

チホクコムギの成熟期前後における穂水分の変化と α -アミラーゼ活性の推移

中津 智史^{*1} 市川 信雄^{*2} 大村 邦男^{*1}

α -アミラーゼ活性の推移は年次・地域によって大きく変動していたが、およそ次の3つのパターンに分類された。パターンⅠ： α -アミラーゼ活性値は成熟期以前に高いが、穂水分の減少とともに低下し、その後も低い値を維持する。パターンⅡ：成熟期以降、一定期間を経過した後に降雨に遭うと、穂水分の上昇とともに大きく活性化する。パターンⅢ：成熟期前後に穂水分が低下しても、全般に高い活性値を維持する。これらのパターンの中で、成熟期以前から存在する活性はグリーン α -アミラーゼ、成熟期以降の穂発芽を伴う活性は発芽 α -アミラーゼに由来すると推測された。成熟期後の α -アミラーゼの活性化には、降雨が大きく関与しており、気温、日照、湿度等の影響も考えられた。また、成熟期直後は休眠が深いために活性化しにくかったが、時間の経過とともに活性化し易くなった。グリーン α -アミラーゼは発芽 α -アミラーゼと同様に、活性が高いとでん粉粘度を低下させていた。

緒 言

方法と材料

低アミロ小麦とは、でん粉の粘度が極端に低い小麦で、道内では年次・地域により多発し、加工・利用上の大きな問題となっている^{3,9,11)}。

低アミロ小麦の発生は、成熟期以降の降雨による穂発芽の過程で、 α -アミラーゼが活性化し、でん粉を分解することが原因とされている^{11,13)}。この α -アミラーゼの活性化には、気象条件とともに穂発芽や休眠などの生理現象が大きく影響する^{2,4,12,13)}。

したがって、低アミロ小麦の発生要因を解明するためには、 α -アミラーゼ活性の推移を把握し、活性化要因を明らかにすることが重要である。しかし、北海道内において、 α -アミラーゼ活性の推移に関する報告事例は少ない。

本試験は低アミロ小麦発生防止の基礎的知見を得るために、成熟期前後の α -アミラーゼ活性の推移を把握し、活性化の要因を検討するとともに、穂発芽およびでん粉粘度との関係を解析したものである。

1. 試験年次・場所

1988, 1989年は十勝支庁管内の十勝農試および網走支庁管内の北見農試において、1990, 1991年は空知支庁管内の中央農試において試験を実施した(表1)。

表1 供試年次・場所

供試場所	供 試 年 次			
	1988年	1989年	1990年	1991
十 勝 農 試	○	○		
北 見 農 試	○	○		
中 央 農 試			○	○

これらの試験地の設定に当たっては、小麦の作付面積と地域的特徴を考慮した。すなわち十勝支庁、網走支庁、空知支庁の小麦作付面積(ha)は、それぞれ36,400, 29,400, 18,600(1991年)で全道14支庁の1~3位を占める主要産地である。

また、地域的特徴として、十勝支庁管内は小麦の登熟後期から収穫に当たる7, 8月の気象条件が低温多湿であるために、低アミロ小麦の発生が多いと指摘されている。それに対して、網走、空知支庁管内の気象条件は比較的良好で、低アミロ小麦の発生は少ないと考えられる³⁾。したがって、これら3地域に試験地を設定し、そ

1993年9月13日受理

^{*1}北海道立中央農業試験場, 069-13 夕張郡長沼町

^{*2}同上(現;北海道立北見農業試験場, 099-14常呂郡訓子府町)

