

## 第4章 低アミロ耐性母材の検索

### 第1節 緒言

第2章および第3章の結果から、低アミロ小麦の発生のしやすさには品種間差が認められた。したがって、低アミロ小麦の発生を防止するためには、品種改良により低アミロ耐性の高い品種を開発することが重要である。

このためには、まず低アミロ小麦耐性の高い母材を検索するとともに、効率的かつ合理的な選抜法を確立する必要がある。これまでの選抜方法では、指標として休眠性に主眼が置かれており、実際には穂発芽耐性と検定していることが多い。具体的な手法としては、①穂試料に降雨処理を行った後の穂発芽程度を評価したり、②圃場に一定期間放置し、降雨にさらされた小麦の穂発芽粒率を調査する方法が用いられてきた<sup>1,34,50)</sup>。

そこで、これらの検定法により評価される穂発芽耐性について品種間差を明らかにするとともに、穂発芽程度と $\alpha$ -アミラーゼ活性およびアミロ値相互の関連を検討し、耐性品種選抜のための検定法を確立する。

また、北海道の一部の品種においては、成熟期で既に高 $\alpha$ -アミラーゼ活性を示すこと（パターン3）が認められている。低アミロ耐性品種の育成のためには、育成段階の系統についても成熟期における $\alpha$ -アミラーゼ活性を測定するとともに、穂発芽耐性との関連を明らかにする必要がある。そこで、育成段階の系統を含めて約120の品種および系統について、成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性を測定するとともに、成熟期後の穂発芽耐性との関係を解析した。

ところで、これまで本研究では秋播小麦を対象として低アミロ耐性を検討してきたが、今後、高耐性品種を開発するためには道内春播小麦品種や府県産品種（北海道では春播小麦として栽培される）についても、その耐性を評価し育種母材として有効利用を図ることが必要である。しかし、通常、秋播小麦と春播小麦では成熟期が2週間程度異なるため、両者の耐性を比較する事は困難で、検討事例も少ない。そこで、低アミロ耐性母材の検索を目的として、春播小麦の耐性を評価するとともに、道内秋播小麦と比較した。

### 第2節 実験材料および方法

#### 第1項 降雨処理と晩刈り調査

##### 1. 降雨処理試験

- 1) 試験年次, 試験圃場: 1991~1995年, 中央農試および十勝農試.
- 2) 供試品種: チホクコムギ, ホロシリコムギ, ホクシン, 北系1354, Lancer, Satanta.
- 3) 降雨処理前の気象条件: 圃場における自然降雨条件.
- 4) 処理開始時期: 成熟期の約5日前, 成熟期直後, 成熟期の約1週間後, 成熟期の約2週間後.
- 5) 降雨処理期間: 0, 1, 2, 3, 4日.
- 6) 降雨処理条件: 圃場から採取された穂試料について, 散水あるいは細霧により穂を湿潤状態に保った. 処理時の温度は年次および試験地により異なるが, 平均気温は17~20℃であった.
- 7) 調査項目: 穂発芽粒率,  $\alpha$ -アミラーゼ活性.

#### 2. 圃場試料の晩刈り調査

- 1) 供試材料: 1988~1995年, 中央農試, 十勝農試, 北見農試において, 秋播小麦5品種(チホクコムギ, ホロシリコムギ, 北系1354, Lancer, Satanta)を栽培し, 成熟期後の約3週間, 圃場に放置した試料について, 乾燥・脱穀後, 調査, 分析に供した.
- 2) 調査項目: 穂発芽粒率,  $\alpha$ -アミラーゼ活性, 小麦粉のアミロ値(一部試料).

#### 第2項 育成系統の穂発芽耐性と成熟期 $\alpha$ -アミラーゼ活性測定

1. 試験年次, 試験圃場: 1992~1994年, 十勝農試
2. 供試品種・系統数: 1992年; 120, 1993年; 113, 1994年; 119
3. 調査項目:
  - ① 穂発芽耐性; 各品種, 系統の成熟期に穂を採取し, 穂発芽検定装置で5日間処理(17℃, 5分/時間の人工降雨)した後の穂発芽程度を小穂率で示した.
  - ② 成熟期試料: 各品種, 系統の成熟期に穂を採取し, 乾燥, 脱穀後, 穂発芽粒率を調査するとともに $\alpha$ -アミラーゼ活性を測定した.

#### 第3項 春播小麦に対する気象変動処理

1. 穂発芽粒率および $\alpha$ -アミラーゼ活性の経時変化
  - 1) 試験年次, 試験圃場: 1995年, 中央農試.
  - 2) 供試品種: ハルユタカ<sup>81)</sup>, 春のあけほの<sup>2)</sup>, ゼンコウジコムギ<sup>70)</sup>, ニシカゼコムギ<sup>70)</sup>, 北系春617, OS21-

5<sup>70</sup>の6品種を栽培した。ゼンコウジコムギおよびニシカゼコムギは府県で育成された品種で、北系春617は北見農試育成系統であり、OS21-5は道内の民間育成系統である。

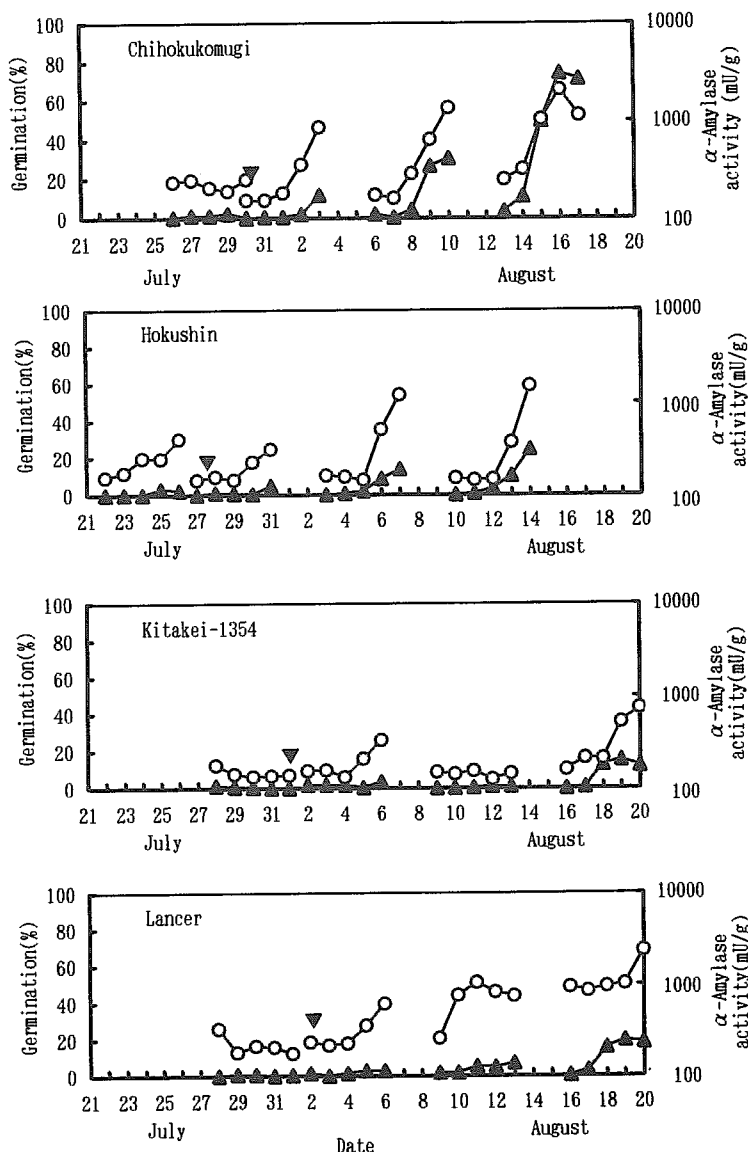
3) 調査方法：成熟期の前後約1ヶ月間（7月20日から8月21日）におよそ3日間隔で穂を採取し、子実水分、穂発芽粒率、 $\alpha$ -アミラーゼ活性を調査分析するとともに、アイソザイム解析を実施した。

2. 秋播小麦と春播小麦の穂発芽耐性の比較試験

- 1) 試験年次, 試験圃場：1995年, 中央農試。
- 2) 供試材料：秋播小麦にはチホクコムギと北系1354を供試した。これら2品種の越冬株をポット（1/5,000a）に移植し、開花期までは屋外で、それ以降は雨よけハ

ウスで栽培した。春播小麦については、ゼンコウジコムギ、ニシカゼコムギ、北系春617、OS21-5の4品種をポットに播種し、温室中で栽培し生育を促進させた。開花期以降は秋播小麦と同様に雨よけハウス中で栽培した。これらの処理により、春播小麦と秋播小麦の成熟期がほぼ同一時期になり、両者の穂発芽耐性の比較が可能となった。

- 3) 降雨処理：各品種の成熟期の4日後および11日後に穂を収穫し、平均気温約20℃で降雨処理を行った。ただし、ゼンコウジコムギおよび北系春617については試料量が少なかったため、成熟期4日後処理の1回だけとした。処理前および2, 4, 6日処理後に穂を採取し、乾燥、脱穀後に得られた子実について、発芽程



図Ⅳ-1 Changes in  $\alpha$ -amylase activity (○) and germination percentage (▲) by wetting treatment. The wetting treatments were carried out 4 times after maturity (▼) on ears grown under natural field at Central Agricultural Experiment Station in 1993.

度の調査および $\alpha$ -アミラーゼの活性を測定した。

### 第3節 実験結果および考察

#### 第1項 降雨処理と晩刈りによる穂発芽耐性評価

降雨処理は2試験場で5カ年にわたり複数品種を供試して行ったが、最初に1993年中央農試のチホクコムギ、ホクシン、北系1354、Lancerの降雨処理後の穂発芽粒率および $\alpha$ -アミラーゼ活性の推移を示した(図IV-1)。いずれの品種も成熟期以降の時間が経過するほど穂発芽粒率および $\alpha$ -アミラーゼ活性が高まっていた。

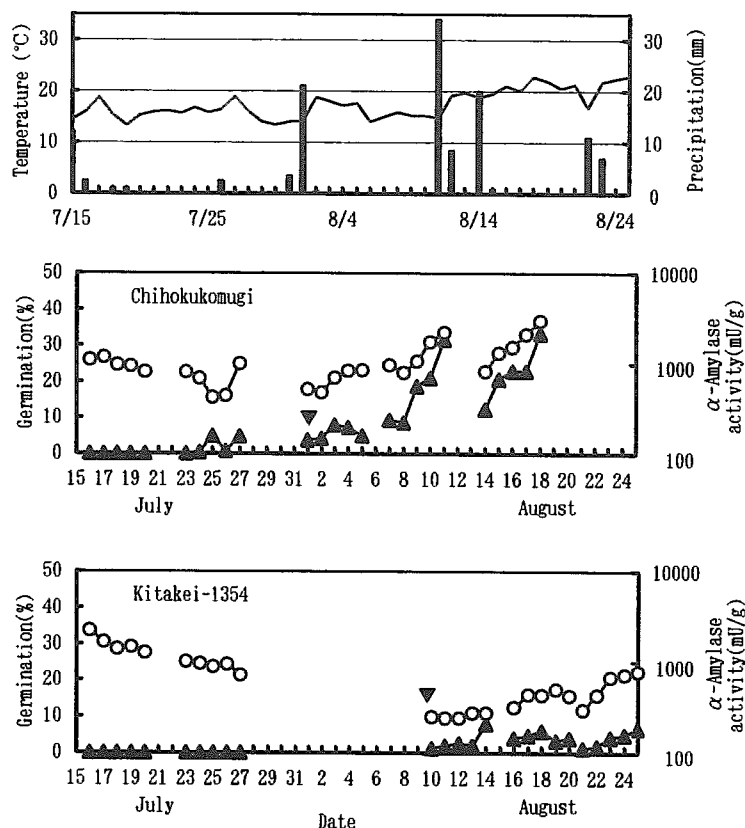
穂発芽粒率の品種間差について検討すると、成熟期直後ではどの品種でも発芽程度が低かったため差は小さかったが、時間を経過するほど明瞭となった。すなわち、成熟期1週間後の処理で、チホクコムギでは4日間の降雨により30%の穂発芽が認められたのに対して、ホクシンでは14%、Lancerでは7%、北系1354は1%と低かった。成熟期の2週間後では全般に穂発芽粒率は高まり、品種間差もより明瞭となった。穂発芽粒率の品種間差を通覧すると、チホクコムギ>ホクシン>Lancer>北系1354の順であった。

次に $\alpha$ -アミラーゼ活性について検討すると、成熟期後の穂発芽に伴い活性は高まっていた。チホクコムギが最も $\alpha$ -アミラーゼ活性が高まりやすく、ホクシンはそれよりも全般に低かったが、成熟期の1週間後で3日の降雨で大きく高まっており、十分な耐性とはいえない。

Lancerは各処理時期ともに処理前試料において穂発芽が認められないにもかかわらず、 $\alpha$ -アミラーゼ活性が200mU/g以上と全般に高い傾向が認められた。この理由として、Lancerにおいては比較的気象条件が良好だったにもかかわらず、PMAAが発現したものと考えられる。一方、北系1354の $\alpha$ -アミラーゼ活性は他の品種と比較して全般に低く推移していた。

中央農試の結果から北系1354は高い低アミロ耐性を有することが示された。そこで、気象条件が異なり低アミロ小麦が発生しやすいとされる十勝農試における耐性を検討した。1993年十勝農試の気象条件は、7月中旬から8月上旬まで、平均気温が15℃前後と低く、降雨はそれほど認められなかったが、日照時間が短く低温かつ高湿傾向で推移していた(図IV-2)。

チホクコムギは成熟期(8月1日)で既に3.7%の穂



図IV-2 Weather conditions and changes in  $\alpha$ -amylase activity (○) and germination percentage (▲) under wetting treatment. The wetting treatments were carried out twice before maturity (▼) and 3 times after maturity on ears grown under natural field at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1993. Bar: precipitation, line: mean temperature.

発芽粒が認められ、 $\alpha$ -アミラーゼ活性も500mU/g以上と高かった。降雨処理によって、 $\alpha$ -アミラーゼ活性は800mU/g程度まで高まった。また、その後の2回の処理においても、処理開始時点で穂発芽が10%程度発生し、 $\alpha$ -アミラーゼ活性も800mU/g程度と高かった。このように、チホクコムギでは成熟期前の低温高湿条件により成熟期前発芽に伴う $\alpha$ -アミラーゼ活性 (Pre-maturity sprouting  $\alpha$ -amylase: PrMS) が発現していた。

北系1354の成熟期はチホクコムギより遅く8月10日であったが、穂発芽が1.3%と若干認められ、 $\alpha$ -アミラーゼ活性も250mU/gとやや高かった。その後の2回の処理においても、処理開始時点で穂発芽が若干認められ、 $\alpha$ -アミラーゼ活性も300mU/g程度とやや高まったが、チホクコムギよりは明らかに低かった。北系1354がチホクコムギより耐性が高いことは明らかであったが、成熟期で $\alpha$ -アミラーゼ活性が250mU/gという数字は低アミロ小麦かどうかのぎりぎりの線である。したがって、1993年十勝農試のような低温高湿な気象条件では、北系1354でも十分な低アミロ耐性といえず、より高耐性な品種の開発が必要である。

次に、秋播小麦5品種 (チホクコムギ, ホロシリコムギ, 北系1354, Lancer, Satanta) の晩刈り試料における穂発芽粒率と $\alpha$ -アミラーゼ活性を検討した。その結果、晩刈り試料の穂発芽粒率は年次や地帯による変動が大きかった (表IV-1)。すなわち、1988年の北見農試や1990年の中央農試では、成熟期後3週間を経ても、ほとんどの品種で穂発芽は認められず、したがって品種間差も把握できなかった。一方、1990年の北見農試や十勝農試では、10%以下~90%以上までの品種間差異が認められた。このように、晩刈りによる穂発芽耐性の評価は単年度1試験地だけでは困難かつ不正確であり、複数年、複数試験地で検討を重ねると品種間差が明らかとなる。穂発芽

粒率の平均値はSatanta (1.3%), 北系1354 (1.3%), Lancer (3.5%) が低く、ホロシリコムギ (9.3%) が続き、チホクコムギ (26.8%) は全般に高かった。

$\alpha$ -アミラーゼ活性も年次および地帯による変動が認められたが、累年の平均値と比較すると (表IV-2), 北系1354 (187mU/g), Satanta (345mU/g) が低く, Lancer (979mU/g), ホロシリコムギ (1,720mU/g) が続き, チホクコムギ (4,500mU/g) は全般に高かった。このように、累年の平均値について品種間差を検討すると、穂発芽粒率の順位とほぼ一致していた。

