日印交雑稲における根系の形成

第1報 1次根の形成数と伸長方向*

原田 二郎・姜 始 龍**・山崎 耕 宇***

(佐賀大学農学部・**韓国忠清南道農村振興院・

***東京農業大学総合研究所)

1993年7月31日受理

要 旨 : 根系の形や根の量と密接に関係する1次根の数と伸長方向について、日印交雑稲(密陽23号, 水原258号)の特徴を日本型稲(日本晴, コシヒカリ)と比較して、登熟期の1株当りおよび主茎の要素別に検討した。水田土壌を充填した45 lのポリ容器で栽培した各品種の根系を直径15 cmのステンレス円筒で採取し、1次根の切断端を土層別に着色することによって、伸長方向別の1次根数を調べた。登熟期の1株当りの有効茎数は、日印交雑稲が日本型稲より少なかった。しかし、水原258号は1要素当りの1次根数が多いことによって1株当りの1次根数は日本型稲より著しく大きくなった。日印交雑稲の下方向に伸長する1次根の割合は、1主茎および1株当りのいずれの場合も日本型稲より高かった。また、日印交雑稲は幼穂分化期以降に形成される主茎の高位要素の下位根においても、日本型稲より下方向に伸長する1次根の割合が高かった。

キーワード : 1次根, イネ, 伸長方向, 日印交雑稲, 根, 要素。

Root System Development of Japonica-Indica Hybrid Rice Cultivars 1. Number and elongation direction of primary roots : Jiro HARADA, Si-Yong KANG** and Kooou YAMAZAKI*** (*Faculty of Agriculture, Saga University, Saga, Japan ; **Office of Chungcheongnam-do Rural Development, Taejeon, Korea ; ***NODAI Research Institute, Tokyo University of Agriculture, Tokyo, Japan*)

Abstract : To characterize the root system of the Japonica-Indica hybrid rice cultivars (Milyang 23, Suweon 258), we compared the number and elongation direction of primary roots both per stem and shoot unit bases with the Japonica type rice cultivars (Nipponbare, Koshihikari). The four cultivars were grown in 45-liter polyethylene containers with paddy field soil, and soil cores (15 cm in depth and 15 cm in diameter) were taken at the grain-filling stage. To estimate the number of primary roots of different elongation direction, soil cores were divided into four layers by different color markings. Stem numbers of the Japonica-Indica hybrids at the grain-filling stage were less than Japonica type cultivars, but the numbers of primary roots per stem were larger in the Japonica-Indica hybrid cultivars. In particular, the number of primary roots of Suweon 258 were the highest per shoot unit, per stem and per hill. The rate of primary roots of Japonica-Indica hybrid cultivars elongating deep into the soil were more than that of Japonica type cultivars. In the Japonica-Indica hybrid rice, the elongation direction of primary roots were very different between upper and lower roots in the higher shoot units of the main stem ; i.e. the upper roots elongate to the shallow layer, while the lower roots tend to elongate deep into the soil.

Key words : Elongation direction, Japonica-Indica hybrid rice cultivars, Primary root, Rice, Root, Shoot unit.

1970年代に韓国において広く栽培され、米の増収に大きな役割を演じた日印交雑水稻品種(以下、日印交雑稲)は、その多収性が注目され、茎葉部の生育や生理生態的特徴に関して多くの研究が行われてきた^{1,5,12,15,16,17,18}。しかし日印交雑稲の根系についての研究例は少なく、わずかに出穂期において根の量が日本型水稻より多い傾向を示すという報告¹⁴、あるいは種子根の生長と生育初期の根系の特徴に関する報告^{11,19}がみられるに過ぎない。著者らは日印交雑稲の根系の特徴を日本型稲との比較を通じて明らかにするために、一連の研究を行っている^{6,7}。本研

究では、いままで2つの品種群間の比較研究の場合に多く取り上げられた韓国育成品種である日印交雑稲の密陽23号と水原258号、および日本型稲の日本晴とコシヒカリの4品種を供試し、根系の形や根の量を大きく左右する1次根の数と伸長方向⁴⁾の特徴を登熟期の個体について検討した。

