

水稻の重力成形に関する作物学的研究*(I)

石 井 滋 規

(奈良教育大学農学教室)

(昭和51年4月30日受理)

Studies on Gravimorphogenesis in Rice Plants Made from the Viewpoint of Crop Science (I)

Shigeki ISHII

(*Laboratory of Agriculture, Nara University of Education, Nara, Japan*)

(Received April 30, 1976)

Summary

It has been reported on some arbors and herbs that when they are fixed with their axes in a horizontal position from a vertical position so that they may receive gravitational stimulation unilaterally, the development of lateral buds and roots, in addition to the promotion of the eccentric growth of the axes, is accelerated.

Based on these facts, the present studies were taken up with a view to making clear the effect of unilateral stimulation of gravity on the morphogenesis in rice plants from both theoretical and practical standpoints.

1. Effect of gravity upon the acceleration of rooting

1. When the seedlings, of 6.0 to 8.0 leaf age and with their roots completely excised, were sand-cultured in a saturated state with nutrient solution, the amount of rooting in the plants horizontally fixed for 6 to 10 days became apparently larger, indifferent of both the earliness and plant type of rice varieties, compared with those vertically kept, and this situation was especially noticeable after the treatment of 4 to 6 days. In the seedlings of the vertical plot, however, the amount of rooting became increasingly larger, as the planting depth increased up to 8cm. Judging from this fact, it was considered that an inevitable difference in moisture existing between the horizontal and vertical plots might be involved in the above result to some extent.

2. Therefore, a new hydroponic apparatus which was devised so as to reduce an unequalness in moisture between both plots to the minimum was manufactured. The result obtained from the experiments repeated

*: 本報は京都大学審査学位論文である。

by the use of this apparatus, proved that though unilateral stimulation of gravity to the axes of rice plants had an excellent effect on acceleration of rooting, one could scarcely look for an increase in the total root length, since every individual root was slow in its elongation. In the horizontal plot, moreover, rooting was more numerous on the lower half than on the upper.

3. On analysis, it was found that the increase in number of new roots in the plants horizontally fixed was attributable to the fact that roots became more abundant than the vertical at the node with the largest rooting ability at a given leaf age, that is, at the (n-4)-th leaf node, and then, at the (n-3) and (n-5)-th leaf nodes situated just at the upper and lower sites, where "n" represented the emerging leaf position on the stem hereafter.

4. Unilateral stimulation of gravity acting upon the main axes promoted the differentiation of root primordia, to some extent, but it accelerated the development of root primordia already differentiated more vigorously, with the result of a great contribution to an acceleration of rooting in the horizontal plot. The root primordia on the lower side of the stem in the horizontal plot were apparently larger than those on the upper, and after the lapse of 10 days, even those on the upper side became larger than the corresponding ones of the stem in the vertical plot.

5. When the axes were fixed in a position inclined to some angles for the period of 10 days, it was found that the number of new roots increased in the order of 60°, 90°, 30° and 0°, and that it was conspicuously increased at an angle of 60° or more. The total root length was at the maximum at an angle of 90°, at the minimum at 0°, and at medium at 60° and 30°, though with no significant difference.

6. In soil culture, even if the seedlings were placed in a horizontal position on a side of the pot, the amount of rooting was not so much increased, compared with those in a vertical position. In the seedlings horizontally transplanted, however, it was recognized that not only the root number, but also the root weight increased. According to water culture, on the other hand, the seedlings with roots excised were more remarkably accelerated in rooting through gravitational stimulation than those with roots left intact, whereas the growth of the emerging leaf — it is henceforth represented as a "top growth" in the text — was markedly suppressed, as compared with the vertical seedlings.

(to be continued)

目 次

緒 言

第1章 重力が水稻の発根に及ぼす影響

第1節 苗の水平挿しが発根に及ぼす影響

第2節 主軸の側面に作用する重力が発根に及ぼす影響

第3節 主軸の側面に作用する重力が根原基の発育に及ぼす影響

第4節 重力に対する主軸の傾斜角度が発根に及ぼす影響

第5節 発根に対する重力の影響と移植ならびに剪根処理との関係

第6節 摘要

引用文献

第2章 重力が水稻の地上部、とくに分けつ芽の発育に及ぼす影響……………〔以下次号〕

第1節 水平植えが地上部の生育に及ぼす影響

第2節 主軸の側面に作用する重力が分けつ芽の生長に及ぼす影響

第3節 主軸の側面に作用する重力が葉の生長、出葉、および葉原基分化に及ぼす影響

第4節 重力に対する主軸の傾斜角度が分けつ芽の生長に及ぼす影響

第5節 主軸の側面に作用する重力が節間伸長に及ぼす影響

第6節 摘要

引用文献

第3章 水稻の重力反応に関わるオーキシンの機作

第1節 IAA供与が発根、分けつ芽の生長、および節間伸長に及ぼす影響

第2節 重力がIAA-¹⁴Cの移動・分布に及ぼす影響

第3節 重力がオーキシンの生合成能に及ぼす影響

第4節 摘要

引用文献

第4章 総括

引用文献

緒 言

一般に、果樹やツルバラなどの整枝・剪定に際して、主枝を斜めまたは水平に誘引する時は、主枝の生長は抑制される代りに、側枝の発生が促進されることはよく経験されることである。また、トマトやコスモスなどが倒伏すれば、茎の下側から発根することが認められるが、佐藤(1950, '54)は、これらの植物を地面から離して水平にしても、下側に根原基または発根初期の根が多数形成されることを確かめ、その原因は重力の影響にあると報告している。著者はこれらの事実や報告を総合して、本来直立性の水稻を水平に移植すれば、草丈の伸長は一時抑制されるが、発根や分けつ芽の生長が促進され、収量増加の要因になるのではないかと考えるにいたった。

従来、高等植物の重力反応について、最も多く取り上げられてきたのは屈地性の問題であるが、この現象は、重力刺激による茎の偏心肥大生長(尾中, 1937, '49; 佐藤, 1950, '52, '53, '54; Sato,

1956, '61a, '61b), 不等葉性 (郡場, 1956), あるいは葉身傾斜角度の変化 (前田, 1962, '67, '70; Maeda, 1960, '65) などと同様に、組織または器官の非対称生長に基づくもので、器官の形態形成と重力刺激との関係を、植物体各部との生長相関の観点から追究した研究は比較的少ない。この種の研究としては、重力がパイナップルやダイズの開花に対して (Van Overbeek and Cruzado, 1948; Fisher, 1957)、また果樹その他の木本植物の生長に対して及ぼす影響 (Longman *et al*, 1958, '64; Wareing and Nasr, 1958, '61; Kato and Ito, 1962; Smith and Wareing, 1964a, '64b; Mullins, 1965a, '65b) について報告したものはあるが、イネ科作物を対象にした研究は極めて少なく、ムギ類の節の伸長に関する Riss (1915) および Jost (1924) の観察を除けば、著者 (1964, '66a, '66b, '67a, '67b, '68, '69a, '69b, '69c, '71, '72, '73a, '73b) や、著者および佐藤 (1960) による一連の報告があるにすぎない。

この研究は1958年に着手され、まず簡単な水耕法および砂耕法によって、葉齢6.0以上の水稻苗を水平挿しにすれば、初期の発根量が直立挿しよりも明らかに増加することが認められた。しかし、水平挿しに伴う水分条件の差は剪根苗の発根に大きく影響することが示唆されたので、この点を厳密に規制したパイプ型の水耕試験器を製作し、1962年以降は主としてこの装置によって実験を行った。その結果、主軸を直立方向から 60° ~ 90° 傾斜させた水稻では、茎の下側面から多数発根するだけでなく、全体の根数が直立挿しの場合よりも増加し、かつ、無剪根苗よりも剪根苗においてその効果が大きくあることを確認した。一方、発根試験と平行して行った栽培試験により水平植えは穂数、とくに下位節の一・二次分けつ数を増加させることを見だし、さらにパイプ型試験器によって、主軸を 60° 以上傾斜させる時は、急速に生長しつつある上位節の分けつ芽はその生長を抑制されるが、これよりやや下位の分けつ芽は強く生長を促進されることを確認した。また、主軸の側面に与えた重力刺激は抽出中の葉の生長を抑制する反面、主茎および分けつ芽の生長点における葉原基の分化速度を速め、これによって、地上部が屈起したのちの出葉数は、終始直立位にあったものより多くなる傾向のあることも認められた。

このほかに、増収の観点からすればむしろ負の要素ではあるが、重力反応の生理的機作を解明するうえで重要な現象として、水平位的水稻では屈地反応をする時に、しばしば節間伸長の促進が起こることを観察した。1968年からは、以上のような重力反応にあずかるオーキシンの機作を解明するため、まずオーキシン供与が水稻の形態形成に及ぼす影響を検討し、次いで放射性同位元素を利用して、外生的および内生的オーキシンの莖部における分布状況と合成能力とを検討した。その結果、水平位の莖では上・下両半側にオーキシンが非対称的に分布するとともに、オーキシンの生合成能は直立位の莖よりも大となることを見いだされ、体内のオーキシン濃度は全般的に高くなるものと推察された。一方、オーキシン濃度は、一般に先端部から求基的に低下することが認められているので、このことと以上の結果とを総合して、水平位の苗では先端生長、すなわち、抽出中の葉の生長には過剰なオーキシン濃度が与えられるが、莖の節間部の伸長には適正な濃度が与えられて、これを促進するものと判断された。しかし、このオーキシン濃度は、同部位、すなわち上位節の分けつ芽の生長には過剰な水準となるために、水平位の苗ではこれらの分けつ芽は生長を抑制され、これより下位節の分けつ芽が適正な濃度を得て、その生長を促進されるものと思われた。また、この部位では同時に発根が行われるので、相対的に高いオーキシン濃度を有する水平位の苗では、直立位の苗より発根も促進され、かつ、莖の上側面よりも下側面から一層多くの発根が得られると考えられた。

以上のことから、水稻の水平植えないし横植えは、移植後の発根数を増加して活着を促進すると

ともに、比較的下位節の分けつ芽の生長を促進して、有効茎数の早期確保を可能にすることが明らかとなり、この方法を実際に応用する時は水稲の収量増加に貢献するところが大きいと考えられる。またその原因の一つとして、従来推測されてきた浅植えの効果(室賀・松田, 1957; 西内, 1962, '65, '66)のほかに、重力刺激が大きな要因になっていることが確認され、さらに、この現象に関与するオーキシン生理についても重要な知見が得られたと思われるので、ここにその研究内容をとりまとめて報告する。

本研究の遂行に際し終始重要な示唆を与えられ、また論文執筆に当たって種々ご指導いただいた奈良教育大学名誉教授佐藤一郎博士、および1962年以来直接ご指導を賜り、かつ研究実施上多大の便宜をお図り下さった京都大学名誉教授長谷川浩博士に衷心より感謝申し上げます。次に本論文の作成に際し、懇篤なご指導とご校閲を賜った京都大学農学部教授渡部忠世博士、および1967年以来、放射性同位元素の実験に際してご指導を仰いだ京都大学食糧科学研究所教授葛西善三郎博士に深謝の意を表す。また同期間中、同農学部助教授森脇勉博士および同食糧科学研究所下川敬之博士(現宮崎大学農学部)から種々ご協力とご助言をいただき、同名誉教授今村駿一郎博士および元同農学部助教授長井保博士からは研究の方向づけに対し重要な示唆を賜った。記して感謝申し上げます。

なお、本研究の実施に当たり、1963年と1969年に文部省科学研究費の助成を受け、元奈良教育大学教授中森英太郎・牧浦勇の両氏からも、研究費調達上再三にわたりご援助をいただいたことに対して感謝の意を表す。

