

水稻の重力成形に関する作物学的研究 (II)

石 井 滋 規

(奈良教育大学農学教室)

(昭和52年4月30日受理)

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

Shigeki ISHII

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

(Received April 30, 1977)

Summary

1. The rice plants planted nearly horizontally in paddy fields, began to exceed those vertically planted in the number of tillers about 15th day after transplantation; the rate of increase in the horizontal plot was especially remarkable in the late season culture. As the result, the number of ears in the horizontal plot was increased by 13% in the normal season culture, while it was up to 40% to 55% in the late season culture, with raising the number of non-productive tillers.

2. A detailed analysis on the rice stocks obtained from the above experiment showed that the horizontal plot surpassed the vertical in the ear number due to the increase of the primary tillers on the 3rd and 4th leaf nodes situated at the lower site of the stems, and the secondary tillers developed from them. According to the yield investigation on the normal season culture, the horizontal plot gained an advantage of 9% in the ear weight over the vertical.

3. When the axes of rice seedlings were inclined at angles of 60° to 90° from their vertical position, in the relatively small tiller buds on (n-4)-th and (n-5)-th leaf nodes situated at the lower site of the stems their growing was considerably accelerated, while in the larger tiller buds on the (n-2)-th or (n-3)-th node situated at the higher site their growing was retarded. This tendency in the growth of buds became marked with increasing inclination angle of the axes. But, the increase in its angle brought about an augmentation in inclination angle of leaf blades (the angle between a leaf and the axis) at the upper site and a remarkable retardation in the top growth.

The effect of gravitational stimulation on the growth of tiller buds was more noticeable in seedlings with leaves excised than in intact ones.

4. Cultivation experiments showed that the seedlings horizontally transplanted were slowed down the elongation in plant height for a time, compared with those vertically transplanted, however, the difference of plant height between them was reduced with an occurrence of crooking up of the terrestrial parts in the former. Namely, in paddy field cultivations, their difference disappeared in 20 days at latest after transplantation, and in well-drained cultivations in pots, the plant height in the horizontal plot was recovered by 92% to 94% of that in the vertical plot on the 30th day.

5. In the seedlings of the horizontal plot, the leaf emergence rate, though being slow temporally, was hastened about 10 days after transplantation, and the emergence date of higher leaves became rather early than the vertical seedlings after the 14th day or so.

The observation on the growing points of the seedlings kept horizontally for 10 days indicated that these facts resulted from the prompt differentiation of leaf primordia under the effect of gravitational stimulation.

6. In the seedlings which were putting forth the 9th leaf and cultivated in hydroponics for 6 to 9 days, a considerable elongation of the internode just beneath the 8th leaf node occurred in the horizontal plot, in which a marked geotropic reaction took place at the base of this internode, whereas its growth was not appreciable in the vertical seedlings.

According to the histological observation, pith cells forming a file in this internode of the horizontal plot were a little larger in number on the lower side than on the upper, and even on the upper side, their number was about 2.8 times as large as that in the corresponding internode of the vertical plot. At the base of the internode in the horizontal plot, the cell length along the axis was apparently larger on the lower side than on the upper, being gradually diminished its difference towards the apical part. Thus, the cell length in the horizontal plot was, on an average, twice as large as the vertical. (to be continued)

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

果樹や一部の花木の整枝・剪定に当たって、主枝の生長を促す時はこれを直立に近い状態に放置し、側枝や側花芽の発生をより多く期待する時は、主枝を水平近くに傾斜させることは広く採用されている方法である。このことに関し、従来どのような研究が行われてきたかを調べてみると、古く Vöchting (1878) は、重力方向に対する柳の枝の角度が側芽の生長に大きく関与することを見いだしているし、また Reed および Halma (1919), Halma (1923, '26) らはカンキツやナシについて、Wareing および Nasr (1961), Smith および Wareing (1964), Mullins (1965) らはリンゴや柳について、直立の枝では休眠する側芽が、傾斜した枝の上側では生長することを認めている。

上記の方法に準じた例を水稻栽培に求めれば、苗を横に植えつける横臥栽培(室資・松田, 1957)や、苗を地面に横たえたまま放置する線条植え(西内, 1962, '65, '66) および苗播き栽培(末沢ら, 1961; 木根淵・島田, 1962; 小島, 1962; 木根淵, 1963) があげられるであろう。しかしながら、これらの栽培法では、浅植え(室資・松田, 1957; 西内, 1962, '65), または稚苗の高密度な移植(末沢ら, 1961; 杉本・佐本, 1966) が原因となって、下位節分けつの発生や、株当たりまたは単位面積当たりの茎数増加が促されるとされており、重力に対する主軸の方向と分けつ発生との関係に論及しているものはない。

著者は果樹や花木の整枝・剪定法に注目して、水平植えにした水稻では直立植えよりも茎数が増加することを確かめたのち、発根試験に用いたパイプ型の水耕試験器によって、重力刺激は水稻の先端生長や上位節分けつ芽の生育を一時的に抑制するが、比較的下位節の分けつ芽に対しては著しく生育を促進する作用のあることを見いだした。

第1節 水平植えが地上部の生育に及ぼす影響

ある種の植物で横位に保たれた茎の下面では発根が促進され(佐藤, 1950, '54), また一般に、横位の茎から多数の側枝が発生するという現象を水稻栽培に応用して、苗を横植えにすれば、直

立植えに比べて活着が早く、分けつの発生も促進されて、収量増加に貢献できるのではないかと考えて次の実験を行った。

実験材料と方法

予備試験. 1958年6月18日、広さ16.5m²の圃場に高さ10cm、肩幅30cmの畦を南北に設け、葉齢6.5で分けつ未発生の苗(品種:黄金錦)を両畦肩にそれぞれ1条、15cm間隔に1本ずつ、ほぼ水平に植えた(3.3m²当たり60株)。その際、苗の基部約3cmは土中であって、上側に約1.5cmの厚さに土がかかるようにした。一方直立区では、同一面積の平地に、水平区と同じ条条間で苗を3cm挿入した。肥料としては10a当たりN:7.5kg(硫酸)およびP₂O₅:5.8kg(過りん酸石灰)のほかに、堆肥1,125kgの全量をあらかじめ均一に散布し、全層に混じておいた。出穂後25日目に落水するまでは、水平区ではほぼ畦肩近くまで水位を保ち、直立区では約3cmの深さに湛水するようにした。

成熟期に各区から30株を任意に採取し、穂数および穂重を調査した。

本試験. 1959年の普通期と晩期に地上部の生育調査を中心とした栽培試験を行い、普通期の試験では簡単な収量調査も行った。普通期では1区16.5m²の水田に高さ15cm、肩幅30cmの畦を南北に設け、6月19日に、葉齢7.0で分けつ未発生の苗(品種:黄金錦)を、畦の両肩に15cm間隔で直立または水平に植えた(3.3m²当たり72株、1本植え)。苗を土中に挿す深さは予備試験と同一にした。移植後、落水期以外はほぼ畦肩の下まで水位を保ち、施肥量は10a当たりN:10.5kg(硫酸)、P₂O₅:9.4kg(過りん酸石灰)、K₂O:9.4kg(塩化カリ)とし、うちN:1.8kgを出穂前25日に与えたほかはすべて基肥とした。

晩期栽培では7月24日に定植し、1区3.3m²のコンクリート枠を用いて、普通期と同様の畦立て栽培のほか、同一の栽植密度で、平地による試験も実施した。平地の場合には、水平区における苗と地面との角度を約20°とし、両区とも水深を約3cmに保った。供試苗は葉齢7.5で、分けつ未発生黄金錦とし、施肥量は、用土が未耕地である点を考慮して、10a当たりN、P₂O₅、K₂O各11.25kg与え、これらを全量基肥として用いた。

実験結果と考察

予備試験の収量調査の結果は第17表の通りで、水平区は直立区より穂数で24%、穂重で9%優

第17表 予備試験における収量調査

試験区	穂数	株当穂重(g)	1穂重(g)
直立植え	12.3	40.50	3.16
水平植え	15.5	44.12	2.85
増加率(%)	24.4	8.9	-9.8

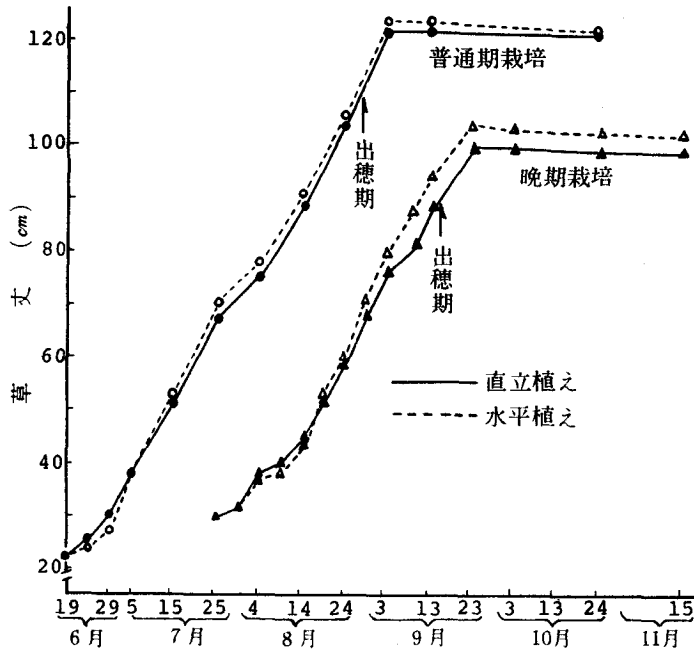
〔注〕直立植えは平地に、水平植えは畦立て後に移植。

ったが、1穂重では10%劣ることとなった。しかしこの試験では、直立区と水平区の整地状況が異なっていたので、上記の結果を直ちに水平植えの効果と判定することは困難であった。

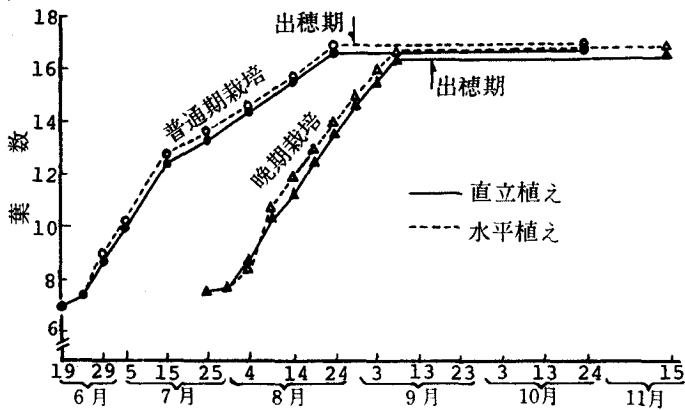
本試験では両区の整地のし方を同一にし、かつ、予備試験では省略した生育経過の観察を行った。

その結果、水平区の水稲は定植後、普通期栽培では7~10日、晩期栽培では5日ではほぼ完全に地上部

を立ち上がらせるが、普通期・晩期ともに、草丈では10~20日間、主稈葉数では5~10日間、水平区が直立区に劣る傾向があった(第21図および第22図)。その後草丈・出葉数ともに畦立て栽培では水平区がやや優ったが、平地栽培では草丈の差は認められず、ただ出葉数のみはその傾向を示した。なお、晩期栽培で平地と畦立てとを比較すると、草丈・出葉数ともに前者がやや優っていた。

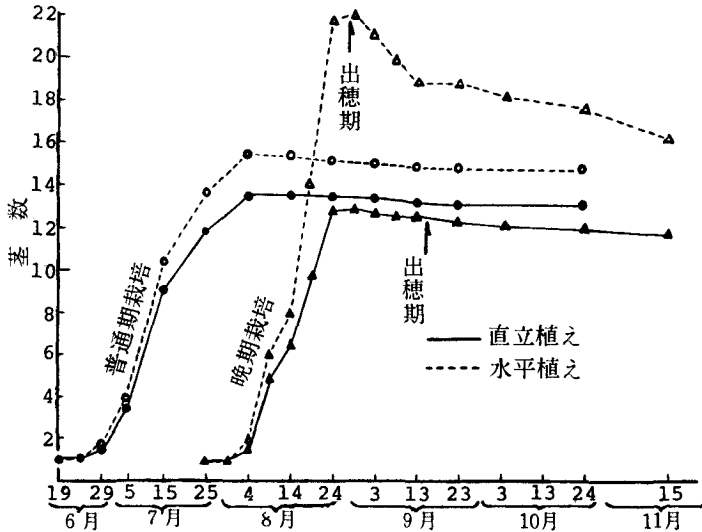


第21図 草丈の推移 (畦立ての場合)