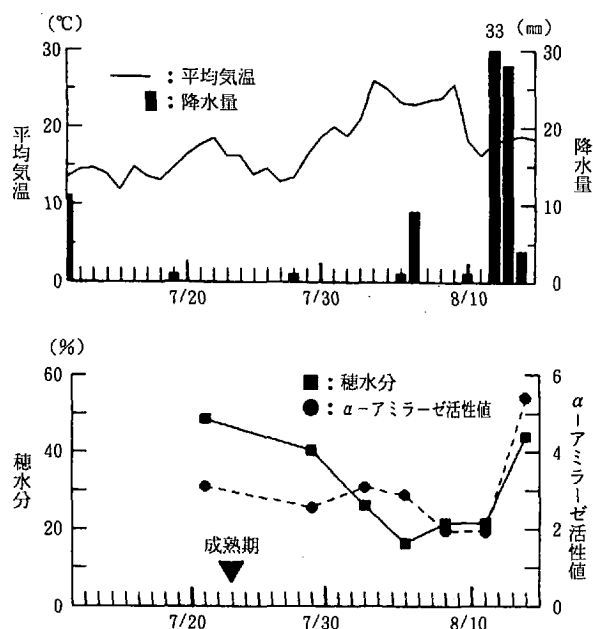


図1-① 1988年十勝農試の気象経過および穂水分と α -アミラーゼ活性の推移

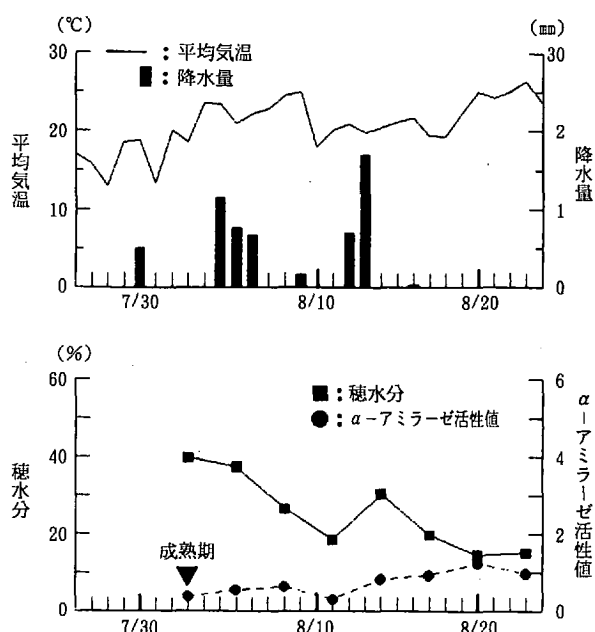


図1-② 1988年北見農試の気象経過および穂水分と α -アミラーゼ活性の推移

れぞれを比較検討することにより、より豊富な知見が得られると考えられる。

2. 供試品種・栽培条件

「チホクコムギ」を供試して試験を実施した。本品種は道内の小麦作付面積の71% (1991年) を占める主要品種であるとともに、耐穂発芽性の評価はやや弱とされており¹⁰⁾、低アミロ小麦化しやすい品種として、問題が指摘されている⁶⁾。

各年次、圃場の播種期、施肥量を表2に示した。また、いずれの圃場も播種は30cm条播で、播種量は340粒/m²とした。

供試圃場の土壌タイプは十勝農試は褐色火山性土、北見農試は黒色火山性土、中央農試は褐色低地土である。

3. 試料採取および調整法

成熟期付近からおおよそ4日間隔に穂を採取し、一部は水分測定に供試した。また、脱穀後、乾燥子実をRetch社製超遠心粉碎機を用いて粉碎し、得られた全粒粉を α -アミラーゼ活性、フォーリングナンバー測定用の試料とした。

4. 調査・分析項目

1) 気象情報

気温、降水量、日照時間、相対湿度は各場の気象データを用い、欠測値は付隣市町村のデータで補完した。

2) 穂水分: 105℃の乾燥器内で、16時間乾燥させ、新鮮物中の水分含有率(%)を求めた。

3) 穂発芽粒率: 発芽・発根が認められるもの、あるいは発芽・発根は認められないが、胚の部分の皮部がふ

くらみ、破れているものを穂発芽粒とし、百分率(%)で表示した。

4) α -アミラーゼ活性: 青色でん粉を用い、全粒粉乾物1g相当量の α -アミラーゼによって分解され、溶出した色素を620nmで比色測定し、吸光度の自然対数値で表示した⁷⁾。

