

1 - 2 穂発芽耐性育種の現状と問題点

北海道立北見農業試験場・小麦科 柳 沢 朗

1. はじめに

北海道で栽培される小麦品種の穂発芽性は関東以西で育成された品種と比較すると劣っている。北海道では、昭和50年代までは秋まき小麦では冬損やさび病が、春まき小麦でも強稈性といった収量の安定性に関わる形質が最も大きな問題であったことや栽培面積も少なく、バインダー刈りが主体であり、また、梅雨によって収穫期に雨が続くことがある関東以西に比べて実際の穂発芽の被害が少なかったことがその理由としてあげられる。その後作付面積が増加し、収穫は大型コンバインにより行われるようになり、成熟から収穫までの期間が長くなったことにより穂発芽被害の危険性は増大した。昭和50年から15カ年の間には6回の穂発芽被害を受けた。この間に抵抗性素材の探索やそれらを使った系統の育成が図られたが、北海道産小麦の生産量の増大とともに加工適性が最も大きな問題となり、その解決が早急に求められたため秋まき小麦では、硬質・パン用から軟質・めん用に育種目標の変更を余儀なくされた。昭和56年の「チホクコムギ」の育成により、北海道産小麦は国内産小麦としては高い評価を受けるようになった。しかしながら穂発芽耐性はそれまでの主力品種である「ホロシリコムギ」より弱く、その後も製めん用良質母材が「チホクコムギ」等に限られていたため、穂発芽性の改良は大きく進まなかった。「チホクコムギ」は雪腐病、うどんこ病、赤かび病にも弱いため改良を更に難しくした。また、春まき小麦では短強稈多収の「ハルユタカ」が育成され、収量性は大きく向上したが穂発芽耐性については弱く、その後、穂発芽性、製パン性を改善した「春のあけぼの」の育成を行ったが、熟期がやや遅く、やや低収であったこともあり広く普及しなかった。

近年では平成7年に全道平均収量が平年の58%となる大被害を受け、平成8年以降も収穫期に雨が降ることが多く、発生地域、被害の程度に違いがあるものの毎年何らかの被害を受けている。平成7年育成の「ホクシン」は、「チホクコムギ」より成熟期が4日程度早い、やや早生種であり、各種雪腐病抵抗性、うどんこ病抵抗性、穂発芽性を改良した品種で、それ以前の品種に比べて収量・安定性を大きく向上させる能力を持っている。実際に平成9年、10年には「チホクコムギ」が穂発芽の被害を受けたが「ホクシン」は被害を回避し、「ホクシン」が広く普及していた十勝地方では両年とも平均収量が約510kg/10aと多収であった。しかしながら平成11年、12年は道央部を中心に7月下旬の連続した降雨により「ホクシン」も穂発芽被害を受けており、今後は熟期にかかわらず穂発芽性の更なる改良が求められている。

2. 穂発芽性（低アミロ耐性）の検定方法と育成品種・系統の穂発芽性の改良

穂発芽性の検定方法については数々の方法が開発されているがこれらは主に成熟期または収穫期における穂発芽耐性と休眠性の程度を調べるものである。旧農業研究センター（現：独立行政法人農業技術研究機構作物研究所）の小麦育種グループではサンプル採取時期や処理温度を変えた種々の条件での検