材料と方法

供試品種には、日印交雑稲の密陽23号と水原258号および日本型稲の日本晴とコシヒカリを用いた。水田土壌を充填し、硫酸アンモニア;15 g, 過リン酸石灰;15 g, 塩化カリウム;4.8 gを全層施肥した45 lのポリ容器(底面直径:33.5 cm, 上面直径:37.5

* 大要は、第190回講演会(1990年10月)において発表。

cm, 高さ: 46 cm) に, 1987 年 6 月 9 日, 葉齢約 6.0 の苗を 1 株 2 個体として 1 ポット 4 株ずつ移植した。材料は, 以後, 東京大学農学部構内圃場において常時湛水条件下で栽培した。また, 追肥は行わなかった。

1 株当りの有効茎数を, 6 月 24 日から登熟期 (出穂後約 20 日から 30 日) の 9 月 13 日まで 8 株を対象として 1 週間毎に記録した。また, 9 月 13 日に, 有効茎数が平均的な各品種 2 株の根系を, 直径 15 cm のステンレス製円筒を用いて採取した。土壌円柱の側面と底面から土壌を約 5 mm 程度ピンセットでていねいに取り除いた後, 露出した 1 次根の切断端を地表面~2.0 cm, 2.0~4.5 cm, 4.5~13.0 cm, 13.0~15.0 cm (底面を含む) の層別に水性アクリル塗料³⁾ (アサヒペン社製) で異なる色に着色した (第 1 図)。根系を洗い出した後, 稲株を解体して各品種 4 本の主茎を得た。根の形質として, それぞれの測定対象部分ごとに伸長 1 次根 (長さ 5 cm 以上の 1 次根) の数と切断端の色 (伸長方向角度) 別の 1 次根数およびいじけ根 (5 cm 未満の 1 次根) の数を測定した。その場合, 要素別, 上位根, 下位根別の測定は主茎の第 7 要素以上の各要素について行った。また, 要素別の測定値と主茎の第 6 要素以下の要素に関する測定値の和を 1 主茎当りの数値とした。さらに, 1 株当りの数値は 1 株 2 本の主茎に関する数値と, 1 株の全分げつから発生している 1 次根について茎の種類, 要素や上位根, 下位根の別を区別せずに一括して測定した数値の和とした。なお, 切断端

第1図 色分けによる1次根の伸長方向の推定法を示す模式図。

の色で区別した各層別の伸長 1 次根が地表面となす伸長方向角度は, 各伸長 1 次根が株基部の中心点から放射方向に直線的に伸長していると仮定して求めた角度とし, それぞれ約 0°~15°, 15°~30°, 30°~60° および 60°~90° と区分した³⁾。

結 果

1. 茎葉部の生育の概要

日印交雑稲は, 最高分げつ期以降に無効分げつが増加する傾向が顕著であった (第 2 図)。登熟期の有効茎数は, 密陽 23 号が 17.3, 水原 258 号が 22.5, 日本晴が 24.0, コシヒカリが 25.4 本であった。なお, 止葉葉位は, コシヒカリと水原 258 号が 15, 日本晴と密陽 23 号が 16 であった。

2. 1 次根数

登熟期における 1 株当りの総伸長 1 次根数は, 水原 258 号が最も多く (1373 本), 以下, 日本晴が 991 本, 密陽 23 号が 848 本, コシヒカリが 801 本の順で少なかった。また, 1 株当りの総伸長 1 次根数を登熟期の有効茎数で除して求めた 1 茎当りの伸長 1 次根数は, 水原 258 号が 61.0, 密陽 23 号が 49.0, 日本晴が 41.2, コシヒカリが 31.5 の順となり, 日印交雑稲が日本型稲より多かった。

主茎の要素別 1 次根数を伸長 1 次根数, いじけ根数, 総 1 次根数のそれぞれについてみた結果 (第 3 図), 伸長 1 次根数は, 概して高位の要素ほど減少す

