

二条オオムギの出芽性に関する作物学的研究 第4報 幼芽の伸長性

田中丸 重美

覆土鎮圧による幼芽の伸長力の増大程度が作物種によって異なる¹⁾原因は、作物によって幼芽の伸長特性が異なることにあるのではないかと考えられる。

そこで本報では、二条オオムギの幼芽の伸長性を明らかにするために実験を行った。

材料および方法

1. 幼芽の部位別伸長ならびに幼芽伸長に対する細胞数の増加ならびに細胞伸長の寄与

1) 幼芽の伸長部位: 材料は Table 1 に示す作物品種を用いた。直径 4 cm 高さ 5 cm の塩化ビニール製ポットの上端まで土壌を詰め、各ポット 8 粒ずつ播種した。その後、ポット上端から約 1 cm 上に出るように幅広のセロファンテープを巻き付け、その内側に土壌をいれ、軽く覆土した。温度 20°C の恒温器内にポットを置き幼芽を育成した。幼芽が 1 cm に伸長した時にテープを取り去り覆土を除いた。幼芽が 1 cm に伸長するまでの時間は作物によって異なったが、二条オオムギでは播種後 83 時間であった。幼芽に全体を 5 等分するように墨で 2 mm 毎に印を着けた。その後、20°C 暗黒下で 48 時間幼芽を伸長させ、5 等分した各部位のその後の伸長量を 0.1 mm 単位でノギスを用いて測定した。なお、幼芽に印を着ける等の作業にあたっては、光の影響を避けるために純緑色蛍光灯⁴⁾の弱光下ですばやく行った。

Table 1. Crop materials used in this experiment

Crop	Variety
Two-rowed barley	Seijo 17
Naked barley (uzu)	Ehimehadaka 1
Wheat	Shirasagikomugi
Rye	Petkuzer
Oat	Hyuga-kairyoubaku
Sorghum	Wheatland
Maize (dent corn)	Unknown
Paddy rice (japonica)	Reiho
Paddy rice (indica)	Hatishail
Upland rice (japonica)	Norin 21

平成元年12月20日受理

2) 幼芽の伸長と細胞数の増加および伸長：20℃暗黒下で前述と同様に育成した幼芽が1, 2, 3および4 cmに伸長したときに幼芽を掘り取り即座にFAAで固定した。固定された幼芽を下部から5 mm毎に切り離しパラフィン法で幼芽の縦断切片を作成し、顕微鏡下で鞘葉あるいは中茎の縦方向の柔細胞数を数え、各部位での縦方向の細胞長を算出した。実験には、1区当たり7~8本の幼芽を用い、その平均を示した。

2. 幼芽の伸長の速さ

1) 培養温度と伸長の速さ：材料は、二条オオムギ(品種：成城17号, 以下同じ), 六条オオムギ(ハガネムギ), ハダカムギ(愛媛裸1号), トウモロコシーポップコーン(池部1号), トウモロコシーホワイトデントコーン, イネー日本型水稻(レイホウ), イネー日本型陸稲(農林21号), イネーインド型水稻(ハチシャイル)を用いた。

実験に使用した土壌及び土壌水分の調整法は前報³⁸⁾と同様であった。実験には内径10cmの円筒型塩化ビニール製ポットを用いた。上記土壌を土壌水分13%に調整して実験に用いた。播種床を作成し、1ポットあたり10粒の乾燥種子を播種し(ただしトウモロコシは6粒)、約5 cm軽く覆土した。ポットは土壌水分の変動を防ぐ目的で、大型のプラスチックバットに入れ、ビニールフィルムでバット上部を覆った。播種後直ちに各バットを4, 10, 15, 20, 25, 30℃の各温度の恒温器に搬入した。

出芽調査は播種後12時間毎に行い、18日目に発芽粒数を調査して出芽率を算出した。実験は3回行い、3回とも同様の結果を得たので3回の平均値を示した。

2) 土壌水分と伸長の速さ：供試した作物品種は1. 1)と同様であった。土壌水分9, 13, 17, 21, 30%に調整した土壌をもちいてポットに播種床を作成し播種後5 cm覆土した。播種粒数は前項と同様であった。

ポットは、各水分条件毎に大型のプラスチックバットに入れ、上部をビニールフィルムで覆い20℃の恒温器に搬入した。土壌水分30%(圃場含水量)の場合は、あらかじめ含水量13%に整えた土壌に上記同様には播種した後、水を張ったバットにポットの下部をつけて水を吸収させてから恒温室に持ち込んだ。出芽調査は前項と同様に行なった。実験は3回反復したが、ほぼ同様の結果を得たので、3回の平均値を示した。

3) 覆土後鎮圧と伸長の速さ：直径10cm高さ12cmのプリキ製のポットに、含水量13%に調整した土壌を硬度約0.5kg/cm³になるように詰めて播種床を作成し、各作物1ポットあたり乾燥種子10粒(ただしトウモロコシのみ7粒)を播種した。軽く5 cm覆土した後、覆土の厚さが5(無鎮圧), 4, 3.5, 3, および2.5cmになるように鎮圧した。その結果、各区の覆土の硬度はほぼ0, 0.01, 0.05, 0.2および0.3kg/cm³であった。その後、ポットを大型バットに並べ、20℃の恒温室に搬入した。出芽調査は12時間毎に行い、播種後17日目に覆土を除き発芽粒数を調査した。実験は3回行ったが、ほぼ同様の結果を得たので3回の実験の平均値を示した。なお、各作物において無鎮圧区と0.01kg/cm³区との間に差異が認められなかったため、0.01kg/cm³区の結果は省略した。

3. 幼芽の先端にかかる荷重と伸長

荷重負荷装置(Fig. 1)：この装置は、後述の方法で育成し、任意の長さに伸長した幼芽の先端に、任意の荷重がかけられるようになっているもので、原理的にはWilliams(1957)¹¹⁾

の実験装置と同じである。

架台に固定した内径2.3mmのガラス管のなかに“幼芽受け”を下端に付けた直径2mmの棒を通した。棒の上端には受け皿を付けて分銅をのせられるようにした。この棒全体がガラス管中を垂直に自由に上下できる。従って、幼芽は棒の重さの荷重をその先端に鉛直方向に受けながら、ガラス管中を伸長することになる。棒全体の重量は4gであるので、受け皿に乗せる分銅の重さを変えることによって幼芽にかかる荷重を任意に調節できる。

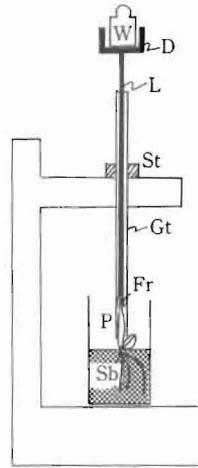


Fig. 1. Apparatus for testing plumule elongation under weights.
(P; plumule, Fr; plumule holder, L; rod for weight, Gt; glass tube, St; Stopper for glass tube, Sb; seed bed, D; weight dish, W; weight)

幼芽の育成法および荷重負荷実験の方法：供試した材料は Table 1 に示したイネ科数種作物であった。幼芽の育成には前報³⁹⁾とほぼ同じで、直径3cm、高さ5cmのガラス管瓶に砂壤土(土壌水分12%)を約3cmの厚さに詰めて播種床を作り、幼芽が上方へまっすぐ伸長するように、各作物とも管瓶当たり1粒を播種した。覆土は行わず、土壌水分の減少を防ぐ目的で管瓶はバットに入れ、上部をビニールで軽く覆った後、暗黒下20℃の恒温器内で発芽させた。

各作物とも幼芽が4～6mmに伸長した時、20℃の恒温器内に設置した荷重負荷装置の“幼芽受け”に幼芽の先端を確実にセットした。この操作は、幼芽の伸長におよぼす光の影響をできるだけ少なくするために、純緑色蛍光灯(松下電器製)の弱光下で迅速に行った。その後幼芽に荷重を掛けながら48時間暗黒下で伸長させた。

本実験では、幼芽にかかる荷重は、予備実験の結果から0、5、10、20および30gの5段階とした。なお、0g区は荷重をかけなかった区である。実験は暗黒下で行い、実験開始48時間後に、幼芽を掘り取り幼芽長を測定した。その後、幼芽はFAAで固定して、常法に従って鞘葉および中茎のパラフィン縦断切片を作成し、柔細胞長および細胞数を顕微鏡下で測定した。

実験は各作物とも1区あたり6～8本を用い、その平均値を示した。

実験結果

1. 幼芽の部位別伸長ならびに幼芽伸長に対する細胞数の増加ならびに細胞伸長の寄与

二条オオムギの出芽器官である鞘葉の伸長特性を明らかにするため、数種作物の幼芽の伸長を種々の条件下で比較検討する実験を行った。

1) 幼芽の伸長部位

Fig. 2に、実験終了時の全幼芽長を100とした各部位の長さの割合を図示した。二条オオムギの最も伸長する部位は、基部から数えて3番目で24%、2, 4番目が、23%で続き、基部は伸びが小さく全体の10%になった。

