

水稻の根の生育に及ぼす窒素の施用時期 および施用濃度の影響

—ハイブリッドライス汕優 63 号の場合—

王 余 龍・新田 洋 司*・姚 友 礼・山 本 由 徳*

(中国揚州大学農学院・* 高知大学農学部)

1996 年 11 月 1 日受理

要 旨: 群落水耕条件下でハイブリッドライス汕優 63 号を供試し、生育前期 (葉齢 14.5 まで)、中期 (葉齢 13.5~17.0 (止葉完全展開))、後期 (葉齢 17.0~成熟期) に窒素施用濃度の異なる処理区を設けて、分化冠根原基数と出現冠根数、株当たりの根重ならびに地上部の窒素、全糖およびデンプン含有率を測定し、水稻における窒素施用時期と施用濃度が根の生育に及ぼす影響と株当たりの地上部成分との関係について検討した。生育前期には、窒素施用濃度が高いほど株当たり根重は増加した。また、株当たり根重は冠根 1 本当たり平均根重よりも根数に支配された。一方、生育中期には、窒素施用濃度が高いほど株当たり根重は低下したが、とくに上位根 (最上位の 3 節に出現する根) 重の低下程度が大きかった。生育後期の根の生育は生育中期の窒素施用濃度の影響を大きく受け、根重に及ぼす施用窒素濃度の影響は小さかった。生育期間をとおしてみると、株当たり根重の増加量は生育中期で最も多く、ついで生育前期で、生育後期はきわめて少なかった。分化冠根原基数は冠根原基分化時の地上部の窒素含有率と高い有意な正の、冠根出現率は冠根出現時のデンプン含有率と高い有意な正の相関関係を示し、冠根原基の分化には窒素が、冠根の出現にはデンプンが支配要因の 1 つと考えられた。

キーワード: 冠根原基数、冠根数、根系形成、根重、汕優 63 号、水稻、ハイブリッドライス。

Effect of Time and Rate of Nitrogen Application on Root Growth with Special Reference to Chinese F₁-hybrid Rice "Shanyou 63": Yulong WANG, Youji NITTA*, Youli YAO and Yoshinori YAMAMOTO* (Agricultural College, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; * Faculty of Agriculture, Kochi University, Nankoku, Kochi 783, Japan)

Abstract: The effect of time and rate of nitrogen application on root growth and their relations with constituents of top per hill were investigated using Chinese F₁ hybrid rice (cv. Shanyou 63) under water culture conditions. Treatments of several nitrogen rates were applied in three growth stages: early growth stage (before 14.5 plant age in leaf number), middle growth stage (13.5 to 17.0 plant age in leaf number), and late growth stage (17.0 plant age in leaf number to maturity). The number of crown root primordia and emerged crown roots, root dry weight, and some constituents of top per hill were investigated. In the early growth stage, root dry weight per hill increased as nitrogen concentration increased, and correlated rather with the root number than with the mean dry weight of root axis. In the middle growth stage, root dry weight per hill decreased with the increment of the nitrogen rate, especially in the roots of the upper three nodes. In the late growth stage, root growth was largely affected by nitrogen application during the middle growth stage, while little effect of the nitrogen rate was observed in root dry weight. The increment of root dry weight per hill in the middle growth stage was the largest followed by that of the early growth stage, and only a slight increment was observed in the late growth stage. High positive correlations were observed between the number of crown root primordia and the concentration of nitrogen of the top per hill at the crown root primordia differentiation time, and between the emergence rate of the crown roots and the concentration of starch at the time of emergence. From these results, it is believed that nitrogen and carbohydrate are the factors that promote the differentiation of crown root primordia and the emergence of crown roots, respectively.

Key words: F₁-hybrid rice, Number of crown root primordia, Number of crown roots, *Oryza sativa* L., Root dry weight, Root system development, Shanyou 63.

水稻の根系は冠根によって形成され、根系の根量は、出現した冠根の数と長さによって規定される。根量の多少は、養水分の吸収、炭水化物の生産ならびに面積当たり粒数の確保などと密接に関係している (4,9,12,13,14,20,24,28) ため、出現した冠根の数や長さについて、品種特性や栽培条件による変化を把握することは、水稻栽培上不可欠と考えられる。しかし従

来、栽培条件のうち、窒素の施用時期および施用量が水稻の冠根原基の分化、冠根の出現・生長および根重に及ぼす影響についてはほとんど明らかにされていない。

ところで、中国では近年、ハイブリッドライス品種が広く栽培されている。ハイブリッドライスは、株当たり冠根数が普通的水稻品種よりも多く、冠根

が太く、根重が大きいことが指摘されており^{6,7,20,28)}、根系における根量の形成過程が注目される。本研究では、ハイブリッドライス汕優 63 号を供試し、水耕群落栽培条件下で、生育前期（移植期～葉齢 14.5）、中期（葉齢 13.5～17.0（止葉完全展開））および後期（葉齢 17.0～成熟期）に、異なる窒素施用濃度下で生育させて、分化冠根原基数、出現冠根数、冠根出現率（分化冠根原基数に対する出現冠根数の比率）および根重などの根の諸形質を調査した。また同時に、根の生育と密接に関係している地上部の窒素、全糖およびデンプン含有率を測定して、窒素施用時期および施用濃度が地上部成分をとおして水稻の根の生育に及ぼす影響とその原因について検討した。