第1章 重力が水稲の発根に及ぼす影響

室賀および松田(1957)は、苗を横にして移植した水稲では根数、最長根長、および根重のいずれもが普通植えに優り、とくに表層3~6cmの根数は著しく後者よりも増加することを報じ、その原因は浅植えにより土壤通気がよくなり、発根部周辺の地温および酸化還元電位も上昇するためと推測している。しかし、著者はこの理由のほかに、重力刺激による茎の偏心肥大生長(尾中, 1937, '49; 佐藤, 1952, '53; Sato, 1956)や、木本植物の傾斜した主枝に多数の側枝が発達する現象からも示唆されるように、直立性の植物が横位に移される時は主軸の生長が抑制されて、側軸への生長が促進されるという一般的傾向があり、このことが横植えにされた水稲の発根促進に関与しているのではないかと考えるにいたった。

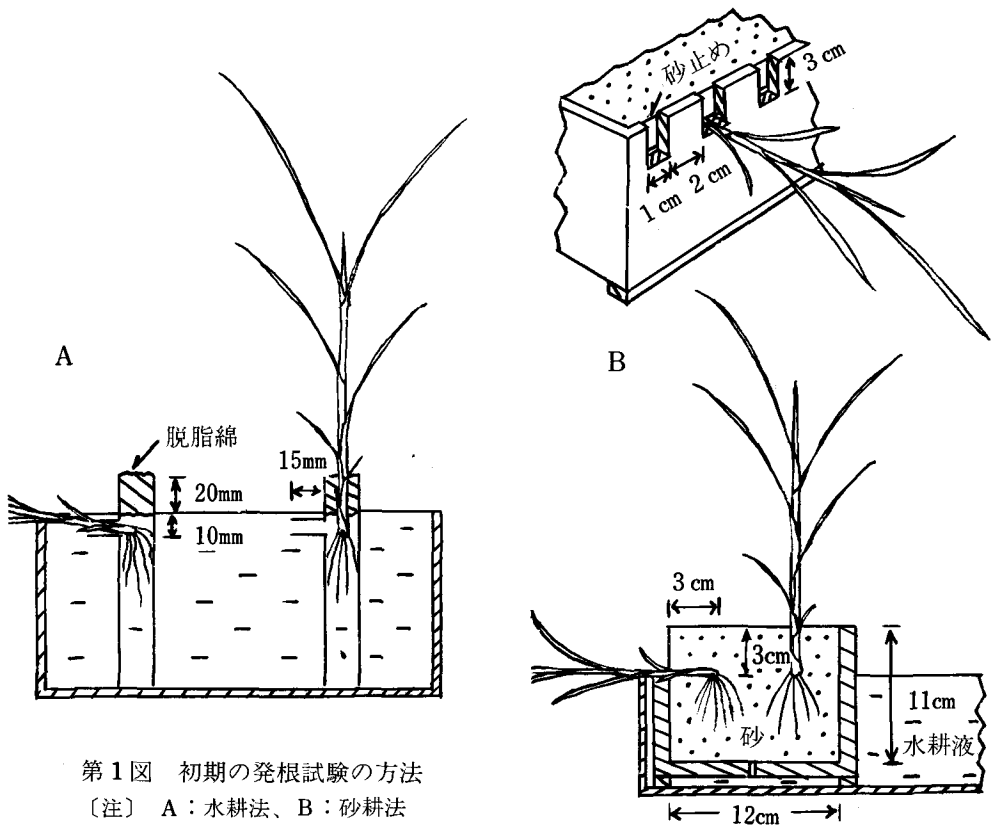
この考えに基づいて開始した簡易な発根試験により、苗の水平挿しは水稲の発根量を増加させる傾向が強いことを確かめたのち、条件設定を厳密にした水耕試験等により、主軸を直立方向から大きく傾斜させて、重力をその側面に作用させることが発根数増加の一要因になっていることをい出した。

第1節 水平挿しが苗の発根に及ぼす影響

初めに、その原因は別として、苗を横に挿せば、水稲の発根が実際に促進されるか否かを検討した。

実験材料と方法

実験 1. 1958年6月下旬、苗代から葉齢（以下すべて、葉齢は不完全葉を含む）7.1で、分けつ未発生の一斉な個体（品種：藤坂5号）を選び、根を完全に摘み取って春日井氏水耕液の1,000倍液で6日間培養し、長さ1mm以上の新根の量を調査した。試験区は主軸の方向によって直立区と水平区とに分け、第1図Aのごとく、前者は枝付ガラス管の主管部に、後者は枝管部に苗を挿入し、ともに苗の基端が水面下1cmのところにあるようにした。水平区は水面に対して約15°傾斜し、基部約3cmが水中にあったので、区間の水分条件の差を少なくするために、直立区では水面から上2cmの葉鞘部を脱脂綿で巻いた。なお、各区の供試個体数は20とした。



第1図 初期の発根試験の方法
〔注〕 A：水耕法、B：砂耕法

次に、上記の実験方法では苗の基部における水分条件ならびに通気性の差が大きいと考えられたので、1958年7月下旬、側壁に欠刻をつけたペンキ塗りの木箱を用いて、剪根苗を第1図Bのように処理し、春日井氏1,000倍液によって6日間砂耕した。水平区では欠刻の底面に苗が接するようにし、直立区ではその反対側に1列に挿して、ともに苗の基端が、箱に満たした川砂の上面および1側面から3cmの位置にあるようにした。この箱を水耕液を満したバットに漬け、苗の

基端がほぼ液面と同じレベルにあるようにした。供試材料は葉齢7.3のアケボノで、各区20個体を当てた。

なお水平区ではいずれも、主茎の左右に着生する各葉が主軸とほぼ同じ水平面上にあるようにした。以下の各実験においてもとくにことわらない限り、水平区における葉の方向はこれと同様である。

実験2. 1960年6月下旬、実験1の砂耕法と同じ方法で、葉齢4.0、6.0、および7.0の畑苗(品種：藤坂5号)を発根試験に供し、処理開始後10日目までの発根量を経時的に調査した。

また1961年7月中～下旬には、早晩性および草型を異にする次の6品種について、同様な方法で発根量を調査した。

供試品種	早晩性	草型	葉齢	供試品種	早晩性	草型	葉齢
陸羽132号	極早生	中間型	8.0	水稻農林23号	早生の晩	穂数型	7.0
水稻農林22号	早生	穂重型	8.0	黄金錦	早生の晩	中間型	6.5
水稻農林29号	早生	中間型	7.0	金南風	中生	穂数型	6.5

なお1961年には、苗に対する水分条件の差が発根に及ぼす影響を検討するために、水稻農林23号および黄金錦のそれぞれ葉齢11.3および7.0の剪根苗を2～10cm砂中に直立に挿し、9日または11日後の発根量を比較した。

実験結果と考察

実験1の水耕・砂耕両法において、6日後の発根量は水平区が著しく大で、直立区に比し根数では約70%、総根長では約230%増加し、平均根長も倍近くになった(第1表)。

第1表 苗の水平挿しが発根に及ぼす影響

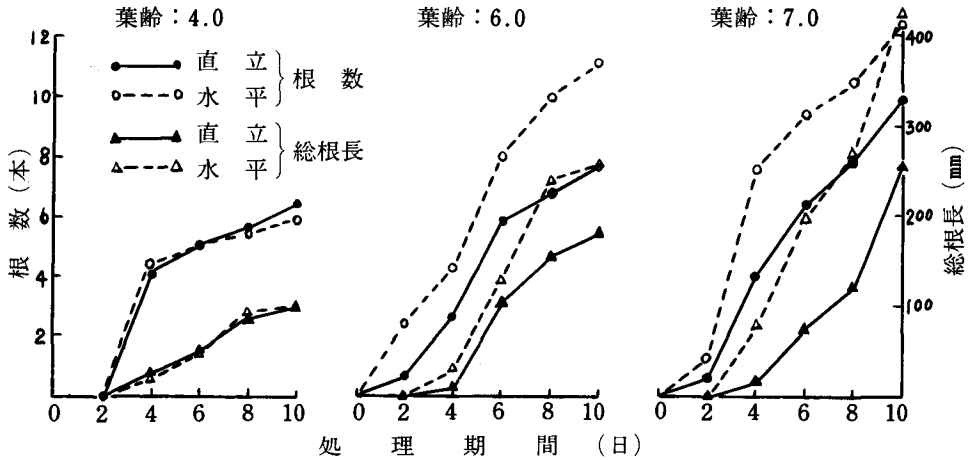
培養法	試験区	根数	総根長 (mm)	平均根長 (mm)
水耕	直立	5.1	52	10.2
	水平	8.5	172	20.2
	(増加率%)	(67)	(231)	(98)
砂耕	直立	7.4	60	8.1
	水平	13.1	201	15.3
	(増加率%)	(77)	(235)	(89)

[注] 品種：水耕 藤坂5号、砂耕 アケボノ。

実験2において、葉齢の異なる苗について水平挿しの効果を比較すると(第2表および第2図)、若齢の4.0では両区間に差を認めないが、移植適期の6.0～7.0では水平区の根数および総根長が明らかに大で、とくに実験期間の前半においてその傾向が著しかった。