第22図 主稈葉数の変化 (畦立ての場合)

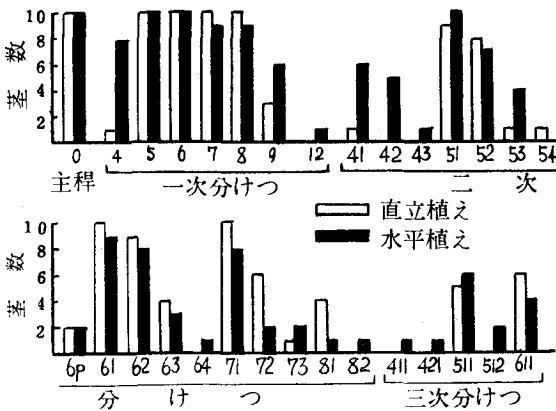
次に、第23図によって茎数の推移をみると、普通期・晩期栽培ともに水平区が明らかに多く、とくに晩期ではその差が顕著であった。すなわち、普通期栽培では定植後15日目頃から水平区の茎数が直立区より優り始め、最高分けつ期（8月4日頃）には14%増となって、その後成熟期までこの差が持ち越された（第18表）。晩期栽培では10日目頃から水平区の茎数が直立区より多くなるが、この差はその後急速に拡大されて、最高分けつ期（8月24日頃）には73~77%の増加率を示すようになった。水平区ではその後無効茎となるものが多かったが、それでもなお、水平区の穂数は畦立てで39%、平地で59%大であった。なお、晩期栽培の畦立てと平地とを比較すると、水平区については差がなく、直立区については畦立てが優る傾向を示した。



第23図 茎数の推移 (畦立ての場合)

第18表 最高分けつ数および有効分けつ数の比較

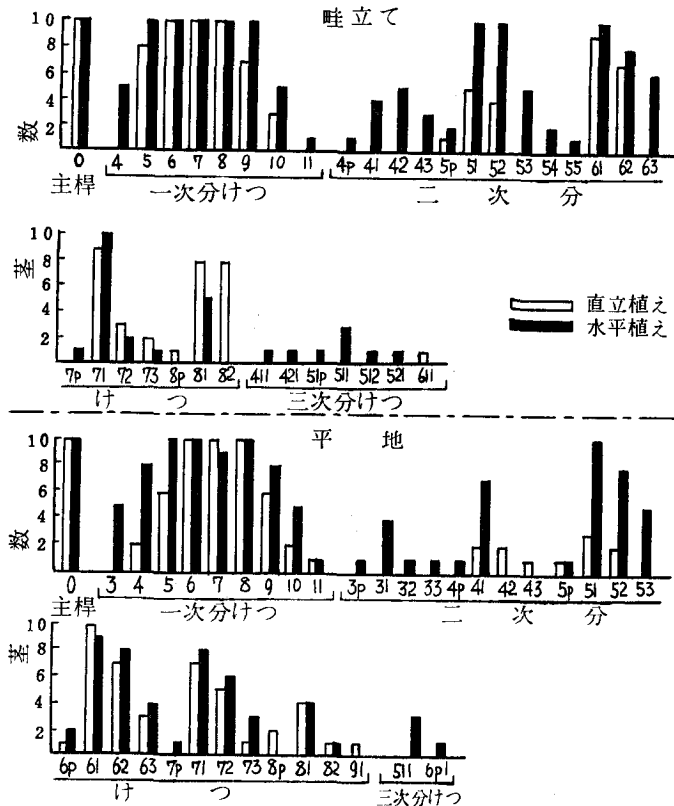
調査項目	普通期		晩期			
	畦立て		畦立て		平地	
	直立	水平	直立	水平	直立	水平
最高分けつ数	13.5	15.4	12.8	22.1	12.5	22.1
同指数 (%)	100	114	100	173	100	177
穂数	13.0	14.7	11.6	16.1	10.7	16.8
同指数 (%)	100	113	100	139	100	157
有効茎歩合 (%)	96.3	96.1	90.6	72.9	85.6	76.0



〔注〕 分けつの記号は片山(1952)の表記法に従う。例えば、41とは4号分けつ(主稈第4葉節から発生した一次分けつ、記号では4)の第1葉節から発生した二次分けつを表す。pはprophyll節から生じた分けつ、第25図も同様。

第24図 普通期栽培における節位別有効茎数 (10株の合計)

水平区における茎数増加の要因を探るために、各区から任意に10株を選んで節位別の有効茎数を求めてみると(第24図および第25図)、普通期・晩期栽培ともに、水平区は直立区に比し、一次分けつでは下位節および上位節の有効化率が高く、二次・三次分けつでは、下位節の一次分けつから生じた有効茎数の多いことが見いだされた。逆に直立区では、中～上位節の一次分けつから生じた二次分けつの数が比較的多かった。三次分けつは僅かであったので、結局、水平区の穂数増加は主して比較的下位節の一次分けつと、これに基づく二次分けつの数が多くなることによってもたらされていることが確認された。



第25図 晩期栽培における節位別有効茎数 (10株の合計)

晩期栽培では生育末期にウンカが多発し、収量調査を中止せざるをえなかったため、普通期栽培の結果のみを第19表に示す。この表によれば、水平区は直立区に比し平均1穂重ではやや劣っているが、穂数の多いことによって、株当たり穂重は9%増となっていることが知られる。

以上の結果を要約すれば、水平植えにした水稻は定植後しばらく草丈の伸長を抑制されるが、その後は直立植えと同等か、あるいはやや優れた生育を示すこと、一方、茎数では早くから直立植えに優り、とくに、普通の直立植えでは休眠しやすい4号ないし3号分けつと(松尾, 1950; 片山, 1952; 松島, 1960), これから

第19表 普通期栽培における収量調査

試験区	1穂重 (g)	株当穂重 (g)
直立植え	3.24	42.07
水平植え	3.11	45.69
増加率(%)	-4.0	8.6

生ずる二次分けつが有効化することによって、明らかに穂数の増加することが確かめられた。また収量に関しては、水平植えは平均穂重では若干劣るけれども、1株当たり穂重で約1割増収となる可能性のあることが示された。ただ、水平植えは、上述の晩期栽培の結果のように、無効茎歩合を著しく高めるおそれがあり、一方、穂数の増加ほどには株当たり穂重を増大しないなどの短所を有している。またこれに、梅景ら (1966) の認めているような、横植えにされた水稻では不稔歩合が高くなるという傾向が加わるならば、玄米収量の増大率は一層低下するかも知れない。

しかしながら、水稻の水平植えは上記のような欠点を有するとしても、生育初期の茎数増加は収量増大の重要な要因であり、また梅景ら (1967) の報ずるごとく、上記の欠点を栽培技術、とくに施肥法の改善により補足するならば、水平植えを増収の積極的な技法にすることは十分可能と考えられる。また労力を別にすれば、有効茎歩合、稔実歩合、および1,000粒重を増大させる目的で、有効茎数確保後に培土 (嵐, 1952; 星, 1954) を併用する時は、さらに増収の効果をあげることができるであろう。

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

前節で認められた、水平植えによって直立植えよりも分けつ数が増加されるという現象には、重力の影響が関与しているであろうと考え、発根試験と同じパイプ型水耕試験器を用いて、水稻苗の主軸の方向と分けつ芽の生長量との関係を検討した。

実験材料と方法

実験1. 1962年8月、第1章第2節の発根試験に供試した材料を同時に、分けつ芽の生長量を観測する材料となした。すなわち、第1回目には葉齢9.1、第2回目には同10.2の分けつ未発生苗 (品種: 黄金錦) を剪根し (この操作は発根試験のために行われた)、パイプ型水耕試験器A (石井, 1976) で6日間培養したのち、FAAで固定貯蔵し、各葉節の分けつ芽長を実体顕微鏡下で測定した。なお、1区の個体数は25とした。

実験2. 実験1では重力に対する主軸の方向以外はすべて条件を同一にしたが、実験2では苗の種類と水平区における葉序面の方向を条件に加え、これらが重力の影響とどう関わり合うかを検討した。そのために1965年7月、葉齢8.3、分けつ未発生苗 (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パイプ型水耕試験器B (石井, 1976) に取りつけ、木村氏B液で6日間培養した。水平区はさらに、両側に展開した葉の中肋を結ぶ葉序面がほぼ垂直になるようにした水平区Vと、本研究における普通の処理法のように、それがほぼ水平になるようにした水平区Hとに分けた。水平区Vでは偶数葉節の分けつ芽が主茎の下側にあるようにし、各区とも10個体を供試した。

実験結果と考察

実験1の結果は第20表に示す通りで、水平区の分けつ芽長はほぼどの節位においても直立区より大で、とくに1回目の試験では第5葉節、2回目の試験では第5～第8葉節においてこの傾向が顕著であり、これらについては1%水準で有意の差を認めた。

次に、実験2で行った一部の剪根は、直立・水平両区の第5～第7葉節における分けつ芽の生長を著しく抑制し、とくに第6・第7葉節では、その影響が強く現れて、分けつ芽長が無剪根苗のほぼ1/3～1/2となった (第21表および第26図)。これに対し、無剪根苗を直立位から水平位に

第20表 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 (実験1) (単位 mm)

試験番	試験区	葉 節								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
1回目	直 立	0.70	1.06	1.97	12.79	16.88	1.50	0.68	0.26	—
	水 平	0.79	1.23	2.52	22.09**	13.65	1.66	0.81	0.31	—
	増加率(%)	13	16	28	73	-19	11	19	19	—
2回目	直 立	0.70	0.96	2.62	5.34	11.51	10.86	2.14	1.00	0.51
	水 平	0.72	1.13	2.99	12.56**	26.91**	17.08**	3.02**	1.04	0.54
	増加率(%)	3	18	14	135	134	57	41	4	6

(注) 1) 処理開始時の葉齢: 1回目は9.1, 2回目は10.2. 2) **: 1%水準で有意差.

移すと、大抵の節で分けつ芽の生長が促進されるが、各葉節中最大の分けつ芽を有する第6葉節では、逆に水平区の生長が著しく抑制され、直立区の約1/3の長さとなった。一方剪根苗でも、第5葉節以下の分けつ芽長はいずれも水平区において優っていたが、第6葉節のみは直立区の1/2~1/3となり、第7葉節以上では明らかな傾向を認め難かった。無剪根苗および剪根苗の両方を通じて、水平区の分けつ芽が生長を促進される率は第4葉節および第5葉節で最大となり、また、水平区における第5葉節以下の生長促進率は、無剪根苗よりも剪根苗において大であった。

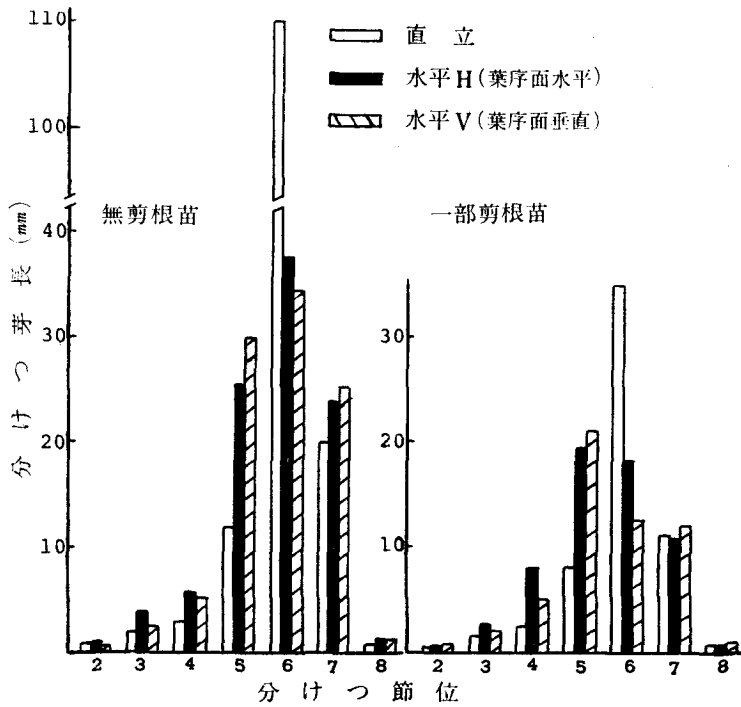
主軸を水平にする時、葉序面をも水平にした場合(水平区H)とこれを垂直にした場合(水平区V)とを比較すると、処理期間中比較的大きな生長力を有していたと見られる第4~第7葉節では、水平区Vの主茎の上側に位置していた分けつ芽(奇数葉節)は、水平区Hの対応する節位のそれよりも長く、逆に、水平区Vの主茎の下側に位置していた分けつ芽(偶数葉節)は、対応する水平区Hのそれよりも短いことが見いだされた。しかし、最上位節と下位の第3葉節以下では、葉序面の方向と分けつ芽の生長量との間に一定の関係が認められなかった。