以上を通覧すると、チホクコムギは穂発芽しやすく $\alpha$ -アミラーゼ活性も高まりやすいため、低アミロ耐性は最も低いといえる。Satantaと北系1354はともに耐性が高いといえる。ホロシリコムギはチホクコムギより強いが、Satantaや北系1354よりは低く、Lancerは穂発芽程度はSatantaや北系1354と同等であったが、 $\alpha$ -アミラーゼ活性が全般に高い傾向を示した。

1992~1994年中央農試の晩刈り試料について、穂発芽粒率と $\alpha$ -アミラーゼ活性およびアミロ値の各項目間の相関を検討した結果 (図IV-3), 穂発芽粒率と $\alpha$ -アミラーゼ活性とは $r=0.841^{**}$  ( $n=24$ ) と高い相関が得られたが、発芽率が2.0%以下の小麦でも $\alpha$ -アミラーゼ活性が1,000mU/gに達する試料が認められた。また、穂発芽とアミロ値の相関は $r=-0.248$ と低かった。特に穂発芽2%以下の領域では800B. U. から100B. U. 以下まで広く分布していた。一方、 $\alpha$ -アミラーゼ活性とアミロ値との相関は $r=-0.726^{**}$ と比較的高かった。

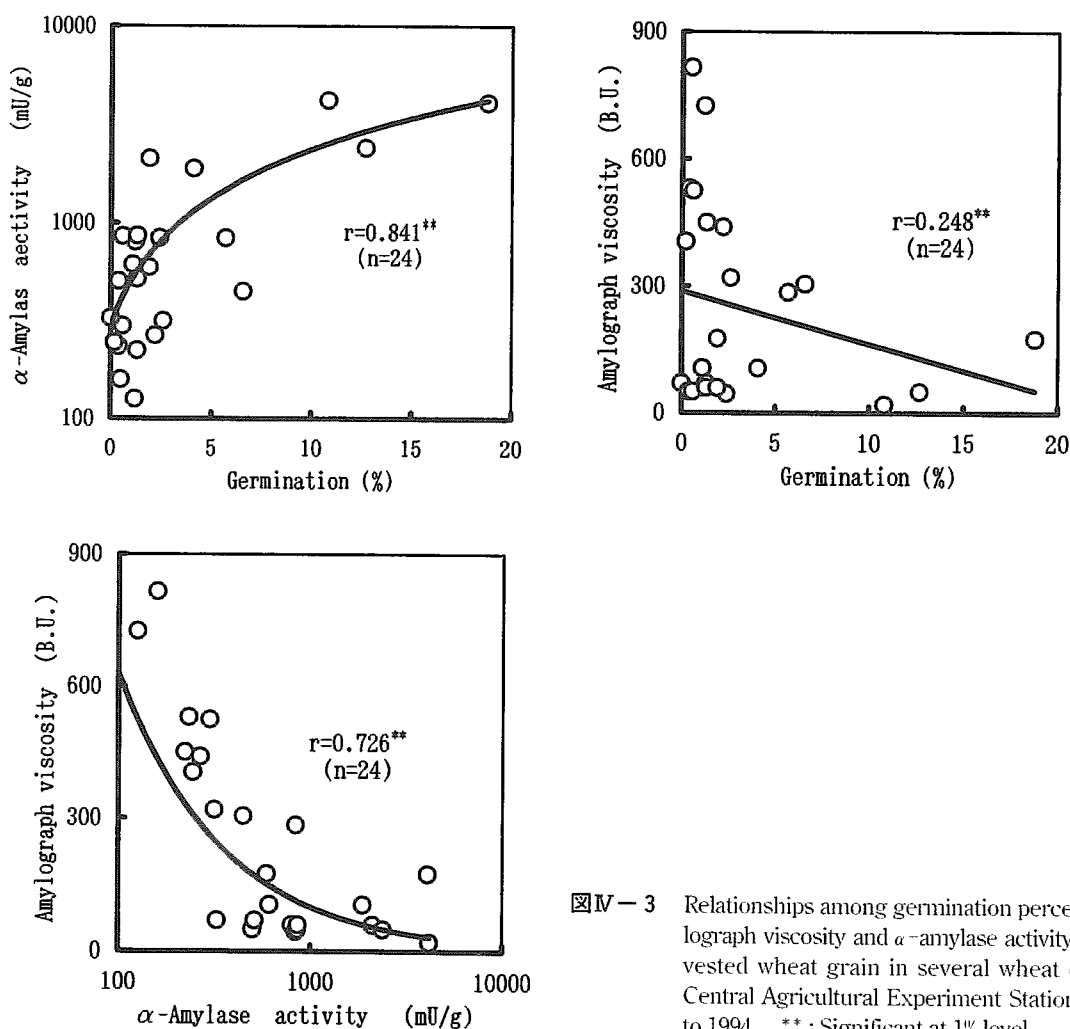
このように、穂発芽粒率は低アミロ小麦の大まかな目安にはなるが、発生率が低い領域においてはアミロ値との関係は判然としなかった。したがって、耐性をより正確に評価するためには $\alpha$ -アミラーゼ活性の測定を併用することが望ましいと考えられる。

表IV-1 Variation of germination percentage in late harvested wheat grain in 5 cultivars grown at different locations from 1988 to 1995.

Year	Agricultural Experiment Station	Chihoku-komugi	Horoshiri-komugi	Kitakei-1354	Lancer	Satanta
1988	Tokachi	16.5	0.4	0.0	0.0	0.0
	Kitami	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0
1989	Tokachi	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	Kitami	28.6	3.8	0.1	6.6	2.5
1990	Tokachi	93.8	10.9	7.1	4.7	1.6
	Kitami	96.0	43.4	5.6	6.2	5.6
	Central	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1991	Central	2.0	1.9	0.3	0.7	0.5
1992	Central	18.8	10.8	0.4	1.1	1.9
1993	Central	5.7	0.2	0.5	0.6	0.4
1994	Central	12.7	2.6	0.0		
1995	Central	47.6	37.8	1.3	18.5	
	Mean	26.8	9.3	1.3	3.5	1.3

表IV-2 Variation of  $\alpha$ -amylase activity in late harvested wheat grain in 5 cultivars grown at different locations from 1988 to 1995.

Year	Agricultural Experiment Station	Chihoku-komugi	Horoshiri-komugi	Kitakei-1354	Lancer	Satanta
1988	Tokachi	1,675	179	84	521	159
	Kitami	118	97	81	125	97
1989	Tokachi	132	100	83	114	206
	Kitami	2,779	846	87	930	251
1990	Tokachi	12,174	1,961	134	384	337
	Kitami	20,366	7,973	413	3,070	1,253
	Central	106	113	97	172	103
1991	Central	510	582	144	422	227
1992	Central	4,071	4,173	500	610	588
1993	Central	833	243	159	851	233
1994	Central	2,393	314	144		
1995	Central	8,808	4,071	321	3,565	
	Mean	4,497	1,721	187	979	345



図IV-3 Relationships among germination percentage, amylograph viscosity and  $\alpha$ -amylase activity in late harvested wheat grain in several wheat cultivars at Central Agricultural Experiment Station from 1992 to 1994. \*\*: Significant at 1% level.

第2項 穂発芽耐性と成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性の関係

1992年の成熟期試料に穂発芽の発生は認められず、 $\alpha$ -アミラーゼ活性の平均は181mU/gと比較的低かったが、活性が300mU/g以上の試料が11.7%認められた(表IV-3)。1993年では成熟期試料で穂発芽が認められ、穂発芽粒率の平均は3.0%であった。また、 $\alpha$ -アミラーゼ活

性の平均は490mU/gと高く、300mU/g以上が64.6%を占めていた。1994年は成熟期で穂発芽の発生は認められず、 $\alpha$ -アミラーゼ活性の平均は165mU/gと低く、活性が300mU/g以上の試料も認められなかった。このように1993年に成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性が高かった原因として、成熟期前の低温かつ高湿な気象条件が影響していた。

成熟期に認められた高 $\alpha$ -アミラーゼ活性の発現要因について考察すると、1993年の低温高温条件下で穂発芽とともに高 $\alpha$ -アミラーゼ活性を示した品種や系統については、PrMS (Pre-maturity sprouting  $\alpha$ -amylase) に分類される。

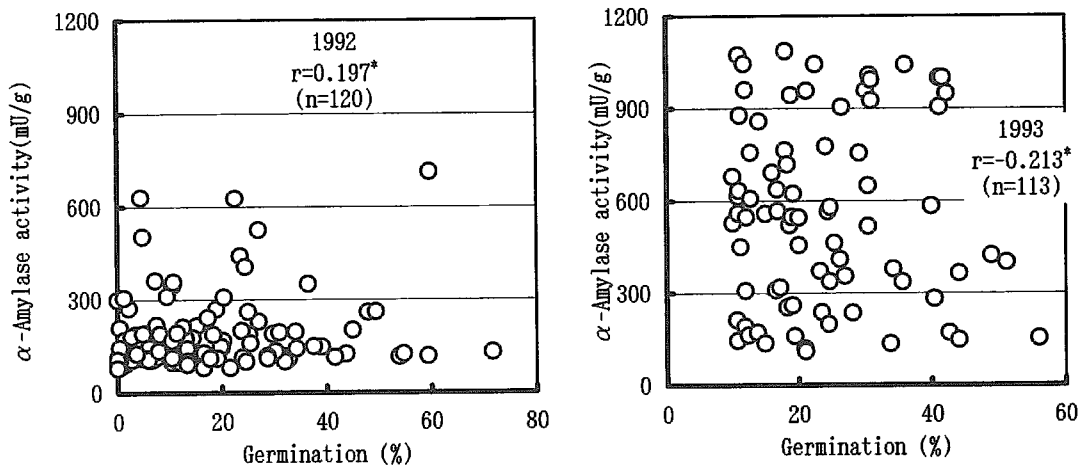
しかし、穂発芽がまったく認められないにもかかわらず高 $\alpha$ -アミラーゼ活性を示した品種や系統についてはその要因は判然としない。可能性の一つとしては、目に見えた発芽には至っていないが、子実内部では既に休眠が打破され、 $\alpha$ -アミラーゼが発現していることが考えられる。この場合、発芽は認められないが広義のPrMSと分類することが妥当であろう。一方、PMAA (Pre-maturity  $\alpha$ -amylase) の可能性も考えられる。特に、1992年

に高 $\alpha$ -アミラーゼ活性を示した系統については、登熟後期の気象条件が比較的良好で、穂発芽がまったく認められていないことから、PMAAの可能性が示唆される。

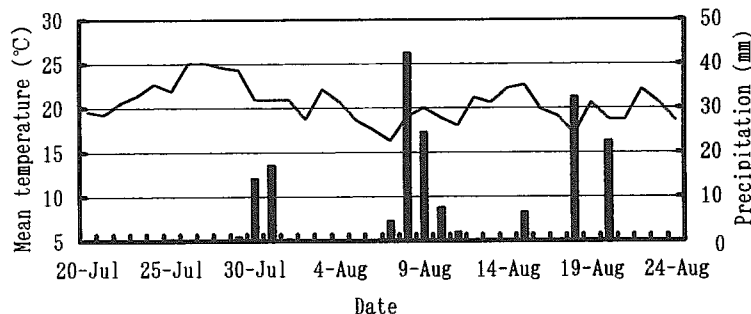
次に、成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性と、成熟期後に実施した降雨処理後の穂発芽小穂率との相関を検討した。その結果、1992年は $r=0.197^*$  ( $n=120$ , 図IV-4-①)、1993年は $r=0.213^*$  ( $n=113$ , 図IV-4-②)と相関は低く、1994年も $r=0.084$  ( $n=119$ )と低かった。この様に、いずれの年次においても相関が低かったことから、成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性と成熟期以降の穂発芽耐性とは異なる形質と考えられた。したがって、低アミロ耐性品種の選抜のためには成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性と穂発芽耐性の両者を検定する必要がある。

表IV-3  $\alpha$ -Amylase activity in grains and germination percentage at maturity in 120 lines and varieties at Tokachi Agricultural Experiment Station from 1992 to 1994.

	$\alpha$ -Amylase activity (mU/g)			Germination (%)		
	1992	1993	1994	1992	1993	1994
Average	181	490	165	0.0	3.0	0.0
Maximum	711	1,085	322	0.0	39.3	0.0
Minimum	78	110	112	0.0	0.0	0.0
SE	115	303	33	0.0	4.5	0.0



図IV-4 Relationships between germination percentages by a wetting treatment about 2 weeks post maturity and  $\alpha$ -amylase activity in grains at maturity at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1992 and 1993. \*: Significant at 5% level.



図IV-5 Weather conditions at Central Agricultural Experiment Station in 1995. Bar : precipitation, line : mean temperature.

第3項 春播小麦の穂発芽耐性の評価

春播小麦の成熟期は8月5～7日であった。成熟期付近の気象条件としては、7月29日から4日間、8月7日から5日間に連日降雨があり、その後も8月15、18、20日と全般に雨が多かった(図IV-5)平均気温は7月中は比較的高かったが、その後は調査期間を通して20℃前後であった。

図IV-6-①に春のあけぼの子実水分、 $\alpha$ -アミラーゼ活性、発芽粒率の推移を示した。調査を開始した7月20日の子実水分は70%と高かったが経時的に低下し、8月7日の成熟期には40%となった。しかし、その後は断続した降雨により子実水分は30%以上と高く推移していた。穂発芽は成熟期3日後の8月10日までは認められなかったが、8月14日には2.9%の穂発芽粒が検出され、さらに微増した。 $\alpha$ -アミラーゼ活性は登熟中期の調査開始時は2,700mU/gと高かったが、子実水分とともに低下し、成熟期で268mU/g、成熟期後の8月10日には166mU/gまで低下した。その後は降雨による穂発芽の発生とともに再び高まり、8月14日で443mU/g、21日には930mU/gまで高まった。ゼンコウジコムギ、ニシカゼコムギ、北系春617、OS21-5の $\alpha$ -アミラーゼ活性および発芽粒率の推移も春のあけぼのとはほぼ同様の傾向を示した。

一方、ハルユタカの $\alpha$ -アミラーゼ活性および発芽粒率の推移については他の5品種と異なる傾向を示した(図IV-6-②)。すなわち、成熟期前に子実水分が低下しても $\alpha$ -アミラーゼ活性は800mU/g程度と全般に高く、成熟期以降は穂発芽の発生とともにさらに高まり、8月

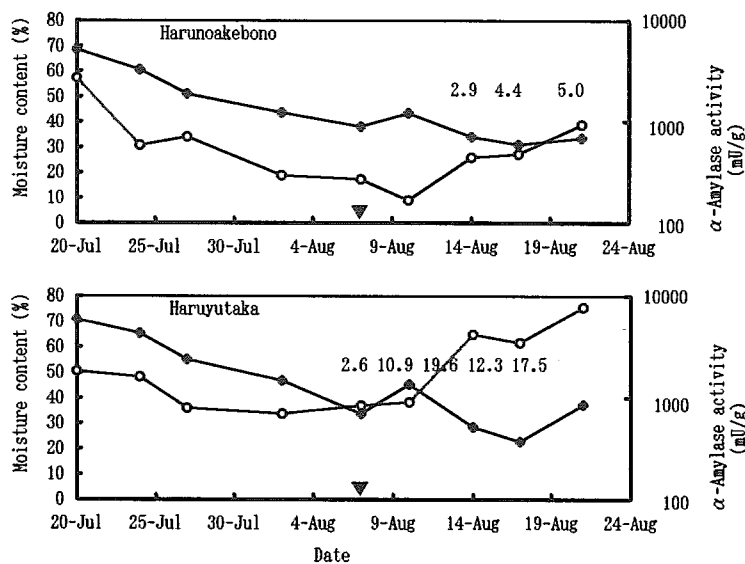
21日には7,700mU/gに達した。成熟期から $\alpha$ -アミラーゼ活性の高かった理由として穂発芽の発生が挙げられる。すなわち、成熟期で2.6%の穂発芽粒率が認められ、その後10%以上に上昇した。

登熟中期、成熟期および晩刈りの試料について、 $\alpha$ -アミラーゼのアイソザイムパターンを解析した(図IV-7)。北系春617は登熟期に低pI部にAmy-2の活性が強く認められ、成熟期でも低pI部のみに活性が検出された。晩刈りでは低pI部とともに、高pI部にAmy-1の活性が強く認められた。春のあけぼの、OS21-5、ゼンコウジコムギ、ニシカゼコムギもこれとほぼ同様の推移を示した。