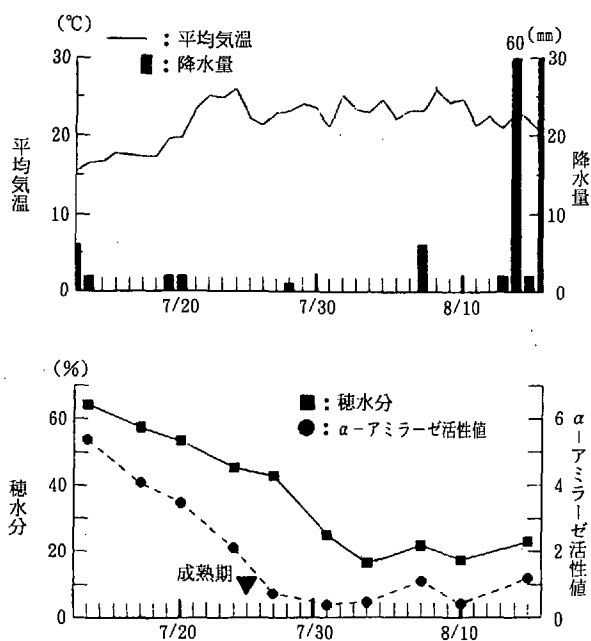
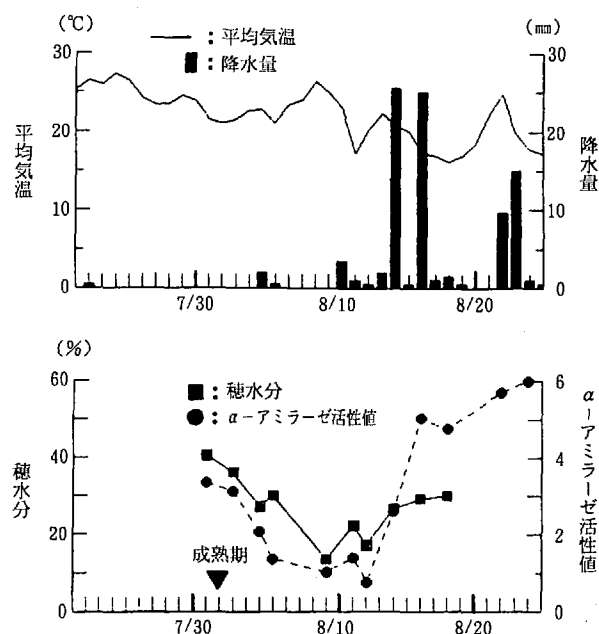
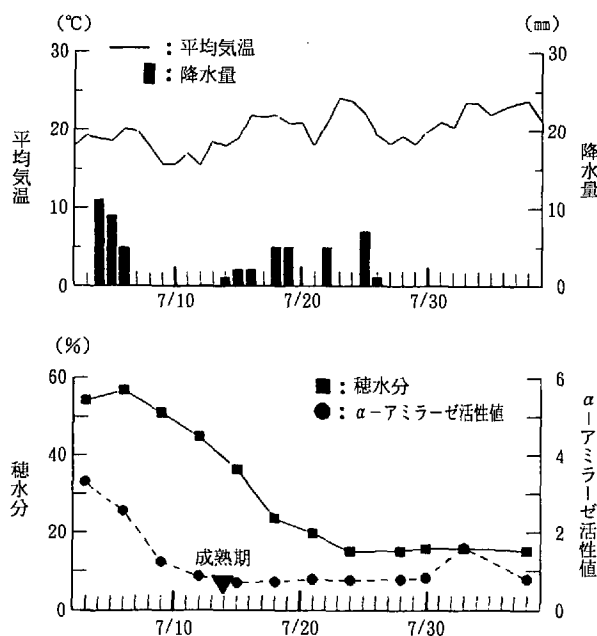
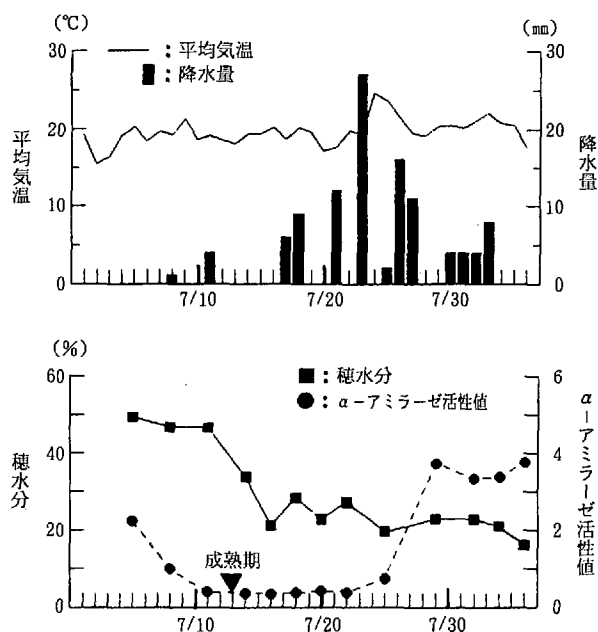
5) フォーリングナンバー: フォーリングナンバー1600を用い、小麦品質検定法⁸⁾にしたがって、小麦懸濁液中をスチールリングが降下するまでの時間(sec)を測定した。