これらの結果を総合すると、重力刺激によって分けつ芽の生長が強く促進される節位は必ずし

第21表 剪根および葉序面の方向と重力が分けつ芽の生長に及ぼす影響との関係(実験2) (単位 mm)

剪根程度	試験区	葉 節							
		2	3	4	5	6	7	8	
無剪根	直 立	0.9	2.0	3.0	11.8	109.9	19.9	0.8	
	水 平 H	1.0	4.0	5.7	25.4	37.5	23.8	1.2	
	増加率(%)	11	20	90	115	-66	20	50	
一部剪根	水 平 V	0.6	2.5	5.2	29.9	34.3	25.1	1.1	
	増加率(%)	-33	25	73	153	-69	26	38	
	直 立	0.5	1.6	2.5	9.1	35.0	11.2	0.8	
一部剪根	水 平 H	0.7	2.7	8.0	19.5	18.4	10.6	0.8	
	増加率(%)	40	70	220	141	-47	-5	0	
	水 平 V	0.8	2.0	5.0	21.0	12.5	12.0	0.9	
増加率(%)	60	25	100	159	-64	7	13		

(注) 1) 処理開始時の葉齢: 8.3. 2) 水平H: 葉序面を水平にした水平区, 水平V: 葉序面を垂直にした水平区(偶数葉位を下).



第26図 剪根および葉序面の方向と重力が分けつ芽の生長に及ぼす影響との関係 (実験2)

も一定しているとはいえず、抽出中の葉位を n とすれば、実験1では $(n-5)$ 葉節、または $(n-3) \sim (n-6)$ 葉節となり、実験2では $(n-4) \sim (n-5)$ 葉節となっている。すなわち、重力の影響が最も広範に及ぶ時は $(n-3) \sim (n-6)$ 葉節の、最も狭い時は $(n-5)$ 葉節の分けつ芽が生長を促されることになる。これとは反対に、 $(n-3)$ 葉節または $(n-4)$ 葉節の分けつ芽は生長を抑制されることもあり、結局、処理開始時の分けつ芽の状態によって、その生長が促進されるか、抑制されるかが決定されるものと思われる。つまり、分けつ芽がすでにある大きさに達し、かつ急速な生長期にある時は、重力刺激によりその生長が強く抑制されるのに比し、發育をやや阻害されながら、なお生長能力を残している中～下位節の分けつ芽は、逆に、重力刺激によって急速な生長を誘起されるものと考えられる。よく發育した苗では、 $(n-3)$ 葉節の分けつ芽は第1葉を抽出して、すでに分けつの段階に達し、 $(n-2)$ 葉節の分けつ芽は第1葉抽出直前にあって (片山, 1952)、いずれも急速な生長を行っているので (関谷, 1953, '58)、重力刺激を受けた場合には、生長を強く抑制されるであろう。しかるに、本実験に供試した苗では、全般的に分けつ芽の發育状態が不良であったために、その刺激によって生長を抑制される分けつ芽が少なく、またその節位も、正常な苗よりさらに低下したものと考えられる。

西川および花田 (1959)、花田 (1965) らは、水稻の分けつ芽は、苗の密植度が高い時ほど早く生長を停止するが、密植により生育を停止すべき葉節の分けつ芽が、苗の間引きによって生長を継続しうる限界期は、 $(n+1) \sim (n+2)$ 齡であると報告している。これと比べれば、重力刺激は著しく下位節の分けつ芽に対して生長励起の効果を有することになり、このことが、前節の栽培試験における、水平区では下位節の一次・二次分けつが有効化しやすいという事実の原因になっているものと考えられる。

なお、実験2において、水平区の中～下位節における分けつ芽の生長促進率が、無剪根苗よりも剪根苗でより大となった事実は、発根の場合と同様に、重力による分けつ芽の生長促進も、苗の先端生長の抑制と密接に関連して行われることを示すものと考えられる。

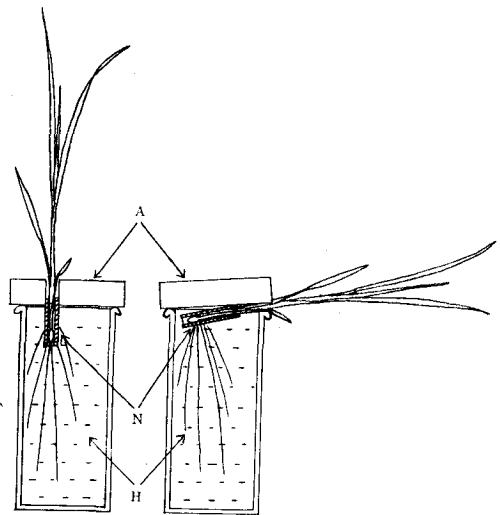
次に、実験2で水平区の葉序面を垂直にした時、第4～第7葉節の範囲では、分けつ芽が主茎の下側よりも上側に位置する場合に速やかに生長するという事は、横位の果樹や柳の枝で、上側では側芽がよく発生し、下側では発生し難い (Reed and Halma, 1919; Halma, 1923, '26; Wareing and Nasr, 1961; Smith and Wareieg, 1964; Mullins, 1965) という事と類似した現象で、その原因には次のことが関与しているものと思われる。すなわち、水平位の茎の下側ではオーキシン濃度が高く (Dolk, 1930; Navez and Robinson, 1933; Boysen-Jensen, 1936; Van Overbeek et al. 1945; Gillespie and Thimann, 1963; Goldsmith and Wilkins, 1964; Lyon, 1965), また、高濃度のオーキシンは側芽の生長を抑制する (Laibach, 1933; Thimann and Skoog, 1933, '34; Thimann, 1937; Delisle, 1937; Gunckel and Thimann, 1949; Titman and Wetmore, 1955; Wickson and Thimann, 1958, '60) という一般的性質である。しかしながら、直立区と葉序面を水平にした水平区の生長量とを比較する時、水平区における分けつ芽の生長をオーキシンの非対称分布によってのみ論ずることは不可能となる。したがって、これらの現象には、従来明らかにされていない、新たなオーキシン機作が関与してい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葉の生長、出葉、および葉原基分化に及ぼす影響

本章第1節の栽培試験において、水平植えにした水稻では直立植えのものに比し、移植後しばらく草丈と葉数の増加速度が劣るが、地上部の屈起後は生育の遅れを取り戻して、草丈は直立植えと同等以上になり、出葉数もやや優る傾向のあることが認められた。その原因として、主軸が一時的に水平位にあること自体が大きく関与しているのではないかと考えられたので、すでに第1章第5節でも若干触れたところではあるが、改めて本節で検討することとした。なお、出葉と葉原基分化との間には一定の関係があり、この点に関してはすでに猪ノ坂 (1954, '62), 西川および花田 (1959), 山崎 (1960, '63) らが、また出葉と分けつ芽の分化との関係については関谷 (1958), 猪ノ坂 (1962) らが報告しているが、いまだ重力との関連に触れたものはないので、この点も併せて検討した。

実験材料と方法

実験1の1. 第1章第5節における実験1の1 (1963年5月実施) の材料について、処理開始後3日ごとに15日目まで、主稈および分けつの長さとお出葉数とを調査した。この材料は、乾田状態の小ポットに直播した葉齢5.9～6.0の苗 (品種: 農林29号) を



第27図 実験1-2の試験方法

〔注〕 A: 断熱用発泡スチロール, H: 水耕液,
N: サランネット。

ポットごと水平に倒したのち、一部は地上部を自由に屈起させ (水平区 A)、一部はこれを機械的に抑制した (水平 B 区) もので、各区 12 個体を供試し、直立区の生育状態と比較した。

実験 1 の 2. 別に 1966 年 6 月、葉齢 4.0 の水耕苗 (品種: 水稻農林 17 号) を無剪根のまま、幅 3cm、長さ 36cm のサラシ・ネット 2 枚で 3cm 間隔に挟み、木村氏 B 液を満したホロー製ポット (断面 5×13cm) に漬け、厚さ 2cm の断熱材を利用して第 27 図のように処理した。直立・水平両区とも苗の基部 2cm が水中に漬かるようにしたが、水平区の基部は水面に対し約 10° の仰角をもっていた。3 日ごとに水耕液を全部更新し、その間は毎日減量分を補給した。処理開始後 1 週間目ごとに 3 回、各区から 12 個体ずつ採取して草丈、出葉数等を調査した。

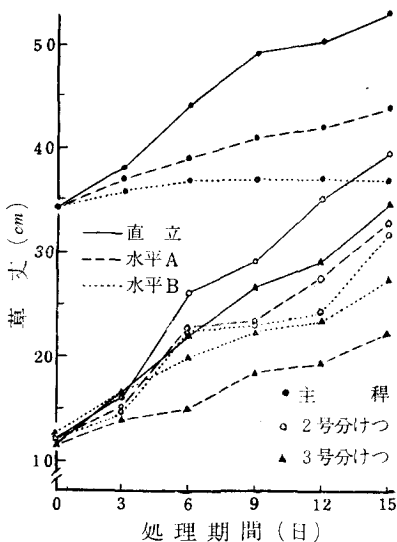
実験 2. 第 1 章第 3 節の実験 1 (1963 年 10 月実施) で根原基観察の対象とした材料、すなわち葉齢 7.1、分けつ未発生の無剪根苗 (品種: 水稻農林 29 号) をパイプ型試験器 A で 10 日間処理した個体について、主茎および第 5 葉節以上の分けつ芽における葉原基の分化程度を比較した。検鏡に先立って、1 区につき縦断および横断のパラフィン切片をそれぞれ 10 個体分作製し、そのうちの優良な切片半数を抽出して観察に当てた。

なお著者は、分けつ原基または分けつ芽の着生節位についても、根原基または根の発生節位と同様に、Evans および Grover (1940), Sharman (1942), 川田ら (1963) の基準に従って分類すべきであると考え、ここでは現在一般的に用いられている基準に従った。すなわち、n 葉節の分けつ芽とは、n 葉と発生的に対になっている分けつ芽ではなく、n 葉のいわゆる葉腋部に認められる分けつ芽のことである。

実験結果と考察

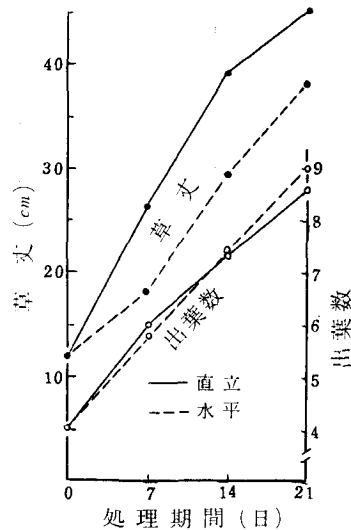
(1) 葉の生長

第 28 図および第 29 図に示すように、実験 1 の 1 (土耕) と 1 の 2 (水耕) の両方において、水



第 28 図 実験 1-1 における草丈および分けつ長の推移 (土耕)

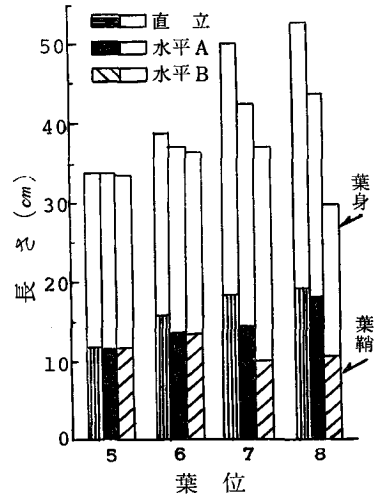
[注] 水平 A: 地上部を自由に屈起させた場合、水平 B: これを抑制した場合。



第 29 図 実験 1-2 における草丈および出葉数の推移 (水耕)

平区の草丈は直立区のそれより明らかに短く、とくに土耕試験では9日目まで、水耕試験では7日目頃までの差が拡大される傾向にあった。水平区の地上部が屈起するにつれて、その差は平行状態となるか、縮小される傾向を示すが、この屈起を抑制した土耕試験の水平区Bでは、6日目以降草丈の伸長が認められなくなった。土耕試験では、分けつの長さにおいても水平区が劣ったが、水平区Bは地上部の屈起を抑制しなかった水平区Aに比し、第2号分けつでは伸長を抑制され、第3号分けつでは逆に促進された。これは、水平区Bの地上部に対する屈起の抑制方法が不完全で、遅れて生長する第3号分けつは比較的自由に起ち上がることができ、かつ、主茎および第2号分けつの補償作用を受けたためと考えられる。なお水耕試験でも、14日目頃から両区に若干の分けつが発生したが、土耕試験とはほぼ同様な傾向を示した。

処理終了時に調査した葉鞘長および葉身長は第30図および第22表のごとくで、草丈の劣る区ほど葉長も短かった。そのうち葉鞘長は、処理開始期の最上位展開葉すでに区間差を示し、その後最初に出現する葉でこの差が最大となるが、土耕試験の水平区Bおよび水耕試験では、第2番目の葉についても同程度の差が認められた。



第30図 実験1-1における処理後の葉鞘長および葉身長
〔注〕 1) 第6葉展開期の苗を15日間処理. 2) 水平Bは地上部の屈起を抑制した場合.

