

第1章 緒 言

第1節 北海道における春播型コムギ品種栽培の歴史

コムギ（パンコムギ, *Triticum aestivum* L. ssp. *vulgare* (Vill.)Thell.）は、水稻やトウモロコシと並んで、世界3大作物の一つとして古くから人類に利用されてきた。コムギの原産地は中近東とされており、日本への伝来は縄文時代末期とされている（星川 1988）。北海道における最古のコムギ作は、江戸時代天明年間に記録がみえるが（山本 1998）、本格的な栽培は明治以降と新しい。明治政府は開拓使を設置し、欧米から技術者を招き、さまざまな作物の導入と栽培を試みた。その中の一つにコムギが含まれていた（北海道立総合経済研究所 1963）。

コムギには、秋播して翌夏に収穫する「冬作」と、春播して当年の夏に収穫する「春作」がある。コムギには幼穂を形成するにあたり、幼苗時の一定期間、低温を必要とする性質があり、それを「春化」という。春化の要求度合いは連続的に変異し、要求する低温期間の長さによって「秋播性程度」（または春化要求度、低温要求性）を段階づけている（柿崎・鈴木 1937）。日本では、0～2℃の低温で催芽種子を貯蔵または幼植物体を生育させ、春化に必要な日数によって、春化处理が不要なレベルを秋播性程度Ⅰ、春化が長期間必要なレベルを秋播性程度Ⅶとし、7段階で分類している。北海道では古くから、春播栽培でも出穂可能な春播型のコムギ品種を「春播（春蒔）コムギ」と称し、春播栽培では出穂が不可能な秋播型のコムギ品種を「秋播（秋蒔）コムギ」と称している（北海道農事試験場 1905）。本研究では、作目として示す場合は「春播コムギ」「秋播コムギ」とし、品種の低温要求性を主眼に論ずる場合は「春播型品種」「秋播型品種」と称することとする。

従来、本州で作られていた麦類は、秋播性程度のいかににかかわらず冬作が大半であった。春作は、秋播性程度の低い品種を春に播種して栽培する体系で、緯度が高く冬が厳しくコムギ植物体の越冬が困難な地帯で実施されている。北海道では開拓使が持ち込んだ品種により、それまでの日本では少なかった春作が定着し、春播型品種を春作する「春播栽培」と、秋播型品種を冬作する「秋播栽培」の2体系で栽培されることとなった。

図1-1-1に1885（明治18）年から2005（平成17）年までの北海道におけるコムギ作付面積の推移を示す。春播コムギの作付けは、開拓が道北や道東へ広がった明治

後期から大正初期にかけて、秋播コムギより多く推移した。1915年の統計では、全道18,738ha（“町”で示された面積に0.991735を乗じ“ha”（ヘクタール）に換算した。以下1963年まで同様）の作付面積のうち秋播コムギが8,843ha、春播コムギが9,895haと、春播コムギの割合は53%を占めている（北海道農事試験場 1920）。大正中期以降になると、道北および道東では輸出換金作物の増加に伴い春播コムギの作付けが減少し、相対的に秋播コムギの割合が増加した。さらに、1927年以降は冬枯れに強い「赤錆不知一号」（北海道農事試験場 1927）の育成で更に秋播コムギの面積が増加した。1931年の統計では、全道13,616haの作付面積のうち秋播コムギが7,557ha、春播コムギが6,059haとなっている（渡辺 1938）。

その後、第二次世界大戦前後の肥料不足や冬枯れの増加により、再び春播コムギが増加した。1946年の統計では、全道28,117haの作付面積のうち秋播コムギが10,252ha、春播コムギが17,865haと、春播コムギの割合は64%を占めた（北海道 1951）。この傾向は1950年代後半まで続き、1958年の統計では、全道14,794haの作付面積のうち秋播コムギが7,728ha、春播コムギが7,066haで、ほぼ拮抗している（農林省農業経済局統計調査部 1959）。しかし、その後の経済状況の好転と秋播コムギの多収品種「北栄」の普及（楠・長内 1954、農林水産技術会議事務局 1967）、さらにはコムギの生産者価格の低迷で麦類全体の作付け意欲が減退し、1960年代に入ってから春播コムギの作付面積は急減した。1972年には春播コムギの面積は186haしかなく、全コムギ作付面積7,690haに対しわずか2%と、「安楽死」がささやかれるまでの状態となった（尾関 1992）。

ところが、1972年の異常気象に端を発する国際穀物相場の暴騰により、日本政府は麦作振興策を講じ（社団法人日本農会 1990）、特に大規模集団に対し厚い振興策がとられたことから、北海道のコムギ作は1974年より一転して増加に転じた。加えて、1978年には水田利用再編対策において麦類が価格的に有利な特定作物に指定されたことから、水田転作地帯においてコムギの作付けが飛躍的に増加した。これらのことから、全国の中でも北海道は特にコムギ面積が増加し、1981年にはコムギの作付面積が全道で10万haを超え、以降2005年まで毎年10万ha前後で推移している。

このような中で、春播コムギの作付割合は、1978年の

20% (8,390ha), 1980年の13% (11,300ha), 1987年の11% (13,500ha), 1995年の11% (9,520ha)を除くと、1975年から2004年まで3~10%で推移し、平均で6%を占めるに過ぎない。しかも、これら10%を超えた年次は、いずれも減反強化など水田政策が大きく転換した年次であり、主力である秋播コムギへのつなぎとして一時的に増反したに過ぎない。これは、春播コムギが秋播コムギに比べ単位吸収窒素あたりの乾物生産能が低く相対的に低収量であること(日本土壌肥料学会北海道支部 1987), および、春播コムギは秋播コムギより晩熟のため、収穫期の雨による穂発芽の被害を受けることが多く、その生産が不安定であることが原因と考えられる(図1-1-2)。

一方、近年の麦類の急激な増反と、食糧管理法による政府の無制限買入れ制度は、実需者の意向に沿わない品種や品位の生産物を多く産出する、いわゆる「ミスマッチ」の原因となり、実需者からは国産麦の高品質化を強く求められるに至った。さらに、1993年に妥結されたガット・ウルグアイ・ラウンド農業合意を受けた国の食糧管理政策の転換、1995年度の米価審議会、1997年の行

政改革委員会最終意見などにより、麦類の価格制度の問題点が論議された。この結果、1998年に「新たな麦政策大綱」が決定された。大綱では、国産麦にかかる施策の見直しとして、需要と供給のミスマッチ解消のため、麦類の民間流通への移行が示された。これを受けて、2000年産より入札による価格決定、いわゆる「民間流通」が開始された(折原 2000)。

日本におけるコムギ消費量は、1990年代以降、年間約620~640万tで安定している(農林水産省総合食料局 2004)。小麦粉にされる製粉用のコムギは、粉のタンパク質の量やその質により、強力・準強力、中力、薄力に分けることができる(長尾 1995)。国内の小麦粉としての消費量のうち、パンや中華めん用などの高いタンパク質含有率を要望される強力・準強力が占める割合は、約200万tとされる(注：平成14年度食糧庁推計)。加えて、同様に高いタンパク質含有率が要望される醤油などの醸造用として50万t程度消費されており、高タンパク質含有率のコムギの需要は全消費量の約4割を占める。しかしながら、国産コムギの大多数はうどんなどの日本めん

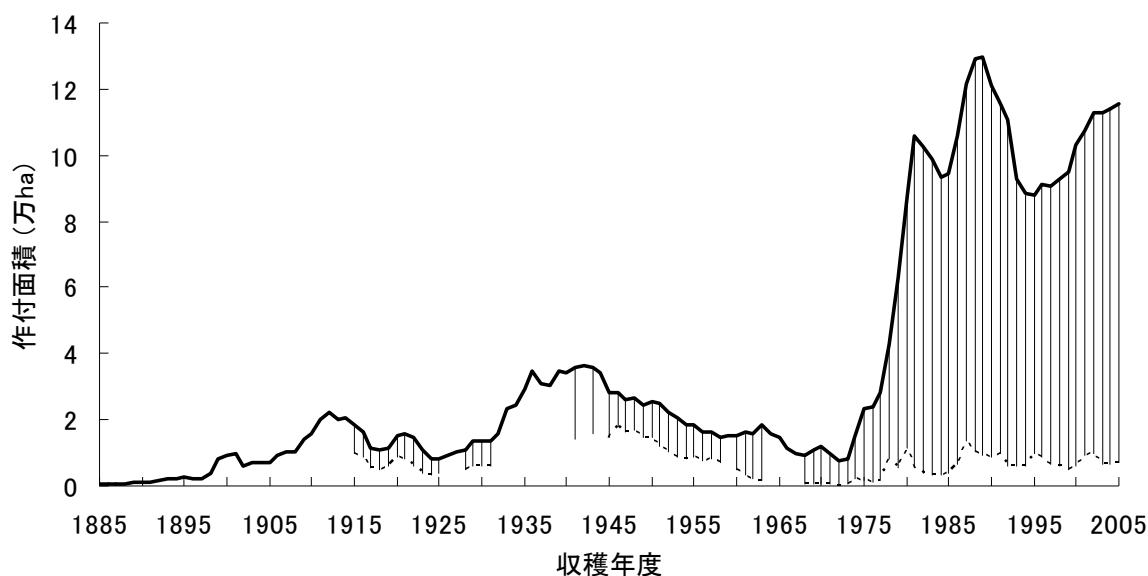


図1-1-1 北海道におけるコムギ作付面積の推移。

— コムギ面積, ... その内の春播コムギ面積。

1885年~1952年は「北海道(庁)統計書」、1953年以降は「作物統計」による。

面積が“町”で示されている1963年までは、0.991735を乗じヘクタールに換算した。

春播コムギ面積のうち、1915年~1918年は北海道農事試験場(1920)。

1928~1931年は渡辺(1938), 1943年は佐々木(1948), 1955年~1963年は

「北海道農業基本調査結果報告」、1968年以降は「作物統計」による。

値がない年度は、「北海道統計書」に記載がなく、他の資料でも検索できなかった。

なお、2005年は農林水産省北海道統計・情報事務所発表の速報値である。

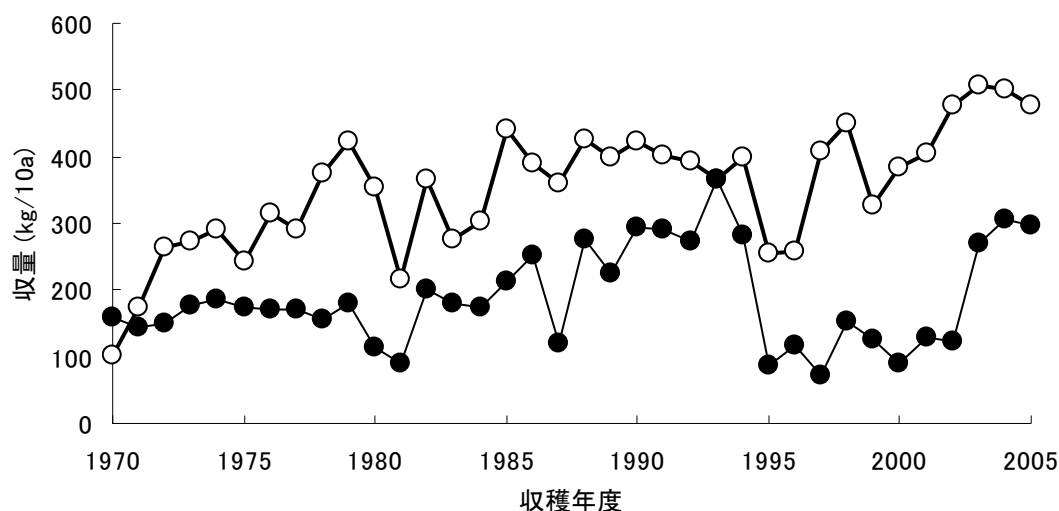


図 1-1-2 1970 年（収穫年度）以降の北海道におけるコムギの 10a あたりの収量の推移。

—○— 秋播コムギ, —●— 春播コムギ。

各年次の「作物統計」（注：農林省／農林水産省発行）より作図した。

なお、2005 年は農林水産省北海道統計・情報事務所発表の速報値である。

に適した中力コムギであり、強力・準強力用途に利用できる生産物はごくわずかではない。さらに、この 10 年の食生活の動向として、食の安全・安心に関心が高まり、ポストハーベスト農薬や残留農薬等への配慮が注目され、その結果、国産の農作物を使おうとする気運が高まりつつある。これらの背景のもとで、北海道の春播コムギは、国産コムギの中ではもっともタンパク質含有率が高いことから、国産コムギでパンを焼きたいという実需者からの引き合いが強く、民間流通の開始後 7 年連続で値幅制限の上限で価格が上昇し続けている。北海道の秋播コムギ品種「ホクシン」と、北海道の春播コムギ品種「ハルユタカ」の価格を比較すると、初めての入札（2000 年産）前の 1t あたり基準価格（ばら、1 等、産地倉庫在姿、消費税抜き）は 40,233 円と同一であったが、入札により「ホクシン」は 39,967 円（基準価格比 99.3%）、「ハルユタカ」は 42,233 円（同 105.0%）となった（折原 2000）。その後毎年 1 回の入札を経て、2006 年産の価格は「ホクシン」37,717 円（前年価格比 102.2%）に対し、「ハルユタカ」58,744 円（同 107.0%）と、1t あたり 21,027 円の差がついた（注：社団法人全国米麦改良協会「平成 18 年度産 民間流通麦の入札における落札決定状況」）。

このように、最近の春播コムギは実需者からの増産の要望が高いものの、生産者にとっては低収量、不安定というリスクが非常に大きいため、秋播コムギとの大きな価格差をもってしても増産への呼び水となっていない状

況にある。

第 2 節 春播型コムギ品種の初冬播栽培研究の経過

春播コムギは秋播コムギに比べ生育期間が短いため全乾物重が軽く（日本土壤肥料学会北海道支部 1987）、生育量の不足が低収の原因となる。このため、春播コムギの多収化に関して、早期播種や密植、多肥、灌水などによる生育量の確保に関する研究が古くから数多く報告されている（北海道農事試験場 1920, 渡辺 1938, 楠ら 1960, Baker 1982, 日本土壤肥料学会北海道支部 1987, 水落 1990）。北海道における春播コムギ栽培の研究史を概観すると、播種期については、1920 年の北海道農事試験場彙報第 24 号「小麦」（北海道農事試験場 1920）に「其適節は、土地、気候等により左右せらるゝこと多しと雖、…春蒔小麦は、成るべく早播するに利あるものの如し」とあり、古くから早播が推奨されている。標準播種量は m^2 あたり 340 粒とされており（北海道 1962）、秋播コムギの標準播種量である m^2 あたり 170～255 粒（宮本ら 1989, 鈴木ら 1998, 土屋ら 1999）と比べて密植である。窒素施肥法は半矮性品種「ハルユタカ」（尾関ら 1988）の育成により大きく変わり、多窒素による生育量の確保が可能となった（日本土壤肥料学会北海道支部 1987）。リン酸施肥は、初期生育量の確保に必要であること、窒素増肥との相乗効果が認められることから、低収である

にもかかわらず秋播コムギと同程度の施用量となっている（日本土壤肥料学会北海道支部 1987）。春播コムギに対する灌水は、幼穂形成期から穂ばらみ期で効果が高く、その主な増収要因は有効穂数の増加である（楠ら 1960）。

これらの中で、播種時期と登熟条件との関係をみると、晩播により登熟期後半に個体群成長速度および純同化率が著しく低下すること（高橋・中世古 1992a）や、生育の前進化によって低温下で生育するため登熟期間が延長し、その間の日射量が有効に利用されることから粒重と収穫指数が高まること（日本土壤肥料学会北海道支部 1987）などが明らかにされている。

以上のことから、春播コムギの多収化に対しては、早期播種が絶対条件として必要である。早期に播種することにより、生育量が確保され、加えて登熟期間中の気象条件が良好となり、栄養成長と生殖成長の相乗的な改善により多収が導かれるといえる。そこで、生育期間を長くすることにより低収を克服しようとして、春播型品種を根雪の直前に播き、融雪と同時に生育を開始させるという発想が生まれた。この「初冬播（しょとうまき）栽培」（または「根雪前播種」（北海道農業試験場 1967, 渡辺ら 1992）, 「越冬前播種」（佐藤ら 1989）, 「冬播」（高橋ら 1991））と呼ばれる技術は、北海道では 1935～1937 年に試験が行われた記録がある。「北海道農業技術研究史」（北海道農業試験場 1967）によると、「根雪前播種することによって地中発芽の状態で越冬し、冬枯の被害もなく春季の生育が促進することがわかったが、春季の気象条件によって早立ちする危険があり、実用化されなかった」とされる。その後、この技術は 1980 年代に、春播コムギの低収性と秋播コムギの連作障害に悩む水田転作地帯で、別の観点から再発見された。すなわち、空知北部地区農業改良普及所のグループは、栽培植物は播種を人手で行うが、野生植物は自ら種を落とし、条件が整うと発芽して継代することに着想し、コムギを根雪直前に播種する技術の可能性について 1985 年より深川市で試験を開始した。その結果、佐藤ら（1989）は、空知北部における初冬播栽培について、越冬直前に播種すると積雪下で出芽し、融雪後にモヤシ状で越冬すること、播種期は 11 月上旬・中旬の根雪前か、積雪 20～30cm 時であること、播種量は 25kg/10a 程度、品種は春播型品種「ハルユタカ」、秋播型品種「チホクコムギ」、「ホロシリコムギ」のいずれでもよいと報告し、初冬播栽培が可能であることを示した。その後佐々木ら（1991）は、この技術を「初冬播栽培」と命名し、真狩村を中心とした南羊蹄地区を含めた 5 年の試験結果により、当面実施するための栽培基準を提案した。それによると、播種期は根雪 25 日前か

ら根雪直前まで、播種量は春播栽培の 2 倍量の 25kg/10a、播種方法はドリル播または散播でよいとした。この時点で残された問題として、施肥時期と量、種子消毒の必要性などがあげられた。

これを受けて、北海道大学（札幌市）のグループにおいても初冬播栽培の研究が行われ、「ハルユタカ」の初冬播栽培では春播栽培に比べ全乾物重、収穫指数、穂数、一穂粒数のいずれも増加するため子実重が増加すること（高橋ら 1991）、根雪前に出芽した場合の融雪直後における可溶性糖含有率が根雪前に出芽しなかった区に比べ低いこと、播種適期は 11 月上旬～中旬であること（高橋ら 1992b）などを示した。また、北海道立上川農業試験場（以下、上川農試とする）のグループは、筆者らと共同で一連の初冬播栽培の試験を行い、その一部は本研究を構成している。沢口・土屋（1992）は士別市で初冬播栽培を行い、安定的な越冬を得るためには越冬前に出芽させないことが重要であるとした。ただし、その場合でも出芽数が不足すると多収に結びつかなかった。北海道農業試験場（現北海道農業研究センター）のグループは、札幌市の水田転換初年目畑における初冬播栽培の試験結果を示し、耕起と播種（散播）が同時にできる播種機、チゼルプラウシーダを用いた栽培法を提示した（渡辺ら 1992）。一方、冬期間に土壌が凍結する地帯における初冬播栽培は、帯広畜産大学のグループが検討し、新発田・沢田（1989）および沢田ら（1991）は十勝地域で「ハルユタカ」を初冬に播種した場合、安定的に越冬させることが困難であり、十勝のような土壌凍結地帯では難しいことを示した。

これらのことから、春播型品種の初冬播栽培の適地は冬期に積雪が多く土壌凍結がない地帯であること、積雪前に出芽すると越冬が不安定となることが明らかになった。また、根雪前に出芽しない時期に播種すると、積雪下で出芽し、融雪と同時に生育が開始することにより、春播栽培より生育が進み成熟期が早まり、多収となることが示された。これらの結果を発展させて、初冬播栽培の安定的な多収栽培法が示すことができれば、パン用の春播型品種の生産物を安定的に供給することが可能となる。

第 3 節 本研究の目的

初冬播栽培の安定的な多収栽培法を確立する上で、いくつかの問題点について技術的な整理が必要と考えられる。すなわち、栽培法全体について普遍的な技術体系を示すことができるか。安定的に越冬できる播種適期はい

つか、北海道各地の多様な土壌および気象条件の中での栽培可能な地帯はどこか。さらに、新しい栽培法に適する品種の具備すべき要件を示すことは、この技術が今後更に発展するために重要であると考えられた。

以上のことから、本研究では、北海道中央部における春播型コムギ品種の初冬播栽培を利用して、高品質で高タンパク含有率のコムギを安定的に生産する技術を確立するため、以下の項目について研究を実施した。

1. 初冬播栽培における高品質安定多収栽培法の策定
2. 初冬播栽培における越冬性の変動要因

3. 越冬性の優れる春播型系統の育成

これらの項目について、第2章では初冬播栽培の普遍的な栽培方法と生産物の品質について検討した。第3章では、越冬性の変動要因を解明するために、播種時期との関係、秋播型品種と比較した春播型品種の越冬性、越冬や生育に対する土壌の影響などについて検討した。第4章では、多少の播種時期の変動にかかわらず安定して越冬できる春播型系統の育成を試み、選抜系統の特性を明らかにした。

第2章 初冬播栽培における高品質安定多収栽培法の策定

第1節 安定的に越冬できる播種期の設定

春播型品種における初冬播栽培の標準法を策定することとは、この栽培法の普及にあたっての最重要項目となる。春播型品種の初冬播栽培では、根雪前に出芽すると越冬性が不安定となることが知られている(沢口・土屋 1992)。そこで、本節では春播型品種「ハルユタカ」を用いて初冬播栽培による播種期試験を行い、出芽に要する積算気温を過去の気象データと照合して、春播型品種が出芽に至らず安定的に越冬できる播種期を設定した。

材料および方法

試験は北海道立中央農業試験場(北海道長沼町、以下中央農試とする)圃場(普通畑)および上川農試圃場(普通畑)で1992年～1994年(播種年、この節は以下同様)の3ヵ年実施した。上川農試は1992年は北海道士別市、1993年以降は北海道比布町で試験を行った。供試した品種は春播型品種「ハルユタカ」である。播種期は、初冬播栽培として10月上旬～11月下旬に設定し、中央農試は初冬播栽培5水準と春播栽培1水準、上川農試は初冬播栽培3～4水準で実施した。設定播種期と実際の播種日を表2-1-1に、試験年の根雪始と融雪期を表2-1-2に示す。試験は両試験地とも乱塊法3反復で実施し、播種法は条播で、播種量は事前に行った発芽率の調査結果(80～100%)を参考とし、 m^2 あたりの発芽可能粒数を340粒に調整した。中央農試の耕種法は、一区面積は1992年が 0.3 m^2 (畦長 $1.0\text{ m} \times$ 畦幅 $0.3\text{ m} \times 1$ 畦)、1993年および1994年が 0.6 m^2 (畦長 $1.0\text{ m} \times$ 畦幅 $0.3\text{ m} \times 2$ 畦)で、肥料は P_2O_5 を 18 g m^{-2} 、 K_2O を 12 g m^{-2} 、それぞれ基肥として播き溝に作条施用し、融雪直後に $\text{N}10\text{ g m}^{-2}$ を試験区の上面から均一に肥料を施用した。上川農試の耕種法は、一区 5.04 m^2 (畦長 $4.2\text{ m} \times$ 畦幅 $0.3\text{ m} \times 4$ 畦)で、施肥は1992年は N 、 P_2O_5 、 K_2O を各々4、10、 6 g m^{-2} を基肥として播き溝に作条施用し、1993年および1994年は P_2O_5 を 11.8 g m^{-2} 、 K_2O を 8.8 g m^{-2} を基肥として播き溝に作条施用し、 N は越冬率を調査するだけであることから施用しなかった。前作物は、中央農試では1992年が秋播ナタネ、1993年が休閒、1994年がアズキで、上川農試では1992年がブロッコリー、1993年がエンバク、1994年がインゲンマメであった。生育調査は「小麦調査基準 第1版」(農業研究センター 1986)に準拠した。両試験地とも、気象データは構内にある気象観測装置による値を用い、播種から出

芽期および根雪始までの積算気温(基準温度は 0°C 以上)を算出した。また、中央農試では地下 10 cm の積算地温も同様に算出した。

結 果

中央農試における各年次の最も早い播種期における出芽始は、1992年が10月23日、1993年が11月1日、1994年が10月26日であった。また、各年次の最も早い播種期における出芽期は、中央農試では1992年が10月26日、1993年が11月3日、1994年が10月27日で、上川農試では1992年が10月18日、1993年が11月2日、1994年が11月18日であった。

播種期から出芽期までおよび根雪始までの積算地温(地下 10 cm)および積算気温を表2-1-3および表2-1-4に示す。積算地温と出芽の関係を中央農試のデータでみると(表2-1-3)、出芽に至った延べ7区の出芽期までの積算地温は $128 \sim 154^\circ\text{C}$ 、平均 140°C で、春播区の積算地温(3区、 $94 \sim 116^\circ\text{C}$ 、平均 108°C)に比べてやや高い値を示した。根雪前に出芽期に達しなかった延べ8区のうち、根雪始までの積算地温が最も高かった区は 149°C であった。積算気温との関係でみると、出芽に至った区の積算気温は $75 \sim 143^\circ\text{C}$ 、平均 113°C で、春播区(3区、 $98 \sim 108^\circ\text{C}$ 、平均 102°C)に比べると変異巾が広く平均はやや高い値を示した。また、根雪前に出芽期に達しなかった延べ8区のうち、根雪始までの積算気温が最も高かった区は 94°C であった。一方、積算気温と出芽の関係を上川農試のデータでみると(表2-1-4)、出芽期に至った

表2-1-1 設定播種期(試験区名)と実際の播種日(月・日)。

設定播種期 (試験区名)	中央農試			上川農試		
	1992年	1993年	1994年	1992年	1993年	1994年
10月上旬	—	—	—	10. 6	—	—
10月中旬	10. 14	10. 19	10. 13	10. 15	10. 15	—
10月下旬	10. 23	10. 29	10. 24	10. 26	10. 26	10. 26
11月上旬	11. 4	11. 8	11. 7	—	11. 5	11. 6
11月中旬	11. 13	11. 16	11. 21#	—	11. 15	11. 18
11月下旬	11. 24	11. 23	11. 28	—	—	—
春 播	4. 28	4. 22	5. 1	—	—	—

春播は翌年である。
#:降雨により播種が遅れた。

表2-1-2 試験年の根雪始と融雪期(月・日)。

項 目	中央農試			上川農試		
	1992年	1993年	1994年	1992年	1993年	1994年
根雪始	12. 12	12. 9	12. 9	11. 17	11. 18	12. 3
融雪期	4. 5	4. 4	3. 23	4. 14	4. 22	3. 30

融雪期は播種翌年である。

延べ4区の積算気温は97～136℃、平均118℃であった。根雪前に出芽しなかった延べ6区のうち、根雪始までの積算気温が最も高かった区は122℃であった。すべての試験地の平均では、初冬播栽培において出芽期に至るまでの積算気温は115℃であった。

考 察

春播型品種を用いた初冬播栽培を安定的な技術とするには、根雪前に出芽しない播種時期を設定することが最も重要である。しかしながら、根雪始は年次変動が大きく、播種当年に根雪始を予想することは困難を極める。従って、気温や地温の推移や、低温下での小麦の成長を解析することにより、安定的な播種早限を設定することを検討した。

本試験の結果では、初冬播栽培においてコムギが出芽に至るまでの積算地温は平均140℃、積算気温は同115℃であることが明らかとなった。地温の方が気温に比べて変動が小さく、また出芽速度に与える影響も直接的と考えられるが、地温の測定は容易ではなく、一般的に行うことは困難であると考えられたため、播種早限の設定に気温のデータを用いることを検討した。中央農試における根雪始の平年値は12月上旬であるが、12月1日以降の気温は平均で0℃前後であり気温は積算されない。そこで、同場における11月1日、11月6日および11月11日の3時点から11月30日までの積算地温と積算気温の過去21年の変異と平均値を算出した（表2-1-5）。本試

験の結果と比較すると、平年の根雪始の約25日前にあたる11月6日以降の播種ではほぼ安定的に出芽に至らず、同じく約20日前にあたる11月11日以降の播種では全く出芽に至ることがないものと予想された。また、地温が高い年次は気温も高いことから、実用上は十分な関連性があるものと推察された。同様に上川農試のデータで平年の根雪始（11月下旬）に近い11月20日までの積算気温で検討すると（表2-1-6）、平年の根雪始より約20日前にあたる11月1日以降の播種で安定的に出芽に至らないものと推定された。