材料と方法

実験 A 中国江蘇省揚州大学農学院の網室でコンクリート水槽（長さ 880 cm、幅 135 cm、深さ 30 cm）を用いて水耕実験を行った。5 月 9 日に、ハイブリッドライス汕優 63 号の催芽籾を m^2 当たり乾籾換算で 20 g 播種し、折衷苗代で育苗した。なお、汕優 63 号は中国で広く栽培されており、江蘇省における 10 a 当たり平均籾収量は 800 kg、草丈は 105～110 cm 程度の中生・穂重型品種である。6 月 2 日に葉齢 6.5（分げつ 1 本を有する）の苗を選び、コンクリート板（長さ 135 cm、幅 16.7 cm、厚さ 2.5 cm で直径 4 cm の穴が 10 cm 間隔で 14 箇所空いている）の穴に 1 個体ずつスポンジで固定した。そして、栽植密度が m^2 当たり 60 株となるようにコンクリート板を配置した。

移植後 2 日目までは水道水で育て、移植後 3 日目から葉齢 14.5 まで（生育前期、葉齢指数 80.6 まで）Espion 培養液（第 1 表）²⁷⁾ で水耕栽培した。培養液組成のうち窒素濃度については、0, 5, 10, 20, 40 および 80 ppm の 6 処理区（前期処理）を設けた。培養液の交換はほぼ 7 日ごとに行ったが、多

量の降雨のあった翌日にも培養液を交換した。毎日、朝と夕に硫酸（pH 3.0）で培養液の pH を約 4.5 に調節した。

著者らの従来の実験で、窒素施用量の差異は第 10 葉期以降の個体において顕著に認められたため、本実験ではまず、第 10 葉期（葉齢 9.1）の個体に着目してサンプリングを行った。また、第 10 節の冠根が出現すると考えられる第 13 葉期⁹⁾（葉齢 12.9）、およびその後の第 14（葉齢 13.5）と第 15（葉齢 14.5）葉期にもサンプリングを行った。処理区ごとに平均茎数に近い 10 株を抜き取り、95℃で 1 時間、80℃で 48 時間通風乾燥した。乾燥後、主茎と分げつに分け、さらに緑葉身、稈+葉鞘、根、枯葉の各部位に分けてそれぞれの乾物重を測定した。また、株ごとに出現冠根数を調べた。第 13 葉期には、主茎第 10 節の冠根について、出現した冠根の数を肉眼で調べるとともに、生育が停止した冠根原基の数を実体顕微鏡下で調べた。なお本実験では、5 mm 以上に伸長した冠根を「出現した冠根」とし、茎の表皮が隆起して明らかに冠根と判別できるものと、伸長しても 5 mm 未満の長さのものを「生育が停止した冠根原基」とした。第 10 および第 13 葉期の部位別の乾燥試料の一部について、全窒素をセミ・ミクロケルダール法で、全糖と粗デンプン（0.7 規定塩酸抽出法）を村山らの方法¹⁷⁾で抽出後ソモギー・ネルソン法で定量した。全糖と粗デンプンは、D-グルコース量として単位乾物重当たりで表示した。

実験 B 供試品種、育苗方法および栽培方法は実験 A と同様であった。移植（6 月 3 日）後 2 日目までは水道水で、移植後 3 日目～葉齢 13.5 までは窒素施用濃度 40 ppm で育成した。その後、葉齢 13.5～17.0（止葉完全展開）まで（生育中期）は窒素施用濃度 0, 40 および 80 ppm の 3 処理区（中期処理）を、葉齢 17.0～成熟期まで（生育後期）は窒素施用濃度 0, 10, 40, および 60 ppm の 4 処理

第 1 表 水耕液の成分と濃度(Espion 培養液)

成分	濃度 (mg L^{-1})	成分	濃度 (mg L^{-1})
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	89	H_3BO_3	2.86
$\text{MgSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	250	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	0.22
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	49*	$\text{MnCl} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	1.81
KH_2PO_4	34	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	0.08
FeCl_3	30	$\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.02

*：窒素濃度 10 ppm.