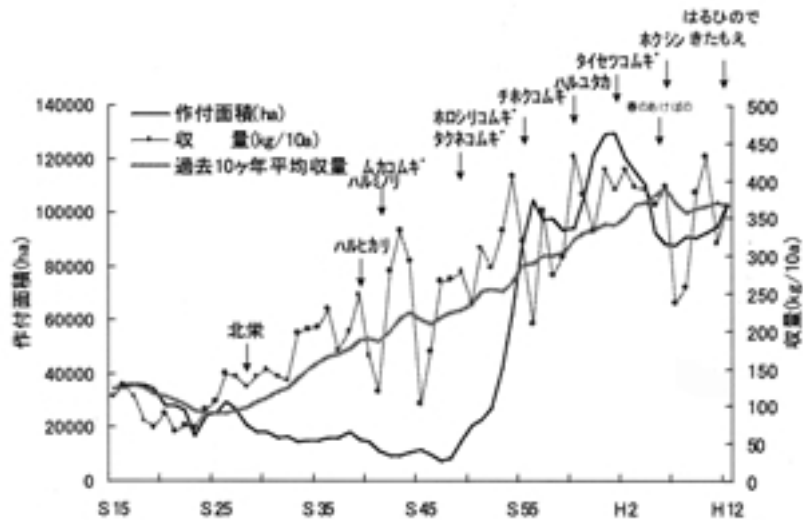


図1．小麦の作付面積と収量の推移及び北見農試育成品種

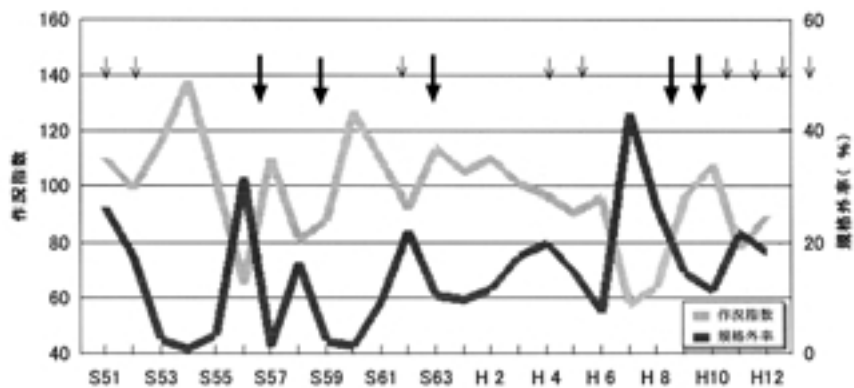


図2．全道作況指数と規格外率(↓穂発芽被害多発年，一部地域で穂発芽発生)

注) その他の障害発生年 雪腐病：昭和57, 59年, 平成5, 11年
干ばつ：昭和59, 62年, 平成元, 2, 6年

討を行い、北海道においても北見農試、北海道農業研究センターによって各種の検定方法が試みられている。穂発芽耐性の選抜では人工降雨処理による穂発芽程度、穂発芽粒率をみる方法が一般的に行われている。また、成熟期や遅く刈り取ったサンプルの穂発芽粒率、アミロ粘度、フォーリングナンバーの調査も行われている。特性検定試験としてはそれに加えて穂発芽性に関係のある小麦粒の休眠性を調べるため熟期別の発芽率を調査する方法がある。

穂発芽耐性には種子の休眠性が深く関わっているが休眠性の程度は登熟期間の温度などの気象条件によって影響されるため正確な検定は容易ではない。また、成熟後の休眠覚醒には降雨及び温度が関係するため、熟期の異なる材料を同一の条件で検定することは難しい。このため、穂発芽性の検定では複数年での検定が望ましいが、多段階の検定により穂発芽性の判定をより正確に行うことができる。また、検定条件を厳しく行えば、穂発芽性の強いものだけを選抜することも可能である。北見農試の秋まき小麦で行っている方法は表1のとおりである。穂発芽性検定では成熟期及び成熟7日後(晩刈り)にサンプルを採取し、多段階温度(20 ~ 10)での検定を行っている。近年の穂発芽被害の増大により、以前と比較してより厳しい条件で検定・選抜を行っている。