以上、春播型品種の初冬播栽培における安定的な播種早限を平年の根雪始の20～25日前と設定したが、これは佐々木ら（1991）の空知北部地区や羊蹄山麓地区での結果ともほぼ一致している。この設定の妥当性をさらに検討するために、気象台発表のデータに基づいて道央4地点（旭川、札幌、岩見沢、倶知安）における根雪始20日前から根雪始までの積算気温を算出した（表2-1-7。注：札幌管区気象台北海道の気象、北海道気象月報1973～1996。便宜上、この平均値を「平年値」とする）。播種早限（積算開始日）を、平年の根雪始が11月中の場所ではその20日前、平年の根雪始が12月に入る場所では11月11日とした場合、平年の根雪始までの積算気温が115℃を10%以上超える事例が96事例中2事例（札幌の1989年および1990年）みられた。一方、当該年次の実際の根雪始までの積算気温でみると、根雪始が平年より6～23日遅れかつ11月および12月の気温が記録的に高

表2-1-3 中央農試における播種期から出芽期までおよび根雪始までの積算地温および積算気温(0℃以上の値の積算値)。

播種期	地下10cm積算地温(℃)						積算気温(℃)					
	出芽期まで			根雪始まで			出芽期まで			根雪始まで		
	1992年	1993年	1994年	1992年	1993年	1994年	1992年	1993年	1994年	1992年	1993年	1994年
10月中旬	128	145	154	373	334	366	108	143	112	290	264	276
10月下旬	137	141	129	277	244	238	116	132	110	184	182	180
11月上旬	148	不達	不達	168	149	110	75	不達	不達	92	94	80
11月中旬	不達	不達	不達	113	93	35	不達	不達	不達	45	40	30
11月下旬	不達	不達	不達	60	44	10	不達	不達	不達	6	10	20
春 播	94	114	116	—	—	—	100	98	108	—	—	—

「不達」は根雪始までに発芽期に達しなかったことを示す。

表2-1-4 上川農試における播種期から出芽期までおよび根雪始までの積算気温(0℃以上の値の積算値)。

播種期	出芽期まで			根雪始まで		
	1992年	1993年	1994年	1992年	1993年	1994年
10月上旬	97	—	—	261	—	—
10月中旬	114	136	—	177	205	—
10月下旬	不達	不達	123	111	122	157
11月上旬	—	不達	不達	—	53	64
11月中旬	—	不達	不達	—	19	26

「不達」は根雪始までに発芽期に達しなかったことを示す。

かった1990年では全地点で115℃を大幅に越えた(179～200℃)。この年次を除けば積算気温が115℃を10%以上超える事例は92事例中5事例であった。

このように、記録的な高温年以外では、本試験での設定はほぼ妥当であると考えられ、根雪始が平年より遅れ出芽に至った場合でも、一般的にはその間の気温の低下が生育を抑え、越冬が可能な鞘葉程度で生育が留まるものと考えられる。

なお、実際の初冬播栽培においては播種適期をより拡大する必要があるが、この場合は播種早限より早い時期に播く(播種早限の前進化)方向と、積雪上から播種する(播種晚限の延長)方向の2方向がある。この内、早播を可能にする方法としては、沢口・佐藤(2001)が見出した発芽抑制剤の使用が考えられる。これにより、早播を行っても出芽が抑制され越冬する可能性が高まる。

一方、積雪上からの播種については、佐々木ら(1991)は年次変動が大きく安定生産には危険であることを示し、高橋ら(1991)は1月23日の播種では種子が吸水せず発芽しなかったことを報告した。これらを受けて、沢口・宮本(1997)は上川農試で雪上播種を行い、根雪後なるべく早くに播種することで雪上播種でも越冬が可能であることを示した。他方で湯川ら(2001)は、初冬播栽培における越冬率は大粒種子ほど高いことを示した。以上のことから、初冬播栽培を行う場合は健全な種子を用い、本試験で示した播種早限より早く播く場合には発芽抑制剤を使用し、播種早限を過ぎれば計画的な播種を行い、予想より早く降雪した場合は速やかに雪上播種を行うなどの方策により、初冬播栽培における播種と出芽の安定を図る必要があろう。

表2-1-5 中央農試における11月30日までの積算地温および積算気温(℃)の過去21年間(1974～1994)の変異巾と平均値。

積算開始日	11月1日		11月6日		11月11日	
	変異	平均	変異	平均	変異	平均
積算地温	108～214	155	80～169	118	43～166	85
積算気温	46～166	100	26～128	71	0～91	46

表2-1-6 上川農試における11月20日までの積算気温(℃)の過去12年間(1982～1993)の変異巾と平均値。

積算開始日	10月21日		10月26日		11月1日	
	変異	平均	変異	平均	変異	平均
積算気温	81～168	127	49～136	97	31～96	63

表2-1-7 北海道中央部の主な気象官署における根雪始と積算気温の変異(1973～1996年)。

場所	根雪始(月.日)		積算気温の変異巾(℃)		
	変異巾	平均	平年の根雪始まで	当該年次の根雪始まで	
				1990年	1990年以外
旭川	11.6～12.15	11.21	31～100	179	17～127
札幌	11.18～12.13	12.4	35～153	193	36～132
岩見沢	11.9～12.15	11.27	25～114	200	1～140
倶知安	11.6～12.10	11.20	36～113	197	22～143

札幌管区気象台、北海道気象月報による。根雪始の平年値は当該年次の平均値を用いた。積算開始日は、平年の根雪始の20日前とし、平年の根雪始が12月1日以降の場所は11月11日とした。1990年は11月および12月の気温が標記気象官署における観測史上最高値を示した。

第2節 窒素施用法

北海道における春播型品種「ハルユタカ」の春播栽培における窒素の適正な施用量は、目標収量を $3.3 \sim 4.0 \text{ t ha}^{-1}$ とした場合 100 kgN ha^{-1} 程度であり、窒素追肥による増収効果は小さい(日本土壤肥料学会北海道支部 1987)。また、北海道と同様に生育期間の比較的短いカナダにおいても、 $100 \sim 120 \text{ kgN ha}^{-1}$ 以上では収量に大差がない(Dubetz 1977, Ayoub ら 1994a)。しかしながら、長い栄養成長期間を必要とする品種や栽培法が開発された場合、施用量を多くする必要があると考えられる。沢口・佐藤(2001)は、同一施肥量の条件において、初冬播栽培の子実収量が春播栽培に比べ多収となることを示した。初冬播栽培では生育期間が延長し十分な生育量を確保できるとともに、生育の前進化により生育期間中の温度条件が低温側に移行しコムギにとって良好な温度条件下で登熟する(近藤ら 1982)ことから、その生育特性を生かすことのできる窒素施用量と施肥時期を検討する必要がある。本節では、春播型コムギ品種を初冬播あるいは春播栽培し、窒素施用法が収量および子実の粗タンパク質含有率(以下タンパク質含有率とする)に与える影響を検討した。

材料および方法

試験は中央農試圃場(普通畑)で1997年および1998年(収穫年、この節は以下同様)の2ヵ年実施した。供試した品種は春播型品種の「ハルユタカ」および「春のあけぼの」(田引ら 2000a)である。播種期は、1997年は前年の11月8日、1998年は同11月11日であった。

処理は初冬播栽培における窒素施用法 12 水準および春播対照区で、詳細を表 2-2-1 に示した。窒素肥料は硫酸を用い、窒素施用は播種時には行わず、融雪直後のみに $4 \sim 16 \text{ gm}^{-2}$ 施用する 5 処理(以下「融雪期施用区」とする)、および融雪直後処理に加えて止葉展開期(以下「止葉期」とする)に $3 \sim 6 \text{ gm}^{-2}$ 施用する 6 処理(以下「止葉期分施肥区」とする)を設けた。いずれの窒素処理も試験区上面より均一に肥料を施用した。なお、初冬播栽培の無窒素区は、一区 12.0 m^2 、無反復で試験区外に別途設置したため、分散分析および相関表からは除外した。

試験は各年次で、品種を主区、窒素施用処理を副区とした分割区法を用い、3 反復で実施した。各プロットは畦長 4.0 m 、畦幅 0.3 m の 5 畦から成り(一区面積は 6.0 m^2)、それらのうち 4 畦を収穫対象とした(収穫面積は 4 畦分の 4.8 m^2)。分散分析は McIntosh (1983) の方法に依り、2 ヵ年のデータを組合せて、年次を変量、品種と窒素施

用処理を母数とする混合模型として実施した。また、各水準の平均値の差異の有意性は、Snedecor and Cochran (1967) の方法に従い、Student 化された範囲 (Q) により検定した (Tukey 法)。

播種法は条播で行った。播種量は事前に行った発芽率の調査結果 ($80 \sim 99\%$) を参考とし、 m^2 あたりの出芽可能粒数を初冬播区は 400 粒に、春播対照区は 340 粒に、それぞれ調整した。窒素以外の施肥は各区共通とし、 P_2O_5 および K_2O は各々 18 および 12 gm^{-2} をそれぞれ単肥(過磷酸石灰および硫酸加里)で、初冬播区は融雪直後に試験区上面から均一に施用し、春播対照区は基肥として播き溝に条施用した。前作物は 2 ヵ年ともトウモロコシであった。供試圃場は夕張川系の沖積土(褐色低地土)に樽前山系の黒色火山性土を約 20 cm 客土、混和しており、その化学性は、熱水抽出窒素が低く、Mg および Ca に富む(表 2-2-2)。

生育および収量調査は「小麦調査基準 第 1 版」(農業研究センター 1986) に準拠したが、収穫指数 (HI) は収穫プロットより約 500 g をサンプリングし、 80°C で 72 時間乾燥した乾物で調査した。また地上部重は乾物重で示した。子実収量は雨よけ施設での風乾、脱穀、唐箕選後の生産物を、子実重計量時に米麦水分計(ケット科学研究所 PB-1D2)で測定した子実水分含有率を用いて 13.5% 水分換算で示した。茎葉の窒素含有率は、粉碎したものをケルダール法により測定し、乾物あたりの濃度で示した。子実タンパク質含有率は粒のまま透過型近赤外分析計(Tecator 社 Infratec1255)で測定し、同時に同じ方法で測定した子実水分含有率を用いて 13.5% 水分換算(農林水産技術会議事務局 1968)で示した。なお、用いた検量線の子実タンパク質含有率の蛋白係数は 5.7 を用い(農林水産技術会議事務局 1968)、検量線の推定誤差 (SEP) は子実タンパク質含有率、子実水分含有率とも 0.5 ポイント以下であった。

得られた値を用いて以下の値を算出した。

窒素吸収量 = { (地上部重 - 子実収量 $\times 0.865$) $\times$ 茎葉窒素含有率 } + 子実収量 $\times$ 子実タンパク質含有率 $\div 5.7$

窒素収穫指数 (NHI) = (子実収量 $\times$ 子実タンパク質含有率 $\div 5.7$) $\div$ 窒素吸収量 $\times 100$

結 果

1. 調査年次および供試品種の比較

初冬播栽培の越冬出芽本数は 328 ± 41 本 m^{-2} で、収量を確保するために十分な量(沢口・佐藤 2001)を確保した。子実収量の変異率は 188 (1997 年「ハルユタカ」4-0 区)

～534g^m⁻² (1998年「ハルユタカ」16-0区), 子実タンパク質含有率の変異巾は9.6 (1997年「春のあけぼの」4-0区)～12.7% (1998年「春のあけぼの」7-6区)であった。

各要因, 各水準の調査形質の平均値を表2-2-3に示す。調査した2カ年を比較すると, 1997年は1998年に比べ, 出穂期および成熟期が遅く, 稈長および穂長が短く, 穂数が多く, 地上部重が軽かったがHIが高く, 子実収量は同等であった。また, 収穫物のリットル重は重く, 千粒重は軽く, 子実タンパク質含有率は0.9ポイント低かった。

次に, 品種間差をみると, 「ハルユタカ」は「春のあけぼの」に比べ, 出穂期は遅かったが成熟期は早く, 地上部重が重く子実収量は34g^m⁻²重かった。リットル重は重く, 子実タンパク質含有率は0.3ポイント低かった。しかしながら, 品種×年次の交互作用が比較的大きかった

ことから, 多くの形質で有意差が認められなかった。

処理間差をみると, 多くの形質において有意差が検出された。その詳細は後述する。

分散分析の結果得られた各要因の平均平方と有意性の検定結果を表2-2-4および表2-2-5に示す。調査形質のうち, 子実収量とリットル重を除き, 平均平方は年次で最も大きく, 子実重とリットル重は品種や処理の効果が年次よりも大きい平均平方を示した。一方, 多くの形質において, 一次ならびに二次の交互作用がみられたが, その多くは主効果に比べてF値が低かった。処理に関係する交互作用の中で, 主効果より処理×年次のF値が高かった千粒重についてみると(図2-2-1), 初冬播栽培の11処理区では1997年が1998年に比べ重かったが, 春播対照区のみはその逆であった。これは, 1998年は7月上旬から寡照となったため, 特に春播対照区で登熟不良となり赤かび病が多発したが, 出穂の早かった初冬播区ではこれを回避したためと考えられる。

表2-2-1 窒素施用処理の概要(1997～1998年)。

処理名	処理区分	窒素施用量(g ^m ⁻²)		
		融雪期	止葉期	計
0-0	無窒素区	0	0	0
4-0	融雪期施用区	4	0	4
7-0	融雪期施用区	7	0	7
10-0	融雪期施用区	10	0	10
13-0	融雪期施用区	13	0	13
16-0	融雪期施用区	16	0	16
4-6	止葉期分施肥区	4	6	10
7-3	止葉期分施肥区	7	3	10
7-6	止葉期分施肥区	7	6	13
10-3	止葉期分施肥区	10	3	13
10-6	止葉期分施肥区	10	6	16
13-3	止葉期分施肥区	13	3	16
春播対照	春播対照区	10(基肥)	0	10

無窒素区は圃場の中央部において無反復で行い, 分散分析および相関からは除いた。融雪期の施用時期は, 1997年は4月9日, 1998年は4月10日。止葉期は止葉展開期で, 施用時期は, 1997年は5月29日, 1998年は5月26日。

2. 年次と品種を込みにした処理間差

処理間差(表2-2-3)について, 初めに同一窒素量で初冬播栽培と春播栽培とを比較すると, 初冬播栽培の10-0区は春播対照区に比べ, 出穂期は14日, 成熟期は8日早かった。稈長, 穂長, 穂数および窒素吸収量は大差がなかったが, 初冬播栽培は地上部重が重く, HIが高かったため, 子実収量は96g^m⁻² (33%)多かった。初冬播栽培の収穫物のリットル重および千粒重は重く, 子実タンパク質含有率は0.9ポイント低く, NHIは高かった。

次に, 初冬播栽培における窒素量の効果を融雪期施用区(4-0区～16-0区)で比較すると, 窒素13g^m⁻²以上の施用により成熟期は遅くなった。窒素を増肥するに従って稈長および穂長は長くなり, 穂数は増加する傾向がみられたが, その伸長および増加程度は窒素10～13g^m⁻²以上で緩やかとなり, このうち穂数は16-0区が13-0区よりわずかに少ない傾向を示した(有意差なし)。地上部重, HI, 窒素吸収量および子実収量は増肥により増加した。千粒重は4-0区で軽く(40.7g), 7-0区で重く(42.2g), 10-0区で軽く(41.1g), 窒素13g^m⁻²以上で緩やかに増加

表2-2-2 供試圃場の化学性。

年次	pH	全炭素	熱水抽出窒素	トルオーグリン酸	置換性塩基(meq/100g)			CEC
					CaO	MgO	K ₂ O	
	(H ₂ O)	(%)	(mg/100g)	(mg/100g)				(me)
1997年	5.9	2.24	1.97	15.50	178.4	75.0	19.3	15.0
1998年	6.0	1.81	3.44	15.40	165.9	48.4	17.0	11.2

表2-2-3 生育, 収量, 窒素吸収量の要因別平均値.

要因	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (m^{-2})	地上部重 (gm^{-2})	子実 収量 (gm^{-2})	HI (%)	リットル 重 (g)	千粒重 (g)	子実タンパク 質含有率 (%)	窒素 吸収量 (gm^{-2})	NHI (%)
年次													
1997年	6.17	7.31	70	8.0	551	942	370	42.9	794	39.7	10.6	8.31	83.0
1998年	6.07	7.28	84	8.5	422	1111	373	33.8	791	42.6	11.5	10.32	72.8
有意性	**	**	**	**	*	*	ns	**	*	**	**	*	**
品種													
ハルユタカ	6.13	7.28	76	8.2	494	1071	389	38.3	795	41.0	10.9	9.45	79.0
春のあけぼの	6.11	8.01	78	8.3	479	982	355	38.4	790	41.3	11.2	9.19	76.9
有意性	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
処理													
4-0	6.11	7.28	68	7.4	342	593	206	37.0	796	40.7	10.1	4.65	79.0
7-0	6.11	7.28	76	8.1	416	867	306	38.5	791	42.2	10.1	6.88	80.1
10-0	6.11	7.28	78	8.4	471	1059	384	38.7	794	41.1	10.2	8.64	80.4
13-0	6.11	7.29	80	8.3	550	1185	445	39.8	793	41.6	10.8	10.75	79.1
16-0	6.11	7.30	80	8.6	534	1252	480	40.8	799	42.4	11.4	12.19	78.9
4-6	6.11	7.30	72	7.9	463	860	306	37.1	793	39.8	11.1	8.44	72.3
7-3	6.11	7.29	76	8.1	502	983	360	38.9	796	41.4	11.0	8.80	79.1
7-6	6.11	7.30	77	8.5	478	1075	383	38.2	794	41.1	11.6	10.20	76.9
10-3	6.11	7.29	78	8.3	521	1095	412	39.1	798	42.0	11.2	10.16	80.2
10-6	6.11	7.30	79	8.4	548	1173	439	39.5	798	41.9	11.9	11.63	78.9
13-3	6.11	7.29	79	8.5	556	1197	449	40.5	794	41.8	11.5	11.18	80.9
春播対照	6.25	8.05	80	8.5	457	979	288	32.2	762	37.8	11.3	8.28	69.3
有意性	**	*	**	**	**	**	**	*	ns	ns	**	**	ns
有意差(5%)	7	7	8	0.9	157	201	120	6.2	ns	ns	1.5	1.98	ns

有意性の*および**は各々5%, 1%水準で有意, nsは有意差なしを示す. 有意差はTukey法(Student化された範囲Qと標本標準偏差との積)により, %は有意水準を示す. HI: 収穫指数(子実収量(乾物)/地上部重 $\times 100$). NHI: 窒素収穫指数(子実収量 $\times$ 子実タンパク/5.7/窒素吸収量 $\times 100$).

表2-2-4 生育および収量形質の分散分析結果(平均平方).

要因	df	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (m^{-2})	地上部重 (gm^{-2})	子実収量 (gm^{-2})
年次(Y)	1	3136.0 **	476.7 **	7685.4 **	6.00 **	596327 *	1025297 *	200.6
年次内ブロック	4	3.3	4.3	86.2	0.18	43289	86344	12708.3
品種(C:主区)	1	69.4	544.4 *	61.4	0.23	8000	280532	41646.0
C $\times$ Y	1	56.3 **	1.8	1.4	0.69	40223 *	6573	2821.9
込みにした誤差	4	0.3	0.5	12.6	0.23	4717	13306	1686.9
処理(T:副区)	11	197.6 **	52.9 *	162.2 **	1.30 **	47924 **	414347 **	79297.6 **
T $\times$ Y	11	15.9 **	14.2 **	19.2 **	0.29	9048	14779	5257.4 **
T $\times$ C	11	0.7	1.1	13.0	0.24	7480	20141 *	3919.9
T $\times$ C $\times$ Y	11	0.6	1.1	7.2	0.16	5549	5083	1517.1
込みにした誤差	88	0.4	0.7	7.3	0.16	5352	8488	1237.7

df: 自由度. *および**は平均平方から算出されるF値が各々5%, 1%水準で有意であることを示す. F値の計算はMcIntosh(1983)に依り, 混合模型(年次を変量, 品種および処理を母数とする)を適用した.

表2-2-5 収穫物および窒素吸収量の分散分析結果(平均平方).

要因	df	HI (%)	リットル重 (g)	千粒重 (g)	子実タンパク 質含有率 (%)	窒素 吸収量 (gm^{-2})	NHI (%)
年次(Y)	1	3042.1 **	345.3 *	315.56 **	28.74 **	146.234 *	3790.03 **
年次内ブロック	4	5.3	41.5	1.04	0.26	8.868	4.17
品種(C:主区)	1	0.3	915.1	1.80	3.04	2.487	162.10
C $\times$ Y	1	61.2 **	608.4	15.61 *	4.87 *	1.368	31.08
込みにした誤差	4	1.2	108.9	1.08	0.28	2.056	50.72
処理(T:副区)	11	60.9 *	1177.1	19.22	4.35 **	55.543 **	149.48
T $\times$ Y	11	14.0 **	704.0 **	20.77 **	0.75 **	1.430	97.77 **
T $\times$ C	11	2.3	197.4	2.99	0.33	1.135	21.57
T $\times$ C $\times$ Y	11	6.2 **	80.8 **	1.37	0.31	0.585	18.40
込みにした誤差	88	2.3	29.2	1.08	0.17	0.964	18.01

df: 自由度. HIは収穫指数, NHIは窒素収穫指数を示し, 計算式は表2-2-3に同じ. *および**は平均平方から算出されるF値が各々5%, 1%水準で有意であることを示す. F値の計算はMcIntosh(1983)に依り, 年次を変量, 品種および処理を母数とする混合模型を適用した.

した(41.6~42.4g). 子実タンパク質含有率は窒素 10g m^{-2} までは差がなく(10.1~10.2%), 窒素 13g m^{-2} 以上で高まった(10.8~11.4%).

続いて、止葉期における窒素分施の効果を、総窒素施用量ごと(10, 13, 16g m^{-2})に融雪期施用区を100として比較すると(図2-2-2), 止葉期の施用量が多くなるほど成熟期が遅れ(データ省略), 生育量が少なくなる傾向を示した. すなわち, 稈長, 穂長が短くなる傾向がみられ, 地上部重が減少した. HI も低下する傾向がみられ, 子実収量は低下した. 一方で子実タンパク質含有率は上昇した. これらの傾向は, 総窒素量が少ないほど顕著であった. 穂数には一定の傾向がみられず, その差も有意ではなかった.

3. 形質相互の関係

初冬播栽培の処理について, 子実収量および子実タンパク質含有率と諸形質との相関係数を表2-2-6に示した. 子実収量と, 稈長, 穂長, 穂数, HI, 地上部重および窒素吸収量との間には各々密接な相関関係がみられたが(各々 $r=0.957^{***}$, 0.944^{***} , 0.948^{***} , 0.996^{***} , 0.908^{***} , 0.968^{***}), 千粒重との間には有意な相関関係は認められなかった($r=0.587$). 一方, 子実タンパク質含有率と有意な相関関係がみられたのは, 穂長, 穂数, 地上部重および窒素吸収量であったが, その絶対値は子実収量との相関係数に比べ小さかった(各々 $r=0.628^{*}$, 0.717^{*} , 0.649^{*} , 0.806^{**}).

春播対照区を含めた12処理において, 窒素吸収量と窒素施用量との関係を見るときわめて高い正の相関関係を示し(図2-2-3, $r=0.987^{***}$, 標本数=12), 同一施用量で比較すると春播対照区と初冬播区の窒素吸収量はほぼ同等であった.

4. 窒素施用量と形質との関係

初冬播栽培の処理について, 窒素施用量と諸形質との相関係数を表2-2-7に示した(標本数=11). 全施用量と有意な相関関係が得られたのは稈長, 穂長, 穂数, 地上部重等の生育量($r=0.842^{***}$ ~ 0.940^{***}), HI ($r=0.807^{**}$), 子実タンパク質含有率($r=0.847^{***}$)および窒素吸収量($r=0.987^{***}$)であった. 融雪期施用量との相関関係においては, 全施用量との相関関係に類似したものの, 千粒重との間に有意な正の相関関係がみられ($r=0.698^{*}$), 子実タンパク質含有率との間には有意な相関関係は認められなかった($r=0.346$). 一方, 止葉期施用量との間において有意な相関関係がみられたのは, 子実タンパク質含有率($r=0.750^{**}$)だけであった. 施用量と窒素収獲指

数との間には一定の関係がみられなかった.

考 察

初冬播栽培は, 同一窒素量レベルの春播栽培(融雪期(初冬播栽培)または基肥(春播栽培)に窒素 10g m^{-2} 施用)と比較すると, 窒素吸収量に大差がなかったにもかかわらず, 地上部重および千粒重が重く, HI が高く, 多収となった. 初冬播栽培が多収となることについては既往の知見(佐々木ら1991, 高橋ら1991, 1992b, 渡辺ら1992, 平岡ら1996, 沢口・佐藤2001)と一致した. このことは, 春播栽培の播種期に関する知見と同様に(日

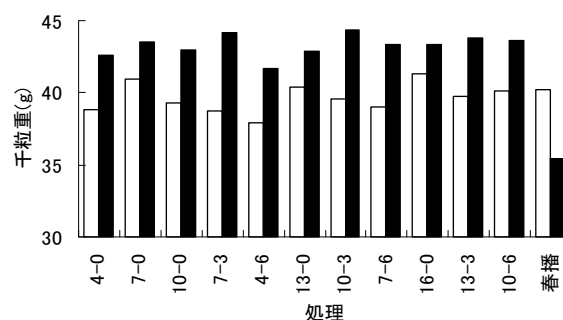


図2-2-1 千粒重における年次と処理との交互作用.

□ 1997年, ■ 1998年. 2品種平均. 処理の数字は, 初冬播栽培における窒素施用量(g m^{-2})で, 融雪直後一止葉期の順に示す. 春播は春播対照区で, 基肥窒素量は 10g m^{-2} . Tukey法による5%水準の有意差は, 1997年は2.2g, 1998年は2.0g.

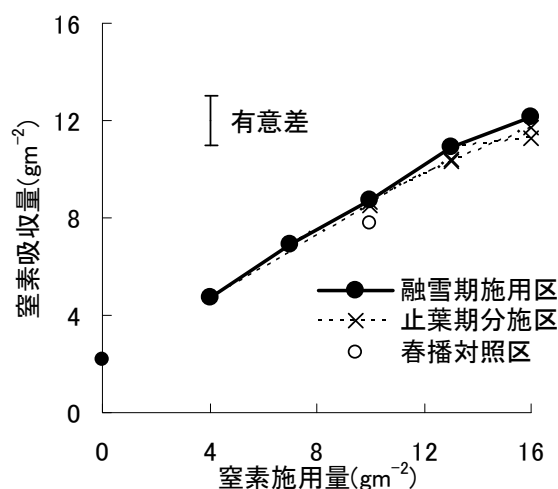


図2-2-3 窒素施用量と窒素吸収量との関係.

2ヵ年2品種平均. 有意差はTukey法による5%水準の有意差で, 実数値は 1.98g m^{-2} . 無窒素区は無反復のため参考値. 破線は結んだプロットがそれぞれ融雪期での窒素施用量で同じであることを示す.

本土壌肥料学会北海道支部 1987, 高橋・中世古 1992a), 生育の前進による低温化が栄養成長および生殖成長期間の延長と登熟環境の好適化を招き, そのことにより地上部重, HI, 千粒重を高めたためと考えられる. 登熟環境の好適化は子実の容積重(リットル重)の増加によってもみることができた.