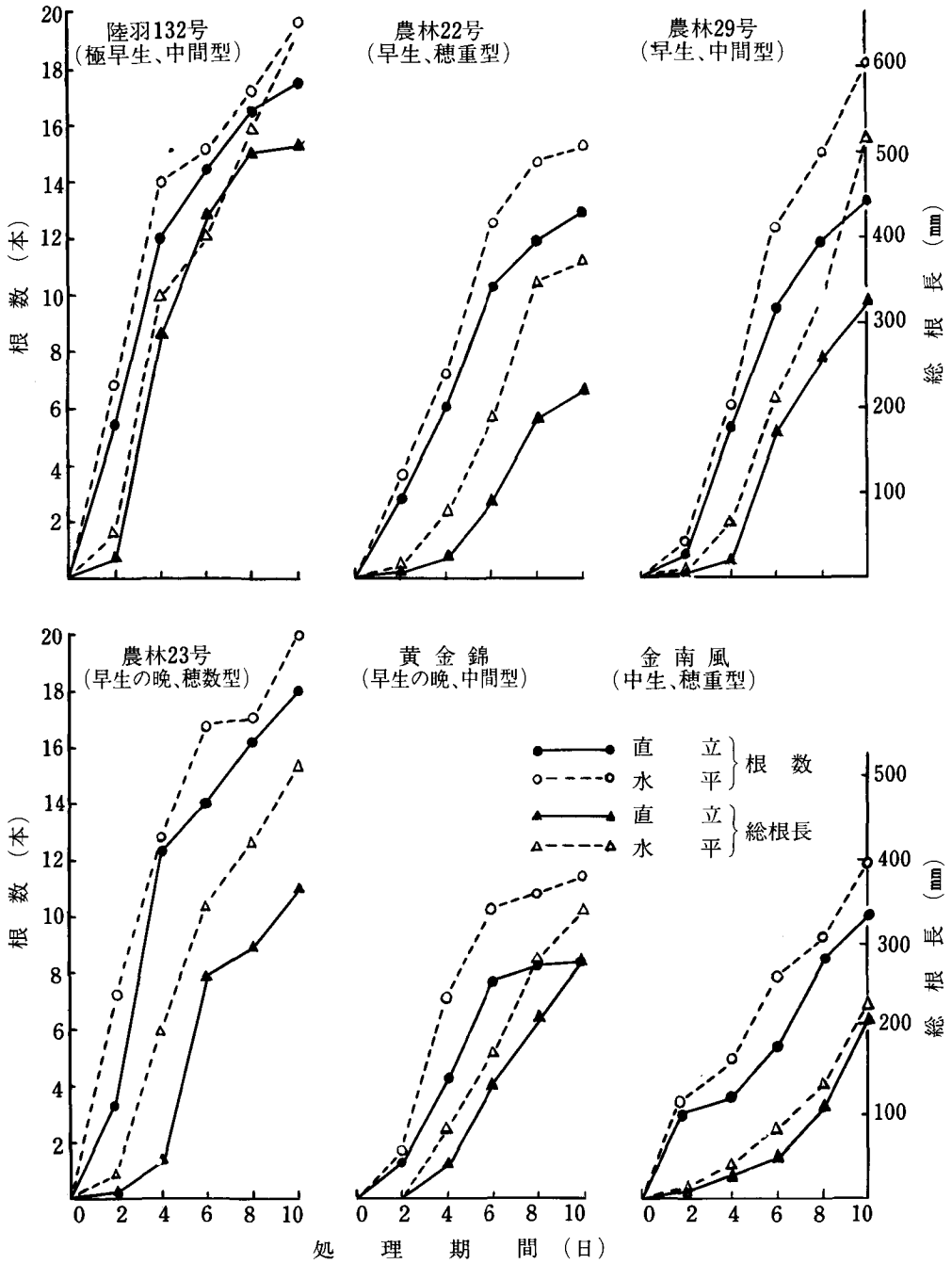
第2表 水平挿しが葉齢の異なる苗の発根に及ぼす影響

処理開始時の葉齢	処理期間(日)	根 数		総 根 長 (mm)		平均 根 長 (mm)	
		直 立	水平(増加率%)	直 立	水平(増加率%)	直 立	水平(増加率%)
4.0	2	0	0 (0)	0	0 (0)	0	0 (0)
	4	4.2	4.4 (5)	25.2	20.3(-19)	6.0	4.6(-23)
	6	5.0	4.9(-2)	52.5	49.3(-6)	10.5	10.1(-4)
	8	5.6	5.4(-4)	88.5	90.2(2)	15.8	16.7(6)
	10	6.4	5.9(-8)	104.9	100.3(-4)	16.4	17.0(4)
6.0	2	0.7	2.4(243)	1.1	2.5(56)	1.6	1.0(-31)
	4	2.6	4.2(62)	15.6	30.9(137)	6.0	8.8(47)
	6	5.9	8.0(36)	106.6	132.8(25)	18.1	16.6(8)
	8	6.8	10.0(47)	166.1	242.9(46)	24.4	24.3(0)
	10	7.7	11.1(43)	182.1	266.0(46)	23.6	24.0(2)
7.0	2	0.6	1.2(100)	0.3	2.8(460)	0.5	2.3(360)
	4	4.0	7.6(90)	23.2	82.1(254)	5.8	10.8(86)
	6	6.4	9.4(47)	76.8	200.2(161)	12.0	21.3(78)
	8	7.8	10.4(33)	119.3	270.4(127)	15.3	26.0(70)
	10	9.9	12.4(25)	257.4	425.3(65)	26.0	34.3(32)



第2図 水平挿しが葉齢の異なる苗の発根に及ぼす影響

実験2において、水平挿しの効果と品種の早晚および草型との関係を検討した結果を第3図に示す。すなわち、供試した6品種とも水平挿しによって発根数および総根長が大となり、日数の経過とともに直立挿しとの差は増大する傾向にあるが、指数的には、葉齢を異にした場合と同様、概して早い時期に区間差が大であった。なお平均根長においては、農林22号および農林23号のごとく水平区が常に優る品種もあるが、その他の品種では区間に一定の傾向が認められなかった。結局、水平挿しの効果は品種の早晚性および草型によってとくに大きな影響を受けないようである。



第3図 水平挿しが発根に及ぼす効果と品種の早晩性および草型との関係

以上の結果から、水稻苗はごく若齢のものを除いて、直立に移植するよりも、水平近くまで倒して移植する方が初期の発根量を増加しやすく、また発根量の増加は、品種の早晩性や草型とは関係なしに、平均根長の増大よりも根数の増加によって起こる傾向の強いことが認められた。

しかしながらこの実験方法では、水平区における苗の基部～中部は直立区のそれより水面に近い状態にあり(第1図B)、このことが処理直後の苗の萎凋に影響を及ぼしていないかと懸念された。この点に関して、砂耕試験の直立区において、苗を砂中に挿入する深さが発根に及ぼす影響を検討した結果、8 cmまでは苗を深く挿入するほど発根量が增大することが認められた(第3表)。

第3表 直立挿しにおける苗の深さが発根に及ぼす影響

品 種	項 目	苗 の 深 さ				
		2 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10cm
黄 金 錦	根 数	12.2	11.0	14.8	16.2	11.8
	総 根 長(mm)	391.8	398.0	580.2	744.0	504.8
	平均根長(mm)	32.1	36.2	39.2	45.9	42.8
農 林 23 号	根 数	10.6	11.1	11.1	16.3	15.4
	総 根 長(mm)	314.1	315.9	451.2	714.6	782.4
	平均根長(mm)	29.6	28.5	40.6	43.8	50.8

[注] 1) 処理開始時の葉齢：黄金錦 7.0、農林23号 11.3. 2) 処理期間：11日と9日。

このことは、苗の萎凋程度が少ない時に発根量が大であることを示すものとみられ、発根に及ぼす重力の影響を明らかにするためには、より根本的に実験方法を改善する必要があると考えられた。

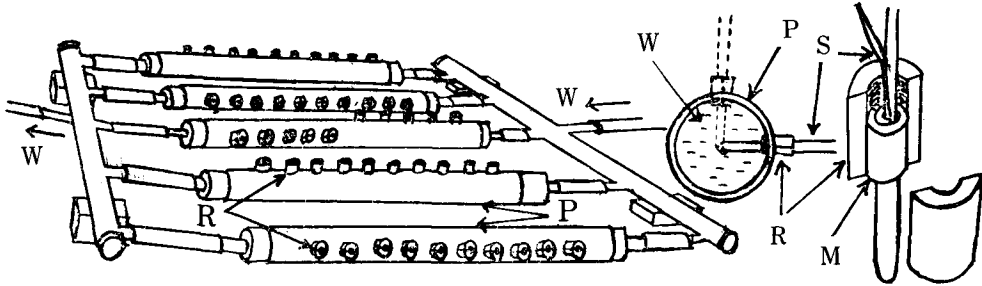
第2節 主軸の側面に作用する重力が発根に及ぼす影響

前節における発根試験の結果は、苗を水平に挿入することが水稻の発根量の増大に効果のあることを示したが、直立・水平両区間の水分条件に若干差があるのではないかという懸念がもたれた。よって、この点を抜本的に改良した試験器を製作し、主軸の側面に作用する重力刺激が発根に及ぼす影響を検討した。

実験材料と方法

実験1. 内径4 cm、長さ55cmの硬質塩化ビニール・パイプに4.5cm間隔で径1.6cmの円孔を縦に10個あけ、これに剪根した水稻苗をゴム栓に挟んで固定した。ゴム栓の中央にはあらかじめ径0.7cmの縦孔をあけ、その中心を通る平面でゴム栓を二つ割りにしておいた。剪根後、ワセリンを塗ったモルトブレン片(1.5×8.0×0.3cm)で、基端から2cmのところを中心にして苗を包み、これを上記の二つ割りにしたゴム栓で挟んだうえ、苗の基端部がパイプの中心にくるように固定した。5本のパイプの両端を連結管で並列に繋ぐ時、適宜にパイプを回転させて直立区と水平区を交互

に設け、管内を水道水が満水状態でゆるやかに流れるようにした。ただ中央列のみは、同一パイプ上に直立区と水平区を各5個体処理できるようにした(パイプ型水耕試験器Aという。第4図)。



第4図 パイプ型水耕試験器A

〔注〕 M：モルトプレッ、P：硬質ビニール・パイプ、R：ゴム栓、S：苗の葉鞘部、W：水。

水耕によって育てた分けつ未出現の苗(品種：黄金錦)を供試し、1962年8月に2回発根試験を行った。処理開始時の葉齢は第1回目が9.1、第2回目が10.2で、直射光を避けるためにいずれも室内で実験した。6日後にFAA(ホルマリン、氷酢酸、70%エタノール混液)で固定し、新根の量を調査した。

実験2. 1964年10月、直立・水平両区の発根経過を比較するために、品種(水稻農林29号)と葉齢(7.2)のほかは実験1と同様な苗を、A型試験器をさらに改良したパイプ型水耕試験器B(第5図—第1図版)によって処理し、4日ごとに4回、各区から10個体ずつ採取した。FAAに固定貯蔵後、実体顕微鏡下で節位ごとに根を切り離して調査した。

この試験器は、同一パイプ上に直立区と水平区を交互に5個体ずつ処理できるようにしたもので、これを連結管で並列に繋ぎ、簡易なグロス・キャビネット中に設けた支持架上に置いた。パイプ中には木村氏B液の1/6濃度をゆっくり通じ、パイプが常に満水されるようにした。またパイプを黒い厚紙で包み、実験期間の前半はキャビネット全体を寒冷紗で被い、約50%遮光した。

実験結果と考察

実験1の結果を第4表と第6図(第1図版)に示す。2回の実験を通じて、水平区は直立区より根数において22~30%増加したが

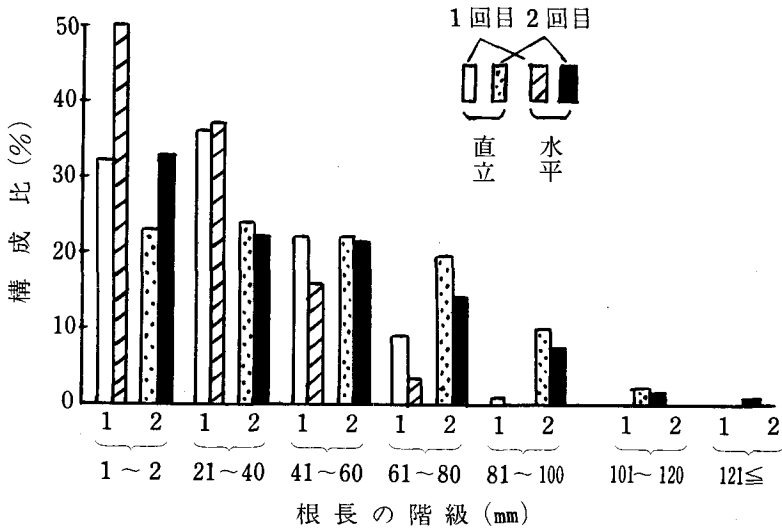
(1%水準で有意差)、総根長では5~7%優るに止まり、平均根長では明らかに劣ることになった。この点に関して、各根長を20mmごとの階級に分別すると、水平区では20mm未満の短根が著しく多いのに比し、60mm以上の長根は比較的少ないことが分る(第7図)。すなわち、主軸の側面に作用する重力刺激は水稻の発根数を明らかに増

第4表 主軸の側面に作用する重力が発根に及ぼす影響

試験	試験区	根数	総根長 (mm)	平均根長 (mm)
1回目	直立	19.4	622.4	32.1
	水平	25.3**	663.5	26.2**
	(増加率%)	(30)	(7)	(-19)
2回目	直立	24.2	1094.9	45.2
	水平	29.5**	1154.4	39.1**
	(増加率%)	(22)	(5)	(-13)

〔注〕 1) 処理開始時の葉齢：1回目 9.1、2回目 10.2。
2) **: 1%水準で有意差。

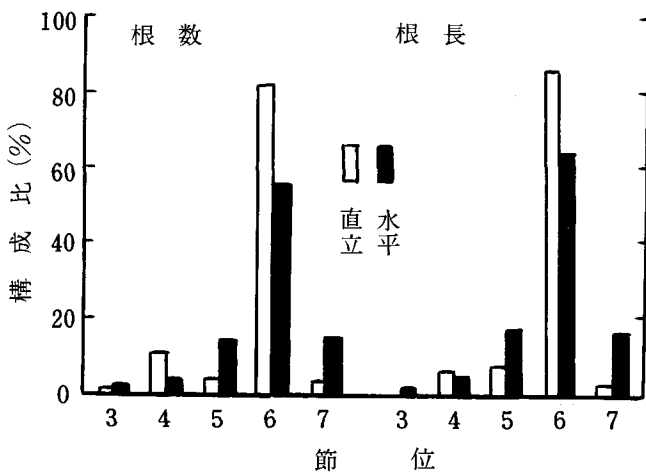
加するが、根の伸長を緩慢にするので、総根長の増大には、大きな効果を示さないといえる。



