

研究論文

栽培

## 寒地水稻に対する時期別追肥窒素の利用率と各器官への分配

後藤英次・野村美智子・稲津脩

(北海道立上川農業試験場)

**要旨：**寒冷地の北海道は冷害対策の観点からも様々な窒素追肥・分施肥技術が確立されてきたが、これら技術の追肥時期と白米タンパク質含有量の関係については十分な検討がなされていない。そこで、寒地水田（上川農試圃場、褐色低地土）において重窒素標識硫酸および普通硫酸肥料を用いた水稻の追肥窒素に関わる試験を行い、水稻への利用率、稲体各器官への分配および白米タンパク質含有量に及ぼす影響を検討した。幼穂形成期～幼穂形成期後7日目の追肥は白米への利用率が小さいため、白米タンパク質含有量に与える影響は小さい反面、追肥による増収効果が認められた。止葉期（減数分裂期）の窒素追肥は追肥窒素の利用率および白米への利用率が高く、さらに吸収された窒素の穂部への分配も高いことから、白米タンパク質含有量を高めることが認められた。これらの傾向は、基肥窒素量の多少に関わりなく、ほぼ同様に認められた。出穂期以降の窒素追肥は、出穂期～出穂期後10日目の間で追肥窒素の利用率および白米タンパク質含有量が最も高くなり、それ以降は漸減した。追肥窒素の穂部への分配も出穂期をピークにそれ以降で低下し、追肥が遅くなると稈・葉鞘への分配が高まった。このことから、低タンパク質米生産のためには窒素追肥を幼穂形成期後7日目までに行い、それ以降は実施すべきではないと判断した。

**キーワード：**重窒素、水稻、タンパク質含有量、窒素利用率、追肥時期。

寒冷地の北海道では、冷害対策の観点から様々な窒素追肥・分施肥技術が確立されてきた。幼穂形成期の窒素追肥は、穂数や総粒数が増加するため高温年では有効であるが（黒川・藤村 1964, 北海道農政部 1982, 志賀 1994）、冷害年には不稔の発生が多く、むしろ収量低下が懸念されること（北海道農政部 1986）、側条施肥との組み合わせの場合に有効であること（三浦 1996）が報告されている。一方、追肥時期を幼穂形成期後7日目にした場合は穂数と一穂粒数をやや増加させる作用があり、倒伏や無効分けつも小さく、気象条件の変動にも対応できることから冷害時の影響も小さい。このため、基肥量を8～9割に押さえて、残り1割～2割は気象を見極めて幼穂形成期後7日目に追肥することが昭和38年以降の基本技術となっている（北海道農政部 1963, 石塚 1979, 志賀 1994, 三浦 1996, 北海道農政部 1999）。また、止葉期（葉耳間長0の茎が40～50%抽出した日、減数分裂期に相当）の追肥は総粒数を増加させることなく登熟や千粒重を高め、冷害年の安定生産に有利であることから、中苗移植においては基準施肥量より少な目の基肥とし、窒素  $2 \text{ g m}^{-2}$  程度の止葉期追肥が普及されている（石塚喜明 1979, 北海道農政部 1982, 志賀 1994, 三浦 1996）。

このように、北海道において幼穂形成期後7日目の追肥と止葉期の追肥技術は普及しているが、これは主に安定・多収を目的としていた。過去の報告から、北海道における幼穂形成期追肥窒素の利用率は高温年で50%、低温年で

30～40%であったが、基肥窒素の利用率より明らかに高かった（古山ら 1974）とされる。これに対し、本州における追肥窒素の利用率は移植直後の追肥で3～18%、実肥で51～74%、穂肥で30～84%であり、年次により大きな変動も認められている（廣川ら 1991）が、全般的に北海道の実数より高い傾向にある。また、東北において幼穂形成期から穂揃期にかけての追肥は、吸収した窒素の65～80%が玄米に移行することが認められ、穂揃期に近いほど玄米に移行する割合が高まる（中鉢ら 1993）。穂揃期前後の追肥では穂の窒素保有量の58～74%程度が追肥後に吸収された窒素であり、無追肥のものよりも白米タンパク質含有量が高く、食味の低下が認められた（本庄・平野 1979）。しかし、北海道のような寒地水稻の生育全般にわたる追肥時期と吸収された施肥窒素の分配、白米タンパク質含有量の関係については十分な検討がされていない。また、これまでの報告では追肥窒素の穂および玄米への移行について報告されているが、白米タンパク質含有量に対する影響を解析するうえでは窒素の白米への移行・集積の検討が重要であり、このため重窒素標識窒素をトレーサーとして用いることが有効である。

本試験では、北海道における白米タンパク質含有量の低減技術導出の基礎資料を得るために重窒素標識硫酸を用い、活着期から登熟期まで水稻の各生育ステージにわたって窒素の追肥試験を実施し、窒素の追肥時期と利用率、稲体内における分配、特に白米タンパク質含有量に及ぼす影

響を検討した。

## 材料と方法

### 1. 供試圃場および栽培概要

試験は1994年～1995年に上川農業試験場水田（上川郡比布町）で実施した。圃場は褐色低地土で、作土の土色は黄褐色、土性がSCL、全炭素含量： $12.6 \text{ g kg}^{-1}$ 、全窒素含量： $1.5 \text{ g kg}^{-1}$ 、CEC： $13.2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 、pH ( $\text{H}_2\text{O}$ )： $6.1$ 、可給態窒素（ $30^\circ\text{C}$ 、4週間湛水培養法）： $70 \text{ mg kg}^{-1}$ であり、基盤整地時の圧密により作土下の緻密度が少し高いものの、排水性は比較的良好である。

