

幼穂形成期から出穂期にかけての遮光処理が 水稻の根系の形成および収量に及ぼす影響

第2報 1次根に着目した場合*

間 脇 正 博・原 田 二 郎**・岩 田 忠 寿・山 崎 耕 宇**

(福井県農業試験場, **東京大学農学部)

平成元年7月12日受理

要 旨: 第1報と同様, 幼穂形成期から出穂期にかけて人為的に遮光処理(遮光率22%)を行った水稻において, 1次根の数, 種類, 類型および伸長方向の変化を解析した。遮光処理は, 有効茎の構成および総数には影響を及ぼさなかったが, 1株当たり, 1茎当りのいずれの場合についてみても, 伸長根およびいじけ根の数をともに減少させ, その結果, 総根数は対照区より1割程度減少した。この場合, いじけ根の減少率がとくに大きかった。要素別にみると根数の減少は処理後に出根・伸長する第11要素および第12要素の1次根で顕著に認められ, 第11要素ではいじけ根, 第12要素では伸長根およびいじけ根の数がそれぞれ減少した。第11, 12要素の伸長根を類型別にみると, その数および比率ともに, A型根が減少し, C型根が増加する傾向を示した。また, 伸長根の伸長方向には遮光処理による影響は認められなかったが, 各伸長方向にわたって平均的に根数が減少する傾向が認められた。

本研究の結果, 水稻の収量と生育後期に形成される高位要素の1次根の数および形態が密接に関係していることが示唆された。

キーワード: 1次根, コシヒカリ, 遮光, 水稻, 日射量, 要素。

Effect of Shading on Root System Morphology and Grain Yield of Rice Plants (*Oryza sativa* L.) II. An analysis on primary roots: Masahiro MAWAKI, Jiro HARADA**, Tadatoshi IWATA and Kooou YAMAZAKI** (*Fukui Pref. Agric. Exp. Stn., Fukui 910, Japan*; **Faculty of Agriculture, the University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan*)

Abstract: Using the same materials reported in the previous paper, the effect of shading (78% of full solar radiation) from panicle formation stage to heading, on the number, form, type and growth direction of primary roots of rice plants were investigated.

Shading decreased the number of 'elongated roots' and 'stunted roots' per hill and per culm respectively, but it had no effects on the composition and the number of productive culms. The total number of primary roots of shaded plot was about 90% of that of control plot. A remarkable decrease in primary root number by shading was observed in the 11th and 12th shoot units where emergence and elongation of primary roots took place just during the shading treatment. The number of 'stunted roots' in the 11th shoot unit, and further the number of 'elongated roots' as well in the 12th shoot unit were decreased. Shading affected the type of 'elongated roots' in the 11th and 12th shoot units, the type A (less tapering) roots tended to decrease, on the other hand, the type C (highly tapering) roots tended to increase. Shading had no effect on the growth direction of primary roots, however, their number at each direction tended to decrease proportionately.

From the above investigations, it was assumed that both the mass and the morphology of primary roots developed during panicle formation till heading have close relationships with grain yield of rice plants.

Key word: Koshihikari, *Oryza sativa* L., Primary root, Shading, Solar radiation, Shoot unit.

第1報¹⁾において著者らは水稻の幼穂形成期から出穂期にかけての期間に遮光処理を行った場合, 遮光しない対照区に比較し, 深さ20 cmまでの各土層で根長密度が小さくなり, その根長密度の値を利用して推定された単位面積あたり深さ30 cmまでの総根長も20%以上減少することを明らかにした。本報告においては, 第1報と同一の試験区から採取した材料について, 1次根の数, 種類, 類型お

*大要は, 第183回講演会(昭和62年4月)において発表。

び伸長方向を要素別に調査し, それら諸形質が第1報で観察された根長密度の変化といかに関連しているかについて検討した。また, 遮光処理による収量の減少と, 上記した1次根の諸形質との関係についても, あわせ検討を試みた。

材料と方法

供試した材料は第1報¹⁾と同一の試験区, すなわち, 幼穂形成期(出穂前21日, 葉齢12.8)から出穂期(出穂後4日)にかけて寒冷紗で22%の遮光

を行った遮光区と、遮光しなかった対照区で栽培されたものであった。両試験区からそれぞれ平均的な生育を示す3株を選定し、第1報と同様、直径15 cm のステンレス製の円筒を用い、株を中心にして深さ16~17 cm の土壌円柱を掘り取った。