第7図 根長の階級別構成比(1962年の材料)

〔注〕根長の上段は実験の番号を示す。

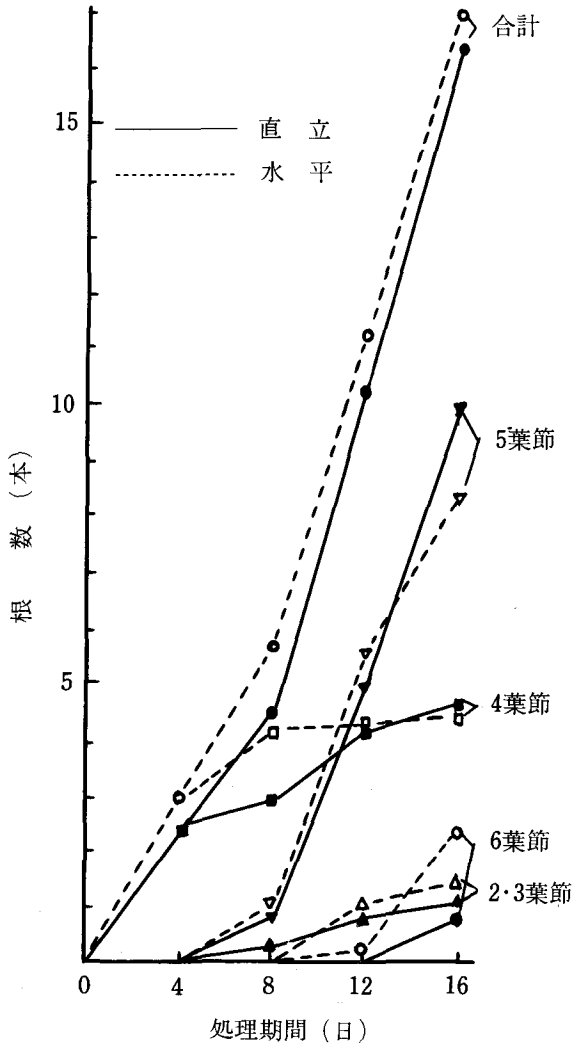
次に第一回目の標本について、節位別の発根量が全体に占める割合を検討すると、直立区では最大発根節たる第6葉節が総根数および総根長の80%以上を占めるのに比し、水平区ではこれが60%前後に下がり、第6葉節の直上下の節からそれぞれ15%前後の根数および根長が得られている(第8図)。すなわち、直立区では抽出中の葉位をnとすると、(n-4)葉節以外からの発根量



第8図 節位別の発根量が全体に占める割合

(1962年の1回目の材料)

は極めて僅かであるのに比し、水平区ではこれ以外の節からも比較的多く発根することが認められた。



第9図 主軸の側面に作用する重力が節位別の発根に及ぼす影響(1964年)
〔注〕処理開始時の葉齢: 7.2.

次に実験2においても(第9図)、ほぼ全期間を通じて水平区の根数は直立区より大で、とくに前半8日目までは24~25%の差(1%水準で有意)を生じたが、その後区間差を減じ、16日目までには僅かに4%の差となった。この経過を節位別の発根数についてみれば、両区とも4日目までは第4節根のみを生じ、その後8日目までにその上下の節からも若干発根するが、区間差は最大発根節たる第4葉節に由来していることが分る。12日目には第5葉節が最大発根節となり、第4葉節の区間差は解消されたが、これ以外の各節とも水平区の根数が多い傾向にあった。しかしその差は比較的小さく、全体として直立区より10%増加するに止まった。16日目には最大発根節たる第5葉節の根数は直立区で多くなり、水平区では主として最上位発根節たる第6葉節の発根促進によって、全根数が若干増加することができた。

実験1と2とでは、直立区に対して水平区的全根数が増加するにいたる要因が若干異なるが、これには両実験における温度環境の差が大きく関与しているものと思われる。すなわち、実験1の平均気温は27.7℃であったのに比し、実験2のそれは20.5℃と低く、高温下の前者では反応の経過が速やかであったために、発根初期の現象が把握されなかったのではないかと考えられる。この点を考慮して両年度の実験結果を総合すれば、重力刺激を水稻の主軸の側面に作用させる時は、

初めに最大発根節、すなわち(n-4)葉節の発根が促進され、次いで最上位発根節の(n-3)葉節と、発根力の減退し始めた(n-5)葉節からの発根が盛んとなり、このことによって、水平区的全根数が直立区より増加するにいたるものとみられる。

実験2における総根長では、4日目から12日目まで水平区が直立区より20~10%大で、この差は主として第4葉節根によって生じた。16日目には両区の第4葉節根長はほぼ等しくなり、第6

葉節根長では水平区が明らかに優るが、第5葉節根は逆の傾向を示し、個体当たり総根長には差がなくなった。しかし以上のことによって、重力刺激は水稻の発根数を増加するとともに、発根初期には総根長をも増大することが確かめられた。

なお、水平区では茎の下半側から生ずる根数が上半側のそれよりも多く、とくに比較的上位の発根節においてその傾向が顕著であった。しかし、同一節における両側の根数の差は、日数の経過とともに漸次縮小する傾向を示した(第5表)。水平区の茎の両半側における発根数の差は、

第5表 水平区における茎の上下各半側の発根数(1964年の実験)

葉節	上下の区別	4日	8日	12日	16日
2.3	上側	—	0.1	0.5	0.7
	下側	—	0	0.7	0.9
	小計	—	0.1	1.2	1.6
4	上側	1.2	1.9	2.0	2.3
	下側	1.8	2.4	2.4	2.2
	小計	3.0	4.3	4.4	4.5
5	上側	—	0.4	2.1	3.2
	下側	—	0.8	3.5	5.2
	小計	—	1.2	5.6	8.4
6	上側	—	—	0	0.6
	下側	—	—	0.2	2.0
	小計	—	—	0.2	2.6
全体	上側	1.2	2.4	4.6	6.8
	下側	1.8	3.2	6.8	10.3
	小計	3.0	5.6	11.4	17.1

発根を促進するオーキシン(Thimann and Went, 1934; Went and Thimann, 1937)が茎の下側に多く分布する(Cholodny, 1926; Went, 1926)ということを示唆するものと思われるが、この点については次節および第3章で検討したい。

実験2で、8日目以降は直立・水平両区間の発根量の差が次第に縮小されたが、このことには次のような事実が関与しているものと考えられる。すなわち、本実験に用いたパイプ型水耕試験器では、苗の基端から約1.5~4.0cmの間をゴム栓で固定しているために、水平区の地上部は屈起を抑えられ、これに代って苗の基端が背地的に屈曲し、茎基は正常位のほぼ逆位をとることになる。一方、本章第4節および第2章第3節で述べるように、地上部が水平になっている間、抽出中の葉は生長を著しく抑制され、上位の各葉身は、主軸に対する傾斜角度を増大しつつ、下垂するにいたる。これらの現象は発根にあずかる物質の同化や分配に負の要因となって作用し、水平区における後

半の発根力減退を招くにいたるものと考えられる。

第3節 主軸の側面に作用する重力が根原基の発育に及ぼす影響

水稻の主軸を重力方向に対して直角に保つ時は、直立時に比べて初期の発根量、とくに発根数が増加するという事実は、当然、根原基の分化または発育に重力が影響することを示すものと考えられる。よって、以下にこの点に関する検討を記述する。

実験材料と方法

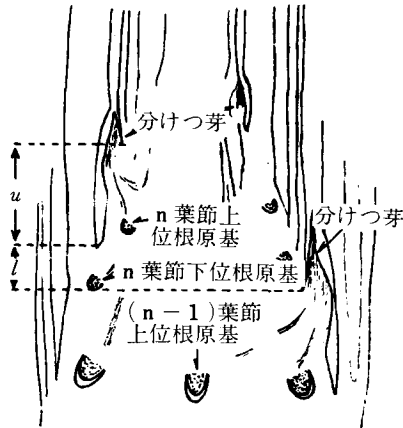
実験1. 1963年10月、葉齢7.1、分けつ未出現の水稻農林29号を根つきのまま、パイプ型

試験器Aを用いて20個体ずつ直立区と水平区に分け、10日間水耕した。処理終了後、すでに発根していた第5葉節以下を除き、これより上位の基部を厚さ約 10μ のパラフィン切片(横断および縦断)となして、デラフィールド・ヘマトキシリン液で染色、検鏡によって各葉節の根原基の数および大きさを求めた。

実験2. 同時期に、葉齢が7.2のほかは上記と同一の苗を、根と第7葉以下の葉身をすべて剪除したのち供試した。この材料を水洗して、あらかじめ内側に蒸留水を噴霧した径18mmの試験管に1本ずつ入れ、乾燥を防ぐ目的でコルク栓をした。30℃の暗条件下で直立または水平に72時間保ち、発根量を調査したのち、パラフィン切片として根原基を検鏡した。なお、個体数は1区10とした。

実験結果と考察

以下に示す上位根および下位根の区分は、従来広く行われている猪ノ坂(1962)らの基準に従ったもので、著者はこれに基づいて上位根原基と下位根原基を次のように分類した。すなわち、



第10図 上位根原基と下位根原基の区分法
(縦断面) [注] u, l については本文参照.

上位根原基はある葉節の直上位にある分けつ芽が茎軸に合体する面から、その節の葉鞘が茎軸に合体する面までの間(第10図の u)に分化する原基とし、下位根原基は後者と、その直下位の分けつ芽が茎軸に合体する面(第10図の l)との間に分化する原基とした。

実験1の苗について観察した各葉節ごとの根原基の数および大きさを第6表に示した。すなわち、処理終了時の葉齢は直立区では8.10、水平区では7.95であったが、第6葉節以上の根原基数は水平区にやや多く認められた。とくに、

第6表 主軸の側面に作用する重力が根原基の発育に及ぼす影響(実験1)

原基	試験区		6葉節		7葉節		8葉節		9葉節	
			下位根	上位根	下位根	上位根	下位根	上位根	下位根	上位根
数	直立		1.9	7.2	2.8	6.7	2.6	0	0	0
	水平		2.0	7.5	3.0	7.0	2.8	2.6	0.4	0
大きさ (μ)	直立	長さ	220.5	174.4	149.9	79.4	52.9	—	—	—
		幅	205.8	163.7	126.4	101.9	66.6	—	—	—
	水平	長さ	399.8	315.6	208.7	209.7	100.9	81.3	78.4	—
		幅	316.5	296.9	184.2	209.7	106.8	98.0	100.9	—

第8葉節上位根原基は直立区では未分化であったのに、水平区では個体当たり2~3個分化してい

る点が注目された。次に、根原基の大きさにおいては水平区は直立区より著しく大で、結局、重力刺激は水平区の根原基分化数をも若干増加するが、分化した根原基の発育促進により顕著な効果を現すと見える。そして、水平区における根原基の大きさを茎の上側と下側と比較すると（中位部は除く）、いずれの葉節でも下側の根原基は上側よりも大で、とくに、第7葉節下位根以下の原基においてこの傾向が目立った（第7表）。しかも各葉節とも、茎の上側に生じた原基でさえ、直立区の対応するそれより明らかに大きいことが認められた。

第7表 水平区の茎の上側と下側に発生した根原基の大きさの比較 (μ)

葉節	上位根の 下位根の 区 別	茎の上側		茎の下側	
		長さ	幅	長さ	幅
6	下位	392.0	323.4	548.8	392.0
	上位	205.8	196.0	382.2	352.8
7	下位	166.0	150.9	421.4	352.8
	上位	138.2	165.6	312.6	382.2
8	下位	90.2	95.1	127.4	139.2
	上位	73.5	78.4	78.4	100.9
9	下位	58.8	109.8	88.2	102.9