一方, 春播栽培と同一窒素量レベルでの初冬播栽培の子実タンパク質含有率は, 既往の知見(渡辺ら 1992, 平岡ら 1996)と同様に, 春播栽培と比べると低かった. 本

試験では, 初冬播栽培は春播栽培に比べてNHIが高かったが, 窒素吸収量には差がなく, 子実収量は33%多かった. このことから, 初冬播栽培は春播栽培に比べて単位吸収窒素当たりの子実生産能が大きく上回っていたと言える. このため, NHIの若干の増加をもってしても子実タンパク質含有率の低下を補えなかったものと考えられる. 北海道産の春播コムギは, 国産コムギの中では子実タンパク質含有率が高く, 主にパン用や醤油用として利用されていることから, 初冬播栽培では春播栽培の施肥

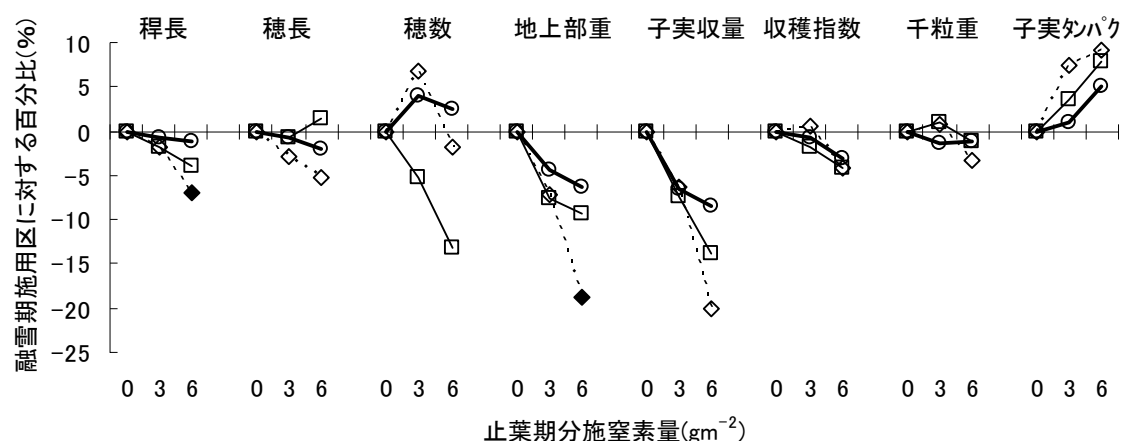


図 2-2-2 止葉期分施窒素量の増加に伴う諸形質の変動割合.

総窒素施用量: $\cdots\Diamond\cdots$ 10 $g\cdot m^{-2}$, $—\square—$ 13 $g\cdot m^{-2}$, $—\bigcirc—$ 16 $g\cdot m^{-2}$.

2 カ年 2 品種平均. 各々黒塗りは融雪期施用区に比べて 5%水準で有意差あり.

子実タンパク: 子実タンパク質含有率.

表 2-2-6 初冬播栽培における子実収量・子実タンパク質含有率と諸形質との相関係数.

	稈長	穂長	穂数	地上部重	HI	リットル重	千粒重	窒素吸収量	NHI	子実タンパク質含有率
子実収量	0.957 ***	0.944 ***	0.948 ***	0.996 ***	0.908 ***	0.419	0.587	0.968 ***	0.301	0.646 *
子実タンパク質含有率	0.504	0.628 *	0.717 *	0.649 *	0.444	0.449	0.158	0.806 **	-0.223	—

2カ年2品種平均. 標本数=11. *, **および***は各々5%, 1%, 0.1%水準で有意.

HI は収穫指数, NHIは窒素収穫指数を示し, 計算式は表2-2-3に同じ.

表 2-2-7 初冬播栽培における窒素施用量と諸形質との相関係数.

	稈長	穂長	穂数	地上部重	子実収量	HI	リットル重	千粒重	子実タンパク質含有率	窒素吸収量	NHI
全施用量	0.842 ***	0.898 ***	0.932 ***	0.940 ***	0.943 ***	0.807 **	0.455	0.445	0.847 ***	0.987 ***	0.113
融雪期施用量	0.847 ***	0.803 **	0.764 **	0.869 ***	0.894 ***	0.957 ***	0.420	0.698 *	0.346	0.792 **	0.509
止葉期施用量	0.013	0.160	0.267	0.126	0.094	-0.200	0.062	-0.358	0.750 **	0.307	-0.574

2カ年2品種平均. 標本数=11. *, **および***は各々5%, 1%, 0.1%水準で有意.

HI は収穫指数, NHIは窒素収穫指数を示し, 計算式は表2-2-3に同じ.

体系を準用せずに、子実タンパク質含有率を高めるような栽培法を採用する必要がある。

そこで、初冬播栽培における窒素増肥効果をみると、穂数および千粒重は、若干傾向の異なる処理があるものの増肥により増加する傾向がみられ、窒素吸収量、地上部重および HI が増加したことにより、子実収量が増加した。多肥区で得られた収量レベルは年次や品種によっては 500g/m^2 を超え、当地帯の秋播コムギと比べても遜色なかった。高橋・後藤（1984）は、北海道の春播コムギにおいて短稈で HI の高い系統が増肥により穂数、HI、千粒重が増加し、全乾物重の増加とあいまって著しく増収したことを示している。このことは本試験の結果とほぼ一致しており、本試験で供試した「ハルユタカ」および「春のあけぼの」がその育成過程で HI を高める目的に半矮性遺伝子をもつ品種を利用している（尾関ら 1988, 田引ら 2000a）ためと推察された。これらのことは、長い栄養成長期間が確保される品種や栽培法の開発により窒素の必要量が増加し、それに伴い窒素の施用量等が生育および収量に大きな影響を与える、との推測（日本土壤肥料学会北海道支部 1987）を裏付けるものとなった。

さらに、窒素量の子実タンパク質含有率に対する影響をみると、窒素 13g/m^2 以上の施用により子実タンパク質含有率が増加し、春播栽培並の値を確保することができた。NHI と施肥量との関係が小さかったことから、増肥によるタンパク質含有率の増加は、窒素の子実への転流が促進されたためではなく、植物体内の窒素濃度が全体的に増加したことによるものと推察された。

窒素施用法について、同一窒素施用量で融雪期施用区と止葉期分施肥区を比較すると、窒素吸収量はほぼ同等であるが、止葉期分施肥区は融雪期施用区に比べ地上部重および HI が低く、やや低収で、子実タンパク質含有率は高く、この傾向は総窒素施用量が少ないほど顕著であった。春播コムギにおいて窒素分施肥処理の収量がやや低いことは、カナダ東部で試験を行った Ayoub ら（1994a）も指摘

しており、その理由を初期の養分不足による栄養成長量の不足と推察している。本試験においても、先に示したとおり融雪直後の窒素施用量が多いほど生育量（地上部重）と HI が高まることから、収量確保のためには生育量の確保が最も重要であり、そのためには生育初期に十分量の窒素を施用する必要があると推察された。

一方、止葉期の分施肥窒素を「融雪期施用区に対する追肥」と捉えて比較すると（図 2-2-4 および図 2-2-5 の破線）、追肥によっても収量が増加しかつ子実タンパク質含有率も上昇することが認められた。通常の春播栽培では追肥による増収効果が小さいとされているが（日本土壤肥料学会北海道支部 1987）、本試験の結果は既往の初冬播栽培における事例（平岡ら 1996）、北海道における秋播コムギ（水落 1990, 土屋ら 2001）および本州の寒冷地における秋播コムギの事例（佐藤ら 1994, 武田ら 1994, 八田ら 1995）に類似した。これは、初冬播栽培の生育期間が春播栽培に比べて長く、かつ、その生育相が寒地や寒冷地における秋播コムギに類するためと考えられる。

以上のように、収量面では分施肥を行うより融雪直後に一度に窒素施用を行う方が優り、作業効率的にも優れるが、一方で生育量過多による倒伏の発生が懸念される。本試験では融雪直後の多量の窒素施用でも倒伏が発生せず、また試験の範囲では効果が逓減しながらも増肥するほど増収し、その上限値が不明であった。収量に対する施肥の効果は地力の低い土壌で大きいとされていることから（Dubetz 1977, 日本土壤肥料学会北海道支部 1987）、多量の窒素施用で倒伏せず、増収効果が認められた要因としては供試圃場の熱水抽出窒素が約 $2\sim 3\text{mg}/100\text{g}$ （表 2-2-2）と低かったことがあげられる。北海道中央部には泥炭土など窒素肥沃度の高い圃場も多いことから（北海道立中央農業試験場 1993）、一般栽培では安定性の面において、生育量を観察しながら分施肥を行う体系の方が優ると考えられる。

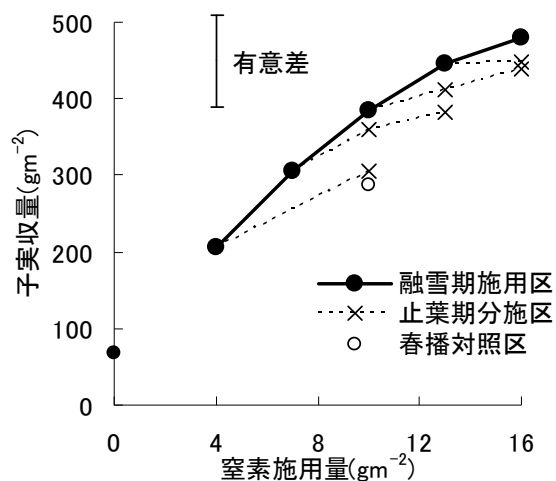


図 2-2-4 窒素施用量と子実収量との関係.

2 カ年 2 品種平均. 有意差は Tukey 法による 5%水準の有意差で, 実数値は 120gm^{-2} . 無窒素区は無反復のため参考値. 破線は結んだプロットがそれぞれ融雪期での窒素施用量と同じであることを示す.

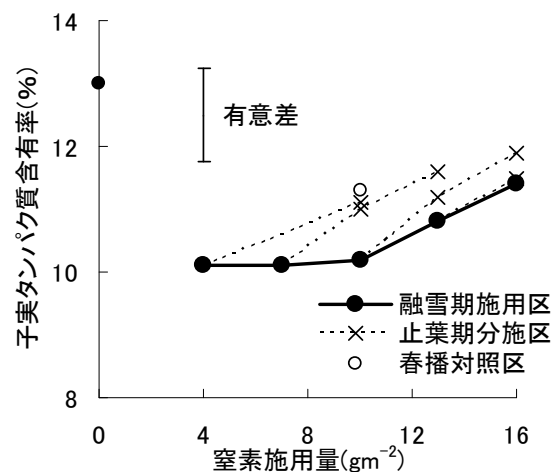


図 2-2-5 窒素施用量と子実タンパク質含有率との関係.

2 カ年 2 品種平均. 有意差は Tukey 法による 5%水準の有意差で, 実数値は 1.5%. 無窒素区は無反復のため参考値. 破線は結んだプロットがそれぞれ融雪期での窒素施用量と同じであることを示す.

第3節 製パン品質

前節では窒素施用法と収量および子実タンパク質含有率について論じ、初冬播栽培において子実タンパク質含有率を高め多収を得るためには、窒素は春播栽培より増肥する必要があること、その施用方法は分施肥がタンパク質含有率の増加と安定性の面で優ることを示した。

コムギでは、止葉期など生育後期の窒素施用が品質に及ぼす影響が数多く報告されている。生育後期の窒素施用はタンパク質含有率を高めるが、そのことによる粉色の悪化を指摘する報告が多い(中津ら 1999, 佐藤ら 1999, 谷口ら 1999)。また、生地の物性に関しては、追肥が生地の強さを強化させる報告(佐藤ら 1999)がある一方で、悪化させる報告や(江口ら 1969)、過度にタンパク質含有率が高まった場合に悪化する例(Tipplesら 1977)など、さまざまな報告がみられる。そこで本報では、初冬播栽培における生育後期の窒素施用が粉タンパク質含有率、粉色、ファリノグラム特性および製パン品質に与える影響について検討し、あわせて春播栽培と比較した。

材料および方法

試験は中央農試圃場(普通畑)で1996年から1998年(収穫年、この節は以下同様)の3ヵ年実施した。供試した品種は春播型品種「ハルユタカ」である。播種期は、1996年および1998年はそれぞれ前年の11月11日、1997年は同11月8日であった。

処理は初冬播栽培における窒素施用法別の13処理区および春播対照区で、詳細を表2-3-1に示した。春播対

照区は、1996年は5月7日、1997年は4月18日、1998年は4月22日に播種を行った。窒素肥料は硫酸を用い、初冬播栽培における窒素施用は播種時には行わず、融雪直後のみに4~16 g m^{-2} 施用する5処理(以下「融雪期施用区」とする)、融雪直後の4~13 g m^{-2} 処理に加えて止葉展開期(以下「止葉期」とする)に3~6 g m^{-2} 追肥する6処理(以下「止葉期分施肥区」とする)、および融雪直後の10~13 g m^{-2} 処理に加えて出穂期に3 g m^{-2} 追肥する2処理(以下「出穂期分施肥区」とする)を設けた。窒素の施用時期を表2-3-2に示した。いずれの窒素処理も試験区上面より均一に肥料を施用した。なお、春播対照区の窒素は全量10 g m^{-2} を基肥として播き溝に作条施用した。

試験は各年次で乱塊法を用い、3反復で実施した。各プロットは畦長4.0m、畦幅0.3mの5畦から成り(一区面積は6.0 m^2)、それらのうち4畦を収穫対象とした(収穫面積は4畦分の4.8 m^2)。ただし、品質分析には3反復を混合したサンプルを用いた。分散分析は、出穂期、成熟期および子実収量は前節と同様にMcIntosh(1983)の方法に依り3ヵ年のデータを組合せて実施し、品質データは年次と窒素施用処理の交互作用を誤差として年次および窒素施用処理の効果を検定した。いずれの形質も、有意差は前節の方法で算出した。

播種法は条播で行った。播種量は事前に行った発芽率の調査結果(80~99%)を参考とし、 m^2 あたりの出芽可能粒数を初冬播区は400粒に、春播対照区は340粒に、それぞれ調整した。窒素以外の施肥は各区共通とし、 P_2O_5 および K_2O は各々18および12 g m^{-2} をそれぞれ単肥(過磷酸石灰および硫酸加里)で、初冬播区は融雪直後に試験区上面から均一に施用し、春播対照区は基肥として播き溝に作条施用した。前作物は1996年はアズキ、1997年および1998年はトウモロコシであった。供試圃場の特性は前節と同様で、熱水抽出窒素が1.9~3.4 $\text{mg}/100\text{g}$ と低かった。

製粉は小型製粉機(Brabender社 Quadrumat Junior)にて行い、加水目標を15%としてテンパリングにより粒の水分を調整し、上級画分より60%粉を採取した。粉タンパク質含有率は反射型近赤外分析計(Bran+Luebe社 InfraAlyzer500)で測定し、同時に同じ方法で測定した

表2-3-1 窒素施用処理の概要(1996~1998年)。

処理名	処理区分	窒素施用量(g m^{-2})			
		融雪期	止葉期	出穂期	計
4-0-0	融雪期施用区	4	0	0	4
7-0-0	融雪期施用区	7	0	0	7
10-0-0	融雪期施用区	10	0	0	10
13-0-0	融雪期施用区	13	0	0	13
16-0-0	融雪期施用区	16	0	0	16
4-6-0	止葉期分施肥区	4	6	0	10
7-3-0	止葉期分施肥区	7	3	0	10
7-6-0	止葉期分施肥区	7	6	0	13
10-3-0	止葉期分施肥区	10	3	0	13
10-6-0	止葉期分施肥区	10	6	0	16
13-3-0	止葉期分施肥区	13	3	0	16
10-0-3	出穂期分施肥区	10	0	3	13
13-0-3	出穂期分施肥区	13	0	3	16
春播対照	春播対照区	10(基肥)	0	0	10

表2-3-2 年次ごとの窒素の施用時期。

年次	窒素施用時期		
	融雪期	止葉期	出穂期
1996年	4月23日	6月11日	6月21日
1997年	4月9日	5月29日	6月16日
1998年	4月10日	5月26日	6月8日

粉の水分含有率を用いて 13.5%水分換算（農林水産技術会議事務局 1968）で示した。なお、検量線は中央農試穀物利用科（現農産品質科）作成の線で、推定誤差（SEP）は 0.5 ポイント以下である。粉色は 1 サンプルあたり 3 回、各々 3g の粉を 4ml の脱塩水でペーストにし、φ 30mm のガラスセルにて直ちに色彩色差計（日本電色 Z300A）を用いて測定し、 $L^*a^*b^*$ 表色系で示した。ファリノグラフ（Brabender 社 Farinograph）は 1997 年および 1998 年のサンプルについて、50 g アタッチメントを用い定法（農林水産技術会議事務局 1968）により測定した。製パン試験は直捏生地法（田中・松本 1991）により実施した。配合と方法は次のとおりである。小麦粉 100g, 砂糖 4g, 食塩 2g, ドライイースト 1.6g, 水 65g を混合し、堅型フックミキサーで低速 3 分、中速 3 分の混捏後、ショートニング 4g を投入し、低速 2 分、中速 6～7 分で生地を形成した。一次発酵は 27℃で 80 分、ガス抜き後さらに 20 分実施した。その後ガス抜きを行い、生地を 2 分割し、20 分のベンチタイムの後、各々の生地をモルダーにてワンローフ型に成形し、生地ごとに、長さ 95mm, 幅 45mm, 高さ 50mm の型に詰め、温度 38℃, 湿度 80%で 40 分最終発酵させた。焼成は 210℃で 25 分実施した。放冷後、1 サンプルあたり 2 本のパン体積と重量を測定し平均した。パン体積はナタネ置換法で測定し、体積を重量で除して比容積を算出した。

結 果

1. 生育、収量および品質の年次間差

各初冬播区および春播対照区を含めた全処理区の年次別の平均値を表 2-3-3 に示す。1996 年は融雪期が 4 月 11 日と遅く、加えて登熟期間が寡照、多雨に推移したため、生育が遅れ低収となった。1997 年は融雪期が 3 月 30 日と早かったため栄養成長が旺盛で、登熟後半の多照によりやや多収となった。1998 年は融雪期が 3 月 26 日と極

めて早く、栄養成長は旺盛であった。しかしながら、7 月上旬からの寡照により、特に春播対照区で登熟不良となり赤かび病が多発したが、出穂の早かった初冬播区ではこれを回避し多収となった。倒伏は、1998 年に一部の試験区で“なびき”が観察された程度であり、試験遂行上で問題とはならなかった。なお、初冬播区の越冬出芽本数は 309 ± 23 本 m^{-2} で、収量を確保するために十分な量（沢口・佐藤 2001）を確保した。収量および品質を年次別に比較すると、1996 年は他の年次に比べて低収で、粉タンパク質含有率が高く、粉色の L^* 値（明度、値が大きいほど明るい）が低く、パン比容積が大きかった。1997 年は 1998 年と比べて子実収量は大きな差がないものの、粉タンパク質含有率が低く、 L^* 値が高く、生地特性を示すファリノグラム形質の吸水率やバロリメーター・バリュー（以下 VV、生地の物性を総合的に示す値で、高いほど強力粉的な特性を示す）が低かったがパン比容積は同程度であった。

出穂期、成熟期、子実収量について、分散分析の結果得られた各要因の平均平方と有意性の検定結果を表 2-3-4 に示す。いずれの形質も、年次と品種との交互作用がみられたが、主効果に比べて平均平方や F 値が低かった。

2. 窒素施肥法が粉品質および製パン品質に及ぼす影響

処理別にみた 3 カ年の平均値を表 2-3-5 に示す。同一窒素量で初冬播栽培と春播栽培とを比較すると、初冬播栽培の 10-0-0 区は春播対照区に比べ、出穂期は 14 日、成熟期は 8 日早く、子実収量は $75gm^{-2}$ (29%) 重く、粉タンパク質含有率は 1.1 ポイント低く、粉色は L^* 値が高く、 a^* 値（赤味度、負は緑、正は赤を示す）および b^* 値（黄味度、正は黄色を示す）が低く、ファリノグラム形質は、吸水率は 61.9%と同じであったが、弱化度が明らかに低く、VV はわずかに高かった。

表2-3-3 生育、収量及び品質の年次別の窒素施用区平均値。

年次	出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	子実 収量 (gm^{-2})	粉タンパク 質含有率 (%)	粉色(湿色)			ファリノグラム形質					パン 比容積 ($ml g^{-1}$)
					L^*	a^*	b^*	Ab (%)	DT (分)	Stab (分)	Wk (BU)	VV	
1996年	6.19	8.11	235	11.6	84.69	0.11	12.80	—	—	—	—	—	5.63
1997年	6.17	8.01	375	8.9	86.36	-0.41	11.54	61.3	2.0	5.9	49	49	4.33
1998年	6.07	7.28	383	10.2	85.89	0.19	12.11	62.9	3.9	5.0	71	55	4.40
有意性	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**
有意差(5%)	2	2	72	0.6	0.58	0.11	0.26	1.0	0.8	ns	9	3	0.27

有意性の**は1%水準で有意、nsは有意差なしを示す。有意差はTukey法(Student化された範囲Qと標本標準偏差との積)により、%は有意水準を示す。ファリノグラム形質の略号：Ab; 吸水率, DT; 生地形成時間, Stab; 安定度, Wk; 弱化度, VV; バロリメーター・バリュー。

表2-3-4 生育および収量形質の分散分析結果(平均平方)。

要因	df	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	子実収量 (gm^{-2})
年次(Y)	2	1389.6 **	2149.7 **	414996 **
年次内ブロック	6	2.4	3.1	11535
処理(T)	13	108.2 **	38.7 **	52885 **
T×Y	26	3.1 **	3.8 **	4492 **
込みにした誤差	78	0.3	0.7	1048

df: 自由度. *および**は平均平方から算出されるF値が各々5%, 1%水準で有意であることを示す. F値の計算はMcIntosh(1983)に依り, 年次を変量, 品種および処理を母数とする混合モデルを適用した.

表2-3-5 生育, 収量及び品質の窒素施用区別の年次平均値.

処理	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	子実 収量 (gm^{-2})	粉タンパク 質含有率 (%)	粉色(湿色)			ファリノグラム形質					パン 比容積 (ml g^{-1})
					L*	a*	b*	Ab (%)	DT (分)	Stab (分)	Wk (BU)	VV	
4-0-0	6.14	7.31	187	9.0	86.16	-0.11	12.04	61.3	1.7	3.9	55	49	4.32
7-0-0	6.14	8.01	278	9.5	86.13	-0.22	11.68	62.4	1.7	4.6	53	49	4.73
10-0-0	6.13	8.01	331	9.1	86.02	-0.20	12.07	61.9	1.6	2.2	68	47	4.64
13-0-0	6.13	8.02	385	10.0	86.04	-0.01	12.22	62.0	2.8	3.8	55	51	4.69
16-0-0	6.13	8.03	415	10.5	85.35	0.05	12.36	62.2	3.9	8.3	45	56	4.82
4-6-0	6.14	8.03	267	10.4	84.87	0.04	12.20	62.3	3.0	4.7	75	50	4.78
7-3-0	6.14	8.02	315	9.7	85.47	-0.13	12.03	62.3	2.3	3.0	70	48	4.67
7-6-0	6.14	8.03	337	10.6	85.80	-0.02	12.15	62.3	3.1	4.9	73	51	4.72
10-3-0	6.13	8.02	356	10.4	85.84	-0.18	11.98	62.3	3.0	5.1	55	52	4.81
10-6-0	6.13	8.04	384	11.3	85.63	0.07	12.24	62.6	3.5	6.2	60	54	5.19
13-3-0	6.13	8.03	396	10.9	85.89	0.04	11.97	62.0	4.5	10.2	45	60	4.99
10-0-3	6.13	8.02	337	10.8	85.94	0.01	11.96	62.2	4.4	9.7	38	60	4.90
13-0-3	6.13	8.03	388	11.0	85.76	0.02	11.88	62.6	4.2	7.2	53	57	4.80
春播対照	6.27	8.09	256	10.2	84.17	0.15	13.33	61.9	2.1	2.6	93	45	4.93
有意性	**	**	**	**	*	*	**	ns	ns	*	**	*	ns
有意差(5%)	4	4	118	1.7	1.86	0.36	0.82	ns	ns	8.4	42	14	ns

有意性の*, **は各々5%, 1%水準で有意, nsは有意差なしを示す. 有意差およびファリノグラム形質の略号は表2-3-3に同じ. 春播対照の窒素は, 10gm^{-2} を基肥として施用した.

融雪期処理区で窒素量の効果をみると, 窒素量が多いほど多収を示した. 粉タンパク質含有率は, 窒素 4~ 10gm^{-2} 区で低く (9.0~9.5%), 13gm^{-2} 以上の区で高まり (10.0~10.5%), ほぼ春播対照区(10.2%)並となった. 粉色の L*値は, 窒素量が多くなるに従って低下したが (4 gm^{-2} 区 86.16~16 gm^{-2} 区 85.35), 春播対照区は 84.17 とさらに低かった. ファリノグラム形質は吸水率に有意差はなかったが (61.3~62.4%), VV は 10gm^{-2} 区の 47 に対して 16 gm^{-2} 区は 56 と高かった. パンの比容積は, 4 gm^{-2} 区の 4.32ml g^{-1} に対して 16 gm^{-2} 区は 4.82ml g^{-1} と高かった.

次に, 止葉期分施の効果をみると, 止葉期の窒素施用

により粉タンパク質含有率の上昇, L*値の低下, ファリノグラム生地形成時間の延長の傾向がみられた. パン比容積は融雪期 7gm^{-2} の試験区では止葉期施用の効果が認められなかったが, その他では止葉期施用により大きくなる傾向がみられた. なお, 施用量が多いほど粉タンパク質含有率が高まったが, その他の形質は一定の傾向がみられなかった.

最後に, 窒素施用時期の効果を止葉期と出穂期で比較すると, 融雪期 10gm^{-2} の試験区ではファリノグラム VV において出穂期施用の効果が大きかったが, その他は大差がなく, 一定の傾向がみられなかった.

3. 製パン品質にかかわる形質の相互関係

粉タンパク質含有率と粉色、ファリノグラムおよびパン比容積との相関係数を表 2-3-6 に示す (標本数=14). 粉タンパク質含有率と粉色との相関をみると、 a^* 値 (負の値で緑色, 正の値で赤色が強いことを示す) で有意な正の相関 ($r=0.689^{**}$) がみられ, 粉タンパク質含有率が高いほど a^* 値が高まった. L^* 値は粉タンパク質含有率とは負の相関がみられたが有意ではなかった ($r=-0.237$).

粉タンパク質含有率とファリノグラム形質との相関を 2 ヶ年平均のデータでみると, 吸水率, 生地形成時間, 生地の安定性, VV でいずれも有意な正の相関がみられ ($r=0.546^* \sim 0.719^{**}$), 粉タンパク質含有率が高いほど強力粉的な特性を示した.

次に, パン比容積と粉色およびファリノグラムの形質との相関係数をみると, 粉タンパク質含有率とパン比容積との間には高い正の相関がみられたが ($r=0.835^{***}$), その他は有意な相関はみられなかった.

考 察

前節において, 初冬播栽培における窒素施用量は春播栽培より増肥する必要がある, 総窒素施用量を 13gm^{-2} 以上とすること, またその施用方法は, 融雪直後に窒素 $7 \sim 10\text{gm}^{-2}$ を施用することにより生育量を確保し, 加えて更なる収量増と高いタンパク質含有率を得るために, 止葉期に窒素 $3 \sim 6\text{gm}^{-2}$ を施用する分施肥がよいことを明らかにした. 製パン用としてのコムギのタンパク質含有率は, 一般的には高い方が望ましいが, タンパク質の粘弾性なども重要な要素となる (田中・松本 1992). 止葉期など生育後期の窒素施用がコムギの品質に及ぼす影響は, 古くから多く報告されている. 日本では, 江口ら (1969) がめん用品種「シラサギコムギ」において, 出穂期以降の追肥はタンパク質含有率を増加させるがエキステンソグラム伸張度を低下させることを指摘している. カナダの Tipples ら (1977) は, 過度の窒素施用でタンパク質含有率が高まったパン用品種「Neepawa」において, 生地の物性が低下することを指摘している. また, 窒素の増肥がグルテニンやグリアジンなどのタンパク質組成を変えること (Dubetz ら 1979) が知られている. 本試験では, 窒素の増肥および止葉期ないし出穂期の追肥が, 粉タンパク質含有率を高め, それに伴いファリノグラム形質が強力粉的な値となり, パン比容積を向上させた. このことは, パン用品種「東北 205 号」を用いた佐藤ら (1999) の結果とほぼ同様であった. Ayoub ら (1994b) は, カナダ東部の春播コムギにおいて開花期の窒素施用により生地の強力化とパン体積の増加を認めたが, これ

らの改善効果は「Columbus」などの良質品種で小さく, 「Max」など品質の劣る品種で高かった. 本試験で用いた「ハルユタカ」は, カナダのパン用銘柄品種に比べるとその製パン品質は不十分であること (尾関ら 1988), および本試験の粉タンパク質含有率は最大で 12% 程度に過ぎなかったことから, この範囲では止葉期ないし出穂期の追肥が品質に悪影響を与えることがなく, むしろタンパク質含有率が高まるのに伴って生地物性が改善され, 製パン用としての品質を高めたものと推察される.