試験結果

1. 成熟期前後の穂水分および α -アミラーゼ活性の推移

1988年の十勝農試では、7月23日の成熟期の穂水分は40%以上であったが、その後漸減し、8月5日に16%となった(図1-①)。しかし、8月12~14日の1日25~30mm程度の降雨によって再び40%以上に高まった。 α -アミラーゼ活性値は成熟期に3.0程度と高く、その後やや低下したが全般に高いまま推移した。さらに、穂水分の上昇が認められた14日には、活性値が5.0以上に高まった。

同年の北見農試では、穂水分は8月2日の成熟期で40%であったが、1週間で18%まで低下した(図1-②)。その後12日に7mm、13日に17mmの降雨により一時的に上昇したが、再び20%以下で推移した。 α -アミラーゼ活性値は成熟期に0.4と低く、その後漸増したが最終調査

図1-③ 1989年十勝農試の気象経過および穂水分と α -アミラーゼ活性の推移図1-④ 1989年北見農試の気象経過および穂水分と α -アミラーゼ活性の推移図1-⑤ 1990年中央農試の気象経過および穂水分と α -アミラーゼ活性の推移図1-⑥ 1991年中央農試の気象経過および穂水分と α -アミラーゼ活性の推移

時においても1.0程度の低い値にとどまった。

1989年の十勝農試では、7月25日の成熟期の穂水分は約45%と高かったが、8月3日には16%となった(図1-③)。 α -アミラーゼ活性値も穂水分とほぼ同様に、成熟期以前は高かったが、7月25日の成熟期には2.0以下となり、その後は1.0以下の低い値で推移した。

同年の北見農試では、8月1日の成熟期の穂水分は約40%であったが、8月9日には14%まで低下した(図1-④)。その後、10~11日の5mm程度の降雨により22%

に高まったが、12日には再び17%に低下した。しかし、8月14日に26mmの降雨があったほか、その後も降雨が続いたために、穂水分は約30%に達し、それ以降は高い値を維持した。 α -アミラーゼ活性値は成熟期に3.4と高かったが、その後急激に低下して、8月9日には1.0程度となった。しかし、降雨により穂水分が高まった16日以降は、5.0以上の高い値を示した。

1990年の中央農試では、穂水分は7月14日の成熟期後に急激に低下し、その後10mm以下の降雨が数度あった

表2 耕種概要

年	場 所	播種期 (年, 月, 日)	基肥量(kg/10a)			窒素追肥量 (kg/10a)
			窒素	磷酸	加里	
1988	十勝農試	1987. 9. 14	9.0	15.0	7.5	3.0
	北見農試	1987. 9. 17	9.0	16.2	10.8	2.0
1989	十勝農試	1988. 9. 15	9.0	15.0	7.5	3.0
	北見農試	1988. 9. 17	9.0	16.2	10.8	2.0
1990	中央農試	1989. 9. 19	4.0	16.0	9.3	6.0
1991	中央農試	1990. 9. 8	4.0	16.0	9.3	6.0