〔注〕 1) 実験1の材料について観察。2) 茎軸横断面の中位部に発生した原基は調査の対象から除外。

第8表 主軸の側面に作用する重力が剪根・剪葉苗の発根に及ぼす影響(実験2)

項目	葉節	直立	水平	指数 (水平/直立)
根 数	3	0	0.2	130
	4	1.3	2.2	
	5	2.0	1.9	
	計	3.3	4.3	
総根長 (mm)	3	0	1.2	123
	4	15.2	22.3	
	5	11.2	8.8	
	計	26.4	32.3	
平均根長 (mm)	3	0	6.0	94
	4	11.7	10.1	
	5	5.7	4.6	
	計	8.0	7.5	

実験2において剪根・剪葉苗を暗条件に72時間保った時の第8葉伸長量は直立区では6.9cm、水平区では1.8cmであったが、発根数および総根長は明らかに後者において大で、この差はもっぱら第4葉節根に由来していた(第8表)。根原基については第5葉節以上で観察し、その数を第9表に、その大きさを第10表に示した。これによると、第5葉節の原基数（一部に発根中のものを含む）には区間差がないが、第6葉節および第7葉節では水平区が直立区に優り、とくに前者でその傾向の強いことがうかがわれる。原基の大きさについては、実験1ほど大きな差が認められなかったが、水平区が直立区に優る傾向は変わらず、第6葉節ではそれがとくに強く現れた。また実験1と同様、水平区の下側の原基

第9表 主軸の側面に作用する重力が剪根・剪葉苗の根原基分化数に及ぼす影響(実験2)

葉節	上位根と下位根の区別	処理前	直 立	水 平	指 数 (水平/直立)
5	下 位	2.3	2.3(0.5)	2.4(1.0)	100
	上 位	7.3	7.8(1.5)	7.7(1.2)	
	計	9.6	10.1(2.0)	10.1(2.2)	
6	下 位	1.7	1.7	2.1	123
	上 位	6.7	7.0	8.6	
	計	8.4	8.7	10.7	
7	下 位	1.0	1.3	1.3	114
	上 位	0	2.3	2.8	
	計	1.0	3.6	4.1	

(注) 5葉節欄のカッコ内は発根中の数を内数で示す。

第10表 主軸の側面に作用する重力が剪根・剪葉苗の根原基の大きさに及ぼす影響(実験2)(単位μ)

葉節	上位根と下位根の区別	原基	処理前	直 立	水 平		
					上 側	下 側	総平均
5	下 位	長さ	458.6	879.1	698.7	1078.0	885.6
		幅	431.2	458.6	459.7	514.5	481.4
	上 位	長さ	261.7	434.1	308.7	669.3	548.8
		幅	241.1	347.9	302.8	412.6	354.8
6	下 位	長さ	198.0	207.8	294.2	637.0	477.3
		幅	170.5	200.9	186.6	379.3	326.3
	上 位	長さ	98.0	110.7	131.3	346.9	248.9
		幅	103.9	124.5	153.9	298.9	236.2
7	下 位	長さ	57.8	63.7	73.5	91.4	88.1
		幅	58.8	76.4	73.5	102.6	92.1
	上 位	長さ	—	52.9	—	66.3	66.3
		幅	—	68.6	—	82.7	82.7

(注) 水平区の上側と下側には横断面の中位部に生じた原基は除外し、総平均にはこれを含めた。

は上側のそれよりも大で(第11図—第1図版)、第6葉節では茎の上側でも直立区に優る傾向を示した。

植物の発根には体内オーキシンの濃度が密接に関与していることは早くから知られ(Thimann

and Went, 1934; Cooper, 1935; Thimann and Koepfli, 1935; Zimmerman and Wilcoxon, 1935)、松尾 (1940)、近藤および五十嵐 (1941)、伊藤および向坂 (1945)、および長戸 (1950) も、インドール酢酸 (IAA) またはナフタレン酢酸 (NAA) の供与は水稻の発根を促進すると報告している。またSkoogおよびTsui (1948) は、根の形成が行われるところではオーキシシン含量が高いことを示している。これらの知見に照らすと、実験 1・2 の水平区で根原基の発育が上側よりも下側で進んでいるのは、オーキシシン濃度が後者において高くなるためであり、また実験 1 の水平区では上下側とも根原基が直立区より大であった原因は、横断面全体のオーキシシン濃度が水平区において高くなるためではないかと考えられる。ただ、根原基の発育とオーキシシン濃度とは必ずしも比例的関係にあるとはいえず、BialeおよびHalma (1937)、および Pearse (1943) らも、オーキシシン濃度が高過ぎると発根が抑制されること、また、この時抑制されるのは根原基の形成ではなく、その生長であることを明らかにしている。しかしながら、本実験の観察結果と、第 2 節において、水平区では直立区に比し発根が早いにもかかわらず、20mm以下の短根が多かったことを併せ考えれば、前者では後者より体内オーキシシンの濃度が高くなって、発根には好適であるが、根の伸長には過剰な水準に達するものと推察される。

なお、水稻のいわゆる上位根と下位根の分け方について若干の検討を加えたい。川田ら (1963) はイネ科作物の発根部位の単位として、Evans およびGrover (1940)、Sharman (1942) らの説を参考にしつつ、従来一般的に用いられている節または葉節の代わりに節間を中心とする「要素」説を提唱し、これから生じる根を要素根と称している。この基準に従えば、著者がすでに述べた n 葉節の上位根と下位根はそれぞれ、 $(n+1)$ 要素の下位根と n 要素の上位根ということになる。一方、山崎 (1960) によれば、イネ・ムギの分けつ芽は、一般にいわれているように、ある葉の腋部に発生するのではなく、その直上位の葉縁と対になって発生するということであるが、このことは著者の観察によっても確認された (第12図—第1図版)。そのほかに著者の観察によれば、7.2齢の剪根・剪葉苗を水平位に置くと、例えば、第6葉節と第6葉節上位根原基の間がある程度伸長して、相対的には後者は前者よりもむしろ第7葉節に近づいた形になること (第13図—1図版)、また第14図 (第2図版) に示すように、 n 葉節の上位根原基発生帯の茎径は $(n+1)$ 葉節下位根原基発生帯のそれと大差ないが、 n 葉節の下位根原基発生帯の茎径はこれより著しく大となることが認められた。

これらの事実は、水稻の稈節および発根部位の単位として、川田ら (1963) の提唱する要素説の妥当性を支持するものと考えられるが、本論文においては、現在広く用いられている従来の区分法に従うこととした。

第 4 節 重力に対する主軸の傾斜角度が発根に及ぼす影響

栽培に当たって苗を平地のまま横植えにしようとするれば、多少とも苗を斜めにせざるをえないので、重力刺激との関連においては、どの程度までの傾斜角度が発根促進に有効であるかを検討した。

実験材料と方法

1965年11月、葉齢8.1で分けつ未出現の苗 (品種：水稻農林17号) を剪根して、パイプ型水耕

試験器 A (第 4 図) に取りつけ、グロス・キャビネット内の支持架上にて連結管に並列に繋ぎつ、苗に所定の角度を与えた。試験区の名称は直立方向に対する主軸の傾斜角度で表し、0° (直立)、30°、60° および 90° の 4 区を設け、各区に 20 個体を当てた。始めの 2 日間は水道水を、その後は木村氏 B 液の 4 倍希釈液～標準濃度液をパイプに通じ、計 10 日間培養した。培養液はあらかじめ大型水槽中にて一定温度に暖めてからパイプに通じ、水・気温ともに平均 22.1±1.6° C に保った。なお、苗の萎凋を防ぐために、剪根直前に蒸散抑制剤グリナーの 8 倍液を散布し、また、始めの 3 日間は寒冷紗で約 50% の遮光を行った。

処理終了後、各区から 1 個体おきに計 10 個体を採取し、FAA に固定貯蔵したのち、発根量を調査した。なお、残り 10 個体は分けつ芽の生育調査 (第 2 章第 4 節) に供した。

実験結果と考察

主軸を傾斜させた区はいずれも直立区より発根数を増加し、とくに 60° 区と、これに次いで水平 (90°) 区の根数が多くなった (第 11 表)。傾斜区では総根長も直立区より増大したが、有意の差

第 11 表 直立方向に対する主軸の傾斜角度が発根に及ぼす影響

項 目	0°	30° (増加率%)	60° (増加率%)	90° (増加率%)
根 数	21.3	22.9* (8)	26.0** (22)	24.2** (14)
総 根 長(mm)	849	898 (6)	905 (7)	956 (13)
平均 根 長(mm)	39.9	39.2 (- 2)	34.8 (-13)	39.5 (- 1)
二次根発生率(%)	48.4	50.7	46.9	58.7

[注] 1) 処理開始時の葉齢 8.1、処理期間 10 日。 2) 二次根発生率：二次根を有する根が全根数中に占める割合。 3) * および ** : 0° 区に対する有意差の水準。

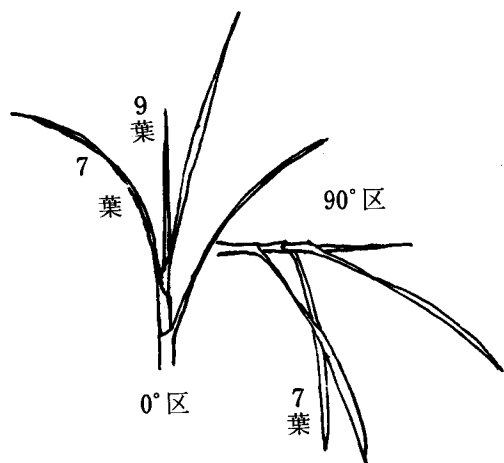
にはいたらなかった。平均根長では 60° 区だけが約 10% 劣ったほかは、区間に差が認められなかった。なお全根数中、二次根を有する根の割合は水平区において最も高く、他区に比し発根開始期の早かったことが示唆された。以上の事実は、初期の発根数は水平区において最も多く、60° 区および 30° 区では後期にいたって発根が促進されることを示すものと考えられる。

第 12 表 直立方向に対する主軸の傾斜角度が葉身の傾斜角度に及ぼす影響

葉 位	0°	30°	60°	90°
5 葉	35.8°	33.8°	37.5°	35.0°
6 葉	23.0	38.9	53.2	59.5
7 葉	19.8	29.0	68.4	74.1
8 葉	7.9	17.8	14.7	16.8

[注] 1) 処理開始時の葉齢は 8.1、終了時のそれは 8.5~8.7。 2) 処理期間は 10 日。

次に、主軸を傾斜させた区では葉身が主軸となす角度、すなわち葉身傾斜角度が増大する傾向を認めたので、材料固定前に上位 4 葉についてこれを測定した (第 12 表)。その結果、第 6・7 葉の葉身傾斜角度は主軸の傾斜角度に比例して増大し、これとともに、葉先は次第に下垂することが認められた (第 15 図)。第 8 葉でも、主軸の傾斜によって葉身傾斜角度は増大されるが、その関係は必ずしも比例的ではなかった。また



第15図 処理終了時の0°区と90°区における葉身傾斜角度の比較

各葉位中、葉身傾斜角度の最大となる葉位は、0°区の第5葉から60°区の第7葉まで、主軸の傾斜に伴って上昇するが、60°以上傾斜してもその葉位には、変化なく、ただ葉身傾斜角度のみがさらに増大した。

以上に述べた第6葉と第7葉は本実験材料の活動中心葉（田中，1957）に当たり、これらの葉身が主軸に対する傾斜角度を増大して下垂することは、その受光態勢の劣化によって光合成の減退を招き（松島ら，1964，'65）、その後の発根に対しては抑制的な要因になるものと考えられる。一方、圃場で横倒しにされた水稻では、この葉身傾斜角度の増大は苗の起ち上がりに役立つという報告（片山，1940）がある。本実験では、地上部がほとんど起き上がれない状態にあったが（本章第2節

