

オオムギにおける β -グルカン及び β -グルカナーゼの 環境変動と選抜効率

加藤常夫*・石川直幸・大塚勝・徳江紀子

I 緒言

醸造用オオムギは工業原料であるため、品質が重要視される作物である。わが国における醸造用オオムギの品質育種は、1968年に発足した「ビール大麦育成系統合同比較試験」に定められた「ビール大麦品種比較試験用品質評価基準」に基づいて官民共同で実施されており¹⁾、この制度の下で高品質品種が育成されてきた²⁾。

オオムギ胚乳細胞壁には、(1-3,1-4)- β -D-グルカン(以下 β -グルカンと略す)が特異的に多く含まれている。 β -グルカンは、D-グルコースから成る多糖類の一種で、(1-3)- β -グルコシド結合と(1-4)- β -グルコシド結合を有する粘性の高い物質である。そのため、ビール製造工程で多くの影響を及ぼす。まず、オオムギ原麦中に β -グルカンが過剰に含まれると、麦芽製造(製麦)工程において胚乳貯蔵物質の分解を妨げる。また、未分解のまま麦芽へ移行すると、次のろ過工程に支障をきたし、ビールにまで残存すると濁りや沈殿物が生じる原因になる^{3,4,16)}。(1-3,1-4)- β -D-グルカナーゼ(EC 3.2.1.73)(以下 β -グルカナーゼと略す)は、製麦中にアリューロン層及び胚盤で誘導・合成され、 β -グルカンを分解する¹⁴⁾。以上のことから、醸造用オオムギは、原麦及び麦芽中の β -グルカン含有率が低いこと、あるいは β -グルカナーゼ活性が十分に高いことが望ましい。

ヨーロッパにおける醸造用オオムギの育種では、品質検定項目の中に β -グルカン含有率が含まれている³⁾。しかしながら、わが国における「ビール大麦品種比較試験用品質評価基準」の中の評価項目は、麦芽エキス、エキス収量、麦芽全窒素、可溶性窒素、コールバツハ数、ジアスターゼ力及び最終発酵度の7形質であり¹⁵⁾、 β -グルカン含有率の項目はない。今後、わが国の醸造用オオムギのより一層の高品質化を図るためには、 β -グルカン含有率が低く、 β -グルカナーゼ活性が高いオオムギを育成することが重要であると思われる。そこで、本研究では β -グルカン含有率及び β -グルカナーゼ活性の環境変動を解析するとともに、初期世代における選抜効率の検討を試みた。

II β -グルカン含有率及び β -グルカナーゼ活性の環境変動

1. 目的

β -グルカン含有率が低く、高品質な醸造用オオムギを安定生産するため、また、低 β -グルカン・高 β -グルカナーゼオオムギ系統育成のための基礎資料を得るため、 β -グルカン含有率及び β -グルカナーゼ活性の年次、栽培条件、製麦条件に対する変動を解析した。

2. 材料及び方法

1) 1990~1993年産

4年間にわたって栃木県農業試験場栃木分場及び黒磯分場(5栽培条件)で実施した醸造用オオムギの生産力検定試験及び系統適応性検定試験の中からあまぎ二条、ミサトゴールデン、ミカモゴールデン、ヤチホゴールデン、関東二条26号を供試材料とし、原麦 β -グルカン含有率を測定して分散分析を行った。また、成熟期、稈長、穂数、千粒重、子実重、整粒重、原麦粗タンパク質含有率と原麦 β -グルカン含有率との相関関係を求めた。

2) 1991年産

原麦粗タンパク質含有率が試験地によって大きく異なるあまぎ二条とミサトゴールデンを材料にした(試験地一粗タンパク質含有率(2品種の平均値);栃木分場-10.7%、茨城県農業試験場-12.8%、茨城農試現地試験-8.1%)。これらの材料について250g製麦(浸麦度44%、水浸:空浸時間比1:2、発芽温度15℃)を実施し、発芽0日から発芽5日目まで毎日サンプリングし、乾燥(40℃:12時間、65℃:3時間、85℃:5時間)後、 β -グルカン含有率を測定した。