表1. 北見農試における秋まき小麦の穂発芽性選抜

1. 各世代における穂発芽性選抜	
F 2 個体選抜	各個体 1 穂を穂発芽性検定。15 , 1 週間処理。 その他の選抜項目：強稈性，熟期，耐病性，外観品質。
F 3 系統選抜	各系統 5 ~ 10 個体を選抜し，各 1 個体から 1 穂を穂発芽性検定。 その他の選抜項目：草型，強稈性，熟期，耐病性，外観品質，少量サンプル品質検定。
F 4 系統選抜	各系統 8 ~ 10 個体を選抜し，各 1 個体から 1 穂を穂発芽性検定。 その他の選抜項目：F 3 と同じ。
F 5 系統選抜	穂発芽性特検（15 1 週間）と選抜系統（1 系統 10 個体）の穂発芽性検定。 その他の選抜項目：冬損程度，草型，強稈性，熟期，耐病性，外観品質，製粉性，二次加工適性。各種特性検定試験。
F 6 系統選抜	F 5 と同じ。穂発芽性特検は十勝農試。成熟期，成熟 1 週間後 17 1 週間。
F 7 ~ F 8	F 5 と同じ。形質の優れたものは系統適応性検定試験に供試。品質調査。 系適以上の穂発芽特性検定は北見農試，十勝農試両場で実施。
F 9 ~ F 11	F 8 と同じ。形質の優れたものは奨励品種決定調査に供試。
2. 穂発芽性特性検定試験	
検定条件：サンプル採取時期（成熟期，成熟 7 日後），検定温度（15 , 20 ）各 2 水準	
調査項目：人工降雨処理による 1 週間後穂発芽程度，穂発芽粒率，フォーリングナンバー系適・奨決材料については発芽試験を行う。	

穂発芽性の改良では実際に穂発芽しないことはもちろんであるがそれと同時に品質が低下しないことが重要である。雨害による品質低下の検定方法としてはアミログラムの最高粘度，フォーリングナンバーあるいは直接 - アミラーゼの活性を測定する方法がある。低アミロ発生の要因についてはイギリスや北海道等で研究がなされているが(表 2)，北海道の天候不順年には成熟期に達してもアミログラムの最高粘度が 300BU，あるいはフォーリングナンバーが 300 秒に達せず， - アミラーゼの活性が低下しない現象が見られる。このことは品種と気象条件の相互作用によるものと考えられているが品種によっては，穂発芽なしに成熟期でも - アミラーゼ活性が高い場合や登熟後期のフォーリングナンバーの上昇が緩慢な場合があるので，そのような品種は育種から排除する必要がある。北海道では穂発芽性難のアメリカ品種「Lancer」は，発芽しなくても - アミラーゼの活性が高い場合があるので現在は交配には用いられていない。

表2. 高 - アミラーゼ活性の要因

P. S. Kettlewell, G. D. Lunn, B. J. Major, R. K. Scott (イギリス・フランス) 低アミロ(高 - アミラーゼ活性の原因)	中津(北海道) 粒の - アミラーゼの推移のパターン
RPAA retained pericarp - amlase activity コンバインの収穫 粒水分 15%	パターン 1 粒水分の低下とともに活性が低下する。
PMAA pre-maturity - amlase activity 粒水分 40% ~ 20%	パターン 2 成熟期までパターン 1 と同じ。成熟後，降雨により活性が増加。
PrMS pre-maturity sprouting 粒水分 50% ~ 20%	パターン 3 粒水分低下により活性は低くなるが低アミロのまま推移する。
PoMS post-maturity sprouting コンバインの収穫 粒水分 15%	

北海道産小麦の製めん適性は「チホクコムギ」の育成により大きく前進したが、同品種の育成後は雪腐病抵抗性等の耐病性、穂発芽耐性や粉色、製粉性等の改良が最重要課題となった。平成7年育成の「ホクシン」は「チホクコムギ」の農業形質の欠点をほぼ改良しており、耐病性と穂発芽耐性は「ホロシリコムギ」とほぼ同程度であり、穂発芽性は“中”である。めん用品種の穂発芽性の改良は昭和60年代には「Lancer」、「Satanta」等秋まき性の穂発芽性“難”品種が交配に使われ、その後これらに加えて北見農試育成の「北系1354」等が使われた。これら以外の交配組合せからも“やや難”以上と思われる系統も毎年育成されていたが穂発芽性検定は成熟期刈り、20℃での人工降雨処理が主として行われ、気象条件によっては全体の穂発芽程度が小さく、十分な検定が行われていない場合もあったと思われる。

北見農試では平成12年に穂発芽性“やや難”の秋まき小麦新品種「きたもえ（北見72号）」を育成した（農林登録は平成13年2月）。この品種は「59045（ホクシン）」と穂発芽性難の「北系1354」の交雑後代から育成したもので秋まき小麦品種では最も穂発芽耐性が強いものである。「きたもえ」の穂発芽性はその後の試験結果からかなり“難”に近いことが確認されている。また、北見72号やその他の穂発芽性が優れ、粉色が優れる系統が交配に多く用いられており、現在の育成系統には穂発芽性“難”～“やや難”と思われる系統の割合が増えてきており、穂発芽耐性と高製めん性および雪腐病抵抗性や他の病害抵抗性等をとともに備えている系統の育成が進められている。