試験は水田圃場を波板によって区切った。試験区は1連制、試験規模は $1.44 \text{ m}^2$ （ $1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ ）で行った。供試品種は北海道の奨励品種である「きらら397」を用いた。枠内には中苗箱マツト苗を用いて条間30 cm、株間12 cmで、10株 $\times$ 4列＝40株を手植え（4本植）した。波板の左右2カ所には幅5 cm程度の隙間を設け、代かき時および追肥時以外は田面水を枠外と連絡させ、移植から8月上旬まで連続湛水した。追肥の際には、追肥時～追肥後1週間程度隙間をふさぎ、田面が露出しない程度にバケツで用水を与えた。稲わらは毎年圃場から搬出した。

### 2. 窒素施肥法と施肥量

基肥窒素は非標識硫酸を用いて全層基肥3水準（1994年：窒素4, 8,  $12 \text{ g m}^{-2}$ 、1995年：窒素6, 8,  $10 \text{ g m}^{-2}$ ）で施用し、これに追肥を組み合わせた。本試験では、北海道における施肥窒素量（追肥含む）が概ね $8\sim 9 \text{ g m}^{-2}$ 程度（北海道農政部1999, 北海道農政部2001）であることから、 $8 \text{ g m}^{-2}$ を基肥の標準と考えて処理した。追肥は幼穂形成期、幼穂形成期後7日目（1995年のみ）、止葉期、出穂期、出穂期後10日目、出穂期後20日目、出穂期後30日目、出穂期後40日目に追肥時期をかねて各1回ずつ重窒素標識硫酸を用いて窒素 $2 \text{ g m}^{-2}$ 施用した。重窒素標識硫酸は重窒素の濃度が1994年： $7.03 \text{ atom\%}$ 、1995年： $7.22 \text{ atom\%}$ のものをを用いた。1995年は、基肥窒素のみの無追肥処理区を設けた。リン酸（ $\text{P}_2\text{O}_5$ ）とカリ（ $\text{K}_2\text{O}$ ）は各年ともPK化成肥料で各々 $8 \text{ g m}^{-2}$ となるように全量全層施肥で与えた。

### 3. 調査分析方法

各処理に関する茎葉分析用試料は、成熟期に試験区の枠内中央部から8株の穂数を調査し、その中から中庸な3株を採取した。これを稈・葉鞘、葉身、穂に区分した。全窒素の定量はケルダール法によった。また、重窒素定量用の試料は硫酸を受液としてケルダール法により蒸留、受液をホットプレート上で濃縮した。分析には質量分析計（中根1963）（日立RMI-2型）を用いて定量した。

さらに、穂部は試料と別に枠内から20株を収穫し、脱穀して稲わらと籾の重量を測定した。その後、籾摺りをし

て粃穀と玄米に分画し、この玄米重と栽植密度から収量を算出した。得られた玄米は搗精歩合90%になるように設定した小型精米機（ケット社、パーレスト）を用い、糠と白米に分画した。これにより得られた白米を前述と同様に乾燥、粉碎、分析した。白米タンパク質含有量は白米中の窒素含有量に5.95を乗じて乾物当たりで示した。

茎葉部の窒素吸収量の算出には、茎葉分析用試料の稈・葉鞘、葉身乾物重の比率を、脱穀により得られた稲わらの乾物重に掛け合わせ、これで得られた稈・葉鞘と葉身の換算乾物重量を用いた。穂部は、脱穀で得られた籾の乾物重を用いた。本試験では、（追肥窒素由来の総吸収窒素量）/（追肥窒素量） $\times 100$ を追肥窒素の利用率とし、（各部位に吸収された追肥窒素量）/（追肥窒素由来の総吸収窒素量） $\times 100$ として得られる部位別の割合を吸収追肥窒素の各器官への分配率とする。また、（追肥窒素由来の白米吸収窒素量）/（追肥窒素量） $\times 100$ を白米利用率、（追肥窒素由来の白米吸収窒素量）/（白米の総吸収窒素量） $\times 100$ を白米窒素中の追肥由来の窒素比率として記述する。