表3 試験期間の成熟期前10日間の気象条件

年	場所	平均気温 (℃)	積算降水量 (mm)	日照時間 (時間/日)	平均相対湿度 (%)
1988	十勝農試	15.0	1	2.4	89.9
	北見農試	16.2	6	9.4	85.4
1989	十勝農試	20.9	4	1.9	87.9
	北見農試	24.8	1	8.4	74.0
1990	中央農試	18.9	36	5.1	83.3
1991	中央農試	19.1	5	2.9	86.1

注) 北見農試の相対湿度は欠測であったため、網走市のデータを用いた。

にもかかわらず、全般に低く推移した(図1-⑤)。α-アミラーゼ活性値も穂水分と同様の推移を示し、成熟期以前は高かったが、成熟期後は低い値を維持していた。

1991年の中央農試では、穂水分は7月13日の成熟期前後に急激に低下し、その後7月17, 18日の計15mmの降雨、21日には12mmの降雨によってやや上昇した(図1-⑥)。α-アミラーゼ活性値は成熟期以前はやや高いが、その後急激に低下し、7月25日までは穂水分が高まっても1.0以下を維持していた。しかし、7月25~27日の連続した降雨(計29mm)によって急激に高まり、3.0を上回った。

以上、4年間に6事例について調査を行った結果、α-アミラーゼ活性値は成熟期以前は全般に高く、その後は穂水分の減少とともに低下する事例が多かった。成熟期以降は、成熟期から10日以上時間が経過した後に、連続的な降雨により穂水分が上昇し、それに伴って活性が高まる傾向を示した。

しかし、1988年の十勝農試のようにα-アミラーゼ活性値が成熟期後も低下せず、全般に高く維持される事例や、成熟期以降の降雨後に穂水分が上昇したにもかかわらず、活性化しない事例(1988年北見農試、1991年中央農試)が認められた。

1988年十勝農試において、成熟期前後にα-アミラーゼ活性値が低下しなかった要因を解析するために、成熟

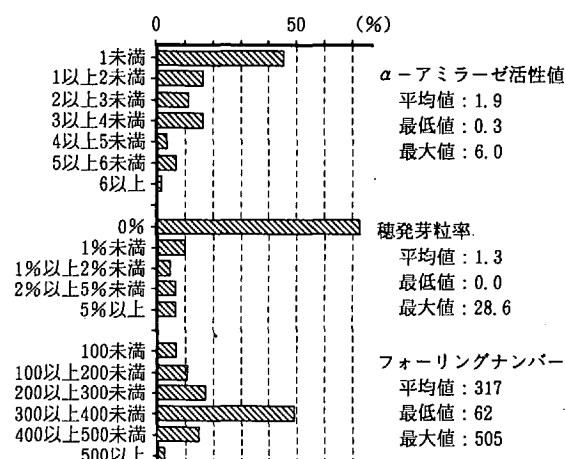


図2 α-アミラーゼ活性値、穂発芽粒率フォーリングナンバーの度数分布

期前10日間の気象条件を比較した。1988年の十勝農試では平均気温が15.0℃と他の年次・圃場と比較して明らかに低く、同様に日照時間も2.4時間と短かった(表3)。また、降水量は1mmと極めて少なかったが、相対湿度が約90%と高く、全般に低温・多湿な条件であった。

また、1988年北見農試の8月14日や、1991年中央農試の7月18, 22日のように、降雨後に穂水分が高まったにもかかわらず、α-アミラーゼが活性化しなかった事例では、降雨前後の気温が20℃程度と高い傾向であった。

2. α-アミラーゼ活性と穂発芽との関係

全調査試料(62点)のα-アミラーゼ活性値の平均値は1.9、最低値は0.3、最高値は6.0であった(図2)。また、穂発芽粒率(%)の平均値は1.3、最低値は0.0、最高値は28.6であったが、73%の試料で穂発芽の発生が認められなかった。

また、α-アミラーゼ活性の推移と穂発芽との関係を生育時期別に把握するために、試料を成熟期以前と成熟期後の区分して検討した。成熟期後の試料でα-アミラーゼが大きく活性化した場合、穂発芽の発生が認められた(図3)。しかし、成熟期以前の試料では、穂発芽の発生率は低く、両者の関係は認められなかった。