区（後期処理）を設け、それぞれ組み合わせた12処理区を設定した。

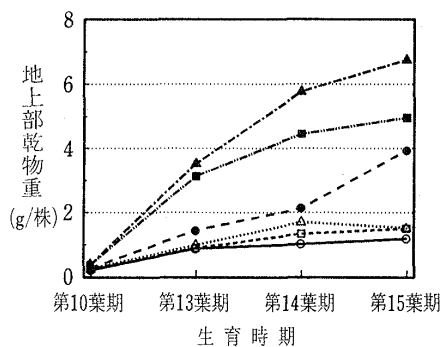
以上の供試材料について、移植後35日目（葉齢13.5）、同47日目、同58日目、同65日目（葉齢17.0）、出穂期、および出穂期後はほぼ5日ごとに収穫期まで、処理区ごとに平均茎数を有する3～5株を抜き取った。抜き取った株を実験Aと同様に乾燥させて、各々の株の乾物重を測定した。また、最基部伸長節間が伸長を終えた移植後58日目とそれ以降の個体の根は、太田・山田の方法¹⁹⁾で上位根（頂端側3節から出現した冠根）と下位根（上位根以外の冠根）に分けて乾物重を測定した。

結 果

1. 前期処理が根の生育に及ぼす影響（実験A）

葉齢14.5まで（生育前期）の窒素施用濃度（前期処理）が地上部乾物重に及ぼす影響を第1図に示した。窒素施用濃度が高いほど、地上部乾物重はつねに高く推移した（第1図）。

前期処理が根の生育に及ぼす影響を第2図に示した。各葉齢期とも、株当たり根の乾物重（以下、根重と呼ぶ）は窒素施用濃度が高いほど大きかったが、処理区間差は生育ステージが進むほど大きくなった（第2図A）。株当たり冠根数も各葉齢期とも窒素施用濃度が高いほど、また処理区間差は生育ステージが進むほど大きくなり（第2図B）、この推移の様相は株当たり根重の場合（第2図A）と類似した。株当たり根重を株当たり冠根数で除して求めた冠根1本当たりの平均根重は、第10、14、および15葉期では、窒素施用濃度が高いほど小さい傾向にあったが、第13葉期では20 ppm区を中心とした濃度処理区で大きかった（第2図C）。

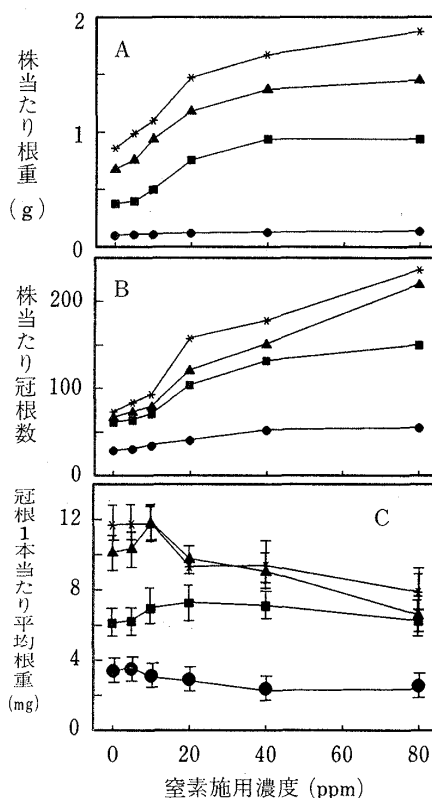


第1図 前期処理が地上部乾物重に及ぼす影響
○：窒素施用濃度 0 ppm, □：同 5 ppm, △：同 10 ppm, ●：同 20 ppm, ■：同 40 ppm, ▲：同 80 ppm。

各葉齢期とも、株当たり根重は株当たり冠根数との間に高い有意な正の相関関係が認められた（第3図）が、冠根1本当たり平均根重との間には負の相関関係（第10、第15葉期でそれぞれ5%、1%水準で有意）が認められた（第4図）。

2. 中期処理が根の生育に及ぼす影響（実験B）

葉齢13.5～17.0（止葉完全展開）まで（生育中期）の窒素施用濃度（中期処理）が根の生育に及ぼす影響を第5図に示した。中期処理開始後12日目までは、窒素施用濃度が高いほど株当たり根重が増加したが、その後同21日目までは、窒素施用濃度が高いほど株当たり根重の増加量は少なかった。その結果、中期処理期間の株当たり根重の増加量は、0、40 ppm区は80 ppm区よりも多く、また0 ppm区と40 ppm区の差は小さかった。また、中期処理終了時～出穂期までの株当たり根重は0 ppm区でわずかに増加したが、40 ppmと80 ppm区では増加しなかった。すなわち生育中期では、窒素施用濃