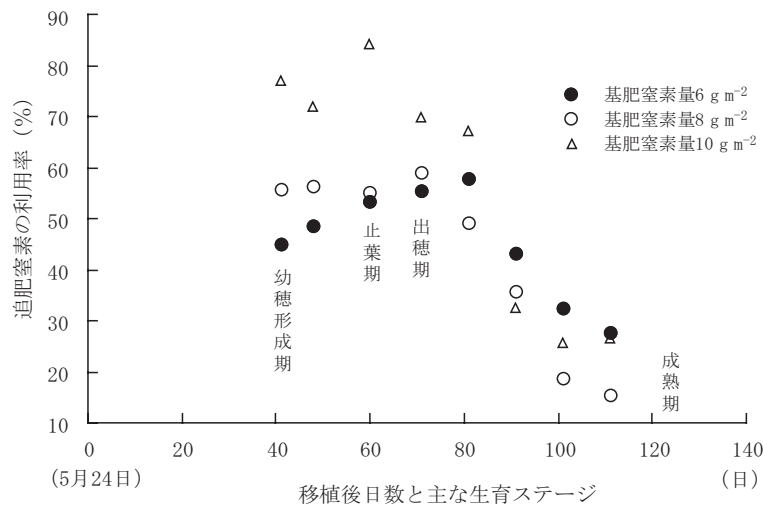
## 結 果

### 1. 追肥した窒素の利用効率

基肥窒素量の異なる条件において、追肥時期が異なる場合の追肥窒素の利用効率について検討した（第1図）。幼穂形成期～出穂期の追肥窒素の利用率は、基肥窒素 $10 \text{ g m}^{-2}$ 区 $> 8 \text{ g m}^{-2}$ 区 $> 6 \text{ g m}^{-2}$ 区の順であったが、出穂期後20日目以降の追肥では基肥窒素 $6 \text{ g m}^{-2}$ 区が $8 \text{ g m}^{-2}$ 区と $10 \text{ g m}^{-2}$ 区に勝っていた。慣行的な追肥ステージで比較すると、幼穂形成期追肥が基肥窒素 $6 \text{ g m}^{-2}$ 区で45.1%、基肥窒素 $8 \text{ g m}^{-2}$ 区で55.7%、基肥窒素 $10 \text{ g m}^{-2}$ 区で77.2%、幼穂形成期後7日目追肥が基肥窒素 $6 \text{ g m}^{-2}$ 区で48.4%、基肥窒素 $8 \text{ g m}^{-2}$ 区で56.3%、基肥窒素 $10 \text{ g m}^{-2}$ 区で72.0%、止葉期追肥が基肥窒素 $6 \text{ g m}^{-2}$ 区で53.4%、基肥窒素 $8 \text{ g m}^{-2}$ 区で55.2%、基肥窒素 $10 \text{ g m}^{-2}$ 区で84.5%となった。基肥窒素 $6 \text{ g m}^{-2}$ 区の利用率は追肥時期が出穂期に近くなるほど高くなり、出穂後10日目がピークとなった。基肥窒素 $8 \text{ g m}^{-2}$ 区では出穂期にピークを示すものの幼穂形成期～出穂期の利用率は概ね同等であり、基肥窒素 $10 \text{ g m}^{-2}$ 区では止葉期にピークを示した。

### 2. 追肥した窒素の水稻各器官への分配

主に追肥が行われるステージとして幼穂形成期～出穂期における追肥窒素の水稻各器官への分配率を見ると、穂への分配率は基肥量によって異なるものの出穂期追肥（55.1～64.9%、平均58.4%） $\geq$ 止葉期追肥（51.5～64.3%、平均57.0%） $>$ 幼穂形成期後7日目追肥（49.5～53.1%、平均51.0%） $>$ 幼穂形成期追肥（35.5～49.5%、43.6%）の順に高かった（第1表）。穂への分配率の推移を見ると、全層基肥窒素量 $6 \text{ g m}^{-2}$ では出穂期が、基肥窒



第1図 追肥時期と追肥窒素の利用率の関係(1995年).

第1表 全層基肥窒素量を異にした追肥窒素の各器官への分配(1995年).

追肥処理時期	全層基肥窒素量 6 g m <sup>-2</sup>			全層基肥窒素量 8 g m <sup>-2</sup>			全層基肥窒素量 10 g m <sup>-2</sup>		
	稈・葉鞘	葉 (%)	穂	稈・葉鞘	葉 (%)	穂	稈・葉鞘	葉 (%)	穂
幼穂形成期	29.4	21.1	49.5	31.1	23.0	45.9	41.7	22.8	35.5
幼穂形成期後7日目	29.2	20.5	50.3	28.5	22.0	49.5	24.7	22.2	53.1
止葉期	28.6	16.2	55.2	21.2	14.5	64.3	25.6	22.9	51.5
出穂期	21.8	13.3	64.9	28.5	16.4	55.1	27.6	17.1	55.2
出穂期後10日目	25.8	16.4	57.8	24.2	11.3	64.5	23.9	11.8	64.2
出穂期後20日目	33.7	16.6	49.7	22.5	10.5	67.0	16.0	9.8	74.2
出穂期後30日目	39.0	24.5	36.6	34.5	14.5	51.0	18.7	11.3	70.0
出穂期後40日目	79.2	7.6	13.2	56.6	17.7	25.7	48.8	15.1	36.0

素 8 g m<sup>-2</sup> 区と基肥窒素 10 g m<sup>-2</sup> 区では出穂期後 20 日目追肥をピークとして、以降で低下した。また、基肥窒素 6 g m<sup>-2</sup> 区と基肥窒素 8 g m<sup>-2</sup> 区では、穂部への分配がピークの以降速やかに低下するのに対して、基肥窒素 10 g m<sup>-2</sup> 区では出穂期後 30 日目追肥まで高い水準にあった。

### 3. 追肥した窒素の白米利用率

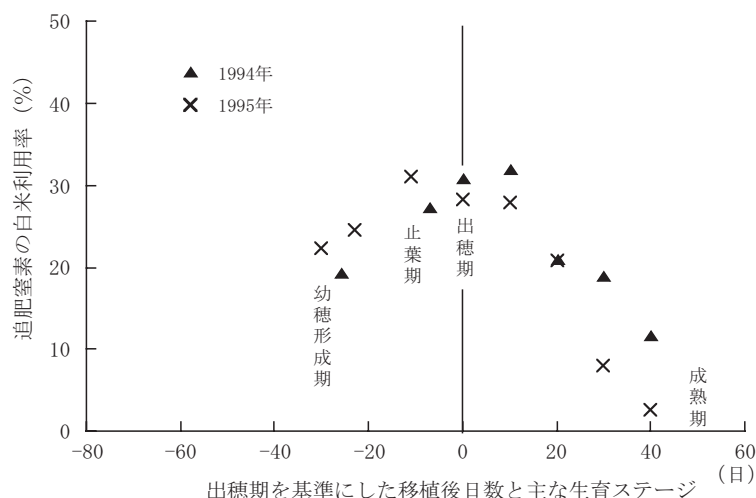
1994 と 1995 年の基肥窒素 8 g m<sup>-2</sup> 区に追肥した結果を見ると、追肥窒素の白米利用率は 1994 年で出穂期後 10 日目追肥、1995 年で止葉期追肥が最も高くなる山型を示した(第2図)。全層基肥窒素量の増加に伴って成熟期の窒素吸収量は明らかに増加していたが、必ずしも白米利用率は増加しなかった(第2表)。主な生育ステージにおける基肥窒素量 3 水準の白米利用率は幼穂形成期追肥で 1994 年: 17.0~22.3%, 1995 年: 19.4~22.6%, 幼穂形成期 7 日目追肥で 1995 年: 20.5~32.4%, 止葉期追肥で 1994 年: 25.5~29.6%, 1995 年: 25.3~37.1%, 出穂期追肥で 1994 年: 26.2~29.8%, 1995 年: 28.2~33.0%, 出穂期後 10 日目追肥で 1994 年: 24.7~31.4%, 1995 年:

27.9~37.2% に分布し、基肥量に関わらず出穂期後 10 日目追肥≧出穂期追肥≧止葉期追肥>幼穂形成期 7 日目追肥>幼穂形成期追肥となった(第2表)。

白米に蓄積された窒素中の追肥由来の窒素比率を検討したところ、出穂期~出穂期後 10 日目の追肥が最も高く、白米中窒素のほぼ 1 割以上が出穂期~出穂期後 10 日目の追肥窒素由来であった(第2表)。それ以降の追肥では、追肥由来の窒素比率が急速に低下していたが、基肥量との間に一定の傾向は認められなかった。

### 4. 白米タンパク質含有量に対する追肥時期の影響

白米タンパク質含有量は、基肥窒素量の増加に伴って高まる傾向にあった(第3表)。追肥時期の比較では、各基肥窒素量とも生育ステージの進行に伴って上昇し、止葉期~出穂期後 10 日目をピークにそれ以降で低下した。出穂期後 10 日目追肥以前の生育ステージの比較では、概ね出穂期後 10 日目≧出穂期≧止葉期>幼穂形成期後 7 日目>幼穂形成期であった(第3表)。また、1995 年の全層基肥窒素区(無追肥)における白米タンパク質含有量は、基肥



第2図 追肥時期と追肥窒素の白米利用率の関係。

全層基肥窒素は  $8 \text{ g m}^{-2}$  施用した。

出穂期 (1994年: 7月28日, 1995年: 8月2日) を基準とした主な生育ステージは

幼穂形成期: -24日 (1994年), -28日 (1995年)

止葉期: -7日 (1994年), -11日 (1995年)

成熟期: +46日 (1994年), +55日 (1995年)

第2表 全層基肥窒素量と追肥時期が窒素吸収に及ぼす影響。

追肥 処理時期	1994年				1995年			
	全層基肥 窒素量 ( $\text{g m}^{-2}$ )	成熟期 窒素 吸収量 ( $\text{g m}^{-2}$ )	白米 利用率 (%)	白米窒素中 の追肥由来 の窒素比率 (%)	全層基肥 窒素量 ( $\text{g m}^{-2}$ )	成熟期 窒素 吸収量 ( $\text{g m}^{-2}$ )	白米 利用率 (%)	白米窒素中 の追肥由来 の窒素比率 (%)
幼穂形成期	4	9.2	22.3	9.2	6	10.3	19.4	8.7
幼穂形成期後7日目	-	-	-	-	6	10.7	20.5	8.9
止葉期	4	9.4	29.6	11.6	6	11.3	25.3	10.4
出穂期	4	8.7	28.8	12.1	6	10.4	30.7	13.3
出穂期後10日目	4	8.5	24.7	11.2	6	10.2	29.3	13.6
出穂期後20日目	4	8.8	21.4	9.4	6	10.4	18.9	8.9
出穂期後30日目	4	8.2	14.2	6.7	6	10.3	10.3	5.0
出穂期後40日目	4	8.7	8.9	4.1	6	9.7	3.1	1.8
幼穂形成期	8	10.1	19.3	7.6	8	12.5	22.4	8.2
幼穂形成期後7日目	-	-	-	-	8	13.2	24.5	8.4
止葉期	8	10.2	26.8	10.5	8	13.5	31.1	9.8
出穂期	8	10.5	29.8	11.0	8	13.0	28.2	10.3
出穂期後10日目	8	10.5	31.4	12.4	8	12.8	27.9	10.5
出穂期後20日目	8	10.4	21.1	8.2	8	12.6	20.9	7.8
出穂期後30日目	8	10.5	18.9	7.3	8	12.0	8.0	3.1
出穂期後40日目	8	9.2	11.5	5.3	8	11.9	2.7	1.1
幼穂形成期	12	13.1	17.0	5.7	10	13.5	22.6	8.4
幼穂形成期後7日目	-	-	-	-	10	13.9	32.4	10.4
止葉期	12	13.8	25.5	8.1	10	14.3	37.1	11.6
出穂期	12	13.9	26.2	8.1	10	14.2	33.0	11.6
出穂期後10日目	12	14.6	31.1	9.1	10	13.8	37.2	13.5
出穂期後20日目	12	13.0	22.3	7.8	10	13.5	19.4	7.3
出穂期後30日目	12	13.2	25.1	8.1	10	13.9	15.4	5.4
出穂期後40日目	12	13.0	15.7	6.0	10	13.1	7.5	2.6



第3表 全層基肥窒素量と追肥時期が収量および白米タンパク質含有量に及ぼす影響.