表3. 北海道小麦品種の穂発芽・低アミロ耐性

穂発芽性	やや弱（チホクコムギ）	中（ホクシン・タイセツコムギ）	やや難（きたもえ）
	やや弱（ハルユタカ）	やや難（はるひので）	やや難～難（春よ恋）
雨の回避（熟期）	中生（チホクコムギ）	やや早生（きたもえ・ホクシン）	
	やや晩（春のあけぼの）	中生（ハルユタカ・はるひので・春よ恋）	

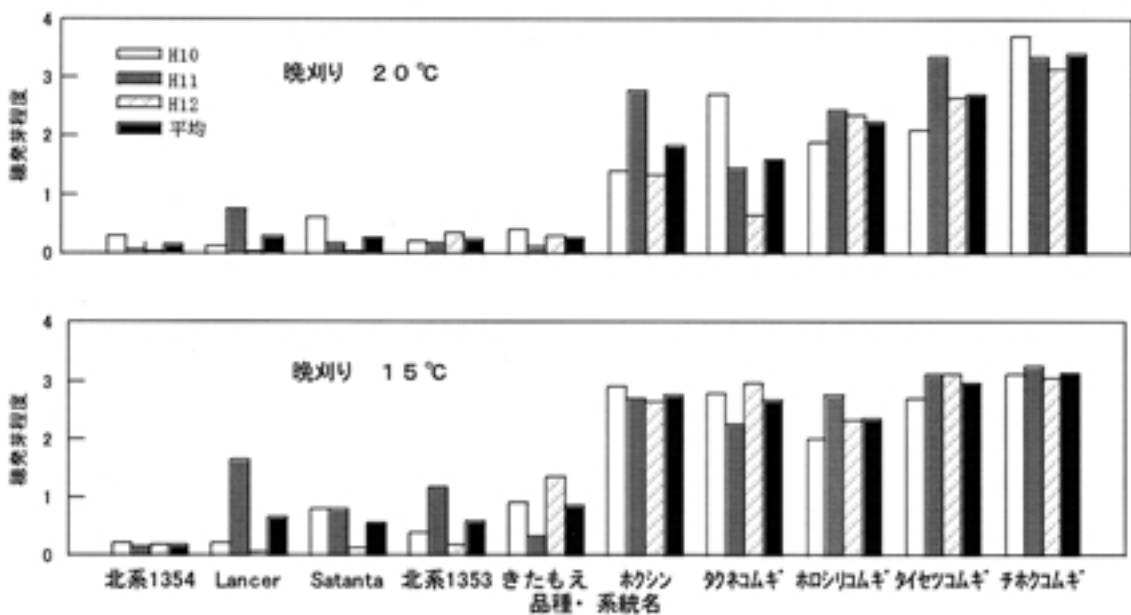


図3. 人工降雨処理による穂発芽性の検定

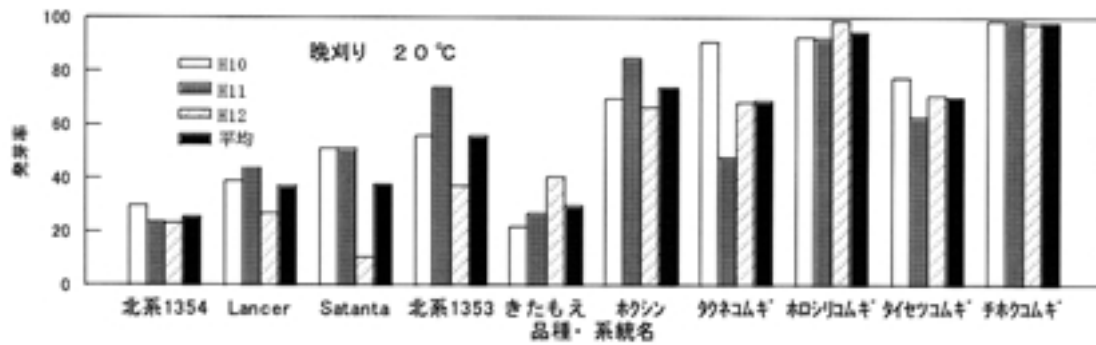


図4. 発芽試験による穂発芽性（休眠性）の検定

3. 穂発芽性“極難”品種の育成

北海道の7月下旬から8月の天候はオホーツク海高気圧と太平洋高気圧の位置関係により北からの冷たい空気の入り込み、気圧の谷や前線の通過等による降雨と気温の低下がしばしばおこる。成熟期後の雨濡れ状態での低温は粒の休眠性を急速に失わせるため、収穫が遅くなればなるほど穂発芽しやすくなる。1地域のコンバイン収穫の期間が1週間とすると北海道の低温・湿潤年には穂発芽性が難の「北系1354」でも耐性が不十分であることが指摘されている。また、春まき小麦では成熟前の気温が高温であることが休眠を浅くし、8月中旬以降は雨が降る頻度が高まるため秋まき小麦以上に不利な条件といえる。従来、早生品種は雨を回避し、熟期が遅い品種よりも多少穂発芽耐性が弱くてもよいと考えられていたが、近年の気象条件では早生以外は熟期にかかわらず穂発芽耐性の優れた品種が必要となっている。