3) 1994年産-a

ミサトゴールデン、関東二条25号(以上は醸造用オオムギ)、四国裸46号(非醸造用モチ性食用オオムギ)を供試材料として、播種日2水準(11/1, 11/25)、窒素施肥量3水準(基肥2.0, 基肥2.0+追肥1.5, 基肥2.0+追肥3.0kg/10a)を設け、2反復で栽培した。原麦 β -グルカン含有率と製麦(製麦規模60g、浸麦度41%、水浸:空浸時間比1:2、発芽温度15℃、発芽期間5日、乾燥温度40~85℃)後の麦芽 β -グルカン含有率及び β -グルカナー

*現在、農業研究センター、〒305 茨城県つくば市

第1表 原麦β-グルカン含有率の分散分析表
(1990～1993年産)

要因	自由度	分散	分散比
品種	4	0.976	61.98**
年次	3	5.103	324.22**
栽培条件	4	0.505	32.07**
品種×年次	12	0.029	1.84
品種×栽培条件	16	0.016	1.03
年次×栽培条件	12	0.125	7.94**
誤差	48	0.016	

注. **: 1%水準で有意.

第2表 原麦β-グルカン含有率の分散分析表
(1994年産-a)

要因	自由度	分散	分散比
品種	2	34.475	1754.55**
播種日	1	0.667	33.97**
施肥量	2	0.247	12.57**
品種×播種日	2	0.045	1.88
品種×施肥量	4	0.029	1.46
播種日×施肥量	2	0.039	1.98
品種×播種日×施肥量	4	0.036	1.81
誤差	17	0.020	

注. **: 1%水準で有意.

ゼ活性を測定し、分散分析を行った。また、成熟期、稈長、穂数、千粒重、原麦粗タンパク質含有率を調査し、これらの形質と原麦及び麦芽β-グルカン含有率、β-グルカナナーゼ活性との相関関係を求めた。

4) 1994年産-b

4反復で栽培したミサトゴールデン、ミカモゴールデン(以上は醸造用オオムギ)、羽系I-41(非醸造用オオムギ)を3ラウンドで製麦し、麦芽β-グルカン含有率及びβ-グルカナナーゼ活性を測定し、これらの形質の製麦ラウンド間差を調査した。製麦規模は、2ラウンドを60g、1ラウンドを250gとした。製麦条件はいずれも浸麦度41%、水浸:空浸時間比1:2、発芽温度15℃、発芽期間5日、乾燥温度40~85℃とした。

5) 原麦及び麦芽β-グルカン含有率の測定方法

McCleary and Glennie-Holmes⁷⁾ 及びMcCleary and Codd⁸⁾の方法に準じて2反復で測定した。まず、サイクロンミル(0.5mm)で粉砕した試料(原麦240mg、麦芽120mg)に20mMリン酸ナトリウム(pH6.5)とリケナーゼ(β-グルカナナーゼ)を各々4ml、0.05ml加え、β-グルカンをオリゴ糖に分解した(50℃, 30分)。さらに、β-グルコシダーゼを0.05ml加えてグルコースに分解し(50℃, 15分)、比色定量した(510nm)。試料が麦芽の場合、遊離した還元糖が多量に含まれるため、最初に50%エタノールを加え、上清液

を捨てることで還元糖を除去した。

6) β-グルカナナーゼ活性の測定方法

McCleary and Shameer⁹⁾の方法で2反復で測定した。アゾ染色されたβ-グルカンを基質とし、これに麦芽からの酵素抽出液を加えて30℃, 10分間反応させた。未分解のβ-グルカンは沈降溶液(4%酢酸ナトリウム, 0.4%酢酸亜鉛, 80%メチルセロソルブ, pH5.0)によって沈殿させ、上清液を比色定量した(590nm)。

3. 結果及び考察

1) 原麦β-グルカン含有率の環境変動

第1表及び第2表に1990~1993年産及び1994年産-aにおける原麦β-グルカン含有率の分散分析結果を示した。分散比を比較すると、醸造用オオムギのみを材料にした1990~1993年産では年次による分散比が最も大きく、次いで品種、栽培条件の順であった。1994年産-aでは品種間の分散比が最も大きかったが、材料に原麦β-グルカン含有率が極端に高いモチ性食用オオムギを含めたためであり、遺伝的変異が比較的小さい醸造用オオムギでは、原麦β-グルカン含有率の変動は品種よりも環境の影響の方が大きいと考えられた。品種と環境の交互作用は、1990~1993年産、1994年産-aのいずれにおいても有意ではなく、したがって、原麦β-グルカン含有率の品種間差は年次、栽培条件が変わってもほぼ同一の傾向にあると考えら

