米のタンパク含量に関する研究

第3報 登熟に伴う体内窒素及び穂揃期追肥窒素の穂への移行*

本 庄 一 雄・平 野 貢

(岩手大学農学部)

昭和54年4月24日受理

窒素は水稻の生育とともに吸収され、開花期までにその吸収をほとんど完了し、開花期を境としてそれ以前に茎葉に蓄積された窒素が多量に穂に移行することが認められている^{10,14)}。石塚ら^{4,5)}によると収穫期の穂に含有される窒素の大部分は体内窒素の転流したものであり、清水ら¹²⁾、和田¹⁵⁾は穂に集積された窒素の来歴について調査し、全量基肥あるいは密植では穂に移行する窒素のほとんどが体内窒素であり、多肥では体内窒素が50~80%を占めるとしている。穂揃期の窒素追肥あるいは尿素の葉面散布によって米粒のタンパク質含有率の増加が報告されている^{1,3,6,7,8,13)}。これは稲体の窒素濃度が高まり、その結果穂に転流する量が増加したためである^{3,11,12,15)}。

本実験は高タンパク米生産機構解明の1つとして穂揃期に追肥された窒素が穂に移行する過程を明らかにするために、時期別、器官別の窒素含有量の増減を求めて、茎葉から穂への窒素の移行を追求した。

実験材料及び方法

実験は1971年及び1972年に行った。1971年は玄米タンパク質含有率中位のフジミノリ(中生)、1972年は玄米タンパク質含有率の高い栄光(極早生)、オイラセ(早生)、タンパク質含有率の低いササニシキ(晩生)の3品種²⁾を用いた。両年とも1/5000aのポットに1株1本植で2株植とし、肥料は三要素ともポット当たり成分で0.7gを全量基肥として施した。追肥区は各品種の穂揃期にポット当たり0.5g(株当たり0.25g)の窒素を硫酸で施用した。

試料の採取は穂揃期より収穫期まで1971年は3~8日毎に合計13回、1972年は4~8日毎に合計11回行った。試料は予め20株について生育調査を行い、平均的な生育を示す5株の地上部を採取し、熱風乾燥後風乾物重を測定し分析に供した。窒素の定量はセミ

マイクロ・ケルダール法により、乾物換算のため水分定量は105°C 5時間乾燥法によった。

実験結果

1. 器官別乾物重の推移

穂揃後の器官別乾物重の推移を第1図に示した。

葉身 無追肥区の場合は穂揃期に株当たり5.43~7.31gであり、時間の経過とともに減少し、収穫期には穂揃期の63~77%となる。減少する割合は早生種が多く、晩生種は少い。追肥区では追肥後12日頃まで若干増加し、その後ゆるやかに減少するが、収穫期でも穂揃期の6~19%の減少にとどまる。

葉鞘 無追肥区、追肥区とも穂揃期が最も重く、その後生育が進むにつれて漸減するが、30~40日頃から収穫期に向けて僅かに増加傾向を示す。追肥区では葉鞘乾物重の減少率は少い。

稈 無追肥区では穂揃後8~12日頃まで増加し、その後急激に減少するが、登熟の後期に再び僅かに増加する。追肥区では8~16日目が最高となり、その後減少するが収穫期に再び増加して穂揃期よりも重くなる。

穂 穂揃後4~8日頃より30日頃まで急激に重量を増す。その後無追肥区は増加が止まるが、追肥区は引き続き僅かながら増大して登熟が多少遅れる。

地上部重全体の推移 穂揃直後から8日頃までは無追肥区、追肥区ともほとんど変わらないがその後は追肥区が優り、収穫期には15~23%の増加となった。追肥によって増加する部位をみると、追肥直後は葉身、葉鞘であり、登熟後期には主として稈重が増加する。穂重の増加は比較的少ない。

2. 窒素含有率の推移

成績は第2図に示した。

葉身 無追肥区の窒素含有率は穂揃期にフジミノリ1.99%、栄光2.38%、オイラセ2.34%、ササニシキ1.95%で、その後約30日間ほぼ直線的に著しく低下する。追肥区では追肥後8~12日まで急激に増加を

* 本報告の一部は第154回講演会(昭和47年10月)において発表。本研究の経費の一部は文部省科学研究費によった。

第1図 穂摘後の器官別乾物重の推移 (累積図・g/株)