次に水洗解体しても、個々の1次根の土壌中での伸長方向を同定しうるように、以下のような処置³⁾を講じた。すなわち、第1図に示すように株の基部を中心にして、土壌表面からの1次根の走向角が15°、30°、60°となるような境界を設け、土壌円柱の側面や底面において、ステンレス製円筒により切断されて露出した1次根の端部に、伸長方向別に、4種類の異なる色の水性ペイントを塗布した。ドライヤーを用いてすばやくペイントを乾かした後、注意深く土壌を洗い流し、根系および茎葉部をフォルマリン・酢酸・アルコール (FAA) で固定した。

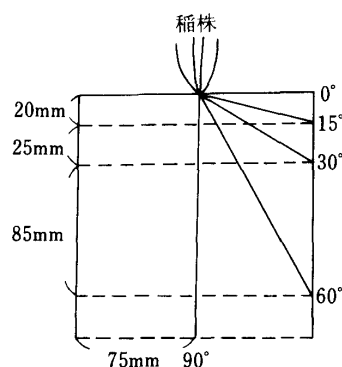
固定した材料を常法⁵⁾にしたがって、個体別、茎別、さらに要素別に解体し、基部から数えて主茎の第5要素以上に相当するすべての要素について、1次根の根数を種類別、形態的類型別、および伸長方向別に調査した。

なお、他の諸形質(収量、収量構成要素)については第1報で得た数値を解析に供した。

結 果

1. 有効茎の構成

第1表に株内の分けつ(有効茎)の次位別構成を要素の表示法にしたがい、遮光区、対照区それぞれ3株の平均値をもって表示した。1株3本植えとしたため主茎は3.0となり、1次分けつの内3.0の値を示すものは、全個体でその発生、有効化が認められたことを意味している。この表より1次分けつ、および2次分けつとも若干の差異はあるものの、両区とも同次位までの有効茎が認められ、1株当たりほぼ同数の有効茎の発生したことがわかる。また、1次分けつは全有効茎の8割以上を占めていた。



第1図 1次根の伸長方向別の分級模式図。
株を中心とした土壌円柱縦断面を示す。

2. 種類別1次根数

1株当りの、1茎当りの1次根数を伸長根、いじけ根⁶⁾の種類別に分けてとりまとめ第2表に示した。ここで伸長根とは5 cm 以上に伸長した1次根を、いじけ根とは5 cm 未満で伸長を停止した1次根を意味し、総根数とはこの両者を加えたものである。1株当りの総根数を比較してみると、遮光区は対照区より約100本、比率にして約12%減少していた。これを伸長根といじけ根に分けてみると、伸長根では約40本、比率にして8%、いじけ根では同じく約60本、17%、それぞれ遮光区が対照区より少なく、特にいじけ根で減少率が大きくなっていた。

1茎当りの1次根数についてみると(第2表)、遮光処理の1茎当りの伸長根およびいじけ根の根数に及ぼす影響は、株当たり1次根数でみられた傾向とほぼ一致していた。

3. 要素別にみた種類別1次根数

次に第2表でみられた遮光処理の株当たり種類別1次根数に及ぼす影響について、対応主茎要素の考え方⁶⁾にしたがい、出根時期別に分級して比較した結果を第2図に示した。ここで対応主茎要素とは、分けつ茎の各要素をほぼ同伸関係にある主茎の各要素に対応づけてとりまとめ表示したものである。第2

第1表 1株当りの有効茎の構成¹⁾(本/株)。

処 理	有効茎数	主茎	4 ²⁾	5	6	7	8	41	42	43	51	52	53
対 照	18.3 (100) ³⁾	3.0 (16)	2.3 (13)	3.0 (16)	3.0 (16)	3.0 (16)	1.0 (5)	0.0 (0)	0.7 (4)	0.7 (4)	0.0 (0)	1.7 (9)	0.0 (0)
遮 光	18.7 (100)	3.0 (16)	2.7 (14)	2.7 (14)	3.0 (16)	3.0 (16)	0.7 (4)	0.3 (2)	2.0 (11)	0.0 (0)	0.3 (2)	0.7 (4)	0.3 (2)

1) 解体調査した各区3株の平均(1株3本値)。

2) 第4要素から出現した1次分けつを意味する、第5要素以上についても同様。

3) カッコ内は構成比(%)。

第2表 1株当りならびに1茎当りの1次根数.