第2図 前期処理が根の生育に及ぼす影響

A：株当たり根重，B：株当たり冠根数，C：冠根1本当たり平均根重。

●：第10葉期，■：第13葉期，▲：第14葉期，*：第15葉期。

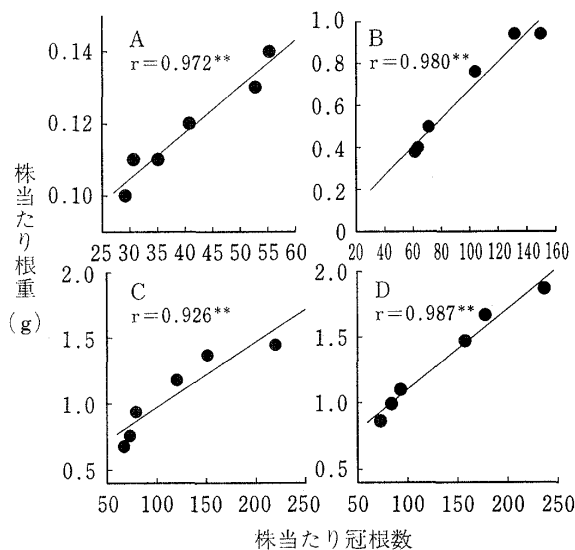
シンボルの上下のIは標準誤差。A、B図の標準誤差はシンボルの範囲内。

度が高いと根重の増加の停止期が早まる傾向がみられた。

つぎに、中期処理開始後 21 日目以降の根重を上位根重と下位根重に分けてみると、まず下位根重は、0.40 および 80 ppm 区とともに 21 日目から出穂期までの期間をとおしてほぼ一定で、処理区間差はほとんどなかった (第 5 図)。上位根重は、中期処理開始後 21 日目には 0 ppm 区は 40 および 80 ppm 区よりも大きく、40 ppm 区と 80 ppm 区との

差はなかった。中期処理開始後 30 日目と出穂期には、上位根重はいずれも 0 ppm 区 > 40 ppm 区 > 80 ppm 区の順に大きかった。なお、中期処理終了時における株当たり根重に対する上位根重の比率は、0, 40, および 80 ppm 区でそれぞれ 67.4, 66.3, 57.7% であり、窒素施用濃度が高いほど低かった。

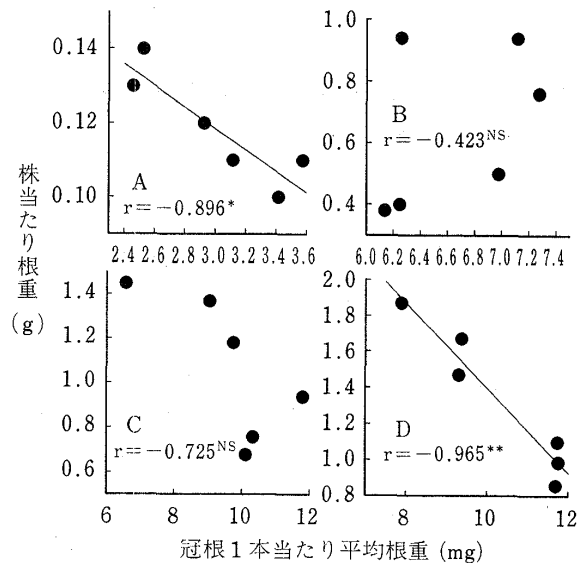
中期処理が地上部の生育に及ぼす影響を第 6 図に示した。株当たりの地上部乾物重および地上部乾物重/根重比は、窒素施用濃度が高いほどつねに高く



