

二条オオムギの出芽性に関する作物学的研究 第1報 出芽におよぼす温度、土壤水分 および覆土の厚さと鎮圧程度の影響

田中丸 重美

緒 言

近年ムギ類は水稻に比較して生産性が極めて低いため、その栽培面積は減少の一途をたどってきたが、二条オオムギ（ビールムギ）の栽培は輸入が制限されていたこともあって比較的安定した状態で推移していた¹⁷⁾。しかしながら、昭和49年度に麦芽の輸入が自由化されたことから麦芽の原料である二条オオムギにおいても生産性の飛躍的な向上を図ることが強く要請されている。

この場合、大幅な省力化に果す農作業機械の役割が極めて大きいことはいまでもなく、最近の麦作においてもトラクターやコンバインの導入によって著しく省力化が推進されてきた。西南暖地における比較的乾燥した地帯では、ムギ類の全面全層播栽培によって、大幅な労働力の軽減が図られ、一作当たりの労働時間を70時間程度まで減少させることに成功している。しかしながら、全面全層播栽培では排水の悪い耕地での過湿害による出芽・苗立ちの不良が著しく、この栽培法の普及の障害となっている。

二条オオムギの栽培法としては、ドリル播、多条全層播、全面全層播などがあるが、従来からの多条播栽培（ドリル播、全層播）では、出芽の不安定性が問題となっている。また、近年普及しつつある全面全層播栽培は、排水がよく比較的乾燥する地域・耕地では省力的であり多収である。しかし、多少湿潤な地方や耕地では、過湿により出芽が不安定になり減収のおそれがあるため¹⁶⁾²²⁾²⁸⁾³⁸⁾⁴⁷⁾、省力的技術として期待されながらも普及が進んでいない。また、ムギ類では不耕起ばら播栽培も試みられているが、土中播種に比べて苗立ちが不斉一になることが指摘されている³⁵⁾。

このようなことから、二条オオムギ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認することが重要な課題の一つとなっている。

二条オオムギは主な利用形態がビール醸造原料の麦芽であることもあって、発芽については古くから優れた知見が多く得られている⁴⁰⁾⁴⁴⁾。しかしながら圃場に播種された種子の土中での発芽生長ならびにその結果としての出芽についての知見はそれに比べると非常に少ないようである。

平成元年12月20日受理

ムギ類の出芽の研究は、播種法と関連して圃場で試験された例がほとんどで、全面全層播栽培²⁶⁾や多条播栽培³²⁾における播種量、播種時期、播種深度と出芽の関係が検討されている。また、土壤の乾湿や気温との関係についても若干研究があり、特に生育初期での湿害が問題になっている¹⁶⁾。これらの研究は、実証的ではあるが、幼芽の環境反応性の解明特に土壤の抵抗に対する幼芽の反応性などの面で、定量化がほとんどなされていない。僅かに、コムギではクラスト強度および土壤水分と出芽の関係が研究され¹⁰⁾³⁷⁾、出芽はクラスト強度が大きいほど抑制され、同じ強度なら土壤水分が大きいほうが出芽がよいことが報告されている。しかし、幼芽の伸長特性などに基ついて作物学的に研究された例はほとんどない。

本研究は、新たな播種技術の開発の基礎となるべく、厚く覆土鎮圧された条件下から、安定した出芽・苗立ちを確保する上で必要な二条オオムギの出芽性を明らかにする目的で行ったもので、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、土壤水分、温度などとの関係につき検討を行うものである。

その結果、二条オオムギの出芽性に関して2、3の基礎的な知見を得ることができ、播種作業の省力技術改善に対して若干の素材を提供できたものとする。

ここに、本研究の成績をまとめて報告する。

本研究は、恩師前九州大学教授伊藤健次博士のもとで始め、ひき続き前九州大学教授松本重男博士の指導のもとで行った。両博士ならびに本研究の実施および取りまとめにあたって、終始熱心な御指導と御鞭撻をいただいた九州大学教授井之上準博士に心からの感謝の意を表します。また、論文の御校閲を賜った前九州大学教授島野至博士ならびに九州大学教授村田敏博士に厚く感謝の意を表します。

さらに、実験遂行に際して多大の御助力をいただいた九州大学農学部作物学講座、農産機械工学講座、灌漑利水工学講座、木材理学講座ならびに九州大学熱帯農学研究センターの各位に深甚の謝意を表します。

材料および方法

1. 発芽・出芽におよぼす温度の影響

供試した材料は、福岡県立農業試験場で栽培された二条オオムギ品種のうち、主にわが国西南暖地で栽培されるものを含む50品種 (Table 1.) である。種子は実験前年に慣行法で栽培採種され、乾燥後冷蔵庫に保存されたものであり、特記する場合を除き中庸の大きさのものをを用いた。

Table 1. Varieties and strain of two-rowed barley used in this experiment.

Aichiwase golden, Amagi nijo, Asahi 1, Asahi 6, Asahi 7, Asahi 8, Asahi 9, Asahi 10, Asahi 12, Asahi 13, Asahi 20, Asahi 22, Azuma golden, Ebisu, Fuji nijo, Fuji nijo II, Hakata 2, Haruna nijo, Harupin nijo, Goldenmelon, Goshu chevalier, Hatakaze, Hatukaze, Hokudai 1, Hokkaido chevalier, Hyogo golden, Kairyō Nijoshu, Kaneko gold, Kanto nakate gold, Kinai 5, Kinai 62, Kirin choku 2, Ko A, Miho golden, New golden, Sapporo 7, Seiyo 1, Seiyo 17, Suwanharusu, Shunsei, Tochigi goldenmelon, Aramiv, Betzes, Elrose, Klages, Moravian, Shabet, Wing.
--

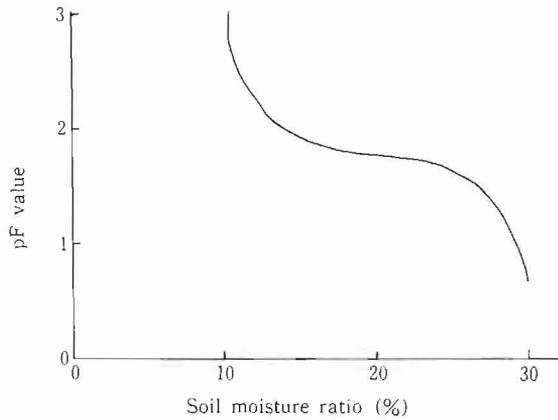


Fig. 1. Relation between pF and moisture ratio of soil used in this experiment.