処 理	1株当り1次根数(本)			1茎当り1次根数(本)		
	総根数	伸長根数	いじけ根数 ¹⁾	総根数	伸長根数	いじけ根数
対 照	907±65 ²⁾	539±37	368±34	50.1±2.0	29.8±1.1	20.3±1.4
遮 光	802±62	498±53	304±50	44.6±2.6	27.7±3.0	16.9±2.2
遮光/対照比(%)	88	92	83	89	93	83

1) 本文参照. 2) 数値は平均値±標準偏差.

図によって、遮光処理の影響をみると、第5から第10までの各要素については大きな差はみられないのに対し、第11要素では、遮光区でとくにいじけ根の根数が減少し、第12要素では、伸長根、いじけ根の根数がともに減少しているのが認められた。

4. 1次根の類型別根数

第2図で遮光処理の影響のみられた第11、12要素の伸長根を、形態的な類型⁹⁾に分けて比較検討した(第3表)。ここでA型根とは基部より先端に向かって直径の減少が少なく、太くて長い根であるのに対し、C型根とは基部のすぐ近くから直径が著しく減少する先細りの短い根で、B型根とはA型根とC型根の中間的な形態の伸長根である。第11要素と第12要素を一括してみると、遮光区では対照区に比較し、A型根が少なくなり、逆にC型根が多くなった。

5. 伸長根の伸長方向別分布

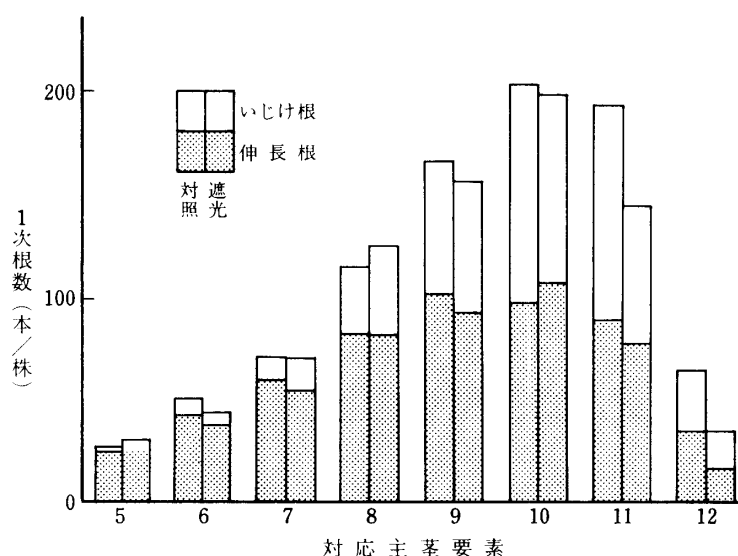
第4表は、第1図に示した方式にしたがい、色付けた1次根切断部を目印に、伸長根の伸長方向割合をみたものである。遮光区、対照区とも、ペイントの脱落や解体時の不測の切断等により、伸長方向の判定のできなかつた不明のものが1~2割を占め

ていた。したがって詳細な検討は差し控えたいが、15°より下方向に伸長した根については、両区とも、伸長方向別の根数の比率はほぼ等しかった。ただし、根数は遮光区が少なくなっており、この傾向は各伸長方向のいずれにおいても認められた。なお、伸長方向の不明であった根を形態的に観察すると、C型根に属するものが多くなっており、とくに、遮光区でこのタイプのものが著しく多くなっているのが特徴的であった。

考 察

幼穂形成期から出穂期にかけての遮光処理が水稻の1次根の形成に及ぼす影響をみた結果、1株当りに形成された1次根は、総根数、伸長根数およびいじけ根数のいずれの場合も減少すること(第2表)が認められた。

株当たりの1次根数は有効茎数、茎の構成、またはそれぞれの茎の出根要素数によって著しく変動する傾向が強いが、本研究の両試験区の有効茎の構成および総数はほぼ等しかった(第1表)。遮光処理が葉齢12.8からと有効茎数がほぼ決定してから始められたことが、このような結果を招いたものと考え



第2図 対応主茎要素別にみた種類別1次根数.

第3表 1次根の類型別根数(本/株).

	類 型 ¹⁾	対 照	遮 光
11+12要素	A 型根	28(24) ²⁾	3(3)
	B 型根	49(41)	33(35)
	C 型根	42(35)	58(62)
	計	119(100)	94(100)

1) 本文参照, 2) カッコ内は構成比(%).