他の作物でも、よく似た傾向を示し、中央部（下から2または3または4番目）の伸長量が大きく基部や先端の伸長量はそれに較べると小さかった。しかし、部位別の伸長量の割合は作物によって若干異なった。中茎の伸長量が大きく鞘葉の伸長量がさほどでもないトウモロコシやソルガムでは、2ないし3番目での伸長量が残りの部位よりも著しく大きく、40%にも達した。二条オオムギをはじめとするコムギ、ライムギ、ハダカムギなど鞘葉の伸長がよいものでは、基部から2, 3番目の伸長量が大きいとその割合は25%程度でトウモロコシ、ソルガムに較べると、小さかった。また、日本型水稻や陸稲では全体の伸長量が小さく、幼芽の部位による伸長の差は少なかった。

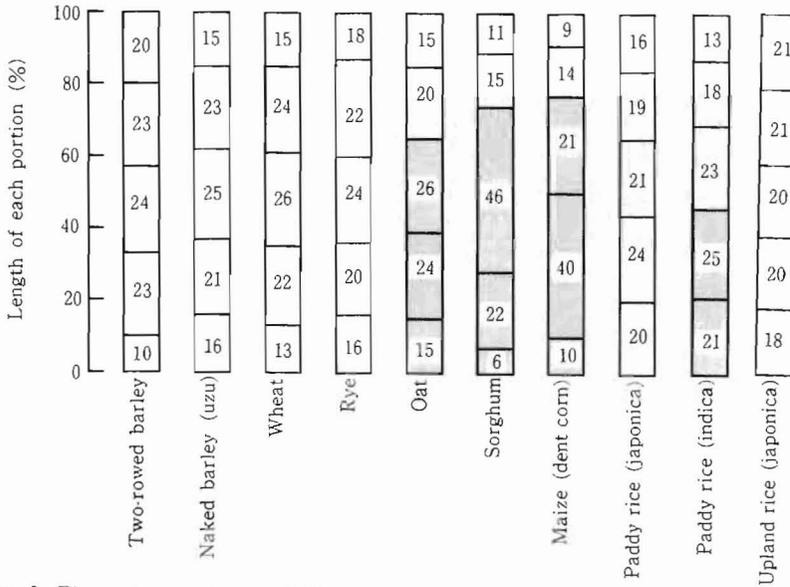


Fig. 2. Elongation pattern of plumule in some cereals.

1 cm long plumule was marked with indian ink at equal intervals of 2 mm under a safety green light. Plumule was grown for 48 hours at 20 C in darkness.

Screened portion shows mesocotyl of plumule.

2) 幼芽の伸長に対する細胞数および細胞伸長の寄与

Table 2より明らかなように、幼芽が伸長するにつれて柔細胞の縦方向の長さは長くなった。二条オオムギでは、幼芽長3 cmの時の柔細胞長は1 cmの時の約3倍になった。他の

鞘葉だけを伸長する作物でも、同様に幼芽の伸びと柔細胞長が比例することが明らかであった。

また、鞘葉と共に中茎をも伸長させるトウモロコシ、ソルガムなどでは、鞘葉の伸長と鞘葉柔細胞長とは比例的な関係にあったが、中茎では若干様相が異なった。ソルガムでは、幼芽長 1 cm の時の中茎長は 7 mm であった。幼芽長 4 cm の時の中茎長は 33 mm と幼芽長 1 cm の時の約 5 倍近くであるにもかかわらず、4 cm のときの中茎の柔細胞長は 1 cm の時のおよそ 3 倍にすぎなかった。

Table. 2. Mean vertical length of parenchyma cell of plumule in some cereals as they grow.

Crop		Length of parenchyma cell ($\times 10^4 \mu\text{m}$)			
		1cm	Length of plumule		
			2cm	3cm	4cm
Two-rowed barley	C	3.8	9.6	15.0	18.4
Naked barley (uzu)	C	5.9	10.5	14.9	23.3
Wheat	C	5.5	10.3	19.2	25.9
Rye	C	5.4	16.2	20.7	28.0
Oat	C	4.6	5.0	6.5	7.3
	M	12.0	15.1	22.4	31.8
Sorghum	C	2.7	3.9	4.6	6.0
	M	8.7	12.2	22.2	26.2
Maize (dent corn)	C	4.1	4.6	5.1	7.5
	M	8.0	8.5	17.7	13.8
Paddy rice (japonica)	C	5.0	9.9	16.5	
Paddy rice (indica)	C	4.2	5.5	11.4	13.3
	M	6.0	16.5	18.9	19.2
Upland rice (japonica)	C	6.0	13.0	17.8	

C ; coleoptile M ; mesocotyl

Table. 3. Number of parenchyma cells in a plumule of some crops.

Crop		Number of parenchyma cells			
		1cm	Length of plumule		
			2cm	3cm	4cm
Two-rowed barley	C	237	226	212	230
Naked barley (uzu)	C	178	206	211	199
Wheat	C	191	212	193	203
Rye	C	185	164	191	187
Oat	C	115	123	117	126
	M	55	86	97	103
Sorghum	C	121	128	130	143
	M	73	93	119	142
Maize (dent corn)	C	180	176	174	185
	M	50	140	185	209
Paddy rice (japonica)	C	199	203	196	
Paddy rice (indica)	C	146	164	171	163
	M	65	68	83	101
Upland rice (japonica)	C	166	158	177	

C ; coleoptile M ; mesocotyle

次に幼芽の伸長に伴う幼芽の細胞数の変化をみると (Table 3), まず, 鞘葉では, どの作物でも幼芽の伸長に伴う細胞数の変化はなく, 二条オオムギでは幼芽長 1 cm の時の細胞数は, 幼芽長 4 cm の細胞数とほぼ同じであった. このことからすると, 幼芽が 1 cm に伸長して以降は, 鞘葉では細胞分裂による細胞の増加はないと考えられる.

トウモロコシ, ソルガム, エンバクなど中茎を伸長させる作物についてみると, 中茎の縦方向の柔細胞数は幼芽の伸長に伴って増加した. ソルガムでは, 幼芽長 4 cm の時の細胞数は 1 cm の時の約 2 倍であった. したがって, 中茎では幼芽長が 1 cm に達した後も細胞分裂による細胞数の増加が起きたことが明らかになった.

中茎の伸長量と細胞数の増加の関係には, 作物により若干の差異が認められた. エンバクおよびインド型水稻では, 幼芽長 1 cm から 4 cm になる間に中茎長はそれぞれ 6, 4 mm からそれぞれ 29, 20 mm と約 5 倍に増加したが, 細胞数の増加はともに約 2 倍であった. このように, ソルガム, エンバク, インド型水稻では, 類似の傾向が認められたのに対して, トウモロコシはこれらとは異なった. トウモロコシでは, 幼芽長 1 cm から 4 cm までの中茎の伸長増加率はソルガムなどと同様に約 5 倍であったが, 細胞数の増加は約 4 倍とソルガムなどより大きかった. このように, トウモロコシではソルガムなどと比較して, 幼芽長 4 cm に達するまでの過程では, 中茎の伸長に対して細胞数の増加が著しく貢献していることが明らかになった.

さらに, 幼芽長 3 cm の時の幼芽各部位での細胞長をみると (Table 4) 各作物とも幼芽先端よりも幼芽基部で柔細胞長がより大きかった. このように, 幼芽基部の細胞が先端部よりも長いのは, 鞘葉柔細胞の伸長は始め基部で盛んになり, 次第に幼芽の先端部に細胞伸長が盛んな部位が移動する結果であると推察された.

前項では, 1 cm 長に達した幼芽の 48 時間後の伸長を調査した結果では, 幼芽中央部で先端部や基部よりも伸長量大きいことが明らかになった. これを細胞の縦伸長の調査結果

Table 4. Relation between number of parenchyma cells in section of plumule and its position from the base of plumule.

