで抽出した後、アンモニア量と重窒素濃度を測定した。

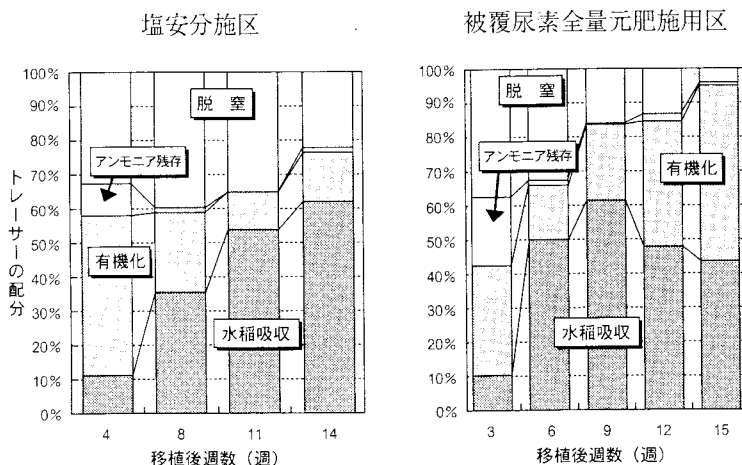
(3) モデル式による解析

重窒素トレーサー法におけるモデル式は山室 (1988) の提案したものを基本とし、土壌由来窒素の動態の解析を行うとともに、重窒素ラベルされた肥料由来窒素の配分を用いて肥料由来窒素の動態の推定を行った。

2-4. LP140基肥全量施用と塩安分施の窒素動態比較

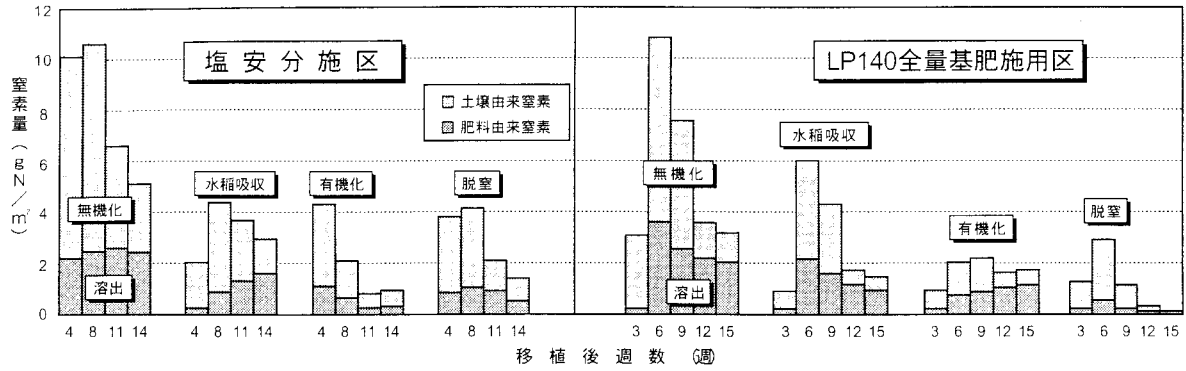
(1) アンモニアトレーサーの配分

1992年に中国農業試験場の細粒質灰色低地土にヒノヒカリを栽培し窒素動態を調べた。LP140全量基肥施用区 (以下LP140区) の比較対照として、同土壌、同品種で試験を行った塩安分施肥区 (2.5 gN/m²を4回に分施) を用いた。

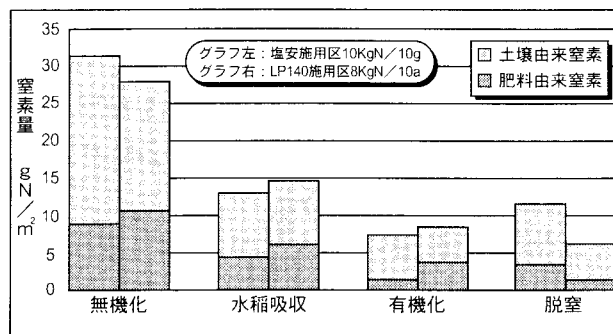


第4図 塩安分施肥区およびLP140基肥全量施用区におけるトレーサーの配分

第4図はアンモニアトレーサーを土壌中に注入し、3~4週間経過後のトレーサー配分を経時的に表しており、トレーサー注入時に土壌中に存在していたアンモニア (ただし土壌由来と肥料由来は区別されていない) がどこに移行したかを示す