えられる. いずれにしても, 有効茎の構成及び数が変化しないことを前提とした場合, 遮光による株当りの1次根数の減少の傾向は, 1茎当り1次根数の減少によるものと考えられる. さらに, 遮光処理は止葉葉位にも変化を与えず, 出根要素数にもほとんど影響を及ぼさなかったものと推察される. したがって, 上記の1株当りの1次根数の変化は, 個々の要素に形成される1次根数の差に由来するものといえよう.

一般に遮光処理を行うと, 主茎に形成される1次根の総根数が, とくに高位の要素において減少することが従来から認められており⁸⁾, 本実験の結果もそれを追認する結果となった. ただし, 本研究で, 対応主茎要素の考え方にしたがって, 生育に伴う株当りの1次根数の変化を観察したところでは, 第11要素に対応する要素ではとくにいじけ根が減少し, 第12要素に対応する要素では伸長根, いじけ根ともにその数の減少が認められた. 遮光処理の開始時期(葉齢12.8)を考慮すると, 遮光処理は処理開始以後に出根, 伸長したとみられる第11, 12要素に対応する要素の1次根にとくに影響を及ぼしたものと考えられる.

川田ら⁸⁾は遮光処理が高位の要素の伸長根を減少させる一方, いじけ根を増加させるとしており, 本研究とは若干, 異なる結果を報告している. この点については, 川田らの場合, 遮光処理の時期が本実験より早く(移植後40日間), しかも, ポット試験であるなど, 設定条件が本研究とはかなり異なっていたことが関与しているのではなかろうか. すなわち, 本研究においては, 遮光処理が生育の遅い時期(葉齢12.8)に開始されたため, 高位の第11および

第12要素においても, 1次根始原体の数はすでに決定しており, それぞれの始原体は発育途上の段階にあったものと考えられる. したがって, これらの要素で遮光により総根数が減少したという結果は, 始原体のまま生育を停止したいわゆる“生育停止”始原体^{7,10)}の数が, 増加したことにもとづくのではないかと考えられる. また, 本研究の結果は, このような条件下においては, いじけ根の数は減少することを示している. これに対し, 川田ら⁸⁾の場合には, 移植直後からの長期にわたる遮光処理によって個々の要素の始原体の形成が抑制⁷⁾され, 総根数が減少する一方, 出現した根はいじけ根化するという結果を招いたのではなかろうか. いずれにしても本研究においては“生育停止”始原体の観察は行っておらず, 上記の考察はなお推察の域を出るものではない.

第3表は遮光により, C型根が増加し, その形成率もまた高まることを示している. 佐々木らは, 遮光処理により本研究と同様にB型根, C型根の形成率が高まることを指摘¹²⁾し, さらに, 1次根の伸長速度が低下することを報告¹³⁾している. これらのことを考慮すると, 本研究の第11, 12要素の伸長根は, その直径の形成および伸長速度のいずれにおいても劣っていたのではないかと推定される.

次に, 第1報¹¹⁾と関連づけて, 幼穂形成期から出穂期にかけての遮光処理が根系の形成に及ぼす影響について考察を加えたい. 第1報では土壌表層から20 cmの深さまでの根長密度が遮光処理により減少することを明らかにした. この根長密度の減少には, まず本報告で明らかにした第11, 12要素の1次根数の減少が, 大きく関与しているのではないかと推察される. しかし, 伸長根数は遮光処理により8%しか減少しておらず, 深さ30 cmまでの土壤中に分布する総根長が約20%減少したとする第1報の推定量を説明するには小さい. ただし, 遮光処理下で伸長した第11および第12要素の伸長根において, 相対的にC型根が増加していること(第2, 第3表)もまた, 総根長を減少させる方向に働いた

第4表 伸長方向別にみた1株当り伸長根数¹⁾(本/株).

処 理	0~15°	15~30°	30~60°	60°<	不 明	合 計
対 照	102(20)	150(29)	182(36)	22(4)	56(11)	512(100)
遮 光	64(14)	132(28)	165(35)	20(4)	91(19)	472(100)

カッコ内は比率(%).

1) 伸長根のうち“ししの尾”状根は対象から除外した.