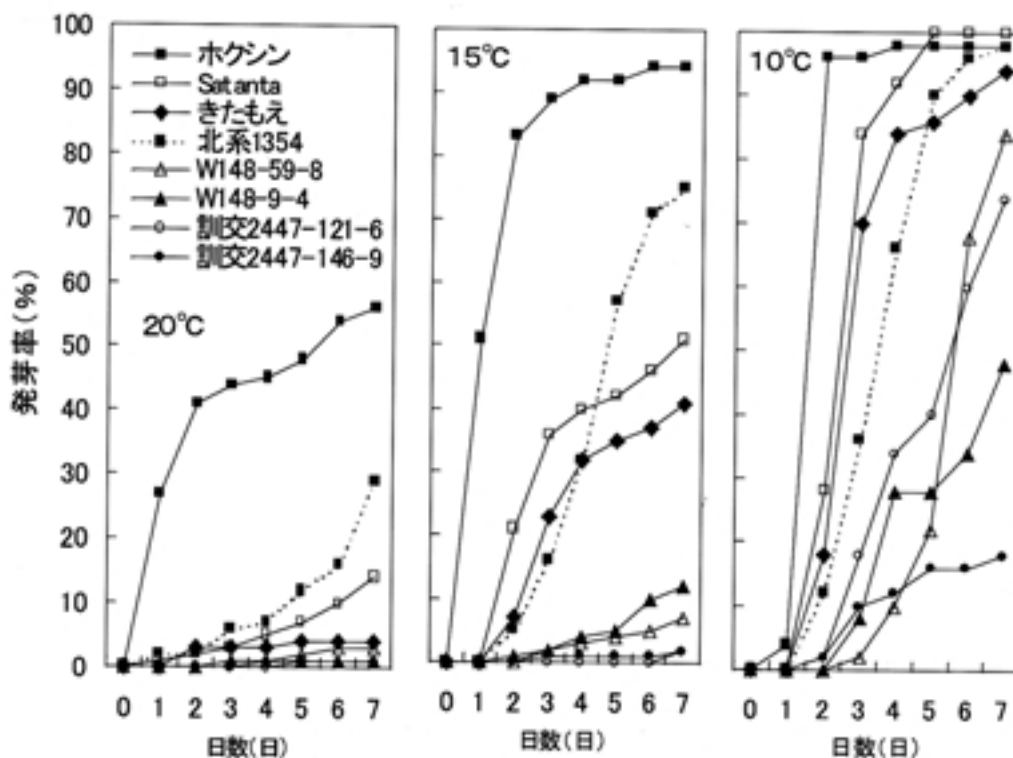


図5. 穂発芽極難系統および比較品種の各種温度による発芽試験（平成12年）

注) 晩刈り。W148：OS21-5/61199，訓交2447：北系1616/ニシカゼコムギ

穂発芽耐性育種では過去に「ゼンコウジコムギ」などの春まき性で穂発芽耐性に優れた品種を交配に用いたことはあるが極一部に限られていた。低温穂発芽耐性小麦の育成については長内氏（元上川農試場長）が長年取り組まれており、春まき性の「OS21-5」、秋まき性の「OW63」等、穂発芽耐性に優れた系統を育成されている。北見農試では平成7年より北海道グリーンバイオ研究所、十勝農試および中央農試と穂発芽極難小麦の開発を目的に共同研究を開始し、秋まき小麦に国内外の穂発芽耐性に優れた春まき小麦を交配した後代を用いて、穂発芽極難系統の育成を行っている。また、半数体倍加系統の作出による抵抗性の早期導入も行っている。現在までの結果では北海道で栽培可能な穂発芽極難と思われる秋まき性系統が多数育成されている。これらの耐性は春まき小麦穂発芽極難品種「ゼンコウジコムギ」とほぼ同程度の耐性を持っていると考えられている。