第 3 図 前期処理における株当たり冠根数と根重との関係

A: 第 10 葉期, B: 第 13 葉期, C: 第 14 葉期, D: 第 15 葉期。

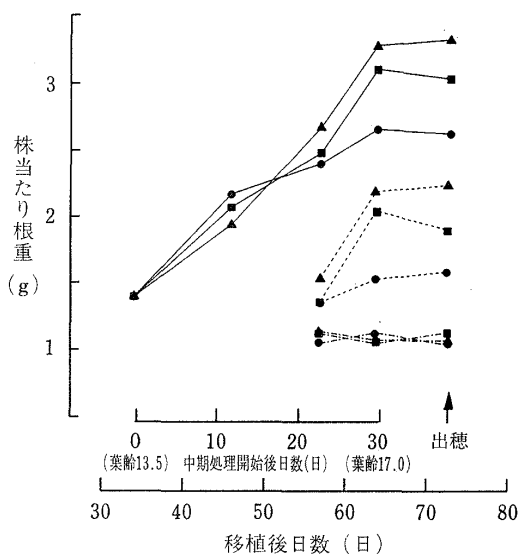
**: 1% 水準で有意。



第 4 図 前期処理における冠根 1 本当たり平均根重と株当たり根重との関係

A: 第 10 葉期, B: 第 13 葉期, C: 第 14 葉期, D: 第 15 葉期。

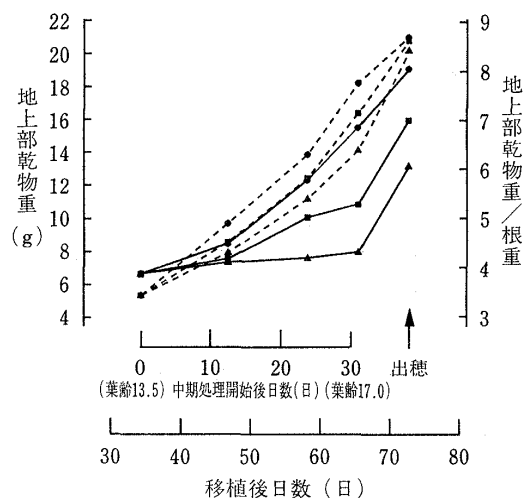
*, **: それぞれ 5, 1% 水準で有意, NS: 5% 水準で有意差なし。



第 5 図 中期処理が根の生育に及ぼす影響

▲: 0 ppm, ■: 40 ppm, ●: 80 ppm.

——: 全体,: 上位根, -----: 下位根。



第 6 図 中期処理が地上部の生育に及ぼす影響

▲: 0 ppm, ■: 40 ppm, ●: 80 ppm.

.....: 地上部乾物重, ——: 地上部乾物重/根重。

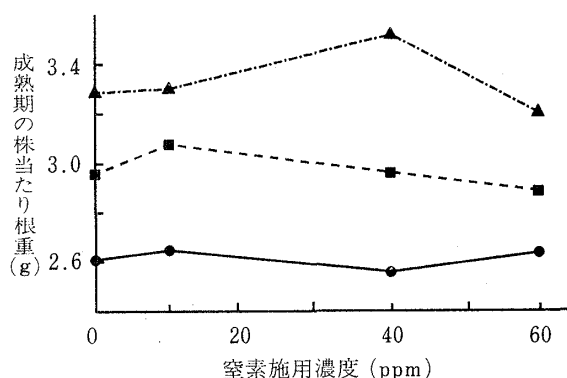
推移した (第6図)。

3. 後期処理が根重に及ぼす影響 (実験 B)

葉齢 17.0~成熟期まで (生育後期) の窒素施用濃度 (後期処理) が, 根の生育に及ぼす影響を第7図に示した。中期処理で 80 ppm の窒素を施用した処理区では, 後期処理の窒素施用濃度の差による株当たり根重の差異はみられなかった。中期処理で 40 ppm の窒素を施用した処理区では後期処理の 10 ppm 区で, 中期処理で窒素を施用しなかった (0 ppm) 区では後期処理の 40 ppm 区で株当たり根重が大きかった。

4. 分化冠根原基数および出現冠根数と株地上部成分との関係 (実験 A)

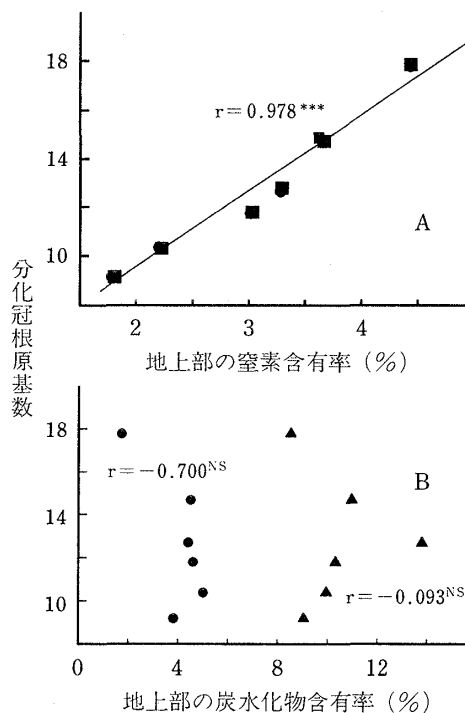
出現冠根数は分化冠根原基数 (「出現冠根」数 + 「生育が停止した冠根原基」数) とその出現率によって決定される。主茎第 10 節の分化冠根原基数および出現冠根数は前期処理の窒素施用濃度が高いほど多かった (第2表)。第 10 節の冠根原基の分化期は第 10 葉葉身抽出期とされている³⁾。そこで, 主茎第 10 節の分化冠根原基数と第 10 葉期の地上部窒素含有率との関係をみると, 両者の間に高い有意な正の相関関係が認められた (第8図 A)。一方, 地上部全糖ならびにデンプン含有率との間には有意な相関関係は認められなかった (第8図 B)。



第7図 後期処理が根の生育に及ぼす影響

▲: 生育中期の窒素施用濃度 0 ppm, ■: 同 40 ppm, ●: 同 80 ppm.