参照）、圃場ではこれが早期に達成されるので（第2章第1節参照）、葉身傾斜角度の極端な増大と、これに伴う葉身の下垂はかなり防止されるものと推察される。

以上のごとく、今後なお検討すべき点は残されているが、水稻の移植に際して苗を直立に挿すよりも、60°以上傾斜させて植える方が発根を促進し、活着を早めるのに有利であると結論できると考えられる。

第5節 発根に対する重力の影響と移植ならびに剪根処理との関係

重力が水稻の発根を促進する性質を栽培に応用しようとする時は、必然的に移植を前提にすることとなるが、移植に伴う生理的变化と重力の影響との間に何らかの関係があるかどうか、またさらに、苗の抜き取りに多少とも随伴する剪根についても同様なことが考えられるので、これらの点を検討することにした。

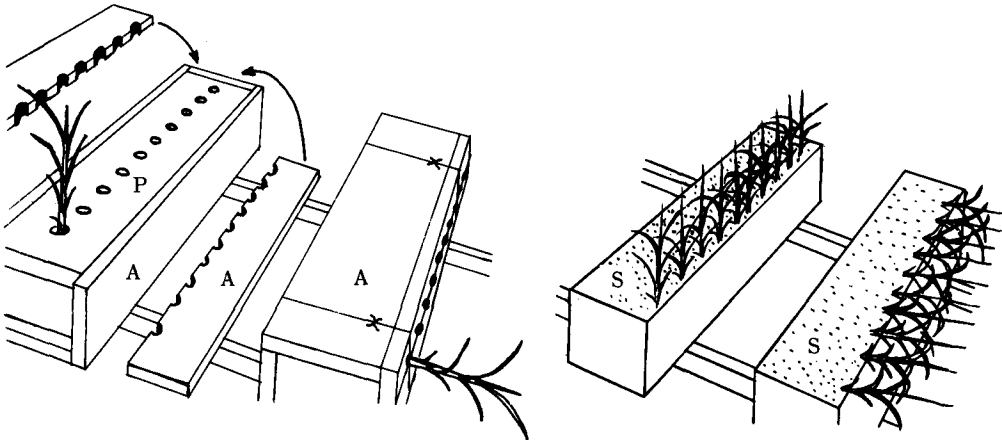
実験材料と方法

実験1の1. 1963年5月、N・P₂O₅・K₂O各30mgを含む化学肥料を風乾土壌300gと混じ、径8cm、高さ9cmの塩化ビニール製ポットに入れ、中央に催芽ずみの種子（品種：水稻農林29号）を3粒播いた。葉齢3.0の時、各ポットに生育中庸の1個体のみを残して、径8cmの円板の中央にあけた孔に苗を通しつつ、これで土壤面に蓋をした。6月上旬、葉齢5.9～6.0で、主稈および分けつの両方について生育程度がよく揃った個体を選び、ビニール・ハウス内の台上でポットごと苗を水平にして、15日後の根量を直立区と比較した。水平区はA・B2区に分け、A区では地上部が自由に起き上がるようにし、B区ではこれを抑制するために、苗の直ぐ上に糸を張った（第16図一第2図版）。

毎日または2日ごとに1回灌水を行い、その都度最大容水量のほぼ70%まで給水した。水平区

ではポットを起こして給水し、2～3分後元の位置に戻した。1区の個体数は12である。

実験1の2. 1964年9月始め、一定量の基肥を混じた土壌を断面12cm平方、長さ65cmのトタン製ペンキ塗りのポットに充満し、中央に一定間隔で10個の孔をあけた蓋をしたのち、水稻農林29号の催芽種子を1カ所に3粒ずつ播いた。第4葉抽出期に1カ所に1本とし、葉齢10.2の時生育の揃ったポットのみを供試した。半数を直播状態のまま、残りを移植して、ハウス内の支持架上でそれぞれ直立区と水平区に分けた(第17図)。直播試験では、処理直前に厚さ2cmの白色発



第17図 実験1—2の方法(直播水稻および移植水稻の根の発育に及ぼす重力の影響)

(注) 1) 左図: 直播水稻、右図: 移植水稻. 2) A: 断熱用発泡スチロール、
P: トタン製蓋付ポット、S: 土壌.

泡スチロールでポットを包み、土壌中の温度分布と根の位置との関係に区間差が生じないように配慮した。移植試験では一たん水中で根をていねいに抜き取ったのち、蓋のない新しいポットの側に苗を寄せて直立または水平に植えた。なお、水平区の地下部は直立区と同様下方に向けておいた。

灌水はほぼ1日1回とし、実験1の1と同じ方法で最大容水量の約80%に回復するまで行った。30日後に根をていねいに洗い流して材料を採取した。1区の個体数は直播試験30、移植試験20である。

実験2. 1965年7月、葉齢8.3で分けつ未発生の苗(品種: 水稻農林17号)を半数は無剪根のまま、半数は基部から3cmのところまで剪根して供試した。それぞれパイプ型水耕試験器B(第5図—第1図版)によって直立区と水平区に分け、6日間培養後、新葉の生長量と根量とを測定した。1区の個体数は20である。

実験結果と考察

実験1の1における結果は第13表および第18図(第2図版)に示す通りで、水平区の根数は直立区に優り、かつ、地上部の屈起を抑制した場合にはさらにその増加率が大きくなった。水平区では最大根長も増大したが、乾物重は地上部・地下部ともに約10%直立区に劣った。なお、草丈は

第13表 実験1—1における根と地上部の生育状況

項 目	直 立	水平A (増加率%)	水平B (増加率%)
根 数	57.1	64.5(11)	68.8(20)
最大根長(cm)	20.6	25.0(21)	24.8(20)
地上部乾重(mg)	832	751 (-10)	735 (-12)
地下部乾重(mg)	229	214 (- 7)	204 (-11)
T — R 率(%)	36.3	35.1	36.0
草 丈(cm)	53.1	45.5(-14)	37.2(-30)

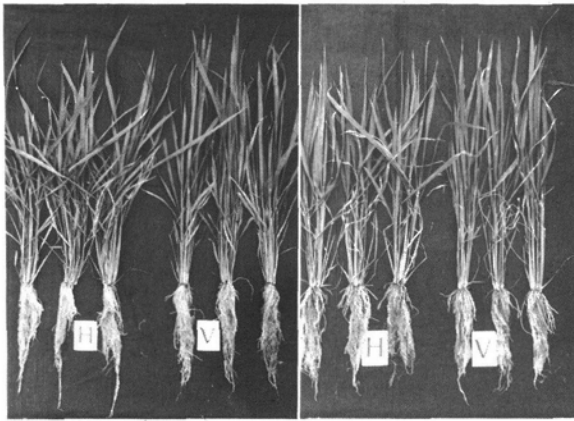
(注) 水平Aは地上部を自由に起き上がらせた場合、水平Bはこれを抑制した場合、どの区も直播した場合。

直立区>水平区A>水平区Bとなり、根数の多少とは逆の傾向を示した。

実験1の2において、30日後に調査した地上部および地下部の生育状況は第14表および第19図のごとくで、地下部の生育は直播試験では水平区が直立区に劣り、移植試験では逆の傾向を示した。すなわち、直播試験では根数の差は認められず、根重では水平区が27%劣るが、移植試験では根数・根重ともに約10%水平区が大であった。なお、T—R率は直播では水平区が10%高く、移植では逆にやや低くなった。このほかに直播・移植試験を通じて、水平区では直立区に比して草丈がやや短く、主稈出葉数および分けつ数は優る傾向を示し、とくに移植試験における分けつ

第14表 実験1—2における根と地上部の生育状態

栽培の種別	項 目	直 立	水 平 (増加率%)
直	草 丈(cm)	54.8	50.3 (- 8)
	主 稈 葉 齢	12.5	12.7 —
	分 け つ 数	7.2	7.7 (7)
	根 数	146.7	132.5 (- 3)
	最大根長(cm)	23.1	22.8 (- 1)
播	地上部乾重(g)	3.912	3.807(- 3)
	地下部乾重(g)	1.257	0.912(-27)
	T — R 率(%)	31.1	41.7 —
移	草 丈(cm)	49.2	46.3 (- 6)
	主 稈 葉 齢	12.0	12.2 —
	分 け つ 数	4.4	5.7 (30)
	根 数	127.6	144.8 (13)
	最大根長(cm)	19.8	20.0 (1)
植	地上部乾重(g)	2.400	2.489(4)
	地下部乾重(g)	0.569	0.625(10)
	T — R 率(%)	42.2	39.8 —



第19図 実験1—2における根の生育状態
〔注〕 1) 左:直播、右:移植. 2) H:水平区、V:直立区.

よりも移植した場合に典型的に認められると結論できよう。なお、直播状態で水平区の根重が劣る原因には、次のような事実が関与していると考えられる。その一つは、水平区では土壌表面が垂直になるために、新根の多くは土の表面に沿って下向し、土面の乾燥する害を受けやすい状態にあったことで、もう一つは、水平区における地上部の屈起が移植試験では完全に行われるに比し、直播試験では土面を被う蓋や断熱材の厚さのためにこれが不完全となり、それだけ葉身傾斜角度も増大しやすい状態にあった(第20図—第2図版)ことである。その結果、直播試験の水平区では根の伸長が強く阻害されるとともに、後期には発根力も減退して、直立区に比し著しく根重が劣ることになったものと思われる。

次に、実験2では両区とも剪根によって一次根数を半数以下に抑えられたが、直立区に対する水平区の根数増加率は無剪根苗よりも一部剪根苗において高く、また一次根数に、先を剪除され

数の増加が目立った。

以上のごとく、処理期間が比較的短ければ、直播状態でも水平区の発根数が増大し、地上部の屈起を抑えればその傾向が一層強くなるにもかかわらず、根重はむしろこれと逆の傾向を示し、処理期間が1カ月にも及ぶ時は根数の増加も認められず、根重は大きく水平区で劣る結果が得られた。しかるに、移植によって地上部のみを水平にする時は、1カ月後の根数・根重ともに水平区で大となり、発根を促進する重力の作用は直播状態

第15表 発根に対する重力の影響と剪根処理との関係

剪根の程度	試験区	一次根			二次根			一次根 + 二次根		
		根数	総根長 (mm)	平均根長 (mm)	根数	総根長 (mm)	平均根長 (mm)	根数	総根長 (mm)	平均根長 (mm)
無剪根	直立	49.6	4558	91.9	—	—	—	—	—	—
	水平	53.5	4894	91.5	—	—	—	—	—	—
	増加率(%)	(8)	(7)	(0)	—	—	—	—	—	—
一部剪根	直立	20.2	1249	61.8	7.4	142	19.2	27.6	1391	50.4
	水平	22.6	1307	57.8	11.9	203	17.1	34.5	1510	43.7
	増加率(%)	(12)	(4)	(-7)	(61)	(43)	(-11)	(25)	(9)	(-13)

〔注〕 1)無剪根苗では処理前に発生していた根も含む、また、一部前根苗の一次根にも処理開始時に3cm未満であった根が含まれている。 2)二次根とは、先を剪除された一次根から生じた太い根を指す。

た一次根に生じた太い二次根の数を加えれば、水平区における根数増加率はさらに増大し、総根長も直立区にやや優る結果が得られた（第15表）。

以上の結果に関連して、実験期間中の新葉の生長量を求めると、水平区ではこれが小さく、しかも剪根によりその傾向が一層顕著となった（第16表）。この事実は、重力による発根の促進が主

第16表 主軸の側面に作用する重力が新葉の生長に及ぼす影響(実験2)

剪根の 程 度	試験区	8 葉 葉 鞘 長 (cm)				9 葉 抽 出 長 (cm)			
		処理前	処理後	増 量	指 数 (%)	処理前	処理後	増 量	指 数 (%)
無 剪 根	直 立	11.9	16.8	4.9	100	7.4	26.1	18.7	100
	水 平	12.2	14.0	2.2	45	7.7	22.1	14.4	77
一剪 部根	直 立	11.9	15.1	3.2	100	7.6	18.7	11.1	100
	水 平	12.2	12.9	0.7	22	7.7	14.1	6.4	58

〔注〕 処理開始時の葉齢は8.3.