第22表 実験1-2における処理後の葉鞘長および葉身長 (単位 cm)

試験区	5 葉		6 葉		7 葉		8 葉	
	葉 鞘	葉 身	葉 鞘	葉 身	葉 鞘	葉 身	葉 鞘	葉 身
直 立	9.57	13.69	11.64	16.90	15.38	24.03	17.14	27.38
水 平	6.80	11.44	8.50	13.31	12.39	16.66	14.33	21.18
指 数 (水平/直立)	71	84	73	79	81	69	84	77

〔注〕 葉齢 4.0 の苗を21日間処理.

一方葉身長においては、土耕試験では第2番目に、水耕試験では第3番目に出現する葉が最大の区間差を示した。

以上のごとく、水平区において葉身の伸長が強く抑制される葉位と葉鞘のそれとの間に約1葉のずれがあるのは、それらの急速な生長期が1葉ずれている(川原ら, 1968)ため、その急速生長の時期に主軸が水平位にあった葉ほど、伸長を強く抑制されるものと考えられる。したがって、第22表において、直立区に対する水平区の葉鞘・葉身長の比が最小となったあと、その上位の葉ではやや比が大きくなるのは、それらの葉は、主軸がすでにある程度屈起した時に生長したことを示すものと見られる。なお、水耕試験の水平区が土耕試験の水平区Bにやや似た傾向を示したのは、苗の基部約4cmが終始水平近く倒されたままであったためと考えられる。

本実験では処理開始後、最大3週間の結果しか明らかにできなかったが、第1章第5節に示す30日後の結果では、水平区は直立区の92% (直播)~94% (移植)まで草丈を回復している。これ

らの事実から、水平区では一時草丈の伸長が著しく抑えられるが、地上部の屈起に伴って次第に草丈を増大し、生育後期には直立区にほぼ匹敵する大きさに達すると結論できよう。なお、本章第1節に示した圃場および鉢試験では、移植後30日目の草丈が水平区で優る傾向を示したが、これには水平植えに伴う浅植えの影響などが関与しているものと考えられる。

(2) 出葉数

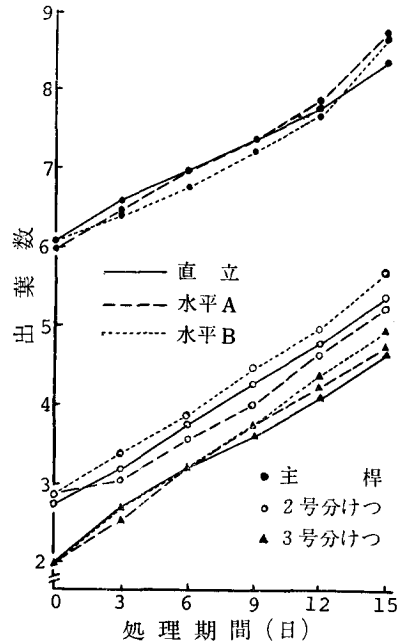
出葉数については興味ある事実が見いだされた。まず主茎では、処理開始後およそ1週間、直立区の出葉数が水平区のそれをやや上回るが、その後、後者の出葉速度が優って、土耕試験では15日目(第31図)、水耕試験では21日目(第29図)の出葉数は、直立区よりも水平区で0.3多くなった。次に分けつについて見ると(第31図)、第2号分けつは6~9日頃まで、第3号分けつは3日頃まで水平区の出葉速度が劣る傾向にあるが、その後やや速度を増して、15日目における水平区の出葉数は、同区Aの第2号分けつを例外として、直立区に若干優ることとなった。水平区Bの第2号分けつは、処理開始時すでに直立区よりやや多い葉数を有していたが、処理前後の差から判断して、以上のごとく結論できるものと見られる。なお、第1章第5節において、ポットに直播または移植した苗を30日間処理した場合にも、水平区の出葉数は直立区より0.2進んでいた。

以上の結果から、水平区では主茎・分けつともに一時出葉速度が低下するが、その後これを速めて、10~14日目以降の出葉数は直立区よりやや多くなる傾向があるといえよう。またこのことから、本章第1節の栽培試験において、水平区の出葉数が移植後10~14日目から直立区にやや優れたことも、重力の影響によるところが大きいと考えられる。

(3) 葉原基分化速度

この実験に供試した材料は処理開始期ほぼ次のような発育段階にあった。ただし、この観察に当たった材料は葉齢7.2で、実際に供試した材料よりも0.1葉齢が進んでいたもので、後者は以下のステージより僅かに早い段階にあったものと見られる。

処理開始期頃に、主茎の生長点を縦断面で観察すると、第11葉原基が生長円錐を半ば以上包むフード状に生長し、中肋と反対側の葉縁部突起に隣接する tunica 細胞は、垂層分裂 (anticlinal division) と並層分裂 (periclinal division) を開始して、すでに第12葉原基を分化し始めていることが認められた(第32図—第3図版)。また横断面では、第11葉原基の葉縁部は生長円錐の基部をほとんど完全に包むまでに発達し、その近傍に第12葉原基がかすかに膨起していた(第33図—第3図版)。一方、分けつ原基は第10葉節で初めて判別された。すなわち、第10葉中肋側の茎軸内部で並層分裂が進行しているので、分けつ原基の細胞分裂がすでに開始されていたと見られる(第34図—第3図版)。第9葉節では分けつ原基が緩やかな隆起をなし(第35図—第4図版)、第8葉節では明確な突起を呈するにいたるが、いまだ prophyll の分化は認められず、分けつ芽としての形態を整えるまでにはいたっていない(第36図—第4図版)。第7葉節では原基が急速に



第31図 実験1-1における葉数の増加度(土耕)

發育して **prophyll** および第1葉を分化し、完全な分けつ芽となっている (第37図—第4図版)。以下、第6葉節 (第38図—第4図版) では第2葉が、第5葉節では第3葉が分化し、いずれも、横断面で生長点を $2/3$ 以上包むまでになっていた。

以上のような發育段階にあった苗を10日間処理したのちの葉齡は、直立区では8.10、水平区では7.95であったが、前者の主茎では第12葉原基が生長円錐と同じ高さに達した程度で、第13葉原基の分化ははまだ始まっていなかった。これに対し、水平区では第12葉原基が完全なドーム状を呈し、第13葉原基は分化初期の段階に達していた (第39図—第4図版)。

分けつ原基の細胞分裂は第11葉節から初めて認められ (第40図—第5図版)、第10葉節では緩やかな隆起に (第41図—第5図版)、第9葉節では明確な突起に発達するが (第42図—第5図版)、これらのいずれについても区間差は認められなかった。第8葉節では両区とも原基が急速に発達して分けつ芽の形態を整えるが、水平区は明らかに直立区より大で、前者では、後者に認められなかった。第2葉原基の分化が確認された (第43図—第5図版)。第7葉節では両区とも第2葉が生長点をドーム状に包み、第3葉原基の細胞分裂も開始されていたが、第2葉の伸長量は水平区でやや優っていた (第44図—第5図版)。第6葉節においては、直立区では最上位葉として第3葉原基が分化發育中であるが、水平区では第3葉葉縁部の内側に、第4葉原基を分化しているのが認められた (第45図—第6図版)。同様に第5葉節では、直立区は第4葉原基の分化初期にあり、水平区は第5葉原基の分化を開始していた。

西川および花田 (1959)、猪ノ坂 (1962)、山崎 (1963)、川原ら (1968) は水稻の最上位展開葉、あるいは抽出葉の内側には4枚の幼葉ないし葉原基が含まれると報告しているが、本実験からもおおむねこれに類似する結果が得られた。しかし、精細に検討すれば、直立区では抽出初期の第9葉の内側に3枚の、水平区では展開を終えた第8葉の内側に5枚の、幼葉ないし葉原基がそれぞれ含まれていることになる。すなわち、水平区では直立区に比し、主茎の出葉量は若干劣っているにもかかわらず、葉原基の分化度は逆に進んでいることになる。

これに対し、第11葉節から第9葉節にいたる分けつ原基の發育度には区間差が認められなかった。外部条件が分けつ原基の發育に及ぼす影響については、全暗黒のような極端な場合 (柿崎, 1960) を除き、一般的な条件は原基の発生にとくに影響を与えないという報告があるが (西川・花田, 1959; 山崎, 1960)、このことは重力に関しても共通した現象と見られる。一方、分けつ原基が急速に発達して分けつ芽としての形態を備える節、すなわち第8葉節以下になると、おおむね各節とも、水平区の葉原基分化が増進されていた。ただ第7葉節では、最上位の第3葉原基の發育度には区間差なく、第2葉の發育のみが水平区でやや促進されていた。

以上の結果から、本節の実験1において、水平区では一たん出葉速度が低下するが、2週間経つ頃から、逆に出葉数が多くなるにいたった理由は、主軸が水平位にある間、主茎および分けつ芽の葉原基分化の速度が増進されたためであろうと推察される。

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

水稻の栽培において移植時に主軸を水平にするためには、西内 (1962, '65) の提唱する線條植えのように、苗を横倒しのまま地面に放置するか、本章第1節に述べたように、畦立てを行い、その肩に植えるかする必要がある。前者は省力的な方法ではあるが、当初、根部が地表面に露出するので活着が遅れ、生育後期には、極端な浅根のために倒伏しやすい欠点がある。一方、後者は畦立てのために多大の労力を必要とするので、実際的には、平坦な地面に苗をできるだけ寝か

せて植えるのが便利ということになる。その際、苗はある程度斜向せざるをえないので、重力刺激が下位分けつ芽の生長に対して促進的な影響を及ぼしうるためには、苗の主軸を、直立方向からどの程度まで傾斜させればよいかについて検討を行った。

実験材料と方法

第1章第4節で処理した各区20個体のうち、発根量の調査に当てた残りの材料、すなわち各区10個体について、節位ごとの分けつ芽長を实体顕微鏡下で測定した。この材料は1965年11月、葉齢8.1、分けつ未発生の苗(品種: 水稻農林17号)を剪根し、パイプ型水耕試験器Aを用いて0°(直立)、30°、60°、および90°の4区に分け、10日間培養したものである。

実験結果と考察

処理前後の地上部の生育状態は第23表のごとくで、第9葉と第8葉葉鞘は、主軸が60°以上傾

第23表 主軸の傾斜角度が地上部の生育に及ぼす影響

試験区	時 期	葉 齢	7葉葉鞘長 (cm)	8葉葉鞘長 (cm)	9葉抽出長 (cm)	生 体 重 (g)
0°	処 理 前	8.06	14.8	13.4	1.3	0.98
	処 理 後	8.62	15.5	15.0	16.3	1.49
	増 量	0.56(100)	0.7	1.6(100)	15.0(100)	0.51(100)
30°	処 理 前	8.09	15.1	13.6	2.0	0.99
	処 理 後	8.65	15.1	15.5	17.3	1.49
	増 量	0.56(100)	0	1.9(119)	15.3(102)	0.50 (98)
60°	処 理 前	8.07	15.2	13.5	1.3	0.98
	処 理 後	8.52	15.2	14.9	14.3	1.59
	増 量	0.45 (80)	0	1.4 (88)	13.0 (87)	0.61(120)
90°	処 理 前	8.06	15.2	13.4	1.0	0.99
	処 理 後	8.48	15.2	14.3	13.1	1.57
	増 量	0.43 (77)	0	0.9 (56)	12.1 (81)	0.58(114)