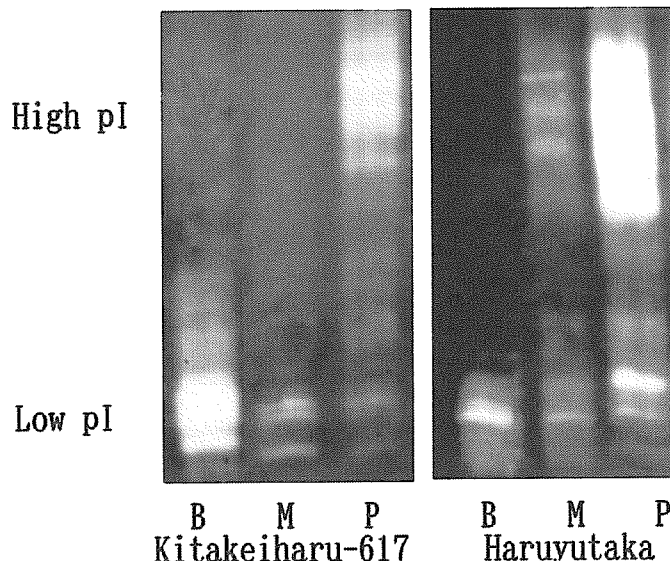
ハルユタカのアイソザイムは登熟中期においてはAmy-2のみ検出され、成熟期で低pI部とともに高pI部に活性が検出され、晩刈りでは両者ともにさらに強い活性が認められた。

このようなハルユタカの推移は、低温高湿条件下におけるチホクコムギの推移と類似しており、穂発芽耐性の弱いハルユタカは成熟期前の降雨によりPrMS現象を示したものである<sup>4)</sup>。

各品種の発芽粒率および $\alpha$ -アミラーゼ活性の推移の特徴を明らかにするため、I：登熟中期(7月20日)、II：成熟期(8月7日)、III：晩刈り(8月21日)における発芽粒率と $\alpha$ -アミラーゼ活性を検討した(表IV-4)。登熟中期においてはいずれの品種も発芽は認められず、一方、 $\alpha$ -アミラーゼ活性は1,000mU/g程度以上と高かった。成熟期において、ハルユタカは既に2.6%の発芽が認められ、 $\alpha$ -アミラーゼ活性も837mU/gと高かった。



図IV-6 Changes in moisture content,  $\alpha$ -amylase activity and percentage of germinated grain in Harunoakebono and Haruyutaka at Central Agricultural Experiment Station in 1995. ◆; Moisture content, ○;  $\alpha$ -amylase activity and ▼; maturity. The numbers show germination percentages.



図IV-7 Electrophoresis pattern on isozymes of  $\alpha$ -amylase in Kitakeiharu-617 and Haruyutaka grown in field and harvested at 2 weeks before maturity (B), at maturity (M) and at 2 weeks post maturity (P) at Hokkaido Central Agricultural Experiment Station in 1995.

表IV-4 Percentage of germination and  $\alpha$ -amylase activity in grain harvested at ripening stage, maturity and late stage.

Variety	Germination (%)			$\alpha$ -Amylase activity (mU/g)		
	I *	II *	III *	I *	II *	III *
Harunoakebono	0.0	0.0	5.0	2,712	268	930
Haruyutaka	0.0	2.6	17.5	1,822	834	7,749
Zenkoujikomugi	0.0	0.0	6.9	3,380	324	896
Nishikazekomugi	0.0	0.0	7.8	991	149	1,440
Kitakeiharu-617	0.0	0.0	3.1	1,637	174	748
OS-21	0.0	0.0	5.2	3,140	181	737

\* I: Ripening stage at 20-July, II: maturity at 7-August, and III: late stage at 21-August.

他の5品種では成熟期で発芽は認められなかったが、 $\alpha$ -アミラーゼ活性に若干の品種間差が認められ、ゼンコウジコムギが324mU/g、春のあけぼのが268mU/gとやや高く、ニシカゼコムギ、OS21-5、北系春617は200mU/g未満と低かった。晩刈りにおいてもハルユタカの発芽粒率は17.5%で、他の品種が10%以下であったのと比較すると高く、 $\alpha$ -アミラーゼ活性も7,700mU/g以上と高かった。逆に、北系春617は発芽粒率が3.1%と低く、 $\alpha$ -アミラーゼ活性も748mU/gと最も低かった。

このように、ハルユタカは穂発芽しやすく $\alpha$ -アミラーゼ活性が全般に高く維持されるために、低アミロ耐性は劣ると結論される。他の5品種の中では、北系春617の発芽粒率および $\alpha$ -アミラーゼ活性が最も低かったことから、低アミロ耐性が高いといえる。

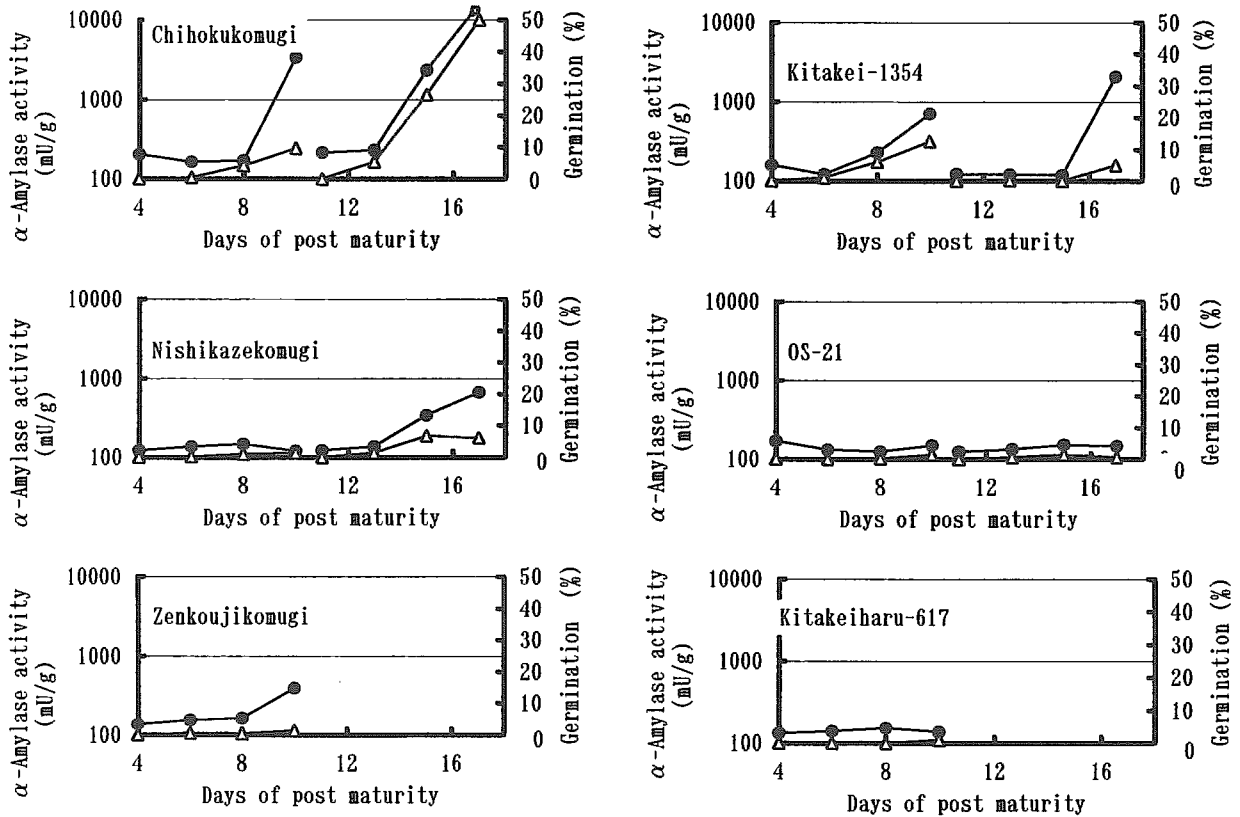
しかし、高耐性と評価された北系春617においても成熟期の1週間後には発芽と $\alpha$ -アミラーゼの発現が認められていた。一般に、春播小麦は8月上~中旬に成熟期

から収穫期となるが、この時期は年内で最も降雨の多い季節で、秋播小麦の気象条件よりさらに厳しいといえる。したがって、このような気象条件を考慮すると、現状の春播小麦の低アミロ耐性では充分とはいえず、今後さらに改良する必要がある。

春播小麦と秋播小麦の低アミロ耐性を比較するためにポット栽培試料に対する降雨処理試験を行った。その結果、チホクコムギの1回目の降雨処理において、処理6日後の穂発芽粒率は30%以上に達し、 $\alpha$ -アミラーゼ活性が3,300mU/gと大きく高まった(図IV-8)。2回目の降雨処理ではさらに穂発芽粒率および $\alpha$ -アミラーゼ活性が高まった。北系1354においてもチホクコムギと同様に、1、2回目ともに6日間の降雨処理では発芽および $\alpha$ -アミラーゼの発現が認められたが、活性程度はチホクコムギより全般に低かった。

ニシカゼコムギの1回目処理では穂発芽および $\alpha$ -アミラーゼの発現は認められなかった。2回目処理では発





図Ⅳ-8 Changes in  $\alpha$ -amylase activity (●) and percentage of germinated grain (△) by wetting treatment for wheat ears. Ears were harvested at 4 days and 11 days post maturity and subjected to wetting treatments. As for Zenkoujikomugi and Kitakeiharu-617, Wetting treatments were carried out only once at 4 days post maturity. With respect to wetting treatment, ears were irrigated by overhead sprinkler at 9 and 17 o'clock everyday and were incubated under high humidity. Parts of ears were sampled at 2, 4, 6, days after treatment, and  $\alpha$ -amylase activity and percentages of germinated grain were evaluated.

芽および $\alpha$ -アミラーゼの発現が認められ、6日目で活性は659mU/gとなった。OS21-5では、1, 2回目処理ともに穂発芽および $\alpha$ -アミラーゼの発現は認められなかった。ゼンコウジコムギおよび北系春617では成熟期4日後からの処理のみを実施したが、ゼンコウジコムギでは6日目に391mU/gまで高まった。北系春617では穂発芽および $\alpha$ -アミラーゼの発現は認められなかった。

以上の結果から、秋播小麦の中では耐性が強いと評価されている北系1354と春播小麦を比較すると、OS21-5の低アミロ耐性は北系1354よりやや優る傾向が認められた。ニシカゼコムギは北系1354と同程度と推測される。ゼンコウジコムギおよび北系春617については、穂発芽処理が1回しかできなかったため情報量は少ないが、この限りにおいては北系1354と同等かそれ以上の低アミロ耐性と推測される。

今後、これらの遺伝資源を導入することにより道内秋播小麦の低アミロ耐性の向上が期待される。現在、北系1354とゼンコウジコムギおよび北系春617を組み合わせ

た交配を実施し、その後代について穂発芽耐性を検討中であるが、北系1354よりも高耐性の系統が得られており、ゼンコウジコムギおよび北系春617の低アミロ耐性母材としての有効性が示されている。今後これらの組み合わせから得られた高耐性の系統については、交配母本としての利活用が可能となろう。

#### 第4節 要約

成熟期以降の穂発芽耐性の変動と品種間差を明らかにするとともに、穂発芽、 $\alpha$ -アミラーゼ活性、アミロ値相互の関連を検討し、耐性品種選抜のための検定法を検討した。圃場から採取された穂試料に対する降雨処理試験の結果から、チホクコムギが穂発芽しやすく、 $\alpha$ -アミラーゼも高まりやすいことが確かめられ、ホクシンはチホクコムギよりも1ランク耐性が強かった。また、現状の品種で最も耐性の強いのは北系1354と考えられたが、成熟期前後が低温高湿となる十勝においては十分な耐性とはいえず、さらに耐性を高める必要がある。

晩刈り試料の穂発芽粒率および $\alpha$ -アミラーゼ活性は年次および地帯による変動が大きかったが、複数年を平均すると品種間差が明瞭となった。また、穂発芽粒率とアミロ値との相関は低く、穂発芽粒率の低い領域では関係は判然としなかった。したがって、穂発芽粒率は低アミロ小麦の大まかな目安になるが、より正確な耐性評価のためには $\alpha$ -アミラーゼ活性の測定を併用することが望ましい。

十勝農試において成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性を測定するとともに、成熟期後の穂発芽耐性との関係を解析した結果、成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性に年次間差が認められ、成熟期以前が低温かつ高湿条件では、成熟期で高 $\alpha$ -アミラーゼ活性を示す品種、系統が多数認められた。この要因として、PrMSによるものが多いと推測されたが、PMAAの可能性も否定できない。また、成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性と成熟期以降の穂発芽小穂率とはいずれの年次も相関が低かったことから、両者は異なる形質と

考えられた。したがって、低アミロ耐性品種を育成するためには、新たに成熟期付近の $\alpha$ -アミラーゼ活性についても検定する必要がある。

低アミロ耐性母材の検索を目的として、春播小麦6品種（ハルユタカ、春のあけぼの、北系春617、OS21-5：以上道内品種、ゼンコウジコムギ、ニシカゼコムギ；以上府県品種）の成熟期前後の穂発芽粒率および $\alpha$ -アミラーゼの推移を調査した結果、ハルユタカは成熟期において既に穂発芽が発生したため、成熟期付近で高い $\alpha$ -アミラーゼ活性を示した（PrMS）。

他の5品種のうちでは北系春617が最も高耐性と推測され、春のあけぼの、ゼンコウジコムギ、OS21-5がそれに続き、ニシカゼコムギはやや劣っていた。これら5品種の低アミロ耐性は高耐性秋播小麦である北系1354と同等かあるいは優るものと推測され、今後これらの遺伝資源を導入することにより道内秋播小麦の低アミロ耐性の向上が期待される。

## 第5章 窒素施肥および降雨が小麦品質に及ぼす影響

### 第1節 緒言

これまで本研究では気象条件がアミロ値 ( $\alpha$ -アミラーゼ活性) に及ぼす影響について研究してきた。アミロ値は麵用小麦において非常に重要な品質項目であるが、子実の蛋白含有率および粉色も重要な品質である。すなわち、麵用小麦の品質として、蛋白含有率が10%程度と中庸なこと、粉が明るく冴えた色調を有することなどが求められている<sup>51)</sup>。しかし、道産小麦品質については、蛋白含有率の地域や年次による変動が大きく<sup>58)</sup>、低蛋白含有率あるいは高蛋白含有率の小麦が生産されていること、粉色についても灰色がかり、くすんでいるなどの問題が需用者から指摘されている<sup>51, 57, 59)</sup>。

これらの小麦品質は品種固有の特性であると同時に栽培環境の影響を大きく受けることが知られている。子実の蛋白含有率は窒素施肥の影響を強く受け、一般に多肥により蛋白含有率が高まる<sup>6, 13, 16, 18)</sup>。また、粉色は子実中の蛋白含有率に影響されるとともに<sup>82, 83)</sup>、気象条件の影響も受けると指摘されている<sup>102)</sup>。

そこで、本章では収穫前の降雨および窒素施肥がこれら小麦品質に及ぼす影響を、試験圃場および農家圃場から採取した試料を用いて解析した。

### 第2節 実験材料および方法

#### 1. 供試品種

降雨遮断試験にはチホクコムギとホクシンの2品種を用い、窒素施肥試験にはチホクコムギを供試し、現地採取試料の品質調査ではホクシンを調査対象とした。

#### 2. 降雨遮断試験

1995年の出穂後(6月末)に圃場の一部をビニールハウスで覆い、降雨の影響を遮断した。なお、窒素施肥量は播種時に40Nkg/haを側状施用し、起生期に80Nkg/ha

を硫酸で表面追肥した。リン酸およびカリは播種時に $P_2O_5 : K_2O = 160 : 92$ kg/haを側条施用した。自然降雨条件および無降雨条件ともに成熟期(チホクコムギ: 7月23日, ホクシン: 7月20日)の直後, 8月2日, 8月10日に試料を採取し, 穂発芽粒率,  $\alpha$ -アミラーゼ活性, アミロ値, 粉色などの品質分析を実施した。

#### 3. 窒素施肥試験

降雨遮断試験と同様に, 中央農試場内に基肥窒素40Nkg/haを作条施肥し, チホクコムギを播種した。翌年の起生期以降に窒素追肥処理を実施した(表V-1)。すなわち, 処理1(40Nと略称する)では無追肥とし, 処理2(80N)および処理3(120N)では起生期にそれぞれ40Nkg/ha, 80Nkg/haの追肥を行い, 処理4(160N)では起生期に80Nkg/haを追肥した後, さらに止葉期に40Nkg/haの追肥を行った。成熟期の3日後(7月26日)に適期収穫試料を採取するとともに, 成熟期の15日後(8月7日)に晩刈りの試料を採取し, 穂発芽粒率,  $\alpha$ -アミラーゼ活性, 蛋白含有率, アミロ値, 粉色などの品質分析を実施した。

#### 4. 現地採取試料の品質調査

1995年に全道のホクシン栽培農家43圃場から子実試料を収集し, 穂発芽粒率,  $\alpha$ -アミラーゼ活性, 蛋白含有率, アミロ値, 粉色などの小麦品質を分析し, 相互の関係を調査した。

#### 5. 調査・分析方法

千粒重, 穂発芽粒, 全粒粉の $\alpha$ -アミラーゼ活性, 小麦粉のアミロ値については本研究の常法に従った。子実中の蛋白含有率の測定は, 全粒粉を対象として近赤外分光分析装置(ブランルーベ社, インフラライザー500)を用いて行い<sup>79)</sup>、風乾物(子実水分13.5%ベース)当たりの含有率(mg/g)で表した。小麦粉の粉色は試料3gに脱塩水4mlを加えてペースト状にし, 反射式の色彩色差

表V-1 Treatment of nitrogen fertilizer application.