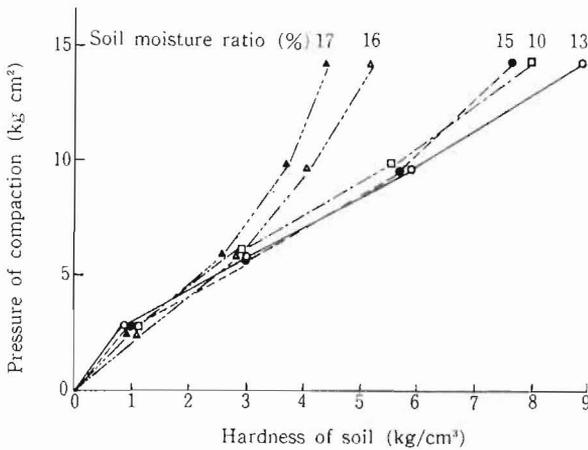


Fig. 2. Relation between pressure of compaction and hardness of soil used this experiment.

1) 温度と発芽：直径9 cmのシャーレを用い、口紙2枚を敷いたのち蒸留水4 ccを加え、1品種1シャーレ当たり80粒を胚を上方に向けて置床した。その後、10、15、20、25および30℃(±1℃)の恒温器に入れ、置床後7日目まで毎日定時に発芽調査を行った。

2) 温度と出芽：13×21×11cmの硬質塩化ビニール製の小型バットを用いた。実験に使用した土壌は砂質壤土で(粘土：9.4%、シルト：22.0%、砂：68.6%)、8 meshの篩を通して用いた。なお、使用した土壌の物理特性の詳細は後述するとおりである。

上記の土壌(含水比：約11.5%)を硬度約0.1kg/cm³になるように詰めて播種床を作成した後、1品種10粒、1ポットあたり10品種の乾燥種子(含水量約10%)を幼芽が上方にまっすぐ伸長するような角度で置床後5 cm覆土した。播種後実験期間中に土壌水分が減少するのを防ぐために上部をビニールフィルムで覆い、10、15、20、25および30℃(±1℃)の恒温器に搬入した。出芽調査は播種後毎日定時にいき、2週間目に覆土を除いて発芽粒

数を調査した。

供試した土壌：本研究の実験において使用した土壌は、九州大学農学部圃場から採取した砂壤土で、8 mesh の篩を通した後に土壌水分を調整して用いた。この土壌の pf - 含水比曲線は Fig. 1 に示す通りであった。pf - 含水比曲線の作製には、pf 0 ~ 2.0 の間では水頭差吸引法で、pf 2.0 ~ 3.5 の間では口過型遠心脱水装置を用いた遠心法で測定した。

また、この土壌の含水比と圧縮力および硬度との関係は Fig. 2 に示す通りであった。あらかじめ土壌水分を 10, 13, 15, 16, 17% に調節した土壌を、直径 10 cm 深さ 10 cm の鉄製鋳物の容器に深さ 9 cm に均平につめ、油圧式荷重機によって一定の荷重を 1 分間かけて圧縮して固めた後、山中式硬度計でその土層の硬度を測定した。その結果、荷重が 7 kg/cm² 以下の場合では、含水比による硬度の差は少なかったが、さらに荷重が大きい場合は含水比 13% の土壌の硬度が最も大であった。

2. 出芽におよぼす土壌水分の影響

1) 発芽時における水感受性程度：前項の実験と同じく二条オオムギ 50 品種を用いた。直径 9 cm のシャーレに口紙を 2 枚敷き、蒸留水 8 cc (前項の実験の倍量) を与えた後、胚を上方に向けて、1 シャーレあたり 80 粒置床した。その後、10, 15, 20, 25 および 30°C (± 1°C) の恒温器に入れ、置床後 7 日目まで毎日定時に発芽調査を行った。前節の実験と異なり、蒸留水が口紙上に浮いた状態であったが、種子の極く下面が水に浸る程度で胚の部分が水に浸かることはなかった。

2) 土壌水分と出芽：実験は次の 2 通りであった。(1) 発芽時における水感受性程度の異なる 6 品種を選び、各品種とも乾燥種子および催芽した種子を用いた。催芽処理は前項の実験とほぼ同じ要領で行った。直径 9 cm のシャーレに口紙を 2 枚敷き蒸留水を 4 cc 加え、1 品種 1 シャーレ当り 50 粒を置床して 20°C の恒温器で 2 日間催芽させた。(2) 水感受性程度がやや異なる“ふじ二条”と“Betzes”を用い、20°C で 48, 42, 36, 30, 24, 18, 12, 0 時間催芽した種子を用いた。あらかじめ、前述の塩化ビニールバットに土壌水分を調整した土壌を硬度 0.1 kg/cm³ になるように詰めて播種床を作成した後、幼芽が上方へ真っすぐ伸長するように、1 品種 10 粒を播種した。播種後、播種床に用いた土壌を 5 cm の厚さに覆土したが、含水比 20% 以上の区は含水比約 15% の土壌を用い、播種床作成後および播種・覆土後、所定の含水比になるように水を加えた。その後、各バットはビニールフィルムで覆い、20°C (± 2°C) の恒温室に搬入した。出芽調査は毎日定時にを行い、播種後 8 日目に覆土を除いて、発芽種子数を調査して出芽率を算出した。実験は 2 回反復したが、ほぼ同様の傾向を得たので平均値を示した。

3. 覆土の厚さおよび鎮圧程度と出芽

供試材料は Table 2. に示したイネ科作物で、各作物とも中庸の大きさの種子を選んで用いた。

実験には、直径 10 cm、高さ 12 cm のプリキ製ポットを用い、あらかじめ含水比 13% に調整した砂壤土を硬度約 0.5 kg/cm³ になるように詰めて播種床を作成した後、1 ポット当たり乾燥種子 10 粒を播種し、5 cm 軽く覆土した。覆土後、厚さが 5 (無鎮圧)、4, 3.5, 3 および 2.5 cm になるよう鉄製円板を用いて覆土を鎮圧した。その結果、各区の覆土の硬度はほ

Table 2. Crop materials used in this experiment.