凡例 E穂重 C稈重 S葉鞘重 B葉身重

示し最高の値となり、その後は収穫期に向いほぼ直線的に減少するが、収穫期でもなお無追肥区の登熟中期と同程度の含有率である。

葉鞘 無追肥区では穂摘前に0.59~0.75%の含有率を示し、その後収穫期まで僅かに低下を示すが、その低下率は少い。追肥区では追肥後8~16日まで急激に増加し、その後は低下するが、40日以後の低下は少く、収穫期でもなお穂摘期以上の含有率を示した。

稈 無追肥区では穂摘後20日頃までゆるやかな低下を示すが、その後は変化がないか、あるいは僅かに増加する。追肥区では追肥後12~16日まで急激に増加し、その後急激に低下するが登熟後期には横這い状態かまたは低下しても僅かであるので、収穫期には穂摘期以上または同程度の含有率を示す。

穂 無追肥区では穂摘後約20日頃まではゆるやかに低下するが、その後は極く僅か増加を示すか、あるいはほぼ同一含有率で経過する。追肥区では穂摘後12~16日まで増加し、その後はほぼ同一含有率かまたは僅かに増加する。追肥区の含有率は常に高い。

3. 窒素含有量の推移

実験成績は第3図に示した。

葉身 無追肥区では穂摘前に株当たり129~145mg

の窒素を含有しているが、図でみられるようにほぼ直線的に急激な減少をつづける。収穫期には約25~40mgの窒素含量にすぎない。追肥区では追肥後8~12日目に最高に達し172~193mgを含有するが、その後は急激に減少して収穫期には約60~90mgとなる。

葉鞘 無追肥区では穂摘前に株当たり47~61mgの窒素が含有されており、収穫期までゆるやかな減少をつづける。収穫期には穂摘期の約40~50%に相当する22~31mgが残留する。追肥区は追肥後8~12日に最高となり79~96mg含有するが、その後減少をつづける。しかし収穫期でもなお穂摘期の90%以上の量を含有している。

稈 無追肥区では穂摘後4~8日まで僅かであるが増加する。これは含有率は低下するが稈重が増加したことによるものである。その後28日頃まで減少をつづけるが、後に再び増加して収穫期には穂摘期の約55%に相当する17~20mg(栄光, オイラセ, ササニシギ)を含有する。フジミノリは特に含有量が多いが、これは他の3品種に比し収穫期の稈重が多いためである。追肥区の場合は追肥後8~16日まで増加し、その後24~32日頃まで減少するが、再び増加を示し、収穫期には穂摘期より25~90%多い36~65mgを

含有している。

穂 無追肥、追肥両区とも穂揃後約30日間はほぼ直線的に含有量が増加する。追肥後12日までの差は小さいが、その後追肥区は急激に増加し、収穫期には無追肥区の窒素含有量 170~190 mg に対し追肥区では栄光約1.8倍、ササニシキ約1.5倍、オイラセ約1.4倍、フジミノリ約1.3倍の窒素を含有する。この大きな差は穂重の増加よりも含有率の差によってあらわれたものである。

地上部全体の窒素含有量 無追肥区の場合は穂揃後の窒素の吸収は非常に少く、各品種の穂揃後の最高含有量を示した時期と穂揃期の含有量の差でみると、最も少いオイラセは9 mg、その他の3品種は12~21 mgであった。追肥区は追肥後12日頃まで急激に窒素を吸収し、その後の吸収は少くなり20日以後の吸収はほとんどない。各品種の最高含有量を示した時期と穂揃期含有量の差からみると197~224 mgが穂揃後吸収されたことになる。株当たり250 mgの窒素を追肥したので、その吸収率は80~90%となる。窒素吸収の時期をみると、追肥後4日目までに30~39%、8日目までに54~84%、12日目までに75~99%吸収されている。

考 察

穂揃期の窒素追肥により稲体の窒素含有量は明らかに増加する。この実験はポット栽培であるため追肥された窒素の吸収率は非常に高い。この実験は根部の調査をしていないので、根部を含めると吸収率はもっと高いものと思われる。この場合吸収された窒素は追肥によるもののみではなく、追肥により根の活力が増加したために天然供給窒素の吸収が多くなる¹⁶⁾ことも報告されている。