〔注〕 1) 生体重は処理前では剪根直後に、処理後では新根着生のまま測定。2) カッコ内は指数を示す。

第24表 主軸の傾斜角度が分けつ芽の生長に及ぼす影響 (単位 mm)

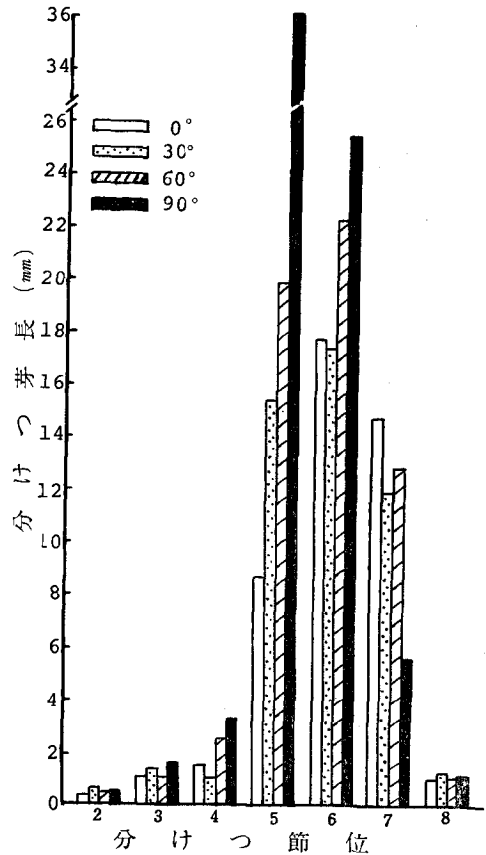
試験区	葉 節						
	2	3	4	5	6	7	8
0°	0.38	1.06	1.50	8.68	17.71	14.75	0.99
	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
30°	0.59	1.38	1.00	15.44	17.38	11.92	1.35
	(155)	(130)	(67)	(177)	(98)	(81)	(136)
60°	0.44	1.02	2.50	19.86	22.29	12.84	1.13
	(116)	(96)	(167)	(229)	(126)	(87)	(114)
90°	0.53	1.60	3.33	36.08	25.43	5.63	1.13
	(139)	(151)	(222)	(416)	(144)	(38)	(114)

〔注〕 1) カッコ内は指数を表す。 2) 処理開始時の葉齢: 8.1。

斜すると明らかに伸長を抑えられ、また傾斜角度が大きい時ほどこの傾向が強かった。しかし、30°の傾斜では葉の伸長はとくに抑制されず、第8葉葉鞘長は若干増大する傾向さえ示した。生体重の増加は、新根形成量の多少(第1章第4節参照)とも関連していると見られるが、60°区が最大で、90°区がこれに次ぎ、0°区および30°区の間には差がなかった。

処理終了後の各分けつ芽長は第24表および第46図のごとくで、30°区では処理の影響が明らかでなかったが、60°以上傾斜した区では、第7葉節を除き、おおむね分けつ芽の生長が促進された。とくに第5葉節と第4葉節においては生長が強く促進され、かつ、60°区よりも90°区においてその傾向が顕著であった。この両節に次いで、第6葉節においてもほぼ類似した傾向が認められたが、第7葉節では逆に主軸を傾斜した区が抑制され、とくに90°区では抑制率が大きかった。なお、90°区では第2・第3葉節の分けつ芽も、指数的には明らかに生長を促進されているが、実数値が小さいので、実際的にはほとんど問題にならないと考えられる。

以上の結果を総合すると、主軸を直立方向から傾斜させる際、30°では分けつ芽の生長はとくに影響を受けないが、60°~90°の傾斜は(n-4)葉節と(n-5)葉節の分けつ芽の生長を強く促進し(ただし、nは抽出中の葉位)、これに次いで(n-3)葉節のそれを促進することになる。逆に、(n-2)葉節の生長は主軸の傾斜によって明らかに抑制され、かつ、それらの傾向は傾斜角度が大きい時ほど顕著であった。さらに、実数値を別にすれば、90°区では(n-6)葉節でも高い生長促進率が得られているので、これを上記の節に加えると、(n-3)~(n-6)葉節が主軸の傾斜によって分けつ芽の生長を促される範囲となり、これらの節位は、本章第2節で得られた、水平区において最も広範に生長が促進された場



第46図 主軸の傾斜角度が分けつ芽の生長に及ぼす影響

第25表 重力刺激により分けつ芽の生長が促進または抑制された節位

処理期間	苗および試験の種類	促進された葉節	抑制された葉節
6日	剪根 1回目 2回目	(n-5)	(n-4)
		(n-3)~(n-6)	なし
6日	無剪根 剪部剪根	(n-4), (n-5)	(n-3)
		(n-4)~(n-6)	(n-3)
10日	剪根 60° 90°	(n-4), (n-5)	(n-2)
		(n-3)~(n-5)	(n-2)

[注] 1) 上段は第2節の実験1, 中段は同実験2で、共に主軸を90°傾斜。下段は第4節の実験。 2) nは抽出中の葉位。 3) 処理後の分けつ芽長2.4mm以下の節は除外。

合のそれと一致する。一方、第2節の実験2では (n-3) 葉節の分けつ芽が主軸の傾斜によって生長を強く抑制され、実験1では、(n-4) 葉節が若干抑制される場合と、とくに抑制される節位の認められない場合とがあった。

今、第2節および第4節の実験結果を一括して示せば、第25表のようになる。すなわち、水稻の主軸を直立方向から大きく傾斜させる時は、普通、急速な生長期にある (n-2) 葉節、または (n-3) 葉節の分けつ芽は生長を抑制されるが、その下位2~3節の分けつ芽は生長を強く促進されることになる。なおここで、密植苗の間引きや栄養不良苗に対するN追肥が分けつ芽の生長を促進する効果 (花田, 1965; 中田, 1967) と、重力刺激によるその効果とを比較すると、後者の影響は前者よりもより下位節にまで及ぶことが分る。その理由に関しては、重力刺激に対する植物の反応は、普通の環境変化に対するよりも著しく速やかに現われることが推測されるが、さらに、次の両氏の報告も重要な示唆を与えるものと思われる。すなわち中田 (1962, '64) は、水稻移植直後の高土壌温度は、従属栄養期にある下位節の分けつや分けつ芽を夭折させやすいが、低土壌温度はこれらの生長を継続させることを見だし、その理由を、高土壌温度は生長の主力を先端生長に向けさせるに比し、低土壌温度はこれを抑えて、主茎の下位節にまで炭水化物の供給を可能にするためとしている。一方、田中 (1957 b, c) は、水稻各葉の生理的機能は互いに独立的に営まれるのではなく、全体との関連において、それぞれ特定の機能を果たすことを明らかにしている。これらの事実は、本研究で認められた、主軸の傾斜区における下位分けつ芽の生長の促進も、上位分けつ芽や主茎新葉の生長抑制と密接に関連して行われることを示すものといえる。換言すれば、直立位では生長の中心が先端生長に片寄るに比し、水平位ではそれが相対的に基部へと移り、先端生長が抑制されて、下位分けつ芽の生長や発根の促進が行われるのではないかと考えられる。

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

著者は、発根や分けつ芽の生長等に対する重力の影響を追究する過程において、水平位にある水稻が背地的に屈曲する際、直立位にあるものより著しく節間伸長する場合のあることに気づいた。この現象は単なる屈地性とは明らかに異なったもので、古く、Riss (1915) および Jost (1924) がムギ類の節について報告したものを除いては、類似の研究はほとんどなされていない。よって著者は、1965年から1967年にかけて数回行った実験で、この現象を確かめるとともに、その解剖学的な特性を明らかにした。

このことは栽培学的にはむしろマイナスの現象であるが、水稻の重力反応の機作を解明するうえで重要な意義を有するので、以下にその概要を記述する。

実験材料と方法

1965年7月中旬、葉齢8.3の無剪根苗と、根の基部3cmのみを残した一部剪根苗を、パイプ型水耕試験器B (石井, 1976) を用いて直立区と水平区に分け、6日間培養した。なお、本実験の供試材料は第1章第5節における実験2のそれと同一である。次に、1967年8月末から9日間、葉齢8.4の無剪根苗と、上位2葉 (第7・第8葉) の葉身を剪除した一部剪葉苗について、同様の処理を行った。この際はすべて、基部から10cmのところまで根を剪除して供試した。両年度とも水稻農林17号を用い、1区20個体を供試した。

処理終了後 FAA で固定し、主要節間長を实体顕微鏡下で測定したうえ、1965年の材料につい

てパラフィン包埋法による縦断切片を作製し、各節間の長さおよび細胞数を検鏡観測した。

実験結果と考察

処理前後の苗の生育状態は第26表のごとくで、剪根・剪葉により上位の葉鞘および葉身が短縮

第26表 処理前後における上位葉の長さ (単位 cm)

1965年					1967年							
苗の種類	試験区	時 期	8葉葉鞘	9葉	苗の種類	試験区	時 期	8葉葉鞘	9葉葉身	9葉葉鞘	10葉葉身	10葉葉鞘
無剪根	直立	処理前	11.9	7.4	無剪葉	直立	処理前	12.0	11.1	—	—	—
		処理後	16.8	24.1			処理後	12.2	29.6	16.8	38.9	9.9
		増量	4.9	18.7			増量	0.2	18.5	—	—	—
	水平	処理前	12.2	7.7		水平	処理前	12.0	11.6	—	—	—
		処理後	14.0	22.1			処理後	12.0	26.5	9.9	20.7	10.6
		増量 指(水平/直立)	2.2 (45)	14.4 (77)			増量 指(水平/直立)	0 —	14.9 (90)	— (59)	— (53)	— (107)
一部剪根	直立	処理前	11.9	7.6	一部剪葉	直立	処理前	11.8	11.4	—	—	—
		処理後	15.1	18.7			処理後	12.0	28.6	15.6	34.7	3.6
		増量	3.2	11.1			増量	0.2	17.2	—	—	—
	水平	処理前	12.2	7.7		水平	処理前	11.9	12.7	—	—	—
		処理後	12.9	14.1			処理後	11.9	26.9	9.0	18.7	6.6
		増量 指(水平/直立)	0.7 (22)	6.4 (58)			増量 指(水平/直立)	0 —	14.2 (94)	— (58)	— (54)	— (183)

〔注〕 1) 1965年の9葉および1967年の処理前における9葉葉身は共に第9葉の抽出長を示す。2) 指数は直立区を100とし、1965年は増量について、1967年は処理後の実数について算出。3) 1965年は第16表と同一のデータ。

されるが、剪根の影響は剪葉のそれより速やかに現れている。すなわち、剪根は、処理開始時に抽出中であつた第9葉のみならず、すでに展開を終つていた第8葉の葉鞘長をも短縮させたが、剪葉は第8葉葉鞘はもちろん、第9葉の生長にも影響が少なく、第10葉の生長に初めて強い影響を及ぼした。なおこの差は、剪葉した第7葉および第8葉は、実験期間中の活動中心葉に当たるが、2～3節上位の葉の伸長に最も強く影響を及ぼす(田中, 1957 a; 猪ノ坂, 1962)のに対し、剪根は新葉の生長に必要な養水分の供給を直ちに減量させるために、生じたものと考えられる。

次に、剪根・剪葉の影響と重力の影響との関係を検討すると、水平区では重力の影響により新葉の生長が著しく抑制されるが、その影響は剪葉のそれよりも明らかに早く、剪根の影響とはほぼ同時期に現れるものと見られる。たとえば、第9葉葉鞘と第10葉葉身は、剪葉により直立区で約10%生長を抑えられたが、無剪葉の水平区では直立区に比し約45%も生長を抑制されている。剪葉の影響は第10葉葉鞘長に最も強く現れたが、重力刺激による抑制はこの部位ではすでに完全に取り去られている。一方、剪根は直立区における第8葉葉鞘の伸長量を35%減少させたが、無剪根の水平区では55%減少し、第9葉抽出長では逆に剪根による抑制率の方が大であつた。なお、重力刺激が新葉の生長を抑制する割合は、剪葉の有無によっては大きく変化しないが、剪根により明らかに増大されることは、Wareing および Nasr (1961) も示唆しているごとく、重力反応には同化物質よりも、根に依存する物質の方がより直接的な影響力を持つことを示すものと思われる。