3. α-アミラーゼ活性とフォーリングナンバーの関係

α-アミラーゼ活性とでん粉粘度との関係を検討するために、1989年十勝農試・北見農試、1990・1991年中央農試の47試料についてフォーリングナンバーを測定した。フォーリングナンバー(sec)の平均値は317、最低は62、最高は505であった(図2)。

α-アミラーゼ活性値とフォーリングナンバーの間には、 $r = -0.908^{**}$ ($n = 47$) という高い負の相関が認められ、α-アミラーゼの活性化に伴うでん粉粘度の低

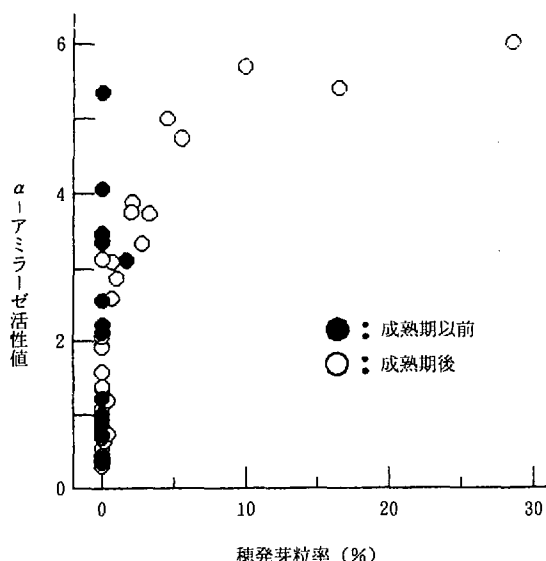


図3 α -アミラーゼ活性値と穂発芽粒率との関係
(全試料 $n=62$)

下が確かめられた(図4)。また、試料を成熟期以前と成熟期後に区分して検討した結果、成熟期以前の試料でも α -アミラーゼ活性値が高い場合、フォーリングナンバーが低下していた。

考 察

1. α -アミラーゼ活性の推移

α -アミラーゼ活性値は成熟期以前に高いが、その後穂水分の減少に伴って低下するのが一般的である。しかし、穂水分の低下にもかかわらず、全般に高く維持される場合があった。また、成熟期以降は低い値を維持する事例と、降雨後に大きく活性化する場合が認められた。

そこで、成熟期前後の α -アミラーゼ活性の推移を3つのパターンに分類した(図5)。パターンⅠ：成熟期以前の α -アミラーゼ活性値は高いが、穂水分の減少とともに低下し、その後も低い値を維持する。この場合、成熟期直後に多少の降雨があっても、活性化は起こらない。このパターンには、1988年の北見農試、1989年の十勝農試、1990年の中央農試が該当する。パターンⅡ：成熟期以降、およそ10日以上経過した時に連続的な降雨に遭うと、穂水分の上昇とともに大きく活性化する。このパターンには1989年の北見農試、1991年の中央農試が当てはまる。パターンⅢ：成熟期前後の穂水分の低下にもかかわらず、 α -アミラーゼ活性値は全般に高く維持されており、降雨に遭うとさらに活性化する。このパターンには1988年の十勝農試が該当する。

従来から、低アミロ小麦の発生は成熟期以降の穂発芽の過程で、 α -アミラーゼが活性化することが原因とさ

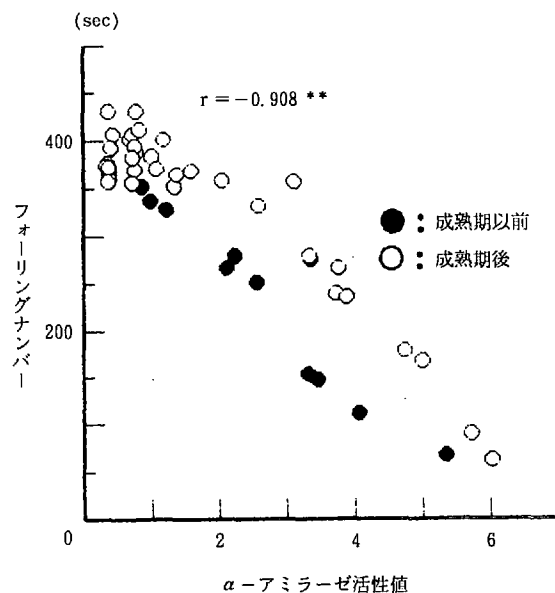


図4 α -アミラーゼ活性値とフォーリングナンバーとの関係
(1989年十勝, 北見, 1990, 1991年中央 $n=47$)

