

二条オオムギの出芽性に関する作物学的研究 第2報 幼芽の伸長力

田中丸 重美

出芽の遅速、良否などは環境条件に影響されることは言うまでもないが、作物の側に起因する因子としては、土中における幼芽の伸長の速さ、および幼芽の伸長力などが考えられ、出芽の遅速良否はこれらの複合した結果として現れると考えられる。

ここで、幼芽の伸長力は「幼芽がその先端でものを押し上げる力」で示される。したがって、幼芽の伸長の速さがほぼ同じ場合は、伸長力が強い幼芽ほど出芽には有利であると考えられる。特に土壌が重粘な場合や、土壌表面にクラストが形成されているような場合には、出芽するまでに幼芽にかかる土壌抵抗が大きいので、伸長力の大小が出芽の良否を左右することになると考えられる。

本報では、ストレインゲージ荷重変換器を用いる方法によって幼芽の伸長力を測定するとともに、伸長力を支配する要因と考えられる二三の環境要因と伸長力の関係を検討し、二条オオムギの幼芽の伸長力の特性を明らかにする目的で、一連の実験を行った。

材料および方法

1. 伸長力の測定法

幼芽がものを押し上げる力を測定しようという最初の試みは、古く1937年に Pech によって行われている¹³⁾。彼は、播性の異なるオオムギおよびコムギを用い、それぞれ1ポットあたり30粒播種し、その幼芽が垂直方向に可動する円板を押し上げる力を測定した。その後、Williams (1957)¹⁹⁾は Pech とほぼ同じ方法でマメ科牧草の出芽力 (emergence force) を測定している。すなわち、彼は牧草の種子をガラス管内に播種し、幼芽が管内に挿入した重さの異なる棒を押し上げることができるかどうかを基準として、その草種の幼芽の出芽力を重さで表し、粒重と出芽力との相関が高いことを明らかにしている。

しかしながら、Pech や Williams の方法は、播種直後から幼芽に荷重をかけるため、ごく初期の生育段階にある幼芽の伸長力は測定できるが、幼芽の伸長程度による伸長力のちがいを測定することはできない。

また、太田・安江 (1964)¹²⁾は水稻の幼芽の強さを測定しようとして幼芽が一定の長さ伸長した時にその頂部に荷重を加え、幼芽が挫折した時の重量をもって幼芽の強度とした。しかし、これは挫折抵抗強度であって、幼芽が伸長する力を直接測定したものではない。

平成元年12月20日受理

井之上ら (1966)⁹⁾はストレインゲージ荷重変換器を応用して数種の作物の幼芽の抽出力を測定した。幼芽の形態がほぼ似たイネ科作物でも抽出力の最高値は作物によって異なることを報告している。その後、Jansenら(1972)¹⁰⁾も井之上らとほぼ同様の方法でマメ科牧草の伸長力を連続的に測定し、伸長力の最高値に達するまでの時間および最高値の大きさが草種によって異なることを明らかにしている。

本研究ではストレインゲージ荷重変換器を用いる方法によって二条オオムギ幼芽の伸長力を測定した。ここで、測定した伸長力は井之上らの抽出力と同様のものである。

1) 伸長力の測定装置

幼芽の伸長力を測定するための装置の概略を Fig. 1 に示した。ピックアップとして非接着型ストレインゲージ荷重変換器のUT型 (1 kgf) を使用した。ここで用いた非接着型ストレインゲージは、原理的には特殊な金属細線に外部からの力を加えると、その伸縮に従って電気抵抗が変化するので、その変化量をゲージのブリッジ回路で検出できる仕組みになっているものである。この荷重変換器の感受部の先端には、後述の方法で仕立てた幼芽の伸長する力が、幼芽を確実に受けとめられるように感受部の直径と内径の等しいチューブを取り付け“幼芽受け”とした。その荷重変換器は上下に移動し、任意の高さに止められるように支持台にとりつけた。記録装置には紙送り速度を低速にした AS18型自動平衡式記録計を用い、連続的に記録させた。なお、記録計を除く測定装置は電気恒温器内に設置し、暗黒下、任意の恒温状態で測定できるようにした。

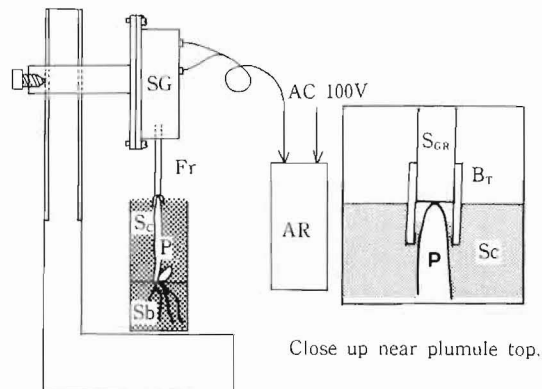


Fig. 1. Apparatus for measuring strength of plumule elongation (AR; auto balancing null recorder, Fr; plumule holder, P; plumule, SG; strain gauge, Sb; seed bed, Sc; covering soil, Bt; tube, Sgr; sensor tip of strain gauge)