追肥 処理時期	1994年				1995年			
	全層基肥 窒素量	総粒数	精玄米 収量	白米 タンパク質 含有量	全層基肥 窒素量	総粒数	精玄米 収量	白米 タンパク質 含有量
	( $\text{g m}^{-2}$ )	( $\times 1000$ 粒 $\text{m}^{-2}$ )	( $\text{g m}^{-2}$ )	( $\text{g kg}^{-1}$ )	( $\text{g m}^{-2}$ )	( $\times 1000$ 粒 $\text{m}^{-2}$ )	( $\text{g m}^{-2}$ )	( $\text{g kg}^{-1}$ )
幼穂形成期	4	29.9	547	62	6	33.6	611	64
幼穂形成期後7日目	—	—	—	—	6	35.4	613	67
止葉期	4	23.7	510	67	6	30.9	586	70
出穂期	4	22.5	487	67	6	28.8	545	73
出穂期後10日目	4	23.9	487	67	6	28.3	528	70
出穂期後20日目	4	24.2	502	66	6	27.5	499	68
出穂期後30日目	4	23.1	478	63	6	29.7	542	66
出穂期後40日目	4	22.2	461	62	6	29.2	554	65
幼穂形成期	8	32.3	593	62	8	40.3	647	68
幼穂形成期後7日目	—	—	—	—	8	38.9	651	69
止葉期	8	28.7	576	68	8	35.6	645	74
出穂期	8	29.6	584	68	8	34.0	618	76
出穂期後10日目	8	28.7	577	68	8	34.3	613	74
出穂期後20日目	8	29.3	579	64	8	35.0	611	73
出穂期後30日目	8	28.5	573	64	8	34.8	632	69
出穂期後40日目	8	28.6	570	62	8	35.0	629	70
幼穂形成期	12	42.9	653	65	10	41.7	621	67
幼穂形成期後7日目	—	—	—	—	10	39.2	620	72
止葉期	12	38.7	654	74	10	36.7	632	79
出穂期	12	38.5	650	77	10	36.8	603	79
出穂期後10日目	12	36.6	653	76	10	36.4	602	77
出穂期後20日目	12	34.3	608	68	10	36.8	626	75
出穂期後30日目	12	33.4	642	68	10	36.5	599	74
出穂期後40日目	12	32.6	603	61	10	36.9	606	72
基肥窒素量別	4	24.2 a	496 a	65 a	6	30.4 a	560 a	68 a
の平均値	8	29.4 b	579 b	65 a	8	36.0 b	631 b	72 ab
	12	36.7 c	638 c	70 a	10	37.6 b	614 b	74 b

精玄米収量には、篩い目 1.90 mm を使用した。

生育各ステージの平均値の異なる英小文字は、全層基肥窒素施肥量別における Tukey-Kramer test により 5% 水準で有意差があることを示す。

窒素  $6 \text{ g m}^{-2}$  区が  $61 \text{ g kg}^{-1}$ , 基肥窒素  $8 \text{ g m}^{-2}$  区が  $66 \text{ g kg}^{-1}$ , 基肥窒素  $10 \text{ g m}^{-2}$  区が  $67 \text{ g kg}^{-1}$  であった (図表省略)。

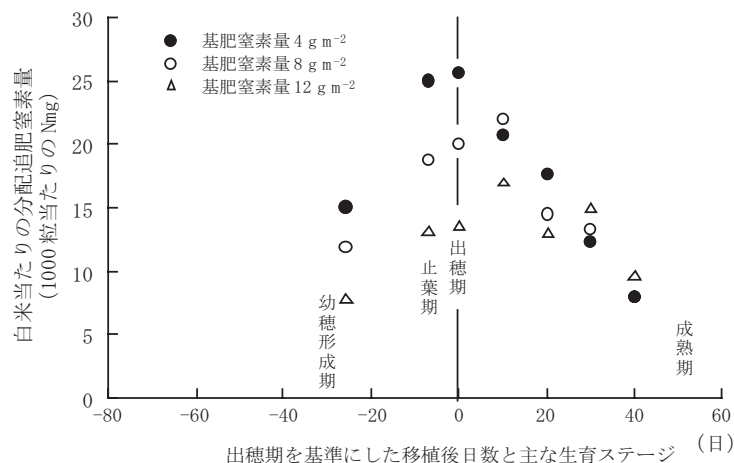
白米当たりに分配された追肥窒素量 (1000 粒当たりの窒素 mg) を見ると, 2 カ年とも止葉期～出穂期後 10 日目の追肥をピークにした山型を示した (第3図)。詳細に見ると標準施肥量である基肥窒素  $8 \text{ g m}^{-2}$  区が, 幼穂形成期追肥で 1994 年:  $11.9 \text{ mg}$ , 1995 年:  $11.2 \text{ mg}$ , 幼穂形成期後 7 日目追肥で 1995 年:  $12.6 \text{ mg}$  であるのに対して, 止葉期追肥は 1994 年:  $18.7 \text{ mg}$ , 1995 年:  $17.5 \text{ mg}$ , 出穂期追肥は 1994 年:  $20.1 \text{ mg}$ , 1995 年:  $16.6 \text{ mg}$ , 出穂期後 10 日目追肥は 1994 年:  $21.9 \text{ mg}$ , 1995 年:  $16.2 \text{ mg}$ , であり, 止葉期～出穂期後 10 日目で明らかに高かった。基肥窒素量との関係では 1994 年で, 基肥窒素  $4 \text{ g m}^{-2}$  区 > 基肥窒素  $8 \text{ g m}^{-2}$  区 > 基肥窒素  $12 \text{ g m}^{-2}$  区のように, 基肥窒素量が