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

ば、0, 0.01, 0.05, 0.2および0.3kg/cm³となった。あらかじめ播種床を0.5kg/cm³に突き固めたので、覆土の鎮圧による播種床への影響は無視できると判断した。その後、実験期間中の土壌水分の変動を防ぐ目的で、ポットは大型バットに並べて、上部をビニールフィルムで覆い、20℃ (± 2℃) の恒温室へ搬入した。

出芽調査は播種後12時間毎に行い、実験終了後(播種後17日目)に覆土を除去して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、播種床および覆土の硬度の測定は、比較的硬度の低い土壌での測定精度を保つため、山中式硬度計の土壌挿入部の先端に1cm²×1cmの金属製の円柱を装着して行い、その円柱の圧入に要する抵抗を求めた。山中式硬度計による測定値と円柱を装着した場合の測定値の対応関係はFig. 3.に示すとおりであった。

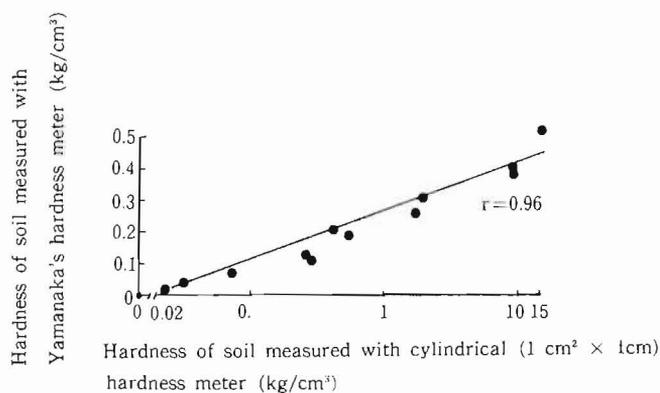


Fig. 3. Relation between measurements of soil hardness by Yamanaka's hardness meter and by cylinder attached on the top.

実 験 結 果

1. 発芽・出芽におよぼす温度の影響

作物の生育にとって温度環境が重要なことは言うまでもないが、普通の栽培においては播種期にその作物種子にとっての発芽最適温度が得られることはむしろまれである。二条オオムギについても同様で、普通栽培における播種時の気温は発芽適温よりやや低めであることが多い。また、発芽にとっての適温と幼芽の伸長にとっての適温は必ずしも一致しないようであるが、この点については不明な点が多い。

1) 温度と発芽 (Table 3.) : 置床後、発芽率が80%を越えるまでに要した日数は、10℃および15℃区では2~6日であったが、15℃区では大部分の品種が4日以内であった。一方、20、25および30℃区では大部分の品種が置床後3日以内、全品種が4日以内であった。

供試全品種の平均でみれば、10℃で最も長く4.8日、つぎは15℃区で3.5日であったのに対し、20~30℃区ではほぼ同じ2.4~2.7日であった。すなわち、20~30℃の間では温度は発芽までの日数に影響がなかったが、15℃区では20~30℃区より約1日、10℃区では約2日発芽が遅延した。

2) 温度と出芽 (Table 4.) : 播種後、出芽率が80%を越えるまでに要した日数は、10℃区では、品種によってかなり異なり、11~14日であったのに対し、15℃区では8~10日、20℃区では6~7日、25℃および30℃区では4~6日であった。ここにおいて、20℃区では供試50品種中49品種が6日、25℃区では96%の品種が5日であった。

供試全品種の平均でみれば、10℃区は12.4日、15℃区は8.6日、20℃区は6.0日、25℃区は5.0日、30℃区は4.6日で、温度が高いほど短かった。温度が5℃上昇することによる短縮は温度が低いほど大きく、10℃区と15℃区では3.8日、15℃区と20℃区では1.6日、20℃区と25℃区では1日、25℃区と30℃区では0.4日になった。

先に1)で述べたごとく、二条オオムギ種子の発芽に対する温度の影響は20~30℃の間ではあまりみられず、15℃以下でやや発芽の遅延がみられたが、20~30℃に比べ1~2日の遅れであった。従って、ここでみられた温度の低下による出芽の遅れの主な原因は、発芽後の幼芽の伸長の遅れにあるものと推察される。

Table 3. Effect of temperature on seed germination of tow-rowed barley varieties.

Temperature (°C)	Number of Varieties						Average (days)	
	Days from seeding until 80% germination							
	2	3	4	5	6	7		total
10		2	20	16	12		50	4.8±0.87
15		30	16	2	2		50	3.5±0.76
20	16	32	2	1			50	2.7±0.54
25	29	20	1				50	2.4±0.54
30	24	24	2				50	2.6±0.58

Table. 4. Effect of temperature on seedling emergence ratio (depth of covering soil ; 5cm)

Temperature (°C)	Number of Varieties											Average total (days)	
	Days from seeding until 80% emergence												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
10								2	28	16	4	50	12.4±0.50
15					22	26	2					50	8.6±0.57
20			49	1								50	6.0±0.14
25	1	47	2									50	5.0±0.25
30	22	25	3									50	4.6±0.60

2. 出芽におよぼす土壤水分の影響

二条オオムギの種子では、湿生植物的特性を有するイネ種子などと異なり、種子に与える水分量の多少によって発芽の遅速や斉一性が著しく影響されることが知られており、製麦の過程で過剰水に対する発芽反応に顕著な品種間差が認められ、過剰水により発芽率の低下する性質を水感受性程度で表現している（東海林・高橋1975）⁴⁴⁾。しかし、出芽と土壤水分との関係についてはほとんど報告がないようである。また、さきに述べたとおり全面全層播栽培では土壤の過湿による出芽の不良がその普及の最大の難点となっている。

ここでは、二条オオムギ幼芽の出芽におよぼす土壤水分の影響を、発芽時における水感受性程度と幼芽の伸長におよぼす土壤水分の影響とに分けて解析できるように実験を計画した。

1) 発芽時における水感受性程度 (Table 5, 6) : 置床後7日目までに発芽率が80%を越えた品種は10, 15, 20°C区では49品種であったが、25°C区では37品種、30°C区では21品種であった。平均発芽日数は10~20°C区では温度が高い区ほど短かく、その傾向は標準区 (Table 3) とほぼ同様であったが、25°C区では3.5日、30°C区では4.4日と長くなり、標準区ときわめて異なる様相を示した (Table 5)。

以上より明らかなように、二条オオムギの水感受性は品種によって異なるが、多湿の影響は25°C以上で顕著に現れるように思われた。

そこで、25°C区について、置床後7日目までに発芽した結果をもとに発芽率を調査し、標準区の発芽率との差を求め、東海林・高橋 (1975) ⁴⁴⁾の方法に準じて水感受性程度の品種類別を行った (Table 6)。なお、水感受性程度の区分は、つぎのようなI~Vの5段階で行い、水感受性程度II~Vのものを水感受性品種と判定した。

水感受性程度	標準区の発芽率との差
I	0~20%
II	21~40%
III	41~60%
IV	61~80%
V	81~100%

Table 5. Effect of excess water on seed germination.