No	Nitrogen supply (N kg/ha)	Nitrogen application stage and rates (N kg/ha)		
		Basal*	Top-dressing 1*	Top-dressing 2*
1	40	40	0	0
2	80	40	40	0
3	120	40	80	0
4	160	40	80	40

\* ; Basal : at sowing time in September, Top-dressing 1 : at rising stage in April and Top-dressing 2 : at heading stage in Middle June.

計（東京電色, TC-1800mk<sup>2</sup>）を用いて, L\*を測定した。L\*は粉の明るさを表し, この値が高いほど明るい色調で, 官能検査でも高い評点が得られている<sup>7)</sup>。

### 第3節 実験結果および考察

#### 1) 降雨遮断試験

1995年の7月下旬から8月上旬の中央農試の気象状況において, 7月20日から28日までは気温も高く, 少雨傾向に推移したが, 7月29日から8月1日まで4日間連続して降雨があった(図V-1)。さらに, 8月7日以降も4日間の連続した降雨が認められた。

チホクコムギ, ホクシンの両品種ともに, 無降雨条件下では成熟期から8月10日まで穂発芽の発生は認められなかった(図V-2-①)。自然条件下でも成熟期の直後では穂発芽が認められなかったが, その後は降雨の影響を受け穂発芽の発生が認められた。すなわち, 8月2日の穂発芽粒率はチホクコムギが9.3%, ホクシンが1.6%であった。さらに8月10日では発生率が高まり, チホクコムギでは48.8%に達し, ホクシンでも10.6%と高かった。

$\alpha$ -アミラーゼ活性は穂発芽粒率と同様の推移を示した(図V-2-②)。すなわち, 無降雨条件下ではいずれの品種も $\alpha$ -アミラーゼ活性は100~200mU/gと低く, 自然条件下でも成熟期の直後では低かったが, その後は大きく上昇した。8月2日ではチホクコムギが860mU/g, ホクシンが470mU/gとなり, さらに8月10日ではチホク

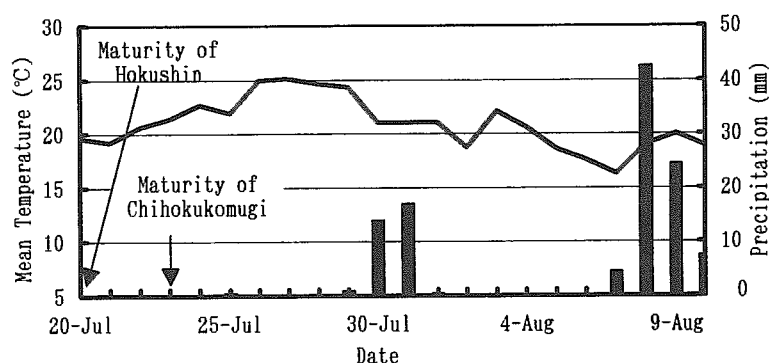
コムギが15,000mU/gに達し, ホクシンも3,000mU/gとなった。

無降雨条件のアミロ値は, 調査期間中チホクコムギではおよそ900B.U., ホクシンでは1100B.U.程度と高い値を維持していた(図V-2-③)。自然条件下でも成熟期直後では無降雨条件下と同程度の高い値を示したが, その後は $\alpha$ -アミラーゼ活性の発現により急激に低下した。すなわち, チホクコムギでは成熟期翌日の860B.U.から8月2日では175B.U.と低アミロ化し, 8月10日では10B.U.まで低下した。ホクシンも成熟期直後の1080B.U.が8月2日では510B.U.と低下し, 8月10日では100B.U.となり低アミロ化した。

粉色のL\*もアミロ値と同様の推移を示した(図V-2-④)。無降雨条件ではチホクコムギ, ホクシンともに83.5以上の高い値で推移していたが, 自然条件では経時的に低下した。すなわち, チホクコムギでは成熟期翌日に83.9と無降雨条件と同等の値を示したが, 8月2日では82.5と低下し, 8月10日では80.8まで低下した。ホクシンも成熟期直後における83.3が, 8月2日では82.7, 8月10日では82.1と低下したが, 低下程度はチホクコムギよりも小さかった。

#### 2) 窒素施肥試験

収量調査の結果, 総窒素施肥量が多いほど, 茎数が増加し, 地上部重, 子実収量が高まる傾向を示した(表V-2)。次に適期収穫(7月26日)の小麦品質について検討すると, いずれの処理区でも穂発芽の発生は認めら

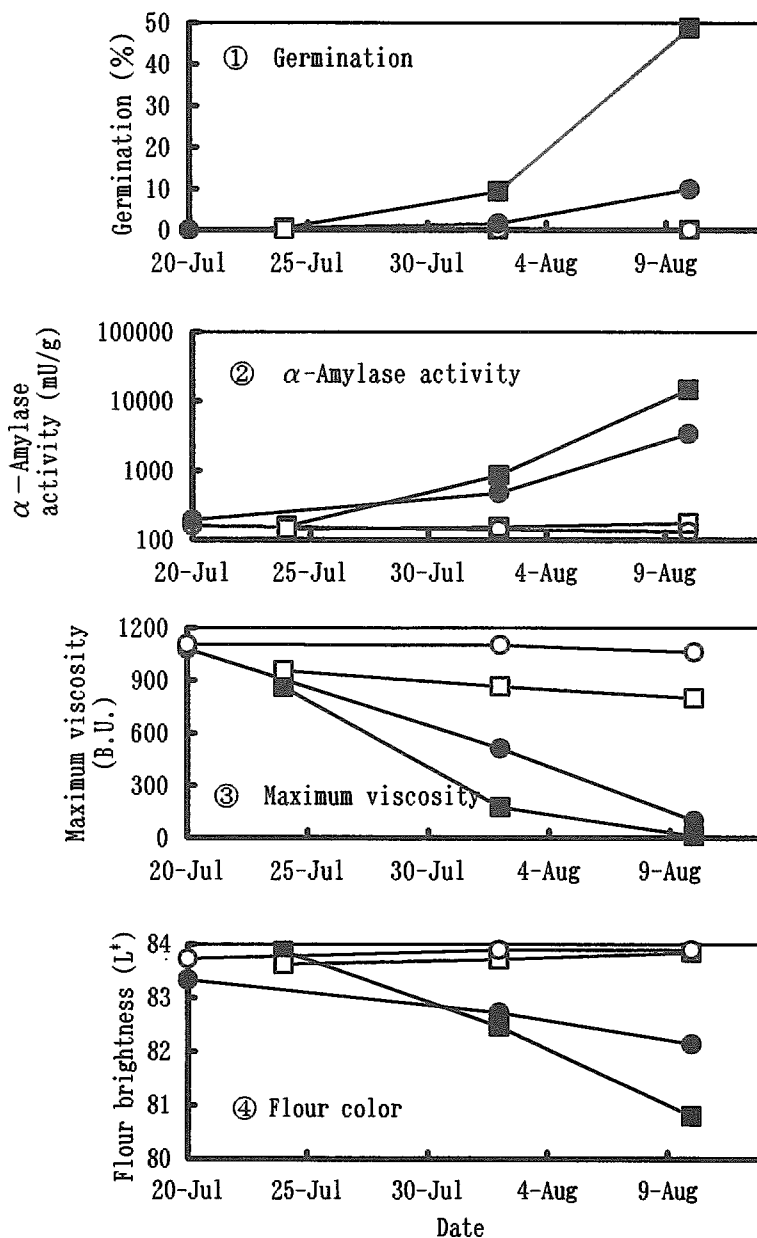


図V-1 Weather conditions at Central Agricultural Experiment Station in 1995. Bar: precipitation, line: mean temperature.

表V-2 Effects of nitrogen supply on stem number, yield, and grain weight.

Treatment	Stem number (/m <sup>2</sup> )	Total weight (Mg/ha)	Grain yield (Mg/ha)	One grain weight (mg)
40N	720	9.4a	4.0a	38.8
80N	710	10.4ab	4.5ab	39.6
120N	797	10.7ab	4.7abc	38.5
160N	843	12.6b	5.5c	39.8

Means with different alphabets are significantly different at 5% level by t-test.



図V-2 Effects of rainfall on wheat grain quality. ■ : Chihokukomugi grown under natural conditions, □ : Chihokukomugi grown under vinyl house, ● : Hokushin grown under natural conditions, and ○ : Hokushin grown under vinyl house.

れなかった (表V-3).  $\alpha$ -アミラーゼ活性も147~172 mU/gと全般に低かった. アミロ値はいずれの処理でも700B. U. 以上で比較的高い値を示した. 蛋白含有率は40N, 80N, 120N区では92~93mg/gと同程度であったが, 160N区では103mg/gと約10mg/g高かった. 粉色のL\*では40N, 80N区が83.6~83.7であったのに対して, 120N, 160N区では83.0とわずかに低下した.

成熟期直後では各区とも倒伏は認められなかったが, その後の降雨により稈が傾斜し, 8月2日に茎数の多い120N, 160N区では挫折倒伏した. 8月7日の晩刈り調査では倒伏していない部分においても穂発芽の発生が認

められ, アミロ値が低下するとともにL\*も低下し, 適期収穫時より全般に品質の劣化傾向が認められた. しかし, 特に倒伏した部分での品質低下が大きかったことから, 倒伏の発生が穂発芽や粉色, アミロ値に及ぼす影響を検討した. その結果 (表V-4), 穂発芽率は無倒伏の11.0%に対して倒伏は17.6%と高く,  $\alpha$ -アミラーゼ活性も無倒伏の781mU/gに対して倒伏は1284mU/gと高かった. 一方, アミロ値も無倒伏の140に対して倒伏は70と低下し, 粉色のL\*も無倒伏の82.6に対して倒伏は81.9と低かった. このように, 倒伏した区では無倒伏区より穂発芽率および $\alpha$ -アミラーゼ活性が高く, アミロ粘度と

表V-3 Effects of nitrogen supply on grain quality at four days after maturity (26-July) and an occurrence of lodging at late harvest stage (2-August).

Treatment	Germination Percentage (%)	Protein content in grain (mg/g)	$\alpha$ -Amylase activity in grain (mU/g)	Maximum viscosity of flour (B.U.)	Brightness of flour (L*)	Occurrence of lodging
40N	0	92a <sup>b</sup>	170	740	83.7a	Non
80N	0	93a	172	720	83.6a	Non
120N	0	93a	147	720	83.0b	Observed
160N	0	103b	152	745	83.0b	Observed

Means with different alphabets are significantly different at 5% level by t-test.

表V-4 Effects of lodging on grain quality at late harvest.

Occurrence of lodging	Germination (%)	$\alpha$ -Amylase activity (mU/g)	Maximum viscosity (B.U.)	Brightness of flour (L*)
Non	11.0	781a	140a	82.6
Observed	17.6	1,284b	70b	81.9

Means with different alphabets are significantly different at 5% level by t-test.

粉色は低下した。

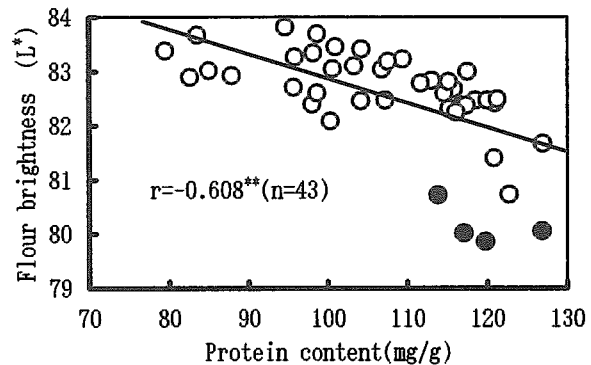
3) 現地採取試料の品質調査

全道から採取された1995年産ホクシン43点の品質概況を表V-5に示した。千粒重の最小は34.2g, 最大は46.2gで, 平均は40.1gであった。蛋白含有率の最小は80mg/g, 最大は127mg/gで, 平均は108mg/gであった。穂発芽粒率の最小は0%, 最大は5.5%で, 平均は0.5%であった。 $\alpha$ -アミラーゼ活性の最小は128mU/g, 最大は670mU/gで, 平均は204mU/gであった。アミロ値の最小は195B.U., 最大は1115B.U.で, 平均は869B.U.であった。粉色のL\*の最小は79.9, 最大は83.8で, 平均は82.5であった。

次に品質相互の関係を検討すると, 蛋白含有率と粉色のL\*との間には  $r = -0.608^{**}$  ( $n=43$ ) で, 有意な負の相関が認められた (図V-3)。すなわち, 全体に蛋白含有率が高まるとL\*が低下する傾向が認められた。特に蛋白含有率が110mg/g以上でL\*が急激に低下した。

穂発芽粒率と  $\alpha$ -アミラーゼ活性は  $r = 0.930^{**}$  の高い

正の相関が認められ, 穂発芽粒率とアミロ値は  $r = -0.765^{**}$  の比較的高い負の相関が認められ, 粉色のL\*とも  $r = -0.806^{**}$  の負の相関が認められた。また,  $\alpha$ -アミラーゼ活性はアミロ値と  $r = -0.823^{**}$  の負の相関が



図V-3 Relationship between protein content in grain and flour brightness (L\*). ○: Samples with under 2% of germinated grains and ●: Samples with over 2% of germinated grains. \*\*: Significant at 1% level.

表V-5 Correlation among characteristics of grain quality in 43 Hokushin wheat samples.

	One grain weight (mg)	Protein content in grain (mg/g)	Germination percentage (%)	$\alpha$ -Amylase activity in grain (mU/g)	Maximum viscosity of flour (B.U.)	Brightness of flour (L*)
Minimum	34.2	80	0.0	128	195	79.9
Maximum	46.2	127	5.5	670	1,115	83.8
Average	40.1	108	0.5	204	868	82.4
S. D.	2.5	12	1.1	128	277	1.0
Protein	-0.137					
Germination	-0.261	0.360*				
$\alpha$ -Amylase	-0.243	0.417**	0.930**			
Viscosity	0.446**	-0.488**	-0.765**	-0.823**		
Brightness	0.272	-0.608**	-0.806**	-0.796**	0.811**	

\*, \*\*: Significant at 5% and 1% level, respectively.