第2図 生育に伴う茎数 (8株の平均) の推移: 品種別 (A) および品種型別 (B)。

第3図 主茎における1要素当たりの伸長1次根数、
いじけ根数および総1次根数。
#: 第12要素は下位根のみ。

る傾向を示した。また、伸長1次根が認められた最高位の出根要素は、いずれの品種においても第12要素（下位根）であった（第3図）。これに対して、いじけ根数は、高位の要素ほど増加する傾向を示し、とくに日印交雑稲では第11以上の要素で増加傾向が顕著であった。また、総1次根数はいじけ根数と同様に推移した。1要素当たりの根数を品種間で比較してみると、伸長1次根数、いじけ根数および総1次根数のいずれの場合も水原258号が他の品種より高い値を示したが、密陽23号は、日本型稲とほとんど異ならなかった。各要素について上位根と下位根別にみると（第4図）、日本型稲では、伸長1次根数、いじけ根数および総1次根数ともに下位根が上位根を上回ったが、日印交雑稲の2品種、とくに水原258号では、上位根が下位根より多いかあるいは差が認められない場合が多かった。

3. 1次根の伸長方向

登熟期における1次根の伸長方向別の構成は、1

第4図 主茎における要素および上・下位根別の伸長1次根数、いじけ根数および総1次根数。
#: 第6要素以下の要素は一括して伸長1次根数のみ調べた。
##: 下; 下位根, 上; 上位根。
I: 品種間のLSD ($P \leq 0.05$) の大きさ。

株当たりおよび主茎当たりのいずれについてみても同様の傾向を示した。すなわち、いずれの品種でも地表から $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ に伸長する1次根数が最も多く、 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$, $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$, $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の順に少なくなった（第5図）。また、品種間で比較すると、日印交雑稲は下方向（伸長方向角; $30^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ）に伸長する根の割合が高くなる傾向を示した。

1次根の伸長方向を主茎の要素別に検討してみると、日本型稲に比べて日印交雑稲の根は地表から 30° 以上の下方向に分布する傾向が強かった。とくにこの傾向は密陽23号では高位要素において、また水原258号では第6以下の要素において顕著であった（第6図）。日本型稲では高位要素ほど多くの1次根が横方向（伸長方向角; $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ）に伸長したが、コシヒカリでは第7要素以下の1次根も横方向に多く伸長する傾向を示した。1次根の伸長方向を要素別に上位根と下位根に分けて検討してみると、日本型

第5図 1株 (A) および1主茎 (B) 当りの伸長方向別の伸長1次根数。

稲に比べて日印交雑稲の1次根は上位根, 下位根のいずれにおいても第9から第11の高位要素で下方方向に張る根の割合が高くなった (第7図)。

考 察

日印交雑稲は, 特に比較的生育後期において茎葉部の形態の特徴や光合成能力などが日本型稲より優れており, それに伴う高い物質生産および転流などの特性が多収性と密接に関係している可能性が数多く指摘されている^{1,5,12,15-18}。一方, このような日印交雑稲の生育後期における高い物質生産を支えるためには, 根系の機能も重要な役割を果たしていることが推測される。著者らはすでに日印交雑稲は孤立状態および個体群条件下で栽培したいずれの場合にも, 日本型稲に比べて, 幼穂分化期以降の1株当りの総根長や総根重の増加程度が著しく大きいことを明らかにした^{6,7}。

水稻の1株当りの総根長 (分枝根を含む各次元の根の総長) あるいは総根数 (分枝根を含む根端の総数) は, 1株当りの伸長1次根の数と伸長1次根1本当りの総根長や総根数によって大きく左右されることが知られている^{2,4}。したがって, この1株の総根長や総根数は, 1株当りの有効茎数と1茎平均の伸長1次根数および1次根1本当りの総根長や総根数の積として解析を行なうことができる。また, その

第6図 主茎の各要素における伸長方向別の1次根数の割合

#: 地表面からの伸長方向角度。

…: 横方向 (0°~30°) と下方方向 (30°~90°) の区分線。

場合, 1茎平均の伸長1次根数は1茎当りの出根要素数と1要素当りの伸長1次根数の積として考えることができる。

そこで, 本研究において得られた結果をもとに日印交雑稲の総根長や総根数の増加機構について考えてみる。まず, 1株当りの茎数は, 日印交雑稲では最高分げつ期以降に無効化する分げつが多く, 登熟期には日本型稲より少なくなる傾向を示した。この点は従来の報告^{6,12,18}と一致する点であった。一方, 1株当りの伸長1次根数は水原258号では著しく多かったが, 密陽23号では日本型稲と同程度であった。そこで, 1茎平均の伸長1次根数を計算してみると, 日印交雑稲, とくに水原258号が日本型稲より多くなった。また, 主茎における要素別の伸長1次根数をみると, 水原258号は下位から高位のいずれの要