一方, 窒素追肥により粉タンパク質含有率が増加し, 粉の明るさが低下することは数多く報告されている (中津ら 1999, 佐藤ら 1999, 谷口ら 1999). しかしながら本試験では, 春播対照区は粉タンパク質含有率に比較して L^* 値が著しく低いなど, 粉タンパク質含有率以外の変動要因も大きかった. 本試験の結果を図示すると (図 2-3-1), 初冬播区は春播対照区に比べて同じ粉タンパク質含有率でも粉の明度が高いことが判る. また, 初冬播区では粉タンパク質含有率が高くなるに従い粉色の L^* 値が低くなる傾向にあり, これまでの報告とほぼ同様の傾向がみられた. 粉タンパク質含有率以外の粉色の変動要因としては, 成熟期前後の降雨の影響 (平野 1971, 中津ら 1999) が報告されている. 北海道における春播コムギの収穫期は 8 月に入り, 平年値でみるとこの時期から降雨が多くなる (注: 日本気候表 平成 13 年 気象庁). 粉の色にしてみれば, すでに示したように初冬播栽培は春播栽培に比べて出穂期および成熟期が早まることから, 成熟期前後の降雨を回避しやすく有利であると推察された.

また, 初冬播栽培は春播栽培に比べて, 生地物性においても有利な面がみられた. 差が大きかった生地の弱化度について本試験の結果を図示すると (図 2-3-2), 粉の明度の関係と同様に, 春播対照区の値は, 初冬播区の系列から大きく外れて値が大きく, 粉タンパク質含有率に比較して生地が弱かった. 平野 (1971) は, 雨害によるファリノグラム VV の低下やプロテアーゼ活性の増加を観察しており, 生地の物性も登熟環境にも影響を受けると考えられる.

以上, 初冬播栽培において収量性と高タンパク化の面から前節で提示した窒素の増肥および分施肥体系は, 製パン品質も高め, 多収と高品質を両立できる技術であると判断された. また, 初冬播栽培は春播栽培に比べ, 登熟条件が良好であることにより, 雨害等による品質低下を回避しやすいものと考えられた.

表2-3-6 初冬播栽培における粉のタンパク質含有率及びパン比容積と粉色及びファリノグラム形質との相関係数.

	粉色			ファリノグラム形質					パン 比容積
	L*	a*	b*	Ab	DT	Stab	Wk	VV	
粉タンパク質含有率	-0.237	0.689 **	0.107	0.638 *	0.719 **	0.570 *	-0.027	0.546 *	0.835 ***
パン比容積	-0.287	0.545	0.138	0.505	0.336	0.176	0.347	0.105	-

ファリノグラム形質は2カ年平均, その他は3カ年平均. 標本数=14. *, **および***は各々5%, 1%, 0.1%水準で有意.
ファリノグラム形質の略号は表2-3-3に同じ.

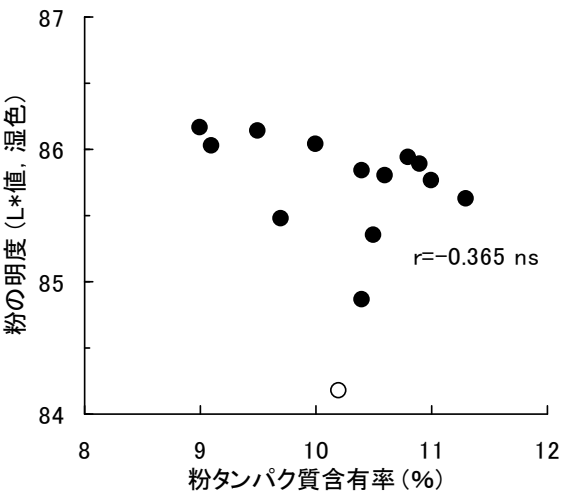


図 2-3-1 粉タンパク質含有率と粉の明度 (L*値) との関係 (3 カ年の平均値).
● 初冬播区, ○ 春播対照区. 相関係数は初冬播区の値 (標本数=13), nsは有意性なしを示す.

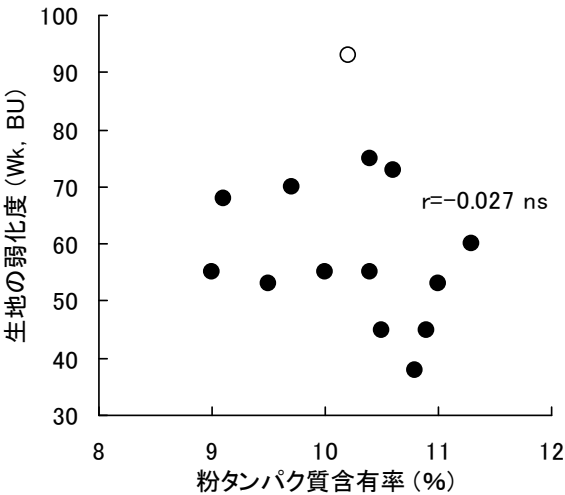


図 2-3-2 粉タンパク質含有率と生地の弱化度 (Wk 値) との関係 (2 カ年の平均値).
● 初冬播区, ○ 春播対照区. 相関係数は初冬播区の値 (標本数=13), nsは有意性なしを示す.

第3章 初冬播栽培における越冬性の変動要因

第1節 根雪前出芽と越冬性との関係

春播型コムギ品種は、通常積雪下で越冬させる栽培法をとらないため、一般に耐冬性（耐凍性、耐雪性、雪腐病耐病性など）が弱い。このため、春播型品種の初冬播栽培において安定的に越冬数を確保するためには、根雪前出芽しないことが必要である（佐々木ら 1991, 高橋ら 1991, 1992b, 沢口・土屋 1992, 渡辺ら 1992, 吉田ら 1994）。そこで、本節では越冬性の変動要因を知るために、秋播型品種を含めた越冬性の品種間差を検討し、春播型品種が根雪前出芽した場合における気象環境と越冬率の変動要因との関係について検討した。

材料および方法

試験1：積雪下における地温の推移

中央農試圃場（普通畑）において、1992年11月から1993年4月にかけて設置した自記式温度計により毎正時に地下1cm, 同5cmの地温を各々圃場の3箇所で測定し、1日24回の測定値の平均をその日の平均地温とした。なお、地下10cm地温および積雪深は構内にある気象観測装置による値を用いた。

試験2：秋播型品種を含めた越冬性および収量性の品種間差

試験は中央農試圃場（普通畑）で1993年および1994年（播種年、この節は以下同様）の2ヵ年実施した。供試した品種は秋播性程度Ⅰ（春播型）の「ハルユタカ」、「春のあけぼの」、カナダの春播型品種「Roblin」（Campbell and Czarnecki 1987）、秋播性程度Ⅴ（秋播型）の「東北199号」および秋播性程度Ⅵ（秋播型）の「チホクコムギ」（尾関ら 1987）である。設定した播種期は2水準（10月下旬, 11月中旬）で、設定播種期と実際の播種期を表3-1-1に、試験年の根雪始と融雪期を表3-1-2に示す。試験は、各年次とも播種期を主区、品種を副区とする分割区法を用い、3反復で行った。各プロットは畦長4.2m, 畦幅0.3mの4畦から成り（一区面積は5.04 m²）、全畦を収穫対象とした。播種法は条播で行った。播種量は事前に行った発芽率の調査結果（90～100%）を参考とし、m²あたりの発芽可能粒数を340粒に調整した。肥料は基肥としてP₂O₅を18 g m⁻²、K₂Oを12 g m⁻²それぞれ播き溝に作条施用し、融雪直後にNを10 g m⁻²試験区上面より均一に施用した。前作物は1993年は休閒、

1994年はアズキであった。

1 個体以上の出芽を初めて観察した日を「出芽始」とし、40～50%の出芽を観察した日を「出芽期」とした。根雪の直前（11月下旬）および融雪直後（4月中旬）に出芽している個体数を調査し、播種粒数に対する出芽個体率を得、前者を「出芽率」、後者を「越冬率」とした。生育および収量、品質調査は前章までの方法と同様である。

なお、比較として各品種の慣行栽培における生育および収量データを別途実施した奨励品種決定試験等の成績より示した。慣行栽培の耕種概要を表3-1-3に示す。

試験3：春播型品種「ハルユタカ」の根雪前出芽と越冬性

試験は中央農試圃場（普通畑）で1992年～1997年、1999年、2003年～2004年の9ヵ年、上川農試圃場（普通畑）で1992年～1994年の3ヵ年実施した。上川農試は1992年は北海道士別市、1993年以降は北海道比布町で試験を行った。供試した品種は春播型品種「ハルユタカ」である。播種期は中央農試は初冬播1～5水準、上川農試は初冬播3～4水準で、設定播種期と実際の播種期を表3-1-1に、試験年の根雪始と融雪期を表3-1-2に示す。両試験地とも、畦幅0.3m, 条播, 乱塊法3反復で実施し、播種量は事前に行った発芽率の調査結果（80～100%）を参考とし、発芽可能粒数をm²あたり340粒に調整した。中央農試の耕種法は、一区面積は1992年は0.3m²（畦長1.0m×畦幅0.3m×1畦）、1993年、1994年および1999年は0.6m²（畦長1.0m×畦幅0.3m×2畦）、1995年から1997年は5.04 m²（畦長4.2m×畦幅0.3m×4畦）、2003年および2004年は4.8 m²（畦長4.0m×畦幅0.3m×4畦）で、施肥は試験2に準ずる。上川農試の耕種法は、一区5.04 m²（畦長4.2m×畦幅0.3m×4畦）で、施肥は1992年はN, P₂O₅, K₂Oを各々4, 10, 6 g m⁻²を基肥として播き溝に作条施用し、1993年および1994年はP₂O₅を11.8 g m⁻²、K₂Oを8.8 g m⁻²を基肥として播き溝に作条施用し、Nは施用しなかった。前作物は、中央農試は1992年が秋播ナタネ、1993年が休閒、1994年～1997年および1999年がアズキ、2003年～2004年が緑肥ヒマワリ、上川農試は1992年がブロッコリー、1993年がエンバク、1994年がインゲンマメであった。出芽個体率の調査等は試験2と同様である。根雪前の植物体の葉数は、中央農試では達観調査により、上川農試では10個体の調査により求めた。中央

農試における気象データは構内にある気象観測装置による値を用いた。なお、構内の気象観測装置が故障した1996年～1999年の気温は、中央農試より約9km南方の長沼町市街地にあるアメダス長沼の観測値を代入した。

結 果

1. 積雪下における地温の推移

1992年11月～1993年4月の中央農試における地温を図3-1-1に示す。この年次は根雪始が1992年12月12日、根雪終が1993年4月5日で、最深積雪量は1993年2月19日の104cmであった。根雪前および根雪終以降は、地温が大きく変動し、特に地表面から浅いほどその変動が大きかった。一方、積雪期間中の地温は、根雪始直後の12月20日で見ると浅い順(1cm, 5cm, 10cm)に0.7℃, 1.2℃, 1.5℃と低く、その後根雪終に向かって徐々に低下し、根雪終直前の3月31日には0.3～0.5℃と、ほぼ一定となったが、この間0℃を下回ることにはなかった。

2. 秋播型品種を含めた越冬性および収量性の品種間差

播種粒数に対する根雪前および越冬後の出芽個体率を表3-1-4に示す。根雪始に近い11月中旬播種ではすべての品種が根雪前に出芽に至らず積雪下で出芽し、越冬率は36.1～81.4%であった。一方、根雪始より40日程度前に播種した10月下旬播種では根雪前に出芽に至り、越冬率は年次および品種の秋播性程度によって異なった。すなわち、1993年では秋播性程度にかかわらずすべての品種が比較的高い割合(43.1～74.1%)で越冬した。しかし、1994年では秋播型2品種が92.2～100%であったのに対して、春播型3品種は0.4～1.2%と、非常に低かった。

慣行栽培と対比させた播種期別の成熟期および子実収量を表3-1-5および表3-1-6に示す。慣行栽培と比較すると、初冬播栽培を行うことにより、春播型の3品種は十分な越冬数を確保した場合には成熟期が5～12日早まり、子実収量は一部を除いて慣行栽培並以上となったが、秋播型の2品種は成熟期が最大で4日遅れ、子実収量は慣行栽培並以下であった。

表3-1-1 設定播種期(試験区名)と実際の播種日(月・日)。

設定播種期 (試験区名)	中央農試									上川農試		
	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1999年	2003年	2004年	1992年	1993年	1994年
10月上旬	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10. 6	—	—
10月中旬	10. 14	10. 19	10. 13	10. 16	10. 16	—	10. 15	10. 15	10. 15	10. 15	10. 15	—
10月下旬	10. 23	10. 29	10. 24	10. 24	10. 24	10. 24	—	—	—	10. 26	10. 26	10. 26
11月上旬	11. 4	11. 8	11. 7	—	—	—	—	—	—	—	11. 5	11. 6
11月中旬	11. 13	11. 16	11. 21#	—	—	—	—	—	—	—	11. 15	11. 18
11月下旬	11. 24	11. 23	11. 28	—	—	—	—	—	—	—	—	—

試験1,2共通。

#:降雨により播種が遅れた。

表3-1-2 試験年の根雪始と融雪期(月・日)。

項目	中央農試									上川農試		
	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1999年	2003年	2004年	1992年	1993年	1994年
根雪始	12. 12	12. 9	12. 9	12. 12	12. 1	12. 10	12. 3	12. 4	11. 28	11. 17	11. 18	12. 3
融雪期	4. 5	4. 4	3. 23	4. 11	3. 30	3. 26	4. 8	3. 27	4. 6	4. 14	4. 22	3. 30

融雪期は播種翌年である。

表3-1-3 慣行栽培の耕種概要。

栽培法	播種期(月・日)		播種量 (粒 m ⁻²)	施肥量(g m ⁻²)			試験区			
	1993年	1994年		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	畦長(m)	畦幅(m)	畦数	面積(m ²)
秋播栽培	9.13	9. 8	340	4.0+6.0	12.5	5.0	4.2	0.3	8	10.08
春播栽培	4.22	5. 1	340	10.0	18.0	12.0	4.2	0.3	6	7.56

春播栽培の播種期は翌年である。秋播栽培の窒素施肥量は、基肥＋起生期。

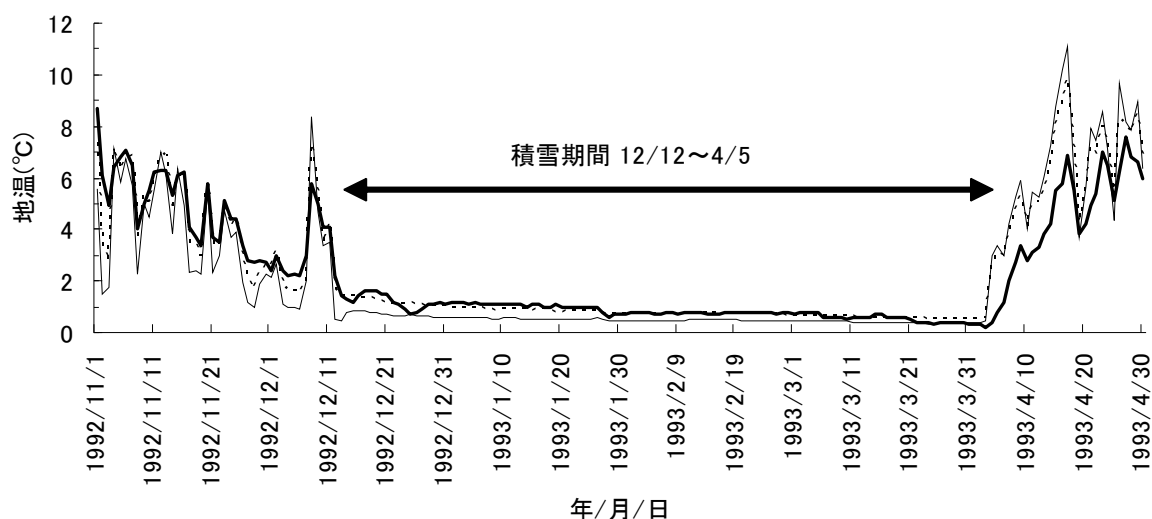


図 3-1-1 1992 年 11 月～1993 年 4 月における地温の推移.

— 地表面より 1cm 深, ... 同 5cm 深, - 同 10cm 深.

表 3-1-4 播種粒数に対する越冬前後の出芽個体率(%).

播種期	品 種	生育型	1993年		1994年	
			根雪前	越冬後	根雪前	越冬後
10月下旬	ハルユタカ	春播型	50.3	43.1	87.3	1.2
	春のあけぼの	春播型	34.0	47.5	83.7	0.8
	Roblin	春播型	48.2	54.9	91.4	0.4
	東北199号	秋播型	78.3	61.0	79.2	100.0
	チホクコムギ	秋播型	64.0	74.1	90.2	92.2
11月中旬	ハルユタカ	春播型	0.0	52.2	0.0	54.5
	春のあけぼの	春播型	0.0	68.4	0.0	52.9
	Roblin	春播型	0.0	81.4	0.0	36.1
	東北199号	秋播型	0.0	77.1	0.0	52.9
	チホクコムギ	秋播型	0.0	77.1	0.0	65.1
分散分析	播種期		—	ns	—	ns
	品種間差		**	ns	ns	**
	交互作用		—	ns	—	**

ns: 有意差なし, **: 1%水準で有意, —: 11月中旬播種が根雪前に出芽していないため, 播種期効果の分散を算出しなかった.

表 3-1-5 播種期別の成熟期(月.日).

品 種	生育型	1993年			1994年		
		10月下旬	11月中旬	慣行栽培	10月下旬	11月中旬	慣行栽培
ハルユタカ	春播型	7.24	7.24	8.01	枯死	7.27	8.06
春のあけぼの	春播型	7.28	7.29	8.03	枯死	7.30	8.08
Roblin	春播型	7.22	7.22	7.31	枯死	7.24	8.05
東北199号	秋播型	7.15	7.16	7.16	7.18	7.18	供試せず
チホクコムギ	秋播型	7.24	7.25	7.23	7.25	7.26	7.22

慣行栽培は, 春播型3品種は翌年の春播栽培, 秋播型2品種は秋播栽培.

表3-1-6 播種期別の子実収量(gm⁻²).

品 種	生育型	1993年			1994年		
		10月下旬	11月中旬	慣行栽培	10月下旬	11月中旬	慣行栽培
ハルユタカ	春播型	377	381	321	枯死	376	299
春のあけぼの	春播型	404	411	318	枯死	409	296
Roblin	春播型	245	301	289	枯死	310	238
東北199号	秋播型	259	260	395	270	304	供試せず
チホクコムギ	秋播型	324	342	494	371	400	405

慣行栽培は、春播型3品種は翌年の春播栽培、秋播型2品種は秋播栽培。

3. 春播型品種「ハルユタカ」の根雪前出芽と越冬性

1992～1994年の中央農試および上川農試における根雪前の葉数と越冬率との関係を図3-1-2に示す。なお、根雪前に出芽しなかった区を0葉、鞘葉のみ出芽した区を0.3葉とした。根雪前に出芽に至らなかった14区の越冬率は、36.0%（1992年中央農試11月中旬播種）～93.5%（1993年上川農試11月下旬播種）、鞘葉のみ出芽した2区の越冬率は31.7%（1992年中央農試11月上旬播種）、70.5%（1994年上川農試11月上旬播種）と、いずれも比較的高かった。一方、根雪前に本葉が展開した場合には、1993年の中央農試を除き越冬率が0～8.5%と低かった。

中央農試の9ヵ年の10月中・下旬播種は、いずれの処理も根雪前に出芽した。越冬性と越冬直前の気温との関係をみると（図3-1-3）、根雪前10日間の平均気温が1℃以上の場合には越冬できなかったが、1℃を下回ると越冬個体が現れはじめ、それが低くなるほど越冬率が高まる傾向を示した。

考 察

コムギの秋播性程度と耐冬性との関係では、春化遺伝子 *Vrn* の耐凍性への関与（成田ら1996）、春播型品種の LT_{50} （50%個体致死温度）の高さ（桑原ら1993）、*Vrn* 遺伝子の耐凍性遺伝子に対する上位性（天野1987）などが報じられており、秋播性程度と耐冬性が密接に関連していることがうかがえる。本試験の結果も、秋播型品種では根雪前に出芽した場合でも安定的に高い割合で越冬個体がみられたが、春播型品種は根雪前に出芽し本葉が展開した場合、越冬率が年次により大きく異なった。春播型品種が根雪前に出芽した場合の越冬率の年次間差については、沢田ら（1991）、高橋ら（1991, 1992b）も同様に報告している。吉田ら（1994）は10月15日に播種して根雪前に2葉期、10月27日に播種して根雪前に1葉

期となった春播型品種で越冬率に品種間差があることを示し、その要因として耐凍性や乾物重、乾物率の差があるとした。また、阿部（1996）は秋播型品種「チホクコムギ」を用いた耐凍性検定において、0℃以上で生育させた場合に植物体の水分量と耐凍性が反比例すること、0℃以下では植物体の水分量が一定となることを示し、水分量が多い生育相における凍害の主因は凍結と融解による細胞膜への機械的障害としている。道央地帯で春播型品種を根雪前に出芽させた場合の生育を考えると、一般的には凍結は起きないと考えられ、また、低温で育つほど乾物率が高くなり、植物体はコンパクトに育つと考えられる。本試験の結果では、根雪前10日間の気温が低い場合には越冬率が高まっており、低温により植物体がコンパ

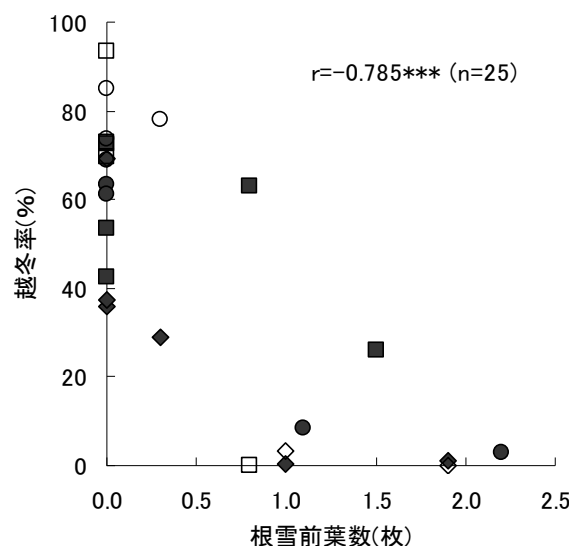


図3-1-2 根雪前葉数と越冬率との関係。

◇；1992年，□；1993年，○；1994年。

それぞれ黒塗りが中央農試，白抜きが上川農試。

根雪前の不出芽を0葉，鞘葉のみ出芽を0.3葉とした。

rは相関係数，***は0.1%水準で有意，nは標本数を示す。

クトとなることにより、乾物率が高く積雪下で消耗が少なくなるように生育することが越冬率を高めるものと考えられた。生育が鞘葉で留まった場合に越冬率が高くなる結果も、このことを裏付けるものと考えられる。

一方、播種期が根雪始に近く、根雪前に出芽しない、もしくは出芽直後に根雪になるような条件の場合、前章での結果や多くの報告（佐々木ら 1991, 高橋ら 1991, 1992b, 渡辺ら 1992, 吉田ら 1994）と同様に、積雪下で出芽に至り、秋播性程度にかかわらずすべての品種が比較的高い割合で越冬した。積雪下での植物体の消長や生育についての報告をみると、コムギの耐冬性は胚乳消尽期である2～3葉期頃にもっとも低下し、それより植物体が小さい時期に積雪下となった場合は胚乳により生命を維持することができる（齋藤 1939, 瀧島 1943, 黒崎 1951）。コムギの発芽に必要な最低温度は0～2℃で（池田 1995）、出葉の基底温度は0℃とされている（Baker ら 1986）。Andrews（1958）は、コムギの吸水種子を0.5℃で生育させた場合、4週後には鞘葉長が7～10mm、根長は20～30mmに生育することを示した。本試験の調査では、道央の多雪地帯で土壤凍結がない場合、積雪下の地温は一貫して0℃以上に保たれていた。積雪下の地温が0℃前後に保たれることは古くから知られており（松尾 1941）、また最近の札幌市における観測も同様の結果を示している（Hirota and Kasubuchi 1996）。これらのことから、激しい土壤凍結や融雪水の冠水などによる植物体の損傷がない場合、根雪前に出芽しなければ春播型品種であっても安定的に越冬が可能で、積雪下でも芽や根が伸長できる条件を得られるものと考えられる。

越冬の安定性の観点からみると初冬播栽培に適するのは秋播型品種であるが、これは秋播の標準栽培に比べると極晩播となることから、成熟期の遅れや収量の不安定性などの弊害が大きかった。同様の結果は道南地方における古い成績（北海道立農業試験場渡島支場 1958）にもみられる。初冬播栽培は春播型品種において有意義な技術であり、春播栽培に比べて低温条件下で初期生育を行うので出穂までの生育期間が長くなり、また出穂後の登熟環境も相対的に低温となることで登熟期間が長くなることに本技術の優点があると考えられる。

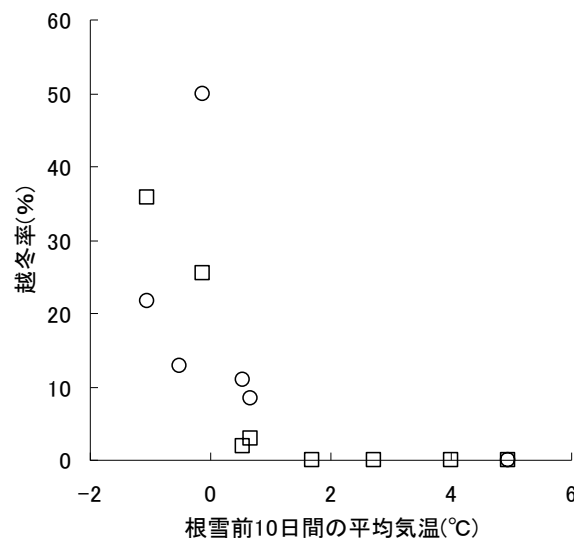


図 3-1-3 根雪前 10 日間の平均気温と越冬率との関係。

□；10 月中旬播種，○；10 月下旬播種。

いずれの処理区も根雪前に出芽した。

第 2 節 土壌の違いによる越冬性と生育の変動

積雪が多いため土壌凍結が少ない北海道中央部は、気象的に初冬播栽培の適地と考えられるが、この地帯は石狩川の流域にあたり、「北海道の土壌」(北海道農業試験場 1985)によると低地土や泥炭土が広く存在する。この地帯の泥炭土改良には客土を行っており、その客土材には洪積土や残積土を主体とする近隣山地の台地土が多く用いられている。またこの地帯では、樽前山、恵庭岳、有珠山や羊蹄山などに由来する火山性土も広く存在するなど、土壌の変異が大きい。このような土壌の差異が初冬播栽培にどのような影響を与えているかは明らかにされておらず、現地への初冬播栽培の適用にあたり説明する必要がある。そこで本節では、初冬播栽培において土壌要因が越冬率と生育に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

試験 1：越冬性および越冬後の生育の土壌による差

試験は中央農試で 1997 年および 1998 年(収穫年、この節は以下同様)の 2 ヶ年実施した。供試した品種は春播型品種「ハルユタカ」である。播種期は、1997 年は前年の 11 月 11 日、1998 年は同 11 月 12 日であった。根雪期間は、1997 年は 12 月 10 日～4 月 4 日、1998 年は 12 月 10 日～4 月 3 日であった。

試験は北海道中央部に存在する 12 種類の土壌を深さ 0.5m に充填した枠圃場で実施した。供試土壌の理化学性を表 3-2-1 に示す。枠は縦横各 1.0m で、土壌毎に 5 枠、計 60 枠あり、これらは 1976～1994 年にかけて枠ごとに 5 処理の長期の有機物連用試験に用いられていた。このため、試験は各年次で処理前歴を反復とする乱塊法とし、5 反復で実施した。各プロットは畦長 1.0m、畦幅 0.3m の 2 畦(1998 年)ないし 3 畦(1997 年)から成り(一区面積は 0.6～0.9 m²)、全畦を収穫対象とした。分散分析は第 2 章第 2 節と同様に McIntosh(1983)の方法に依り、2 ヶ年のデータを組合せて実施した。有意差も第 2 章第 2 節の方法で算出した。

播種法は条播で行った。播種量は事前に行った発芽率の調査結果(80～99%)を参考とし、m²あたりの出芽可能粒数を 400 粒に調整した。施肥は N、P₂O₅および K₂O を各々 10、18、12g m⁻²、融雪直後に高度化成肥料(麦類用 082、成分 N:P₂O₅:K₂O=10:18:12%)で試験区上面より均一に施用した。1997 年の試験終了後、緑肥(シロカラシ)を栽培してすきこみ、連作を防いだ。

越冬率は、融雪後における出芽個体数を計測し、出芽可能粒数で除して算出した。この調査は、1997 年は 4 月

22 日、1998 年は 4 月 20 日に行った。生育中期の生育量を表す指標として、6 月上旬の穂ばらみ期において草丈(単位; m) および茎数(単位; 本 m⁻²)を調査し、これら 2 形質の値を乗じて生育指数(Growth Index, 以下 GI とする)を算出した。この調査は、1997 年は 6 月 6 日、1998 年は 6 月 10 日に行った。出穂期は穂先が止葉の葉耳から抽出をはじめた稈が 40～50%を占めた日で、1998 年のみ調査した。成熟期の生育量は地上部重であらわした。地上部重は雨よけハウスで乾燥した風乾重で、水分含有率はおおむね 15%程度である。

試験 2：積雪下での生育の土壌による差

試験は中央農試で 2005 年に実施した。供試した品種は春播型品種「ハルユタカ」である。播種期は 2004 年 11 月 16 日であった。根雪期間は、2004 年 11 月 28 日～4 月 8 日で、最深積雪量は 2005 年 2 月 16 日の 126cm であった。試験は、試験 1 で使用した土壌のうち、最も生育が不良であった「羊蹄ローム」および最も生育が良好であった「長沼沖積」を充填したポット(直径 10cm、深さ 10cm)で実施した。1 ポットあたり 10 粒を播種し、施肥は行わなかった。調査は、ポットを積雪下から掘り出し、1 月から 3 月まで約 1 ヶ月おきに 3 回、1 回あたり 3 ポットで実施した。鞘葉長は種子から鞘葉の先端までの長さを測定した。根長は種子からもっとも長い種子根の先端までの長さを測定した。

結 果

試験 1：越冬性および越冬後の生育の土壌による差

越冬率、穂ばらみ期の GI および成熟期地上部重の年次間差および土壌間差を表 3-2-2 に示す。年次間差をみると、1998 年は 1997 年に比べ、越冬率が高く、地上部重が重かった。一方、穂ばらみ期の GI には大差がなかった。

次に、土壌間差をみると、越冬率は 52.3～71.4%に変異したが、年次との交互作用が大きかったため、有意差は検出されなかった。越冬率が低かった土壌は、由仁洪積(52.3%)および樽前-a(53.2%)で、高かった土壌は蛇紋岩質残積(71.4%)および長沼沖積(70.5%)であった。また、穂ばらみ期の GI は 117～307 に変異し、5%水準の有意差は 199 であった。穂ばらみ期の GI が低かった土壌は、羊蹄ローム、由仁洪積、集塊岩質残積で、高かった土壌は、長沼沖積、蛇紋岩質残積、樽前-a であった。

1998 年の出穂期は、6 月 9 日～17 日に変異し、長沼洪積および長沼沖積で早く、樽前-c および羊蹄ロームで遅かった。

表3-2-1 供試土壌の理化学性.