認められ、 $L^*$ とも  $r = -0.796^{**}$  の負の相関が認められた。一方、アミロ値と  $L^*$  とは  $r = 0.811^{**}$  の正の相関が認められた。

以上のことから、窒素施肥および収穫前の降雨が蛋白含有率、アミロ値、粉色などの小麦品質に及ぼす影響を整理すると、図V-4のようにまとめられる。

収穫前の降雨およびそれに起因する穂発芽の発生は、アミロ値だけでなく粉色にも影響をおよぼしていた。すなわち、2品種ともに無降雨条件下では  $L^*$  はほとんど変化しなかったのに対して、自然降雨条件下では穂発芽の発生とともに  $L^*$  は低下した。現地採取試料においても、穂発芽粒率と  $L^*$  との間には高い負の相関が認められており、穂発芽の発生が  $L^*$  を低下させることが示された。

穂発芽により粉色が劣化した現象には、色々な要因が影響していると推測されるが、その一つとして穂発芽による製粉性の劣化が挙げられる。すなわち、降雨にあった小麦では種皮がもろくなるため、種皮が製粉過程で小麦粉画分へ混入しやすくなり、粉色が劣化すると指摘されている<sup>51, 59)</sup>。また、 $L^*$  の低下の原因として酵素化学的な影響も考えられる。すなわち、ポリフェノールオキシダーゼはモモ<sup>101)</sup> やバレイショ<sup>22)</sup> の褐変現象の主要因であるが、小麦にも含まれており変色の原因となりうる。この酵素が小麦の発芽時に発現し、粉色を劣化させている可能性が指摘されている<sup>29, 53, 102)</sup>。

また、自然降雨条件下における  $L^*$  の低下程度に品種間差が認められ、ホクシンはチホクコムギよりも降雨による  $L^*$  の低下程度は小さかった。これは、両者の穂発芽耐性が影響していると考えられ、ホクシンはチホクコムギよりも穂発芽耐性が高いために、穂発芽しにくく、 $L^*$  の低下程度も小さかったと推測される。従来、穂発芽耐性の向上は低アミロ小麦の発生防止が主目的であったが、粉色の劣化防止にも効果があることが示唆された。

次に窒素施肥の影響について検討すると、小麦子実の蛋白含有率制御には窒素施肥の増減が有効であり、特に生育後期の窒素追肥は蛋白含有率上昇効果が高いことが

指摘されている<sup>16)</sup>。本研究でも、止葉期の40Nkg/ha追肥により蛋白含有率がおよそ10mg/g上昇しており、窒素追肥の効果が確認された。

一方、蛋白含有率の上昇は粉色の  $L^*$  を低下させると指摘されているが、本研究の窒素施肥試験でも若干ではあるが  $L^*$  が低下する傾向が認められた。また、現地から採取された試料においても、子実中の蛋白含有率と粉色の  $L^*$  とは負の相関が認められ、特に110mg/g以上で  $L^*$  が大きく低下する傾向が認められた。しかし、これら高蛋白含有率で  $L^*$  の低い試料の中には穂発芽粒率が2%以上の試料が含まれていたことから、蛋白含有率の影響だけでなく、穂発芽の影響も示唆される。

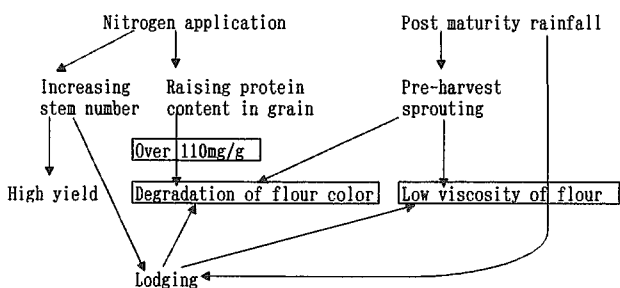
窒素施肥は子実中の蛋白含有率を上昇させただけでなく、茎数を増加させ子実収量の増収をもたらした。一方、茎数増は気象条件とも関連して、倒伏の発生を助長する危険性がある。本試験でも、茎数の多かった120N、160N区では倒伏が発生した。これら倒伏した小麦では穂発芽の発生を増加するとともにアミロ値および  $L^*$  が低下していた。

倒伏が穂発芽の発生を助長する原因については既に検討されており<sup>60)</sup>、子実の水分推移が大きく影響するとされている。すなわち、倒伏した小麦の子実は降雨時の吸水が早く、降雨後も子実水分の低下程度は小さく、さらに湿度が100%に達する夜間ではほとんど低下しなかった。このように、子実水分が全般に高く維持されたために、穂発芽の発生が助長され、アミロ値も低下した。

以上のことから、小麦品質の維持向上のためには過剰な窒素施用を控え、子実中の蛋白含有率の適正化と倒伏の防止に努めることが重要である。

#### 第4節 要約

収穫前の降雨および窒素施肥法が秋播小麦（チホクコムギおよびホクシン）の子実蛋白含有率、アミロ値、粉色 ( $L^*$ ) に及ぼす影響を検討した。その結果、降雨により穂発芽が発生するとともに、 $\alpha$ -アミラーゼが発現しアミロ値が低下したが、穂発芽の発生は  $L^*$  の低下にも影響を及ぼしていた。穂発芽耐性がチホクコムギより優れているホクシンは降雨後の  $L^*$  の低下程度も小さかったことから、穂発芽耐性の向上は粉色の劣化防止にも効果があると推測される。生育後期の窒素追肥は子実の蛋白含有率を高める効果が認められた。しかし、蛋白含有率と  $L^*$  との間には負の相関が認められ、特に蛋白含有率を高くしすぎる (110mg/g以上) と、 $L^*$  が低下する危険性が推測された。



図V-4 Effect of nitrogen application and post-maturity rainfall on grain yield, lodging and grain quality of wheat.

## 第6章 総合考察

### 第1節 北海道における低アミロ小麦の発生要因

低アミロ小麦は国内では北海道で発生が多いとされている。本研究で全道的な低アミロ小麦の発生実態を1989～1991年に実施した結果、1991年は十勝地方を中心に発生が認められた。その後も1995年、1998年に網走地方を中心に低アミロ小麦の被害が発生している。

このように3～4年に一度、低アミロ小麦が発生する気象条件は世界的にみてもかなり厳しく、乾燥地帯を起源とする小麦にとっては劣悪な条件といえる。したがって、今後も北海道で小麦生産を維持し高品質な小麦を流通させるためには、低アミロ問題を克服することが必須である。

1994年に育成されたホクシンはその後順調に栽培面積を増やしており、穂発芽耐性がチホクコムギより優れ、熟期もやや早いことから、大きな低アミロ小麦の被害を免れていることは朗報である。しかし、ホクシンでも十分な耐性でないことは本研究で明らかである。より一層低アミロ耐性を高めるためには、低アミロ小麦の発生要因や品種間差、選抜方法などに関する研究が不可欠である。

北海道における低アミロ小麦の発生要因を明らかにするために、様々な気象条件下における小麦子実 $\alpha$ -アミラーゼ活性およびそのアイソザイムの推移を調査した結果、以下の3つに類型化された。

パターン1：登熟後期に胚乳部で低pIのグリーン $\alpha$ -アミラーゼ (Amy-2) が高活性を示すが、子実水分の低下とともに活性は減少し、成熟期またはその直後にほぼ最小の活性となり、その後も低く維持される。穂発芽の発生は認められない。

パターン2：成熟期以前の $\alpha$ -アミラーゼ活性の推移はパターン1と同様であるが、成熟期以降に降雨に遭うと子実水分が上昇し、穂発芽が発生するとともに、主として胚の付近で高pIのモルト $\alpha$ -アミラーゼ (Amy-1) が発現する。

パターン3：登熟後期から成熟期にかけて子実水分の低下にもかかわらず、 $\alpha$ -アミラーゼ活性が比較的高く維持される。成熟期以降の気象条件によってはさらに $\alpha$ -アミラーゼ活性が高まることもある。成熟期においては発芽はまったく認められない場合とわずかではあるが認められる場合がある。

以上の3つの推移の中で、パターン1では成熟期以降の $\alpha$ -アミラーゼ活性は低いため、低アミロ小麦は発生しない。あらゆる気象条件下でもこのパターンを示す品種が最終的な品種改良の目標である。このパターンは北系1354で多く認められ、また、低アミロ耐性の弱いチホクコムギでは気象条件が良好な場合にのみこのパターンを示した。

パターン2では穂発芽とともに低アミロ小麦が発生するもので、一般的によく観察される。この $\alpha$ -アミラーゼ発現はKettlewellらの分類<sup>25)</sup>では成熟期後穂発芽に伴う $\alpha$ -アミラーゼ (Post-maturity sprouting  $\alpha$ -amylase : PoMS) に分類され、 $\alpha$ -アミラーゼが発現するかどうかは、成熟期以降の気象条件と品種の穂発芽耐性に影響される。したがって、このパターンの低アミロ化を防ぐためには穂発芽耐性の向上が重要である。また、穂発芽が発生する前に収穫が完了すれば低アミロ小麦の発生は回避できる。

パターン3では成熟期前後の $\alpha$ -アミラーゼ活性は全般に高く維持されるため、いずれの時期に収穫しても低アミロ小麦となるため品質上大きな問題となる。このパターンでは、発芽はまったく認められない場合と、わずかではあるが認められる場合がある。たとえわずかではあっても発芽が認められ、Amy-1が検出されると成熟期前穂発芽に伴う $\alpha$ -アミラーゼ (Pre-maturity sprouting  $\alpha$ -amylase : PrMS) に分類される。

また、発芽が認められない場合でも、広義のPrMSに分類される事例も多いと思われる。すなわち、低温高湿条件では目に見えるほどの発芽には至っていなくても、子実内部では既に休眠が打破され、Amy-1の $\alpha$ -アミラーゼが発現しているためである。たとえば、子実水分25～30%の領域では穂発芽は認められないのに、 $\alpha$ -アミラーゼは高まっていた。

しかし、Lancerのように穂発芽耐性の強い品種がまったく発芽せずに、比較的高温低湿条件でも高い $\alpha$ -アミラーゼ活性を示す場合、PrMSである可能性は低い。このように発芽に由来しない高 $\alpha$ -アミラーゼ活性現象は海外でも報告されており<sup>7, 9, 42)</sup>、イギリスのGale<sup>8)</sup>、Kettlewellら<sup>25)</sup>はPre-maturity  $\alpha$ -amylase (PMAA) と呼んでいる。PMAAの特徴としては、高pIのAmy-1が登熟後期から、胚の付近だけでなく子実全体に分布するものである。気象条件としては、低温高湿条件で発現する場合が



多いが、品種によっては比較的良好な気象条件でも発現することがある。Majorら<sup>36)</sup>はPMAAを誘導する気象条件として、低温高湿だけでなく高温と低温の急激な温度条件の変化が寄与している可能性を示している。

育種母材にPMAAの系統が含まれる場合、その後代もPMAAの形質を受け継ぎ、気象条件によっては穂発芽しないのに高 $\alpha$ -アミラーゼ活性を示す可能性が危惧される。オーストラリアでは育種母材からPMAAの系統を検索し、その後代については育種計画からの排除を進めている<sup>42)</sup>。したがって、道内においてもPMAAの母材が認められた場合、育種計画から排除する必要がある。

これまでの検討では、道内品種の中で明らかにPMAAと判定される $\alpha$ -アミラーゼ推移を示したのはLancerだけであるが、他の品種や系統についても気象条件によってはPMAAを示す可能性は否定できず、さらに検索する必要がある。

発芽が認められないのに成熟期で高 $\alpha$ -アミラーゼ活性を示す原因として、登熟期に発現しているAmy-2が残存している可能性が考えられる。すなわち、Retention of pericarp  $\alpha$ -amylase (RPA) である。RPAの特徴としては発芽が認められないことと、Amy-2だけが検出されAmy-1が認められない点で、他から区別可能である。これまでの観察結果から、成熟期前の低温高湿条件でRPAが成熟期まで残存したとしても、気象条件が回復し子実水分が低下すると、RPAの $\alpha$ -アミラーゼ活性も低下することが多かった。ただし、成熟期前後に全般に低温かつ高湿傾向で推移した場合、RPAからPrMS、さらにPoMSに移行する。成熟期前後に低温高湿傾向で推移する十勝地方では、このように移行する事例が多いと考えられる。

以上のように、成熟期で高 $\alpha$ -アミラーゼ活性を示すパターン3についても、①穂発芽とともにAmy-1が高活性を示す場合 (PrMS)。これには、見かけ上の穂発芽は認められないが、休眠が打破されて $\alpha$ -アミラーゼが発現する場合 (広義のPrMS) も含む。②発芽に由来しないAmy-1が発現する場合 (PMAA)、③登熟後期に高活性のグリーン $\alpha$ -アミラーゼ (Amy-2) が成熟期まで残存している (RPA)、の3つにタイプ分けが可能である。

## 第2節 主要な品種の低アミロ耐性評価

以上のように、北海道では気象条件により成熟期時点で $\alpha$ -アミラーゼが発現し、低アミロ化する事例が認められた。また、成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性と成熟期以降の穂発芽耐性とは必ずしも一致しないことから、低アミロ耐性品種の開発のためには、成熟期以降の穂発芽耐性による選抜とともに、成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性も

重要な指標である。

そこで、この二つの形質について現状の秋播小麦品種を評価すると、主要な秋播小麦品種の中で低アミロ耐性が低いのはチホクコムギで、ホロシリコムギやホクシンはこれよりやや耐性が高いといえる。ただし、ホロシリコムギについては穂中子実の吸水が遅いことから、このことが穂発芽耐性に大きく寄与していると考えられる。最も低アミロ耐性の高い品種は北系1354である。現在育成中の北見72号は北系1354を片親にもち、北系1354に準じる低アミロ耐性を有することから、今後この品種が現地に普及すれば、低アミロ小麦の被害はかなり軽減できると期待される。Satantaも北系1354に準ずる耐性を持つ。Lancerの穂発芽耐性は北系1354やSatantaと同等で、ホロシリコムギ、ホクシンより明らかに高かったが、前述のようにPMAAを示したため、低アミロ小麦耐性は低いと評価され、交配母材として利用するには不適である。

次に春播小麦について検討すると、ハルユタカは気象条件によっては成熟期で既に穂発芽と高 $\alpha$ -アミラーゼ活性が認められた。すなわち、ハルユタカでは穂発芽耐性が低いために、チホクコムギと同様にPrMSを示すことが明らかとなった。最も耐性が高いと思われるのは北系春617で、春のあけぼの、ゼンコウジコムギ、OS21-5がそれに続き、ニシカゼコムギはこれらと比較するとやや劣っていた。これらの品種と秋播小麦の中で最も耐性の高い北系1354と比較すると、北系春617、OS21-5は北系1354より耐性が高いと推測される。ニシカゼコムギとゼンコウジコムギも北系1354と同等かやや優ると推測される。

したがって、今後これらの遺伝資源を導入することにより道内秋播小麦の低アミロ耐性の向上が可能である。現在、北系1354とゼンコウジコムギおよび北系春617を組み合わせた交配を実施し、その後代について穂発芽耐性を検討中であるが、北系1354よりも高耐性の系統が得られている。

## 第3節 低アミロ耐性の育種目標と検定方法

北海道の気象条件を考慮して、道産秋播小麦に求められる低アミロ耐性程度とそれを選抜するための検定方法を、穂発芽耐性と成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性の両面から検討した。

### 1. 成熟期以降の穂発芽耐性

成熟期以降の耐性維持が必要な期間を子実水分および収穫期間から考察した。成熟期における子実水分は40%程度であるが、コンバインで収穫可能となるのは子実水分30%以下である。この間の乾燥速度は気象条件に大き

く左右されるが、気象条件の良好な道央地方においては約4日間を要していた。

また、収穫期間は単位面積当たりの収穫機械、乾燥設備の能力や気象条件によって異なるが、およそ7~10日間といわれている。したがって、道央地方においては成熟期以降約2週間、穂発芽耐性が維持され、低アミロ化しないことが必要と思われる。しかし、気象条件が低温高湿なことの多い十勝地方においては成熟期以降の水分低下は緩慢で、また収穫期間も低温多雨により延び延びとなるため、さらに1週間程度長い耐性期間が必要である。

次に降雨処理期間であるが、1995年に網走地方で穂発芽が多発した事例では、成熟期直後の6日間連続の降雨があり、さらにその後も降雨が断続していた。したがって、6日間の連続降雨処理でも穂発芽も $\alpha$ -アミラーゼも発現しないことが当面の穂発芽耐性の目標となる。

秋播小麦で最も穂発芽耐性の強い北系1354では、通常年では成熟期直後の4~5日の降雨でも休眠は打破されず、穂発芽は起こらない。しかし、成熟期の2週間後では3日程度の降雨で低アミロ化する危険性が大きいことから、北系1354でも十分な穂発芽耐性とはいえない。

成熟期後の穂発芽耐性評価のためには、従来から実施されているように、降雨処理が有効である。処理時期は成熟期の約2~3週間後が妥当であろう。処理期間については、前述のように6日間の降雨処理でも穂発芽も $\alpha$ -アミラーゼも発現しないことが望ましいが、現状の品種ではほとんどが穂発芽し、品種間差が判然としないと考えられることから、4日間程度の降雨処理が適当と推測される。処理温度としては、25℃では品種間差が小さ過ぎて不適當である。また、道内の7月中旬から8月上旬の降雨時の平均気温は15~20℃であることから、この付近の温度条件が自然条件に近く適当である。