2) 伸長力の測定方法

前報¹⁵⁾に示した砂壤土を用い、後述する方法で育成した幼芽が所定の長さに伸長した時期に、その先端が2~3mm出るように覆土を注意深く除去し、ストレインゲージ荷重変換器の“幼芽受け”に確実にセットし、覆土をもどした。その際、ストレインゲージを上下に移動させ、記録計への出力が0gfになるように、幼芽と“幼芽受け”とを接触させた。この操作は、幼芽への光の影響をできるだけ少なくする目的で、操作可能な最低限の明る

さの下で²⁰⁾、幼芽を傷つけぬように注意深く迅速に行った。

なお、伸長力測定期間中における土壤水分の変動を防ぐ目的で、恒温器はできるだけ気密にし、測定中は水を入れたバットを恒温器内に備えた。

2. 幼芽の伸長力

材料には二条オオムギ品種成城17号を用い、特記する以外の実験は次のような方法によった。種子は中庸の大きさのもの(1粒重:40~45mg)を用い、芽生えの育成は直径2.5cm、高さ6.5cmまたは10cmのガラス管瓶で行った。播種床および覆土には含水比13%に調節して用いた。

上記の管瓶に土壤を硬度約0.2kg/cm³になるように詰めて、播種床を作成した後、管瓶あたり1粒を幼芽が垂直に伸長するように種子をななめにして播種し、測定に供する幼芽の長さより約5mm厚く覆土した。覆土後、このガラス管瓶は土壤水分の変動を防ぐ目的で密閉した容器に入れ、温度20℃暗黒の恒温器に搬入し、芽生えを育成した。

幼芽の形態の測定は次のように行った。前述の方法で芽生えを暗黒中で育成し、幼芽長が所定の長さになったときに堀り取って測定に供した。幼芽基部より5mmおきの鞘葉の徒手横断切片を作成し、顕微鏡下でその長径(A)・短径(B)をマイクロメーターで測定した。幼芽の断面積は、断面がほぼ楕円であると仮定して $\pi AB/4$ として算出した。

3. 伸長力におよぼす2, 3の環境条件の影響

1) 培養温度と伸長力: 供試した品種は栃系144, 博多2号, 大系R661の3品種であった。播種後30, 25, 20, 15℃の恒温器内において幼芽を育成し、幼芽が3cmの長さになった時に伸長力の測定を行った。伸長力の測定も育成した温度と同じ温度の恒温器内で行った。

2) 土壤水分と伸長力: 播種床、覆土ともに、あらかじめ約10, 13, 16, 19および22%に水分を調整した土壤を用い、播種床の硬度約0.2kg/cm³、覆土の硬度0(無鎮圧区)および0.1kg/cm³(鎮圧区)、覆土の厚さ約3.5cmの条件下で幼芽を育成し幼芽が3cmに伸長したときに伸長力の測定を行った。培養温度および測定温度は20℃であった。

3) 覆土後鎮圧と伸長力: 覆土後の鎮圧程度を変え、硬度をそれぞれ0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2および0.5kg/cm³とし、覆土の厚さはいずれの区も約3.5cmとして幼芽の育成を行った。播種床の硬度は0~0.2kg/cm³の間の区では約0.2kg/cm³とし、0.5kg/cm³区では播種床の硬度も0.5kg/cm³とした。

幼芽の曲げ強度の測定には、著者らが試作した曲げ試験機を用い、覆土鎮圧下または無鎮圧下で3cmに伸長した幼芽を供試した。測定方法は堀り取った幼芽の基部2cmを材料とし、その中央部が間隔1cmの支点の中心になるように試料台におき、その幼芽中央部を非接着型ストレインゲージ(200gf)の感受部に装着した“荷重受け”で押し下げて、曲げに対する抵抗の強さを測定した。この場合、押し下げた距離(幼芽中央部のたわみ量)は0.36mmであり、精密ねじによる押し下げ速度は約0.5mm/secであった。

幼芽周囲の土圧の影響をみる実験は、次の方法で行った。無鎮圧で3cmに伸長させた幼芽を1区はそのまま(無鎮圧区)、1区は更に土壤を加えて幼芽の先端が2~3mm出るまでに幼芽周囲の土壤を押し固めた(硬度0.1~0.2kg/cm³)後、それぞれ伸長力の測定を行った。

実 験 結 果

1. 幼芽の伸長力

1) 幼芽の伸長力測定時の荷重変換器出力の変化 (Fig. 2)