主茎第 10 節の出現冠根数とは異なり, 冠根出現率は生育前期の窒素施用濃度が高いほど低かった (第2表)。第 N-3 節の冠根の出現率と第 N 葉の抽出との間には同調性のあることが知られており³⁾, 本実験の場合, 第 13 葉葉身抽出時に第 10 節の冠根のが出現すると考えられる。そこで, 主茎第 13 葉葉身抽出末期の地上部成分と第 10 節の冠根出現率との関係を検討した。地上部窒素含有率と冠根出現率の間には高い有意な負の相関関係が認められた (第9図 A)。一方, デンプン含有率と冠根出現率の間には高い有意な正の相関関係が認められ, また, 全糖含有率が高いほど冠根の出現率が高い傾向も認められた (第9図 B)。



第8図 第10葉期における地上部の窒素含有率 (A), 炭水化物含有率 (B) と第10節の分化冠根原基数との関係

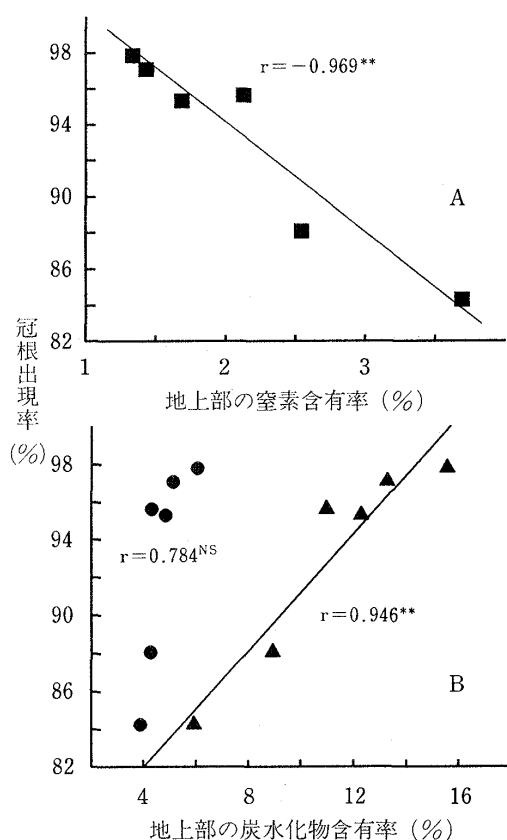
■: 窒素, ●: 全糖, ▲: デンプン.

***: 0.1%水準で有意, NS: 5%水準で有意性なし.

第2表 前期処理が主茎第10節における分化冠根原基数および出現冠根数に及ぼす影響

	窒素施用濃度 (ppm)					
	0	5	10	20	40	80
分化冠根原基数 (A)	9.2±0.3	10.4±0.3	11.8±0.4	12.7±0.5	14.7±0.6	17.8±0.6
出現冠根数 (B)	9.0±0.2	10.0±0.2	11.2±0.2	12.1±0.3	13.0±0.4	15.0±0.5
冠根出現率 (B/A, %)	97.8±4.1	96.6±4.4	95.3±4.3	95.7±4.1	88.1±4.6	84.3±4.5

表中の数値は平均値±標準誤差.



第9図 第13葉期における地上部の窒素含有率 (A)、炭水化物含有率 (B) と第10節の冠根出現率との関係

■: 窒素, ●: 全糖, ▲: デンブン.

** : 1%水準で有意, NS: 5%水準で有意性なし.

考 察

1. 窒素施用時期および施用濃度が根の生育に及ぼす影響

水稻の株当たり根重は、株当たり冠根数と冠根1本当たり平均根重によって決定される。株当たり冠根数は茎数^{5,15)}や、冠根を発生する節³⁾あるいは要素^{10,11)}数に、また、冠根1本当たり平均根重は冠根の長さ太さ、ならびに分枝根数に左右される¹¹⁾。また、土壌中での根系の発達には土壌類型、透水性、地温、肥料の施用量ならびに施用時期などによって異なる¹⁶⁾。とくに、窒素施用が根の生育に及ぼす影響については、窒素施用量が少ない場合には冠根数が減少することによって、また、窒素施用量が多い場合には根長が短く、かつ分枝根数が少なくなることによって根重が少なくなるという報告がある^{11,13,18)}。本実験では、根の生育が普通的水稻品種に比べて旺盛とされるハイブリッドライス^{6,7,20,28)}

を用いて、群落水耕栽培法により3つの生育期間に分けて、窒素の施用時期および施用濃度が根の生育に及ぼす影響について検討した。

前期処理では、概して、窒素施用濃度が高いと冠根1本当たり平均根重が低下した(第2図C)が株当たり冠根数は多くなった(第2図B)。そして、窒素施用濃度の増加に伴う冠根数の増加程度が、冠根1本当たり平均根重の低下程度よりも大きかったため、株当たり根重は重くなった(第2図A)。また、株当たり根重は冠根数との間に高い有意な正の相関関係のあることが認められた(第3図)。これらのことから、生育前期の株当たり根重は、おもに株当たり根数の多少によって支配されると考えられた。