次に、実験開始時に処理個体と同一の発育段階にあった苗の主要節間長を示すと第27表のごとくで、両年度とも第7節間長が最大であったが、まだ2mm以下であった。処理後は第8節間長が最大となったが、直立区の2.8mm前後に対し、水平区ではそのほぼ5倍の長さに達した(第28・29表、および第47・48図—第6図版)。また1967には、水平区は第8節間の直上下でも直立区の3倍前後に達していた。

第27表 処理前の主要節間長 (単位 mm)

年度	節 間				合 計
	6	7	8	9	
1965	1.38	1.60	0.70	0.21	3.89
1967	1.28	1.48	0.72	0.32	3.80

〔注〕 第6節間とは第5葉節と第6葉節の間をいう。

第28表 処理後の最大節間長 (第8節間長)

試 験 区	苗 の 種 類	
	無 剪 根	一 部 剪 根
直 立	2.50 mm	2.43 mm
水 平 指 数 (水平/直立)	12.10 (484)	15.10 (621)

〔注〕 1965年の材料について測定。

第29表 処理後の主要節間長 (単位 mm)

苗の 種類	試 験 区	節 間				合 計
		6	7	8	9	
無 剪 葉	直 立	1.56	1.83	2.71	1.45	7.55
	水 平 指 数 (水平/直立)	2.10 (135)	5.53 (302)	11.29 (417)	4.03 (278)	22.15 (304)
一 部 剪 葉	直 立	1.44	2.26	3.17	0.96	7.83
	水 平 指 数 (水平/直立)	1.67 (116)	5.42 (240)	18.28 (577)	4.48 (467)	29.85 (381)

〔注〕 1967年の材料について測定。

第30表 節間に縦に並ぶ髓細胞の数および長さ

測定項目	試 験 区	節 間			
		6	7	8	9
節 間 長 (mm)	直 立	1.283	1.570	2.263	0.725
	水 平 指 数 (水平/直立)	1.260 (98)	1.923 (122)	13.988 (618)	1.213 (167)
細 胞 数	直 立	56.3	64.7	85.3	51.0
	水 平 指 数 (水平/直立)	55.0 (98)	60.3 (93)	242.0(上) (284) 257.3(下) (301)	64.7 (127)
平均細胞長 (μ)	直 立	22.8	24.3	26.5	14.2
	水 平 指 数 (水平/直立)	22.9 (100)	31.9 (131)	56.0 (211)	18.1 (132)

〔注〕 1) 1965年の一部剪根苗について観察。2) 水平区の平均細胞長は、節間長を上下側の平均細胞数で除した値。

1965年の一部剪根苗を永久プレパラートとして観測した、各節間に縦に並ぶ髓細胞の数および平均長を第30表に示す。表中の節間長は、二つの節横隔壁の間を、節間空隙の中心線に沿って接眼移動測微計を動かしつつ測定したもので、節間の細胞数は、節間空隙の内壁面から2~3層外側に縦列する髓細胞の数によって表した。また、水平区では主に第8節間で屈曲が起こったが(第47図および第48図—第6図版)、茎の上下側の細胞数に大差なかったので、節間長を上下の平均細胞数で除した値をもって平均細胞長とみなした。

この表によると、水平区の第8節間長における著しい増大は、細胞数が直立区の約3倍に、平均細胞長が約2倍に増加することによってもたらされたことが分る。また水平区では、第7節間長および第9節間長もそれぞれ約20%と70%増大したが、その要因は前者では細胞長の増大に、後者では細胞数と細胞長の増加にあることが示されている。なお、水平区の第8節間では、節間基部の細胞は茎の上側よりも下側で明らかに長大であり、これによって茎の背地的屈曲が行われているが、節間中位部ではむしろ上側の細胞がよく伸長する傾向さえあり、これより求頂側ではほとんど差が認められなかった(第49図—第7図版)。

一般にイネ科植物の茎では、重力刺激によって節間基部の下側が伸長を促され、上側はむしろ圧縮されて屈起するとされているが(群場, 1958)、本実験の水平区では第8節間の上下両側が著しく伸長しながら、節間基部の下側はさらに強く伸長して、茎の背地的屈曲が行われたことになる。これと同様な現象は、横植えにした水稻でもしばしば認められることが室資および松田(1957)により報告されているが、氏等はその原因についてはとくに触れていない。

末次(1968)は水稻の節間伸長を第一次と第二次の2期に分け、前者は第4~第7節間から、後者は第9~第13節間から始まるのが普通としている。第一次の伸長期は下位ないし中位で節間空隙だけが形成される過程であり、本来の節間伸長はこれより上位で起こる第二次の伸長期においてのみ認められるという。この基準に従えば、本実験の水平区における第8節間は、第一次節間伸長しかしらない部位にありながら、第二次の節間伸長を行ったことになる。この現象は品種、葉齢、あるいは水分条件などとの関連においてまだ検討すべき点を残してはいるが、水稻の重力反応に関して極めて重要な示唆を与えるものと考えられる。すなわち、一般的な屈地反応では、水平茎の上下側に非対称的に分布するオーキシンによって下側の生長だけが促進され、横断面全体のオーキシン量は直立茎と水平茎の間に差がないといわれるが(Navez and Robinson, 1933; Gillespie and Briggs, 1961; Goldsmith and Wilkins, 1962, '64; Brauner und Böck, 1963; Gillespie and Thimann, 1963; Hertel and Leopold, 1963)、本実験の結果からすれば、水稻茎に作用する重力刺激は、オーキシンの非対称分布と同時に、横断面全体におけるオーキシン・レベルの上昇をもたらす働きがあるものと判断される。この点に関して郡地(1958)は、イネ科植物の茎は一たん生長を終わったちでも、重力の刺激によりオーキシンを新生しうるのであろうと述べているが、次章で改めてこれらの問題を検討することにしたい。

第6節 摘 要

本章では、まず栽培試験によって、水稻の水平植えは穂数の増加をもたらす効果のあることを確かめたのち、その原因には、移植直後に主軸の側面に作用する重力刺激が関与しているであろうと考え、重力が水稻地上部の生育に及ぼす影響を種々の角度から検討した。

(1) 圃場試験および枠試験で水平植えにした水稻は、5~10日間ではほぼ完全に地上部を屈起した。水平植えは直立植えに比し草丈では10~20日間、主稈葉数では5~10日間劣ったが、その後

前者では差がなくなり、後者ではやや優る傾向を示した。

(2) 上記の栽培試験において、茎数では移植後15日目頃から水平区が直立区に優り、最高分けつ数では14~75%、穂数では13~55%前者が多くなった。株の分解調査の結果、水平区では下位の3・4号分けつ、およびこれから生ずる二次分けつ数が増加することによって、穂数が増加することが確認された。水平区の穂重は普通の施肥法で9%増大したが、施肥法を改善すれば、さらに増収の可能性のあるものと考えられる。

(3) 発根試験に用いたパイプ型水耕試験器によって、分けつ芽の生長に及ぼす重力の影響を検討すると、水平区では直立区に比し、普通、(n-4) および (n-5) 葉節の分けつ芽が明らかに生長を促され、一方、急速な生長期にある (n-2) または (n-3) 葉節の分けつ芽は、逆に生長を抑えられることが認められた。また、重力刺激の影響が最も広範囲に発現する時は、(n-3) ~ (n-6) 葉節の分けつ芽が生長を促されることも明らかとなった。

(4) 直立区に比較して、水平区において重力が下位分けつ芽の生長を促進する作用は、無剪根苗よりも剪根苗においてより大であった。一方、水平区における新葉の生長抑制は剪根苗で一層顕著であったので、発根現象と同様に、重力刺激による下位分けつ芽の生長促進も、主軸の先端生長の抑制と密接に関連して行われるものと推察された。

(5) 水平区における葉序面の方向を、本研究の一般的方法と同様に水平にした場合と、これを垂直にした場合とを比較すると、後者では前者より、茎の上側にある分けつ芽は生長を促進され、下側にあるそれは抑制される傾向があった。このことは、水平区の分けつ芽の生長が、茎の横断面におけるオーキシンの非対称分布によって左右されていることを示唆するが、水平区と直立区との生長の差については、さらに、別の機作が関与しているものと考えられた。

(6) 土耕または水耕したポット試験においても、水平区は草丈の伸長を抑制され、とくに、地上部の屈起を機械的に抑制した場合にこの傾向が強かった。しかし、地上部が屈起できる場合には次第に直立区との差を減じ、土耕試験の30日目には92% (直播) ~ 94% (移植) まで草丈を回復した。このことと、圃場および粋試験の結果とから、重力刺激は一時草丈の伸長を強く抑制するが、地上部が自由に屈起できる状態にあれば、生育後期には直立区とほとんど変らぬ草丈に達するものと推測された。

(7) 上記のポット試験において、処理開始後7日頃までは直立区の出葉速度がやや優るが、14日目頃からは逆に水平区の出葉数が若干多くなった。このことに関し、パイプ型水耕試験器で10日間処理した苗の葉原基分化程度を比較すると、直立区より水平区のそれがやや促進されていることが認められた。すなわち、重力刺激は一時出葉速度を低下させるが、生長点における葉原基の分化速度を高め、このことによって、地上部が屈起したのちの出葉速度を逆に増進するものと考えられる。

(8) 剪根された苗の主軸を直立方向から30°ごとに90° (水平) まで傾斜させると、60°以上の傾斜によって下位数節の分けつ芽が明らかに生長を促進され、その直上位の分けつ芽は逆に生長を抑制された。また、この傾向は主軸の傾斜角度が大きい時ほど顕著で、それと平行して、苗の先端生長はより顕著に抑制された。

(9) 第9葉が抽出中の水稻農林17号を6~9日間水耕した時、水平区の第8節間が著しく伸長し、同時にその基部で背地的な屈曲を行った。この節間に縦列する髓細胞数は水平区の上側では直立区の約2.8倍、下側では約3倍に達し、水平区の上下側の平均細胞長は直立区の約2倍になった。なお、水平区の細胞長は、節間基部では上側よりも下側で明らかに優っていたが、これよ

り求頂部では上下側に大差なかった。以上の事実は、重力刺激は水平茎の上下側にオーキシンを非対称分布させるだけでなく、その総量を直立茎より増大させることを示唆するものといえる。

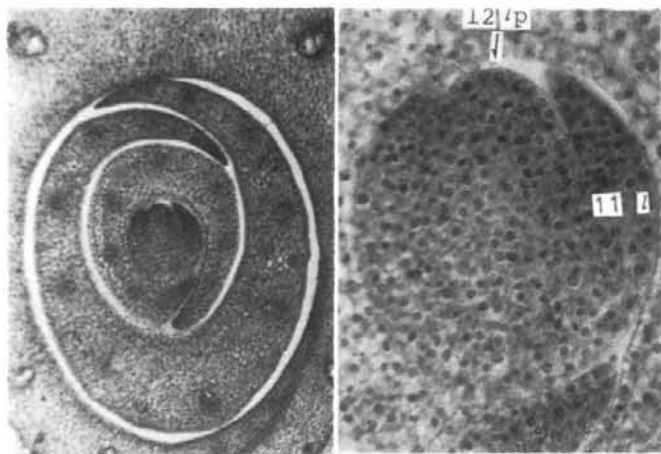
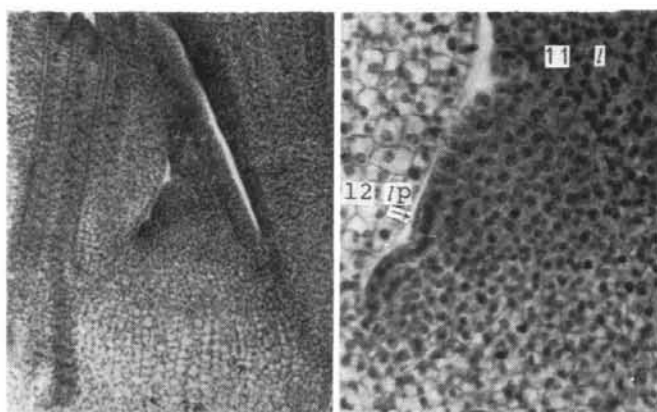
引用文献