しかし、北系1354以上の耐性を持つ母材の育成を目標とする場合や、選抜が進行し全体の穂発芽耐性が向上したときは、選抜強度を強める必要がある。すなわち、処理期間を延長するか、処理時の温度条件をより低くすることが必要となる<sup>78,79)</sup>。

一方、成熟期の2~3週間後の晩刈り調査は、特別な施設を要しないことから非常に簡便であるが、年次および地帯間差が大きいために複数年の検討が必要である。また、成熟期の早晩生が穂発芽程度に影響するので、この点にも注意する必要がある。すなわち、同一調査時期では早生品種ほど成熟期から時間が経過し、休眠が低下するとともに降雨に遭う回数が多いため、晩生品種よりも穂発芽粒率は高くなる。したがって、熟期毎に対象品

種を設定し、それとの比較により耐性を判定する必要がある。

穂発芽耐性の評価法として、目視による発芽程度の調査が一般的であるが、より正確に耐性を評価するためには、 $\alpha$ -アミラーゼ活性の測定が望ましい。特に、穂発芽粒率の低い範囲では、低アミロ耐性の品種間差を明瞭にする上で有効と考えられる。

ところで、穂中子実の吸水速度は子実の休眠性ととともに穂発芽耐性に大きく影響することが、ホロシリコムギの例でも確かめられた。穂中子実の吸水速度が遅いことは穂発芽の発生防止に有効なことは明らかである。そこで、Lancer, Satanta, ホクシン, 北系1353などの穂中子実の吸水速度を検討したが、ホロシリコムギを上回るものではなかった。今後、穂発芽耐性のより一層の向上のためには、吸水速度のより遅い品種を検索する必要がある。

## 2. 成熟期における $\alpha$ -アミラーゼ活性

成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性はそれ以前の気象条件に大きく左右されるが、1993年の十勝のような低温高湿条件下においても200mU/g未満を維持できることが望ましい。現状の品種で成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性が最も低いのは北系1354であるが、1993年の十勝では250mU/gとこれを上回っていたため、十分な耐性とはいえず、さらに向上させる必要がある。

検定法として最も信頼性および再現性が高いのが、人工気象室を用いたポット試料の気象処理試験である。すなわち、成熟期の高 $\alpha$ -アミラーゼ活性がPrMSに由来する場合、成熟期前の気象条件が低温高湿で誘引されることから、人工気象室を用いて成熟期前に低温高湿処理を実施し、品種間差を検討する方法が考えられる。この検定法は年次変動が小さく再現性が高いなどの長所がある。一方、この方法の短所は人工気象室の容量に供試数が制限される点である。

多数の品種および系統について成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性を検定するためには、成熟期前の気象条件が低温高湿傾向である十勝農試圃場での検定が活用できる。ここでは毎年、約120の育成品種、系統の成熟期 $\alpha$ -アミラーゼ活性が測定されているが、成熟期前の気象条件を考慮すると、主としてPrMSを評価していると推測される。この検定法は成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性と同時に穂発芽耐性も調査されているため、両者を総合的に評価できる利点がある。しかし、気象条件により成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性レベルは大きく変動し、高温低湿年では品種間差が小さいため、複数年の検討が必要である。また、同一年次でも早晩生に影響されるなどの欠点が考えられ

る。

一方、高 $\alpha$ -アミラーゼ活性がPMAAによる場合も確認されている。Lancerでは、気象変動が大きい場合その発現が誘引されることが示唆されているが、PMAAを発現させる気象条件はまだ明確にされていない。また、品種によって誘引する気象条件が異なることも報告されている。したがって、現状でできることは、育種計画に大きな影響を及ぼす交配母材について、様々な気象条件下における成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性を測定し、母材の特性を把握することが重要であろう。今後もこのような知見を重ねることから、効率的な検定法の確立を進める必要がある。

#### 第4節 栽培法、収穫時期、仕分けによる低アミロ小麦の発生軽減

低アミロ小麦の発生実態を調査する中で、播種期、施肥量、土壌タイプについてはアミロ値と普遍的な傾向はみられなかった。一方、収穫期についてはアミロ値と負の相関が認められ、収穫時期が遅いほど粘度は低下する傾向であった。また、窒素多肥により引き起こされる倒伏現象が低アミロ小麦の発生を助長していた。

そこで、本節では最初に収穫時期とアミロ値との関係を考察する。次に、倒伏防止について若干の考察を加える。さらに、低アミロ小麦が現地で発生してしまった場合でも、高品質小麦を出荷するための方策（アミロ値の簡易分析による仕分け乾燥）について試案を述べる。

##### 1. 収穫時期

栽培条件の中で低アミロ小麦の発生に大きな影響を及ぼすのが収穫時期である。収穫時期が遅れるほど休眠が低下するとともに降雨に当たる頻度が高まるため、穂発芽し易くなり、低アミロ化する危険性が高まる。したがって、成熟期直後の適期に収穫すれば、低アミロ小麦の発生は回避できる。

しかし、一地区に同一品種を栽培した場合、そのすべてを成熟期直後の適期に収穫しようとする、多くのコンバインおよび乾燥施設が必要になり、結果として施設の稼働率は低下し、過剰投資となる。したがって、現状では一地区の小麦を7~10日間で収穫乾燥できるように機械および施設が配置されている。実際は降雨などにより収穫できない日もあるため、収穫期間は2週間以上に及ぶことも珍しくはない。したがって、これらすべてを成熟期直後の適期に収穫することは困難であり、刈り遅れの部分が出るのは避けられない。

これを回避するためには、気象条件から低アミロ小麦の発生を予測して、それにより収穫順序を組み立て、効

率的に収穫、乾燥施設を運用することが有効である。すなわち、一地区に同一品種を栽培した場合でも、播種時期や栽培条件によって、成熟期は多少異なる。また、地域的な微気象も影響する、同一時期でも低アミロ耐性は圃場毎に変動する。したがって、圃場毎に低アミロ小麦の発生を予測し、これにより収穫順序を策定すれば、低アミロ小麦の発生はかなり軽減できると推測される。

これまでも国内外の研究者から、穂発芽あるいは低アミロ小麦の発生を予測するいくつかの式が考案されてきた<sup>5,43,72)</sup>。しかし、それらの研究成果を道内における低アミロ小麦発生予測にそのまま適応することは困難である。その理由として、気象条件および栽培されている小麦の低アミロ耐性が大きく異なるためである。

本研究で複数年にわたり成熟期以降に降雨処理試験を実施した結果、成熟期以降の日数と、低アミロ化する降雨日数（低アミロ化危険降雨日数）がおおよそ明らかにされた。その後、中央農試では成熟期前からの平均気温、日照時間、降水量などの気象条件が低アミロ小麦発生に及ぼす影響を解析し、これらのファクターから低アミロ小麦の発生危険度を予測するシステムを開発している<sup>19)</sup>。今後、この予測システムが現地で活用され、これにより効率的に収穫乾燥作業が進めば、低アミロ小麦の発生はかなり軽減できると期待される。

さらに、低アミロ小麦発生の危険度を分散するとともに、収穫、乾燥施設の稼働率を向上させるためには、成熟期の異なる品種の組み合わせが有効である。すなわち、一地区の中で早生、中生、晩生の小麦品種を適当な比率で栽培し、成熟期に達した順番に収穫するものである。この方法では、それぞれの品種毎に適期収穫が可能のため、低アミロ小麦の発生はかなり軽減できると推測される。ただし、一地区の栽培面積の小さい北海道で複数品種を栽培すると、品種毎のロットが小さくなり、現状の大規模製粉体制にはそぐわない。

オーストラリアなどの大きな小麦産地では、成熟期の異なる品種を組み合わせで栽培し、遭雨の被害を分散させるとともに、収穫機械や乾燥施設の稼働率を高めている。小麦を流通させるときは品種毎ではなく、用途別および蛋白含有率やアミロ値などの品質別にブレンドして流通させている。これらの国と比較して、小麦の栽培面積が小さくしかも育種規模も小さい北海道において、一定の小麦品質を維持しながら、熟期の異なる品種をそろえることは困難であるが、今後の方向性として考慮すべきである。

##### 2. 倒伏の影響と倒伏防止対策

倒伏した小麦は子実水分が全般に高く維持されるため

に、穂発芽して低アミロ化する危険性が高い。したがって、高品質小麦の生産のためには、倒伏を回避することが重要である。また、倒伏した小麦では既に低アミロ化が進行している危険性が高いため、倒伏していない小麦と別に収穫、乾燥することが望ましい。

倒伏の原因として眼紋病などの病害によるほか、茎数過多による自然倒伏が挙げられる。眼紋病は土壌病害で、連作により土壌中の菌密度が上昇し倒伏を起こさせることから、連作を避け輪作体系を維持することが対策となる<sup>86, 91)</sup>。一方、茎数過多には播種量と施肥法が影響している<sup>18)</sup>。一般に播種量が多いと茎数も増加し、また窒素施肥量が多い場合も茎数は増加する。したがって、播種量および窒素施肥の適正化<sup>20)</sup>により茎数過多を回避するとともに、倒伏の発生も軽減可能である。

### 3. 低アミロ小麦の簡易迅速判定による仕分け乾燥、仕分け流通

現在の栽培品種の低アミロ耐性では、道内で年次・地域により低アミロ小麦の発生は避けられないのが実状である。低アミロ小麦が発生した場合、低アミロ小麦を正常な小麦と混合すると、低アミロ小麦に含まれる $\alpha$ -アミラーゼにより正常な小麦のでん粉も分解され、アミロ値は両者の相加平均よりも低くなる。したがって、受け入れ段階で低アミロ小麦を仕分けし、正常な小麦と区分して乾燥、流通させることが重要である。特に平成12年から、小麦の買入れ制度が変わり、政府による一括購入から流通自由化（需用者と生産団体との直接売買）になり、低アミロ小麦については価格差が設けられることとなった。このためにも農業現場でアミロ値を簡易迅速に推定する方法が求められている。

小麦の検査体制の進んでいるオーストラリアではフォーリング・ナンバー（簡易でん粉粘度計）により、アミロ値を推測し、その値により価格差を付けるとともに、仕分け流通を実施している。この場合の測定対象は乾麦を粉碎した全粒粉である。したがって、オーストラリア

のように乾燥気候で受け入れ時の子実水分が12%以下では測定が可能であるが、日本のように湿潤気候で受け入れ時の子実水分が30%にも達する場合、測定は不可能である。

子実水分の高い生麦について、アミロ値を簡易迅速に推測する方法が求められるが、これには、本研究で開発したオートアナライザーによる $\alpha$ -アミラーゼ活性の自動分析が活用可能である<sup>69)</sup>。そこで、本分析法の受け入れ施設への適用を検討した。

トラックから採取された生麦試料に抽出液を加え、ホモジナイズ後にろ過し、粗酵素液を得る。得られた粗酵素液をオートアナライザーにセットすれば、10分後に生麦の活性値が得られる。これを水分補正した後、相関式によりアミロ値を推測するとともに低アミロ小麦かどうかを判定する。以上の操作に要する時間は移動時間やロスタイムを含んでも、約15分で判定可能と思われる。また、オートアナライザーの分析能力は1時間あたり50点であるため、ほとんどの小麦受け入れ施設で十分な処理能力と推測される。

このように、理論的にはオートアナライザーを用いることにより、受け入れ段階で生麦の低アミロ小麦検定が可能である。今後は、本法を実際の農業現場に適用し、実用段階で改善を重ねる必要がある。この点については本年、網走管内の農業協同組合と協力して、現地適応性を検討中であり、高い処理能力と信頼性が示された。このように生麦を対象としてアミロ値を推測し、仕分け乾燥、流通させる体制は世界的にも例がなく、初めての試みである。

近い将来、オートアナライザーによる低アミロ検定が実施され、これに基づいた仕分け収穫、乾燥が実用化されれば需用者の望む高品質小麦が流通可能となり、道産小麦に対する信頼性を向上させるとともに、需要の維持および拡大に寄与できる。

## 第7章 要 約

本研究は北海道内における低アミロ小麦の発生防止を目的に、低アミロ小麦の発生実態を調査し、発生パターンを類型化するとともに、発生に及ぼす各種要因を解析した。さらに、低アミロ耐性母材を検索するとともに、耐性品種を選抜するための検定法を提案した。また、栽培法および収穫法による低アミロ小麦の発生軽減方策についても検討した。

1989～1991年にチホクコムギを対象に、全道的な低アミロ小麦の発生実態調査を行った結果、1989、1990年は発生が少なかったが、1991年では39.0%の低アミロ小麦の発生が認められた。特に十勝、網走の道東地方で多く、石狩、上川、空知支庁の道央地方で少なかった。また、成熟期以前の気象条件が低温かつ多雨では成熟期時点で既に低アミロ小麦が発生した。成熟期以降は降雨が多く日照時間が少ないほど、アミロ値が低下した。栽培条件では収穫時期が大きく影響し、刈取り時期が遅いほどアミロ値は低下していた。

次に、低アミロ小麦の発生パターンを明らかにするために成熟期前後の $\alpha$ -アミラーゼ活性の推移を検討した結果、活性の推移は気象条件および品種により変動するがおよそ3つに類型化された。

パターン1：成熟期前は胚乳部で低pIのグリーン $\alpha$ -アミラーゼ(Amy-2)が高活性を示すが、成熟期にはほぼ低下し、その後も低く維持される。この場合、低アミロ小麦は発生しない。穂発芽耐性の強い北系1354で多く認められ、また、耐性の弱いチホクコムギでも気象条件が良好であった場合に認められた。

パターン2：成熟期以降に降雨に遭うと粒の水分が上昇し、穂発芽が発生するとともに、主として胚部で高pIのモルト $\alpha$ -アミラーゼ(Amy-1)が発現する。穂発芽とともに低アミロ小麦が発生する一般的によく観察されるパターンで、Post-maturity sprouting  $\alpha$ -amylase (PoMS)に分類される。このパターンには成熟期以降の気象条件と品種の穂発芽耐性が大きく影響する。したがって、このパターンの低アミロ化を防ぐためには穂発芽耐性の向上が重要である。また収穫時期として、穂発芽が発生する前に収穫が完了すれば低アミロ小麦の発生は回避できる。

パターン3：水分の低下にもかかわらず、成熟期前後に $\alpha$ -アミラーゼ活性が高く維持され低アミロ小麦となる。成熟期前の気象条件と品種特性が影響している。こ

のパターンにおける $\alpha$ -アミラーゼの発現要因として、以下の3つの可能性が示唆された。①成熟期前にもかかわらず、休眠が打破されてAmy-1が高活性を示す場合(Pre-maturity sprouting  $\alpha$ -amylase : PrMS)。②Lancerなどにおいて発芽に由来しないAmy-1が発現する場合(Pre-maturity  $\alpha$ -amylase : PMAA)。③登熟後期に高活性のグリーン $\alpha$ -アミラーゼ(Amy-2)が成熟期まで残存している場合(Retention of pericarp  $\alpha$ -amylase : RPA)である。

また、成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性と成熟期以降の穂発芽耐性とは必ずしも一致しないことから、低アミロ耐性品種の開発のためには、成熟期以降の穂発芽耐性ととも、成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性も重要な選抜指標である。

この二つの形質について、現状の秋播小麦品種を評価すると、主要な秋播小麦品種の中で低アミロ耐性が弱いのはチホクコムギで、ホロシリコムギやホクシンはチホクコムギよりやや耐性が高いといえる。ただし、ホロシリコムギについては穂中子実の吸水速度が遅いことが穂発芽耐性に大きく寄与していると考えられる。最も低アミロ耐性の高い品種は北系1354である。現在育成中の北見72号は北系1354を片親にもち、低アミロ耐性も北系1354に準じている。Satantaもこれに準ずる耐性を持つ。Lancerの穂発芽耐性はホロシリコムギ、ホクシンより明らかに高かったが、前述のように成熟期で高い $\alpha$ -アミラーゼ活性を示したため、低アミロ小麦耐性は低いと評価され、交配母材として利用するには不適である。

春播小麦の中で、ハルユタカは穂発芽耐性が低いためにPrMSを示すことが明らかとなった。耐性が高いと思われるのは北系春617で、春のあけぼの、ゼンコウコムギ、OS21-5もそれに準じていた。これらの春播小麦の低アミロ耐性は、北系1354と同等かそれより高い可能性が示唆された。したがって、今後これらの遺伝資源を導入することにより道内秋播小麦の低アミロ耐性の向上が期待される。