Crop		Length of parenchyma cell ($\times 10^4 \mu\text{m}$)		
		Position from the base		
		0.5cm	1.5cm	2.5cm
Two-rowed barley	C	19.0	15.2	10.7
Naked barley (uzu)	C	19.0	15.9	9.8
Wheat	C	28.9	20.2	8.4
Rye	C	32.7	22.1	7.4
Oat	C			6.5
	M	24.5	20.3	
Sorghum	C			4.6
	M	28.7	15.7	
Maize (dent corn)	C			7.4
	M	26.7	8.5	
Paddy rice (japonica)	C	19.7	17.2	16.5
Paddy rice (indica)	C		12.2	10.5
	M	18.9		
Upland rice (japonica)	C	13.8	20.1	16.1

C; coleoptile M; mesocotyl

に基いて考察してみると、基部ではすでにある程度細胞伸長が進んでいるため、その後の伸びが少なく、幼芽中央部では、実験開始後伸長が盛んになるため伸長量が大きい、先端部では48時間の実験期間内では、伸長がまださほど盛んでないため伸長量が小さかったものと考えられる。

2. 幼芽の伸長の速さ

発芽直後の幼植物は脆弱であって、土壌中での細菌や菌類の攻撃にも弱いことが知られている¹³⁾。このような幼植物が長時間土中にあることは出芽にとって不利であることは明らかである。更に、幼芽が土中にある間に多量の降雨があると幼芽付近の酸素分圧が低下したり、またその後の晴天によって土壌表面にハードパンが生成されるなど土壌環境の悪化によって起こる出芽に不利な状態を回避するためには、土中での幼芽の伸長が速く出芽までの時間が短いことが栽培上望ましい。

ここでは、出芽の良否に関する作物側の要因の一つとして、幼芽の伸長の速さを取り上げ、温度、土壌水分、覆土の鎮圧などの環境要因との関係を知る目的で実験を行った。

1) 培養温度と伸長の速さ

Fig. 3に、各温度条件下で出芽が80%を越えるまでの日数を示した。ただし、全ての作物で4℃区では出芽が見られなかったので省略した。

二条オオムギは、10℃区で出芽率が80%を越えた日数は約13日であった。25℃区までは温度の上昇と共に出芽まで日数は短縮し、25℃区では、4.5日になった。しかし、30℃区では出芽率が42%となり、80%を越える日数を示しえなかった。以上の結果から二条オオムギの幼芽の伸長は25℃付近で最も速いといえる。エンバク、六条オオムギ、ハダカムギなどのムギ類では、二条オオムギと似た傾向を示した。どの作物とも10℃区から25℃区までは、高温になるにつれて出芽が速くなった。30℃区では、エンバク、六条オオムギは、25℃

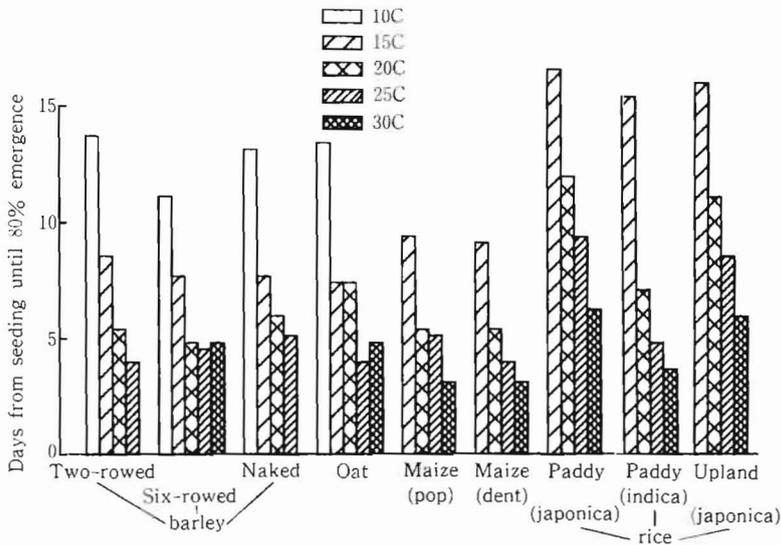


Fig. 3. Effect of temperature on rate of emergence in some cereals.

区に較べて出芽まで日数に差はなく、ハダカムギは、出芽率が80%を越えなかった。

トウモロコシ、日本型水稻、陸稻およびインド型水稻では、10℃区で出芽率が80%を越えなかったが、15℃区から30℃区の間では温度が高いほど、幼芽の伸長が速く出芽まで日数が短くなった。これらの夏作物は、30℃あるいはそれ以上の温度で土中での幼芽の伸長がもっとも速くなるものと推察される。

これに対して、冬作物である二条オオムギを始めとするムギ類では土中での幼芽の伸長のもっとも速い温度は、25℃付近にあるといえる。

2) 土壤水分と伸長の速さ (Table 5)

幼芽が出芽する場合、播種された土壤の水分含量が出芽の良否を決定する大きな要因であることは言うまでもない。種子の発芽とその周囲の水分張力(水ポテンシャル)との間の関係はこれまでかなりの報告があり、主に土壤水分が少ない条件のもとでの発芽・出芽の良否についての研究が多い¹⁾¹¹⁾¹⁴⁾²²⁾。

また、転換畑での全層播栽培では土壤の過湿による出芽・苗立ちの不良が問題化している。特にオオムギは過湿への耐性が、コムギなどと比較しても弱いことが知られている³⁷⁾。

ここでは、数種のイネ科作物を用いて覆土下での幼芽の伸長の速さを測定し、二条オオムギの特徴を知る目的で実験を行った。

Table 5に、各土壤水分条件下での出芽率が80%を越えるまでの日数および最終調査時の出芽率を示した。

Table 5. Effect of soil moisture ratio on rate of seedling emergence (Temperature; 20 C)

Crop	Days from seedling until 80% emergence				
	Soil moisture ratio				
	9%	13%	17%	21%	30%
Two-rowed barley	10.0 (100)*	5.2 (100)	5.5 (96)	6.4 (93)	- (33)
Naked barley	12.5 (95)	8.4 (100)	5.9 (100)	6.3 (100)	- (52)
Six-rowed barley	8.4 (100)	5.3 (100)	5.4 (100)	6.4 (100)	- (10)
Oat	7.4 (100)	5.9 (100)	5.9 (100)	5.7 (100)	- (10)
Maize (pop corn)	8.5 (100)	8.4 (100)	5.3 (100)	- (50)	- (23)
Maize (dent corn)	9.4 (100)	7.9 (100)	5.7 (100)	5.9 (100)	- (16)
Paddy rice (japonica)	- (0)	14.3 (90)	12.0 (100)	12.3 (100)	12.3 (93)
Paddy rice (indica)	- (0)	13.0 (100)	7.4 (100)	7.5 (95)	7.9 (100)
Upland rice (japonica)	- (0)	15.5 (86)	12.0 (100)	12.6 (100)	12.3 (84)

* Emergence rate (%) at the end of experiment.

二条オオムギでは、13~17%区で出芽まで日数をもっとも小さく、それより土壤水分が大きくなるにつれ出芽まで日数はやや大きくなり、30%区では、最終出芽率が33%にしか

達せず、幼芽の伸長は劣った。一方、9%区では出芽まで日数は10日で、13%区に較べて4.8日延長された。

六条オオムギ、エンバクでは、二条オオムギとほぼ同じ傾向を示し、13~17%で出芽まで日数が最小となり、9%区では出芽まで日数は大きくなり、30%区では、出芽不良となった。ハダカムギはムギ類の中では特異な反応を示し、17%区で出芽まで日数が最小となりそれより低水分側で出芽の遅れが認められた。ここで供試したハダカムギは渦性であり、他のムギ類より幼芽の伸長速度、量共に劣っているが、ここでの特異的な反応の原因は本実験の範囲では明らかにできなかった。

トウモロコシでは、17%区で出芽まで日数が最小となった。13%、9%区では17%区よりも出芽が遅れ、日本型水稻、陸稻、インド型水稻では、土壤水分の多い17~30%の各区では出芽まで日数に差はなかったが、13%区では出芽が遅れ、土壤水分が少ない9%区では発芽はしたが出芽が見られなかった。イネの3つのタイプ間では、インド型水稻の出芽まで日数が短いのが特徴的であった。

このように、最短の出芽まで日数を得る土壤水分は、作物によって異なり、日本型水稻、陸稻、インド型水稻では、17~30%にあり、二条オオムギ、六条オオムギ、エンバクでは13~17%、ハダカムギでは17%、トウモロコシでは17~21%付近にあった。なお二条オオムギは供試作物の中では最適土壤水分下の出芽まで日数で最短値を示した。

この様な作物間の差異は、種子が吸水に要する時間や、土中の酸素分圧にたいする幼芽の伸長速度の差などが関連すると思われるが、その機作は本実験では明かではない。

3) 覆土後鎮圧と伸長の速さ

Fig. 4に各作物が出芽率80%を越えるまでの日数を示した。覆土を鎮圧することによって、覆土の厚さは減少したが、覆土の硬度が増加したために、鎮圧の程度によって、播種後出芽率が80%を越えるまでの日数は異なった。

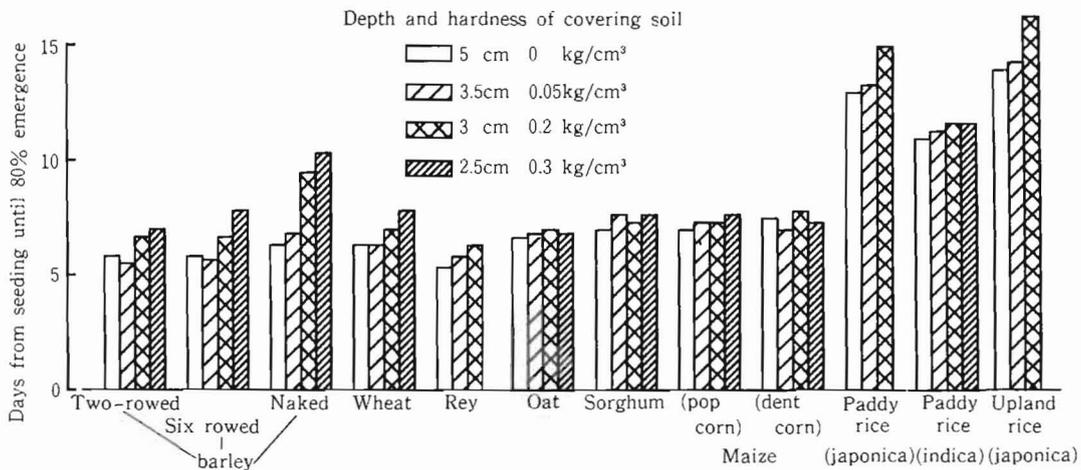


Fig. 4. Effect of compaction of covering soil on the emergence.