第5図 塩安分施肥区およびLP140全量基肥施用区における窒素動態の推移



第6図 塩安分施肥区およびLP140基肥全量施用区における窒素動態の比較

ものである、とくに塩安分施肥区の場合は近似的に施肥窒素の移行割合を表していることになる。

塩安分施肥区において「施肥窒素+土壤窒素」が水稲吸収に移行する割合は、栽培初期で11.3%と低いが水稲生育とともに増加し、後期では61.9%に達している。LP140区では、中期の水稲窒素吸収が高くなる傾向が見られた。有機化は土壤微生物によるアンモニア同化が大半を占めていると考えられ、アンモニアプールの一部になっている。塩安分施肥区の有機化は水稲の生育とともに減少する傾向が見られ、LP140区においては栽培前期と後期において高くなる傾向があった。アンモニアとして残存する割合は、両区とも栽培初期だけが大きく、それ以降はわずかしか検出されなかった。栽培初期は水稲による窒素吸収能力も低く、また地温も比較的低いことから有機化へ移行する割合が少ないためと考えられる。脱窒への配分は両区とも水稲の生育とともに減少する傾向が見られ、LP140区では後期に顕著な減少が見られた。

(2) 窒素動態

第4図のデータおよび¹⁵N-LP区のデータをもとにモデル式による解析を行い、土壤窒素から無機化してきた窒素と肥料から溶出してきた窒素に分けて無機化、溶出、水稲吸収、脱窒量の推定を行った(第5図)。これらの窒素動態はgross値で表されているが、水稲吸収、脱窒については土壤中のアンモニアプールからの移行がほぼ一定方向であると考えられるので、net値として考えても良い。肥料からの溶出量は、塩安区の場合、塩安2.5gN/m²を4回に分けて施肥したため、溶出量は各期間ともほぼ2.5gN/m²となっている。一方LP140区は3~6週目の溶出量が最も多く、水稲生育とともに漸次減少しており、これが被覆尿素肥料の特徴とも言える。土壤窒素からの無機化量は両区とも際だって大きな差は見られなかった。水稲による窒素吸収量は、両区とも初期~中期が高くなって

いるが、注目される点として塩安区の肥料由来窒素の吸収は、窒素吸収量の多い4～8週目ではそれほど高くならず、後期に高くなっていることがあげられる。この原因として根系が後期になるほど発達し、窒素吸収効率が高くなること、塩安は易溶性であるため有機化が急速に促進され易いことが考えられる。一方、LP140区においては水稻による全窒素吸収量と施肥由来窒素の吸収量がよく似たパターンで推移しており、被覆肥料が水稻生育に応じた肥効調節を行っていることを示している。

有機化は、塩安分施肥区で0～8週目に顕著に高くなる傾向が見られ、肥料由来窒素も同様なパターンで推移していた。LP140区においては3～9週目に若干高くなったが、塩安分施肥区ほど顕著ではなかった。これは3～9週目の水稻による窒素吸収速度が高かったために、有機化への移行が低くなったものと考えられる。

脱窒は、塩安分施肥区に比べLP140区で全期間にわたって低い値を示した。両区とも脱窒に移行する窒素量の推移パターンと無機化+肥料溶出のパターンはよく近似していた。しかし、被覆肥料由来の窒素が脱窒へ移行する割合は、塩安に比べて低いことがわかる。

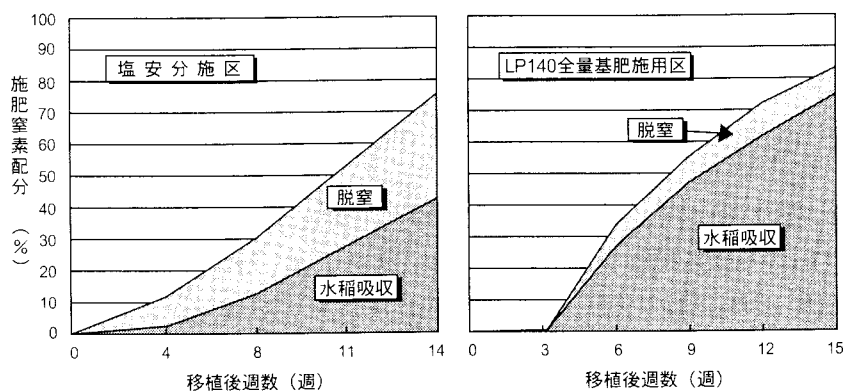
全栽培期間中の各窒素動態を積算すると第6図になる。LP140区の水稲吸収は塩安分施肥区に比べて高くなっているが、この差はほぼ肥料由来窒素の吸収が増加した分に相当する。LP140区の施肥量は、塩安分施肥区に比べて2 g N/m²少ないのにも関わらず肥料由来窒素の吸収量が高くなっており、被覆肥料の肥料利用率がかなり高いことが考えられる。