少ないほど白米当たりに分配される追肥窒素量が増加した。これに対して 1995 年は, 基肥窒素量の影響が判然としなかった。

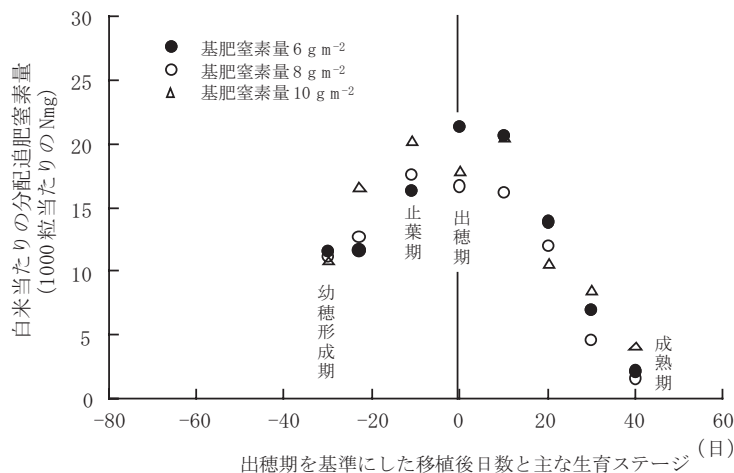
## 5. 収量に対する追肥時期の影響

総粒数は基肥窒素量の増加に伴って増加した。各生育ステージの追肥が総粒数に及ぼす影響を見ると, 総粒数は基肥窒素量に関わりなく, 幼穂形成期～幼穂形成期後 7 日目の追肥で増加した (第3表)。出穂期以降の追肥では, 総粒数に与える影響は判然としなかった。精玄米収量についても総粒数の増加を反映しており, 1994 年は基肥窒素量の増加に伴って増加したが, 1995 年の基肥窒素  $8 \text{ g m}^{-2}$  区は, 有意な差ではないが基肥窒素  $10 \text{ g m}^{-2}$  区より勝っていた。追肥時期との関係を見ると, 幼穂形成期～幼穂形成期後 7

## 1) 1994 年



## 2) 1995 年



第3図 追肥時期と白米当たりの分配追肥窒素量の関係。  
生育ステージについては第2図を参照。

日追肥＞止葉期追肥≥出穂期追肥＞出穂期後10日目以降の順に高かった。

## 考 察

北海道における従来の窒素追肥技術は、主に水稻の安定・多収を目的としていたのに対し、近年求められるのは白米タンパク質含有量を高めない窒素追肥技術である。本試験は北海道のような寒地水田において、窒素追肥時期が白米タンパク質含有量に及ぼす影響を比較検討するため、活着期から登熟期まで水稻の各生育ステージにわたって重窒素標識硫酸を用いた追肥試験を実施した。

### 1. 追肥窒素の利用効率と各器官への分配

幼穂形成期以降の追肥窒素の利用率は、止葉期～出穂期後10日目追肥をピークにする傾向を示した(第1図)。出穂期以降の利用率は概ね生育の進行に伴って減少する傾向にあった。これは出穂期頃までは水稻根の発達に伴い、追肥窒素を効率的に吸収できるようになったことを意味する

が、出穂期以降は一般に新根の伸長はほとんど停止し(川田1982)、反対に老化が進むことにより吸収能が低下したことが影響しているものと考えられる。追肥窒素の利用効率に対する基肥窒素量の影響を見ると、幼穂形成期から出穂期の追肥窒素の利用率は、基肥窒素量の増加に伴って上昇する傾向を示した(第1図)。これは、基肥窒素量が少ない条件では追肥前の茎葉および根の生長量が少なく、追肥窒素を吸収する能力が劣ったためと推察する。出穂期以降については、全体的には急速に低下していくものの、むしろ基肥窒素量の少ない基肥窒素  $6 \text{ g m}^{-2}$  区で利用率の低下が緩慢であった。このことについて十分な解析は難しいが、穂部への乾物蓄積が影響している可能性がある。一般に、窒素化合物および光合成同化産物の栄養生長期のシンクは新葉および根であり(巽1998)、根の生長に必要な窒素の多くが地上部から供給されている(Tatsumi and Kono 1981)のに対し、生殖生長期になると穂部が強いシンクとなり、根への分配が減少する。また、シンクである穂を切除することにより、同化葉以外の葉および稈への光合成産物蓄積

が進むとの報告がある(田中・藤田 1971)。すなわち、総粒数が少ない基肥窒素  $6 \text{ g m}^{-2}$  区では出穂以降のシンク能が小さいため、光合成同化産物の穂部への分配が少なく、根部への配分が維持されることで旧根の活性を維持し、新根の伸長を促進したのではないかと推察する。また、稲の下位葉は根との関係が深く、下位葉から根に送り込まれた同化産物は根の呼吸に消費され、そのエネルギーによって養分が吸収される(石塚・田中 1969)。したがって、多肥条件では過繁茂になり、下位葉への日射が不足することで根への同化産物供給が不足した可能性も考えられるが、本試験においては十分に解析できなかった。

追肥窒素の分配率を生育ステージ別で見ると、出穂期までは生育の進行に伴って穂部への分配が高まる傾向を示した。特に幼穂形成期後 7 日目追肥と止葉期追肥を比較すると、止葉期は追肥窒素の利用率が高いことに加えて、基肥窒素  $6 \text{ g m}^{-2}$  区と基肥窒素  $8 \text{ g m}^{-2}$  区の場合に同化部位である葉身への分配が低下するのに対して、貯蔵部位である穂の分配が高まっていた(第 1 表)。これは、止葉期追肥の時期になると茎数や穂数がほぼ決定しているため、窒素の多くが形成過程にある穂部に蓄積したものと考えられる。さらに、登熟後半の追肥によって吸収された窒素の稈・葉鞘への分配が高まったのは、穂においては開花後 30~40 日程度で粒の養分集積がほぼ終了し(松崎 1990)、これに加えて葉身は出穂以降は老化が進み始めたため(前 1982, 折谷 1990)、残された稈・葉鞘に対して窒素の集積が起こったものと考えられる。