3 cmに伸長した幼芽の伸長力を測定した。荷重変換器の出力は鎮圧区、無鎮圧区ともに、幼芽の先端をストレインゲージの感受部に装着した“幼芽受け”にセットした後、経時的に漸時強くなり、両区とも約24時間後に最高に達し、伸長力が測定でき、その後は次第に弱くなった。伸長力は鎮圧区が約70gfで無鎮圧区の約35gfに対してほぼ2倍の強さであった。

このことは、鎮圧区の幼芽は無鎮圧区の幼芽よりも覆土された土塊を押し除けたり、土壤表面にできたクラストを突き抜けたりして出芽する力が著しく強いことを示しているといえよう。

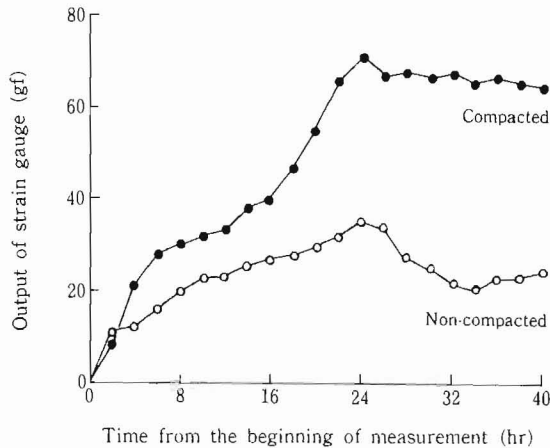


Fig. 2. Changes in output of strain gauge from the plumules under compacted and non-compacted conditions (compacted; 0.1 kg/cm^3 , non-compacted; 0 kg/cm^3 , plumule length; 3cm, soil moisture ratio; 13%, temperature; 20 C)

2) 幼芽の伸長程度と伸長力 (Table 1)

幼芽の伸長力は無鎮圧区では幼芽長 3 cm で最も強く 35gf であったが、1 cm と 5 cm の幼芽ではほぼ同じく約 30gf、7 cm では 23gf であった。ところが、鎮圧区では 1 cm の幼芽の伸長力が最も強く約 110gf であったが、3 cm、5 cm、7 cm と幼芽が伸長するに伴って伸長力は弱くなり、7 cm の幼芽の伸長力は約 47gf で 1 cm の幼芽の約 $1/2.5$ の強さであった (Table 1)。

各幼芽長における鎮圧区と無鎮圧区の伸長力の差は幼芽が短いときほどその差が大きく、1 cm の幼芽では前者は後者の約 4 倍であったのに対し、幼芽長 3 cm、5 cm および 7 cm では約 2 倍であった。

このように、二条オオムギ幼芽の伸長力は幼芽の伸長程度によって異なり、覆土の鎮圧

Table 1. Relation between plumule length and the strength of plumule elongation (soil moisture ratio; 13%, temperature 20 C)

Length of plumule (cm)	Strength of plumule elongation (gf)	
	Hardness of covering soil	
	0 kg/cm ³	0.1 kg/cm ³
1	28±3.4 (6)	113± 9.0(6)
3	35±7.5(10)	78±10.4(4)
5	29±3.4 (6)	59± 7.4(6)
7	23±3.0 (6)	47±11.4(6)

Number of plumule used in each lot is shown in parentheses.

Table 2. Relation between seed weight and the strength of plumule elongation (plumule length; 3cm, soil moisture ratio; 13%, temperature 20 C)

Seed weight (mg)	Strength of plumule elongation (gf)	
	Hardness of covering soil	
	0 kg/cm ³	0.1 kg/cm ³
24-26	20±3.0(6)	60± 5.9(4)
34-36	35±6.8(10)	73±14.3(6)
44-46	36±7.5(9)	78±10.3(4)
54-56	39±7.1(10)	89±20.3(5)

Number of plumules used in each lot is shown in parentheses.

Table 3. Area of cross section at the base of plumule under compacted and non-compacted covering soils (plumule length; 3 cm, soil moisture ratio; 13%, temperature; 20 C)

Seed weight (mg)	Area of cross section in the base on plumule (mm ²)		
	Hardness of covering soil		
	0kg/cm ³ (x)	0.1kg/cm ³ (y)	y/x (%)
24-26	0.8± . 10(4)	1.2± . 10(5)	150
34-36	1.0± . 05(5)	1.3± . 05(4)	130
44-46	1.4± . 20(4)	1.8± . 05(5)	128
54-56	1.5± . 10(5)	1.8± . 05(5)	120

Number of plumules used in each lot is shown in parentheses.