土壌名	土壌区分	土壌分類	土性	腐植	易有効水分	全孔隙	pF上昇速度	pH	全窒素	Tr-P ₂ O ₅	置換性塩基(me/100g)			置換性Al
		(農耕地土壌分類)	(国際法)	(%)	(vol%)	(vol%)		(H ₂ O)	(%)	(mg/100g)	CaO	MgO	K ₂ O	(ppm)
樽前-a	火山性土	淡色黒ボク土	砂土	3.4	6.7	65.3	0.121	5.6	0.11	87.7	69.6	7.7	11.0	0.8
樽前-c	火山性土	表層多腐植質黒ボク土	砂壤土	11.8	14.7	77.4	0.027	6.0	0.39	8.4	322.7	14.6	25.6	0.0
恵庭ローム	火山性土	表層腐植質黒ボク土	シルト質埴土	2.4	14.2	77.3	0.065	5.7	0.15	7.5	74.2	7.2	49.8	0.2
有珠-b	火山性土	淡色黒ボク土	砂壤土	0.6	11.1	56.8	0.042	6.1	0.07	72.9	235.0	12.4	22.6	2.7
羊蹄ローム	火山性土	表層多腐植質黒ボク土	埴土	9.5	14.3	77.0	0.034	5.8	0.44	3.6	138.0	7.9	21.4	0.2
集塊岩質残積	台地土	細粒暗赤色土	軽埴土	2.2	5.2	63.8	0.242	5.2	0.29	58.1	143.6	17.7	43.9	5.7
由仁洪積	台地土	細粒褐色森林土	軽埴土	1.6	6.0	64.9	0.199	5.3	0.12	64.6	404.8	41.5	29.8	8.8
豊浦沖積	火山性土系	中粗粒褐色低地土	埴土	6.7	15.1	76.7	0.049	5.7	0.28	35.2	244.4	12.8	23.9	1.6
蛇紋岩質残積	台地土	細粒褐色森林土	埴土	1.6	7.2	65.5	0.275	6.7	0.10	56.0	244.3	151.4	25.2	0.0
安山岩質残積	台地土	細粒暗赤色土	軽埴土	2.7	6.5	68.0	0.236	5.2	0.15	48.8	154.8	12.3	39.5	4.4
長沼洪積	台地土	細粒褐色森林土	軽埴土	1.6	6.0	63.8	0.216	5.3	0.10	68.2	460.8	75.4	32.7	5.4
長沼沖積	低地土	細粒褐色低地土, 斑紋なし	埴土	1.9	5.9	56.4	0.242	6.3	0.13	78.9	235.0	78.9	25.1	0.0

中央農試土壌資源科分析. 土壌区分は, 「北海道施肥ガイド」(北海道農政部 2002)による.

豊浦沖積は火山性土が母材の比較的新しい沖積土で, 特性は火山性土に近い「火山性土系」とした.

表3-2-2 土壌間差試験における諸形質の要因別平均値.

要因	越冬率	穂ばらみ期	成熟期	1998年
	(%)	GI (m・本 m ⁻²)	地上部重 (g m ⁻²)	出穂期 (月・日)
年次				
1997年	58.0	192	630	—
1998年	67.9	217	797	6.12
有意性	**	ns	**	—
土壌				
樽前-a	53.2	261	798	6.11
樽前-c	65.1	222	781	6.15
恵庭ローム	64.6	168	629	6.13
有珠-b	64.4	214	775	6.12
羊蹄ローム	61.7	117	461	6.17
集塊岩質残積	64.3	138	486	6.12
由仁洪積	52.3	128	541	6.10
豊浦沖積	60.1	220	773	6.13
蛇紋岩質残積	71.4	276	895	6.10
安山岩質残積	61.8	172	612	6.11
長沼洪積	65.6	227	787	6.09
長沼沖積	70.5	307	1022	6.09
有意性	ns	*	**	—
有意差(5%)	ns	199	438	—

穂ばらみ期GIは穂ばらみ期の草丈(単位:m)と茎数(単位:本m⁻²)の積. 有意性の*, **は各々5%, 1%水準で有意, nsは有意差なしを示す. 有意差はTukey法(Student化された範囲Qと標本標準偏差との積)により, %は有意水準を示す.

成熟期の地上部重は 461~1022g m⁻²に変異し, 5%水準の有意差は 438g m⁻²であった. 成熟期の地上部重が軽かった土壌は, 羊蹄ローム, 集塊岩質残積, 由仁洪積で, 高かった土壌は, 長沼沖積, 蛇紋岩質残積であり, この傾向は穂ばらみ期のGIに類似した.

各形質とも, 年次と土壌の効果に交互作用がみられた(表 3-2-3). 越冬率の年次間差および土壌間差を図 3-2-1 に示す. 1997 年は 1998 年に比べて越冬率の土壌間差が大きく, 中でも樽前-a および由仁洪積は低い越冬率を示した(各々33.7, 42.6%). 成熟期の地上部重を図 3-2-2 に示す. 1998 年は 1997 年に比べて全般に地上部重が重かったが, 中でも樽前-a, 蛇紋岩質残積, 長沼洪積および長沼沖積の年次間差が大きかった.

年次を平均した土壌別の値では, 成熟期の地上部重と穂ばらみ期のGIとの間に高い正の相関関係がみられた($r=0.981^{***}$, 標本数=12). 一方, 成熟期の地上部重と越冬率との間には正の相関はみられたが, 有意ではなかった($r=0.477$, 標本数=12). なお, これらの関係は, 年次別に検証しても同様であった(データ省略).

試験2: 積雪下での生育の土壌による差

2004年11月16日に播種した「ハルユタカ」の種子は, 翌年1月13日の調査時には土中で発芽していた. その後, 鞘葉長および根長はともに長くなり, 積雪下で生育が進行していた. 積雪下における鞘葉長と根長の推移を表

3-2-4 に示す。根長は鞘葉長より常に長く推移していたが、積雪下での生育には土壌間差がみられなかった。3月7日における土壌別の平均発芽率は、羊蹄ロームで76%、長沼沖積で31%であった。

考 察

本試験では、気象条件を同一にした場合において、土壌によって越冬率と地上部重が大きく変動することを明らかにした。このことは、初冬播栽培を広く普及するに当たって、土壌条件によっては栽培法を改良する必要があること、また、土壌によっては初冬播栽培ができない場所があることを意味する。しかしながら、土壌の理化学性だけでこれらの変動を一律に説明することは困難であった。

本試験で供試した土壌別の越冬率と地上部重の年次平均からの相対値とその変動係数、並びに土壌理化学性からみた土壌の特記すべき特徴を表3-2-5に示す。なお、表では左から地上部重の重い順に表示した。越冬率の土壌間差をみると、2種の火山性土（樽前-a、有珠-b）、および2種の台地土（安山岩質残積、由仁洪積）において年次の変動係数が10%を超え、特に樽前-aは大きく変動した。樽前-aは砂土という特殊な土壌であるが、他の土壌は易有効水分、pF上昇速度、土壌pH等で一律にその理由を説明することは困難であった。本試験での越冬率の最低値は33.7%（1997年、樽前-a）と低く、さまざまな土壌が存在する現地での栽培においては、播種量の決定に注意が必要であろう。

一方、十分な越冬個体数を確保できた場合でも、初冬播栽培を行った場合に生育が劣る土壌がみられた。成熟期の地上部重は、最高であった長沼沖積（2ヵ年平均1022 g m^{-2} ）と、最低であった羊蹄ローム（同466 g m^{-2} ）との間には、同一の気象環境、肥培管理条件下で比較して2倍以上の差があった。成熟期の地上部重が軽い、または年次変動が大きい土壌は、3種の火山性土系土壌（樽前-c：地上部重781 g m^{-2} ／変動係数19.3%（以下同様）、恵庭ローム：629 g m^{-2} ／24.1%、羊蹄ローム：461 g m^{-2} ／18.8%）と、4種の台地土（長沼洪積：787 g m^{-2} ／12.4%、安山岩質残積：612 g m^{-2} ／0.0%、由仁洪積：541 g m^{-2} ／14.5%、集塊岩質残積：486 g m^{-2} ／15.2%）であった。中でも、羊蹄ロームは越冬率が安定的に高く、積雪下の生育も良好であったにもかかわらず、越冬後の生育が劣り、2ヵ年とも低収となった。この理由は、土壌の理化学性だけでは推定が困難であった。

本試験に供試した台地土は、蛇紋岩質残積を除いてpHが5.5以下と低かった。コムギの生育に対する最適土壌

表3-2-3 土壌間差試験における分散分析結果（平均平方）.

要因	df	越冬率 (%)	穂ばらみ期 GI ($\text{m} \cdot \text{本 m}^{-2}$)	成熟期 地上部重 (g m^{-2})
年次(Y)	1	2936.1 **	19397.2	836308.2 **
年次内ブロック	8	94.6	12083.5	77478.1
土壌(S)	11	332.5	36748.1 *	286584.5 **
S×Y	11	368.0 **	12076.3 **	58746.3 **
込みにした誤差	88	63.1	1369.8	9889.7

df: 自由度. *および**は平均平方から算出されるF値が各々5%, 1%水準で有意であることを示す。F値の計算はMcIntosh(1983)に依り、混合模型（年次を変量、土壌の種類を母数とする）を適用した。

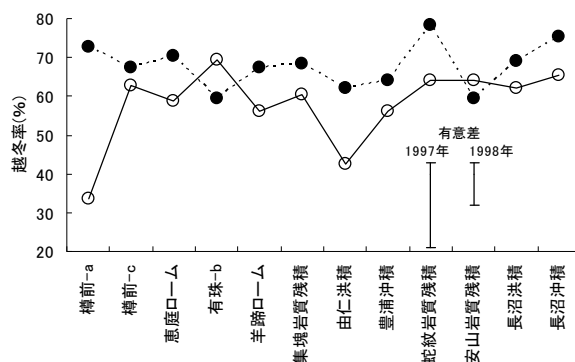


図3-2-1 越冬率の年次および土壌別の変動.

—○— 1997年, ...●... 1998年.

有意差はTukey法による5%水準の有意差で、実数値は、1997年は21.9%, 1998年は11.1%.

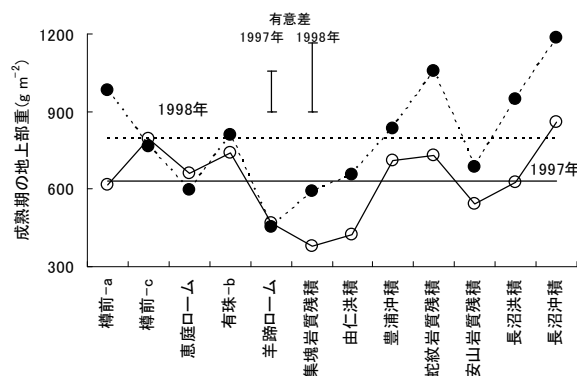


図3-2-2 成熟期の地上部重の年次および土壌別の変動.

—○— 1997年, ...●... 1998年.

有意差はTukey法による5%水準の有意差で、実数値は、1997年は159 g m^{-2} , 1998年は263 g m^{-2} . 横線は当該年次の平均値を示す。

pH は 6.0～7.0 とされ（星川 1988）、酸性害はアルミニウム（Al）等の過剰害およびリン酸や微量元素の欠乏などとして現れる（橋本 1983）。コムギ品種の Al 耐性には品種間差があることが知られているが（北川ら 1986, 小島ら 1986）、作物間の比較では、コムギの耐酸性および Al 耐性はいずれも中程度とされている（田中・早川 1975b）。田中・早川（1975b）は、北海道の春播型品種「ハルヒカリ」（長内ら 1967）を圃場条件において pH5.5 区および pH4.5 区で栽培した場合、地上部乾物重は pH6.5 区の各々 96%, 49%であったことを報告している。また、同品種の Al 耐性を水耕栽培により評価した結果、Al 10ppm 区は同 0ppm 区に比べて地上部乾物重が 70%であった（田中・早川 1975a）。本試験では、12 種類の土壌のうちで pH が 5.6 以上であった 8 土壌の Al 濃度は 0.0～2.7ppm と低かったのに対し、pH5.5

以下の 4 種類の台地土の Al 濃度は 4.4～8.8ppm に達した。これらのことから、土壌 pH の低かった 4 種類の台地土では酸性害を受けた可能性が考えられた。

根の生育阻害は、養分吸収の阻害を招き、初期生育量不足と最終的な生育不足を招く。酸性害は土壌改良資材による軽減が一定程度可能と考えられるが、原因が特定できない生育不良は栽培法の改良による回避が困難である。いずれにしても、火山性土や台地土を中心に、初冬播栽培が不安定な土壌があることから、初冬播栽培を初めて行おうとする地域では、小規模な試作で土壌の適応性を確認してから本格的な栽培に移行する必要がある。また、試験を行った場所の積雪期間は通常 120 日程度であり、積雪期間がこれより大幅に長い地域では、過湿となる期間が長くなるため、さらに注意が必要であろう。

表3-2-4 積雪下における鞘葉長と根長の推移。

土壌	項目	調査月日（積雪深）		
		1月13日(57cm)	2月7日(63cm)	3月7日(75cm)
羊蹄ローム	鞘葉長(cm)	1.3 ±0.7	5.2 ±2.4	6.6 ±1.5
	根長(cm)	6.2 ±2.6	12.7 ±4.3	14.7 ±3.3
長沼沖積	鞘葉長(cm)	1.9 ±0.9	4.2 ±1.7	7.5 ±1.4
	根長(cm)	5.1 ±2.5	10.5 ±5.3	14.7 ±3.1

2004年11月16日播種。品種「ハルユタカ」。±は標準偏差(n=3)を示す。

表3-2-5 越冬率、地上部重と土壌との関係。

項 目		長沼 沖積	蛇紋岩 質残積	樽前-c	樽前-a	有珠-b	長沼 洪積	豊浦 沖積	恵庭 ローム	安山岩 質残積	由仁 洪積	集塊岩 質残積	羊蹄 ローム
越冬率	平均値に対する 相対値(%)	112	113	104	83	104	104	96	103	99	82	102	98
	年次間CV(%)	1.1	3.0	6.3	42.0	21.9	3.9	1.5	1.8	16.3	15.4	2.4	2.0
地上部 重	平均値に対する 相対値(%)	143	124	111	110	110	109	109	90	86	75	67	66
	年次間CV(%)	5.9	9.4	19.3	16.2	10.7	12.4	5.0	24.1	0.0	14.5	15.2	18.8
土壌の 特徴	土性(国際法)	埴壤土	埴壤土	砂壤土	砂土	砂壤土	軽埴土	埴壤土	シルト質 埴壤土	軽埴土	軽埴土	軽埴土	壤土
	易有効水分	少	中	多	中	多	少	多	多	中	少	少	多
	全孔隙	少	中	多	中	少	少	多	多	中	少	少	多
	pF上昇速度	速	速	遅	中	遅	速	遅	遅	遅	中	速	遅
	pH	6.3	6.7	6.0	5.6	6.1	5.3	5.7	5.7	5.2	5.3	5.2	5.8
	置換性Al	0.0	0.0	0.0	0.8	2.7	5.4	1.2	0.6	4.4	8.8	5.7	0.2

平均値に対する相対値は、年次ごとの平均値からの相対値を2カ年で平均した値。CVは変動係数で、2カ年の標準偏差を平均値で除した百分比。易有効水分は少≤6.0<中≤10.0<多、全孔隙は少≤65<中≤75<多、pF上昇速度は遅≤0.1<中≤0.2<速とした。

第 4 章 越冬性の優れる春播型コムギ系統の育成

第 1 節 晩秋播栽培による越冬性の選抜

第 3 章第 1 節に示したとおり、春播型品種は根雪前に出芽すると枯死する危険性が高いため、これらの品種を用いた初冬播栽培を行う場合には根雪直前に播種しなければならない。しかし、この時期は天候が不順なため、計画どおり播種できないことがあり、また土壌水分が高いため圃場が泥濘化し、土壌条件を悪化させてしまうことにより、その後の生育を阻害することがある。初冬播栽培のより広範囲な普及のためには、播種適期の拡大を図る必要がある。

播種適期の拡大には、発芽抑制剤の使用による播種早限の前進化(沢口・佐藤 2001)や、積雪上からの播種による播種晩限の延長(沢口・宮本 1997)などが検討されている。しかしながら、本節では、播種早限の前進化について品種改良の面からも追及するために、春播型の品種に越冬性を付与し、根雪前に出芽しても枯死しない系統を選抜することを検討した。すなわち、秋播型品種と春播型品種を交配し、春播栽培と、根雪前に確実に発芽する 10 月中・下旬の播種(以下「晩秋播栽培」とする)を組み合わせて集団を養成し、それらの集団より選抜した系統について、その越冬性と出穂性を明らかにした。

材料および方法

試験はいずれも中央農試圃場(普通畑)で行った。交配は、1995 年夏季に、北海道立北見農業試験場育成の秋播型育成系統「北見 71 号」に、カナダの早生・良質春播型品種「Roblin」を交配し(空交 128)、83 粒(F_1 種子)を得た。

F_1 世代は、1996 年に春播栽培を行い、83 粒を播種し 7123 粒(F_2 種子)を得た。

F_2 世代の集団淘汰は F_2 種子を折半し、晩秋播栽培(略号 W, 1996 年 10 月 18 日播種)と、1997 年に春播栽培(略号 S, 1997 年 4 月 14 日播種)に供試した。採種量は(F_3 種子)、晩秋播 845g, 春播 3446g であった。

F_3 世代の集団淘汰は前年の播種期別に分けた 2 集団の F_3 種子をそれぞれ折半し、晩秋播栽培(1997 年 10 月 24 日播種、播種量は F_2 S 集団が 1723g, F_2 W 集団が 423g)と春播栽培(1998 年 4 月 21 日、各集団 140g 播種)に供試した。このようにして前歴の異なる 4 集団を養成した。 F_2 ・春播栽培- F_3 ・春播栽培を「SS」、 F_2 ・晩秋播栽培- F_3 ・春播栽培を「WS」、以下同様に「SW」、「WW」と称する。

養成した各集団より無作為に 200 穂、4 集団で計 800 穂を選抜した。

F_4 世代の系統選抜は 4 集団各 200 系統、計 800 系統を 1999 年に春播栽培(1998 年 4 月 27 日播種)し、出穂始および出穂期を調査した。選抜系統は、系統ごとに混合採種(F_5 種子)を行った。

F_5 世代の系統選抜は各系統をそれぞれ 3 分割し、晩秋播栽培(1999 年 10 月 15 日播種)、根雪前に出芽しない通常の初冬播栽培(1999 年 11 月 15 日播種)、春播栽培(2000 年 4 月 19 日播種)に供試した。比較として両親および春播型品種「ハルユタカ」(秋播性程度 I)、中間型品種「西海 181 号」(後の「イワイノダイチ」(田谷ら 2003)、秋播性程度 IV)を 50 系統ごとに挿入した。晩秋播栽培では越冬率を調査した。初冬播栽培および春播栽培で出穂始および出穂期を調査した。選抜は初冬播栽培より行い、 F_4 世代と同様に系統ごとに混合採種(F_6 種子)した。

F_6 世代の系統選抜は F_5 世代の選抜系統をそれぞれ 2 分割し、晩秋播栽培(2000 年 10 月 20 日播種)と春播栽培(2001 年 4 月 18 日播種)に供試した。晩秋播栽培で越冬率、両播種期で出穂始および出穂期を調査した。

以上の経過を図 4-1-1 に示した。なお、本節における「越冬率」は、越冬後個体数を越冬前出芽数で除して算出した。

結 果

F_2 世代における晩秋播栽培は 11 月 2 日に発芽始となり、その越冬率は 5.4%と低かった。

F_3 世代における晩秋播栽培は 11 月 10 日に発芽始となり、越冬率は「SW」が 63%、「WW」が 65%と比較的高かった。

F_4 世代における春播栽培した系統の出穂始の頻度分布を図 4-1-2 に示す。 F_2 世代で晩秋播栽培を行った集団(「WS」および「WW」)では、 F_2 世代で春播栽培を行った集団(「SS」および「SW」)に比べ出穂が遅れ、座止した系統も「WS」で 27 系統(13.5%)、「WW」で 62 系統(31.0%)と多かった。出穂性を基準に選抜を行い、「SS」より 75 系統、「WS」より 74 系統、「SW」より 51 系統、「WW」より 42 系統を選抜した。選抜系統の集団ごとの平均値および標準偏差を表 4-1-1 に示した。

F_5 世代の晩秋播栽培における越冬率の頻度分布を図 4-1-3 に示す。比較品種のうち秋播型の「北見 71 号」は

平均 34.8% の越冬率であったが、春播型の 2 品種および中間型の「西海 181 号」はすべて枯死した。選抜系統では F_2 世代で春播栽培を行った集団で枯死が多く、枯死し

た系統の割合は「SS」45.3%、「WS」9.8%、「SW」28.4%、「WW」4.8%であった。

F_5 世代の初冬播栽培と春播栽培との出穂始の関係を図

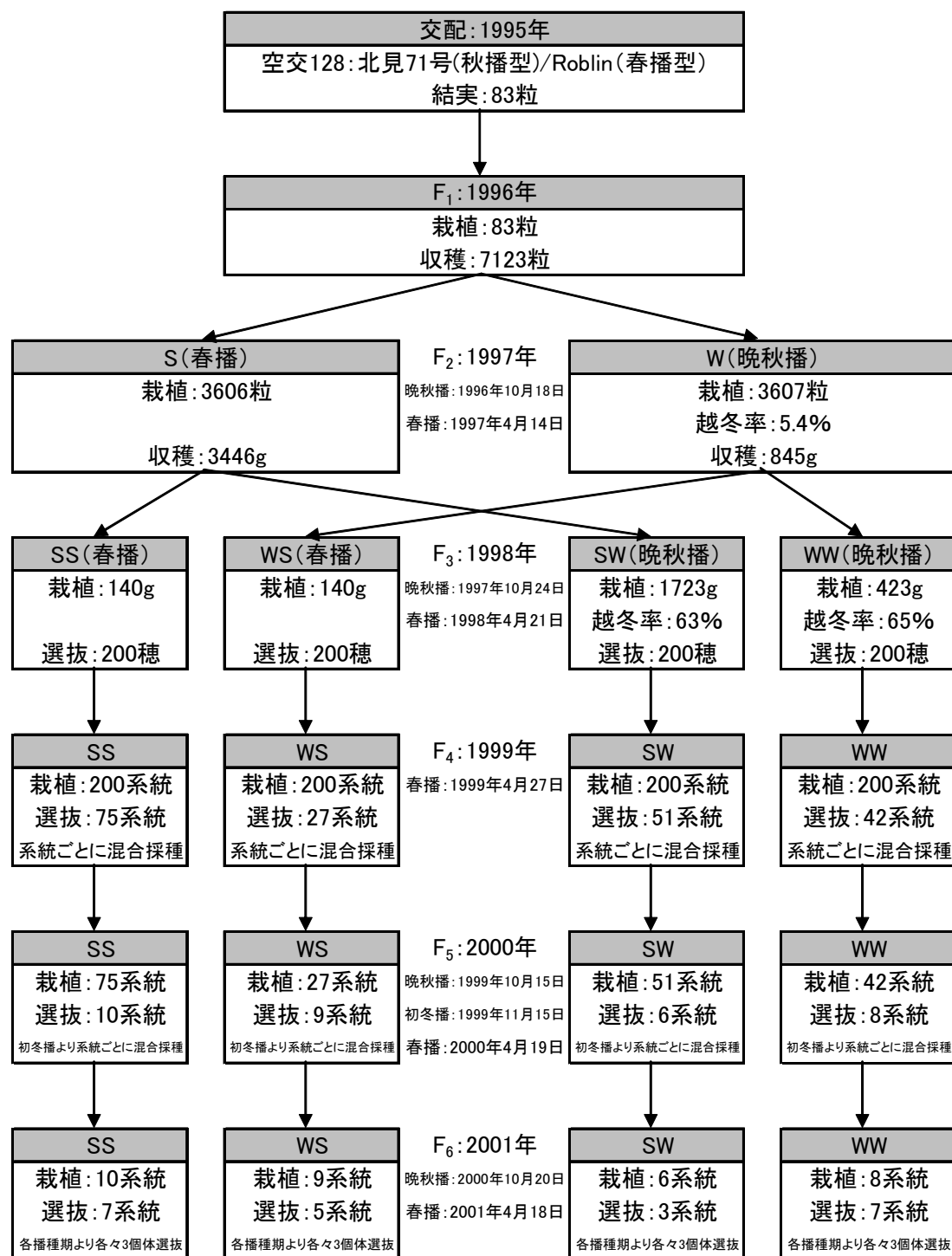


図 4-1-1 空交 128 の選抜経過.