第7図 主茎の各要素における上位根と下位根別の1次根数の伸長方向別の割合。

#: 地表面からの伸長方向角度。

…: 横方向 (0°~30°) と下方向 (30°~90°) の区分線。

素においても、他の3品種より2倍近く多かった。これに対し、密陽23号では要素別の伸長1次根数は、日本型稲とだいたい同程度か第11と12要素でやや大きくなる傾向を示したにすぎなかった。また、本研究で材料とした4品種の主茎では出根の認められた最高位の要素は、第12要素下位根であり、品種間差は認められなかった。したがって、以上のことを総合して考えると、以下の点が考えられる。すなわち、本研究で用いた4品種では、1茎当りの平均的な出根要素数はおおむね同程度であったであろうこと。第2は、1要素当りの平均的な伸長1次根数は水原258号で著しく多く、密陽23号を含む3品種で少

なかったと考えられることである。

一方、以上のような1要素当りの平均伸長1次根数は水原258号のみが著しく多くなるという推定結果から考えると、本研究で用いた日印交雑稲の2品種では1株当りの総根長や総根数が日本型稲より著しく大きくなる機構が異なるのではないかとみられる。すなわち、水原258号では1要素当りの伸長1次根数の増加が、密陽23号では伸長1次根1本当りの総根長や総根数の増加が主導的な要因となって1株当りの総根長や総根数が増加すると考えられることである。なお、1次根1本当りの総根長や総根数に密接に関係するとみられる分枝根の形成については、

次報において詳細に検討することにしたい。

さて、主茎の要素別の1次根数の推移をみると、すでに報告されているように^{2,8,9)}、日本型稲では下位根が上位根より多い傾向を示した。しかし、日印交雑稲とくに水原258号では上位根と下位根の数の差が明確でないかあるいは上位根が下位根より多くなる場合が認められた。日印交雑稲の興味ある一つの特徴として指摘しておきたい。

根系の形あるいは土壤中における根の量的分布は、個々の1次根の伸長方向によって大きく左右されるが、1次根の伸長方向はその生育時期、上位根と下位根の違いによって大きく異なることが知られている⁹⁾。本研究では伸長1次根の伸長方向角度別構成の調査方法として、ステンレス円筒による1次根の切断端を層別に着色して角度を推定、区分する方法を用いた。ただし、この方法では伸長方向角度の推定に関してすべての伸長1次根が株基部の中心点から放射方向に直線的に伸長すると仮定しているため、実際の水稲では株基部における個々の伸長1次根の発生位置等により、ある程度の誤差が生じざるをえない。この点を考慮して、本研究では伸長1次根が横方向(伸長方向角; $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$)、あるいは下方向(同; $30^{\circ}\sim 90^{\circ}$)のいずれの方向に伸長する傾向が強いか注目して品種間の比較を行った。

本研究において日印交雑稲の1次根の伸長方向をみると、主茎および株当りのいずれの場合にも日本型稲より下方向に伸長する1次根の割合が高かった。1次根の伸長方向を主茎についてより詳細にみると、日本型稲では従来も指摘されているように⁹⁾高位要素の1次根の大部分は横方向に伸長した。しかし、日印交雑稲の高位要素の1次根では上位根は横方向へ、下位根は下方向に伸長する傾向を強く示した。このような上位根と下位根による伸長方向の相異は、中位の要素ではすべての品種に共通する特性であり、日印交雑稲ではこの特性が高位の要素においても維持されたということである。以上のことからみると、幼穂分化期以降の日印交雑稲の根系は、伸長方向が著しく異なる1次根の出根によって根を土壤中に広く分布させる特徴を有するものと考えられる。

著者らは、水田の個体群条件下で土層別の根長密度や根重密度の分布を調べた結果⁷⁾、日印交雑稲の根長密度が幼穂分化期以降に増加する場合、株下0~10 cmまでの表層土壌での増加が著しく大きいことを示した。一方、4株の条間中央部の土壌中で