* Area was calculated by the formula of $\pi ab/4$, where "a" is long diameter and "b" short diameter in each cross section of plumule. Only area of cross section at 1.5 cm upper portion from the base of plumule was examined in this experiment.

から受ける影響にも伸長程度により差異がみられた。

3) 粒重と伸長力 (Table 2, 3)

Table 2 より明らかなように、幼芽の伸長力は鎮圧区、無鎮圧区ともに粒重が増すにつれ

で強くなったが、粒重の増加に伴う伸長力の増大程度は鎮圧区で無鎮圧区より大きかった。なお、伸長力の増大は、鎮圧区、無鎮圧区ともに24~26mg区と34~36mg区の間で最も著しく約15gfであった。つぎに鎮圧区と無鎮圧区との幼芽の伸長力の差についてみれば、すべての粒重区分において鎮圧区が無鎮圧区よりも2~3倍強かったが、その程度は粒重が小さい区ほど顕著で、24~26mg区では3倍であったのに対して54~56mg区では約2.2倍であった。

ところで、無鎮圧区の幼芽が、その先端にかかる荷重のために屈曲する部位は基部から1~1.5cmの部位であったが、上記の材料と同じ条件で育成した幼芽について、基部より1.5cm上の幼芽の太さを測定したところ(Table 3)、鎮圧区、無鎮圧区ともに粒重が大きい幼芽ほど太かった。また、どの粒重区分でも鎮圧区の幼芽のほうが無鎮圧区の幼芽よりかなり太く、鎮圧区の幼芽の太さと無鎮圧区のそれとの比は、粒重が小さいほど大きくなる傾向がみられた。なお、同部位における鞘葉壁の厚さも幼芽の太さと同様の関係がみられた。

以上の結果から、粒重が大きいほど幼芽の伸長力が強いのは、粒重が大きいほど幼芽の太さが大きいからであり、覆土を鎮圧した区の幼芽の伸長力が無鎮圧区より強いのは、鎮圧によって幼芽の太さが大きく、鞘葉壁が厚くなったためではないかと考えられた。

3. 伸長力におよぼす2, 3の環境条件の影響

1) 培養温度と伸長力 (Table 4)

ここで供試した3品種の二条オオムギでは、15℃から30℃の間では、温度による伸長力の差はほとんどみられなかった。特に栃系144および博多2号では、15℃区から30℃区までどの区の間にも伸長力の差がみられず栃系144では38~42gf、博多2号では42~45gfの間であった。大系R661の伸長力は、やや温度によって影響を受け、30℃区および25℃区の伸長力はそれぞれ50gf、52gfであったものが、20℃区、15℃区と温度が低下するにつれ伸長力も落ちて47gf、44gfとなった。しかし、伸長力が最高であった25℃区と最低であった15℃区の間でも有意な差はみられなかった。

Table 4. Effect of temperature on strength of plumule elongation in some varieties (length of plumule; 3 cm, soil moisture ratio; 13%)

Temperature (°C)	Strength of plumule elongation (gf)		
	Totikei 144	Variety Hakata 2	Taiki R 661
30	40±9.7	45±4.1	50±12.4
25	42±5.2	45±7.0	52± 9.3
20	38±3.6	45±7.0	47± 5.0
15	40±5.4	42±7.2	44± 5.0

Six plumules in each lot.

以上の結果からみると、二条オオムギの幼芽の伸長力は15℃から30℃の間では、温度による影響は小さいと考えられる。

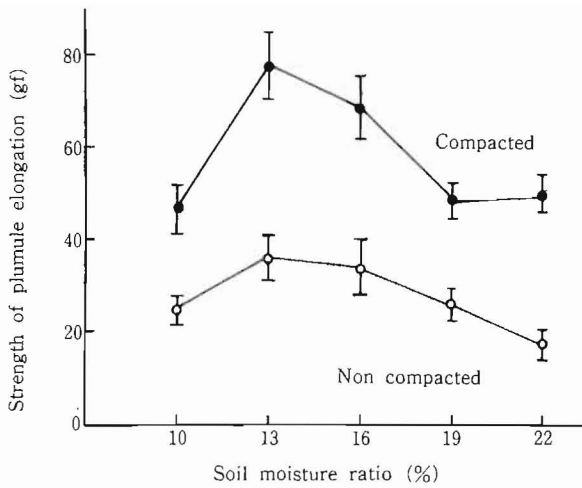


Fig. 3. Effect of soil moisture ratio on the strength of plumule elongation under compacted and non-compacted conditions (compacted; 0.1 kg/cm^3 , non-compacted; 0 kg/cm^3 , plumule length 3cm, temperature; 20 C)