穂発芽耐性と成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性に関する具体的な検定法を示した。穂発芽耐性の検定法として降雨処理が有効である。晩刈り調査は、特に施設を要しないことから非常に簡便であるが、年次および地帯間差が大きいために複数年の検討が必要である。穂発芽耐性の評価法として、目視による発芽程度の調査が一般的である

が、より正確に耐性を評価するためには $\alpha$ -アミラーゼ活性の測定が望ましい。

成熟期の $\alpha$ -アミラーゼ活性の検定法として最も信頼性および再現性が高いのが、人工気象室を用いたポット試料の気象処理試験である。また、成熟期前の気象条件が低温高湿傾向である十勝農試における圃場での検定も活用できる。ただし、年次間差が大きいため、複数年の検討が必要である。

栽培法改善による低アミロ小麦の発生軽減策として、最も重要なのが収穫時期である。一般に、収穫時期が遅れるほど休眠が低下するとともに降雨に当たる頻度が高まるため、穂発芽し易くなり、低アミロ化する危険性が高まる。したがって、適期収穫が重要であるが、現状の収穫、乾燥設備では地域内のすべての小麦を成熟期直後に収穫することは困難であった。これを回避するためには、気象条件から低アミロ小麦の発生を予測して、それにより収穫順序を組み立て、効率的に収穫機や乾燥施設を運用することが有効である。また、地域内に早晩生の

異なる小麦を栽培すれば、遭雨の危険性を分散するとともに、収穫適期の長期化が可能となる。倒伏した小麦は子実水分が全般に高く維持されるために、穂発芽して低アミロ化する危険性が高い。したがって、適切な施肥法および播種量により、倒伏を回避することが重要である。

低アミロ小麦が発生した場合、正常な小麦と混合すると、 $\alpha$ -アミラーゼにより正常な小麦のでん粉も分解され、アミロ値は両者の相加平均よりも低くなってしまう。したがって、受け入れ段階で低アミロ小麦を仕分けし、正常な小麦と区分して乾燥、流通させることが重要である。このためには小麦受け入れ施設で簡易迅速に低アミロ値を検定する必要がある。これには本研究で開発されたオートアナライザーによる $\alpha$ -アミラーゼ活性測定法が適用可能である。今後、本法により生産物の低アミロ検定が行われ、仕分け収穫、乾燥が実用化されれば、需用者の望む高品質小麦の流通が可能となり、道産小麦に対する需要の維持、拡大に寄与できる。

## 謝

本研究をとりまとめるに当たり、北海道大学大学院農学研究科松井博和教授には終始暖かい激励ときめ細かな指導を賜るとともに、ご校閲をいただいた。同じく本間守教授、千葉誠哉教授、大崎満助教授には詳細なご校閲と適切なお教示をいただいた。

本研究は1987年に元北海道立中央農業試験場農芸化学部農産化学科長相馬暁博士（現北海道立中央農業試験場長）のご指導により開始したものである。相馬博士には研究の端緒を与えてくれたのみならず、発展方向やその後の課題化について、熱心なご指導およびご助言をいただいた。相馬博士の後任の元農産化学科長市川信雄氏（現北海道立上川農業試験場研究部長）には本研究の前半においてご助言とご指導をいただいた。研究後半においては元農産化学部穀物利用科長大村邦男博士（現北海道立道南農業試験場主任研究員）および十勝農業試験場主任研究員山神正弘氏にご助言とご指導をいただいた。また、元農産化学部長古山芳廣博士、元同部長木村清氏および現同部長能代昌雄氏には、大所高所からご助言をいただいた。

本研究を開始するに当たり、1997年10月から翌年3月まで研修を受け入れてくださった元農林水産省食品総合研究所利用部蛋白質研究室長平春枝博士、同研究室の斉藤昌義博士（現農林水産技術会議研究調査官）には、品質分析技術修得のために懇切なご指導をいただいた。また、元同部穀類利用研究室長神尾正義博士、現室長松倉潮博士には幅広い視野から懇切かつ有益なご助言をいただいた。

元農林水産省食品総合研究所穀類利用研究室長今井徹博士（食品工学部長）、ブランルーベ株式会社技術部長

## 辞

埜村朋之氏には、オートアナライザーによる $\alpha$ -アミラーゼ活性の分析自動化についてご助力ご指導をいただいた。

北海道立北見農業試験場研究部小麦科の各位には、貴重な材料を提供いただくとともに、品種特性に関する有益な情報を提供いただいた。特に主任研究員天野洋一博士には、国際穂発芽シンポジウム参加への機会を与えていただくとともに、終始励ましの言葉をいただいた。元北海道立十勝農業試験場研究部作物科研究職員宮本裕之氏（現北海道立上川農業試験場研究部畑作科長）には十勝地方における低アミロ小麦発生について有益なご助言をいただくとともに、終始ご支援をいただいた。北海道立中央農業試験場畑作部畑作第二科佐藤導謙研究員には小麦の交配手法をご指導いただくとともに、各種の場内試験にご協力をいただいた。

全道の畑作関係専門技術員、農業改良普及所および農協の関係各位には、低アミロ小麦実態調査の実施に当たってご協力いただいた。

北海道立中央農業試験場農業土木部長前田要博士、農産化学部品質評価科加藤淳研究員、北海道立北見農業試験場土壌肥料科古館明洋研究員、上川支庁農業振興部農業改良係徳光恵理女史の各位には、旧農芸化学部農産化学科に在籍中、試験の実施にご協力いただいた。農産化学部穀物利用科柳原哲司研究員、奥村理研究員、稲作部栽培第一科渡辺祐志研究員の各位には、試験および調査の実施に当たりご協力いただくとともに、論議を通じて有益な刺激を与えていただいた。

以上の各位に深甚なる感謝の意を表する。

## High $\alpha$ -Amylase Activity in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Grain from Hokkaido

Satoshi NAKATSU

### Summary

High  $\alpha$ -amylase activity in grain degrades the flour quality because  $\alpha$ -amylase resolves the starch in flour and lowers flour viscosity which is usually measured by a Brabender Amylograph. Wheat with high  $\alpha$ -amylase activity is often observed in Hokkaido because of the weather conditions from maturity to harvest of the wheat. In some wheat varieties in Hokkaido, pre-harvest sprouting is induced under cool and rainy conditions and then  $\alpha$ -amylase is activated by germination. To reduce the damage by high  $\alpha$ -amylase activity, the cause of high  $\alpha$ -amylase and factors affecting activation of  $\alpha$ -amylase were investigated.

#### 1. Incidence of high $\alpha$ -amylase wheat in Hokkaido and classification of $\alpha$ -amylase activation

A survey of amylograph viscosity in samples of Chihokukomugi grown in Hokkaido was conducted from 1989 to 1991. Mean viscosities were high in 1989 and 1990, 877B.U. and 825B.U. respectively, but relatively low in 1991, 465B.U.. Wheat from Tokachi district, in particular, was severely damaged, with a mean viscosity of 288B.U.. However, wheat from Ishikari district, Kamikawa district and Sorachi district was fairly high. In this year, some wheat samples showed high  $\alpha$ -amylase activity and low amylograph viscosity but little or no germination at maturity.

Changes in  $\alpha$ -amylase were greatly affected by weather conditions and genotype, but the various profiles could be classified into 3 distinct patterns. In pattern 1,  $\alpha$ -amylase activity before maturity was high at endosperm due to low pI isozymes (Amy-2, green  $\alpha$ -amylase), but then declined, and remained low. There was no germinated grain detected.

In pattern 2,  $\alpha$ -amylase activities near maturity were similar to pattern 1. However, post maturity rainfall induced sprouting and  $\alpha$ -amylase synthesis of high pI isozymes (Amy-1, molt  $\alpha$ -amylase) mainly at embryo in non-dormant genotypes. Pattern 2 which was greatly influenced by rainfall after maturity and levels of dormancy, corresponded to the well established pattern of pre-harvest sprouting (PoMS : post maturity sprouting  $\alpha$ -amylase).

In pattern 3, high levels of  $\alpha$ -amylase are observed at maturity despite little or no germination. Thereafter,  $\alpha$ -amylase remained high or increased still further. In this pattern 3, there are three possible pathways of  $\alpha$ -amylase formation. Pathway 1 : wheat that were exposed to cool and wet conditions at the early and middle stages of ripening exhibited relatively high  $\alpha$ -amylase activity, due to Amy-2 isozymes, in the absence of germination (RPA : retention of pericarp  $\alpha$ -amylase). Pathway 2 : under cool and wet conditions in the late stage of ripening, grains germinated before maturity and high pI isozymes of Amy-1 were activated (PrMS : pre-maturity sprouting  $\alpha$ -amylase). Pathway 3 : Amy-1 was activated in the absence of germination (PMAA : pre-maturity  $\alpha$ -amylase) under not only cool and wet conditions but also hot and dry conditions.

#### 2. Selection methods and evaluation of $\alpha$ -amylase activity in varieties.

Accordingly, three pathways (RPA, PrMS and PMAA) of  $\alpha$ -amylase formation at maturity were observed in Hokkaido. Certain varieties like Lancer often exhibited high  $\alpha$ -amylase activity at maturity despite high tolerance to pre-harvest sprouting. The relationship between  $\alpha$ -amylase activities at maturity and dormancy (susceptibility of sprouting) is very low and not significant. Estimation of dormancy or determination of tolerance to sprouting through the use of wetting treatments will not eliminate all lines with high  $\alpha$ -amylase. Therefore  $\alpha$ -amylase activity at maturity was an important criterion along with dormancy.



An efficient selection method for lines and varieties with high  $\alpha$ -amylase involves weather treatment of pot plants at the ripening stage using artificial environment cabinets. An alternative way is field selection in Tokachi district where wheat is often exposed to cool and wet conditions at the ripening stage. Because weather conditions in natural fields vary over the years, several years are needed to precisely estimate the varietal characteristics of  $\alpha$ -amylase.

In terms of  $\alpha$ -amylase at maturity and dormancy, tolerance in some winter wheat varieties was evaluated. Chihokukomugi exhibits high  $\alpha$ -amylase when it matured under cool and humid ripening conditions, and was also susceptible to pre-harvest sprouting. Horoshirikomugi and Hokushin are more tolerant than it. The tolerance of Horoshirikomugi is attributable to the low water uptake rate of grain in the ear under wet conditions. Kitakei-1354 commonly shows both low  $\alpha$ -amylase and high levels of dormancy. Tolerance of Kitami-72 that was derived from Kitakei-1354 is close to that of Kitakei-1354. Similarly, Satanta has a high level of tolerance, while Lancer often shows high  $\alpha$ -amylase, even in good weather conditions despite having high levels of dormancy. So it would be better to avoid using this as breeding material.

In spring wheat, Haruyutaka is the variety most susceptible to pre-harvest sprouting and often shows PrMS under rainy ripening condition. Levels of tolerance in Kitakeiharu-617, Harunoakebono, Zenkoujikomugi and OS21-5 are estimated high and are ranked in a class similar to Kitakei-1354. These varieties appear to be a good source of tolerance to pre-harvest sprouting for cultivar improvement in Hokkaido.

### 3. Agronomic ways of reducing the problem by high $\alpha$ -amylase

Early harvesting is important to avoid activation of  $\alpha$ -amylase in grains, because the possibility of rain will be higher with time after maturity and grain dormancy will be broken easily. A method of predicting the risk of  $\alpha$ -amylase activation involves determining the degree of dormancy and forecasting wet weather to assist farmers with organizing the harvesting and drying of the wheat. Lodging often enhances activation of  $\alpha$ -amylase because water content in grain remains high in lodging ears. Therefore, application of nitrogen fertilizer and seeding rate are important techniques to prevent lodging.

If grain with high  $\alpha$ -amylase activity contaminates sound grain, flour viscosity of the whole sample is lowered by  $\alpha$ -amylase. So separation of high  $\alpha$ -amylase grain from sound grain during harvesting and drying is important to maintain wheat quality. A rapid and convenient method of measuring  $\alpha$ -amylase activity at the wheat receipt point is necessary. The auto-analyzer developed in this study could be available for this purpose. Separation and grading of high  $\alpha$ -amylase grain by measuring activity using the auto-analyzer may contribute to producing high quality wheat.

## 引用文献

- 1) Y. Amano and T. Tsuchiya : Expression of seed dormancy in relation to stage of grain development and germination temperature. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1992, M. K. Walker-Simmons and J. L. Ried eds., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Mn., USA, p. 329-338 (1992).
- 2) 天野洋一：春播小麦新品種候補「北見春53号」. 北農. **60**, p. 415 (1993).
- 3) 天野洋一：小麦における耐性育種の現状と今後の方向. 北海道立農業試験場資料. **27**, p. 18-27 (1997).
- 4) W. C. Barnes and A. B. Blakeney: Determination of cereal alpha-amylase using a commercially available dye-labeled substrate. *Starke*, **26**, p. 193-197 (1974).
- 5) B. Beldrock : Seed dormancy problems in cereals. *Field Crop Abstracts*. **21**, p. 203-211 (1968).
- 6) 江口久夫, 平野寿助, 吉田博哉：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用時期・施用法と品質の関係, 中国農試報. **A17**, p. 81-111 (1969).
- 7) M. D. Gale, J. E. Flintham and E. D. Arthur : Alpha-amylase production in the late stages of grain development—An early sprouting damage risk period ?. Third International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals, J. E. Kruger and D. E. Laberge, eds., Westview Press, Boulder, Co., p. 29-35 (1983).
- 8) M. D. Gale, A. M. Salter and J. R. Lenton : The induction of germination alpha-amylase during wheat grain development in unfavorable weather conditions. Fourth International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals, D. J. Mares ed., Westview Press, Boulder, Co., USA. p. 273-282 (1987).
- 9) C. D. Gold and C. M. Duffs : Pre-maturity alpha-amylase production in cereal grains. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1995, Kaz. Noda and D. J. Mares, eds., Center for Academic Societies Japan. Osaka. p. 363-370 (1995).
- 10) 平野寿助：小麦登熟期の遭雨による品質低下とその機作. 中国農試報告A. **20**, p. 27-78 (1971).
- 11) 北海道農政部：秋まき小麦「ホロシリコムギ」, 昭和年度普及奨励ならびに指導参考事項. p. 5-11 (1974).
- 12) 北海道農政部：秋まき小麦「チホクコムギ」, 昭和56年度普及奨励ならびに指導参考事項. p. 12-17 (1981).
- 13) 北海道農政部：秋まき小麦に対する後期重点施肥の効果, 平成3年普及奨励ならびに指導参考事項. p. 387-389 (1991).
- 14) 北海道農政部：低アミロ小麦の発生実態の解明と対策, 平成5年普及奨励ならびに指導参考事項. p. 281-284 (1993).
- 15) 北海道農政部：秋まき小麦「ホクシン」, 平成6年度普及奨励ならびに指導参考事項. p. 1-4 (1994).
- 16) 北海道農政部：秋まき小麦の窒素施肥改善による収量向上および子実タンパク質含有率制御, 平成6年度普及奨励ならびに指導参考事項. p. 333-337 (1994).
- 17) 北海道農政部：小麦の低アミロ耐性の要因解析, 平成7年普及奨励ならびに指導参考事項. p. 450-453 (1995).
- 18) 北海道農政部：道東地方における「ホクシン」の栽培法確立. 平成10年普及奨励ならびに指導参考事項. p. 63-65 (1998).
- 19) 北海道農政部：気象要因の解析に基づく低アミロ小麦の発生危険度の予測. 平成11年普及奨励ならびに指導参考事項. p. 229-230 (1999).
- 20) 北海道農政部：土壌診断による秋播小麦の窒素施肥量の設定. 平成11年普及奨励ならびに指導参考事項. p. 226-228 (1999).
- 21) 星野次汪, 松倉 潮, 小田俊介, 平 春枝, 福永公平：コムギ品種・系統の穂発芽性と $\alpha$ -アミラーゼ活性の推移及びその相互関係. NARC研究速報. **5**, p. 1-5 (1988).
- 22) 藤倉潤治, 土岐和夫：カット・ピール向けバレイシヨの加工適性. 北農. **63**, p. 72-77 (1996).
- 23) Y. Ichinose and S. Hakoyama : Changes in embryo sensitivity to ABA and  $\alpha$ -amylase activity in two wheat cultivars during grain development in northern Japan. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1995, Kaz. Noda and D. J. Mares, eds., Center for Academic Societies Japan, Osaka. p. 469-475 (1995).
- 24) 川上直人：種子休眠の分子生物学に向けて. 育種学最近の進歩35. 養賢堂. p. 140-143 (1994).
- 25) P. S. Kettlewell, G. D. Lunn, B. J. Major, R. K. Scott, P. Gate, and F. Couvreur : A possible scheme for pre-harvest prediction of Hagberg falling number and sprouting of wheat in the UK and France. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1995, Kaz. Noda and D. J. Mares, eds., Center