LP140区の有機化においては肥料由来窒素の占める割合が高くなっているが、これは肥料から溶出してきた窒素が一度有機化し、その後、再び無機化して水稻吸収、有機化、脱窒へと移行した可能性が高いことを示唆している。net値に換算するならば、むしろLP140区の有機化量は塩安分施肥区に比べて低いことが予想される。LP140区の脱窒量は顕著な減少がみられ、塩安分施肥区のほぼ50%になった。土壌由来窒素、肥料由来窒素とも減少し、特に肥料由来窒素の減少が著しい。

(3) 肥料利用率と脱窒への移行割合

第7図は、施肥窒素の水稲吸収と脱窒への移行割合を表したものである。塩安分施肥区の水稲吸収割合(=施肥窒素利用率)は後期になるほど高くなる傾向が見られるが、収穫期近くの14週目でも41%程度であった。脱窒量は水稻吸収量と同程度に増加し、14週目には33%に達した。

一方LP140区において、水稻による吸収割合は移植3～9週目で急速に高くなり、その後ゆっくり増加した。15週目には肥料利用率が72%に達しており、塩安の1.8倍近く肥料利用率が高くなった。脱窒への移行割合は9%であり、塩安分施肥区のそれと比べるとわずか27%にしかすぎない。



第7図 塩安分施肥区およびLP140全量基肥施用区における施肥窒素の水稲吸収と脱窒への配分

2-5. まとめ

モデル式を用いた窒素動態の推定をおこなうことにより、被覆尿素肥料（LPコート140）の全量基肥施用は、水稻の窒素吸収量に適応した肥効調節が行われていることに加え、肥料利用率が速効性肥料の分施にくらべて高く、脱窒に移行する割合が顕著に低くなることが明らかになった。

水稻作は農業の中でどちらかという環境を保全する能力が高い土地利用形態であり、特に都市近郊においては用水中の窒素、リンなどの環境負荷物質をトラップし、水質浄化を促す機能が高いと評価されているが、代かき時や窒素吸収能力の低い栽培初期には基肥が流れ出して水系を汚染させている場合がある。このような場合、被覆肥料を利用することにより、施肥窒素の流出を最小限にとどめることができると考えられる。

被覆肥料には肥効期間が異なったり、肥効がシグモイド型を示すタイプも開発されており、それらを組み合わせることにより気象、土壌、品種、作付け体型に応じたきめの細かい施肥設計が可能となっている。また被覆肥料を利用することにより、省力の他に増収をねらった施肥設計も可能ではあるが、上述のように他の肥料に比べて大気、水系への負荷が減少するという特長を有するので、有望な環境保全型施肥技術の一つに位置づけられよう。

参 考 文 献

- (1) 上野秀人. 1995. 被覆尿素施用水田における土壌中の窒素動態と吸収. 農業技術, 50: 304-307.
- (2) 上野正夫・熊谷勝巳・富樫政博・田中伸幸. 1991. 土壌窒素と緩効性被覆肥料を利用した全量基肥施肥技術. 日土肥誌, 62: 647-653.
- (3) 小野芳郎. 1992. LP一発施肥の生育相(暖地). 農業技術大系作物編, 技522: 28-35.
- (4) 亀川健一. 1990. LP肥料. 肥効特性と利用. 農業技術大系作物編, 技522: 38-43.
- (5) 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. 水稻の全量基肥施肥技術. 日土肥誌, 66: 71-79.
- (6) Cicerone, R. J. 1987. Changes in stratospheric ozone. Science, 237: 35-41.
- (7) Shoji, S. and A. T. Gandeza. 1992. Controlled release fertilizers with polyolefin resin coating. Development, properties and utilization. Sendai, Japan, Konno Printing Co. Ltd.
- (8) 橋川 潮. 1990. LP肥料. 元肥多施用の多収性. 農業技術大系作物編, 技522: 44-49.
- (9) 陽 捷行. 1985. 亜酸化窒素(N_2O)と大気環境. 研究ジャーナル, 8(11): 58-61.
- (10) Minami, K. 1987. Emission of nitrous oxide (N_2O) from agroecosystem. JARQ, 21(1): 22-27.
- (11) 陽 捷行. 1988. 大気環境への土壌の関わり. 科学, 58(10): 651-654.
- (12) 山室成一. 1988. 水田における窒素の動態に関する ^{15}N トレーサー法の理論的展開. 日土肥誌, 59: 538-548.
- (13) 山室成一・上野秀人・高橋茂. 1993. 稲わら施用水田における土壌、肥料、稲わら窒素の動態. 日土肥誌講要集, 平4秋: 345.
- (14) 全国農業協同組合連合会他編. 1997. 実践事例に学ぶこれからの環境保全型農業. 家の光協会.
- (15) 桜井倬治編. 1996. 環境保全型農業論. 農林統計協会.