4-1-4 に示す。比較品種の出穂始をみると、初冬播栽培でもっとも出穂が早かったのは「西海 181 号」で、「ハルユタカ」より 13 日早く、「Roblin」は同じく 5 日早かった。一方、春播栽培では「Roblin」が「ハルユタカ」よ

り 4 日早く、「西海 181 号」は低温要求性を持つため「ハルユタカ」より 1 日遅かった。選抜系統をみると、初冬播栽培では「ハルユタカ」より出穂始が早いものが多かったが、春播栽培では同品種より遅いものが多かった。

表4-1-1 F₄およびF₅世代での選抜系統の系統数、特性平均値と標準偏差。

組合せ・品種	F ₄ 世代(1999年)		F ₅ 世代(2000年)			
	選抜	春播栽培	選抜	晩秋播栽培	初冬播栽培	春播栽培
	系統数	出穂始		系統数	越冬率	出穂始
系統の平均						
空交128SS	75	6月26日 ±2.3日	10	46.0 ±20.7%	6月7日 ±1.7日	6月22日 ±3.3日
空交128WS	74	6月27日 ±2.6日	9	53.8 ±16.8%	6月7日 ±1.8日	6月23日 ±3.3日
空交128SW	51	6月28日 ±2.5日	6	45.2 ±24.7%	6月8日 ±3.9日	6月23日 ±3.0日
空交128WW	42	6月28日 ±3.0日	8	55.7 ±16.2%	6月6日 ±3.1日	6月21日 ±1.9日
比較品種						
北見71号	—	—	—	34.8 ±22.0%	6月6日 ±1.3日	座止
Roblin	—	—	—	0.0 ±0.0%	6月6日 ±0.8日	6月14日 ±0.5日
ハルユタカ	—	—	—	0.0 ±0.0%	6月11日 ±1.0日	6月18日 ±0.7日
西海181号	—	—	—	0.0 ±0.0%	5月29日 ±0.5日	6月18日 ±2.4日

SS, WS等の内訳は図4-1-1と同様。比較品種は7反復。±以降の数字は標準偏差。

越冬率＝越冬後個体数／越冬前出芽数×100

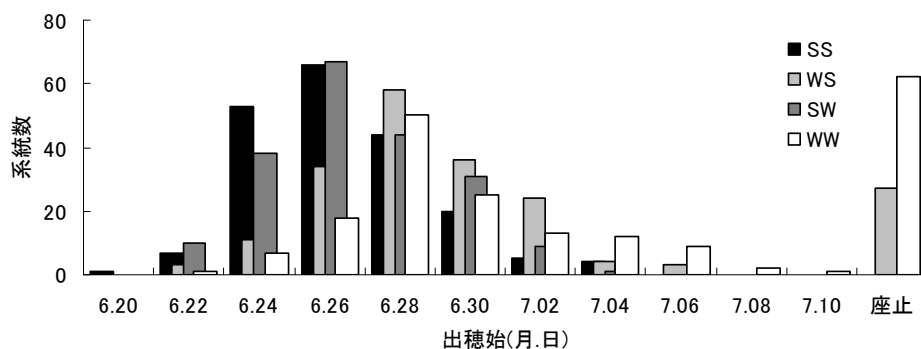


図 4-1-2 F₄ 世代の春播栽培における出穂始の変異 (1999 年)。

シンボルは図 4-1-1 と同様。

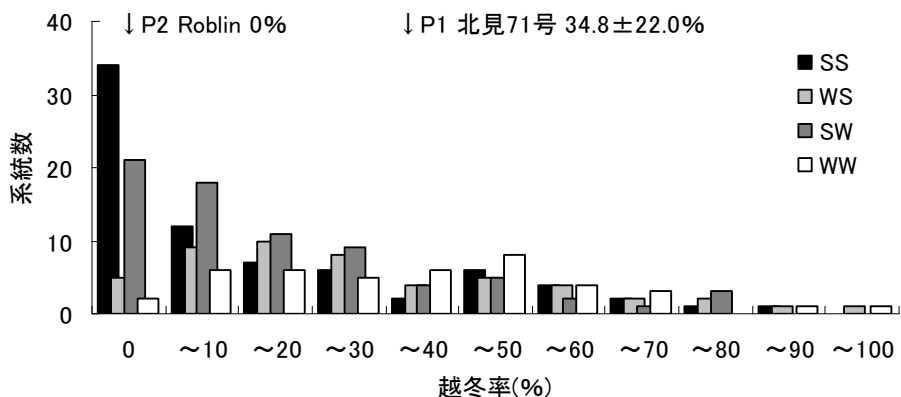


図 4-1-3 F₅ 世代の晩秋播栽培における越冬率の変異 (2000 年)。

シンボルは図 4-1-1 と同様。親品種の数値は 7 反復の平均と標準偏差。

F₆世代の選抜結果をみると（表 4-1-2），得られた系統は越冬性が高く，春播栽培においても出穂始に達した．最終的に「SS」より 7 系統，「WS」より 5 系統，「SW」より 3 系統，「WW」より 7 系統（計 22 系統）を選抜し，各系統の初冬播栽培および春播栽培より各々 3 個体を選抜した．

F₅世代と F₆世代における晩秋播栽培の越冬率および春播栽培の出穂始の関係を図 4-1-5，図 4-1-6 に示す．世代間において，いずれも有意な相関関係がみられたが，春播栽培での出穂始は F₆世代でやや変異が大きかった．

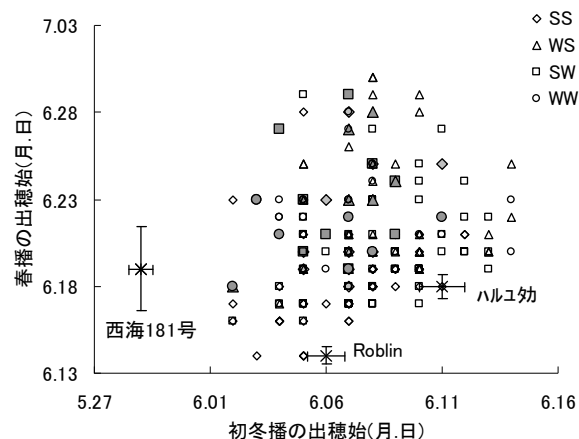


図 4-1-4 F₅世代における初冬播栽培と春播栽培の出穂始の関係（2000 年）．

シンボルは図 4-1-1 と同様．各々黒塗りが選抜系統．
比較品種の棒は 7 反復の標準偏差．

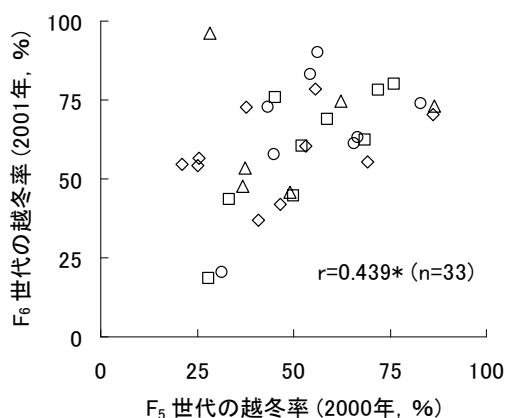


図 4-1-5 F₅世代と F₆世代の晩秋播栽培における越冬率の関係．

シンボルは図 4-1-1 と同様．

r は相関係数，*は 5%水準で有意，n は系統数を示す．

越冬率＝越冬後個体数／越冬前出芽数×100．

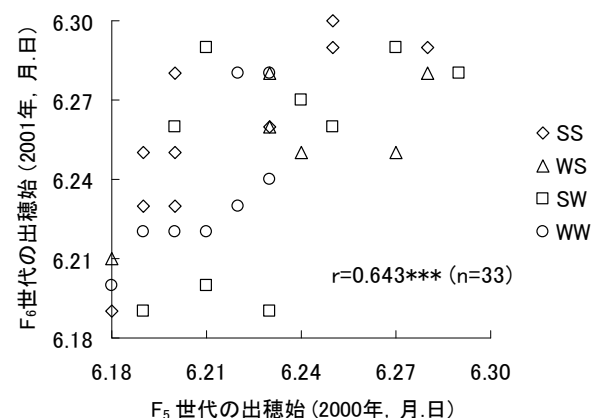


図 4-1-6 F₅世代と F₆世代の春播栽培における出穂始の関係．

シンボルは図 4-1-1 と同様．

r は相関係数，***は 0.1%水準で有意，n は系統数を示す．

表 4-1-2 F₆世代での選抜系統の系統数，特性平均値と標準偏差．

組合せ	F ₆ (2001年)			
	選抜 系統数	晩秋播栽培	初冬播栽培	春播栽培
		越冬率	出穂始	出穂始
空交128SS	7	54.6 ± 13.3%	6月3日 ± 2.3日	6月24日 ± 2.9日
空交128WS	5	71.2 ± 9.3%	6月4日 ± 0.4日	6月27日 ± 1.3日
空交128SW	3	65.2 ± 27.1%	6月2日 ± 2.1日	6月25日 ± 3.6日
空交128WW	7	71.7 ± 11.9%	6月2日 ± 2.3日	6月24日 ± 3.1日

SS, WS等のシンボルは図4-1-1と同様．±以降の数字は標準偏差を示す．

越冬率＝越冬後個体数／越冬前出芽数×100

考 察

本試験では、根雪前に出芽しても越冬可能な春播型系統の育成を目的としてその選抜を行った。Gotoh (1977) は、春播型品種と秋播型品種の交雑後代から中間型を含む幅広い春化要求度の固定系統を得たが、本試験で得られた系統も、 F_4 世代の春播栽培で出穂が大きく変異し、春播栽培では出穂不能な系統もみられた。北海道の春播栽培では、秋播性程度がⅠ～Ⅲの春播型品種が安定的に出穂でき、また、本試験の「西海181号」(秋播性程度Ⅳ)のような中間型品種も条件によっては出穂が可能である。しかし、春播栽培では春化に必要な低温期間が一定しないことを考慮すると、実用栽培では秋播性程度が低い品種を用いるほうが安全である。コムギの秋播性程度を支配する遺伝子としては *Vrn* 遺伝子が知られている。後藤 (1979) は、北海道の春播型品種は幼穂形成に低温を要求しない完全春播性で他の *Vrn* 遺伝子に対し上位性を有する *Vrn1* を持ち、春化要求度ⅠとⅡの差は *Vrn1* の有無で定義した。また、春化要求度ⅢとⅣの差は *Vrn3* (または *Vrn2*, *Vrn4*) の有無で定義し、春化要求度ⅡとⅢの差は微動遺伝子、春化要求度Ⅳ～Ⅶの差は変更遺伝子や主働遺伝子に支配されることを示した。本試験における F_4 世代での系統間の出穂性の変異でみると、「SS」および「SW」の集団からは座止系統や出穂期の遅い系統の出現がほぼみられなかった。このことは、 F_2 世代での春播栽培での淘汰が大きく影響していると考えられる。しかしながら、 F_3 世代で春播栽培を行った「WS」の集団からは座止系統や出穂の遅い系統が出現しており、年次によって淘汰の程度が異なることがうかがえた。

一方、 F_5 世代での晩秋播栽培における選抜系統の越冬率の頻度をみると、連続春播栽培の「SS」集団に枯死する系統の割合が多く出現しており、秋播性程度の関与がある程度示唆された。しかしながら、図4-1-2に示すとおり、どの集団においても越冬率の頻度は幅広い変異を示した。また、比較品種として用いた秋播性程度Ⅳの「西海181号」は晩秋播栽培では越冬性がなく枯死した。後藤 (1975) が指摘しているように、越冬性については秋播性程度以外の要因も考える必要がある。本試験での F_4 世代での選抜系統が、春播栽培で出穂するにもかかわらず晩秋播栽培でいかなる理由により高い越冬率を示すのか、すなわち、秋播型品種のように耐冬性があるのか、乾物率や乾物重、消耗する度合いに違いがみられるのかなど、その機作の解明は今後の課題である。

本試験で選抜した系統の出穂始を春播型品種「ハルユタカ」と比較すると、選抜系統は初冬播栽培では出穂始

が早かったのに対し、春播栽培では出穂始が遅れる傾向がみられた。コムギにおける出穂の早晩は、秋播性程度、感光性、狭義の早晩性の三つの要因で決まるとされる (Kato and Yamagata 1988, 藤田 1997)。田谷 (1993) は、秋播性程度がⅠからⅢまでの品種や育成系統を石垣市 (沖縄県)、筑後市 (福岡県)、訓子府町 (北海道、春播栽培) で栽培し、その出穂期について、筑後市に比べ石垣市と訓子府町では大きく変異することを示し、その要因として、石垣市では秋播性程度と感光性が、訓子府町では秋播性程度が強く影響していると推察した。一方、秋播性の消去に必要な低温期間は低温要求性が高い品種でも80日程度であり (Kato and Yamashita 1991)、初冬播栽培では根雪前に播種した種子が積雪下で 0°C に近い低温条件で120日ほど経過することから、春化には十分な低温期間が与えられている。感光性についてみると、交配親に用いた「北見71号」と「Roblin」の感光性は不明であるが、近年のカナダ品種は不感光型の品種が選ばれている (Huel 1995, Dyck ら 2004)。不感光型の品種は、感光型品種に比べ熟期が早く、草丈が低く、北米の高緯度地帯ではやや低収となる (Dyck ら 2004)。「Roblin」は不感光性品種「Laura」(de Pauw ら 1988) と親が共通していること、また「Roblin」は育成国だけでなく北海道や中国・黒龍江省で栽培しても早生であること (北海道立中央農業試験場 1995) などから、不感光性である可能性が高い。一方「北見71号」にしても北海道の日長に合わないような極端な感光性を有しているとは考えにくい。これらのことから、本試験での選抜系統は、初冬播栽培での出穂の早さ、春播栽培での出穂の遅れから考え、弱い低温要求性を有するものの不感光性のものが多いと考えられた。北海道の春播型品種「ハルヒカリ」は、*Vrn1* と *Vrn2* を有しており (後藤 1979)、*Vrn1* が上位性を持つために表現型としては低温要求性を持たない。選抜系統の低温要求性が、「ハルヒカリ」と同様に「Roblin」が有していたかもしれない *Vrn1* 以外の優性遺伝子によるものなのか、それとも「西海181号」のように優性の *Vrn* 遺伝子を持たないが低温要求性の小さい秋播性程度Ⅳに属するものなのかは不明である。今後これらの系統を用いたさまざまな組合せで交雑後代の出穂性を検討する必要がある。なお、春播栽培を行った場合、 F_5 世代より F_6 世代の方が出穂始のばらつきが大きかったが、これは春播栽培での春化の条件が年次で異なったことを示すと考えられた。

第2節 選抜系統の評価

前節では、根雪前に出芽しても枯死せず、かつ春播栽培でも出穂可能な系統の選抜を行ったが、本節ではその育成材料の固定を進め、生産力等の評価を行った。

材料および方法

1. 系統の選抜経過

前節の育成材料より、最終的に4系統を固定、選抜した。前節以降の選抜経過は以下のとおりである（表4-2-1）。

F₇世代は22系統群132系統を各々2分割し、晩秋播栽培（2001年10月15日）と春播栽培（2002年4月22日）に供試した。「SS」より4系統、「WS」より5系統、「SW」より1系統、「WW」より5系統、計15系統45個体を晩秋播より選抜し、「14S351」～「14S365」の名を付した。

F₈世代は15系統群45系統を各々2分割し、晩秋播栽培（2002年10月15日）と春播栽培（2003年4月24日）に供試した。「SS」より1系統、「WS」より4系統、「SW」より1系統、「WW」より2系統、8系統40個体を晩秋播栽培より選抜した。なお、「WS」より選抜した「14S355」、「14S358」、および「WW」より選抜した「14S362」にそれぞれ「北系春771」、「北系春772」、「北系春773」の名を付した。

F₉世代は「北系春」番号を付した3系統群を除く5系統群25系統は各々2分割し、中央農試にて晩秋播栽培（2003年10月13日）と春播栽培（2004年4月30日）を行った。前世代で「北系春」番号を付した3系統群15

系統は北海道立北見農業試験場にて春播栽培のみ実施した。中央農試に栽植した系統のうち、「WW」より選抜した1系統「14S365」の5個体を晩秋播栽培より選抜し、「北系春779」の名を付した。

F₁₀世代は、系統の維持栽培のみを行い、選抜は行わなかった。

本試験では、以降、選抜系統を「北系春」番号名で示す。

2. 生産力検定試験

「北系春」番号を付与した4系統の生産力検定を中央農試圃場（普通畑）においてF₈世代（2003年）からF₁₀世代（2005年）にかけて実施した。なお、生育、収量調査項目等は前章までの方法に従ったが、越冬率は前節と同様に越冬後個体数を越冬前出芽数で除して算出した。地上部重は雨よけハウスで乾燥した風乾重で、水分含有率はおおむね15%程度である。分散分析は乱塊法により実施し、各水準の平均値の差異の有意性は前章までと同様の方法で算出した。

晩秋播栽培；播種は、F₈世代は2002年10月15日、F₉世代は2003年10月13日、F₁₀世代は2004年10月15日に行った。比較品種は秋播型品種「ホクシン」（柳沢ら2000）とした。F₉世代およびF₁₀世代には春播型品種「ハルユタカ」も比較品種として供試した。F₈世代は無反復、F₉世代およびF₁₀世代は乱塊法2反復で行った。各プロットは畦長4.0m、畦幅0.3mの4畦から成り（一区面積は4.8m²）、全畦を収穫対象とした。播種法は条播で行った。播種量はm²あたり340粒とした。施肥はN、P₂O₅および

表4-2-1 F₇世代以降の選抜経過.

組合せ	F ₇ 世代(2002年)				F ₈ 世代(2003年)				F ₉ 世代(2004年)				F ₈ 世代	最終選抜
	栽植数		選抜数		栽植数		選抜数		栽植数		選抜数		小規模	「北系春」
	系統群	系統	系統	個体	系統群	系統	系統	個体	系統群	系統	系統	個体	生予番号	系統番号
空交128SS	7	42	4	12	4	12	1	5	1	5	0	0	14S351 14S352 14S353 14S354	
空交128WS	5	30	5	15	5	15	4	20	4	20	2	10	14S355 14S356 14S357 14S358 14S359	→北系春771 →北系春772
空交128SW	3	18	1	3	1	3	1	5	1	5	0	0	14S360	
空交128WW	5	30	2	6	2	6	2	10	2	10	2	10	14S361 14S362 14S363 14S364 14S365	→北系春773 →北系春779

SS, WS等の内訳は図4-1-1と同様.

K₂O を各々10, 18, 12g^m⁻², 融雪直後 (F₈ 世代は 2003 年 4 月 3 日, F₉ 世代は 2004 年 4 月 5 日, F₁₀ 世代は 2005 年 4 月 14 日) に高度化成肥料 (麦類用 082, 成分 N:P₂O₅:K₂O=10:18:12%) で試験区上面より均一に施用し, さらに硫酸を止葉期 (F₈ 世代は 2003 年 5 月 28 日, F₉ 世代は 2004 年 6 月 1 日, F₁₀ 世代は 2005 年 6 月 3 日) に 6 gN^m⁻² 試験区上面より均一に施用した. 前作物は 3 カ年とも緑肥であった.

春播栽培; F₁₀ 世代について実施した. 播種は 2005 年 4 月 18 日にプロットドリル播種機 (Hege 社 Hege90) による条播で行った. 比較品種は春播型品種の「ハルユタカ」および「春よ恋」 (柳沢・田引 2002) とし, 乱塊法 3 反復で実施した. 各プロットは畦長 4.0m, 畦幅 0.2m の 6 畦から成り (一区面積は 4.8 m²), 全畦を収穫対象とした. 播種量は m² あたり 340 粒とした. 施肥は基肥として N, P₂O₅ および K₂O 各々 10, 18, 12g^m⁻² を, 高度化成肥料 (麦類用 082) で全面全層施用した. 前作物は緑肥であった.

結 果

表 4-2-2 に晩秋播栽培の 3 カ年の越冬率と子実収量を示した. 晩秋播栽培ではいずれの年次も根雪前に出芽し, 根雪までに 2 葉前後まで生育した. 年次ごとの越冬率と子実収量をみると, 2003 年はいずれの系統も高い越冬率を示し, 子実収量は大差がなかった. 一方, 2004 年および 2005 年は越冬率が大きく変動し, 「ハルユタカ」は越冬できず, 「ホクシン」の越冬率は 56~100% であったが, 選抜した 4 系統は 5~103% の越冬率となり, 子実重は越冬率に比例した. 選抜系統の中では「北系春 779」が安定して「ホクシン」並の越冬率と子実収量を示した.

選抜系統の 2005 年における一般農業形質を表 4-2-3 (晩秋播栽培) および表 4-2-4 (春播栽培) に示す. 晩秋播栽培をみると, 選抜系統の越冬率は 5~70% に変異した. 子実収量は越冬率に比例した. 越冬率が高く「ホクシン」並の子実収量を示した「北系春 779」は, 晩秋播栽培では出穂期が早かったが, 成熟期は「ホクシン」並であった. また「ホクシン」に比べて千粒重が重く, 子実タンパク質含有率が高かった. 一方, 春播栽培ではいずれの系統も出穂し, 成熟したが, 出穂期および成熟期は「ハルユタカ」や「春よ恋」より遅かった. 子実収量は, 「ハルユタカ」比 94% (北系春 771) ~105% (北系春 773) と, ほぼ同等であった. 「北系春 779」は, 「ハルユタカ」に比べ稈長がやや短く, リットル重が軽かった.

考 察

前節で選抜した材料の中から 4 系統について, 晩秋播栽培および春播栽培を行い, 越冬性, 生育および子実収量を調査した. その結果, 晩秋播栽培における越冬性は, 4 系統とも春播型品種「ハルユタカ」より高かった. そのうち, 「北系春 779」は越冬率が秋播型品種「ホクシン」と同程度に高かったため, 晩秋播栽培の子実収量も「ホクシン」と同程度であった. また, 選抜した 4 系統とも, 若干の低温要求性を有するものの, 春播栽培を行っても出穂し, 成熟した. これらの結果から, 越冬性が高い春播型系統を得るという所期の目的は達成されたといえる.

第 3 章第 1 節では, 春播型品種「ハルユタカ」「春のあけぼの」「Roblin」では根雪前に出芽に至った場合, 越冬が不安定であることを示した. 一方, 吉田ら (1994) は札幌市の環境において根雪前に出芽に至る 10 月 15 日播きで越冬率の品種間差を調査し, 「ハルユタカ」および「ハルヒカリ」の越冬率がほぼ 0% であったのに対し, カナダの春播型品種「Manirou」 (Campbell 1967) で 50% の越冬率であったことを示した. このように, 春播型品種においても越冬性に変異がみられ, また遺伝資源のスクリーニングも十分に進んでいる状況ではない. しかしながら, 本試験で選抜した系統は, 秋播型品種と同程度の越冬性を有するものを含み, また, 稈長などの農業形質も改良されていることから, 今後品種改良を進める上で有効な母材となりえる. ただし, 選抜系統は越冬性を主眼に選抜したため, 品質や耐病性, 穂発芽耐性は不十分と考えられる. 今後品種改良に用いる場合には, これらの形質が優れた品種を交配母材に選定し, その後の選抜にあたっても留意すべきであろう.

表 4-2-2 晩秋播 (10 月中旬播種) における越冬率および子実収量.

系統品種名	越冬率 (%)			子実収量 (g ^m ⁻²)		
	2003 年	2004 年	2005 年	2003 年	2004 年	2005 年
北系春 771	65	17	5	540	281	251
北系春 772	86	31	16	584	316	306
北系春 773	112	65	6	585	514	245
北系春 779	97	103	70	505	702	582
ホクシン	86	100	56	509	757	642
ハルユタカ	—	0	0	—	0	0
有意性	—	**	**	—	**	**
有意差 (5%)	—	49	34	—	229	160

越冬率は越冬後個体数/越冬前出芽数×100. 有意性の**は 1% 水準で有意を示す. 有意差は Tukey 法 (Student 化された範囲 Q と標本標準偏差との積) により, % は有意水準を示す.

表4-2-3 晩秋播(10月中旬播種)における選抜系統の一般農業形質(2005年).

系統品種名	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (m^{-2})	越冬数 (m^{-2})	越冬率 (%)	諸障害(0-5)		地上部重 (gm^{-2})	子実収量 (gm^{-2})	リットル重 (g)	千粒重 (g)	子実タンパク 質含有率 (%)
								倒伏	赤かび病					
北系春771	6.18	8.01	69	10.6	127	23	5	0.0	1.0	614	251	773	41.3	16.0
北系春772	6.19	8.01	67	9.6	195	70	16	0.0	1.0	684	306	793	48.2	15.9
北系春773	6.18	8.01	70	9.3	167	20	6	0.0	1.0	576	245	795	47.5	17.3
北系春779	6.12	7.26	75	9.3	357	187	70	0.0	1.0	1171	582	824	50.1	13.8
ホクシン	6.16	7.26	70	8.9	403	163	56	0.0	1.0	1292	642	813	44.4	12.5
ハルユタカ	—	—	—	—	—	0	0	—	—	—	—	—	—	—
有意性	**	**	*	*	ns	**	**	—	—	**	**	**	**	**
有意差(5%)	2	2	6	1.2	ns	138	34	—	—	348	167	21	3.1	0.6

枯死した「ハルユタカ」は、分散分析からは越冬数および越冬率以外の形質を除外した。越冬率は越冬後個体数/越冬前出芽数 $\times 100$ 。有意性の*および**は各々5%, 1%水準で有意, nsは有意差なしを示す。有意差はTukey法(Student化された範囲Qと標本標準偏差との積)により, %は有意水準を示す。諸障害は0(無)~5(甚)の6段階評価。

表4-2-4 春播(4月中旬播種)における選抜系統の一般農業形質(2005年).