After seeding at 5 cm in depth, four intensities of compaction were given. (soil moisture ratio; 13%, temperature; 20 C)

二条オオムギでは、0 kg/cm³区で6.2日で、0.05kg/cm³区では6.0日と最短となり、それ以上の鎮圧程度の増大は幼芽の伸長を遅くさせ、0.2kg/cm³区で7.0日、0.3kg/cm³区では7.9日となった。

鎮圧程度と出芽率が80%を越えるまでの日数との関係からここで供試した作物はほぼ次の3群に類別できた。

第1群：全区とも実験終了までに、出芽率が80%を越え、かつ無鎮圧区と0.3kg/cm³の鎮圧区に於ける播種後出芽率が80%を越えるまでの日数の差が1日以内の作物(トウモロコシ、ソルガム、エンバク、およびインド型水稻)

第2群：この実験において鎮圧の程度がもっとも強かった0.3kg/cm³区では出芽率が80%を越えないか80%を越えるまでの日数が1日以上遅れた作物(コムギ、二条オオムギ、六条オオムギおよびライムギ)

第3群：鎮圧の程度がもっとも弱かった0.05kg/cm³区においてのみ、無鎮圧区との出芽まで日数の差が1日以内の作物(ハダカムギ、日本型水稻および陸稲)

以上の結果を幼芽の形態と対比すると、第1群は中茎の伸長量が大きい作物であり、第2群は中茎は全く伸長しないが鞘葉の長く伸長する作物であり、第3群は中茎は全く伸長しないか僅かに伸長するのみで、鞘葉も第2群ほどは伸長しない作物であった。

3. 幼芽の先端にかかる荷重と伸長

種子が土中で発芽した後幼芽が伸長して出芽するまでには幼芽はその先端に土圧を受けながら生長するが、その土圧の強さは覆土の砕土の程度や覆土後の鎮圧の程度などによ

Table. 6. Effect of applying weight to the top of plumule on elongation of plumule in some cereals.

Crop	Elongation amount (mm)				
	Weight loaded on plumule (g)				
	0	5	10	20	30
Two-rowed barley	35.8 (100)	33.6 (94)	28.3 (79)	22.0 (61)	9.0 (34)
Naked barley (uzu)	19.0 (100)	22.6 (93)	17.8 (62)	11.6 (45)	8.7 (35)
Wheat	32.5 (100)	29.6 (91)	27.3 (84)	14.0 (43)	10.5 (32)
Rye	30.5 (100)	27.8 (91)	23.2 (76)	10.6 (35)	8.7 (29)
Oat	29.8 (100)	23.3 (78)	15.3 (51)	9.6 (32)	6.0 (20)
Sorghum	41.7 (100)	40.3 (97)	24.0 (58)	23.0 (55)	20.0 (48)
Paddy rice (japonica)	9.8 (100)	8.5 (88)	6.3 (64)	5.5 (56)	2.7 (26)
Paddy rice (indica) C	21.3 (100)	18.8 (88)	14.3 (66)	7.0 (33)	5.7 (27)
Upland rice (japonica) C	7.0 (100)	5.3 (76)	2.3 (33)	0.0 (0)	0.0 (0)

* Number in parentheses shows each length in terms of percentage of 0g lot.

て異なると考えられる。そこで、土圧の強さが幼芽の伸長にどのような影響をおよぼすかを知るために、幼芽に任意の荷重をかけられる試験装置を作製して、実験を行った。

1) 幼芽の伸長におよぼす荷重の影響

Table 6 より、まず二条オオムギについてみれば、荷重 0 g 区では温度 20°C で 48 時間後の伸長量が 35.8mm であったのに対し、荷重 5 g 区では 33.6mm で伸長抑制は約 6% とわずかであったが、荷重が 10 g、20 g と増加するにつれて伸長抑制は約 20%、約 40% と強くなり、荷重 30 g 区では伸長抑制は約 65% であった。

次に、他の作物の幼芽の伸長に対する荷重の影響についてみれば、荷重による幼芽の伸長反応は荷重の程度や作物によってかなり異なったが大まかにはハダカムギ、コムギ、ライムギおよびソルガムは二条オオムギとほぼ似た傾向を示したのに対し、エンバクおよびイネでは二条オオムギより荷重による伸長抑制程度が強いようであった。

このような作物による違いの原因としては、荷重による伸長抑制が相対的に弱いコムギおよびライムギでは二条オオムギと同じく鞘葉が長く伸長するのに対し、伸長抑制が強いハダカムギ（渦性）や日本型水稻では鞘葉が短いことが考えられる。また、中胚軸が伸長する作物では、ソルガムでは伸長抑制が弱かったのに対し、エンバクおよびイネでは抑制

Table 7. Effect of applying weight to the top of plumule on mean vertical length of parenchyma cell of plumule in some cereals.

Crop		Length of parenchyma cell ($\times 10^4$ nm)				
		Weight loaded on plumule (g)				
		0	5	10	20	30
Two-rowed barley	C	22.2 (100)	20.0 (93)	18.1 (82)	13.8 (63)	8.7 (39)
Naked barley (uzu)	C	12.6 (100)	12.4 (99)	8.7 (69)	8.0 (64)	7.5 (60)
Wheat	C	24.6 (100)	25.0 (102)	24.6 (100)	16.3 (66)	12.9 (52)
Rye	C	22.2 (100)	20.2 (91)	16.6 (75)	9.5 (43)	9.6 (43)
Oat	C	9.1 (100)	8.6 (95)	6.6 (73)	5.7 (63)	4.3 (47)
	M	14.2 (100)	13.3 (94)	11.5 (81)	10.7 (75)	9.3 (65)
Sorghum	C	6.9 (100)	6.8 (99)	5.1 (76)	4.8 (70)	4.7 (68)
	M	26.1 (100)	26.7 (102)	20.5 (79)	17.1 (66)	10.9 (42)
Paddy rice (japonica)	C	8.4 (100)	8.2 (98)	6.9 (82)	6.0 (72)	4.5 (54)
Paddy rice (indica)	C	6.6 (100)	5.2 (79)	4.0 (61)	3.9 (59)	4.2 (64)
	M	14.3 (100)	14.0 (97)	10.5 (73)	9.6 (67)	9.3 (65)
Upland rice (japonica)	C	7.6 (100)	6.3 (83)	4.5 (59)	2.9 (38)	2.9 (38)

* Number in parentheses shows each length in terms of percentage of 0 g lot.
C; coleoptile M; mesocotyl

が強かったが、この原因は荷重に対する伸長反応の違いのほかに、実験開始時に受ける光に対する感受性の違い⁶³⁾も影響しているのではないかと考えられる。

2) 鞘葉の細胞分裂および細胞伸長におよぼす荷重の影響

Table 7 に荷重をかけられた状態で伸長した幼芽における鞘葉および中茎の柔細胞の縦方向の長さを示した。二条オオムギ幼芽での鞘葉の柔細胞長は、荷重が大きくなるにつれて短くなる傾向があった。0 g 区の平均柔細胞長を100とするパーセンテージでみると、5 g 区で90、10g 区で82、20g 区で63と荷重の増加につれ減少し、30g 区では、39%と0 g 区の約1/3になり、荷重によって細胞の縦方向の伸長が顕著に抑制された。ここで供試した作物間には、荷重による柔細胞の縦方向の伸長抑制の様相にやや差がみられたが、どの作物でも10g 以上の負荷をかけた場合に抑制が顕著となった。細胞長の抑制程度の作物間差異は、幼芽長のそれと同様の傾向を示し、幼芽長の抑制の大きな作物ほど細胞長の抑制も強かった。

次に、幼芽1本あたりの縦方向の柔細胞数と幼芽にかかる荷重との関係のみた(Table 8)。二条オオムギ幼芽の縦方向の細胞数は、幼芽先端に荷重を受けて伸長してもほとんど変わらない。30g 区では、0 g 区の88%とやや減ったが、幼芽そのものの伸長が0 g 区のその

Table 8. Effect applying of weighting to the top of plumule on mean vertical number of parenchyma cells of plumule in some cereals.