追肥された窒素の吸収時期は8日目までに54~84%、12日までに75~99%吸収されている。晩生種のササニシキは吸収時期がいくらかおくれるが、他の品種では非常に早い。和田ら¹⁶⁾も出穂期の追肥窒素は追肥後7日までに最大吸収量近く吸収されるとしており、本実験結果もほぼこれと一致する。

穂揃後における穂の窒素集積の推移を検討するために第3図の成績より穂の1日当り窒素集積量を算出し、その推移を第4図に示した。4品種とも穂揃期の窒素追肥により登熟の全期間にわたって窒素の集積量は高まる。追肥された窒素の吸収時期は前述のように早い、穂への集積量は1972年に実験した栄光、オイラセ、ササニシキの場合については0~8日間は無

追肥区、追肥区ともほぼ同様で変わらず、その後追肥区は急速に集積量が多くなる。1971年実験のフジミノリの追肥区では0~9日間でかなり多く集積されている。集積の最盛期をみると栄光、オイラセでは無追肥区、追肥区とも穂揃後8~16日間に、フジミノリでは9~18日間に、ササニシキではこれら3品種よりおくれて無追肥区、追肥区とも16~24日間である。穂揃期追肥によって窒素の集積量は多くなるが、集積のパターンは無追肥区と変わらない。すなわち穂揃期追肥により、収穫期の穂には無追肥区の約1.4~1.8倍の窒素を含有するが、これは登熟の全期間を通じて窒素の集積量が多いことによるものであって、窒素集積の時期や集積最盛期はほとんど変わらない。なお、極早生の栄光、早生のオイラセ、中生のフジミノリにくらべ晩生のササニシキの場合は追肥窒素の吸収時期もおそく、さらに穂への窒素集積の時期もおそいが、このことが品種的特性なのかあるいは登熟気温の影響なのかは本実験からは明らかでなく、今後検討を進めたい。

穂に集積される窒素の大部分は出穂後に他の器官から転流されたものか、あるいは培地から吸収されたものである。そこでこの実験成績から時期別、器官別の転流量および培地からの吸収量を計算すると第1表に示すとおりである。この表は時期別、器官別に窒素の