Six plumules in each lot

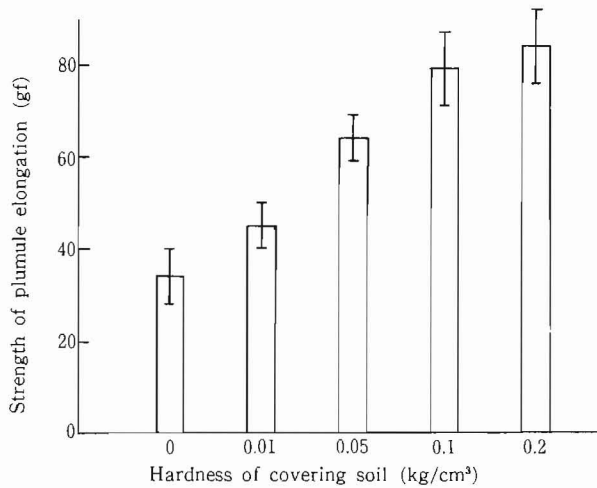


Fig. 4. Effect of hardness of covering soil on the strength of plumule elongation (plumule length; 3 cm, soil moisture ratio; 13%, temperature 20 C)

Six plumules in each lot

2) 土壤水分と伸長力 (Fig. 3)

最大の幼芽の伸長力は鎮圧区, 無鎮圧区とも13%区で出現した. 土壤水分が13%より高くても低くても伸長力は減少するが, 無鎮圧区での高水分側の減少は緩やかで16%区の伸長力は13%区とほとんど差がなかった.

Table 5. Relation between area of cross section and its position from the base of plumule (soil moisture ratio; 13%, non compacted temperature; 20 C)

Plumule length (mm)	Area of cross section of plumule (mm ²)*									
	position from the base (mm)**									
	0.5	5	10	15	20	25	30	35	40	45
15	1.0	0.8	0.8							
20	1.1	1.0	0.8	1.0						
30	1.0	0.8	0.9	1.2	1.0					
40	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1		
50	1.1	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4		
60	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.4	1.4	1.3	
70	1.1	1.0	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.3

* Area of cross section was calculated by the formula in footnote in Table 3.

** Three plumles were used in each lot.

Table 6. Effect of compaction of covering soil on the bending strength of plumule section (plumule length; 3cm, soil moisture ratio; 13%, temperature; 20 C)

Seed weight	Bending strength of plumule section (gf)		
	Hardness of covering soil		y/x (%)
	0 kg/cm ³ (x)	0.1 kg/cm ³ (y)	
24—26	1.6±0.2(4)	3.0±0.2(5)	188
34—36	2.0±0.1(5)	2.9±0.1(4)	145
44—46	2.0±0.1(5)	4.2±0.2(5)	210
54—56	3.3±0.1(5)	4.0±0.2(5)	121

* Strength needs to push down 0.36 mm at the center of plumule section. Plumule section used was 1 cm long from 0.5 cm above the base. Number of plumules used in each lot is shown in parentheses.

最適水分（13%）の両側での伸長力の減少率をみると鎮圧の有無によりそれほど差がなかったが、無鎮圧区の方が高水分側での減少がやや大きい傾向がみられた。従って、土壌の高水分あるいは低水分の影響は鎮圧の有無にかかわらず等しいようであった。

高水分側で幼芽の伸長力が減少するのは、土壌水分の多い区で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であろうと考えられた。

ここで実験したどの土壌水分区でも鎮圧区の伸長力は無鎮圧区の伸長力より約2倍の強さを示した。

3) 覆土後鎮圧と伸長力 (Fig. 4, Table 5, 6, 7)

Fig. 4によれば、3 cmに伸長した幼芽の伸長力は無鎮圧区(0 kg/cm³)で最も弱く34gfであったが、覆土の硬度が増すにつれて幼芽の伸長力は強くなり、0.2kg/cm³では82gfまで増大した。なお、0.5kg/cm³区では幼芽の伸長が悪く伸長力の測定ができなかった。

このように二条オオムギでは硬度0~0.2kg/cm³の範囲内では覆土の鎮圧程度が強いほど、幼芽の伸長力は強く、鎮圧は出芽に有利であろうと推察される。

前項 1. の実験において、伸長力測定後の幼芽を掘り取ってみると無鎮圧区の幼芽はいずれも基部より約 1 cm 上方で屈曲しているのに対し、鎮圧区ではこのような屈曲はみられなかった。そこで、幼芽の基部から 5 mm おきに横断切片を作成し、マイクロメーターで切断面の短径(A)・長径(B)を測定し、その部分の断面積($\pi A B / 4$)を求めた(Table 5)ところ、幼芽基部(0.5mm)の太さは、幼芽が伸長してもほとんど変化せずその断面積は 1.0~1.1mm²であった。また、幼芽長15~70mmの範囲では、幼芽の最も太い部分は先端から10~15mm下にあり、幼芽の最も細い部分は基部より5~10mm上にあり、幼芽の屈曲部位は幼芽の最も細い部位の近傍であった。このことから、無鎮圧区では、幼芽が出芽するまでの間に土塊やクラストに遭遇した時、幼芽の最も細い部位が屈曲する力より弱い力で土塊を押退けられなければ出芽できないと考えられる。