Crop		Number of parenchyma cells per plumule				
		Weight loaded on plumule (g)				
		0	5	10	20	30
Two-rowed barley	C	184	193	184	196	161
		(100)	(105)	(100)	(106)	(88)
Naked barley (uzu)	C	191	182	193	170	155
		(100)	(95)	(100)	(89)	(81)
Wheat	C	160	155	131	130	127
		(100)	(97)	(82)	(81)	(79)
Rye	C	160	162	170	165	143
		(100)	(101)	(105)	(103)	(89)
Oat	C	129	137	116	121	115
		(100)	(106)	(90)	(94)	(89)
	M	110	104	90	92	73
		(100)	(95)	(82)	(84)	(66)
Sorghum	C	143	139	124	124	100
		(100)	(97)	(86)	(86)	(70)
	M	143	127	114	103	105
		(100)	(87)	(80)	(72)	(73)
Paddy rice (japonica)	C	176	164	163	174	171
		(100)	(93)	(93)	(99)	(97)
Paddy rice (indica)	C	163	155	15	147	139
		(100)	(95)	(94)	(90)	(85)
	M	93	95	88	83	70
		(100)	(102)	(95)	(89)	(75)
Upland rice (japonica)	C	157	163	168	160	153
		(100)	(103)	(107)	(101)	(97)

C; coleoptile M; mosocoty1

* Number in parentheses shows each length in terms of percentage of 0g lot.

34%だったのに比べれば減少の程度は比較的少なかった。

荷重による鞘葉柔細胞数抑制の程度には若干作物間に差異が認められた。30g区での抑制率を比較するとソルガムは30%、ハダカムギ、コムギは約20%、二条オオムギ、ライムギでは約10%あったが、日本型水稻、日本型陸稲ではほとんど抑制が見られなかった。コムギは荷重に対する反応が大きく10g区の抑制率は18%を示し30g区でも21%であった。それに対して、二条オオムギはライムギと同様に20g区までは細胞数の減少が全く見られず30g区でも細胞数の減少は比較的少ない方で、荷重による幼芽の伸長抑制には主に細胞の縦伸長の減少が寄与している。

中茎を伸長させる作物についてみると、中茎は荷重による縦方向の細胞数の減少割合が鞘葉に比べて大きい傾向があった。30g区の幼芽の中茎の細胞数は、0g区のそのソルガムで73%、エンバクで66%、インド型水稻で75%となりかなり減少していた。これは、荷重によって中茎の細胞分裂が抑えられるためであろう。

このように、荷重による幼芽の伸長抑制におよぼす細胞伸長の抑制および細胞数抑制の寄与率は幼芽の器官や作物種により異なっていた。中茎は鞘葉に比べると細胞数減少の寄与が大きかった。鞘葉は中茎に比べると細胞伸長抑制の寄与が大きかったが、20g区30g区など荷重が大きな区ではムギ類などでは細胞数減少の寄与も無視できなかった。また、鞘葉を伸長させる作物の中では二条オオムギは荷重に対する細胞数の抑制の寄与がハダカムギ、コムギなどより小さく日本型水稻、陸稲より大きかったが、20g区までの幼芽の伸長抑制は全て細胞伸長抑制によるものであった。

考 察

本報では二条オオムギの幼芽の伸長特性を明らかにする目的で実験を行った。

まず、鞘葉の伸長部位を調べたところ、1cmに伸長した鞘葉のその後48時間の伸長は鞘葉中央部で大きく、基部先端部では小さかった。また、幼芽の伸長に伴う鞘葉の柔細胞数、平均細胞長、部位別の細胞長を測定したところ、1cmに伸長した鞘葉の細胞数はその後の伸長によっては増加しないこと、柔細胞の伸長は部位によって時間的な早晚があり基部から先端部に順次進むことが明らかになった。

以上の事実から、中央部での伸長量が大きい原因は、長さ1cmの幼芽であっても基部ではすでにある程度細胞伸長が進んでいるため、その後の伸びが少なく、幼芽中央部では、実験開始後伸長が最盛期になるため伸長量が大きく、先端部では48時間の実験期間内では、伸長がまださほど盛んになっていないため伸長量が小さいものと考えられた。

本実験において柔細胞伸長が基部でおき次第に先端に進むことが明らかになったが、コムギの鞘葉でも伸長はまず基部始まり、最後に先端部で止る (Roesel and Harber 1963)²⁹⁾ ことが報告されており、本実験の結果はこれと類似であった。

数種のイネ科作物の鞘葉についての本実験の結果からすると、コムギ、ハダカムギ、ライムギ、水稻などの鞘葉もほぼ同様の伸長性をもっているといえる。

ところで、オオムギの鞘葉の伸長パターンはゆっくり進む初期生長の過程とその後の急速な生長過程の2つの独立した過程からなる (Liptay and Davidson 1971)²¹⁾。コムギでも細胞伸長には2つの相があって細胞分裂が開始される発芽後18時間附近と分裂がほぼ

終了した54時間附近にピークをもつ伸長とがあり、外から与えた植物ホルモンの影響は第1相ではGAとカイネチンが促進効果をもち、第2相ではオーキシンが著しい促進効果があると報告されている (Wright 1961)⁴⁵⁾。以上のことから考えると本実験での幼芽の伸長は発芽からおよそ23時間経過しているもので、第2の伸長相に該当する。

寺尾ら (1984)⁴¹⁾は、イネ種子のABA処理による中茎伸長促進の際には、細胞数の増加も同時に起こっていることを示しているが、本報の実験においてもエンバク、ソルガム、トウモロコシ、インド型水稻などすべての中茎伸長型作物に中茎での細胞数の増加が認められ、中茎では鞘葉に比べてかなり遅くまで細胞分裂によって柔細胞数を増加させていると考えられる。このように、同じ出芽器官でも中茎と鞘葉ではその伸長性に著しい差異がみられた。

前述したように幼芽の伸長の速さは出芽にとって重要な要因である。数種の野菜の出芽前の病害の程度は各温度での病原菌と幼植物との両方の生長速度に依存し、幼芽の生長速度が速いほど病害を受けないと報告されている (Leach 1947)¹⁹⁾。また、ソルガムの低温での出芽不成功の主原因は、出芽に時間がかかりすぎ、その間に菌による感染で枯死するためである (Pinthus and Rosenblum 1955)²⁷⁾。

このように幼芽の伸長の速さが大きく、発芽後短時間で出芽できることは良好な出芽苗立ちの確保に必要な条件である。

本報2.の実験では二条オオムギなどの冬作物と、トウモロコシ、イネなどの夏作物での温度反応の違いが明らかになった。

二条オオムギなどムギ類では10℃でも幼芽を伸長させ出芽可能であったが、30℃の高温では幼芽の伸長が悪く、温度の上昇に伴う伸長速度の増大が見られなかった。それに対して、トウモロコシ、ソルガム、イネなどでは、10℃の低温では幼芽を伸長できずに出芽せず、15℃から30℃へと温度が上昇するにつれ、幼芽の伸長速度が増加した。

土壌水分と幼芽の伸長の速さとの関係について実験を行ったところ、畑作物とイネの間で顕著な差異が見られた。二条オオムギなど畑作物で出芽できない30%区でもイネは幼芽が伸長し出芽した。水稻の鞘葉は低酸素分圧あるいは無酸素条件で急速に伸長すること (菅原 1953³³⁾, Kordan 1976²¹⁾, Osada 1982²⁶⁾) が知られており、高土壌水分下での反応の違いは主に低酸素条件下での幼芽の反応の差に起因するものと考えられる。

乾燥条件での出芽反応は、逆の関係が見られ、畑作物では出芽可能な9%区ではイネは出芽できなかった。

幼芽の伸長のもっとも速かった区に対する9%区の比率で各作物を比較してみると、二条オオムギはエンバク、トウモロコシなどより大きかった。これは、土壌の乾燥に対して畑作物のなかでは比較的弱いことを示している。この点の機作についてはここでは明確でなかった。

本報の結果、強鎮圧下でも幼芽の伸長速度に影響が少なく、よく出芽する順に第1、第2および第3の3群に分類できた。作物の出芽器官とこの分類を比較すると、第1群は中茎の伸長量が大きい作物であり、第2群は鞘葉の長く伸長する作物であり、第3群は中茎が伸長しないか伸長しても第1群ほどには伸長せず、鞘葉も第2群ほどには伸長しない作物であった。

Hoshikawa (1969)¹⁵⁾はイネ科の85属219種の幼植物の地下器官を6つのタイプに分類し

ている。地下器官では1次根や中茎節根、子葉鞘節根等に注目し、主な分類の基準としている。また、中茎伸長の有無について分類を行い、5属34種で中茎伸長が認められず、残りの80属185種で中茎伸長が認められるとしている。

安江、藤井(1979)⁴⁷⁾はイネ科植物の幼植物を中茎と鞘葉との比で分類し、鞘葉のみを伸長させるコムギ、オオムギ、ライムギ等の鞘葉伸長型、中茎長と鞘葉長の比が5以上のアワ、キビ、ヒエ、スズメノヒエ等の中茎伸長型および中茎・鞘葉とも伸長しその比が5以下のイネ、エンバク、イタリアンライグラス、トウモロコシの中間型の3型を見出している。

本報の実験結果から行った分類と安江らの分類とを比較すると、第1群はほぼ安江らの中間型に、第2群はほぼ鞘葉伸長型に相当した。第3群の分類項は安江らにはなく、一方安江らのいう中茎伸長型の作物はここでは供試しなかった。