第4図 穂の時期別窒素集積速度 (mg/株/日)
凡例 ● 無追肥区 ○ 追肥区

第1表 穂に転流する器官別窒素量（mg/株）

品 種	穂揃後日数	無 追 肥 区				追 肥 区			
		葉 身	葉 鞘	稈	穂揃後の 吸収量	葉 身	葉 鞘	稈	穂揃後の 吸収量
フ ジ ミ ノ リ	0—3	19.6	2.2	—2.1	—12.1	—21.8	—26.3	—17.9	74.4
	4—6	4.0	12.2	—0.2	—1.2	—9.7	—8.9	—4.5	43.1
	7—9	2.8	—1.0	0	13.1	—16.4	0.2	—4.7	64.3
	10—12	12.6	0.7	5.8	—10.6	13.2	6.4	—2.2	2.2
	13—15	7.6	7.2	7.6	0.3	8.9	13.7	11.0	3.2
	16—18	11.6	2.1	4.3	6.6	10.3	2.3	—2.9	9.7
	19—21	5.0	1.4	1.2	7.1	18.0	4.5	2.1	—3.9
	22—24	17.3	—2.3	0.2	—10.5	19.9	3.5	—2.5	0.4
	25—27	8.5	0.5	—1.0	5.5	14.6	5.5	—1.3	—4.4
	28—32	7.6	4.9	—1.2	11.2	5.8	—5.2	1.1	2.5
	33—37	2.0	—0.3	—6.3	2.6	9.6	2.3	—0.7	—9.9
	38—収穫期	9.0	2.3	—7.1	—0.3	4.1	—3.5	—1.5	3.1
流出量計		107.6	29.9	1.2	11.7	56.5	—5.5	—24.0	184.7
栄 光	0—4	12.9	3.9	—9.9	—0.6	—24.7	—17.6	—38.7	86.8
	5—8	17.6	3.8	4.2	8.1	—18.1	—15.2	—9.2	78.0
	9—12	7.8	3.7	12.0	—1.3	0	—3.8	0.7	27.5
	13—16	17.0	4.2	4.1	7.8	9.0	10.0	20.2	28.0
	17—20	11.0	2.3	3.1	—11.8	18.1	8.5	12.8	—0.4
	21—24	9.1	4.4	2.2	6.6	18.2	10.7	11.3	—6.3
	25—28	10.7	3.2	0.7	—7.3	15.5	7.5	6.7	1.7
	29—32	5.7	—3.1	—0.5	7.9	12.2	3.7	—0.8	—2.7
	33—40	2.3	—1.9	—1.4	—9.8	11.0	1.9	—3.3	—0.1
	41—収穫期	9.7	1.3	—1.7	1.2	26.5	—4.2	—6.4	2.8
流出量計		103.8	21.8	12.8	0.8	67.7	1.5	—6.7	215.3
オ イ ラ セ	0—4	15.3	7.5	—9.7	—5.7	—20.7	—10.8	—30.1	65.2
	5—8	7.7	5.0	—0.3	—0.3	—29.0	—23.1	—28.0	100.8
	9—12	19.2	3.0	15.5	5.9	1.1	5.9	19.5	29.8
	13—16	19.6	5.2	5.9	—8.1	18.4	7.9	11.9	1.9
	17—20	11.0	4.0	4.1	2.0	24.3	14.6	10.7	—9.9
	21—24	9.8	3.0	5.6	—8.5	13.4	7.7	4.1	1.5
	25—28	6.9	1.9	—0.9	16.4	15.3	1.8	0.6	3.3
	29—32	9.3	1.0	—1.7	3.3	18.2	6.9	1.3	—10.5
	33—40	8.5	1.8	—0.5	—6.1	16.9	—2.8	—9.5	3.9
	41—収穫期	2.2	1.7	—1.9	—0.3	14.0	2.1	—0.4	—4.5
流出量計		109.5	34.1	16.1	—1.4	71.9	10.2	—19.9	181.5
サ サ ニ シ キ	0—4	2.0	4.6	—3.6	1.9	—33.9	—7.2	—22.7	68.7
	5—8	7.7	1.4	—6.1	2.3	—13.7	—14.3	—14.7	52.0
	9—12	6.9	0.3	5.8	12.8	—8.5	—4.9	—8.1	48.8
	13—16	7.3	0	4.5	4.2	2.8	5.6	—3.5	32.1
	17—20	26.1	10.1	9.7	—3.7	21.9	11.4	16.7	3.9
	21—24	9.0	—0.1	2.9	—6.7	0.2	2.0	8.0	15.1
	25—28	11.8	5.5	2.0	—2.5	18.4	3.2	11.9	—2.7
	29—32	7.3	0.1	2.2	—7.1	13.0	—4.3	—0.2	0.4
	33—40	9.4	2.3	—2.9	12.1	32.9	9.3	—11.8	—3.0
	41—収穫期	1.2	1.2	0.2	2.9	3.6	1.0	—7.7	9.3
流出量計		88.7	25.4	14.7	16.2	36.7	1.8	—32.1	224.6

注 —は蓄積を示す

絶対量の増減から、転出・入量を求めたものである。穂揃後培地からの吸収量には土壌よりの吸収量のほか根からの転流量と実験誤差が含まれるが、無追肥の場合は穂揃期から収穫期までを通じてこの値が比較的小であり、しかも不規則に正值、負値をとることから実験誤差により変動した部分が多いとみることができよう。追肥区の場合の吸収量は追肥後 12~16 日までに多く、主として培地より吸収した量を反映しているものとみることができよう。

無追肥区の場合の各器官別に穂に移行する株当たり窒素量をみると（第1表各品種の流出量計を参照）、葉身が最も多く約 90~110 mg、次いで葉鞘から約 22~34 mg、稈は最も少く 1~16 mg となり、培地からの吸収窒素は極めて少い。このように穂に転流する窒素の約 50~60% は葉身からであって、葉身は光合成と同時に窒素の貯蔵器官として重要な役割を持つ。葉身窒素は何れの品種でも穂揃後はすべての時期で流出し、葉鞘窒素は一時的停滞が2, 3みられるが大部分の時期で流出し、稈は登熟の初期と末期に蓄積される傾向にある。