穂発芽極難系統の選抜に当たっては従来の検定条件では十分に評価・選抜ができないのでサンプル採取時期は成熟期の1週間から10日後、検定温度は15℃～10℃での検定が必要である。

表4. 種々の検定温度による発芽率(%)の比較

材 料 名	検定温度 10	15	20	LSD(0.05)
極難系統 (n=10)	67.6 ± 7.5	7.6 ± 1.4	2.2 ± 0.6	12.8
北系系統 (n=9)	90.4 ± 4.2	44.8 ± 8.0	8.4 ± 2.0	15.5
t 検定	*	***	**	
ホクシン	98	94	56	
北系 1354	98	75	29	

注) *, **, ***はそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意。

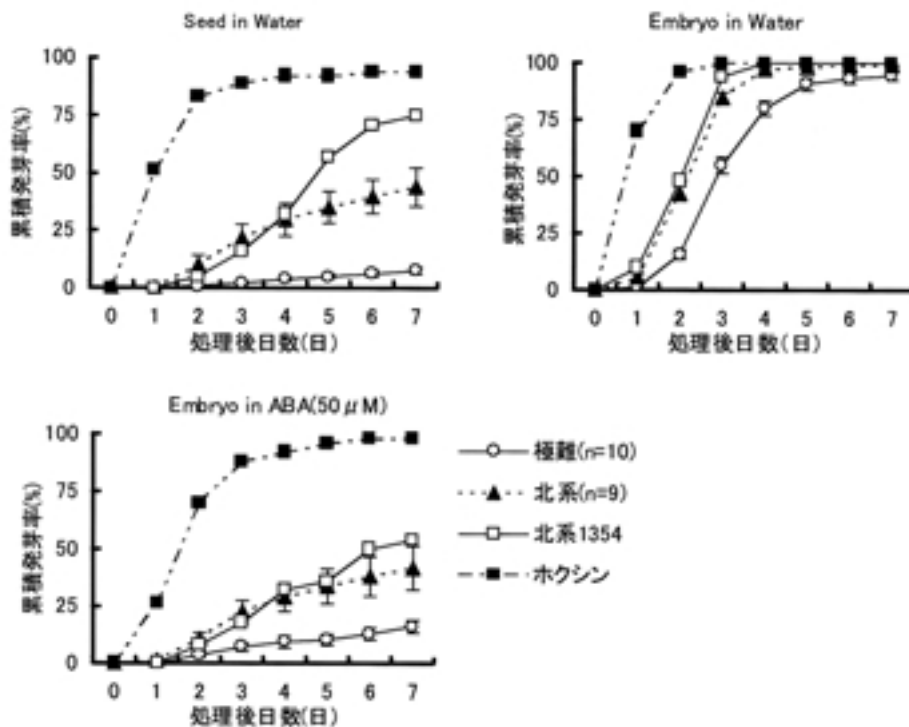


図6. 穂発芽極難系統のアブシジン酸感受性 (平成12年)