中期処理において、株当たり根重は、窒素施用濃度が高くかつ施用期間が長いと増加量が抑えられた(第5図)。これは、地上部の栄養器官の生育が旺盛となり、養分競合によって根の生育が抑えられるためと考えられた(第6図)。そして、根を上位および下位根に分けてみると、中期処理は上位根重に及ぼす影響が大きく、下位根重への影響はほとんどみられなかった(第5図)。また、上位根重の処理区間差は大きく、株当たり根重の処理区間差は上位根重の差異にもとづくものであった(第5図)。このことから、生育中期に高い濃度の窒素施用を行うと、上位根を中心とした根系の形成が抑制されて、株当たり根重に占める上位根の比率が低下するばかりか、登熟期には齢が若く生理的活力が高い上位根の株内構成比率が低いことによって、株全体の生理的活力の低下にもつながるものと考えられる。

中期処理で高濃度の窒素施用(80 ppm)を受けた個体は、後期処理にはほとんど反応しなかった(第7図)。一方、中期処理で0～低濃度の窒素施用(0, 40 ppm)を受けた個体は、後期処理で特定濃度の窒素施用によって株当たり根重が増加したが、根重の増加程度は前期および中期処理時に比べて小さかった(第7図)。このことから、生育後期の窒素施用による根の生育への影響は、それ以前(生育中期)の窒素施用量の影響、すなわち窒素施用の前歴による株当たり地上部の窒素含有量の差異が関わっていると考えられた。

以上の結果、生育期間をとおしてみると、株当たり根重の増加量は生育中期で最も多く、生育前期がこれにつぎ、生育後期はきわめて少ないことが明らかとなった。また、生育期間をとおして増加量の多

い生育中期の根重の増加には、上位根の貢献の割合が大きいことが明らかとなった

2. 冠根原基の分化、冠根の出現と地上部成分との関係

出現冠根数は分化冠根原基数とその出現率によって決定される。本実験において、主茎第10節の分化冠根原基数と、その分化時期（第10葉期）の株当たり地上部窒素含有率との間に高い有意な正の相関関係が認められたこと（第8図）から、分化冠根原基数は、おもにその分化時期の地上部窒素含有率によって左右されることが明らかとなった。従来、分化冠根原基数と体内成分との関係を直接的に解明した報告例はみあたらない。しかし、水稻の稚・中・成苗の分化冠根原基数は畑稲が水苗よりも多いこと¹⁾、畑苗では水苗よりも地上部の窒素含有率が高いこと^{9,23,25,26)}が報告されている。本実験の結果より推定すると、中・成苗における畑苗の冠根原基数が水苗よりも多くなった原因の一つとして、地上部の窒素含有率の差異が考えられた。

分化冠根原基数に占める出現冠根数の割合（冠根出現率）は、冠根の出現時期（第13葉期）の地上部デンプン含有率と高い有意な正の相関関係が、また全糖含有率が高いほど高い傾向にあることが認められた（第9図）。すなわち、冠根の出現率は、おもにその出現時期の地上部の炭水化物レベル、とくにデンプン含有率によって左右されることが明らかとなった。なお、1株の地上部を葉身と葉鞘+稈に分け、冠根出現率とデンプン含有率との関係を検討したところ、それぞれ $r=0.856^*$ 、 0.878^* （*:5%水準で有意）の有意な正の相関関係が得られたが、前述の地上部全体で得られた相関係数の方が高かった。山田・太田²³⁾は、水稻成苗の畑苗と水苗の発根を比較し、地上部のデンプン含量の多い畑苗が水苗よりも発根率（発根数/苗地上部重の比率）が高いと報告している。

以上より、冠根原基の分化には地上部の窒素が、冠根の出現にはデンプンを中心とした炭水化物がおもな支配要因であることが明らかとなり、根系形成の基礎としての形態要因（冠根の形成）と生理要因（体内成分）を結びつけて考察することができた。

ところで、本実験では、中国で広く栽培されているハイブリッドライスを供試した。ハイブリッドライスは、普通的水稻品種に比べて、1穂粒数や貯蔵炭水化物の穂への移行量、登熟期間の乾物生産量が優ることなどから、収量が顕著に高い^{2,21,22)}。根の

生育についても、普通的水稻品種よりも旺盛であることが報告されている^{6,7,20,28)}が、冠根や分枝根の形態形成パターンについては普通的水稻との差異を認めた報告はみあたらない。したがって、窒素の施用時期・施用量についてハイブリッドライスを検討した本研究の結果は、普通的水稻品種にも一般的に当てはまるものと考えられる。また、本実験は群落水耕条件下における結果ではあるが、これらの結果は、実際栽培における生育・栄養診断や肥培管理などの指針に有効であるものと思われる。