追肥区の場合穂への窒素の転流量をみると（第1表追肥区各品種の流出量計を参照）葉身から約 37~72 mg (14~26%)、葉鞘からは約 5~10 mg、稈の場合は計算上の流出は全くなく4品種とも蓄積されている。転流量の最も大きいのは培地からの吸収窒素であって、その大部分は追肥によって供給された窒素であると見られる。その量は稈、葉鞘への蓄積を差引くと約 155~209 mg であって穂に集積した窒素量の約 58~74% に相当する。MUHAMMAD⁹⁾ らは ^{15}N を用いて出穂期追肥を行い、吸収された窒素の約 75% が穂に配分されることを報告しており、本実験は器官別窒素量の増減から穂への転流量を求めたものであるが、ほぼ同様の値が得られた。穂揃期に追肥された窒素は速やかに吸収されて一度は葉身その他の器官に蓄積され、その後穂に転流し、みかけ上収穫期の穂に含有される窒素の大部分を占めるようになる。すなわち、追肥区では各品種、各器官を問わず追肥後 8~12 日まではほとんど蓄積され、それ以後から流出がはじまる。葉身の場合をみると 8~12 日まで蓄積されるが、その後は収穫期まで流出し、葉鞘の場合も 6~12 日まで蓄積され、その後は大部分の時期で流出する。稈では 8~16 日間蓄積され、その後僅かであるが流出に転じ、登熟の後期に再び蓄積される。

以上のごとく穂に集積される窒素の来歴をみると、無追肥区の場合は葉身窒素が最も多く、次いで葉鞘で

あり稈は最も少い。追肥区の場合は穂に集積される窒素の大部分は結果的に追肥窒素であり、次いで葉身から転流したものであって、葉鞘からの流出はほとんどなく、稈からの流出は全くない。

摘 要

水稻をポット栽培し、穂揃期に窒素を追肥して、器官別窒素含有量の消長から体内窒素および追肥窒素の穂への移行について検討した。その結果は次の通りである。

1. 葉身窒素含有量は無追肥区では登熟期間を通じて一貫して減少するが、追肥区では追肥後いったん含有量が増加するのでその後減少傾向に転じて成熟期には無追肥区の窒素含有量の2倍以上を示した。
2. 葉鞘、稈の窒素含有量は無追肥区でも穂揃後の減少傾向は緩やかであり、追肥区では葉身と同様に追肥後いったん窒素含有量が増加するので、その後減少するものの収穫期には穂揃期の窒素含有量に近い、またはむしろ多い。
3. 追肥区では追肥後の穂の窒素含有量の増加が著しく、成熟期には無追肥区の窒素含有量の約 1.4~1.8 倍を示した。これは穂重の差に基づくのではなく、穂の窒素含有率の差によるものである。
4. 穂に集積される窒素の来歴をみると、無追肥区では成熟期の穂に含有される窒素のほとんどは穂揃期までに吸収された体内窒素、特に葉身窒素の転流によるものであり、培地からの吸収は非常に少い。追肥区では追肥後に吸収された窒素が極めて多く、成熟期の穂の窒素含有量の 58~74% に当り、次いで葉身から転流した窒素が約 14~26% で、葉鞘からの転流はほとんどなく、稈からの転流は全くみられない。

引 要 文 献

1. 本庄一雄・檀潤晴三郎・留木 貢 1966. 栄養的優良米の生産に関する研究。尿素の葉面散布が水稻の収量並びに玄米、わらの窒素含有率に及ぼす影響。日作東北支部報 **8**: 23—25.
2. ——— 1971. 米のタンパク含量に関する研究。第1報 タンパク質含有率の品種間差異ならびにタンパク質含有率に及ぼす気象環境の影響。日作紀 **40**: 183—189.
3. ——— 1971. ———. 第2報 施肥条件のちがいが玄米のタンパク質含有率およびタンパク質総量に及ぼす影響。日作紀 **40**: 190—196.
4. 石塚喜明・田中 明 1952. 水稻の生育経過に関する研究。第1報 無機栄養素吸収移動過程。土肥誌 **23**: 23—28.