- for Academic Societies Japan, Osaka, p. 35-41 (1995).
- 26) 木原 均：小麦の研究. 養賢堂. 東京. p. 133-144 (1954).
- 27) R. W. King and H. Chadim : Ear wetting and pre-harvest sprouting of wheat. Third International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals, J. E. Kruger and D. E. Laberge, eds., Westview Press, Boulder, Co., USA. p. 36-43 (1983).
- 28) R. W. King : Ear and grain wetting and pre-harvest sprouting. Fourth International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals, D. J. Mares, ed., Westview Press, Boulder, Co., USA. p. 327-335 (1987).
- 29) J. E. Kruger, D. W. Hatcher and J. E. Dexter : Influence of sprouting damage on oriental noodle quality. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1995, Kaz. Noda and D. J. Mares, eds., Center for Academic Societies Japan, Osaka. p. 9-18 (1995).
- 30) 倉井耕一, 木村 守, 湯沢正明：小麦の低アミロ小麦と降水時期との関係. 栃木農研報. **40**, p. 1-12 (1993)
- 31) 楠 正敏, 中村幸一, 秋本隆司, 谷地田武男：新潟県産小麦の性状把握と利用拡大に関する研究(第2報) 搗精処理を組み合わせた製粉方法による低アミロ小麦の利用性改善. 新潟県食品研究所研究報告. **23**, p. 27-33 (1988).
- 32) 桑原達雄, 前田浩敬：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)**, p. 26-27 (1979).
- 33) 桑原達雄, 入来規雄, 高田寛之, 久保田基成：コムギの穂発芽性程度に影響する諸要因について. 日育・日作学会北海道談話会会報. **32**, p. 96-97 (1991).
- 34) T. Kuwabara, N. Iriki and K. Takata : Varietal difference in pre-harvest sprouting tolerance of winter wheat in Hokkaido. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1995, Kaz. Noda and D. J. Mares, eds., Center for Academic Societies Japan, Osaka. p. 197-203 (1995).
- 35) G. D. Lunn, P. S. Kettlewell, B. J. Major and R. K. Scott : Identification of the source of  $\alpha$ -amylase responsible for reduced Hagberg falling number in UK winter wheat (*Triticum aestivum*). Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1995, Kaz. Noda and D. J. Mares, eds., Center for Academic Societies Japan, Osaka. p. 455-461 (1995).
- 36) B. J. Major, P. S. Kettlewell and G. D. Lunn : The effects of a period of high temperature during grain development on alpha-amylase activity in winter wheat (*Triticum aestivum*) in the absence of sprouting. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1995, Kaz. Noda and D. J. Mares, eds., Center for Academic Societies Japan, Osaka. p. 441-447 (1995).
- 37) B. A. Marchelo, L. J. LaCroix and J. E. Kruger :  $\alpha$ -Amylase isozymes in Canadian wheat cultivars during kernel growth and maturation: Can. J. Plant Sci., **60**, p. 433-443 (1980).
- 38) D. J. Mares : Investigation of the pre-harvest sprouting damage resistance mechanism in some Australian white wheats. Third International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals. J. E. Kruger and D. E. LaBergd, eds., Westview Press, Boulder, Co., USA. p. 59-65 (1983).
- 39) D. J. Mares : Pre-harvest sprouting tolerance in white grained wheat. Fourth International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals. D. J. Mares, ed., Westview Press, Boulder, Co., USA. p.64-74 (1987).
- 40) D. J. Mares and M. D. Gale : Control of alpha-amylase synthesis in wheat grains. Fifth International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals. K. Ringlund, E. Mosleth and D. J. Mares eds., Westview Press, Boulder, Co, USA. p. 183-194 (1990).
- 41) D. J. Mares : Genetic studies of sprouting tolerance in red and white wheat. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1992. M. K. Walker-Simmons and J. L. Ried eds., American Association of Cereal Chemists, Mn., USA. p. 21-29 (1992).
- 42) D. J. Mares, and K. Mrva: Late maturity  $\alpha$ -amylase in wheat. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1992. M. K. Walker-Simmons and J. L. Ried eds., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Mn., USA. p. 178-184 (1992).
- 43) D. J. Mares: Influence of rainfall and temperature during grain ripening on tolerance to pre-harvest sprouting in wheat in NE Australia. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1992. M. K. Walker-Simmons and J. L. Ried eds., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Mn., USA. p. 362-366 (1992).
- 44) 増田芳雄：植物生理学. 培風館, 東京, p. 51-64 (1988).
- 45) 松倉 潮, 加藤一郎, 平 春枝, 今井 徹：国産小麦の品質(第1報) 小麦および小麦粉の品質特性とそれら特性間の相互関係, 食品総合研究所研究報告. **45**, p. 97-110 (1984).
- 46) 松崎守夫, 豊田政一：コムギ登熟期の気象条件と粉のアミログラム最高粘度, 日作紀. **65(4)**, p. 569-574

- (1996).
- 47) 松崎守夫, 豊田政一: コムギ品質の登熟に伴う推移 第2報 粉の品質特性. 日作紀. **66(2)**, p. 183-188 (1997).
- 48) T. N. McCaig and R. M. Depauw: Breeding for pre-harvest sprouting tolerance in white-seed-coat spring wheat. *Crop Science*. **32**, p. 19-23 (1992).
- 49) B. V. McCleary and H. Sheehan: Measurement of cereal  $\alpha$ -amylase: A new assay procedure. *Journal of Cereal Science*. **6**, p. 237-251 (1987).
- 50) 宮本裕之, 中津智史, 越智弘明, 市川信雄: 秋播小麦の穂発芽抵抗性の検定方法と品種間差. 北農. **60**, p. 32-36 (1993).
- 51) 長尾精一: 小麦とその加工, 建帛社. 東京. p. 59-71, p. 82-87, p. 98-100 (1984).
- 52) S. Nagao: Detrimental effect of sprout damage on wheat flour products. *Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1995*. Center for Academic Societies Japan, Osaka. p. 3-8 (1995).
- 53) 長尾精一: 小麦の科学. 朝倉書店. 東京. p. 80-81, (1995).
- 54) 長尾精一: 世界の小麦の生産と品質 上巻. 輸入食品協議会. 東京. p. 162-166 (1998).
- 55) 長尾精一: 世界の小麦の生産と品質 下巻. 輸入食品協議会. 東京. p. 83-84 (1998).
- 56) 中村道徳: アミラーゼ 生物工学へのアプローチ. 学会出版センター, 東京, p. 170-181 (1986).
- 57) 中津智史, 市川信雄, 平 春枝, 齊藤昌義, 相馬 暁: 低アミロ小麦の二・三の検定法の比較. 北農. **56**, p. 17-33 (1989).
- 58) 中津智史, 市川信雄: 北海道産小麦の品質現況 (第1報) 平成元年産小麦のアミログラム特性と蛋白含有量. 土肥要旨集. **37**, p. 224 (1991).
- 59) 中津智史, 市川信雄, 大村邦男:  $\alpha$ -アミラーゼ活性を指標にした低アミロ小麦の検定法. 北農. **60**, p. 397-403 (1993).
- 60) 中津智史, 佐藤導謙, 市川信雄, 大村邦男: 倒伏とその後の気象条件が小麦品質に及ぼす影響. 北農. **61**, p. 262-267 (1994).
- 61) 中津智史, 市川信雄, 大村邦男: 北海道内における低アミロ小麦の発生実態とその要因. 北農. **61**, p. 47-52 (1994).
- 62) 中津智史, 市川信雄, 大村邦男: チホク小麦の成熟期前後における穂水分と $\alpha$ -アミラーゼ活性の推移. 北海道立農業試験場集報. **66**, p. 7-14 (1994).
- 63) S. Nakatsu, H. Miyamoto and Y. Amano: Variation for  $\alpha$ -amylase activity and dormancy in Hokkaido wheat varieties. *Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1992*. Kaz. Noda and D. J. Mares, eds. Center for Academic Societies Japan, Osaka, p. 411-418 (1995).
- 64) 中津智史, 上野 達, 飯田修三, 深瀬孝子, 吉田俊幸, 大村邦男: 北海道産小麦の品質現況 第5報 平成7年度における低アミロ小麦の発生概況. 日本土壤肥料学会講演要旨集. **42**, p. 291 (1995).
- 65) 中津智史, 埜村朋之, 今井 徹: オートアナライザーによる低アミロ小麦の簡易迅速検定法. 日作紀. **66**, p. 35-41 (1997).
- 66) 中山 包: 発芽生理学. 内田老鶴圃新社. 東京. p. 3-14, p. 94-114 (1969).
- 67) Kaz. Noda, C. Kawabata and N. Kawakami: Wheat grain imbibition at low temperatures and embryo responsiveness to ABA. *Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1992*. M.K.Walker-Simmons and J. L. Ried eds., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Mn., USA. p. 367-372 (1992).
- 68) 野田和彦: 穀物種子の休眠と発芽. 育種学最近の進歩35. 養賢堂. p. 136-139 (1994).
- 69) 農林水産省技術会議事務局: 小麦品質検定方法—小麦育種試験における—. 研究成果35, p. 44-46 (1968).
- 70) 農林水産省技術会議事務局: 麦類の新品種昭和41~59年度. p. 28-32, p. 166-174 (1985).
- 71) 農林水産省技術会議事務局: 生理活性物質による穂発芽抑制技術の開発. 小麦を主体とする水田畑作物の高品質化および生産性向上技術の開発 (高品質輪作) 研究成果報告 (前期). p. 39-41 (1994).
- 72) 農林水産省技術会議事務局: 気象情報による低アミロ警報システムの開発. 小麦を主体とする水田畑作物の高品質化および生産性向上技術の開発 (高品質輪作) 研究成果報告 (前期). p. 41-42 (1994).
- 73) 農林水産省技術会議事務局: 近赤外法による穀類タンパク質の簡易定量. p. 1-37 (1995).
- 74) 農林水産省食糧研究所: 小麦粉の品質と加工. 食糧技術普及シリーズ第6号. p. 22-27 (1968).
- 75) 農林水産省食品総合研究所: 小麦の品質評価法 (II) —色の測定法—. p. 1-24 (1990)
- 76) 長内俊一: 道産小麦の安定生産条件 (第1回) 北農. **52(3)**, p. 1-25 (1985).
- 77) 長内俊一: 道産小麦の安定生産条件 (第2回) 3. 低アミロ問題と穂発芽抵抗性. 北農. **52(4)**, p. 1-19 (1985).

- 78) S. I. Osanai and Y. Amano : Selection of tolerant lines to low temperature germinability in wheat. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1992. M. K. Walker-Simmons and J. L. Ried eds., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Mn., USA. p. 76-84 (1992).
- 79) S. I. Osanai and Y. Amano : Selection for tolerance to low temperature germinability in winter wheat. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1992. Kaz. Noda and D. J. Mares, eds. Center for Academic Societies Japan, Osaka. p. 239-247 (1995).
- 80) 尾関幸男, 佐々木宏, 天野洋一, 土屋俊雄, 上野賢司, 長内俊一: 小麦新品種「チホクコムギ」の育成について. 北海道立農業試験場集報. **56**, p. 93-105 (1987).
- 81) 尾関幸男, 佐々木宏, 天野洋一, 土屋俊雄, 前野真司, 上野賢司: 小麦新品種「ハルユタカ」の育成について. 北海道立農業試験場集報. **58**, p. 41-54 (1988).
- 82) 佐藤暁子, 小柳敦史, 末永一博, 渡辺 修, 川上数美, 江口久夫: 小麦品質に及ぼす土壌と窒素, リン酸施肥の影響. 日作紀. **61**, p. 616-662 (1992).
- 83) 佐藤暁子, 小柳敦史, 和田道宏: 小麦の子実と粉の無機成分に及ぼす土壌の種類と施肥の影響, 第2報子実の無機成分含有率と品質の関係. 日作紀. **65**, p. 35-43 (1996)
- 84) S. Sawada, and Kaz. Noda :  $\alpha$ -Amylase activity of grains of pre-harvest sprouting resistant and susceptible wheat grain in growth chambers or the field. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1992. M.K.Walker-Simmons and J.L.Ried eds., American Association of Cereal Chemists, St.Paul, Mn., USA. p. 373-379 (1992).
- 85) S. Sawada, H. Ishizuka, H. Kawano and H. Miura : High  $\alpha$ -activity detected in dormant seeds of wheat. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1992. Kaz. Noda and D. J. Mares, eds. Center for Academic Societies Japan, Osaka. p. 463-467 (1995).
- 86) 沢崎 彬, 佐藤久泰: 北海道における小麦眼紋病の発生実態と薬剤防除. 北日本病虫研報. **39**, p. 102-104 (1988).
- 87) 柴田茂久: 最近の国産小麦の品質—うどん適性に関連して—. 日食工誌. **35**, p. 210-218 (1988).
- 88) 柴田茂久, 中江利明: 小麦粉製品の知識. 幸書房. 東京, p. 34-40 (1990).
- 89) 食糧庁管理部検査課 (アミロ問題懇談会) : 小麦のアミロをめぐる諸問題. p. 13-113 (1988).
- 90) 食糧庁検査課: 農産物検査手帳. p. 121-127 (1998).
- 91) 角野晶大, 近藤則夫, 児玉不二雄: コムギ眼紋病の発生の推移と薬剤防除のタイミング. 北農, **59**(2), p. 76-81 (1992).
- 92) 鈴木 武, 原田康信, 斉藤敏一, 阿部吉克, 斉藤博行: 小麦のアミログラム (最高粘度) 低下要因. 山形県農試研報. **24**, p. 1-11 (1989).
- 93) 平春枝: 小麦の品質に影響する諸要因. 研究ジャーナル. **10**(7), p. 27-37 (1987) .
- 94) 平春枝, 田中宏美, 斉藤昌義: 国産小麦の品質, (第3報) 小麦粉およびデンプンの性質と品種・生産地・等級との関係. 日作紀. **58**, p. 24-34 (1989).
- 95) 土屋俊雄: 耐穂発芽性育種, 北海道における水稻・小麦の良質品種早期開発. 北海道立農業試験場資料. **15**, p. 138-145 (1982).
- 96) 漆崎末夫, 一ノ瀬靖則: アブシジン酸による小麦の発芽抑制. 北農. **61**, p. 50-54 (1994).
- 97) T. I. Wahl, and A. D. O'Rourke : The economics of sprout damage in wheat. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1992. M. K. Walker-Simmons and J. L. Ried eds., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Mn., USA. p. 10-20 (1992).
- 98) M. Walker-Simmons : ABA levels and sensitivity in developing wheat embryos of sprouting resistant and susceptible cultivars. Plant Physiology. **84**, p. 61-66 (1987).
- 99) 渡辺 修: 小麦の加工適性に及ぼす低アミロ小麦の影響. 農産物検査とくほん. **83**, p. 20-23 (1987).
- 100) 渡辺 満, 松倉 潮, 今井 徹: オリゴ糖誘導体を基質とした  $\alpha$ -アミラーゼ活性測定による低アミロ小麦の迅速推定法. 日食工誌. **41**, p. 927-932 (1994).
- 101) H. F. William and J. J. Joseph : Peroxidase and polyphenol oxidase activities in developing peaches. Journal of Food Science. **43**, p. 1826-1831 (1978)
- 102) A. Yanagisawa, and Y. Amano : Degradation of flour color in wheat damaged by rain in Hokkaido. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1995, Kaz. Noda and D. J. Mares, eds., Center for Academic Societies Japan, Osaka. p. 19-26 (1995).
- 103) 安永 隆, 丸山順子, 上村光男, 福永公平: 登熟中の降雨が小麦の加工適性に及ぼす影響, (その1) 降雨による粒内酵素活性及び二, 三の成分の変化. 日作紀. **32**, p. 152-156 (1963).
- 104) 安永 隆: 小麦粉生地粘弾性からみた日本小麦の特異性に関連する諸要因, (第3報) 登熟中の降雨が小麦の加工適性に及ぼす影響, (その2) 降雨処理による変質についての品種間差異. 日作紀. **32**, p. 358-360 (1963).