Temperature (°C)	Number of Varieties							Average (days)
	Days from seeding until 80 % germination							
	2	3	4	5	6	7	total	
10	0	2	17	23	5	2	49	4.7±0.82
15	0	42	4	0	0	3	49	3.3±0.99
20	12	33	3	1	0	0	49	2.9±0.61
25	10	13	5	4	5	0	37	3.5±1.37
30	4	3	2	4	8	0	21	4.4±1.19

Table 6. Classification of varieties on water sensitivity

Water sensitivity	Varieties or strain names	Number of Varieties and strain
I	Aichiwase golden, Amagi niijo, etc.	37
II	Goldenmelon, Goshu chevalier, New golden, Seijo 17, Shunsei, Aramiv, Betzes, Klieg	8
III	Kaneko golden, Elrose	2
IV	Shabet, Wing	2
V	Moravian	1

供試した50品種のうち、最も水感受性の高い（V）に属するものはわずか1品種であったが、（IV）および（III）に属するものが各2品種、（II）に属するものが8品種で供試品種の26%が水感受性品種であった。また、全般的にみれば、外国の品種およびゴールデンメロン系統の品種が水感受性であった。

2) 土壌水分と出芽 (Table 7, 8) : まず、無処理区の出芽率についてみれば (Table 7-1), 水感受性程度には関係なく供試6品種すべて、土壌水分9.9~16.3%では出芽率は100%であったが、23.1%および28.1%区では40%以下であった。ところが、催芽種子区においては (Table 7-2), 無処理区の出芽率が40%以下であった土壌水分23.1%区においても、出芽率80~100%であった。さらに土壌水分の多い28.1%区では品種によって著しく異なり、水感受性程度III, IVに属する品種の出芽率がI, IIに属する品種の出芽率より高いようであった。

高土壌水分区での出芽不良が催芽処理によって改善される結果からすると、土壌水分過多による出芽不良の原因は、幼芽の伸長生長が長時間にわたって抑制されることよりも発芽直後の胚の生理に対する影響が大きいと考えられる。

上記の実験では、土壌水分の多い場合は、催芽種子区において水感受性程度のちがいによる出芽率の差異がみられた。そこで、水感受性程度の異なる“ふじ二条”と“Betzes”の2品種を用いて播種後催芽処理時間と出芽率の関係を調べた。土壌水分28.1%の過湿状態からの出芽は、催芽処理時間が短いほど低下した (Table 8)。供試した2品種とも36時間以上の催芽処理を行うと100%出芽した。30時間処理では、“ふじ二条”の70%に対し“Betzes”は50%であったが、催芽処理時間が24時間以下では水感受性程度IIの“Betzes”の出芽率が水感受性程度Iの“ふじ二条”より優っており、0時間では、前者の40%に対

Table. 7. Effect of soil moisture ratio on seedling emergence (depth of covering soil ; 5cm, temperature 20 C)

1. Not soaked

Water sensitivity	Variety	soil moisture ratio (%)					
		9.9	11.5	13.1	16.3	23.1	28.1
I	Fuji nijoII	100	100	100	100	10	0
	Ko A	100	100	100	100	40	10
II	Aramiv	100	100	100	100	10	0
	Shunsei	100	100	100	100	10	0
III	Elrose	100	100	100	100	30	0
IV	Shabet	100	100	100	100	20	20

2. Pre-soaked

Water sensitivity	Variety	soil moisture ratio (%)					
		9.9	11.5	13.1	16.3	23.1	28.1
I	Fuji nijoII	100	100	100	100	80	20
	Ko A	100	100	100	100	100	40
II	Aramiv	100	100	100	100	100	40
	Shunsei	100	100	100	100	100	60
III	Elrose	100	100	100	100	100	70
IV	Shabet	100	100	100	100	90	70

Table. 8. Effect of presoaking time on seedling emergence (depth of covering soil ; 5cm, soil moisture ratio ; 28.1%, temperature ; 20±2 C)

Pre-soaking time (hr)	Emergence rate (%)	
	Fuji nijo	Betzes
48	100	100
42	100	100
36	100	100
30	70	50
24	10	50
18	10	30
12	20	30
0	10	40

し後者の出芽率は10%であった。

このように、水感受性程度の高い品種ほど種子の催芽処理が出芽に与える効果が大きいことは、興味ある知見であるが、その原因について、ここでは明確にすることはできなかった。

3. 覆土の厚さおよび鎮圧程度と出芽

作物を直播する場合、播種に関連した一般的な作業工程は、“耕起—碎土—整地—施肥—播種—覆土—鎮圧”であるが、雨量が比較的多いわが国では鎮圧作業は行われない場合が

多い。しかしながら、土壤水分が少ない場合には、鎮圧作業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ので、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。

ここでは、覆土後鎮圧が二条オオムギの出芽におよぼす影響を他のイネ科数種作物と比較検討した。

1) 覆土後鎮圧と幼芽の出芽 (Table 9) : 覆土を鎮圧することによって覆土の厚さは減少したが、逆に硬度が増すため、出芽率はどの作物でも鎮圧程度が増すにつれ減少する傾向があった。ここで供試した作物品種は、0 および0.05kg/cm³区ではすべて90%以上の出芽率を示し、よく出芽した。しかし、0.2kg/cm³区および0.3kg/cm³区では、作物による差異がみられた。二条オオムギは、0.2kg/cm³区で83%であったが、0.3kg/cm³区では53%と出芽率が低下した。エンバク、イネ(インド型水稻)、トウモロコシおよびソルガムの各作物は、0.2kg/cm³区、0.3kg/cm³区とも出芽率が90%を越え、強く鎮圧された覆土下からもよく出芽した。これに対して、日本型水稻、日本型陸稻およびハダカムギ(渦性)の各作物は0.2kg/cm³区でそれぞれ45%、33%および62%と出芽率が低下し、0.3kg/cm³区ではほとんど出芽できなかった。また、六条オオムギ(並性)、コムギ、ライムギは、二条オオムギと同様に0.2kg/cm³区では出芽率が90%、75%、90%と高かったが、0.3kg/cm³区では出芽率が低下した。

Table. 9. Effect of compaction of covering soil on the seedling emergence of some crops.