5. ———. ———. 1952. ———. 第2報 各種有機成分の水稲生育経過に伴う消長. 土肥誌 **23**: 113—116.
6. 松尾孝嶺・畑村又好・木原芳治郎・角田重三郎 1951. ニューグリーンの葉面散布が水稲の玄米に及ぼす影響. 農業技術 **6**: 108.
7. 三鍋昌俊・浪花 勲 1963. 軟質米に関する研究. 第9報 窒素の施肥と軟質米の生成. 日作紀 **32**: 101—104.
8. 三井進午・天正 清・宮脇謙一 1954. 秋落水田土壌を用いた水稲に対する尿素葉面散布試験. 葉面散布に関する研究. 養賢堂, 東京. 27—30.
9. MUHAMMAD, S. and K. KUMAZAWA 1972. Use of optical spectrographic ^{15}N -analyses to trace nitrogen applied at the heading stage of rice. Soil Sci. Plant Nutr. **18**: 143—146.
10. 村山 登・吉野 実・川原崎裕司 1957. 水稲の登熟における物質の動態に関する研究. 土肥誌 **28**: 323—326.
11. 尾崎 清 1949. 水稲の窒素代謝に関する研究. I 出穂開始期以後の窒素の供給が玄米の蛋白質の種類及びその含量に及ぼす影響について (その一). 土肥誌 **20**: 31—36.
12. 清水 強・津野幸人 1957. 主要作物の収量予測に関する研究. III 光合成作用を中心とした水稲生育相の解析. 日作紀 **26**: 103—104.
13. 平 宏和・松島省三・松崎昭夫 1970. 水稲収量の成立原理とその応用に関する研究. 第92報 窒素施肥による米の蛋白質の収量および栄養価増大の可能性の栽培試験. 日作紀 **39**: 33—40.
14. 戸町義次・岡本 嘉・玖村敦彦 1954. 水稲における炭水化物の生産および行動に関する研究. 第1報 生育に伴う諸器官中の主要成分含量の推移. 日作紀 **22**: 95—97.
15. 和田源七 1969. 水稲収量成立におよぼす窒素栄養の影響. とくに出穂期以後の窒素の重要性について. 農技研報告 **A16**: 27—167.
16. ———・庄子貞雄・高橋重郎・斉藤公夫・新保到 1971. 水田における窒素の動態と水稲による窒素の吸収について. 第3報 追肥窒素の土壌中における行動ならびに水稲による吸収. 日作紀 **40**: 287—293.

Studies on Protein Content in Rice Grain

III. Effect of nitrogen top-dressing at full heading time on the translocation of nitrogen to the ear

Kazuo HONJO and Mitsugu HIRANO

(Faculty of Agriculture, Iwate University, Morioka 020)

Summary

Using the rice varieties grown under pot cultivation, we investigated the effect of nitrogen top-dressing at full heading time on the distribution of nitrogen among the different organs and discussed about the translocation of nitrogen from other organs to the ear. The results are summarized as follows:

1. The nitrogen content of the leaf blade on the control (non top-dressed) plot decreased rapidly with time throughout ripening period. The nitrogen content of the leaf blade on the treatment (top-dressed) plot increased temporarily after top-dressing. Although it decreased thereafter continuously till maturing stage, the nitrogen content of the leaf blade at maturing stage showed more than double of that on the control plot.

2. The nitrogen content of the leaf sheath and the culm gradually decreased after full heading time on both plots. The nitrogen content of the leaf sheath and the culm at maturing stage on the top-dressing plot was nearly equal or rather superior to that at full heading time, because their nitrogen content as well as that of the leaf blade increased temporarily after top-dressing.

3. The nitrogen content of the ear on the top-dressing plot increased rapidly compared with that of the control plot and the nitrogen content of the ear at maturing stage was 1.4~1.8 times more than that on the control plot. It seemed that this fact did not depend on the difference of ear weight but was caused by the difference of nitrogen percentage of the ear on both plots.

4. Most of the nitrogen contained in the ear at maturing stage on the control plot seemed to be translocated from the other organs, especially the leaf blade. The nitrogen absorbed from soil seemed to be only a very small amount in the nitrogen of the ear on the control plot. The nitrogen absorbed after top-dressing on the treatment plot seemed to be a large amount of the nitrogen contained in the ear and it corresponded to 58~74 percent of the nitrogen content of the ear at maturing stage. The nitrogen content translocated from the leaf blade to the ear on the treatment plot was about 14~26 percent in the nitrogen of the ear at maturing stage and the nitrogen translocated to the ear from the leaf sheath and culm seemed to be negligible or nothing.