と考えられる。すなわち、C型根はA型根に比較して主軸長が著しく短かく、したがって1本に形成される2次根数も著しく少ない¹³⁾。またC型根は2次根長も短かい⁹⁾ことから、C型根1本当りの総根長はA型根に比較して短かくなっていると考えられる。以上の諸点を考慮すると、遮光処理によって総根長が20%以上も減少したという第1報の結果は、十分理解しうることでないかと思われる。

本研究で材料を採取した水田は粘質の細粒強グライ土壌であったため、土壌を洗い流す際、小さな土塊の落下といっしょに、1次根が切断される危険性がきわめて高かった。同様の方法を用いた原田ら³⁾の報告に比べ、本研究で伸長方向の不明な根が多くなったのは、このような土壌条件が関与したためと考えられる。さらに、伸長方向の不明な根の大半は比較的細いC型根であり、根端の着色部が切断され、伸長方向が同定できなかったものである。これらC型根は比較的表層に伸長する根とされる³⁾ので、不明根の多くは0~30°の土壌の表層部に伸長していたものと推定してよいのではないかと考えられる。このように推論すると、遮光処理は、1次根の伸長方向別分布率には必ずしも明白な影響を発現せず、各伸長方向にわたって平均的に伸長根数を減少させたと考えられる。その結果、第1報で明らかにしたような各層、各部位での根長密度、総根長の減少をもたらしたのと考えられる。

最後に本報で観察した1次根の諸形質の変化と、収量との関係について若干考察しておきたい。原田ら^{1,2)}は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について解析し、とくに比較的高位要素のA型根数と総穎花数、精玄米重との間に強い関係があることを指摘している。

本研究においては、第1報で示したように、遮光区で収量が約10%減少し、収量構成要素では、一穂粒数の減少が減収に最も大きく関与していた。また、その場合、処理以降に形成される伸長根の数の減少と、C型根の増加によるものと考えられる根長密度の減少が認められた。以上本研究で得られた結果は、水稻の収量に対して、生育後期に形成される高位要素の1次根の数および形態、とくにその総根長が密接に関与していることを示唆するものである。さらに、このことは、著者らが先に指摘した⁴⁾、福井県における作柄変動と幼穂形成期から出穂期にかけての気象条件との関係に着目しても興味ある結果であると考えられる。

なお、本研究を行った1986年は、登熟期間の気象条件が良好な年次であった。そのため、本試験では、登熟歩合、千粒重への影響が少なかったことも考えられ、今後は、根系の形態変化に伴う機能的な変化や登熟期間の気象条件をも考慮しつつ検討をすすめる必要がある。

謝辞：本研究を実施するにあたり終始有益な示唆と多大な援助を与えられた、東京大学農学部栽培研究室森田茂紀博士ならびに根本圭介博士に心からお礼を申し上げる。

引用文献

1. 原田二郎・山崎耕字・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 株及び個体に着目した場合. 日作紀 53: 307—312.
2. ———・———・梅田泰一郎・三宅 晃・中元朋実 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2報 茎および“要素”に着目した場合. 日作紀 53: 313—319.
3. ———・前田忠信・山崎耕字 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. 岩田忠寿・間脇正博・湯浅佳織・井上健一 1985. 福井県における昭和59年水稻作の乾物生産からみた多収要因の解析. 日作紀 54 (別1): 8—9.
5. 川田信一郎・山崎耕字・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.
6. ———・片野 学 1976. 水稻冠根の土壌における伸長方向について. 日作紀 45: 471—483.
7. ———・原田二郎・山崎耕字 1978. 水稻茎部に形成される冠根始原体の数および直径について. 日作紀 47: 644—654.
8. ———・S.M. エルアイシー・山崎耕字 1979. 環境条件が水稻における“いじけ”根の形成におよぼす影響について. 日作紀 48: 107—114.
9. ———・佐々木修・山崎耕字 1980. 水稻根における分枝の様相、とくに冠根の直径と分枝との関係について. 日作紀 49: 103—111.
10. ———・原田二郎 1980. 水稻の主茎に形成される冠根数の変動—とくに分げつ葉を除去した主茎における場合—. 日作紀 49: 587—592.
11. 間脇正博・森田茂紀・菅 徹也・岩田忠寿・山崎耕字 1990. 幼穂形成期から出穂期にかけての遮光処理が水稻の根系の形成および収量に及ぼす影響. 第1報 根長密度に着目した場合. 日作紀 59: 89—94.
12. 佐々木修・山崎耕字・原田二郎・川田信一郎 1981. 水稻の分枝根形成に及ぼす窒素施肥量および茎葉部への遮光・剪葉の影響. 日作紀 50: 457—463.
13. ———・———・川田信一郎 1983. 水稻冠根の伸長に伴う直径の変動と2次根の出現密度との関係. 日作紀 52: 1—6.