Crop	Emergence rate (%)			
	Hardness of covering soil (kg/cm ³)			
	0	0.05	0.2	0.3
Two-rowed barley	100	100	83	53
Six-rowed barley (nomal)	100	100	90	44
Naked barley (uzu)	100	100	62	25
Wheat	100	100	75	21
Rye	100	95	90	33
Oat	100	98	93	90
Sorghum	100	100	100	96
Maize (dent corn)	100	100	100	100
Maize (pop corn)	100	100	100	100
Paddy rice (japonica)	100	100	45	10
Paddy rice (indica)	98	92	91	93
Upland rice (japonica)	100	90	33	0

このような覆土鎮圧に対する作物の反応の違いは、幼芽の形態特に中胚軸の伸長度合いと関係があるようであった。すなわち、0.2kg/cm³区および0.3kg/cm³区とも出芽率が90%を越える作物であるエンバク、インド型水稻、トウモロコシおよびソルガムはいずれも中胚軸をよく伸長させる作物であった。また、次いで出芽の良好であった二条オオムギ、六条オオムギ、コムギ、ライムギは鞘葉の伸長の比較的よい作物であり、最も出芽の悪かった日本型水稻、日本型陸稻およびハダカムギは中胚軸はほとんど伸びず鞘葉の伸長も小さな作物であった。

考 察

温度と出芽の関係について実験し次の結果が得られた。

10～30℃の範囲では、温度が高いほど出芽まで日数が短く出芽が速かった。特に、低温になるほど温度の影響は大きかった。また、Table 4 の各温度での平均出芽日数と Table 3 の平均発芽日数との差から、種子が発芽してから出芽するまでの日数を推定すると、10、15、20、25、30℃で、7.6、5.1、3.3、2.6、2.0日となり低温ほど日数が長くなった。この日数は鞘葉が5 cm 伸長するのに要する時間と考えられるから、低温による出芽の遅延は発芽までの時間よりも幼芽の伸長の遅れによるところが大きいと推察された。なお、5℃では出芽率が80%を越えなかった。

温度の低下によって出芽が遅延する現象は、他の作物でも知られている¹³⁾。ソルガムでは、マルチ処理で地温を高めた区で標準区よりも出芽が速く (Kanemasu 1972)²⁵⁾、気温15～23℃では平均気温が上がるほど出芽まで日数が直線的に減少し、23～29℃では気温の影響は小さい (小島・犬山1976)²⁷⁾。

Hopper et. al. (1979)¹⁸⁾は大豆の出芽について10～30℃の間では、温度が上昇すると出芽日数が減り、30～35℃では温度の効果はないことを、Sturky (1976)⁴³⁾は16～32℃では高温ほど出芽が速くなることを報告している。

このように、ある温度範囲では温度の低下によって出芽が遅延する現象がみられるが、出芽の遅延がみられる温度範囲は作物によりやや異なり、一般に冬作物では夏作物よりも低めにシフトした値となる (Singh and Dhalinal 1972)⁴¹⁾。

ここでの実験結果より、二条オオムギでは10～30℃で出芽の遅延がみられたが、コムギなどの温度範囲 (Hanks and Thorp 1956)¹⁰⁾とほぼ同じであった。

日本の二条オオムギの主要産地の播種期は、栃木(11月上旬～下旬)、佐賀(11月中旬～12月上旬)、岡山(11月上旬～下旬)である。播種適期のこれらの地帯の気温は平均8～13℃、最高15～20℃、最低2～8℃であり、本実験で得た出芽最適温度よりも気温がやや低いので、低温域で出芽特性の優れたものが栽培的には望まれる。

てん菜の低温での発芽速度には品種間差が認められ(田中ら 1981)⁴⁶⁾、またワクでは低温発芽性は遺伝することが知られており (El-Zik and Bird 1969)⁶⁾、二条オオムギの低温出芽特性は大きな育種目標となる。ここで供試した品種の範囲でも10℃の低温での出芽まで日数には11～14日の変異があり、低温出芽性についての選抜の可能性を示唆している。

一般に発芽に対する冬作物の発芽最低、最適、最高温度はそれぞれ、0～5、25～30、30～40℃といわれる。

江口ら(1983)⁷⁾が福山でムギ類の周年播種を行った結果では、平均気温が5℃以下の12～2月の低温期には出芽の遅延がみられ、6～9月には高温による出芽苗立ちの不良が生じた。大豆でも高温による出芽苗立ちの不良が報告されている (Sturky 1976)⁴³⁾高温による出芽不良の原因には過湿、病害、酸素欠乏などの関連が考えられている。このことからすれば、圃場では発芽の最適温度が必ずしも出芽に有利とは言えない。しかし、本実験のように上記のような発芽阻害要因を伴わない場合には発芽最適温度範囲と出芽最適温度範囲に差は認められず、25℃附近が発芽、出芽の最適温度と考えられる。

土壌水分と出芽の関係については、乾燥条件での知見は散見される⁵⁾⁹⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁹⁾²⁹⁾。Hunter and Erickson (1952)²⁰⁾によれば、発芽に最低必要な土壌水分(含水比、湿重割合)は、トウモロコシ30%、ダイズ50%、テンサイ31%で、発芽に必要な最大土壌水分張力はそれぞれ、12.5, 6.6, 3.5 barである。また Hanks and Thorp (1956,^{10)1957¹¹⁾)はコムギ、ソルガム、ダイズの最終出芽は、圃場含水量と永久萎凋点との間では、もし他の要素が最適ならばほとんど変わらないが、出芽の速さは土壌水分に直接関係し、土壌水分が大きいほど出芽が速くなるとした。さらに Frelich et. al. (1973)⁸⁾は6種の禾本科牧草を用いて水分張力と出芽の関係を調査し、0～-8.4 barsまでは最終出芽率に変化がみられないものの、出芽の速さは水分が少なくなるに従って遅くなることを報告した。}

ところで、水田転作などでの全面全層播栽培などの機械播栽培では過湿時の出芽が不良が問題である(瀬占・加藤 1979³⁹⁾、今林ら 1983²³⁾1984²²⁾、木崎原ら 1980²⁸⁾、渡辺・角 1984¹⁷⁾、曳野ら 1984¹⁶⁾)。この様な過剰水による圃場での出芽不良の原因は発芽時にあるか、発芽後の幼芽の伸びにあるかを検討した。