追肥窒素の各器官への分配に対する全層基肥窒素量の影響を見みると、穂部への分配のピークや低下が始まる追肥時期は基肥窒素量が高いほど遅くなる傾向にあり、特に基肥窒素  $10 \text{ g m}^{-2}$  区では出穂期後 30 日目追肥まで穂部への分配率が高かった(第 1 表)。これは、基肥窒素量が高まるほど穂数・総粒数が増加し、そのため株内に登熟の遅れる穂および粒が増えていたことによるものと考えられる。

## 2. 追肥窒素の白米への蓄積

1994 年と 1995 年の基肥窒素  $8 \text{ g m}^{-2}$  区に追肥した結果を見ると、追肥窒素の白米への利用率は出穂期後 10 日目  $\approx$  出穂期  $\approx$  止葉期  $>$  幼穂形成期 7 日目  $>$  幼穂形成期となった(第 2 図)。これは、追肥窒素の利用率が止葉期~出穂期後 10 日目にピークとなったことや、稲体内における吸収窒素の各器官への分配先が生育の進行とともに変化したことによるものと考えられた。

白米に蓄積された窒素中の追肥由来窒素は、止葉期~出穂期後 10 日目の追肥時期で、白米中窒素の 1 割以上であった(第 2 表)。また、止葉期~出穂期後 10 日目程度の追肥処理は、全層基肥窒素区(1995 年無追肥)における白米タンパク質含有量と比較すると、白米タンパク質含有量で  $8 \sim 13 \text{ g kg}^{-1}$  高まったことになる。これは、低タンパク質米を指向していく上で無視できるものではないと考えられ

る(清藤 1992)。これに対し、幼穂形成期~幼穂形成期後 7 日目の範囲では、白米タンパク質含有量の増加が  $0 \sim 6 \text{ g kg}^{-1}$  程度であったことから、食味に及ぼす影響も比較的小さいと判断する。また、近年の北海道の研究において、「きらら 397」の白米タンパク質含有量と食味官能値の関係を検討したところ、一般的に評価基準とされる「日本晴」を越えるには、白米タンパク質含有量を  $75 \text{ g kg}^{-1}$  以下に低下することが必要であった(古原ら 2002)。止葉期~出穂期後 10 日目の追肥では、白米タンパク質含有量を  $75 \text{ g kg}^{-1}$  以上となる可能性があり、近年求められている低タンパク質米生産の観点から問題と考える。

## 3. 追肥が収量に及ぼす影響

止葉期追肥の増収要因は、登熟歩合の向上や千粒重の増加に起因し、その増収効果は幼穂形成期の追肥に及ばないとされている(北海道農政部 1963)。ただし、幼穂形成期の追肥は増収効果が高いものの、低温年には登熟歩合低下によるマイナス効果が高い危険があるとされる(北海道農政部 1986)。本試験における各生育ステージの追肥が総粒数や収量に及ぼす影響を見ると、総粒数は生育の早いステージにおける追肥で多くなった。精玄米収量は幼穂形成期  $\approx$  幼穂形成期後 7 日目追肥  $>$  止葉期追肥  $\geq$  出穂期追肥  $\approx$  出穂期以降の各追肥処理となっており、ほぼこれまでの結果と一致していた(第 3 表)。

特に、本試験のように地力窒素の低い土壌(褐色低地土)では、安定多収の観点から幼穂形成期~幼穂形成期後 7 日目の追肥が最も効果的であることを示していると判断された。但し、本試験は気象的に平年並み以上の良好な 2 カ年の結果であったことから、冷害年の危険も考慮して実用上は幼穂形成期後 7 日目の追肥が望ましいと考える。

## 4. 白米タンパク質含有量から見た追肥時期の評価

幼穂形成期後 7 日目追肥は、追肥窒素の利用率が基肥より高く、穂への分配率および白米への利用率が以降の追肥と比較して低く、総粒数を増加する働きの大きいことが認められる。このため、幼穂形成期後 7 日目追肥により吸収された窒素は個々の白米に転流する窒素が希釈され、白米当たりの分配追肥窒素量は高くないことから、産米の白米タンパク質含有量はあまり高まらない。止葉期追肥では、追肥窒素の利用率が幼穂形成期後 7 日目より高いとともに、総粒数を増加させる効果が小さいため、白米当たりの分配追肥窒素量は高く、産米の白米タンパク質含有量を高めると考えられる。この傾向は、基肥窒素量を増加した場合でも同様に認められた。出穂期以降の追肥に関しては、概ね出穂期~出穂後 10 日目をピークに以降の追肥窒素の利用率が低下するとともに、穂への分配率が明らかに高くなることから、この時期の追肥は止葉期追肥以上に白米タンパク質含有量を高めると判断される。特に、基肥窒素量の高い条件では、穂部の生育量が多いためこの傾向はより

顕著に現れると考えられる。出穂期後 20 日目以降の追肥では、利用率とともに穂部への分配率も減少する傾向にあり、白米タンパク質含有量に及ぼす影響も小さくなる。

このように、北海道の稲作において基本技術とされてきた止葉期追肥は白米タンパク質含有量を著しく高めることが明らかとなった。玄米収量と白米タンパク質含有量を勘案した場合、止葉期以降の追肥は行わず、幼穂形成期後 7 日目に追肥を行うことが効果的と判断できる。