1. 嵐 嘉一 1952. 暖地における水稻の培土効果 (2). 農及園27, 754-758.
2. Boysen-Jensen, P. 1936. Über die Verteilung des Wuchsstoffes in Kleinstengeln und Wurzeln während der phototropischen und geotropischen Krümmung. Danske Videnskab. Biol. Med. 13: 1-31.
3. Brauner, L. und A. Böck 1963. Versuche zur Analyse der geotropischen Perzeption. IV. Untersuchungen über die Auswirkung der Dekapitierung auf den Wuchsstoffgehalt, das Langenwachstum und die geotropische Krümmungsfähigkeit von *Helianthus* Hypokotylen. Planta 60: 109-130.
4. Delisle, A. L. 1937. The influence of auxin on secondary branching in two species of *Aster*. Amer. J. Bot. 24: 159-167.
5. Dolk, H. E. 1930. Geotropie en Groeistof. Dissertation, Utrecht; English translation by F. Dolk-Hoek and K. V. Thimann, 1936. Rec. Trav. Bot. Néerl. 33: 509-585.
6. Evans, M. W. and F. O. Grover 1940. Developmental morphology of the growing point and inflorescence in grass. J. Agr. Res. 61: 481-520.
7. Gillespie, B. and W. R. Briggs 1961. Mediation of geotropic response by lateral transport of auxin. Plant Physiol. 36: 364-368.
8. Gillespie, B. and K. V. Thimann 1963. Transport and distribution of auxin during tropistic response. I. The lateral migration of auxin in geotropism. Plant Physiol. 38: 214-225.
9. Goldsmith, M. H. M. and M. B. Wilkins 1962. New evidence for lateral movement of auxin in sections of maize coleoptiles stimulated by gravity. Plant Physiol. Suppl. 37: xvii.
10. Goldsmith, M. H. M. and M. B. Wilkins 1964. Movement of auxin in coleoptiles of *Zea Mays* L. during geotropic stimulation. Plant Physiol. 39: 151-162.
11. Gunckel J. E. and K. V. Thimann 1949. Studies of development in long shoots and short shoots of *Ginkgo biloba* L. III. Auxin production of short shoot. Amer. J. Bot. 36: 145-151.
12. Halma, F. E. 1923. Influence of position on production of laterals by branches. Calif. Citrog. 8: 146-180.
13. Halma, F. E. 1926. Factors governing the initiation of sprout growth in *Citrus* shoots. Hilgardia 1: 295-340.
14. 花田毅一 1965. 作物の分枝性に関する研究. 第4報 水稻苗の間引後における各節位分げつ芽の生長について. 日作紀 34: 217-224.
15. Hertel, R. und A. C. Leopold 1963. Versuche zur Analyse des Auxintransports in der Koleoptile von *Zea mays*. Planta 59: 535-562.
16. 星 金二郎 1954. 現地試験から見た水稻の培土(湛水)栽培. 農及園 29: 876-878.
17. 猪ノ坂正之 1954. 水稻の葉原基の発達に関する解剖学的研究(第1報). 水稻の葉原基発生の徴候及び発達(要旨). 日作紀 23: 68.
18. 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管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.
19. 石井滋規 1976. 水稻の重力成形に関する作物学的研究(I). 奈良教育大紀要 自然 25: 35-66.
20. Jost, L. 1924. Über den Geotropismus der Grasknoten. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 42: 338-341.
21. 柿崎洋生 1960. 水稻分げつ芽の發育過程の追跡(要旨). 日作紀 28: 386-387.
22. 片山 佃 1952. 稲麦の分蘖研究(第5版). 養賢堂, 東京.
23. 川原治之助・長南信雄・和田 清 1968. 稲の形態形成に関する研究. 第3報 葉, 穂, 稈の伸長の相互関

- 係および稈の分裂組織について. 日作紀 37 : 372-383.
24. 川田信一郎・山崎耕宇・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. 木根淵旨光 1963. 寒冷地における水稻の苗まき栽培法. 農及園 38 : 1365-1368.
 26. 木根淵旨光・島田裕之 1962. 寒冷地における水稻の苗播栽培に関する研究. 第1報 活着と初期生育について. 日作紀 31 : 125-128.
 27. 小島源一 1962. 陸稲の苗播き栽培. 農及園 37 : 811-814.
 28. 郡場 寛 1958. 植物生理生態 (5版). 養賢堂, 東京.
 29. Laibach, F. 1933. Versuche mit Wuchsstoffpaste. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 51 : 386-392.
 30. Lyon, C. J. 1965. Auxin transport in geotropic curvatures of a branched plant. Plant Physiol. 40 : 18-24.
 31. 松尾大五郎 1950. 稲作—1—診断編 (2版). 養賢堂, 東京.
 32. 松島省三 1960. 稲作の理論と技術—収量成立の理論と応用 (4版). 養賢堂, 東京.
 33. Mullins, M. G. 1965. Lateral shoot growth in horizontal apple stems. Ann. Bot. N. S. 29 : 72-78.
 34. 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.
 35. 中田恭二 1962. 水稻低節位分けつ芽の生育に及ぼす土壌温度の影響. 奈良学芸大紀要 自然 10 : 159-165.
 36. 中田恭二 1964. 移植後の土壌温度と水稻分けつ芽の発育との関係. 奈良学芸大紀要 自然 12 : 58-68.
 37. 中田恭二 1967. 苗代期における窒素欠除と根部温度が水稻分けつ芽の発育に及ぼす影響. 奈良教育大紀要 自然 15 : 95-103.
 38. Navez, A. E. and T. W. Robinson 1933. Geotropic curvature of *Avena* coleoptiles. J. Plant Physiol. 16 : 133-145.
 39. 西川五郎・花田毅一 1959. 作物の分枝性に関する研究. 第1報 播種密度を異にした水稻苗における分けつ芽の分化及び発育について. 日作紀 28 : 191-193.
 40. 西内 光 1962. 植苗紙による水稻簡易移植法の実験. 近畿作物・育種会報 7 : 19-22.
 41. 西内 光 1965. 植苗紙による水稻線条植. 農及園 40 : 605-610.
 42. 西内 光 1966. 水稻線条植の収益性. 農及園 41 : 1035-1038.
 43. Reed, H. S. and F. F. Halma 1919. On the existence of a growthinhibiting substance in Chinese lemon. Univ. Calif. Publ. Agr. Sci. 4 : 99-112.
 44. Riss, M. M. 1915. Über den Geotropismus der Grasknoten. Zeitschr. f. Bot. 7 : 145-170.
 45. 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.
 46. 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.
 47. 関谷福司 1953. 水稻幼作物の分蘖原基及び分蘖芽に関する研究. 第6報 播種密度が分蘖原基及び分蘖芽の発育に及ぼす影響. 日作紀 22 : 55-56.
 48. 関谷福司 1958. 水稻幼作物の分蘖原基及び分蘖芽に関する研究. 第7報 分蘖原基及び分蘖芽の発育過程. 日作紀 27 : 75-76.
 49. Sharman, B. C. 1942. Developmental anatomy of the shoot of *Zea mays* L. Ann. Bot. N. S. 6 : 245-282.
 50. Smith, H. and P. F. Wareing 1964. Gravimorphism in trees. 2. The effect of gravity on bud-break in osier willow. Ann. Bot. N. S. 28 : 283-295.
 51. 末沢一男・小西 薫・西村昭司郎 1961. 早期水稻の苗播栽培に関する研究. 苗播方法及び灌水時期が水稻の生育収量に及ぼす影響について. 農及園 36 : 1495-1496.
 52. 末次 勲 1968. 水稻の節間伸長開始期に関する研究—茎の形態形成上の発育段階. 日作紀 37 : 489-498.
 53. 杉本勝男・佐本啓智 1966. 水稻苗まき栽培における株の補償力. 農業技術 21 : 234-235.

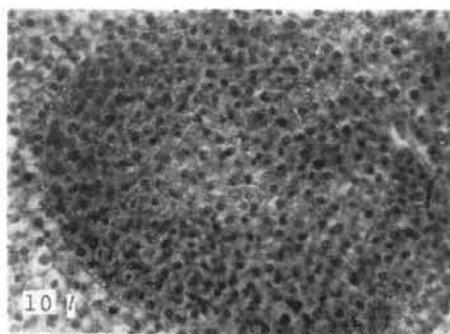
54. 田中 明 1957 a. 葉位別に見た水稻葉の生理機能の特性及びその意義に関する研究 (第6報). 活動中心葉の概念と各葉並びに各葉子間の相互関係. 土肥雑 28 : 231-234.
55. 田中 明 1957 b. 葉位別に見た水稻葉の生理機能の特性及びその意義に関する研究 (第7報). 栄養環境の変化に伴う各葉及び各分葉茎間の物質の働き. 土肥雑 28 : 271-274.
56. 田中 明 1957 c. 葉位別に見た水稻葉の生理機能の特性及びその意義に関する研究 (第8報). 栄養環境が水稻の微細構造に及ぼす影響. 土肥雑 28 : 332-336.
57. Thimann, K. V. 1937. On the nature of inhibitions caused by auxins. Amer. J. Bot. 24 : 407-412.
58. Thimann, K. V. and F. Skoog 1933. Studies on the growth hormone in plants. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. 19 : 714-716.
59. Thimann, K. V. and F. Skoog 1934. Inhibition of bud development and other functions of growth substances in *Vicia Faba*. Proc. Roy. Soc. Ser. B., Biol. Sci. London 114 : 317-339.
60. Titman, P. W. and R. H. Wetmore 1955. The growth of long and short shoots in *Cercidiphyllum*. Amer. J. Bot. 42 : 364-372.
61. 梅景 修・井上浩一郎・渡部忠世 1966. 水稻移植操作の省力化に関する研究 I. 苗を横たえた場合の生育相の変化. 京都府大学術報・農学 18 : 70-77.
62. 梅景 修・武山春雄・渡部忠世 1967. 水稻移植操作の省力化に関する研究 II. 横植栽培の窒素追肥時期と収量との関係. 京都府大学術報・農学 19 : 55-59.
63. Van Overbeek, J., D. Olivo and E. M. S. de Vázquez 1945. A rapid extraction method for free auxin and its application in geotropic reactions of bean seedlings and sugar-cane nodes. Bot. Gaz. 106 : 440-451.
64. Vöchting, H. 1878. Über Organbildung im Pflanzenreich. Bonn.
65. Wareing, P. F. and T. A. A. Nasr 1961. Gravimorphism in trees. I. Effects of gravity on growth and apical dominance in fruit trees. Ann. Bot. N. S. 25 : 321-340.
66. Wickson, M. and K. V. Thimann 1958. The antagonism of auxin and kinetin in apical dominance. Physiol. Plantarum 11 : 62-74.
67. Wickson, M. and K. V. Thimann 1960. The antagonism of auxin and kinetin in apical dominance. II. The transport of IAA in pea stems. Physiol. Plantarum 13 : 539-554.
68. 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.
69. 山崎耕宇 1963. 水稻の葉の形態形成に関する研究. II. 葉位を異にした場合の葉の発育の相違について. 日作紀 32 : 81-88.