ビール製造での麦芽製造過程では整一な発芽が重要であり、大量麦芽製造では種子の吸水が一樣に起らない場合も多く、そのため種子に与える水分量の多少によって生じる発芽の不整一が麦芽品質劣化の原因となっている。

オオムギの発芽は、過剰水によって抑制される (Davidson et al. 1973)⁴⁾。またオオムギ品種における水分の過剰による発芽の遅延の指標として水感受性程度(東海林・高橋 1972)⁴⁴⁾が知られており、品種間に差異があることが認められている。

本実験では東海林、高橋の方法に準じて水感受性程度から品種類別をおこなった。供試品種中、水感受性程度の高い品種は外国種およびゴールデンメロン系統であり、近年の改良品種は水感受性程度が低かった。これらは、東海林らの結果と類似していた。

次にここで類別された水感受性程度の異なる数品種を使用して、土壤に播種された種子の出芽に対する土壌水分の影響を検討した結果、水分が多い区での出芽は不良であった。しかし同様な土壤の湿潤条件下でも播種前の催芽処理によってその出芽率は著しく改善された。

種子の催芽処理による出芽改善は他の作物でも確かめられており、池田(1985)²¹⁾は催芽種子によって出芽歩合が向上し、出芽も早く起ることを、また Bleak and Keller (1972)²⁾は数種の牧草種子が催芽処理によって無処理の数倍もの出芽が見られること、さらに Bubbele (1975)³⁾はトウモロコシでも催芽により出芽が早まることを報告している。

催芽処理によって湿潤状態からの出芽が改良された事実から、土壌水分過剰の影響は発芽後の幼芽の伸長生長に対してよりも発芽および発芽直後の胚の生理に対してより大きく影響することが示唆された。

安間・小田 (1952)⁴⁸⁾は種子置床後の異なる時期に浸漬処理を行い、ムギ類の苗立ちは発育程度が進んだ時期ほど浸漬処理の影響が大きいことを明らかにした。本実験でもほぼ圃場含水量に近いような土壌水分量では、幼芽の伸びも抑制された (Table 7)。耕地では土壌水分が変化すると他の要因も変化する。特に、水分が過剰の場合には酸素の拡散速度が減ることが出芽に悪影響がある (Hanks and Thorp 1956)¹⁰⁾。浸漬処理の様な極端な処理では、種子周囲の酸素分圧が低下するため、種子発芽・初期生長過程の酸素要求量の多い時期に影響が大きくなったのであろう。

安間らはまた、浸漬温度が高く浸漬日数が長い程発芽歩合の低下が甚だしく、発芽歩合の低下の著しいものはカワムギに最も多く、ハダカムギには比較的少なく、コムギはその中間であるとしている。同じムギ類でも作物間でこのような差異があることは興味深い。

本実験の結果、二条オオムギでは土壤水分に対する反応に明らかな品種間差異が見られた。また、水感受性程度の高い品種ほど播種前催芽処理による出芽率の改善効果が大きかった。これは生理学的にも非常に興味のある事実であるが、本実験ではその原因を明らかにすることはできなかった。

ムギ類の良好な発芽と初期生長に適当な土壤水分量は圃場容水量の60%程度（安間ら1952）⁴⁸⁾であるとされている。本実験の範囲では、9.9%区～16.3%区では出芽が良好であった。本実験で供した土壤の圃場容水量は約30%であるので、最適水分条件に関してはほぼ従来の結果と一致している。

前述したように鎮圧作業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ため、土壤水分が少ない場合は出芽に有利に働くことが知られている。たとえば、水稻の乾田直播栽培において浅播区では適度に覆土を鎮圧すると出芽歩合が向上する（阿部、岡崎 1964）¹⁾こと、その原因としては鎮圧によって土壤水分の保持力がよくなるためである（吉田ら 1967）⁴⁹⁾ことや、覆土の厚さを2 cm 以下に浅播きしたイタリアンライグラスの出芽率は鎮圧によって高くなる（高橋ら 1971）⁴⁵⁾こと、またグリーンパニックでも覆土を中程度に鎮圧すると出芽がよくなる（岡田 1973³³⁾, 1977³⁴⁾）ことが知られている。また、土壤の鎮圧はその後の収量にも影響があり³⁶⁾、インゲンマメのような水分消費の大きな作物では、土壤を圧密することによって保水力が増大し、土壤の水分供給速度が早くなるため生育収量が増すことが報告されている（美園 1963a³⁰⁾, 1963b³¹⁾）。

本実験の結果、0.05kg/cm³の鎮圧では無鎮圧区と同様に発芽率も高く、また出芽までの時間が短くなる傾向が見られた。そのためこの程度の鎮圧は二条オオムギの出芽に有利な作業であることが示された。

その反面、土壤の鎮圧によって覆土が絞め固められ、土壤硬度が増すことによって、幼芽の伸長の際土壤から受ける抵抗が増大し、出芽率の低下をもたらすと考えられる。このような土壤の物理的強度が、出芽に与える影響は一般に認識されていたが、定量的な報告はあまりない。

播種後に降雨があると土壤表面にクラストが形成されるが、その強度が増すと出芽は阻害される。Richard(1953)³⁷⁾は土壤クラストの強度が108mbar から273mbar に増大すると、インゲンマメの出芽率は100%から0%に減少することを、Hanks and Thorp (1956¹¹⁾, 1957¹²⁾)は、クラストがコムギ、グレイソルガム、ダイズの出芽を明らかに制限し、出芽阻害は土壤水分が少ないときに顕著であり、一定の土壤水分では、出芽はクラストの強度が増加するにつれ減少することを明らかにしている。Frelich et. al. (1973)⁸⁾もまた、クラストの強さが増すことによって起きる出芽率の低下は低水分張力下でより激しいと報告している。

本実験では0.2kg/cm³以上の鎮圧では二条オオムギの出芽に阻害が認められた。Stout et. al. (1961)⁴²⁾は過度の土壤の鎮圧が砂糖大根の出芽を阻害し、5 psi (約350mbar に相当)以上の表面圧で鎮圧した場合には0.5～5 psi の表面圧よりも出芽が悪くなることを報告し

ている。

大型トラクタの1回走行後のタイヤ直下の土壤硬度は $0.5\text{kg}/\text{cm}^3$ にも達する(石井・須永1967)²⁴⁾から、本実験の範囲の鎮圧は圃場でも通常起こり得る。