**謝辞：**本報告をご指導して頂いた香川大学農学部 楠谷彰人教授、北海道大学農学部 大崎満教授、北海道立農業試験場前農業環境部長 能代昌雄氏に心から敬意と謝意を表する。

### 引用文献

- 古山芳広・藤原耕治・南松雄 1974. 水稻品種の栄養生理的特性に関する研究Ⅲ.  $^{15}\text{N}$  トレーサー法により施肥窒素の吸収利用特性. 北海道立農試集報 30 : 32-44.
- 廣川智子・伊藤純雄・北川靖夫 1991. 水稻による施肥窒素の吸収利用率と施肥後の気温および日照との関係. 富山県農業技術センター研報 10 : 11-17.
- 北海道農政部 1963. 冷害対策としての水稻に対する窒素分肥に関する試験. 農業技術普及資料 6 (4). 北海道農政部, 札幌. 102-110.
- 北海道農政部 1982. 中苗機械移植水稻の施肥法. 昭和 57 年普及奨励ならびに指導参考事項. 北海道農政部, 札幌. 323-327.
- 北海道農政部 1986. 窒素吸収特性から見た「ゆきひかり」の耐倒伏性. 昭和 61 年普及奨励ならびに指導参考事項. 北海道農政部, 札幌. 351-355.
- 北海道農政部 1999. 北海道土壌診断基準と施肥対応. 北海道農政部, 札幌. 27.
- 北海道農政部 2001. 米に関する資料. 北海道農政部, 札幌. 58.
- 本庄一雄・平野貢 1979. 米のタンパク含有率に関する研究 第 3 報 登熟に伴う体内窒素および穂揃期追肥窒素の穂への移行. 日作紀 48 : 517-524.
- 石塚喜明・田中明 1969. 水稻の栄養生理. 養賢堂, 東京. 213-219.
- 石塚喜明 1979. 寒冷地における水稻栽培 第 5 章 土壌肥沃度の調整と施肥. 北農 46 (9) : 8-18.
- 川田信一郎 1982. イネの根. 農文協, 東京. 12-21.
- 清藤文仁・中堀登示光・高城哲男・小山田善三 1992. 白米のタンパク質含有率と食味評価及び施肥法との関係. 東北農業研究 45 : 31-32.
- 古原洋・渡辺祐志・竹内晴信・田中英彦・丹野久・五十嵐俊成・後藤英次・長谷川進・沼尾吉則 2002. 北海道米の食味・白度の変動要因解析と高位安定化技術. 北農 69 (1) : 17-25.
- 黒川春一・藤村稔彦 1964. 水稻に対する窒素分施について. 北農 31 (3) : 4-8.
- 前忠彦 1982. 作物の生長と窒素の転流 (6) - 水稻の生長と窒素の転流 -, 農業および園芸 57 : 978-984.
- 松崎昭夫 1990. 穂の発育と老化. 松尾孝嶺代表編集, 稲学大成第 2 巻 - 生理編 -, 農文協, 東京. 109-120.
- 三浦周 1996. 施肥量および施肥法. 相馬暁編監修, やさしい施肥管理の手引き - 水稻編 -, ホクレン, 札幌. 50-57.
- 中鉢富夫・川島典子・武田良和・山家いずみ 1993. 土壌型と追肥時期が玄米窒素濃度に及ぼす影響. 東北農業研究 46 : 83-84.
- 中根良平 1963. 質量分析法による同位体比測定Ⅲ. 質量分析 22 : 51-56.
- 折谷隆志 1990. 老化のメカニズム. 松尾孝嶺代表編集, 稲学大成第 2 巻 - 生理編 -, 農文協, 東京. 109-120.
- 志賀一一 1994. 水田の土壌肥料. 石塚喜明監修, 北海道の稲作. 北農会, 札幌. 256-275.
- 田中明・藤田耕之輔 1971. トウモロコシの栄養生理学的研究 乾物生産における Source と Sink の相対的意義. 土肥誌 42 : 152-156.
- 巽二郎 1998. ソース-シンク関係から見た地上部-地下部関係. 根の辞典編集委員会編集, 根の辞典, 朝倉書店, 東京. 117-118.
- Tatsumi, J. and Y. Kono 1981. Translocation of Foliar-Applied Nitrogen to Rice Roots. J. Crop. Sci. 49 : 302-310.

**Effect of the Time of Topdressing on the Recovery Rate of Applied Nitrogen, and its Distribution in Rice Plant in a Cold District:** Eiji GOTO<sup>1), 2)</sup>, Michiko NOMURA<sup>1)</sup> and Osamu INATSU<sup>1)</sup> (<sup>1)</sup>Hokkaido Kamikawa Agric. Exp. Stn.; <sup>2)</sup>Hokkaido Cent. Agric. Exp. Stn. Iwamizawa Branch Office, Iwamizawa, Hokkaido 069-0365, Japan)

**Abstract :** In order to understand the effect of the time of nitrogen topdressing (panicle formation stage ~ 40 days after heading time) on the recovery rate of applied nitrogen and its distribution in rice plant, we examined the absorption rate of nitrogen fertilizer (ammonium sulphate) labeled with nitrogen ( $^{15}\text{N}$ ) in Hokkaido Kamikawa Agric. Exp. Stn. (Brown lowland soil). Nitrogen topdressed from panicle formation stage to 7 days after panicle formation stage was allocated to polished rice at a low rate, and did not affect the protein content of polished rice, although it increased the yield. Nitrogen application at the flag leaf stage increased the recovery rate and protein content of polished rice. A similar tendency was observed irrespective of the amount of basal dressing of nitrogen. Both the recovery rate of nitrogen and protein content of polished rice were highest when the time of topdressing from heading time to 10 days after heading time. Therefore, it is important to apply nitrogen topdressing within 7 days after the panicle formation stage to produce low protein content rice, and later nitrogen topdressing should be avoided.

**Key words :** Labeled nitrogen ( $^{15}\text{N}$ ), Protein content, Recovery rate, Rice plant, Time of topdressing nitrogen.