4. 穂発芽耐性に関する遺伝及びABA感受性

穂発芽耐性（休眠性）には種皮の要因と胚の感受性の要因が大きく関わっていると考えられており、白粒種ではその一部の遺伝子も推定されている。日本で育成された穂発芽耐性小麦の遺伝的要因についても研究が行われているが穂発芽性は複雑な形質であるため、まだ十分には分かっていない。胚の感受性については種子から取り出した胚やあるいは物理的に休眠性を失わせた種子のアブシジン酸（ABA）に対する反応によって調べることができるが、北見農試で育成した穂発芽極難系統はABA感受性が非常に高く、このことが穂発芽耐性を強くしている主要因と考えられる。

表5. 穂発芽性に関する遺伝

発表者名	材料の交配組合せ	材料	粒色	座乗染色体	備考
Mares	AUS1408 × Janz 他 Oxley monosomic × AUS1408	雑種後代 Disomics	白粒 白粒	3D × 2	劣性 遺伝子
Sorrell et.al.	NY6432-18/Clark's Cream	RILs	白粒	1AS, 2BS, 4L, 5L, 6	QTL
Flintham et.al.	Chinese Spring Boxer/Soleil	Ditelosomics Null/Tetra- DHLs	赤粒 一部白粒 赤粒	3A 7D	AFLP
三浦・加藤ら	C.S. monosomic × ゼンコウジコムギ	Disomics	赤粒	3A, 4A, 4B, 4D, 7D	QTL
	C.S./ ゼンコウジコムギ	RILs	赤粒	3A	QTL
	ハルユタカ/AC Domain	DHLs	赤粒	4A, 4B, 4D	
野田ら	C. S. monosomic × KK1354	Monosomics	赤粒	3B, 4A, 5A	

5. 今後の方向

北海道における穂発芽育種は、穂発芽極難小麦の育成や良質穂発芽性難系統の育成など、確実に進んではいるが、まだ、発展途上の段階といえる。ここ何十年間の北海道の夏期の気象条件はそれまでの傾向と比べて明らかに異なっており、このような状況に対処するためには難から極難系統の改良を急いで行う必要がある。当然のことながら品質、その他の重要病害、収量性の改良や熟期の早生化等も同時に行っていかなければならず、育種の規模拡大とともに育種の効率化が強く求められるところである。穂発芽性については検定条件をその集団に合ったレベルにすることによって効率的な選抜が可能になると考えられる。また、遺伝子マーカーの開発や穂発芽や休眠性に関する生理的な研究等他分野との協力・分担により更に加速されるものと期待されている。

平成7年に網走で開催された第7回国際穀物穂発芽シンポジウム後に発足した穂発芽研究会（会長沢田帯広畜大教授）では毎年1月に道内外の穂発芽に係わる研究者が参加するワークショップを開催しており、穂発芽研究のひとつの拠点となっている。関係者のご努力に感謝するとともに品種改良においても優れた穂発芽耐性を持った品種の育成を早期に行っていきたい。

参考文献

- 1) 天野洋一．耐穂発芽性育種の戦略．穂発芽研究会第1回ワークショップ講演要旨(1996)