過度の鎮圧による出芽阻害の原因には、土壤硬度そのものの影響と鎮圧によって土壤の気相割合が変化することの影響が考えられる。 $0.2\text{kg}/\text{cm}^3$ の鎮圧処理では初め5cmあった覆土を3cmになるまで圧密した。覆土の固相の絶対量は圧密によってはほとんど変化しないから、圧密に伴って減少した容積のほとんどは気相と考えられる。気相割合の減少程度が大きくなれば当然幼芽の伸長に影響するであろう。しかし、土壤水分と出芽の関係からすると、幼芽の伸びそのものは鎮圧時の気相割合より低い条件(23.1%区)でも抑制されなかったので、ここでの阻害の主因は気相の減少ではなく鎮圧された覆土の硬度そのものにあると結論してよいであろう。

覆土鎮圧による出芽阻害程度には作物間で差異が認められた。また阻害の程度は幼芽の形態特に中胚軸の伸長度合いの作物間の差異と密接な関係が見られたが、その理由については続報で述べる。

摘 要

二条オオムギの出芽と環境要因として播種後鎮圧の強さ、土壤水分、温度などとの関係につき検討を加え、次のような結果をえた。

1. 温度と出芽の関係について実験したところ、 $10\sim 30^\circ\text{C}$ の範囲では、温度が高いほど出芽まで日数が短く出芽が速く、特に低温になるほど温度の影響は大きかった。また、各温度での平均出芽日数と平均発芽日数との差から、種子が発芽してから出芽するまでの日数を推定し、低温による出芽の遅延は発芽までの時間よりも幼芽の伸長の遅れによるところが大きいと推察された。なお、 5°C では出芽率が80%を越えなかった。
2. 過剰水による圃場での出芽不良の原因は発芽時にあるか、発芽後の幼芽の伸びにあるか検討するため、水感受性程度を東海林・高橋の方法に準じて品種類別をおこない、相対的に強弱2群に分類することができた。
3. 類別された水感受性程度の異なる数品種を使用して、土壤に播種された種子の出芽に対する土壤水分の影響を検討し、湿潤条件での出芽率は催芽処理によって改良されることが明らかになった。また、催芽種子区では水感受性程度の高い品種の高土壤水分下での出芽率が高い傾向があった。
4. 覆土の鎮圧程度と出芽の関係を検討し、 $0.05\text{kg}/\text{cm}^3$ の鎮圧では出芽率が高く出芽まで時間が早まる傾向が見られ、この程度の鎮圧は二条オオムギの出芽にとって最適であることが示唆された。 $0.2\text{kg}/\text{cm}^3$ 以上の鎮圧では出芽阻害がみられ、その原因は土壤の気相割合の減少よりも土壤硬度そのものの影響が大きいと考えられた。

引 用 文 献

1. 阿部貞尚・岡崎暁、1964、乾田直播の出芽に関する試験—とくに浸種・土壤水分・鎮圧処理・湛水と出芽について—、東北農業研究 6:42-45。

2. Bleak, A. T. and Keller, W. 1972. Germination and emergence of selected foriage species following preplanting seed treatment. *Crop Sci.* 12 : 9-13.
3. Bubbels, G. H. 1975. Emergence, seedling growth and yield of sweet corn after pregermination at high temperature. *Can. J. Plant Sci.* 55 : 995-999.
4. Davidson, D., Long, G., Wong, T.-Y. and McDermott, M. 1973. Partial reversion by 5-aminouracil of the inhibition of coleoptile growth in *Hordeum vulgare* by large volumes of water. *Ann. Bot.* 37 : 573-577.
5. Doneen, L. D. and Macgillivray, J. H. 1943. Germination (emergence) of vegetable seed as affected by differnt soil moisture condition. *Plant Physiol.* 18 : 524-529.
6. Edje, O.T. and Burris, J. S. 1971. Effects of soybean seed vigor on field performance. *Agron. J.* 63 : 536-538.
7. 江口久夫・島田信二・金尾忠志・広川文彦, 1983. 小麦・大麦における周年栽培の可能性と問題点, 近畿中国農業研究 65 : 29-32.
8. Frelich, J. R., Jensen, E. H. and Gifford, R. O. 1973. Effect of crust rigidity and osmotic potential on emergence of six grass species. *Agron. J.* 65 : 26-29
9. Hadas, A. 1977. Water uptake and germination of leguminous seeds in soil of changing matric and osmotic potential. *J. exp. Bot.* 28 : 977-985.
10. Hanks, R. J. and Thorp, F. C. 1956. Seedling emergence of wheat as related to soil moisture content, bulk density, oxygen diffusion rate and crust strength. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 20 : 307-310.
11. Hanks, R. J. and Thorp, F. C. 1957. Seedling emergence of wheat, grain sorghum and soybean as influenced by soil crust strength and moisture content. *Soil Sci Soc. Am. Proc.* 21 : 357-359.
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. Hatfield, J. L. and Egli, D. B. 1974. Effect of temperature on the rate of soybean hypocotyl elongation and field emergence. *Crop Sci.* 14 : 423-426.
14. Hegarty, T. W. 1977. Seed and seedling susceptibility to phased moisture stress in soil. *J. exp. Bot.* 28 : 659-668.
15. Helmerick, R. H. and Pfeifer, R. P. 1954. Differential varietal responses of winter wheat germination and early growth to controlled limited moisture conditions. *Agron. J.* 46 : 560-562.
16. 曳野玄三夫・須藤健一・井上浩一郎, 1984. 湿润畑における麦栽培の安定化 第2報 うね幅, 排水溝の深さと播種作業行程数のちがいによる排湿栽培法, 兵庫県農総センタ研報 32 : 85-88.
17. 平野寿助, 1973. 麦・大豆作の減退経過と今後の問題, 農業技術 28 : 481-483.
18. Hopper, N. W., Overholt, J. Z. and Martin, J. R. 1979. Effect of cultivar, temperature and seed size on the germination and emergence of soya bean (*Glycine max* (L.) Merr.) . *Ann. Bot.* 44 : 301-308.
19. Horeland, C. S. and Buchanan, G. A. 1973. Weed seed germination under simulated drought. *Weed Sci* 21 : 322-324.
20. Hunter, J. R. and Erickson A. E. 1952. Relation of seed germination to soil moisture tension. *Agron J.* 44 : 107-109.