以上の結果から、中茎を伸長させるインド型水稻とほとんど伸長させない日本型水稻、陸稲の差異や、オオムギでの渦性と並性の差異などが鎮圧下での出芽の良否に大きな影響を持つことが明確になった。

先端に荷重をかけて幼芽の伸長反応を調査したところ、荷重によって幼芽の伸長は抑制され、5~30gへと荷重が大きくなるほど抑制程度が大きくなった。しかし、荷重による幼芽の伸長抑制程度には若干の作物間の差異が認められた。幼芽の伸長力と荷重下での伸長量の比較を試みたところ、比伸長力⁴⁰⁾と20g区、30g区の幼芽の伸長量との間には有意な相関が認められた。

伸長抑制の原因を解析するため鞘葉柔細胞の長さ、数を測定した結果、柔細胞の伸長が荷重によって抑えられることが明らかになった。しかし、30g区では若干細胞数もへり、荷重による細胞分裂の抑制が生じていた。

コムギでは鞘葉の細胞分裂は発芽後18時間目から始り、発芽54時間後には終了するとされているが(Wright 1961⁴⁵⁾)、オオムギではこの点についての定量的な数値はまだ報告されていない。しかし、本実験の結果からみると二条オオムギでは20℃で土壤水分13%の条件下において播種後83時間で幼芽は1cmに達し、また同様の条件での発芽までの時間は60時間であるので³⁸⁾、発芽後幼芽が1cmに伸長するには23時間程度かかると推定される。本報の実験では幼芽が1cmに達してからの伸長をみたところ、細胞分裂による細胞数の増加はなかったので、発芽後23時間前後で鞘葉の細胞分裂はほとんど終了すると推察された。第3の実験では幼芽がまだ短く約3mmの時期に荷重をかけたため、鞘葉の細胞分裂がまだ終了しないうちに実験を行った結果となり、荷重の大きな区で細胞分裂の抑制が生じたのであろう。比較的大きな荷重下では、発芽後に起こる鞘葉の細胞分裂が抑制されることは興味深い。

実際の圃場では、鎮圧された覆土条件の下で幼芽は発芽直後から荷重を受けながら伸長し出芽するので、鎮圧が強ければこのような細胞分裂の抑制が生じているものと考えられる。しかし、細胞分裂の抑制の程度は、細胞の伸長の抑制の程度に比べるとかなり小さいので、出芽に対する影響は細胞伸長抑制に比べて相対的にはさほど大きくないものと推察される。

総 合 考 察

二条オオムギ省力栽培の改善のためには、斉一で安定した出芽苗立ちがえられる播種技術を確立することが特に求められている。本研究は、その基礎研究として、二条オオムギの出芽性について明らかにする目的で行った。

本研究では、まず温度、土壤水分、覆土の鎮圧などの環境要因が二条オオムギの出芽に及ぼす影響を検討し、それぞれの環境要因への反応性を明らかにした³⁸⁾。次に、出芽に関する作物体側の要因として幼芽の伸長力をとりあげ温度、土壤水分、覆土の鎮圧などとの関係を調べ、鎮圧によって伸長力が著しく増大することを見出した³⁹⁾。また、幼芽の貫通力を測定し、幼芽が土塊から受ける抵抗に対する反応に著しい作物間差があり、二条オオムギの幼芽の貫通力はトウモロコシより劣るが同程度の伸長力を持つマメ科作物に比べ高いことを明らかにした⁴⁰⁾。さらに、幼芽の伸長性について検討し、土圧による幼芽の伸長抑制は細胞分裂が関与する作物もあったが二条オオムギでは主として細胞伸長の抑制によることを明らかにした(本報)。

各項については、それぞれに個別に考察を行ったので、ここでは、出芽におよぼす鎮圧作業の意義及び種子の素質と出芽の関係について考察する。

1. 鎮圧と出芽

一般に鎮圧作業は、土壤水分が少ない場合には、耕起によって断たれた心土と耕土の毛管連絡や種子と土壤を密着させることによる種子への水分の供給を促進する、表面を均平にし土塊を砕く、土壤の圧密をおこなって保水力を高めるなどの効果が認められている。このように鎮圧作業の有無が温度の高低や土壤水分の多少とともに幼芽の出芽にとっては重要な環境要因として働くことになる。

本研究の結果、適度の覆土の鎮圧によって出芽が早まり出芽率が向上すること、またその原因は幼芽が大きくなり鞘葉壁も厚くなるため、幼芽の伸長力の増大するためであることなどを明らかにした。

では、土壤の鎮圧によって土中の幼芽の生育およびその後の生長はどんな影響を受けるであろうか？播種後覆土を鎮圧すると土壤の硬度以外の環境因も同時に変化すると考えられる。

覆土の鎮圧は幼芽の伸長の際、幼芽基部に支持基盤を与えることによって伸長力を増大し、出芽に影響すると考えられる。幼芽の伸長力が限界に達する1つの要因は幼芽が上部からの荷重に抗しきれずに屈曲することにあった。発芽後伸長する幼芽周囲の土圧が高まることによって、幼芽の基部での屈曲が起きにくく、たとえ土塊があっても伸長力が増大し貫通する能力が高まる³⁹⁾。Stout (1961)³²⁾によれば播種床を鎮圧して種子へ強固な足場を与えると出芽は改善され、無鎮圧区より出芽可能なクラスト強度が増加する。また、牧草類でも鎮圧によって定着率が高まることが報告されている²⁷⁾。

覆土を鎮圧すると土壤硬度は高まるが、覆土の厚さは減少する。イネ(森山ら1966)²⁴⁾、クローバー(Hakins and Gorz 1975)¹³⁾、ワタ(Wanjura, et. al.1969)⁴³⁾、ダイズ(Fehr et. al. 1973)⁸⁾などでは土壤水分が充分ある条件では、覆土が浅いほど出芽苗立ちがよい。鎮圧による土壤硬度の上昇は幼芽の伸長力の増大によってある程度克服できる³⁹⁾ので、二条

オオムギについても適度の鎮圧は覆土深減少による出芽まで時間の短縮によって、出芽に有利に働くことが明らかになった。

鎮圧作業は土壌の圧密を起し、容積重の変化が熱容量の増加をもたらすため、種子附近の地温に影響する。大谷(1946)³¹⁾はムギ類の踏圧の研究を行い、土を絞め固めることによって、冬季のムギ畑の地下5 cmの最高地温は1.5℃低く、最低地温は1℃高くなり、冠部を凍害から回避させる効果のあることを報告している。また、高畑ら(1964a¹⁰³⁾、1964b³⁶⁾)はオーチャドグラスとラジノクローバーの初期生育と播種床の土壌硬度との関係を調べ、硬度の高い区(1.3kg/cm³)は低い区(0.01kg/cm³)に比べると越冬株が多いとしているが、これも鎮圧による最低地温の上昇の影響であろう。このように鎮圧によって地温の日変化が少なく、特に最低地温が上昇することは、幼芽の伸長速度を増加させるので二条オオムギの出芽にとっても有利に働くものと考えられた。

覆土の鎮圧作業には砕土効果があるが、覆土の砕土の良否は出芽に影響するところが大きい。このことについては多くの報告があり、一般には砕土が良好で直径2 cm以下の土塊率が70%以上の場合には出芽も良好だとされている(川口1983)¹⁷⁾。ハダカムギの出芽は耕うんピッチが特に大きく砕土が不良の場合には悪く、砕土状態が良いと出芽率が增大する(古池ら1974)⁹⁾。ダイコン、白菜(柳沢、藤井1976)⁴⁶⁾や、乾田直播のイネ(荒木1964)¹⁾、清水ら1964³⁰⁾などでも土塊が小さいと苗立ちが良好だが、土塊が大きくなるほど出芽が悪くなる。

畑地での雑草の防除は栽培上大きな問題である。しかも環境保全の立場から農薬使用の軽減が求められ生態的防除が望まれている(鈴木・須藤1975)³⁴⁾ので、もし鎮圧によって雑草の出芽初期生育が抑制されるならば、鎮圧の効果として雑草防除も考えられる。作物と雑草の競合関係を物質生産の面から解析した結果によれば(野口・中山1978)²⁵⁾、初期除草の重要性が指摘されている。また、ソルガムの雑草に対する競争力は、出芽が早く起こり、初期生育の早い一代雑種がより大きいとされている(Guneyli et. al 1969)¹⁰⁾。

雑草種子は作物種子に比べ小さいので、出芽に関する能力も小さいものと考えられる。高林・中山(1979)³⁵⁾は雑草種子の出芽でも種子重の大きいほど最大出芽深度が大きいことを明らかにしている。作物について本研究で明らかにした種子重と覆土鎮圧下からの出芽の関係は、雑草にもあてはまるであろう。従って、雑草は作物より鎮圧の影響を大きく受けるものと考えられるので両者の種子が同一深度にあるとすれば雑草は鎮圧により出芽がより阻害されるものと推察される。