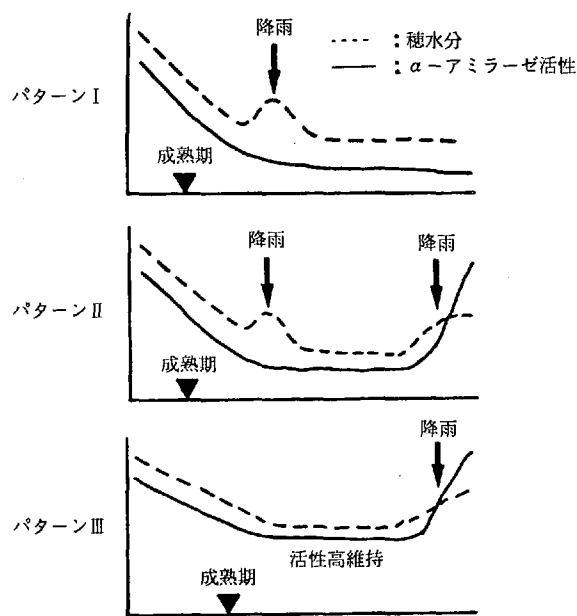


図5 α -アミラーゼ活性の推移パターン

れているが、本試験のパターンⅡがこの例に該当すると推測される。しかし、近年必ずしも穂発芽を伴わずに、 α -アミラーゼ活性値が高く維持される事例が報告されている^{1,5)}。本試験のパターンⅢがこの例に該当すると考えられる。

また、小麦の α -アミラーゼにはいくつかのアイソザイムの存在が知られている。登熟の初期から存在し、でん粉の生合成に関与し、子実の成熟とともに低下するものはグリーン α -アミラーゼ、成熟期以降の穂発芽の過程で誘導されるものは発芽 α -アミラーゼと呼ばれてい

る^{1, 5, 9)}。

したがって、成熟期以前から存在し、水分の低下とともに急激に低下している酵素は、グリーン α -アミラーゼに相当すると推測される。また、成熟期以降に穂水分の上昇とともに高まり、穂発芽を伴う場合は、発芽 α -アミラーゼが関与しているものと考えられる。

しかし、パターンⅢでは成熟期以降 α -アミラーゼ活性値が全般に高いまま推移し、その後穂発芽とともにさらに活性化しており、見かけ上グリーン α -アミラーゼと発芽 α -アミラーゼの区分が判然としなかった。この点については、今後の生化学的な解析が必要である。

ところで、 α -アミラーゼ活性値とフォーリングナンバーの関係を検討した結果、成熟期以前においても、 α -アミラーゼ活性値が高い場合でん粉粘度が低下していた。近年、低アミロ小麦の発生回避のために、子実水分30%以上における早期収穫が検討されているが、この場合、成熟期直後ではグリーン α -アミラーゼ活性が残存し、でん粉粘度が低い可能性も考えられることから、留意する必要がある。

また、従来から収穫適期は水分の推移から主として判定されていたが、アミロ粘度の高い小麦を収穫するためには、 α -アミラーゼ活性の推移に注目することが重要である。そのためには、農業現場で利用可能な α -アミラーゼ活性値の簡易検定法の開発が必要と思われる⁷⁾。

2. α -アミラーゼ活性に影響する要因

成熟期以降の α -アミラーゼの活性化には、降雨の降り方や降雨以外の気象条件、さらに休眠の深浅が影響していると考えられる^{1, 2, 3, 12)}。

降雨による穂水分の上昇は、 α -アミラーゼの活性化をもたらす直接の原因であるが、活性化に至るまでは、降雨が子実に浸透、吸水され、一定の水分条件を維持する必要がある¹⁾。したがって、降雨の量とともに降り方や、気温、日照、湿度の影響も大きいと考えられる。