21. 池田武, 1985, 大豆の催芽種子による出芽苗立ちについて, 日作紀 54: 205-209.
22. 今林惣一郎・真鍋尚義・古城斉一, 1984, 麦の全面全層播き栽培の問題点について, 九州農業研究45: 48.
23. 今林惣一郎・真鍋尚義・古城斉一・矢野雅彦・森藤信治・吉留純一・山田俊雄, 1983, 麦の全面全層播栽培について(第2報), 福岡農総試研報A 2: 13-18.
24. 石井和夫・徳永美治, 1967, 土壤圧縮に及ぼすトラクタ走行の影響(第1報) 現地試験からみた土壤水分と圧縮との関係, 日土肥誌 38: 366-372.
25. Kanemasu, E. T., Bark, D. L. and Chin, C. E. 1975. Effect of soil temperature on sorghum emergence. Plant and Soil 43: 411-417.
26. 加藤一郎, 1980, 麦類の全面全層播栽培法, 農及園 55: 516-520.
27. 小島睦男・犬山茂, 1976, グレインソルガムの出芽ならびに穀実の肥大に及ぼす気温の影響, 近畿中国農研 52: 39-40.
28. 木崎原千秋・今林惣一郎・古城斉一・大隈光善, 1980, 麦の全面全層播栽培について(第1報), 福岡農試研報 18: 25-28.
29. 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.
30. 美園繁, 1963a, 土壤の水分供給速度に関する研究(第2報), 日土肥誌 34: 349-353.
31. 美園繁, 1963b, 土壤の水分供給速度に関する研究(第3報) 土壤の圧密とインゲンの収量, 日土肥誌 34: 355-360.
32. 及川俊昭・泉清一・中江克己, 1964, 水田裏作麦の多条播栽培に関する研究, 農事試研報6: 17-46.
33. 岡田忠篤, 1973, グリーンパニック栽培法の確立に関する研究 IV. 発芽および出芽に対する物理的要因の影響, 草試研報 3: 1-9
34. 岡田忠篤, 1977, グリーンパニック栽培法の確立に関する研究 V. 発芽および出芽に対する肥料的要因の影響, 草試研報 11: 57-70
35. 岡武三郎・富久保男, 1977, 不耕起ばら播栽培における小麦の発芽・苗立ちについて, 近畿中国農業研究 53: 14-17.
36. Raghavan, G.S., Mackyes, E., Gendron, G., Borghum, B. and Le, H. H. 1978. Effects of soil compaction on development and yield of corn (maiz). Can. J. Plant Sci. 58: 435-443
37. Richards, L. A. 1953. Modulus of rupture as an index of crusting of soil. Soil Sci. Soc. Proc. : 321-323.
38. 佐村董・世古晴美・二見敏三・角田和美・越生博次, 1984, 湿润畑における麦栽培の安定化 第3報 耕法, 施肥法, 晩期播種による湿害・雨害回避試験, 兵庫県農総センター研報 32: 89-95.
39. 瀬古秀文・加藤一郎, 1979, 稈麦の全面全層播栽培法に関する研究, 四国農報 33: 51-80.
40. 四方治五郎, 1967, 大麦の発芽-酵素の生成を中心として一, 化学と生物 5: 506-510.
41. Singh, N. T. and Dhaliwal, G. S. 1972. Effect of soil temperature on seedling emergence in different crops. Plant and Soil 37: 441-444.
42. 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.
43. Sturkey, D. J. 1976. Effect of planting depth, temperature and cultivars on emergence and yield of double crop soybeans. Agorn. J. 68: 291-294.
44. 東海林英夫・高橋成人, 1975, ビール用大麦の種子発芽性に関する研究, 東北大農研報 26: 147

45. 高橋均・飯田克実・高橋保夫, 1971, 水田裏作イタリアンライグラスの省力播種法とくに不耕起まき栽培, 日草誌 17: 161-169.
46. 田中英彦・島本義也・津田周弥, 1981, てん菜の低温発芽速度の品種間差異と生育初期の諸形質との関連, てん菜研究会報 23: 12-15.
47. 渡辺毅・亥角昭夫, 1984, 麦の生育に及ぼす土壤水分の影響 第1報 湿潤畑における播種様式と生育, 福井県園芸センタ報告 2: 59-73.
48. 安間正虎・小田桂三郎, 1952, 関東地方における水田裏作麦栽培の研究 第IV報 過湿条件における麦類種子の発芽とその種類並に品種間差異, 関東東山農試研報 3: 23-28.
49. 吉田浩・大沼濟・佐藤隆・後藤清三・山崎栄蔵・鈴木多賀・渡辺昌幸・若松正夫, 1967, 山形県における乾田直播栽培の体系化に関する研究, 山形県農試研報 2: 22-51.

Agronomic Studies on Seedling Emergence in Two-Rowed Barley.

I. Effects of temperature, soil moisture ratio and hardness of covering soil on seedling emergence.

Shigemi TANAKAMARU

Summary

Fifty varieties of two-rowed barley (Table 1) were sown in sandy loam soil in pots placed in a temperature constant incubator to clarify the effects of some environmental factors on seedling emergence.

1. The period needed from seeding until 80% emergence became longer as the temperature became lower between 30 C and 10 C. At a temperature of 5 C, the seedling emergence rate did not exceed 80%. This delay of emergence is caused by the delay of plumule elongation not by delay of seed germination (Table 3 and 4).

2. The water sensitivity of these varieties was classified according to the Tokairin and Takahashi's method (Table 5 and 6). 13 varieties are water sensitive among the 50 varieties tested.

3. Six varieties with different grades of water sensitivity were selected and sown in soil with a moisture ratio ranging from 9.9% to 28.1%. Pre-soaking of seeds for 48 hours before seeding improved the emergence from the soil with a high moisture ratio (Table 7). Varieties with a high water sensitivity showed a higher emergence rate from soil with a high moisture ratio than less sensitive ones.

4. Seedling emergence rate of two-rowed barley cv. Seijo 17 was higher and emergence occurred faster from covering soil compacted to 0.05 kg/cm^3 than from non-compacted or from more compacted covering soil. So the moderate compaction of the covering soil is beneficial to emergence (Table 9). Under soil cover over 0.2 kg/cm^3 in hardness, the emergence rate become lower. The cause of This inhibition seems to be the hardness of the covering soil rather than decrement of gaseous phase in the soil by compaction.