しかし、鎮圧に対する雑草の出芽特性は未だ十分に明らかになっているとは言えず、今後に残された課題である。

一方鎮圧作業は土壌水分が高い時には、出芽にマイナスになる場面も想定される。播種床の土壌水分の多い場合には、鎮圧によって覆土の気相割合が低下して、幼芽が酸素不足に陥り幼芽の健全な伸長が妨げられるため、伸長力の低下や出芽不良が生じる³⁹⁾。特に砕土が良く行われ土塊が小さい場合には過湿害が問題となっている(古池ら1974)⁹⁾。このような結果からすれば圃場の土壌水分が過多な場合は鎮圧作業は避けた方がよいであろう。

本研究では土壌の硬度と出芽の関係について検討した。ところで、コムギ(Lindstrom et. al 1976)²⁰⁾やトウモロコシ(Blacklow 1972a²⁾、1972b³⁾、1973⁴⁾)では環境要因を説明変数とする出芽日数予測のためのモデルの作成が試みられているが、温度、土壌水分、播種深

度のパラメーターしかなく鎮圧程度等の土壤の物理的性質についての変数は考慮されていない。そのため実際の圃場での出芽の予測精度が劣っている。そこでより精度の高いモデル作成のためには土壤の物理的なパラメーターを加える必要がある。本研究は土壤硬度に対する作物の出芽反応性を明らかにしており、この後のモデル作成やシミュレーション解析に利用が可能であろう。

2. 種子の素質と出芽

ところで、作物の出芽を改善するためには、2つの方法がある。1つは前述の様に播種作業の精度をあげ、出芽にとってより望ましい環境を準備することであり、もう一方は出芽能力の高い種子を育種や採種管理により作出することである。

良好な出芽苗立ちを得るためには健全で活力のある種子を播かねばならない。劣化した種子では呼吸速度が劣り発芽、出芽とも劣るし (Cantrell et. al. 1972)⁵⁾、土中での細菌の攻撃にも弱く出芽率が低下する (Edje and Burriss 1971)⁷⁾ことが報告されている。このような種子では殺菌剤の使用によって出芽率が向上する例もあるが (de Pauw 1978)⁶⁾、本来は種子の活性を維持することが望ましく、そのためには収穫時の雨の影響を避ける手立てや調整保存法の研究などがさらに必要であろう。

一般に種子重が大きいほど出芽苗立ちがよい。本研究では同一品種内では粒重の大きい種子ほど幼芽の伸長力が大きく出芽に有利となることを明らかにした。オオムギの同一品種内では種子の大小により初期生育に差があり大きい種子ほど生長が速く、種子中のミトコンドリア量は大粒種子の方が多く、単位組織重当りの密度は種子の大小に関係なく同じであり (MacDaniel 1969)²³⁾、またコムギ品種の初期生育は種子重が大きいほど速い (Ries and Everson 1973)²⁸⁾とされている。このように大粒ほど出芽がよいのは、貯蔵養分も多く呼吸活性も高く発芽および発芽後の初期生育が良いためであろう。そこで二条オオムギの出芽に関する育種目標の1つとしては種子の大粒化が挙げられよう。

次に種子の蛋白含量と出芽の関係をみると、コムギでは遺伝型、環境にかかわらず同一の種子重ならば蛋白含有が大きい品種ほど初期生育がよい (Ries and Everson 1973)²⁸⁾ので、二条オオムギでも出芽にとっては高蛋白の方が望ましいと考えられる。しかし、麦芽原料としては低蛋白含量のものが望まれるので、この点での育種目標は相反することになる。

3. 今後に残された研究課題

本研究の過程で様々な興味ある現象が見出された。

土壤水分と出芽の関係を見た実験によると、水感受性程度が高い品種が、催芽処理区の高土壤水分下では出芽率は水感受性程度が高い品種のほうが低い品種より高かった。これは過剰水条件では発芽が劣るものが、発芽後は過剰な土壤水分下での伸長が比較的良好であることを示しており、生理学的にも興味深い現象である。この現象の機構が解明されれば、高水分下での幼芽の伸長性がより明瞭に理解できるであろう。

また、荷重負荷伸長実験においては、かなり大きな負荷で、鞘葉の細胞分裂が抑制される現象が確認された。これもまた、生理学的には興味ある現象である。

本研究では出芽に関する作物側の要因の1つとして幼芽の形態を考えた。土中を伸長中

の幼芽が受ける土壌抵抗には第3報⁴⁰⁾で明らかにした幼芽の太さ以外にも、幼芽の先端の形状や幼芽先端での溢液が関与するものと考えられる。今後これらを定量化すれば出芽力についてのより正確な把握が可能になることが期待される。

出芽に関する環境要因としては、本研究で扱った温度、土壌水分、土壌硬度、のほかに、土中の酸素拡散速度、土壌の種類、土壌のpH、土壌気相のCO₂濃度、土壌微生物の活動などがあげられる。この中では、酸素拡散速度は湿害時にはもっとも影響が大きい環境因と考えられるが、本研究では扱えなかった。今後に残された課題と言える。

摘 要

1. 鞘葉の伸長部位を調べたところ、1 cmに伸長した鞘葉のその後48時間の伸長は鞘葉中央部で大きく、基部先端部では小さかった。

2. 幼芽の伸長にともなう鞘葉の柔細胞数、平均細胞長、部位別の細胞長を測定したところ、1 cmに伸長した鞘葉の細胞数はその後の伸長によっては増加しないこと、柔細胞の伸長は部位によって時間的な早晚があり基部から先端部に順次進むこと、が明らかになった。

3. 中茎を伸長させる作物では、中茎での細胞数の増加がみられたことから、中茎では鞘葉に比べればかなり遅くまで細胞分裂によって柔細胞数を増加させていると考えられた。

4. 二条オオムギなどの冬作物と、トウモロコシ、イネ類などの夏作物での幼芽伸長速度の温度反応には明らかな相違が認められ、二条オオムギなどムギ類では10℃でも幼芽を伸長させ出芽可能であったが、30℃の高温では幼芽の伸長が悪く、温度の上昇に伴う伸長速度の増大が見られなかった。それに対して、トウモロコシ、ソルガム、イネ類などでは、10℃の低温では幼芽を伸長できず、15℃から30℃へと温度が上昇するにつれ、幼芽の伸長速度が増加した。

5. 土壌水分と出芽率の関係では、二条オオムギを含む数種畑作物とイネの間で顕著な差異が見られ、二条オオムギなどの畑作物で出芽できない土壌水分30%区でもイネは幼芽を伸長させ高い出芽率を示した。乾燥条件での出芽反応は、逆の関係が見られ、畑作物では出芽可能な9%区ではイネ類は出芽できなかった。

6. 鎮圧に対する出芽反応には作物間に差異が認められ、強鎮圧下での幼芽の伸長速度によって出芽力が強い順に第1、2、3群に分類され、二条オオムギは第2群に入った。これら3群はそれぞれの出芽器官の形態的特徴に明らかな相違を示し、第1群では中茎の伸長量が大きく、第2群では中茎は全く伸長しないが鞘葉の伸長量が大きく、第3群では中茎は全く伸長しないか僅かに伸長するのみで鞘葉も第2群ほどは伸長しなかった。

7. 幼芽先端に荷重をかけることによって幼芽の伸長は抑制され、5 gから30 gへと荷重が大きくなるほど抑制程度が大きくなった。鞘葉柔細胞長および数を測定した結果、柔細胞の伸長が荷重によって抑えられることが明らかになった。しかし、30 g区では若干細胞数もへり、荷重による細胞分裂の抑制も生じていた。

二条オオムギの出芽に関与する作物側側の要因である“幼芽の伸長力”、“幼芽の形態”、“幼芽の伸長の速さ”などと播種後鎮圧の強さ、土壌水分、温度などとの関係につき検討を加えた。二条オオムギの出芽は土壌水分張力pF2.2~2.7、温度20~25℃、土壌硬度0.05~0.2kg/cm³の範囲で最も良好であることが明らかになった。また、土壌硬度0.2kg/cm³程

度までの覆土の鎮圧は、幼芽の伸長力を増し、しかも出芽の遅延もないところから、過湿条件でない限り播種作業として有利であることが示唆された。さらに、覆土鎮圧下からの出芽に関して、イネ科作物の間での比較を行ったところ、二条オオムギの出芽性は、中茎をよく伸長させるトウモロコシなどより劣るが、鞘葉の伸長量の小さいハダカムギ、日本型水稻などより優れていることが明らかになった。