そこで、覆土鎮圧による伸長力増大の原因を明らかにする目的で、幼芽の形態および幼芽の曲げ強度と伸長力の関係について実験を行った。

Table 6 によれば、幼芽の基部の曲げ強度は、いずれの粒重区分においても鎮圧区の幼芽が無鎮圧区の幼芽より大きくなっており、鎮圧によって幼芽の曲げ強度が増すことを示している。なお、覆土の鎮圧による曲げ強度の増大程度は、比較的種子が小さく、幼芽が細く、したがって伸長力も弱い幼芽ほど顕著に現われるようであった。これは、1. 3) で示した、鎮圧による幼芽の太さの増大傾向とよく似ていた。

以上のように、覆土を鎮圧することによって幼芽が太くなり、曲げ強度も増すことによって伸長力が増大したのであろうと推察された。

覆土を鎮圧すれば、幼芽周囲の土壌の硬度が増し、幼芽の屈曲が起これにくくなることもまた考えらる。

Table 7 から明らかなように、幼芽周囲の土壌を押し固めた区の伸長力は無鎮圧区の約 3 倍の強さであった。このことは、幼芽周囲の土圧により幼芽の屈曲が妨げられることが、鎮圧による伸長力増大の一因であることを示唆している。

Table 7. Effect of compaction of covering soil at the start of measurement on the strength of plumule elongation (plumule length 3cm, soil moisture ratio; 13%, temperature; 20 C)

	Hardness of covering soil (kg/cm ³)	Number of plumule	Strength of plumule elongation (gf)
control	0	12	34±18.4
Pressed*	0.1~0.2	10	85±36.0

*Plumule was elongated under non-compacted covering soil and covering soil was compacted just before measurement.

考 察

二条オオムギの出芽にとって重要な要因である幼芽の伸長力を測定し、覆土を鎮圧すると幼芽の伸長力が増大することを見出した。さらに、幼芽の伸長程度および粒重と伸長力の関係から幼芽が太いほど伸長力が大きいこと、また鎮圧の効果は比較的幼芽の太さが細

いほど大きい傾向が認められた。

覆土鎮圧による幼芽の伸長力の増大程度は無鎮圧に比べ2～3倍にも達した。このような鎮圧による伸長力の増大は栽培的には適度な鎮圧作業が出芽にとっても有利な作業であることを示唆している。

鎮圧による幼芽の伸長力の増大の原因には、1) 鎮圧によって幼芽の太さ及び鞘葉壁の厚さが増加すること、2) それとともに幼芽が固くなり曲げ強度も増大すること、3) 鎮圧により幼芽周囲の土圧が高まり幼芽の横への屈曲が妨げられること、などが考えられた。

植物体が物理的な接触によってエチレンを発生し組織の伸長抑制と肥厚を起こす反応は接触形態形成(Thigmomorhogenesis)という言葉で近年定義されている(Biro et al. 1979⁹⁾, Erner and Jaffe 1982⁶⁾) が、物理的刺激による幼芽の肥大はコムギ、ダイズ、トウモロコシ¹⁰⁾でも知られている。Goeshel(1962)⁷⁾によれば、大豆では幼芽に荷重がかかるとエチレンを発生して、そのために上胚軸が肥大して荷重に反発する力が強くなることが明らかにされている。また、Kolpら(1967)¹¹⁾によればコムギにおいては覆土を鎮圧することによって幼芽の太さや鞘葉壁の厚さが増加することが明らかにされている。

また、Suge(1971)¹⁴⁾はエチレン発生剤2-chloroethyl phosphonic acidで処理するとイネの鞘葉の伸長は促進されるが、コムギ、オオムギ、ライムギ、エンバクの鞘葉の伸長は抑制されることを明らかにし、植物ホルモンに対するイネ鞘葉の反応の特異性を見出した。

本実験でみられたような覆土鎮圧による二条オオムギの鞘葉の太さの増大および鞘葉壁の肥大も主に上記と同様なエチレンに介在された反応であると推察される。

Table 3およびTable 6より鎮圧区と無鎮圧区での幼芽の太さと曲げ強度の関係をそれぞれ求めてみると、同じ太さの幼芽でも鎮圧区の方が曲げ強度が大きいことが分かる。これは、鞘葉壁の増大や個々の細胞壁の肥大により幼芽自体の固さが増した結果であろう。