- 2) Bailey, P. C. et al. Transcription Factors in Wheat Seed Dormancy. Eight International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1998. pp90-98. (1999)
- 3) Flintham, J., R. Adlam and M. Gale. Seedcoat and Embryo Dormancy in Wheat. Eight International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1998. pp67-76. (1999)
- 4) 氷見英子・前川雅彦・野田和彦. コムギ粒色に関わるアントシアニン合成系遺伝子 DFR の座乗染色体と発現. 育種学研究 2(別 2): 63(2000).
- 5) 星野次汪ほか. コムギの穂発芽検定法と難穂発芽性遺伝子源の系譜. 育種 39. 365-372(1989)
- 6) 庵 英俊. 小麦におけるフォーリングナンバーと積算温度との関係について. 日本育種・日本作物学会北海道談話会会報 37. 72-73(1996)
- 7) 加藤清明ほか. コムギ第 4 同祖群染色体上の種子休眠性に関わる QTR マッピング. 育種学研究 2(別 2): 28(2000)
- 8) Kettlewell, P. S. et al. Development of a Scheme for Pre-Harvest Prediction of Hagberg Falling Number in Wheat. Eight International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1998. pp9-14 (1999).
- 9) 近藤萬太郎ほか. 小麦の穂発芽現象について (第 2 報). 農学研究 28. 85-103(1937)
- 10) 桑原達雄. コムギにおける耐穂発芽性育種. 育種学最近の進歩第 35 集. 130-135(1993)
- 11) 桑原達雄・柳沢 朗. 21 世紀における北海道地域の作物育種戦略 - 小麦 -. 農業低温科学研究情報 7(4). 3-8(2001)
- 12) Lunn, G. D. et al. The Contribution of Pericarp Activity and Pre-Maturity Sprouting to ALPH-AMYLASE Activity in Wheat Grain.. Eight International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1998. pp278-289 (1999).
- 13) Mares, D. J. Dormancy in White Wheat: Mechanism and Location of Genes. In: Preharvest Sprouting in Cereals in 1992. pp179-184 (1993).
- 14) 宮本裕之ほか. 秋播小麦の穂発芽抵抗性の検定方法と品種間差. 北農 60(1). 32-36(1993)
- 15) 中津智史. 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. 北海道立農業試験場報告 第 93 号(2000)
- 16) 西村 努ほか. 秋まき小麦における穂発芽抵抗性の改善. 穂発芽極難素材. 日本育種・日本作物学会北海道談話会会報 41. 53-54(2000)
- 17) 野田和彦・天野洋一・鈴木孝子. コムギの穂発芽と天候. 育種学研究 1. 15-19(1999)
- 18) 野田和彦. 小麦の穂発芽耐性育種の現状と問題点. 21 世紀プロ「麦の新品種育成及び品質制御技術の開発」平成 13 年度現地研究会記録. pp7-19(2001).
- 19) 野田和彦ほか. コムギ種子胚のアブシジン酸(ABA)感受性に関わる染色体の同定. 育種学研究 1(別 2): 267(1999)
- 20) 小田俊介ほか. コムギ穂発芽抵抗性の温度依存性の品種間差. 育種 40(別 1). 296-297(1990).
- 21) 長 学・加藤清明・三浦秀穂. コムギ 3A 染色体上の種子休眠性に関する QTL マッピング. 育種学研究 2(別 2): 95(2000).
- 22) 長内俊一. 道産小麦の安定生産条件 < 第 2 回 >. 北農 52(4). 1-19(1985)
- 23) Osanai S. and Y.Amano. Selection of tolerant lines to low temperature germinability in wheat. In:Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1992. M.K.Walker-Simmonds and J.L.Ried Eds. 76-82 (1992).
- 24) Osanai S. and Y.Amano. Response of winter wheats showing reduced germinability at low temperature to rain during grain development and ripening. In:Eight International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1998.D.Weipert Eds. Poster Presentation 57-66 (1998).
- 25) 尾関幸雄. 地域別生産性向上技術の内容と展望 1. 北海道地域, 全国麦作共励会 10 年の歩み (全国農業協同組合中央会発行). 83-107(1983)
- 26) 佐藤直美・三浦秀穂. コムギ種子休眠に関与する遺伝子の座乗染色体. 育種・作物学会北海道談話会報 39: 87-88(1998).

- 27) 沢田壮兵編．第7回国際穀物穂発芽シンポジウム講演妙録，北海道米麦改良協会資料第5号(1995)
- 28) Sorrells,M.E. and J.A.Anderson. Quantitative Trait Loci Associated with Preharvest Sprouting in White Wheat. In:Preharvest Sprouting in Cereals in 1992. pp137-142(1993).
- 29) 土屋俊雄．耐穂発芽性育種．道立農試資料第15号．北海道における水稲・小麦の良質品種早期開発．138-145(1982)
- 30)土屋俊雄．小麦栽培の問題点．道産小麦と小麦粉の将来(北農試作物開発部監修)ニューカントリー選書2．59-77(1992)
- 31) 柳沢 朗・西村 努．秋まき小麦における穂発芽抵抗性の改善　．穂発芽抵抗性の評価．育種・作物学会北海道談話会会報41．51-52(2000)
- 32) 柳沢 朗．北海道産秋まき小麦における穂発芽性の改善と将来展望．穂発芽研究会第6回ワークショップ講演要旨(2001)