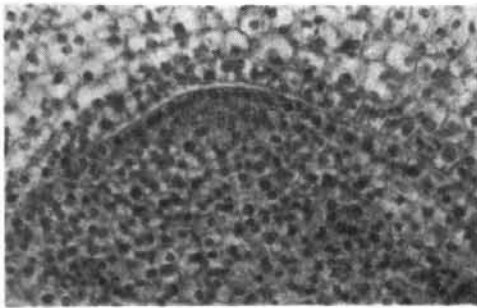
第32図 処理開始時の主茎生長点における葉原基の分化程度（縦断）（左：×100，右：×400）
〔注〕 1) 右図は左図の拡大，
2) *l*：幼葉，*lp*：葉原基，以下同様。



第33図 処理開始時の主茎生長点における葉原基の分化程度（横断）（左：×100，右：×400）
〔注〕 右図は左図の拡大。

第34図 処理開始時の第10葉節における分けつ原基の細胞分裂（×400）
〔注〕 左側中央部の濃染されている部分がそれ。

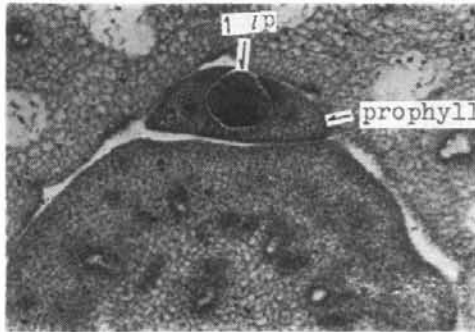




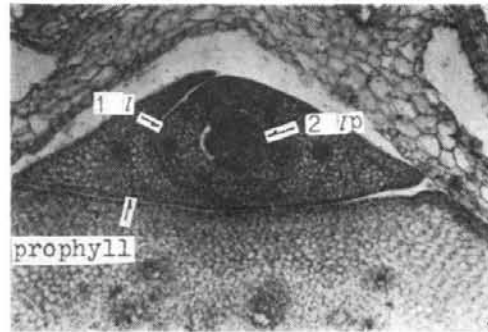
第35図 処理開始時の第9葉節分けつ原基
(×400)



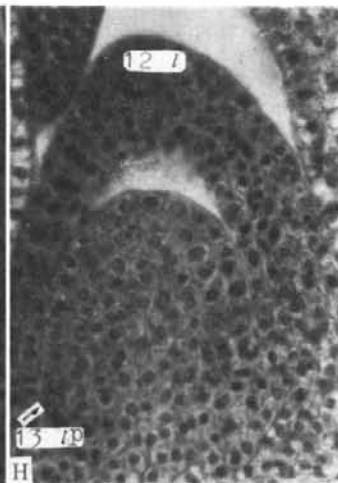
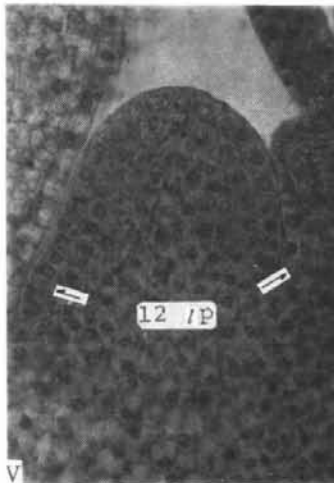
第36図 処理開始時の第8葉節分けつ原基
(×100)



第37図 処理開始時の第7葉節分けつ芽
(×100)

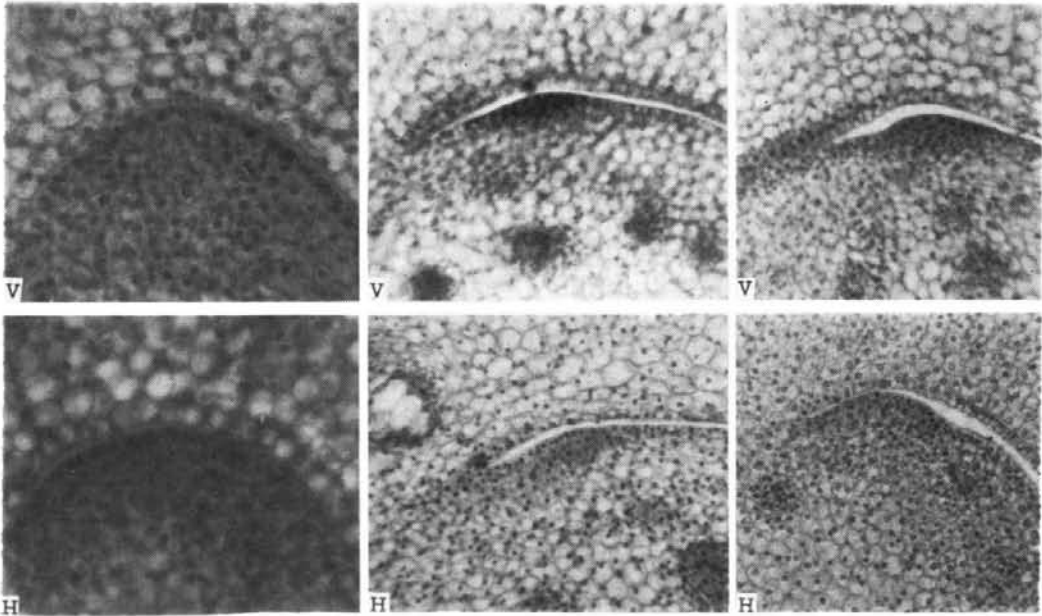


第38図 処理開始時の第6葉節分けつ芽
(×100)



第39図 処理後の主茎生長点における葉原基 (×400)

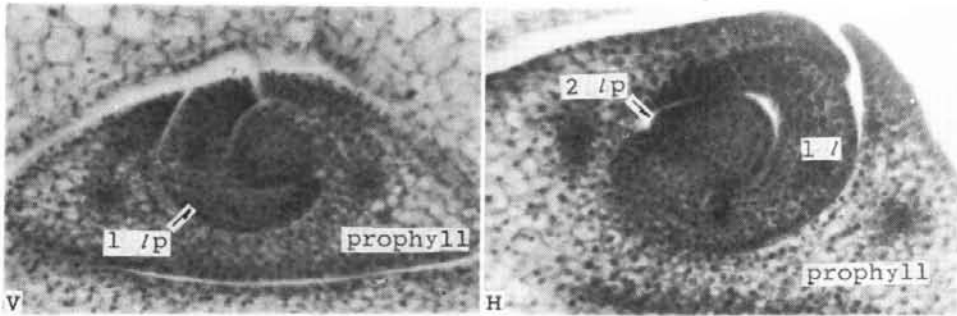
(注) V: 直立区, H: 水平区 (以下同じ).



第40図 第11葉節における分けつ原基の細胞分裂 (×520)

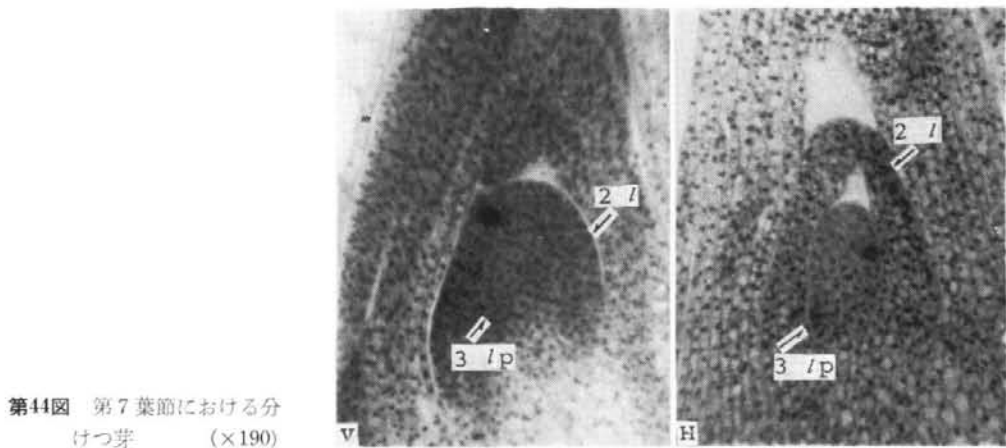
第41図 第10葉節における分けつ原基 (×350)

第42図 第9葉節における分けつ原基 (×350)

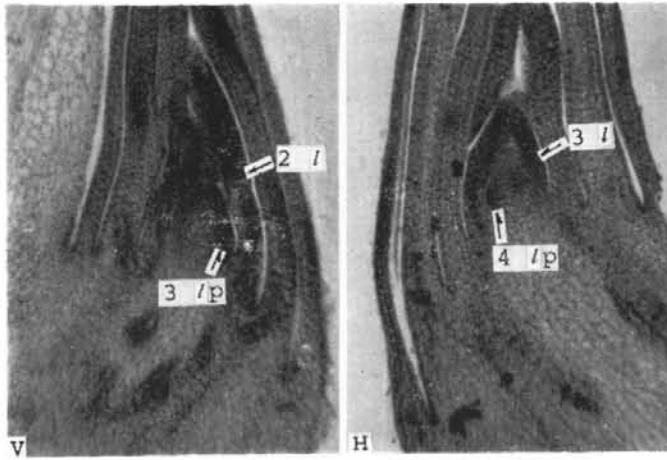


第43図 第8葉節における分けつ芽

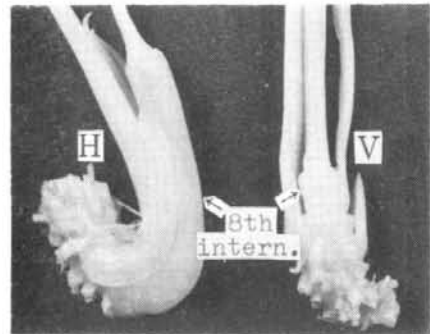
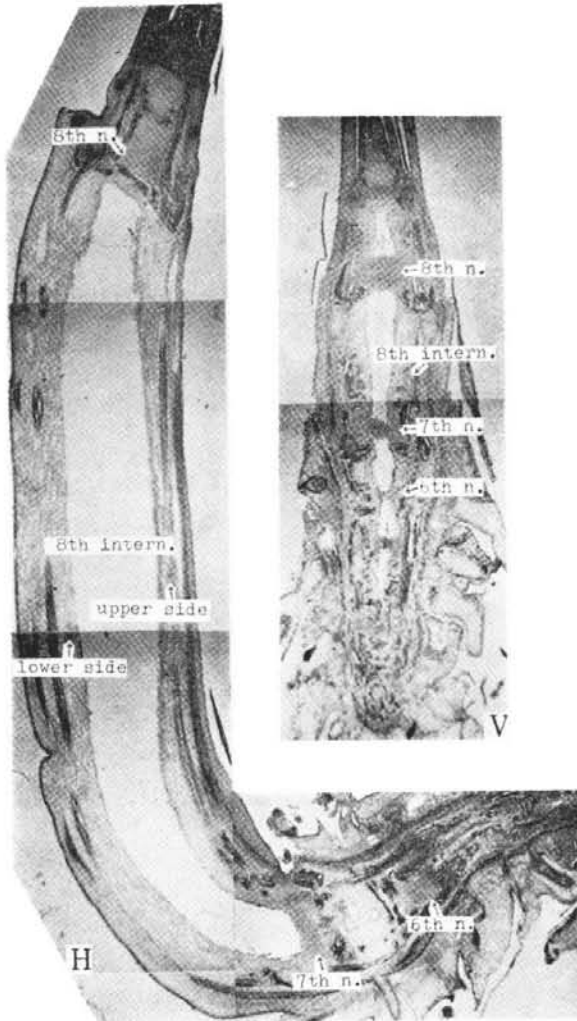
(×400)



第44図 第7葉節における分けつ芽 (×190)

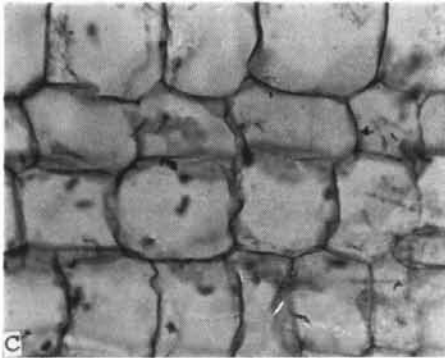
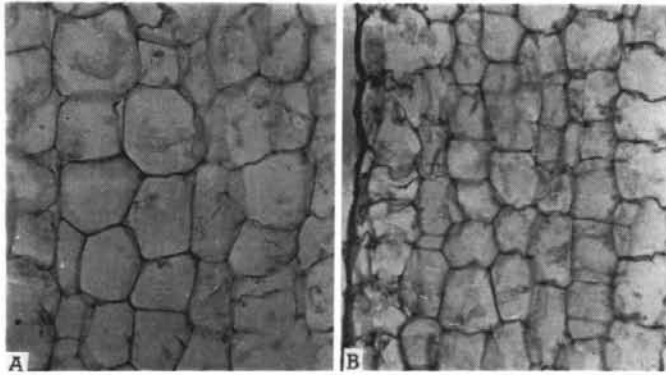


←
第45図 第6葉節における分けつ芽
(×70)



第47図 第8節間長の比較（切片作製前）
〔注〕 1) 1965年，一部剪根根苗。
2) H：水平区，V：直立区。3)
8th intern.：第8節間。第48図
についても同じ。

∨
第48図 主要節間長の比較 (×9)
〔注〕 1) 第47図と同一材料。
2) n：節横隔壁。



第49図 第8節間の髓細胞の大きさ
(×220)

〔注〕 1) 1965年，一部剪根苗。
2) A, B: 直立区, C~G: 水平区。3) A: 上位部, B: 下
位部, C: 上位部の上側（下
側もほぼ同じ）, D: 中位部の
上側, E: 中位部の下側, F:
基部の上側, G: 基部の下側。