また、無鎮圧状態で育成した幼芽を使用して幼芽周囲の土圧を高めて伸長力を測定したところ、2.5倍の伸長力が得られた。このことから周囲の土圧で幼芽の屈曲が妨げられることも、鎮圧による伸長力増大の一因であると言える。

粒重の大きな種子ほど幼芽が太く、伸長力が大きいことを明らかにした。

マメ科牧草(Carleton and Cooper 1972¹¹⁾), スイートクロバー(Haskins and Gorz 1975⁹⁾), イネ(上山1975a¹⁶⁾)などでは種子が大きいほど出芽がはやく、出芽率が高いとされている。Ching et al.(1977)⁵⁾はオオムギ6品種を供試して出芽と種子の特性との間での多変量解析を行ったところ、種子重がもっとも大きな要因であった。その他の要因としては播種後3日目の総ATP量、吸水種子の総アデノシンリン酸量、7日目の幼植物の乾物重の順であった。従って、出芽に関する選抜には個々のエネルギー代謝の要因よりも種子重の様な総合的な形質による方が簡単で有利であると考えられる。伸長力と粒重の関係からも同様のことが言えるであろう。

一方幼芽の伸長力は土壤水分により著しく変化し、土壤水分13%で最高値を示し、土壤水分がそれより高くても低くても低下した。その際、鎮圧区の伸長力の低下は無鎮圧区より大であったものの、全土壤水分域で無鎮圧区の約2倍前後の伸長力を示した。

水稻では、大田・安江(1964)¹²⁾が出芽過程における水稻幼芽の強さを幼芽を一定の長さには伸長させた時に上部からの負荷に抗する挫折抵抗として測定し、幼芽の強さが土壤水分

の増加に伴い低下すること、低下の原因は本葉の伸長不良にあることを明らかにしている。また、穴山(1977¹⁾, 1978²⁾)はイネ幼芽の伸長は酸素濃度1%以下では阻害されることを明らかにしている。オオムギでの幼芽の伸長と酸素濃度との関係は明らかではないが、過剰水による発芽不良などからイネなどよりも耐湿性は小さいと考えられる。

本報の実験温度範囲では温度によって伸長力に差はみられなかった。

一方幼芽の伸長の速さは当然高温ほど速かった。上山(1975b)¹⁷⁾はジベレリン浸漬によって水稻の幼芽の伸長速度を速めると初期では鞘葉の充実度が落ち挫折強度が落ちるとしているが、二条オオムギでは高温で伸長速度が速くても組織が軟弱になり伸長力が低下する現象はないようである。

二条オオムギでは硬度0~0.2kg/cm³の範囲内では覆土の鎮圧程度が強いほど、幼芽の伸長力は強くなった。この範囲を越えると幼芽が土中で伸長できなくなるため、覆土の硬度が0.2kg/cm³を越えるような鎮圧はかえって出芽にとって不利となる。この値は二条オオムギでの鎮圧作業の目安となるであろう。

摘 要

1. 二条オオムギの出芽にとって重要な要因である幼芽の伸長力を測定し、覆土を鎮圧すると幼芽の伸長力が著しく増大することを見出した。さらに、幼芽の伸長程度および粒重と伸長力の関係から幼芽が太いほど伸長力が大きいこと、また鎮圧の効果は比較的幼芽の太さが細い場合に大きく表れる傾向が認められた。このようなことから覆土の適度な鎮圧は出芽にとって有利な作業であることが示唆された。

2. 鎮圧による幼芽の伸長力の増大の原因には、1) 鎮圧によって幼芽が太さが増加すること、2) それとともに幼芽が固くなり曲げ強度も増大すること、3) 鎮圧により幼芽周囲の土圧が高まり、幼芽の屈曲が妨げられること、などが考えられた。

3. 土壤水分と幼芽の伸長力の関係をみれば鎮圧区、無鎮圧区とも13~16%で最高となりその後で低下した。9~28%のすべての土壤水分区分で鎮圧区の伸長力は無鎮圧区より2~3倍大きかった。

4. 10~30℃の温度範囲では温度による伸長力に差異はみられなかった。

5. 二条オオムギでは硬度0~0.2kg/cm³の範囲内では覆土の鎮圧程度が強いほど、幼芽の伸長力は強くなった。この範囲を越えると幼芽が土中で伸長できなくなるため、覆土の硬度が0.2kg/cm³を越えるような鎮圧はかえって出芽にとって不利となる。この値は二条オオムギでの鎮圧作業の目安となるであろう。

引 用 文 献

1. 穴山 彊. 1977. 水田乾田直播栽培の出芽に関する基礎的研究. I. 酸素濃度とイネの幼芽の伸長. 富山大教育学部紀要 25: 169-180.
2. 穴山 彊. 1978. 水田乾田直播栽培の出芽に関する基礎的研究. II. イネ幼芽の各器官の伸長と出芽. 富山大教育学部紀要 26: 53-60.
3. Biro, R. L., Hunt, E. R. Jr., Erner, Y. and Jaffe, M. J. 1980. Thigmomorphogenesis:

- Cell division and elongation in the internodes of mechanically-perturbed or ethrel-treated bean plants. *Ann. Bot.* 45 : 655-664.
4. Carleton, A. E. and Cooper, C. S. 1972. Seed size effects upon seedling vigor of three forage legumes. *Crop Sci.* 12 : 183-186.
 5. Ching, T. M., Hedtke, S., Brulger, M. C. and Kronstad, W. E. 1977. Correlation of field emergence rate and seed vigor criteria in barley cultivars. *Crop Sci.* 17 : 312-314.
 6. Erner, Y. and Jaffe, M. J. 1982. Thigmomorphogenesis : The involvement of auxin and abscisic acid in growth retardation due to mechanical perturbation. *Plant Cell Physiol.* 23 : 935-941.
 7. Goeschel, J. D., Rappaport, L. and Pratt, H. K. 1966. Ethylene as a factor regulating the growth of pea epicotyls subjected to physical stress. *Plant Physiol.* 41 : 877-884.
 8. 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.
 9. 井之上準・岡田芳一・片山佃. 1966. 水稲乾田直播栽培の出芽に関する研究 第3報 ストレインメーターによる幼芽の抽出力の測定. *日作紀* 35 : 161-167.
 10. Jensen, E. H., Frelich, J. R. and Gifford, R. O. 1972. Emergence force of forage seedlings. *Agron. J.* 64 : 635-639.
 11. Kolp, B. J., Miller, D. G., Pratt, G. A. and Hawng, S.-J. 1967. Relation of coleoptile structure to coleoptile strength and seedling emergence under compacted soil condition in six variety of winter wheat. *Crop Sci.* 7 : 413-417.
 12. 太田勝一・安江多輔. 1964. 出芽過程における水稲幼芽の伸長とその強さ. *岐阜大農研報* 19 : 1-9.
 13. Pech, W. 1937. Neue Methode zur Bestimmung der Standfestigkeit des Getreides, *Z. Pflanzenzücht.* 21 : 46-58.
 14. Suge, H. 1971. 2-chloroethylphosphonic acid as ethylene releasing agent for the sutimulation of rice and inhibition of wheat, barley, rye and oat coleoptile growth. *Proc. Crop Sci. Soc. Jap.* 40 : 127-131.
 15. 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.
 16. 上山泰. 1975a. 種もみの比重および重さが乾田直播水稲の出芽に及ぼす影響. *日作紀* 44 : 414-418.
 17. 上山泰. 1975b. 種もみのジベレリン処理が乾田深播水稲の幼芽の強さに及ぼす影響. *日作紀* 44 : 477-478.
 18. Victor, T. S. and Vanderhoef, L. N. 1975. Mechanical inhibition of hypocotyl elongation induces radial enlargement. *Plant Physiol.* 56 : 845-846.
 19. Williams, W. A. 1957. Evaluation of the emergence force exerted by seedlings of small seeded legumes using probit analysis. *Agron. J.* 49 : 273-274.
 20. 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.

Agronomic Studies on Seedling Emergence in Two-Rowed Barley.

II. Strength of plumule elongation.

Shigemi TANAKAMARU

Summary

Strength of plumule elongation was measured with a strain gauge transducer in darkness under compacted (hardness of covering soil 0.1 kg/cm^3) or non-compacted (0 kg/cm^3) covering soil (Fig. 1)

1. At each stage of plumule elongation (1, 3, 5, 7 cm) (Table 1.), and plumules grown from any seed size (Table 2), the strength of plumule elongation under compacted covering soil is larger than that under non-compacted covering soil. These experiments suggest that thicker plumules have greater strength of plumule elongation.

2. The increment of the strength of plumule elongation by soil compaction is due to; 1) plumule being thickened by compacted soil (Table 3) and 2) increment of bending strength of plumule (Table 6) and 3) increment of soil pressure around plumule preventing its bending (Table 7).

3. Strength of plumule elongation is largest at soil moisture ratio of 13 to 16 % (Fig. 3). Under compacted covering soil, strength of plumule elongation is two to three times larger than that under non-compacted covering soil at a soil moisture ratio ranging from 9% to 28%.

4. Strength of plumule elongation did not differ at a temperature of 10 C to 30 C (Table 4).

5. Strength of plumule elongation increases as the hardness of covering soil increase from 0 kg/cm^3 to 0.2 kg/cm^3 . Hardness excess of 0.2 kg/cm^3 inhibits elongation and emergence (Fig. 4). These data show the value of compaction of soil after seeding barley.