軸の先端生長の抑制と密接に関連して起こることを示している。また実験2で行った部分的な剪根は、無剪根苗に比べて苗の養水分吸収量を減少させるであろうと推測されるが、これと同様なことは土耕試験の移植によっても起こるものと考えられる。したがって、土耕の直播試験では明らかでなかった水平区が発根量増大が、移植試験では認められたことの一因には、既述のような理由のほかに、重力による発根促進作用は既存の根が機械的損傷を受ける時に顕著である、という事実も含まれているのではないかと考えられる。

第6節 摘 要

一般に直立性の植物を横位に移すと、主軸の生長が抑制される代りに、側芽の生長や茎の偏心配大生長など側軸方向への生長が促進されることに着目し、水稻においても、苗を水平または斜めに移植すると、分けつの発生のほか、側軸への生長の一つともみられる冠根の発生が促進されるのではないかと考えて以下の実験を行った。

(1) 側壁に一定間隔で欠刻をつけた木箱に川砂を満たし、欠刻部に葉齢7.3の剪根苗を水平に挿した。この箱を水耕液を入れたバットに漬けて6日後の発根量を直立挿しに比較すると、水平区は根数では77%、総根長では235%増加した。

(2) 同様な方法で、葉齢および品種の異なる苗について10日間の発根推移を観察すると、若苗は別として、葉齢6.0~8.0の成苗ないし老熟苗では、品種の早晚や草型に関係なく、水平区の根数および総根長が大で、とくに4~6日頃までの増加率が大であることが見いだされた。

(3) しかし以上の実験方法では、水平区の地上部は水面に近接して置かれるに比し、直立区のそれは水面から遠ざかる状態にあったので、この差が剪根苗の発根に影響を及ぼしていないかと懸念された。この点に関し、直立位で苗を砂中に挿入する深さを変えてみたところ、8cmまでは深い方が発根量が大で、剪根苗の発根には水分条件が大きく関与することが示唆された。

(4) 上記の問題を解決するために、主軸の方向に関係なく、苗に対する水分条件が等しくな

るようなパイプ型の水耕試験器を製作し、葉齢9.1と10.2の剪根苗を供試した。6日後の発根数は水平区で30~22%大となり、明らかに有意の差が認められたが、総根長は7~5%増加するに止まった。この結果、主軸の側面に作用する重力刺激は水稻の発根数を積極的に増加するが、根の伸長を緩慢にするので、総根長の増大には大きな期待をもてないことが確認された。

(5) 上記の試験と、別に行った発根経過の試験とを総合すると、水平位的水稻ではまず最大発根節、すなわち、抽出中の葉位を n とした時、 $(n-4)$ 葉節からの発根が多くなり、次いで最上位発根節に当たる $(n-3)$ 葉節と、通常は発根力の減退している $(n-5)$ 葉節からの発根が増進されることによって、直立位よりも根数を増加することが確かめられた。また水平位では、概して茎の下半側からの発根数が多かった。

(6) 重力による発根促進の経緯を根原基について観察すると、水平区では未発根節における原基数が若干多かったが、より以上に、原基の発育が強く促進され、このことが水平区での発根促進に大きく貢献していることが認められた。また、水平茎の下側にある原基は上側のそれよりも明らかに大であったが、10日後の材料では上側の原基まで直立茎より大であった。このことから、水平茎ではオーキシンが上下に非対称的に分布するとともに、直立茎より全般的に高濃度になるのではないかと示唆された。

(7) パイプ型水耕試験器を用いて、剪根苗を直立方向から $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ (水平) まで傾斜させて10日間培養したところ、発根数は $60^{\circ} > 90^{\circ} > 30^{\circ} > 0^{\circ}$ の順に大となり、とくに 60° 以上の傾斜は明らかに根数の増加をもたらした。総根長は $90^{\circ} > 60^{\circ} \approx 30^{\circ} > 0^{\circ}$ の傾向を示したが、区間に有意の差が認められなかった。

なお、主軸の傾斜角度が増大するにつれて、活動中心葉は葉身傾斜角度を顕著に増大し、葉身を下垂させられた。このことは、主軸の傾斜区におけるその後の発根に抑制的に作用するが、地上部が正常に屈起できる場合には、比較的その影響が少ないであろうと推測された。

(8) 乾田状態で直播した水稻では、処理期間が15日程度であれば、重力刺激により根数を増加するが、根重ではかえって直立区に劣り、また、30日間の長期処理は根数の区間差を消去し、根重の差を増大することが認められた。しかるに、一たん苗を抜き取って、移植時に重力刺激を作用させる時は、30日後の根数・根重ともに直立区に優る結果が得られた。すなわち、重力の発根促進作用は、直播状態よりも、苗を移植した時に典型的に現れることが見いだされた。

(9) パイプ型水耕試験器を用いて、供試苗の剪根は重力による発根促進作用をより顕著にすることを見いだした。一方、水平区では新葉の生長が強く抑制されるが、剪根はこの抑制率をさらに増大した。すなわち、重力による発根促進作用は主軸の先端生長の抑制と密接に関連して現われ、根の損傷は先端生長を一層抑制することによって、重力の発根促進作用をより大きくするものと推察された。

引用文献

1. Biale, J. B. and F. F. Halma 1937. The use of heteroauxin in rooting of subtropicals. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 35 : 443—447.
2. Cooper, W. C. 1935. Hormones in relation to root formation on stem cuttings. Plant Physiol. 10 : 789—794.
3. Evans, M. W. and F. O. Grover 1940. Developmental morphology of the growing point and inflo-

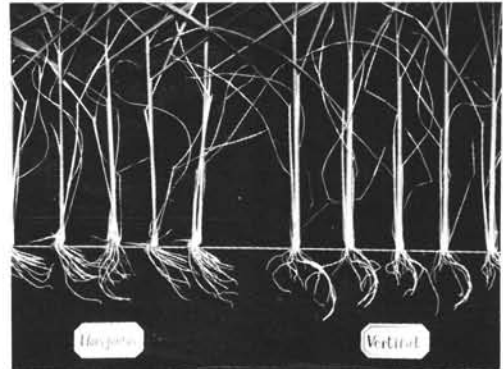
- rescence in grass. *J. Agr. Res.* 61 : 481—520.
4. Fischer, J. E. 1957. Effect of gravity on flowering of soybeans. *Science* 125 : 396.
 5. 猪ノ坂正之 1962. 稲の維管束の分化発達及び維管束による各器官の相互連絡と成育についての研究. 宮崎大農研時報 7 : 15—116.
 6. 石井滋規 1964. 水稻苗の発根と分けつ芽の発育におよぼす重力の影響 I. 奈良学芸大紀要 自然 12 : 69—77.
 7. 石井滋規 1966a. 水稻苗の発根と分けつ芽の発育におよぼす重力の影響 II. 奈良学芸大紀要 自然 14 : 71—81.
 8. 石井滋規 1966b. 重力に対する種々の主軸の方向が水稻の形態形成、とくに発根に及ぼす影響について. 近畿作物・育種会報 11 : 49—53.
 9. 石井滋規 1967a. 水稻の出葉と葉原基分化に及ぼす重力の影響. 奈良教育大紀要 自然 15 : 119—127.
 10. 石井滋規 1967b. 剪葉および IAA 処理が水稻の重力成形に及ぼす影響について. 近畿作物・育種会報 12 : 49—55.
 11. 石井滋規 1968. 主軸の方向が水稻体内における ^{14}C の移動分布に及ぼす影響. 近畿作物・育種会報 13 : 53—57.
 12. 石井滋規 1969a. 重力の刺激による水稻節間の異常伸長について. 奈良教育大紀要 17 (自然) : 117—130.
 13. 石井滋規 1969b. 水稻の根と葉の形態形成に及ぼす重力と生長調整物質の影響について. 近畿作物・育種会報 14 : 61—66.
 14. 石井滋規 1969c. 水稻体に与えた IAA— C^{14} の移動分布に及ぼす重力の影響について. 奈良教育大紀要 18 (自然) : 111—120.
 15. 石井滋規 1971. イネ科作物の発育に及ぼす重力の影響に関する研究. 第6報 水稻体内における同化 ^{14}C の転流・分布量と主軸の方向との関係. 作物学会151回: 講演要旨 : 63—64.
 16. Ishii, S. 1972. Effects of unilateral gravitational stimulation on the transport and distribution of indoleacetic acid- $2\text{-}^{14}\text{C}$ exogenously applied to the rice plant (further report). *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 41:22—26.
 17. Ishii, S. 1973a. Effects of unilateral gravitational stimulus on the biosynthesis of IAA in the rice stem. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 42 : 387—394.
 18. Ishii, S. 1973b. Translocation of exogenous auxin during gravimorphogenetic reaction in rice plants. *Bull. Nara Univ. Educ.* 22(Nat.): 93—105.
 19. 石井滋規・佐藤一郎 1960. 水平植えが水稻の地上部生育に及ぼす影響. 近畿作物・育種会報 5 : 31—33.
 20. 伊藤信吾・向坂準 1945. 水稻種子発芽に対するヘテロアウキシン及び水素イオン濃度の影響に関する研究 (第一報). 日作紀 15 : 44—50.
 21. Jost, L. 1924. Über den Geotropismus der Grasknoten. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* 42 : 338—341.
 22. 片山佃 1940. 横たえた稲苗の屈起現象 (予報). 農及園 15 : 1047—1050.
 23. Kato, T. and H. Ito 1962. Physiological factors associated with the shoot growth of apple trees. *Tohoku J. Agr. Res.* 13 : 1—21.
 24. 川田信一郎・山崎耕字・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、とくに生育段階に着目した場合の一例. 日作紀 32 : 163—180.