系統品種名	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (m^{-2})	諸障害(0:無~5:甚)				地上部重 (gm^{-2})	子実収量 (gm^{-2})	リットル重 (g)	千粒重 (g)	子実タンパク 質含有率 (%)
						倒伏	赤さび病	うどんこ病	赤かび病					
北系春771	6.24	8.04	74	9.0	433	0.0	0.0	2.0	1.0	1150	459	782	38.2	13.7
北系春772	6.27	8.05	75	8.6	462	0.0	0.0	2.7	1.0	1155	505	791	45.2	13.0
北系春773	6.26	8.05	76	8.5	445	0.0	0.0	2.7	1.0	1199	510	804	40.4	13.7
北系春779	6.24	8.03	70	8.3	478	0.0	0.0	2.7	1.0	1068	460	801	40.4	12.4
春よ恋	6.22	8.01	87	8.5	457	0.5	0.0	2.0	1.0	1348	603	829	41.8	12.7
ハルユタカ	6.21	8.01	79	8.8	383	0.0	0.0	3.0	1.7	1171	489	819	41.4	12.6
有意性	**	**	**	*	ns	—	—	—	—	ns	ns	**	**	**
有意差(5%)	1	2	10	0.7	ns	—	—	—	—	ns	ns	13	2.5	0.9

有意性の*および**は各々5%, 1%水準で有意, nsは有意差なしを示す。有意差はTukey法(Student化された範囲Qと標本標準偏差との積)により, %は有意水準を示す。諸障害は0(無)~5(甚)の6段階評価。

第 5 章 総合論議

第 1 節 初冬播栽培の意義

コムギの播種期に関しては、古くからその収量性や品質特性を最大限に発揮させる観点だけでなく、さまざまな観点から論じられてきた。例えば、北海道における秋播コムギの晩播限界に関する古い成績では、前作物と労働力を犠牲にしてまでもコムギを適期に播種する必要はない、と結論付けている（北海道 1964）。西南暖地におけるコムギの冬期播種は、水田利用再編に伴う各種作物、特に路地野菜や晩生ダイズとの輪作を想定した（江口ら 1984b）。東北地方におけるコムギの冬期播種は、水稻やダイズの収穫期との作業競合の回避、およびコムギの越冬前の管理作業の省略を目的としている（荻内ら 2004）。これらの研究ではいずれも、播種期がコムギ本来の特性に基づく理由ではなく、経済性、労働力配分、当時の農政の動向など、農家経営全体の観点で検討されている。中でも、コムギは通常冬作物であることから、前作物が限られることが最大の問題としてあげられている。

その点、北海道における春播コムギは、前作物を選ばない、という大きな利点を有する。また、国産コムギの中では稀な製パン適性を有することから、需要が多く増産が期待されている。その一方で、生育期間が短いことによる低収量、熟期が遅いことによる雨害や病害の多発という栽培上の大きな欠点を有している。

このような状況下で、春播型コムギ品種の初冬播栽培が現場で考案された（佐藤ら 1989、佐々木ら 1991）。初冬播栽培の播種時期にはほぼすべての作物が収穫済みであることから、前作の問題は生じない。また、本研究でも示したとおり、初冬播栽培が成功すると、春播栽培に比べ、融雪直後より生育が開始され生育期間の延長されることから多収となり、かつ早熟化が図られることから、雨害による穂発芽や、赤かび病を回避する可能性が高まる。このように、春播型品種の初冬播栽培は、春播コムギの安定供給を可能にする画期的な技術である。古くから、春播コムギの多収には早期播種が有効とされているが（北海道農事試験場 1920、渡辺 1938、北海道 1954、北海道 1987、日本土壤肥料学会北海道支部 1987、水落 1990、佐藤 2003）、その意味では、初冬播栽培は春播コムギにおける「究極の早播栽培」といえよう。

第 2 節 初冬播栽培における不安定要因

このように、初冬播栽培は成功すれば利益の大きい技術であるが、越冬とその後の生育が不安定な場合があり、安定生産を目指す上での問題となっている。環境要因面での不安定性の第 1 点には土壌の凍結があげられる。新発田・沢田（1989）および沢田ら（1991）は、十勝のような土壌凍結地帯では初冬播栽培が難しいことを示した。この技術が安定的に可能であるのは、土壌が冬期間凍結することのない道央の多雪地帯である。積雪下の地面の温度は、積雪が 50cm 程度あれば外気温が零下 10℃に低下しても 0℃程度で保たれるとされているが（大沼 1974）、本研究においても、第 3 章第 1 節で示したように、土壌が凍結しない多雪地帯では積雪下での地温が 0℃を下回ることがなかった。このように、初冬播栽培は雪の断熱効果を利用して、低い外気温より植物体を保護し、積雪下で発芽および成育を進める技術である。

不安定性の第 2 点は、土壌の種類の影響である。第 3 章第 2 節では、初冬播栽培における越冬個体率とその後の生育は土壌の種類によって異なることを示した。この変動理由は明確な説明が困難であった。しかしながら、初冬播栽培の現況をみると、石狩・空知・上川地域の沖積土系や改良泥炭土系の圃場では土壌が主因となる失敗例が少なく（石狩中部地区農業改良普及センター 2005）、これらの地帯ではほぼ問題がないものと考えられる。むしろ、これらの土壌では、耕起時の土壌練り返しによる生育不良が問題となる場合があるので、播種法や耕起法に留意する必要がある。また、それ以外の土壌や地域では、小規模な試作を行って適否を確認してから大規模な栽培に移行する必要がある。

第 3 節 越冬性改善を主眼とした春播型コムギの品種改良の可能性

新たな栽培法がそれに適する品種を必要とすることについては言を俟たない。しかし、品種改良には時間を要することから、新たな栽培法に品種が追いつくのは通常かなりの時間が必要である。例えば、西南暖地におけるコムギの早播栽培をみると、従来の品種を早播した場合幼穂分化も早まるため凍霜害が問題となったが（江口ら 1984a）、その解決には秋播性程度が高くかつ出穂期が早い「イワイノダイチ」の育成まで時間を要した（藤田 1997、

田谷ら 2003)。また、千葉県における水稻の湛水直播栽培では、作物の管理法として酸素供給資材の種籾への粉衣や、それに適した施肥技術等が先行したが、出芽時の土壌の還元状態に耐える品種の開発が進んでいない(深山 2002)。

北海道における春播型コムギ品種の初冬播栽培において、最大の隘路となっているのは、播種適期が狭いこと、またその時期の気象条件や土壌水分が播種に不適な場合が多いことである。このことに対しては、栽培面からは耕起・播種一体型機械の開発(渡辺ら 1992)や、雪上播種による晩播(沢口・宮本 1997)、発芽抑制剤の使用による早播(沢口・佐藤 2001)などが示されているが、本研究では品種改良の面からの解決を図った。第3章第1節で示したように、根雪前に出芽した場合「ハルユタカ」等の春播型品種では枯死することが多く、従来の品種では播種早限を早めることが不可能であった。一方で、「チホコムギ」等の秋播型品種では根雪前に出芽に至っても越冬が可能であった。また、吉田ら(1994)は春播型品種の越冬性に品種間差があることを見出している。これらのことから、播種早限の前進化について品種での対応が可能であるかを検討した。具体的には、春播型品種に越冬性を付与することを計画し、秋播型品種と春播型品種を交配し、初期世代で根雪前に出芽する時期に播種して、越冬性の劣る個体を淘汰した。加えて、中期世代では春播栽培と初冬播栽培を比較しながら選抜した。その結果、第4章第1節では越冬性が低温要求性と必ずしも一致していないことを明らかにし、越冬性が高く春播栽培でも出穂可能な系統を選抜した。さらに第4章第2節で、選抜系統の越冬性と生育および収量性を明らかにした。このうち1系統(「北系春 779」)は、秋播型品種並の越冬性を有しており、かつ、春播栽培を行っても出穂し、成熟した。

ただし、選抜系統は弱い低温要求性を有するため、春播栽培では出穂期がやや遅かった。また、交配親の特性から、春播コムギの生産にとって大きな障害となる穂発芽(土屋 1992, 中津 2000)と赤かび病(佐藤ら 1996, 相馬ら 2003)に対する抵抗性が期待できなく、かつ選抜系統の品質に対する検討は不十分である。初冬播栽培では、収量性を考慮すると前述のとおり多肥体系となることから、うどんなどの日本めん用より製パン用の特性が望まれると考えられる。今後、これらの選抜系統に穂発芽耐性、赤かび病抵抗性、製パン性を付与する品種改良を推進することで、早急に品種面での初冬播栽培の安定化を進める必要がある。

以上のように、根雪前に出芽した場合の越冬性について、

低温要求性と耐凍性の関与が考慮され、選抜系統は春播栽培で出穂するもののいずれも弱い低温要求性を有していた。この場合、春播栽培を行うと出穂の遅れを伴うことから、初冬播栽培と春播栽培の兼用品種としての利用がやや困難となる。春播栽培での出穂が遅れないようにするためには、狭義の早晩性を早くすることが必要と考えられるが、この場合には初冬播栽培においては積雪下で春化されるため、越冬後は生育量が不足し収量性を伴わないことが予想される。Dyckら(2004)は、感光性に関する同質遺伝子系統を用いた試験を行い、北米の高緯度地帯では感光性を持つことが生育量の確保と多収に有利であることを示した。本研究での選抜系統は感光性がないことが示唆されたことから、今後の初冬播および春播栽培兼用の実用品種選抜のためには、一定の栄養成長を行えるように感光性をもたせる戦略が考えられよう。

第4節 初冬播栽培における高品質安定多収栽培法

今後の初冬播栽培に対応した品種の具備すべき形質として、根雪前に出芽しても越冬性が高いことを示したが、このような品種が農家で栽培されるまでにはなお時間を要する。当面は、現行の品種において初冬播栽培の高品質安定多収栽培法を確立することが喫緊の課題である。しかも、このような基本的な栽培法は、新しい品種が開発されても応用が可能と考えられる。

第一に、現行の品種において安定的に出芽に至らず越冬可能な播種早限を見出すことが重要である。初冬播栽培では根雪始の直前に播種する必要があるが、根雪始は年次変動が大きく、当年の根雪始を予測するのは困難である。そのため、暦日で播種期が決定できる目安を示す必要があった。本研究では、第2章第1節において、出芽までに必要な気温が平均で115℃であることを明らかにした。また、過去の気象データと照らし合わせ、播種早限の目安が、平年の根雪始が11月30日までの地区ではその20日前、同じく12月1日以降の地区では11月11日であることを示した。さらに、この推定は、記録的な高温年(1990年)以外ではほぼ妥当であることを明らかにした。このことにより、暦日による計画的な播種作業が可能となった。

播種日が設定されると、次に播種量を考慮する必要がある。これについては、沢口・佐藤(2001)が、越冬後に m^2 あたり178個体以上確保する必要があること、そのための播種量は越冬個体率を勘案して決定する必要がある

ること、条播で覆土を行うドリル播栽培を想定した条件では m^2 あたり 445 粒が目安となることを示した。この量は、春播栽培の標準量である m^2 あたり 340 粒（北海道 1962）と比較すると、播種量としては多いが、必要な立毛個体数としては少ない。北海道における秋播コムギの播種量は m^2 あたり 255 粒（鈴木ら 1998, 土屋ら 1999）、早期に播種できる場合などは m^2 あたり 170 粒でよい（宮本ら 1989, 鈴木ら 1998）とされており、初冬播栽培で越冬後に必要な個体数はこの数に近い。それでも多収を得ることができるのは、有効茎歩合が高く穂数が多く確保されることと（沢口・佐藤 2001）、第 2 章第 2 節に示したように、生育の前進による低温化が栄養成長および生殖成長期間の延長と良好な登熟環境をもたらすことにより、地上部重、収穫指数、千粒重が高まるためと考えられる。なお、越冬後の個体数が多すぎる場合は、倒伏が増加するため（佐藤ら 2004）、過度な量の播種は慎むべきである。

以上の条件を前提として、高品質多収を得るための栽培法について、本研究では主に窒素施用法を検討した。その結果、第 2 章第 2 節では初冬播栽培では春播栽培と比較して多収となることから窒素増肥が必要であること、その方法は倒伏軽減と子実タンパク質含有率の向上の面で融雪直後と止葉期の分施体系がよいことを明らかにした。また第 2 章第 3 節ではこの分施体系が製パン品質も高めることを示した。これらのことから、「ハルユタカ」程度の耐倒伏性を有する品種を用いた場合の初冬播栽培における窒素施用法を次のとおり策定した。窒素量は、生育期間の前進・延長と低温化による生育および登熟条件の好適化により春播栽培より増肥する必要がある、 $13\text{g}\text{m}^{-2}$ 以上とする。その施用方法は、融雪直後に春播栽培の標準量（北海道 2002）並ないしやや多めである窒素 $7\sim 10\text{g}\text{m}^{-2}$ を施用することにより生育量を確保し、止葉期に窒素 $3\sim 6\text{g}\text{m}^{-2}$ を施用することにより更なる多収と子実タンパク含有率の向上を得ることができる、分施法とする。

従来の春播栽培では、窒素分施は収量面での効果が小さいとされていたが（日本土壤肥料学会北海道支部 1987）、初冬播栽培においては、生育期間が延長することから、秋播コムギの例と同様に（水落 1990, 佐藤ら 1994, 武田ら 1994, 八田ら 1995, 土屋ら 2001）分施でも増収効果が認められた。分施体系では倒伏が軽減され、子実や粉のタンパク質含有率の向上効果も大きいことから、初冬播栽培においてパン用コムギの安定多収生産を目指す上での基本的な施肥法として位置づけられよう。しかしながら、分施体系は多労となることから、今後は分施

作業軽減のために緩効性肥料を用いることなどを検討する必要がある。

第 2 章第 3 節では、初冬播栽培による生産物は春播栽培の生産物に比べ雨害などによる品質低下を受けにくいことが示唆された。北海道における春播コムギの品種改良では、製パン品質の向上と、雨害回避が主要目標であった。まず、パン用良質育種の歴史を概観すると、製パン適性とタンパク質（またはグルテン）含有率、粉質（硬質結晶粒子、硝子率）、沈降価（麴質膨潤試験、タンパク質の酸中膨張、セディメンテーション・バリュウ、SV）、灰分との関係は古くから知られていた（池田 1937）。硬質の春播コムギ品種「農林 35 号」は、硝子率が高く、酸中膨張が高く、硬質結晶粒子が多かった（舟茂 1938）。1961 年に全国的に品質強化の育種センターが配置され、この成果として北海道の春播コムギでは「ハルヒカリ」が選抜された（長内ら 1967）。その後、パン用良質コムギの選抜法として北海道で行われてきたのは、ファリノグラム形質（長内・伊藤 1965）、比重選（佐々木ら 1967）、沈降価（佐々木・長内 1969, 佐々木・長内 1970）などであった。しかしながら、この間に育成された「ハルミノリ」（長内ら 1970）や「ハルユタカ」は、どちらかといえば多収が特徴で、品質的には不十分であった。近年は近赤外分析計（夏賀 1994）で子実タンパク質含有率が非破壊により簡易に測定できるようになった。また Payne ら（1987）の研究によって子実の貯蔵タンパク質であるグルテニンの組成と製パン適性との関係が明らかになり、北海道内でもこれらと生地物性（中道ら 2000）や製パン性（田引ら 2000b）との関係が報告されている。加えて、沈降価の改良法（Takata ら 1999）や少量製パン法が選抜に利用され、これらの結果により「春のあけぼの」や「はるひので」（田引ら 2002）、「春よ恋」など、「ハルユタカ」に比べ明らかに良質な品種が選抜されてきた。このように、品種の製パン品質の向上は着実に成果を上げてきた。

他方で雨害回避に関しては、成熟期の前進化と穂発芽耐性の向上で対応してきた。その歴史を概観すると、「農林 29 号」は「農林 3 号」に比べ成熟期が 1 週間程度早く、このことが雨害の回避に大きな役割を果たした（舟茂 1938）。「農林 35 号」は「農林 29 号」に比べ成熟期が 1 日程度早く、能力的にも製パン品質が良好であるが、成熟後降雨に遭遇したものは著しく製パン品質を落とすこととなり注意を要する、とされており（舟茂 1939）、「農林 75 号」（楠 1949）や「ハルヒカリ」、「ハルユタカ」でも同様の注意がなされている。ところが、「農林 29 号」と「ハルヒカリ」の成熟期はほぼ変わらず（長内ら 1967）、

「ハルヒカリ」と「ハルユタカ」を比べると後者は2日遅いとされる（尾関ら 1988）。これらのことから、成熟期の前進化による雨害回避は「農林 29 号」以降進んでいないといえる。一方、穂発芽耐性の向上では、「春のあけぼの」は「ハルユタカ」に比べ大幅に耐性が向上した（田引ら 2000a, 中津 2000）。しかしながら、北海道の登熟環境は後半に高温で降水量が多くなり、特に春播コムギは秋播コムギに比べ登熟期間が休眠形成に不利な高温におかれることから（桑原・前田 1979）、現実的には「春のあけぼの」以上の抵抗性が必要であろう。

以上のことから初冬播栽培による生産物の品質をみると、出穂期の前進化により低温で登熟することから休眠が確実に形成され、加えて成熟期が早まることによって雨害に遭う確率を下げるという2つの側面がある。さらに、品質面での問題となる赤かび病に関しても、初冬播栽培は春播栽培に比べて発生が少なく、かび毒も少ないことが報告されている（相馬ら 2003）。このように、初冬播栽培では従来の春播栽培で問題となったさまざまな障害を回避でき、品種の持つ品質の能力を最大限に発揮させる可能性を持つ栽培法である、といえよう。

第5節 結 語

春播コムギの作付面積に占める初冬播栽培の割合は、2000 年産ではわずか 1.1% しかなかったが、2005 年産では 20.0%（全 7,210ha のうち 1,445ha、北海道農業共済組合連合会調べ）にまで拡大した。高齢化が進み農業の

担い手不足の状況下では、10a あたりの労働時間が 2 時間を切る省力的な作物であるコムギは、今後ますます北海道農業に欠かすことができない作目となろう。このような見通しの中で北海道のコムギ作の将来を見据えると、初冬播栽培が安定化されることにより、秋播～初冬播～春播と、コムギを播種する機会が連続する。このことは、コムギ作の安定化にとつての選択肢が増加し、前作の制約や播種時の気象変動などを克服できる可能性が広がることを意味する。春播コムギの作付面積はその時々々の農業情勢に応じて変化しているが、初冬播栽培の適地である石狩および空知地域では、春播コムギ作付面積の半分程度が初冬播栽培となることにより、収穫時期の雨害リスクが分散され、実需者から強く要望されている製パン用コムギの安定的な確保が容易となるであろう。

本研究では、初冬播栽培について春播型品種の面から追求したが、今後、岩手県における例（荻内ら 2004）のように、この栽培法に対して秋播型品種からの取り組みも必要であろう。秋播型品種の初冬播栽培は、越冬性での優点があるが、秋播型品種からみれば極晩播となり、本研究でも示したとおり収量性等に問題がある。しかしながら、その品種間差や極晩播時の多収化に向けた理論構築に関する知見は少ない。また、初冬播栽培が不適とされる地域での安定性向上に向けた取り組みも重要であるし、本研究で選抜した系統の更なる改良も必要である。これらの取り組みにより、北海道のコムギ作が新たな展開を見せる日が来ることを期待する。

摘 要

北海道における春播型コムギ品種の初冬播栽培技術は、コムギ種子を根雪の直前に播き、積雪下で発芽させ、融雪直後より生育を開始させる栽培法である。この栽培法は、古くは 1930 年代に試験された記録があるが、1980 年代中盤に、秋播コムギの連作と春播コムギの低収に悩む現地で再発見され広まった。本研究の目的は、春播型コムギ品種の初冬播栽培の安定技術を開発することである。第一に、現行の春播型品種を用いた初冬播栽培において、播種期および窒素施用法、生産物の品質を検討し、高品質安定多収栽培法を明らかにした。次に、越冬性の変動要因に関して、春播型品種が根雪前に出芽した場合に越冬が不安定であること、土壌により越冬性や生育に差があることを明らかにした。さらに、越冬の不安定性を克服するために、越冬性の高い春播型コムギ系統を選抜した。その概略は以下のとおりである。

1. 初冬播栽培における高品質安定多収栽培法の策定

(1) 安定的に越冬できる播種期の設定

越冬性を有さない従来の春播型品種を初冬播栽培した場合、根雪前に出芽すると越冬率が低下するため、安定的に出芽せずに越冬できる播種期を検討した。播種は 10 月から 11 月にかけて 3 ヶ年 2 場所で 25 例行った。その結果、播種が早かった 11 例で根雪前に出芽に至った。初冬播栽培において播種から出芽までに要する積算地温は平均 140°C 、同じく積算気温は平均 115°C であり、過去の気象経過を勘案すると、安定的に越冬可能な播種早限を、平年の根雪始の約 20~25 日前と設定した。

(2) 窒素施用法

多収と高い子実タンパク質含有率を両立させるための窒素施用法を、融雪期のみの施用（融雪期施用区）および融雪期と止葉期の分施（止葉期分施区）について検討した。その結果、同一窒素量（窒素 $10\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ）で比較すると、初冬播栽培は春播栽培と比べ窒素吸収量では大差がないものの、生育量および収穫指数が優るため多収となったが、子実タンパク質含有率が低かった。初冬播栽培で窒素を増肥すると、窒素吸収量および地上部重が増加し、収穫指数も漸増したため多収となり、子実タンパク質含有率も高まった。止葉期分施区は、同一窒素量条件では融雪期施用区よりもやや収量が低かったものの子実タンパク質含有率は高かった。以上のことから、高いタンパク質含有率が望まれる春播コムギの用途を考慮した

場合、初冬播栽培では窒素施用量を $13\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上に増肥する必要がある。倒伏発生の危険性を考慮すると、その施肥法は、融雪直後に窒素 $7\sim 10\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ を施用することにより生育量を確保し、止葉期に窒素 $3\sim 6\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ を施用することにより更なる多収と子実タンパク質含有率の向上を得る、分施肥がよいものと推察された。

(3) 製パン品質

窒素施用法が初冬播栽培したコムギの製パン品質に及ぼす影響について検討した。その結果、融雪期施用区で窒素施肥量の効果をみると、粉タンパク質含有率は窒素 $13\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上の区で高く、ほぼ春播対照区並となった。粉色の明度を示す L*値は、窒素施用量が多くなるに従って低下する傾向がみられたが、いずれも春播対照区よりも高かった。パン比容積は、窒素施用量が多くなるに従って粉タンパク質含有率とともに高まる傾向がみられた。止葉期ないし出穂期の窒素分施により粉タンパク質含有率の上昇、粉の明度（L*値）の低下、ファリノグラム生地形成時間の延長、およびパン比容積増大の傾向がみられた。また、分施肥が多いほど粉タンパク質含有率は高まった。以上のことから、春播コムギの初冬播栽培において、総窒素施用量 $13\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上、融雪期 $7\sim 10$ 、止葉期 $3\sim 6\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ の窒素増肥および分施肥体系は、粉タンパク質含有率と製パン用としての品質を高め、多収と高品質を両立できる技術であると判断された。

2. 初冬播栽培における越冬性の変動要因

(1) 根雪前出芽と越冬性との関係

中央農試圃場において積雪下の地温を測定したところ、 0°C を下回ることがなかった。秋播型品種を含めた品種間差を検討した結果、コムギが根雪前に出芽し 1~2 葉程度に生育した場合、「チホクコムギ」などの秋播型 2 品種は高い割合で越冬したのに対し、「ハルユタカ」などの春播型 3 品種は年次間差が大きく、越冬が不安定であった。春播型品種が出芽した場合の越冬性は、根雪直前の平均気温が高い場合に劣った。一方、根雪前に出芽しない場合、秋播性程度にかかわらず比較的高い割合で越冬した。

(2) 土壌の違いによる越冬性と生育の変動

土壌が越冬性と生育に及ぼす影響について、12 種類の土壌を充填した柰圃場で調査した。その結果、越冬個体率は、2 種の火山性土および 2 種の台地土において年次

変動が大きかった。穂ばらみ期の生育指数（草丈と茎数の積）は、成熟期の地上部重と密接な関係があった。成熟期の地上部重は、長沼沖積の 1022 gm^{-2} から羊蹄ロームの 461 gm^{-2} に大きく変異した。地上部重が軽かったり年次変動が大きかった土壌は、火山性土や台地土に多かった。

3. 越冬性の優れる春播型コムギ系統の育成

(1) 晩秋播栽培による越冬性の選抜

初冬播栽培の播種適期を拡大するために、春播型品種に越冬性を付与し、積雪前に出芽しても枯死しない系統の選抜を試みた。秋播型品種と春播型品種の交配を行い、 F_2 および F_3 世代において、春播栽培と、根雪前に出芽する晩秋播栽培（10 月中・下旬の播種）を組み合わせで養成した 4 集団より選抜した系統について、その越冬性と出穂性を調査した。 F_4 世代の春播栽培での出穂始をみると、 F_2 世代で晩秋播を行った集団の後代で出穂が遅れ、出穂に至らなかった系統が多かった。 F_5 世代の晩秋播の越冬

個体率は、 F_2 世代で春播栽培を行った集団の後代で低かった。選抜系統で初冬播栽培と春播栽培との出穂始を比較すると、初冬播栽培では「ハルユタカ」より出穂始が早いものが多かったが、春播栽培では遅いものが多く、得られた系統の多くは弱い低温要求性を有していると推察された。

(2) 選抜系統の評価

前項で選抜した材料の中から 4 系統について、晩秋播および春播栽培を行い、越冬性、生育および収量を調査した。その結果、晩秋播における越冬性は、4 系統とも「ハルユタカ」より高く、うち 1 系統（「北系春 779」）では秋播型品種「ホクシン」と同程度に高かった。また、いずれの系統も春播栽培を行っても出穂し、成熟した。これらのことから、越冬性が高い春播型系統を得る目的は達成された。今後、その実用化に向けては品質や耐病性などを改良する必要がある。

Studies on the Cultivation of Spring Wheat Seeded in Early Winter in Hokkaido

Michinori SATO

Summary

One of the methods of cultivation of spring wheat (*Triticum aestivum* L. ssp. *vulgare* (Vill.)Thell.) is to sow the seeds in early winter just before snow covers the ground, and let seeds germinate under the snow and regrow after snow melts. The record for this method of spring wheat cultivation dates back to 1930's, though it was not practiced in general. Troubled by the low yields of the spring-sown wheat and due to the soil-borne diseases of continuous cultivation of winter wheat, sowing of spring wheat in early winter was reattempted by the agricultural extension advisers in 1980's. I analyzed the problems associated with early winter-sown spring wheat so as to make this cultivation method a practicable technology. I examined the effect of sowing dates and nitrogen application on yield and the quality of the produce of conventional spring wheat varieties. I found that the survival of the wheat crop during winter depended on the growth habit of the variety and the soil type. I selected lines that could survive during winter so as to get stable high yield of good quality from early winter-sown spring crop.

1. Sowing-date trials

In the 3 years, 2 locations (Hokkaido Pref. Central Agric. Exp. Stn. (Central Stn.) and Hokkaido Pref. Kamikawa Agric. Exp. Stn. (Kamikawa Stn.)), 3 to 5 sowing dates from October to November by 10 days interval trials (total 25 trials) with conventional spring wheat cultivar "Haruyutaka", plants had emerged in 11 trials sown at the earlier date. The mean values for accumulated soil temperature and accumulated air temperature from sowing to plant emergence under early winter sowing was 140 °C and 115 °C, respectively. Based on the results of the trials and climate records of central Hokkaido, I suggest that the earliest sowing time for winter-sown spring wheat could be about 20-25 days before the average date of continuous snow cover.

2. Nitrogen trials

In these trials effects of N doses and their time of application to early winter-sown spring crop were examined. The trials were examined in 2 to 3 years, 1 location (Central Stn.), November sowing, 1 to 2 cultivars ("Haruyutaka" and "Haruno-akebono"). In total 0-16g Nm⁻² was applied either in a single dose just after snow melting, or in two split doses, first just after snow melting (4-13g Nm⁻²) and second at flag-leaf emergence stage or heading stage (3-6gNm⁻²).

(a) Effect on grain yield and grain protein content: The crop sown in early winter showed nearly the same N absorption as those sown in spring, when in total 10g Nm⁻² was applied, which is optimum for spring-sown crop. But early winter-sown crop had higher biomass and higher harvest index resulting in higher yield than those sown in spring. The increase in N supply to the crop sown in early winter increased N absorption, biomass, harvest index, yield and protein content. When N was applied in split doses, the yield was lower but the protein content was higher than in the crop supplied with the same amount of N in a single dose. However, to avoid plant lodging and thereby increase grain yield and protein content, the application of 7-10g Nm⁻² just after snow melting and 3-6gNm⁻² at the flag-leaf emergence stage was better than the single dose application.

(b) Effect on bread-making quality: In the single dose dressing, the application of more than 13g Nm⁻² increased the flour protein content and the ratio of loaf volume, but decreased the flour brightness. The flour brightness in this case,

however, was still better than that of in the spring-sown crop (control). Application of N at the flag-leaf emergence stage or heading stage increased the flour protein content, dough development time of farinogram and the ratio of loaf volume, but decreased the flour brightness.

The results thus showed that the application of increased amount of N as a split dose to early-winter sown spring crop increased not only grain yield and protein content but also improved the bread-making quality.

3. Survival of early winter-sown crop

(a) Effect of germination stage on crop survival during winter: At the experimental site (Central Stn.), the soil temperature under the snow was not lower than 0 °C in the field. In the 3 years, 1 location (Central Stn.) trial with the spring and winter wheat varieties (3 spring wheat “Haruyutaka”, “Haruno-akebono” and “Roblin”, 2 winter wheat “Tohoku 199” and “Chihoku-komugi”) under these conditions, when the plants had emerged and grown to 1-2 leaves stage before continuous snow-cover, 2 winter wheat varieties had higher survival rate than 3 spring wheat varieties. Spring wheat varieties showed a large year-to-year variation for survival during winter. In the 3 to 9 years, 2 locations (Central Stn. and Kamikawa Stn.), 1 to 5 sowing dates in October to November trials, high temperature just before snow-cover adversely affected the survival of spring wheat varieties. However, when the plants had not emerged before continuous snow-cover, all varieties had high survival rate.