たとえば、一時に多量の降雨があった場合でも、その後気温が高く日照が続くと、穂の乾燥が急激に進んで、 α -アミラーゼは活性化しないと推測される。逆に、霧雨や連続的な降雨は降水量としては少なくとも、長期間にわたり穂の水分を高く維持するために、活性化に及ぼす影響は大きいと考えられる。

また、成熟期付近で穂水分が高まったにもかかわらず、 α -アミラーゼが活性化しなかったのは、休眠が維持されていたためと推察される。

一方、成熟期から収穫までに時間が経過し、その間に連続した降雨に遭うと大きく活性化していた。これは従来から指摘^{4, 12)}されているように、休眠は成熟期直後

に深く、その後時間の経過とともに浅くなるためと考えられる。

なお、パターンⅢで成熟期前後に α -アミラーゼが低下しなかった原因については、成熟期以前の気象条件が影響していると考えられる。すなわち、低温・多湿条件が α -アミラーゼの推移に影響したと思われるが、本試験だけでは結論は下せず、さらに解析する必要がある。
謝辞：本研究を遂行するに当たり、十勝農試作物科、北見農試小麦科の各位には、試料の採取、調査等に多大なご協力をいただくとともに、有益なご助言をいただいた。さらに、本報告の取りまとめに際し、北海道立中央農業試験場農産化学部長古山芳廣博士、畑作部長土屋武彦博士にご校閲をいただいた。ここに記して、謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) Mares, D. J. "Pre-harvest sprouting tolerans in white grained wheat". In Fourth International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals, 1986. Westview Press p. 64-74.
- 2) 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, 27-71 (1971).
- 3) 北海道立中央農業試験場, 北海道立上川農業試験場, 北海道立十勝農業試験場, 北海道立北見農業試験場. "低アミロ小麦の発生実態の解明と対策". 平成5年度普及奨励ならびに指導参考事項. 北海道農政部. 1993. p. 281-284.
- 4) 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 α -アミラーゼ活性の推移及びその相互関係". NARC 研究速報. 5, 1-5 (1988).
- 5) Gale, M. D. ; Flintham, J. E. ; Arthur, E. D. "Alpha-amylase production in the late stages of grain development-An early sprouting damage risk period?". In Third International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1983., p.29-35.
- 6) 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, 32-36 (1993).
- 7) 中津智史, 市川信雄, 木村邦夫. " α -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 (4), (現在投稿中).
- 8) 農林水産技術会議事務局. "小麦品質検定法, 一小麦育種試験における一". 研究成果. 35, 46 (1968).
- 9) 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), 1-19 (1985).
- 10) 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”. 北海道立農試集報. 56, 93-105 (1987).
- 11) アミロ問題懇談会. “小麦のアミロをめぐる諸問題”. 食糧庁管理部検査課. 1988. p. 74-103.
- 12) 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, 138-145 (1982).
- 13) 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正に及ぼす影響, (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, 152-156 (1963).

Changes in Alpha-Amylase Activity of Grain and Water Content of Ear around The Time of Maturity in Chihokukomugi

Satoshi NAKATSU*, Kunio OHMURA*, and Nobuo ICHIKAWA**

Summary

An examination was made on change of alpha-amylase activity around the time of maturity and the cause of its activation. The changes were classified into the following three types: Pattern I : Alpha-amylase activity was high before maturity and gradually decreased as water content of ear decreased. Pattern II : When exposed to rain after maturity, activation of alpha-amylase was enhanced as increase in water content of ear. Pattern III : Alpha-amylase activity was kept to be high, even when water content of ear became less around the time of maturity.

The activity before maturity was attributed to green alpha-amylase. The activation of germination alpha-amylase following maturity was largely affected by rainfall in addition to air temperature, hours of sunshine and humidity. Immediately after maturity, the enzyme was not so easily activated because of its deep dormancy, but the activation was facilitated as time elapsed. When the activity of green alpha-amylase as well as germination alpha-amylase was high, falling number was low.

* Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-13 Japan.

** Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experiment Station, Kunneppu, Hokkaido, 099-14 Japan.