25. 近藤頼巳・五十嵐憲蔵 1941. 植物生長ホルモンが稲苗の発根に及ぼす影響. 農及園 16 : 1467—1472.
26. 郡馬寛 1956. 植物の形態 (3 版). 岩波書店, 東京.
27. Longman, K. A., T. A. A. Nasr and P. F. Wareing 1965. Gravitomorphism in trees. 4. The effect of gravity on flowering. Ann. Bot. N. S. 29 : 459—473.
28. Longman, K. A. and P. F. Wareing 1958. Gravitomorphism in trees. Effect of gravity on flowering and shoot grôwth in Japanese larch (*Larix leptolepis*, Murray). Nature 182 : 380—381.
29. Maeda, E. 1960. Interaction of gibberellin and auxins in lamina joints of excised rice seedlings. Physiol. Plantarum 13 : 214—226.
30. 前田英三 1962. 作物の葉形成機構に関する研究. 第 4 報 水稻の葉身基部における生長物質の存在. 日作紀 31 : 55—60.
31. Maeda, E. 1965. Rate of lamina inclination in excised rice leaves. Physiol. Plantarum 18 : 813—827.
32. 前田英三 1967. 水稻の葉身基部の伸長に対するインドール誘導体および金属イオソの促進作用. 日作紀 36 : 17—24.
33. 前田英三 1970. 重力刺激によるイネの葉身傾斜角度の増大. 日作紀 39 : 192—199.
34. 松尾浩気 1940. 水稻におけるホルモン処理の効果(予報). 農及園 15 : 1629.
35. 松島省三・田中孝幸・星野孝文 1964. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. 第68報 稲の姿勢と同化率(I). 日作紀 33 : 44—48.
36. 松島省三・田中孝幸・星野孝文 1965. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. 第73報 過繁茂の場合における稲体の受光態勢による登熟歩合診断の研究. 日作紀 34 : 25—29.
37. Mullins, M. G. 1965a. Gravitational responses of young apple trees. J. Hort. Sci. 40 : 237—247.
38. Mullins, M. G. 1965b. Lateral shoot growth in horizontal apple stems. Ann. Bot. N. S. 29 : 72—78.
39. 室賀利正・松田順治 1957. 湿田の稲作管理と横臥栽培. 農及園 32 : 581—584.
40. 長戸一雄 1950. 秕に関する研究(II). ホルモン処理が秕の発生に及ぼす影響. 日作紀 19 : 9—13.
41. 西内光 1962. 植苗紙による水稻簡易植移法の実験. 近畿作物・育種会報 7 : 19—22.
42. 西内光 1965. 植苗紙による水稻線条植. 農及園 40 : 605—610.
43. 西内光 1966. 水稻線条植の収益性. 農及園 41 : 1035—1038.
44. 尾中文彦 1937. 樹木の肥大生長偏倚に関する研究. 特にアテの形成を伴う偏心生長の原因的考察. 京都帝大演習林報 10 : 1—81.
45. 尾中文彦 1949. アテの研究. 京都大木材研究所報 木材研究 1 : 1—88.
46. Pearse, H. L. 1943. The effect of nutrition and phytohormones on the rooting of vine cuttings. Ann. Bot. N. S. 7 : 123—132.
47. Riss, M. M. 1915. Über den Geotropismus der Grasknoten. Zeitschr. f. Bot. 7 : 145—170.
48. 佐藤一郎 1950. 茎の組織発達に及ぼす物理的条件の影響(特に重力の影響). 日作紀 20 : 230—234.
49. 佐藤一郎 1952. 重力がノリアサの組織構造ならびに肥大に及ぼす影響. 奈良学芸大紀要 1 : 187—209.
50. 佐藤一郎 1953. トウゴマの主軸の組織形成に及ぼす重力の影響に関する実験的研究. 奈良学芸大紀要 2 (2) : 130—141.
51. 佐藤一郎 1954. ヒマワリ及びコスモスの肥大と組織構造に及ぼす重力の影響(続). 奈良学芸大紀要 4 (2) : 53—66.
52. Sato, I. 1956. Studies on the georection shown in the axes of some herbaceous plants. Jap. J. Bot. 15 : 249—269.

53. Sato, I. 1961a. Histological studies on georeaction in herbs. 1. J. Nara Gakugei Univ. Special public. 1 : 1—37.
54. Sato, I. 1961b. Histological studies on the georeaction shown in the xylem of the main axis of *Ricinus communis* L. J. Exper. Bot. 12 : 341—351.
55. Sharman, B. C. 1942. Developmental anatomy of the shoot of *Zea mays* L. Ann. Bot. N. S. 6:245—282.
56. Skoog, F. and C. Tsui 1948. Chemical control of growth and bud formation in tobacco stem segments and callus culture in vitro. Amer. J. Bot. 35 : 782—787.
57. Smith, H. and P. F. Wareing 1964a. Gravimorphism in trees. 2. The effect of gravity on bud-break in osier willow. Ann. Bot. N. S. 28 : 283—295.
58. Smith, H. and P. F. Wareing 1964b. Gravimorphism in trees. 3. The possible implication of a root factor in the growth and dominance relationships of the shoots. Ann. Bot. N. S. 28 : 297—309.
59. 田中明 1957. 葉位別に見た水稻葉の生理機能の特性及びその意義に関する研究 (第6報) 活動中心葉の概念と各葉並びに各葉子間の相互関係. 土肥雑 28 : 231—234.
60. Thimann, K. V. and J. B. Koeplli 1935. Identity of the growth-promoting and root-forming substances of plants. Nature 135 : 101.
61. Thimann, K. V. and F. W. Went 1934. On the chemical nature of the root forming hormone. Proc. Koninkl. Ned. Wetenschap. 37 : 456—459.
62. Van Overbeek, J. and H. Z. Cruzado 1948. Flower formation in the pineapple plant by geotropic stimulation. Amer. J. Bot. 35 : 410—442.
63. Wareing, P. F. and T. A. A. Nasr 1958. Gravimorphism in trees. Effect of gravity on growth, apical dominance and flowering in fruit trees. Nature 182 : 379—380.
64. Wareing, P. F. and T. A. A. Nasr 1961. Gravimorphism in trees. 1. Effects of gravity on growth and apical dominance in fruit trees. Ann. Bot. N. S. 25 : 321—340.
65. 山崎耕宇 1960. 生育条件を異にした場合の形態発生に関する基礎的研究. II. 水稻・小麦における分けつ芽の発生について. 日作紀 28 : 262—265.
66. Zimmerman, P. W. and F. Wilcoxon 1935. Several chemical growth substances which cause initiation of roots and other responses in plants. Contr. Boyce Thompson Inst. 7 : 209—229.

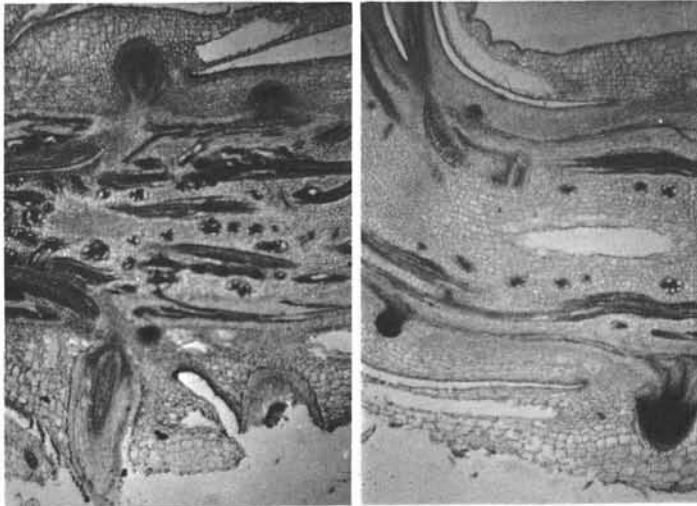


第5図 パイプ型水耕試験器B



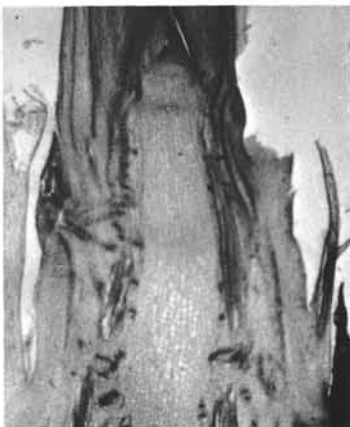
第6図 パイプ型試験器による発根試験の結果

〔注〕 1)1962年の2回目。
 2)左：水平区、右：直立区。



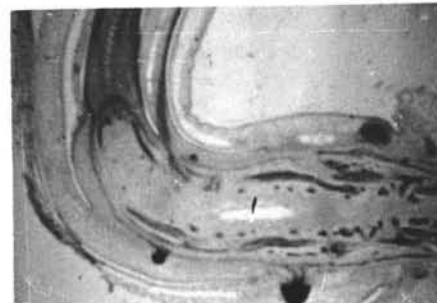
第11図 水平区の茎軸の上側と下側における根原基の大きさの比較(×28)

〔注〕 左側：第5葉節下位根原基と上位根原基(それぞれ上下に各1個)、下側の原基はすでに発根開始。右側、第6葉節の下位根原基(下側)と上位根原基(上下)。



第12図 分けつ芽の発生位置と葉節との関係(×28)

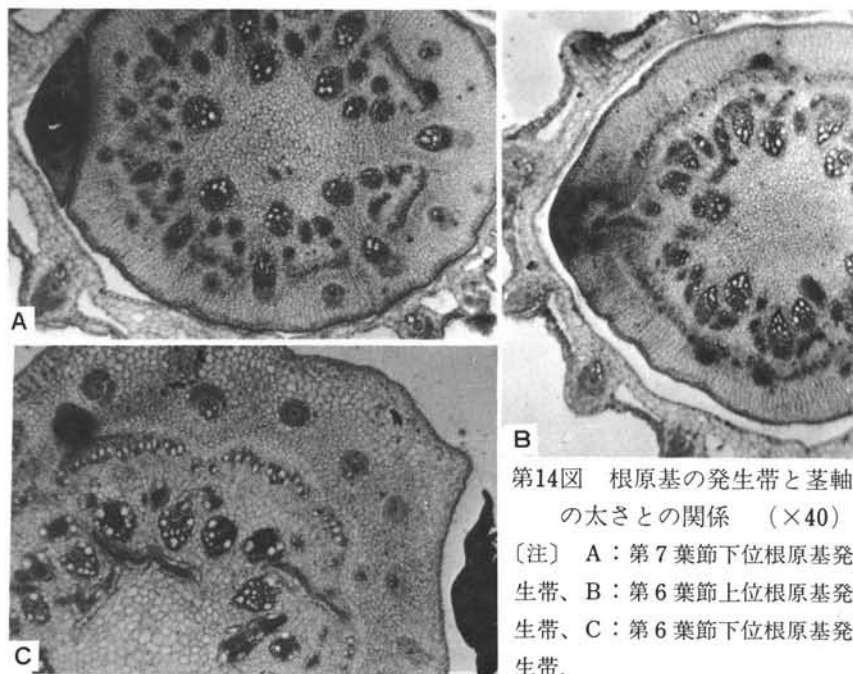
〔注〕 7.2齡時の第5・6・7・葉節の分けつ芽。



第13図 根原基の発生位置と葉との関係(×14)

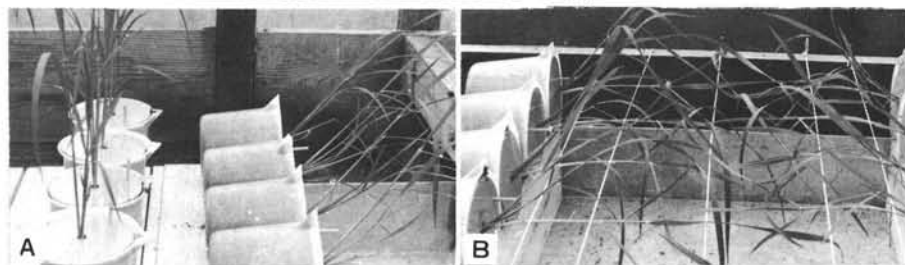
〔注〕 1)7.2齡の剪根・剪葉苗を72時間水平に置いたもの。2)下側は第6葉節下位根原基と上位根原基、上側は第5葉節上位根原基と第6葉節上位根原基。

石井：水稻の重力成形に関する作物学的研究(1)



第14図 根原基の発生帯と茎軸の太さとの関係 (×40)

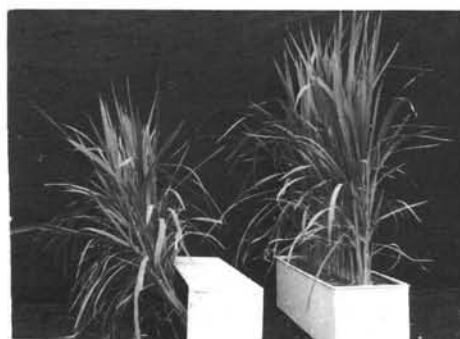
[注] A: 第7葉節下位根原基発生帯、B: 第6葉節上位根原基発生帯、C: 第6葉節下位根原基発生帯。



第16図 第5節 実験1-1の方法(直播水稻の発育に及ぼす重力の影響)



第18図 実験1-1における根の生育状態
[注] 左: 直立区、中: 水平区A、右: 水平区B。



第20図 実験1-2における30日後の生育状態

[注] 1) 左: 水平区、右: 直立区。2) いずれも断熱材とポットの蓋を除去した状態。