引用文献

1. 荒木博, 1964. 乾田直播における耕起・整地法と播種法について. 中国農業研究 29 : 47-50.
2. Blacklow, W. M. 1972a. Mathematical description of the influence of temperature and seed quality on imbibition by seeds of corn (*Zea mays* L.). Crop Sci. 12 : 643-649.
3. Blacklow, W. M. 1972b. Influence of temperature on germination and elongation of radicle and shoot of corn (*Zea mays* L.). Crop Sci. 12 : 647-650.
4. Blacklow W. M. 1973. Simulation model to predict germination and emergence of corn (*Zea mays* L.) in an environment of changeing temperature. Crop Sci. 13 : 604-608.
5. Cartrell, R. P., Hodges, H. F. and Keim, W. F. 1972. Relationship between plant respiration and seedling vigor in *Zea mays* L. Crop Sci. 12 : 214-216.
6. de Pauw, R. M. 1978. Effect of seed moisture content at swathing on emergence of fall rye. Can. J. Plant Sci. 58 : 557-560.
7. Edje, O. T. and Burris, J. S. 1971. Effects of soybean seed vigor on field performance. Agron. J. 63 : 536-538.
8. Fehr, W. R., Burris, J. S. and Gilman, D. F. 1973. Soybean emergence under field conditions. Agron. J. 65 : 740-742.
9. 古池寿夫・岡田芳一・長田雅輝, 1974. ロータリ耕うん機の砕土性能と株処理性能の向上に関する研究(第2報)水田稲刈り跡における株処理性能、除草効果、麦の出芽性能および整地精度の総合評価について. 農機学誌 35 : 170-177.
10. Guneyli, E., Burnside, O. C. and Nordquist, P. T. 1969. Influence of seedling characteristics on weed competitive ability of sorghum hybrids and inbred lines. Crop Sci. 9 : 713-716.
11. Hadas, A. 1977. Water uptake and germination of leguminous seeds in soil of changing matric and osmotic potential. J. exp. Bot. 28 : 977-985.
12. Haskins, F. A. and Gorz, H. J. 1975. Influence of seed size, planting depth, and companion crop on emergence and vigor of seedlings in sweetclover. Agron. J. 67 : 652-654.
13. Hegarty, T. W. 1979. Factors influencing the emergence of calabrese and carrot seedlings in the field. J. Hort. Sci. 54 : 199-207.
14. Horeland, C. S. and Buchanan, G. A. 1973. Weed seed germination under simulated drought. Weed Sci. 21 : 322-324.
15. Hoshikawa K. 1969. Underground organs of the seedlings and the systematics of *gramineae*. Bot. Gaz. 130 : 192-203
16. 井之上準・田中丸重美, 1977. 作物の出芽に関する研究—数種イネ科作物における覆土後鎮圧と出芽—, 日作紀 46 : 14-18.
17. 川口教美, 1983. ムギ類の栽培技術の現況と問題点. 農及園 58 : 287-290.

18. Kordan, H. A. 1976. Anaerobiosis-induced etiolation in light-germinated rice seedlings. *Ann. Bot.* 40 : 347-350.
19. Leach, L. D. 1947. Growth rates of host and pathogen as factors determining the severity of preemergence damping off. *J. Agri. Res.* 75 : 161-179.
20. Lindstorm, M. J., Papendick, R. I. and Koehler, F. E. 1976. A model to predict winter wheat emergence as affected by soil temperature, water potential, and depth of planting. *Agron. J.* 68 : 137-140.
21. Liptay, A. and Davidson, D. 1971. Coleoptile growth : Variation in elongation patterns of individual coleoptile. *Ann. Bot.* 35 : 991-1002.
22. Lyles, L. and Fanning, C. D. 1964. Effect of presoaking, moisture tension and soil salinity on the emergence of grain sorghum. *Agron. J.* 56 : 518-520.
23. MacDaniel, R. G. 1969. Relationships of seed weight, seedling vigor and mitochondrial metabolism in barley. *Crop Sci.* 9 : 823-827.
24. 森山真策・高野総十良・北村稔・服部昭三・横井謙二郎, 1966, 中・大型機械による水稲乾田直播栽培に関する研究, 第1報 播種作業について, 島根農試研報 7 : 43-50
25. 野口勝可・中山兼徳, 1976, 暖地型牧草と雑草の出芽・生育に与える環境条件の影響について, 雑草研究 21 : 24-29,
26. Osada A. 1982. Difference in germination, early growth and respiration between japonica and indica rice under low oxygen conditions. *Japan. J. Trop. Agri.* 26 : 93-100.
27. Pinthus, M. J. and Rosenblum, J. 1965. Germination and seedling emergence of sorghum at low temperature. *Crop Sci.* 5 : 293-296.
28. Ries, S. K. and Everson, E. H. 1973. Protein content and seed size relationships with seedling vigor of wheat cultivars. *Agron. J.* 65 : 884-886
29. Roesel, H. A. and Haber, A. H. 1963. Studies of effects of light on growth pattern and of gibberellin sensitivity in relation to age, growth rate, and illumination in intact wheat coleoptiles. *Plant Physiol.* 44 : 523-532.
30. 清水寿美・豊岡繁雄・西田寿, 1964, 水稲乾田直播栽培における整地法および播種機様式と苗立ちについて, 中国農業研究 29 : 51-52,
31. 四方治五郎, 1967, 大麦の発芽-酵素の生成を中心として- 化学と生物 5 : 506-510.
32. Stout, B. A., Buchele, W. F. and Snyder, F. W. 1961. Effect of soil compaction on seedling emergence under simulated field conditions. *Agric. Eng.* 68-71.
33. 菅原友太, 1953, 水稲鞘葉の伸長に関する研究 (第1報), 日作紀 24 : 173-175,
34. 鈴木光喜・須藤孝久, 1975, 水田雑草の発生生態第1報温度と出芽の関係, 雑草研究 20 : 105-109,
35. 高林実・中山兼徳, 1979, 主要雑草種子の出芽深度について, 雑草研究 24 : 65-68,
36. 高畑滋・三井豊穂・嶋村匡俊・平野孝雄, 1964, 播種床の差異と牧草の生育について, 第IV報 土壤水分と鎮圧程度の差がオーチャードグラスの生育におよぼす影響, 日草誌 11 : 144-147,
37. 田中萬紀穂・須藤健一・西田清数・佐村董, 1984, 湿潤畑における麦栽培の安定化 第1報 耐湿性品種の選定, 兵庫県農総センタ研報 32 : 81-84,
38. 田中丸重美, 1990, 二条オオムギの出芽性に関する作物学的研究第1報, 農学研究 62 : 63-80.
39. 田中丸重美, 1990, 二条オオムギの出芽性に関する作物学的研究第2報, 農学研究 62 : 81-93.
40. 田中丸重美, 1990, 二条オオムギの出芽性に関する作物学的研究第3報, 農学研究 62 : 95-105.
41. 寺尾寛行・島野至・井之上準, 1984, 日本型イネの中胚軸の伸長に及ぼす種子に吸収させたアブシジン酸の影響, 日作紀 53 : 409-415,

42. 上山泰, 1975. 種もみの比重および重さが乾田直播水稻の出芽に及ぼす影響. 日作紀 44 : 414-418.
43. Wanjura, R. F., Bibro, J. D. and Hudspeth, E. B. 1969. Emergence time, seed quality and planting depth on yield and survival of cotton *Gossypium hirsutum* L. Agron. J. 61 : 63-65.
44. Withrow, R. B. and Price, L. 1952. Filter for the isolation of narrow regions in the visible and near-visible spectrum. Plant Physiol. 34 : 105-114.
45. Wright, S. T. G. 1961. A sequential growth response to gibberillin acid, kinetin, and indole-3-acetic acid in the wheat coleoptile (*Triticum vulgare* L.). Nature 190 : 699-700.
46. 柳沢健彦・藤井信一郎, 1976. ダイコン・ハクサイのは種作業精度の許容幅に関する研究. 園学雑 45 : 143-152.
47. 安江多輔・藤井和弘, 1979. イネ科作物の中茎及び子葉鞘の伸長に関する比較作物学的研究. 第1報 中茎と子葉鞘の伸長比について. 日作紀 48 : 356-364.

Agronomic Studies on Seedling Emergence in Two-Rowed Barley

IV. Development and growth of coleoptile in relation to emergence.

Shigemi TANAKAMARU

Summary

Elongation pattern, number and length of parenchyma cells of plumule in two-rowed barley and in some other cereals were measured.

One-cm tall plumules of these crops were marked with indian ink at equal intervals of 2 mm and grown in darkness for 48 hours. In every plumule tested, the center portion of the plumule elongated more than the top or base portion (Fig. 2).

Number of parenchyma cells in coleoptile in plumule did not change as the plumule grew from 1 to 4 cm tall (Table 3). Coleoptile cells elongated at basal portion of plumula and then the zone for elongation shifted upward to the top of the plumule (Table 4).

In crops with mesocotyl elongation (oat, sorghum, maize and indica type rice), the number of parenchyma cells in mesocotyl increased as the length of the mesocotyl increased. Thus the mesocotyl is capable to increase cell by cell division at a later stage of growth than the coleoptile (Table 3).

Winter crops including two-rowed barley were able to emerge at temperature of 10 C where summer crops such as maize, sorghum and rice fail to emerge (Fig. 3).

Upland field crops including two-rowed barley failed to emerge when soil moisture ratio was increased to 30%. In a dry condition of 9% soil moisture ratio, upland field crops can emerge, but rice cannot emerge (Table 5).

Crops were classified by response of seedling emergence through compacted covering soil. Crops with long mesocotyl were highest in emergence followed by crops with long coleoptile, and crops with short mesocotyl or short coleoptile (Fig. 4).

Inhibition of plumule elongation by applying weight to the top became larger as load was increased from 0 to 30g. Cell elongation was inhibited by treatment (Table 6, 7, 8).