は、日印交雑稲の根長密度と根重密度は土壌の表層から深層までの全層にわたって日本型稲より有意に大きくなっていた。以上のような結果は一見相互に矛盾するようにみえるが、本研究の結果から以下のように考えることができる。すなわち、株近くの表層土壌において日印交雑稲の根長密度と根重密度が大きくなることは、生育後期に出根し、下方向に伸長する高位要素の下位根が株の基部から出根し、土壌の表層を通して、下方向に分散して伸長するためと考えられる。また、このように下方向に伸長する1次根を含めて生育後期に多様な方向に伸長した1次根は、分枝して、株条間では土壌各層の根長密度と根重密度を増加させると考えられる。従来、高収量の水稲では、深く張る根が多くなる¹³⁾あるいは土壌表層に分布するうわ根の量が増加する¹⁰⁾といった一見して矛盾する根系分布の特徴が報告されている。本研究で明らかにした日印交雑稲の根系の特徴から、これらのことも説明できるのではないかとみられ、興味深い点である。また、このことは、根系の特徴を検討する場合には、1次根伸長の様相などの根系の形態的観察とともに土層別の根の定量的評価の併用が必要であることを示すものとも考えられる。

引用文献

1. 趙 東三・横井誠一・村田吉男 1980. 水稻の光合成と乾物生産に関する研究. 第2報 窒素施肥による葉内窒素成分の変化と光合成能力との関係における品種間差異. 日作紀 49: 608-614.
2. 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. 第1報 株および個体に着目した場合. 日作紀 53: 307-312.
3. ———・前田忠信・山崎耕宇 1986. 植付苗数を異にする水稻1次根の伸長方向別分布. 日作紀 55 (別1): 62-63.
4. ———・山崎耕宇 1990. 根の形態と発育. 松尾孝嶺他編, 稲学大成. 第1巻形態編. 農文協, 東京. 97-120.
5. 樋口太重・吉野 喬 1986. 高収性水稻の窒素吸収特性について. 土肥誌 57: 134-141.
6. Kang, S.-Y., S. Morita and K. Yamazaki 1993. Root system development of Japonica-Indica hybrid and Japonica type rice cultivars under field condition. Jpn. J. Crop Sci. 63: 118-124.
7. 姜 始龍 1993. 日印交雑稲の根系の形態的特徴に関する研究. 東京大学博士論文.
8. 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事例. 日作紀

- 32:163—180.
9. ———・片野 学 1976. 水稻冠根の土壤中における伸長方向について. 日作紀 45:471—483.
 10. ———・福島増夫・山崎耕宇 1978. 水稻における“うわ根”の形成量と玄米収量との関係. 日作紀 47:617—628.
 11. 金 晋鎬・折谷隆志・井之上準 1986. 根端培養法による日本型水稻と日印交雑水稻における種子根の生長の比較. 日作紀 55:217—222.
 12. 窪田文武・田中典幸・有馬 進 1988. 日印交雑稲品種「水原258号」の生産生態の解明. 日作紀 57:287—297.
 13. 森田茂紀・岩淵 輝・山崎耕宇 1987. 水稻1次根の伸長方向と初重との関係—窒素施用量を変えた場合—. 日作紀 55:520—525.
 14. Murakami, T. and T. Yoneyama 1988. Comparison of root length of two rice (*Oryza sativa* L.) varieties by using an image analyzer. Plant Soil 105:287—289.
 15. 齊藤邦行・下田博之・石原 邦 1991. 水稻多収性品種の乾物生産特性の解析. 第1報 密陽23号と日本晴の受光態勢の比較. 日作紀 59:130—139.
 16. ———・柏木伸哉・木下孝宏・石原 邦 1991. ———. 第4報 穂への同化産物の分配. 日作紀 60:255—263.
 17. 武田友四郎・岡 三徳・内村研一・縣 和一 1984. 暖地における水稻品種の乾物生産に関する研究. 第3報 本邦暖地品種と韓国新品種の乾物生産特性の比較. 日作紀 53:22—27.
 18. 丹野文雄・米山忠克・河内 宏 1990. 多収性日印交雑稲と日本稲の生育時期別に同化された炭素の分配と分けつ生産力の差異; ^{13}C トレーサー実験による解析. 土肥誌 61:361—368.
 19. 柳田敏文・芝山秀次郎 1985. 水稻苗の発根様相の品種間比較. 日作紀 54 (別1):4—5.
 20. 山崎耕宇・森田茂紀・川田信一郎 1981. 水稻冠根の伸長方向と直径との関係. 日作紀 50:452—456.
-