(b) Effect of soil type on crop survival and growth: In 2 years, 1 location (Central Stn.) trials, 12 types of soil filled in frames (1m square, 0.5m depth, and 5 replications each) were tested for their effects on crop survival during winter and subsequent growth. 2 types of volcanic soil and 2 plateau soils showed a large year-to-year variation for survival of the plants during winter (Coefficient of variation: 42.0% in Tarumae-a volcanic soil, 21.9% in Usu-b volcanic soil, 16.3% in andesitic plateau soil, 15.4% in Yuni diluvium). The growth index (plant height by stem number) at booting stage had close relation with plant weight at maturity. The plant weight varied from 1022g m⁻² (Naganuma alluvium) to 461g m⁻² (Mt. Yotei loam). The year-to-year variation in plant weight was mainly observed in volcanic or plateau soils.

4. Breeding for winter-surviving spring wheat

(a) Selection of winter-surviving spring wheat: In order to select for spring wheat lines suitable for early-winter sowing, a cross was made between winter wheat (“Kitami 71”) and spring wheat (“Roblin”). In the F₂ and F₃ generation, the populations were divided and planted in 2 times, spring and late autumn (mid to late October so that plants emerge before the continuous snow-cover), respectively. And in F₄ generation, the 800 ear-to-row lines derived from 4 populations (F₂-spring-F₃-spring, F₂-late-autumn-F₃-spring, F₂-spring-F₃-late-autumn, F₂-late-autumn-F₃-late-autumn, 200 lines in each population) were planted in spring. These were evaluated for heading time and survival during winter. The heading time of the spring sown F₄ ear-to-row lines derived from late-autumn-sown F₂ populations, was late, and some lines did not head at all. Winter survival rate of late-autumn-sown F₅ lines derived from spring-sown F₂ populations, was low. Most of the selected lines headed earlier than the cultivar “Haruyutaka” under early winter sowing, but later in spring sowing. The selected lines thus may have some winter habit.

(b) Evaluation of selected lines: Four selected lines were planted in late autumn and spring, and evaluated for survival during winter, plant growth and grain yield. All of these lines had higher survival rate than the cultivar “Haruyutaka” when sown in late autumn. One line “Kitakei-haru 779” had almost the same survival rate as the winter wheat cultivar “Hokushin”. All the 4 lines could also head and mature under spring-sown conditions. Thus some success could be achieved in developing winter-surviving spring wheat.

謝 辞

本研究を取りまとめるにあたり、終始懇切なご指導とご校閲をいただいた北海道大学大学院農学研究科教授の岩間和人農学博士に深謝する。また、ご校閲の労をいただいた北海道大学大学院農学研究科教授の幸田泰則農学博士、佐野芳雄農学博士、同じく助教授の阿部純農学博士、および英文のご校閲をいただいた客員教授の Dr. Jai Gopal に深謝する。さらに、本研究の取りまとめのきっかけを与えていただき、詳細なご指導とご校閲をいただいた元北海道立中央農業試験場作物開発部長・天野洋一農学博士に感謝申し上げます。

初冬播栽培は、元檜山南部地区農業改良普及センター所長の佐々木高行氏、および元北海道総括専門技術員の佐藤久泰博士が再発見された技術である。このお二人なしには本研究は存在しなかった。また、北海道のコムギ研究を脈々と積み重ねてきた多くの先人に敬意を表する。

本研究テーマを与えていただいた元北海道立中央農業試験場畑作部長・故佐々木紘一氏、元畑作部主任研究員・浅間和夫氏、元畑作第二科長・今友親氏にお礼申し上げます。また、元滝川畜産試験場長・國井輝夫氏、元畑作部畑作第二科長・土屋俊雄氏（現北海道立植物遺伝資源センター研究部長）および現作物開発部主任研究員・吉良賢二氏には、懇切なご指導とご校閲をいただいた。さらに、終始温かい励ましとご指導をいただいた歴代の畑作部長・土屋武彦農学博士、佐々木宏氏、大槌勝彦氏、歴代の作物開発部長・吉田俊幸氏（現北海道立北見農業試験場長）、新橋登農学博士、および歴代の畑作部主任研究員・村上紀夫農学博士、越智弘明氏（現北海道立植物遺伝資源センター主任研究員）、元畑作部畑作第二科長・白井滋久氏（現北海道立十勝農業試験場主任研究員）、

歴代の作物開発部畑作科長・白井和栄氏（現北海道立十勝農業試験場作物研究部長）、田中義則氏に感謝申し上げます。

本研究の主要部分は北海道農業協同組合中央会からの受託試験として、北海道立上川農業試験場と共同で実施した。元担当者の沢口敦史氏（現十勝農業試験場てん菜畑作園芸科）からは快くデータの提供を受けた。本研究のサンプル分析には、同じ職場でコムギの研究にあたった中津智史博士（現北海道立十勝農業試験場栽培環境科長）、安積大治氏（現北海道立中央農業試験場企画情報室主査）、奥村理氏（現北海道立中央農業試験場農産品質科長）に絶大なご協力いただいた。また、製パン試験法は北海道立食品加工研究センターの山木一史氏にご指導いただいた。元九州農業試験場麦育種研究室の平将人氏（現東北農業研究センター）には種子を分譲していただいた。コムギ試験全般に関して、北海道立北見農業試験場小麦科の柳沢朗前科長（現北海道立北見農業試験場技術普及部次長）、吉村康弘科長をはじめ科員の諸氏からさまざまなご指導やご示唆をいただいた。圃場試験においては、北海道立中央農業試験場総務部管理科の諸氏のご協力をいただいた。畑作第二科や畑作科の同僚には研究遂行に当たって励ましをいただき、中でも、鈴木孝子氏（現北海道立中央農業試験場遺伝子工学科）、佐藤仁氏（現北海道立十勝農業試験場専門技術員）には多大なご助力をいただいた。産業クラスター「江別麦の会」の皆さんとは、初冬播栽培の普及にあたりさまざまな取り組みを行うことができた。以上の関係された各位に篤くお礼申し上げます。

最後に、私の仕事を理解し、終始支えてくれた家族に感謝の気持ちをささげる。

引用文献

- 阿部二郎 1996. 作物の耐凍性の季節的变化. 低温生物工学会誌 42:1—5.
- 天野洋一 1987. 秋播小麦における耐凍性の育種学的研究. 北海道立農試報告 64:36—44.
- Andrews, J.E. 1958. Controlled low temperature tests of sprouted seeds as a measure of cold hardiness of winter wheat varieties. *Can. J. Plant Sci.* 38:1—7.
- Ayoub, M., S. Guertin, S. Lussier and D.L. Smith. 1994a. Timing and level of nitrogen fertility effects on spring wheat yield in eastern Canada. *Crop Sci.* 34:748—756.
- Ayoub, M., S. Guertin, J. Fregeau-Reid and D.L. Smith. 1994b. Nitrogen fertilizer effect on breadmaking quality of hard red spring wheat in eastern Canada. *Crop Sci.* 34:1346—1352.
- Baker, R.J. 1982. Effect of seeding rate on grain yield, straw yield and harvest index of eight spring wheat cultivars. *Can. J. Plant Sci.* 62:285—291.
- Baker, R.J., P.J. Pinter, Jr, R.J. Reginato and E.T. Kanemasu. 1986. Effects of temperature on leaf appearance in spring and winter wheat cultivars. *Agron. J.* 78:605—613.
- Campbell, A.B. 1967. Registration of Manitou wheat. *Crop Sci.* 7:406.
- Campbell, A.B. and E. Czarnecki. 1987. Roblin hard red spring wheat. *Can. J. Plant Sci.* 67:803—804.
- de Pauw, R.M., T.F. Townley-Smith, T.N. McCaig and J.M. Clarke. 1988. Laura hard red spring wheat. *Can. J. Plant Sci.* 68:203—206.
- Dubetz, S. 1977. Effects of high rates of nitrogen on Neepawa wheat grown under irrigation. I. Yield and protein content. *Can. J. Plant Sci.* 57:331—336.
- Dubetz, S., E.E. Gardiner, D. Flynn and A. Ian de la Roche. 1979. Effects of nitrogen fertilizer on nitrogen fractions and amino acid composition of spring wheat. *Can. J. Plant Sci.* 59:299—305.
- Dyck, J.A., M.A. Matus-Cádiz, P. Hucl, L. Talbert, T. Hunt, J.P. Dubuc, H. Nass, G. Clayton, J. Dobb and J. Quick. 2004. Agronomic performance of hard red spring wheat isolines sensitive and insensitive to photoperiod. *Crop Sci.* 44:1976—1981.
- 江口久夫・平野寿助・吉田博哉 1969. 暖地における小麦の良質化栽培に関する研究 (第2報) 3要素施肥量および窒素の施肥時期・施肥法と品質の関係. 中国農試研報 A17:81—111.
- 江口久夫・申萬均・広川文彦 1984a. 極早生小麦品種の安定多収栽培法. 中国農試研報 A32:17—34.
- 江口久夫・島田信二・佐藤淳一・金尾忠志・広川文彦 1984b. 冬期に播種した小麦の安定多収条件. 中国農試研報 A32:35—54.
- 藤田雅也 1997. 凍霜害回避型早生コムギに関する育種学的研究. 九州農試報告 32:1—50.
- 舟茂宣雄 1938. 春播小麦新優良品種「春蒔小麦農林二九號」の特性. 北農 5(12):580—584.
- 舟茂宣雄 1939. 春播小麦新優良品種「硬質春蒔小麦農林三五號」の特性. 北農 6(4):164—170.
- 後藤虎男 1975. 東北地方における麦類品種の發育過程について. 育種 25:221—228.
- Gotoh, T. 1977. Intermediate growth habit wheat lines developed from a cross between spring and winter types. *Japan J. Breed.* 27:98—104.
- 後藤虎男 1979. コムギの出穂性に関する生態学的ならびに遺伝学的研究. 東北農試研報 59:1—69.
- 橋本武 1983. 酸性土壌と作物生育. 養賢堂, 東京. 47—51.
- 八田浩一・伊藤誠治・星野次汪 1995. 後期追肥による小麦蛋白含量の増加. 東北農業研究 48:107—108.
- 平野寿助 1971. 小麦登熟期の遭雨による品質低下とその機作に関する研究. 中国農試研報 A20:27—78.
- 平岡博幸・渡辺治郎・唐澤敏彦・湯川智行 1996. 春播小麦の根雪前播種栽培における子実収量および粗蛋白含有量に及ぼす窒素施肥の影響. 日育・日作北海道談話会報 37:82—83.
- Hiraoka, T. and T. Kasubuchi. 1996. Soil moisture observations under different vegetations in a boreal humid climate. *J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour.* 9:233—239.
- 北海道 1951. 第57回 (昭和23年) 北海道統計書 第2巻. 北海道庁, 北海道. 51.
- 北海道 1954. 昭和29年度指導奨励上参考として資すべき事項. 北海道農務部農業改良課, 北海道. 26—28-3.
- 北海道 1962. 昭和37年度指導奨励事項ならびに参考事

- 項. 北海道農務部, 北海道. 99—105.
- 北海道 1964. 昭和 39 年度指導奨励事項. 北海道農務部, 北海道. 120—129.
- 北海道 1987. 昭和62年普及奨励ならびに指導参考事項. 北海道農務部, 北海道. 111—112.
- 北海道 2002. 北海道施肥ガイド. 北海道農政部, 北海道. 37—38.
- 北海道農事試験場 1905. 北海道農事試験場一覧. 北海道農事試験場彙報 1:1—25.
- 北海道農事試験場 1920. 小麦. 北海道農事試験場彙報 24:1—45.
- 北海道農事試験場 1927. 赤銹病抵抗性秋蒔小麦優良品種「赤銹不知一號」. 北海道農事試験場時報 49. 1—8.
- 北海道農業試験場 1967. 北海道農業技術研究史. 北海道農業試験場, 北海道. 162—194.
- 北海道農業試験場 1985. 北海道の土壌. 北海道農業試験場, 北海道. 58—69.
- 北海道立中央農業試験場 1993. 北海道土壌区一覧. 北海道立農試資料 21:102—105.
- 北海道立中央農業試験場 1995. 春播小麦品質収量の環境変動に関する三国共同研究報告書(第一次). 北海道立中央農業試験場, 北海道. 1—15.
- 北海道立農業試験場渡島支場 1958. 秋播小麦の播期と生育について. 農業技術普及資料 1(8):827—830.
- 北海道立総合経済研究所 1963. 北海道農業発達史 上巻. 北海道立総合経済研究所, 北海道. 299—355.
- 星川清親 1988. 新編食用作物. 養賢堂, 東京. 183—251.
- Hucl, P. 1995. Growth response of four hard red spring wheat cultivars to date of seeding. Can. J. Plant Sci. 75:75—80.
- 池田武 1995. 作物の生理・生態学大要. 養賢堂, 東京. 18—28.
- 池田利良 1937. 本邦小麦の製麵試験並びに麵粉用小麦の簡易鑑定法に就て. 農事試験場彙報 3:129—150.
- 石狩中部地区農業改良普及センター 2005. 解説 春まき小麦の初冬まき栽培. 石狩中部地区農業改良普及センター, 北海道. 10.
- 柿崎洋一・鈴木眞三郎 1937. 小麦に於ける出穂の生理に関する研究. 農事試験場彙報 3:41—92.
- Kato, K. and H. Yamagata. 1988. Method for evaluation of chilling requirement and narrow-sense earliness of wheat cultivars. Japan. J. Breed. 38:172—186.
- Kato, K. and S. Yamashita. 1991. Varietal variation in photoperiodic response, chilling requirement and narrow-sense earliness and their relation to heading time in wheat (*Triticum aestivum* L.). Japan. J. Breed. 41:475—484.
- 北川貴子・森下豊昭・橋泰憲・生井兵治・太田安定 1986. コムギのアルミニウム抵抗性の品種間差異と有機酸分泌. 日土肥誌 57:352—358.
- 小島邦彦・小池博・浦野元・大平幸次 1986. アルミニウム耐性を異にするコムギ2品種の川渡黒ボク土における生育. 日土肥誌 57:563—570.
- 近藤和夫・北原操一・和田道宏・吉田善吉 1982. コムギの登熟性に関する研究 第1報 登熟期間の温度がコムギの登熟に及ぼす影響. 東北農業研究 31:73—74.
- 黒崎正美 1951. 麦作改善の狙い —離乳期の生理を中心として—. 農及園 26:849—852.
- 楠隆 1949. 春播小麦新優良品種「春播小麦農林七五號」の特性. 北農 16(1):2—9.
- 楠隆・長内俊一 1954. 秋播小麦新優良品種「ホクエイ」(北栄). 北農 21(10):301—309.
- 楠隆・佐々木篤太・松本武夫・小林敏雄 1960. 畑地灌漑に関する研究 第1報 春播麦類に対する灌水試験成績. 北農 27(5):9—20.
- 桑原達雄・前田浩敬 1979. コムギの穂発芽抵抗性に関する研究 1. 登熟中の温度条件と休眠形成の関係. 育雑 29(11):26—27.
- 桑原達雄・阿部二郎・森山真久・入来規雄 1993. コムギの耐凍性関連形質の品種間変異および検定方法の検討. 育雑 43(別2):236.
- 松尾孝嶺 1941. 積雪下における冬作物の生育. 雪氷 3:60—65.
- McIntosh, M. S. 1983. Analysis of combined experiments. Agr. J. 75(1):153—155.
- 深山政治 2002. 日本作物学会 75 周年記念講演要旨〜現場に役立つ理論的・体系的研究への期待. 日作紀 71:425—428.
- 宮本裕之・関口明・今友親 1989. 十勝地方における「チホクコムギ」の播種期と播種量が生育・収量に及ぼす影響. 北農 56:8—21.
- 水落勁美 1990. コムギの多収穫に関する作物栄養生態学的研究 —西ヶ原と羊ヶ丘での経験—. 肥料科学 13:71—105.
- 長尾精一 1995. 小麦粉の種類と製粉. 小麦の科学. 朝倉書店, 東京. 62—76. (シリーズ食品の科学)
- 中道浩司・田引正・柳沢朗 2000. パン用小麦粉品質とグルテン構成の関係 第1報 小麦粉生地物性と HMW グルテニンサブユニット構成の関係. 日育・日作北海道談

- 話会報 41:55—56.
- 中津智史・渡辺祐志・奥村理 1999. 窒素施肥および収穫前の降雨が小麦品質に及ぼす影響. 日土肥誌 70:514—520.
- 中津智史 2000. 北海道における低アミロ小麦の発生とその要因に関する研究. 北海道立農試報告 93:1—60.
- 成田優子・栗原麻恵・嶋田徹・三浦秀穂 1996. コムギの耐凍性と春化反応性の関係. 日育・日作北海道談話会報 37:78—79.
- 夏賀元康 1994. 近赤外分光法による穀物の品質測定 第1報 近赤外分光法の基礎特性. 北大農邦文紀要 19(2):257—287.
- 日本土壤肥料学会北海道支部 1987. 北海道農業と土壤肥料 1987. 北農会, 北海道. 219—231.
- 農業研究センター 1986. 小麦調査基準 第1版. 農業研究センター, 茨城. 1—74.
- 農林省農業経済局統計調査部 1959. 昭和32年産主要夏作物および昭和33年産主要冬作物品種・苗代普及統計表. 農林省, 東京. 310—311.
- 農林水産技術会議事務局 1967. 大型機を中心とする秋播小麦栽培技術体系—北海道東部畑作地帯における—. 農林省農林水産技術会議事務局, 東京. 4—8. (地域標準技術体系 畑作 8)
- 農林水産技術会議事務局 1968. 小麦品質検定方法—小麦育種試験における—. 農林省農林水産技術会議事務局, 東京. 1—70. (研究成果シリーズ 35)
- 農林水産省総合食料局 2004. 食糧需給表 平成14年度. 農林水産省, 東京. 104—105.
- 荻内謙吾・高橋昭喜・作山一夫 2004. 岩手県地方における秋播性コムギ冬期播種栽培の播種適期と最適播種量. 日作紀 73:396—401.
- 大沼匡之 1974. 雪害. 新編農業気象ハンドブック編集委員会編, 新編農業気象ハンドブック. 養賢堂, 東京. 598—614.
- 折原直 2000. 日本の麦政策—その経緯と展開方向—. 財団法人農林統計協会, 東京. 1—211.
- 長内俊一・伊藤平一 1965. 小麦粉の製粉性とファリノグラム特性の遺伝力. 北農 32(7):1—2.
- 長内俊一・伊藤平一・米谷道保・佐々木宏 1967. 硬質春播小麦新優良品種「ハルヒカリ」. 北農 34(1):11—33.
- 長内俊一・佐々木宏・伊藤平一・米谷道保・上野賢司・尾関幸男 1970. 春播小麦新優良品種「ハルミノリ」. 北農 37(5):13—25.
- 尾関幸男・佐々木宏・天野洋一・土屋俊雄・上野賢司・長内俊一 1987. 小麦新品種「チホクコムギ」の育成について. 北海道立農試集報 56:93—105.
- 尾関幸男・佐々木宏・天野洋一・土屋俊雄・前野眞司・上野賢司 1988. 春播小麦新品種「ハルユタカ」の育成について. 北海道立農試集報 58:41—54.
- 尾関幸男 1992. 北海道小麦の歴史と現況. 農林水産省北海道農業試験場作物開発部監修, 道産小麦と小麦粉の将来. 北海道協同組合通信社, 北海道. 12—38. (ニューカントリー選書 2)
- Payne, P. I., M. A. Nightingale, A. F. Krattiger and L. M. Holt. 1987. The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. J. Sci. Food Agric. 40:51—65.
- 齋藤邦八 1939. 小麦の播種期及び幼植物時代の肥料要素欠乏と耐雪性との関係. 農及園 14:1527—1533.
- 佐々木宏・長内俊一 1969. 硬質春播小麦のパン適性と収量の選抜実験 第1報 選抜形質とパン適性. 北海道立農試集報 19:21—35.
- 佐々木宏・長内俊一 1970. 硬質春播小麦のパン適性と収量の選抜実験 第2報 選抜形質の統計量と選抜効果. 北海道立農試集報 20:61—72.
- 佐々木正剛 1948. 麦類の栽培. 柏葉書院, 北海道. 4—5. (北農叢書 20)
- 佐々木正剛・長内俊一・尾関幸男・野呂耕造・荒木博・米谷道保 1967. 良質小麦の育成方法, とくに育成環境と比重選の効果. 第2報 原粒性状と小麦粉の品質. 北農試彙報 91:14—25.
- 佐々木高行・岩泉允・斉藤浩 1991. 多雪地帯における小麦の初冬播栽培について. 北農 58:308—313.
- 佐藤暎子・小綿美環子・中村信吾・渡辺満 1999. コムギの製パン適性に及ぼす窒素追肥時期の影響. 日作紀 68:217—223.
- 佐藤久泰・佐々木高行・空知北部地区農業改良普及所畑作部会 1989. 小麦の越冬前播種栽培の可能性. 日育・日作北海道談話会 29:8.
- 佐藤導謙・土屋俊雄・吉田俊幸 1996. 1996年における春播コムギの低収要因. 日育・日作北海道談話会報 37:84—85.
- 佐藤導謙 2003. 2003年における春まきコムギの多収要因. 日育・日作北海道談話会報 44:53—54.
- 佐藤導謙・渡辺祐志・安積大治・寺元信幸 2004. 春播コムギの初冬播栽培 4. 窒素施肥が「春よ恋」の生育・収量に及ぼす影響. 日育・日作北海道談話会報 45:61—62.

- 佐藤雄幸・井上一博・鈴木光喜 1994. 小麦品種「あきたっこ」の高品質化のための栽培法. 第1報 高品質化のための施肥法. 東北農業研究 47:131—132.
- 沢田壮兵・新発田修治・高橋浩司・角谷啓登 1991. 十勝における春播きコムギの秋および初冬栽培の生育と収量. 帯大研報 I 17:203—207.
- 沢口敦史・土屋俊雄 1992. 多雪地帯における春播小麦の初冬播栽培. 日育・日作北海道談話会報 33:94—95.
- 沢口敦史・宮本裕之 1997. 春播小麦の雪上播種. 日育・日作北海道談話会報 38:60—61.
- 沢口敦史・佐藤導謙 2001. 北海道中央部における春播コムギの初冬播栽培に関する研究 —適正播種量について—. 日作紀 70:505—509.
- 社団法人大日本農会 1990. 昭和における麦生産と麦作技術の展開—戦前, 戦後, 麦作復活期及び現状と課題—. 社団法人大日本農会, 東京. 1—184.
- 新発田修治・沢田壮兵 1989. 春播小麦「ハルユタカ」を秋及び初冬に播種すると生育と収量はどうか. 日育・日作北海道談話会報 29:6.
- Snedecor, G. W. and W. G. Cochran. (畑村又好・奥野忠一・津村善郎訳.) 1967. 統計的方法 原書第6版. 岩波書店, 東京. 259—262.
- 相馬潤・角野晶大・佐藤導謙 2003. 北海道における春まきコムギの播種期とデオキシニバレノール汚染程度の関係. 日本植物病理学会報 70(1):81.
- 鈴木孝子・渡邊裕志・前野眞司 1998. 道東地方における秋播小麦「ホクシン」の適栽培法. 第1報 播種期と播種量について. 北農 65:256—260.
- 田引正・天野洋一・前野眞司・柳沢朗・尾関幸男・佐々木宏・土屋俊雄・牧田道夫・荒木和哉 2000a. 春まき小麦新品種「春のあけぼの」の育成について. 北海道立農試集報 79:13—24.
- 田引正・中道浩司・柳沢朗 2000b. パン用小麦粉品質とグルテン構成の関係 第2報 製パン適性とHMWグルテニンサブユニット構成の関係. 日育・日作北海道談話会報 41:57—58.
- 田引正・柳沢朗・天野洋一・中道浩司・前野眞司・土屋俊雄・谷藤健・吉村康弘・荒木和哉・三上浩輝・佐々木宏・牧田道夫 2002. 春まきコムギ新品種「はるひので」の育成. 北海道立農試集報 82:21—30.
- 高橋昭雄・後藤寛治 1984. 春播コムギにおける窒素施肥反応の系統間差異, とくに HI とその関連形質について. 北海道大学農学部邦文紀要 14:193—200.
- 高橋肇・茂木紀昭・市川伸次・中世古公男 1991. 春播コムギ品種の秋および冬播種の可能性について. 日育・日作北海道談話会報 31:1.
- 高橋肇・中世古公男 1992a. 北海道の春播コムギにおける播種期に対する収量反応の品種間差異について. 日作紀 61:22—27.
- 高橋肇・土橋直之・高久俊宏・茂木紀昭・市川伸次・中世古公男 1992b. 春播コムギ「ハルユタカ」の冬播栽培における根雪前出芽について. 日育・日作北海道談話会報 33:98—99.
- Takata, K., H. Yamauchi, N. Iriki and T. Kuwabara. 1999. Prediction of bread-making quality by prolonged swelling SDS-sedimentation test. Breeding Sci. 49:221—223.
- 武田公智・高取寛・斎藤敏一・深瀬靖 1994. 小麦有望系統「東山25号」の多収栽培法. 東北農業研究 47:137—138.
- 瀧島英策 1943. 小麦の耐雪性に関する研究 第2報 根雪前に於ける発芽相の差異と耐雪力. 農及園 18:922—928.
- 田中明・早川嘉彦 1975a. 耐酸性の作物種間差 第2報 耐 Al 性および耐 Mn 性の種間差 —比較植物栄養に関する研究—. 日土肥誌 46:19—25.
- 田中明・早川嘉彦 1975b. 耐酸性の作物種間差 第3報 耐酸性の種間差 —比較植物栄養に関する研究—. 日土肥誌 46:26—32.
- 田中康夫・松本博 1991. 製パンの科学 I 製パンプロセスの科学. 光琳, 東京. 1—26.
- 田中康夫・松本博 1992. 製パンの科学 II 製パン材料の科学. 光琳, 東京. 1—56.
- 谷口義則・藤田雅也・佐々木昭博・氏原和人・大西昌子 1999. 九州地域におけるコムギの粗タンパク質含有率に及ぼす穂孕み期追肥の効果. 日作紀 68:48—53.
- 田谷省三 1993. 暖地における早生コムギ品種の収量性に関する育種学的研究. 九州農試報告 27(4):333—398.
- 田谷省三・塔野岡卓司・関昌子・平将人・堤忠宏・氏原和人・佐々木昭博・吉川亮・藤田雅也・谷口義則・坂智広 2003. 小麦新品種「イワイノダイチ」の育成. 九州沖縄農研報告 42:1—18.
- Tipples, K. H., S. Dubetz and G. N. Irvine. 1977. Effects of high rates of nitrogen on Neepawa wheat grown under irrigation. II. Milling and baking quality. Can. J. Plant Sci. 57:337—350.
- 土屋俊雄 1992. 小麦栽培の問題点. 農林水産省北海道農業試験場作物開発部監修, 道産小麦と小麦粉の将来. 北海道協同組合通信社, 北海道. 59—77. (ニューカ

ントリー選書 2)

- 土屋俊雄・宮本裕之・菅原章人・奥村理 1999. 道央・道北地域における秋播小麦「ホクシン」の適栽培法. 第1報 播種期と播種量について. 北農 66:390—394.
- 土屋俊雄・宮本裕之・菅原章人・奥村理 2001. 道央・道北地域における秋まき小麦「ホクシン」の栽培法. 第2報 起生期以降の窒素施肥法について. 北農 68:21—26.
- 渡辺治郎・高屋武彦・高橋幹・川勝正夫 1992. 春播コムギの多収と根雪前播種. 農業技術 47:449—453.
- 渡辺悌蔵 1938. 小麦. 北海道農事試験場彙報 55:1—89.
- 山本正 1998. 近世蝦夷地農作物地名別集成. 北海道大学図書刊行会, 北海道. 184.

- 柳沢朗・谷藤健・荒木和哉・天野洋一・前野眞司・田引正・佐々木宏・尾関幸男・牧田道夫・土屋俊雄 2000. 秋まき小麦新品種「ホクシン」の育成について. 北海道立農試集報 79:1—12.
- 柳沢朗・田引正 2002. 春まきコムギ新品種「春よ恋」の特性. 北海道立農試集報 82:113—116.
- 吉田みどり・阿部二郎・森山真久・高屋武彦 1994. 初冬播きした春播コムギの越冬性及び低温発芽機構. 北海道農試研報 159:59—66.
- 湯川智行・大下泰夫・栗崎弘利・渡辺治郎 2001. 春播コムギの根雪前播種栽培における越冬性の低下要因と改善. 日作紀 70:568—574.