引用文献

1. Aimi, R. and H. Nakayama 1957. Rooting ability in rice seedlings under low temperature. I Potentiality of re-rooting. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 26: 154—155.
2. Amano, T., Q. Zhu, Y. Wang, N. Inoue and H. Tanaka 1993. Case studies on high yields of paddy rice in Jiangsu Province, China. I Characteristics of grain production. Jpn. J. Crop Sci. 62: 267—274.
3. 藤井義典 1961. 稲、麦における根の生育の規則性に関する研究. 佐賀大学農学彙報 12: 1—117.
4. 原田二郎・山崎耕宇・中元朋実・三宅 晃・梅田泰一郎 1984. 農家水田に生育した水稻の1次根数と収量構成要素との関係. 日作紀 53: 307—312.
5. ———— 1990. 根の形態と发育. 松尾孝嶺他編, 稲学大成 1 形態編. 農文協, 東京. 97—120.
6. Hasegawa, H., T. Kon and Y. Kono 1991. Heterosis in japonica/indica F_1 rice hybrids with special reference to nodal root function. Jpn. J. Crop Sci. 60: 558—565.
7. ————, ———— and ———— 1993. Heterosis for root system development in japonica/indica F_1 rice hybrid. Jpn. J. Crop Sci. 62: 261—266.
8. 平野哲也・小野寺守一・竹村武雄 1958. 水稻苗の活着に関する研究. 日作紀 26: 199—202.
9. 岩槻信治 1932. 水稻の根に関する研究. 農及園 7: 64—70.
10. 川島長治・伊藤文円 1977. 水稻における主稈葉数と冠根の出現した要素数との関係. 日作紀 46: 343—351.
11. 川田信一郎・山崎耕宇・石原 邦・芝山秀次郎・頼光隆 1963. 水稻における根群の形態形成について、とくにその生育段階に着目した場合の一例. 日作紀 32: 163—180.
12. 李 鐘薫・太田保夫 1970. 水稻の地上部の形質におよぼす根の役割に関する研究. 第3報 要素別根の形態と稈基の太さおよび一穂穎花数との関係. 日作紀 39: 500—504.
13. ———— 1971. 水稻の地上部の形質におよぼす根の役割に関する研究. 第5報 施肥位置および施肥量のちがいが根と地上部諸形質におよぼす影

- 響. 日作紀 40:217—222.
14. 森 敏夫 1957. 水稻根の生態的特性に関する研究. 第3報 根系の発達程度, 特にその地上部生育との関係. 東北大農研彙報 8:265—282.
 15. 森田茂紀・春木 康・根本圭介・胡 東旭・山崎耕宇 1987. 水稻における根・茎および穂の形態的相互関係—異なる品種を比較した場合—. 日作紀 56 (別2): 33—34.
 16. ———・山崎耕宇 1990. 根系. 松尾孝嶺他編, 稻学大成 1 形態編. 農文協, 東京. 120—143.
 17. 村山 登・吉野 実・大島正男・塚原貞雄・川原崎裕司 1955. 水稻の生育に伴う炭水化物の集積に関する研究. 農技研報 B4:123—165.
 18. 岡島秀夫 1960. 水稻根群の生理機能に関する研究. とくに窒素栄養を中心にして. 東北大農研彙報 12: 1—146.
 19. 太田保夫・山田 登 1961. 水稻根の活力診断のための根の節位別分級法. 農及園 36:1503—1505.
 20. 石 慶華 1984. 雑交水稻与大穗型品種根系生長特性影響産量形成的初報. 江西農業大学学报 2:71—80.
 21. 宋 祥甫・縣 和一・川満芳信 1990. 中国産ハイブリッドライスの物質生産に関する研究. 第1報 乾物生産特性. 日作紀 59:19—28.
 22. ———・———・——— 1990. 中国産ハイブリッドライスの物質生産に関する研究. 第2報 収量生産特性. 日作紀 59:29—33.
 23. 山田 登・太田保夫 1957. 水稻の苗質に関する研究. 農業技術 12:13—15, 50—57.
 24. 山崎耕宇・原田二郎 1984. 農家水田に生育した水稻の1次根数と収量構成要素との関係. 第3報 水田間の差異について. 日作紀 53:320—325.
 25. 八柳三郎・高橋鴻江郎・村上利男・酒井 英 1958. 低温下における水稻苗の発根力に関する研究. 日作紀 27:15—16.
 26. ——— 1960. 東北地方における稲作の計画栽培について. [4]. 農及園 35:1425—1428.
 27. Yoshida, S., D.A. Forno, J.H. Cock and K.A. Gomez 1976. Laboratory manual for physiological studies of rice. 3rd ed. International Rice Research Institute. 60—62.
 28. 鄭 相穆 1981. 雑交水稻根系活力的動態変化及其調節. 安徽農業科学 3:68—71.