第3表 播種日及び施肥量が原麦及び麦芽β-グルカン含有率、β-グルカナナーゼ活性に及ぼす影響(1994年産-a)

形質	播種日		窒素施肥量(基肥+追肥 kg/10a)		
	11月1日	11月25日	2.0+0.0	2.0+1.5	2.0+3.0
原麦β-グルカン(%)	5.02 a	5.30 b	5.00 a	5.20 b	5.28 b
麦芽β-グルカン(%)	1.28 a	1.45 b	1.33 a	1.35 a	1.40 a
β-グルカナナーゼ(U/kg)	384 a	335 b	357 a	366 a	356 a

注. 同一英字間には1%水準で有意差なし.

第4表 原麦 β -グルカン含有率と農業形質との間の相関係数(1994年産-a)

品種・系統名	成熟期	稈長	穂数	千粒重	原麦粗タンパク質
ミサトゴールド	0.59*	-0.23	-0.56	0.77**	0.78**
関東二条25号	0.62*	-0.64*	-0.41	0.86**	0.80**
四国裸46号	0.72**	-0.59*	-0.67*	0.58*	0.75**

注. **, *; 1%, 5%水準で有意.

第5表 原麦 β -グルカン含有率と農業形質との間の相関係数(1990~1993年産)

品種・系統名	成熟期	稈長	穂数	千粒重	子実重	整粒重	原麦粗タンパク質
あまぎ二条	-0.14	-0.13	-0.48*	0.57*	-0.38	-0.19	0.64**
ミサトゴールド	-0.13	-0.03	-0.49*	0.46*	-0.04	0.04	0.57**
ミカモゴールド	0.00	0.24	-0.32	0.44*	0.04	0.18	0.75**
ヤチホゴールド	-0.14	0.36	-0.41	0.63**	-0.05	0.09	0.57*
関東二条26号	-0.01	0.18	-0.43	0.59**	-0.03	0.16	0.63**

注. **, *; 1%, 5%水準で有意.

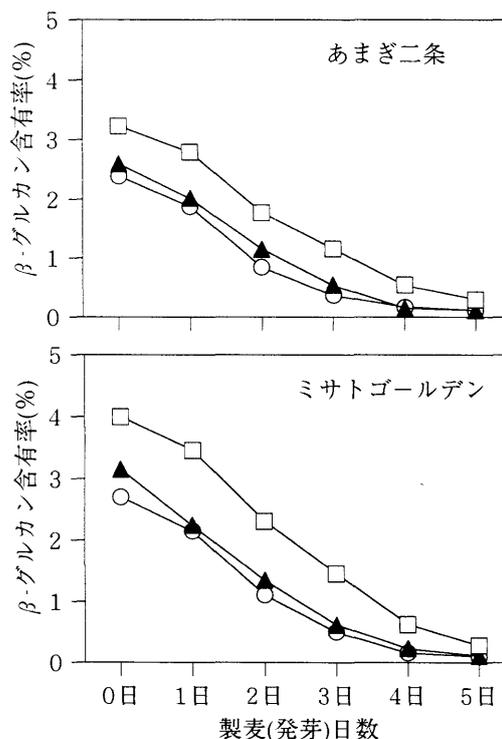
れた.

過去の報告によれば、原麦 β -グルカン含有率は水分条件によって変動し、収穫前の降雨は β -グルカン含有率の低下を促す^{3,10)}。しかしながら、本研究では原麦 β -グルカン含有率と登熟中の降水量との間に明確な関係は認められなかった(データ略)。本研究では、1994年産-aの材料において、原麦 β -グルカン含有率は播種日の遅延、窒素施肥量の増加に伴って高くなる傾向が認められた(第3表)。農業形質との相関では、原麦 β -グルカン含有率は成熟期、千粒重及び原麦粗タンパク質含有率と有意な正の相関を示した(第4表)。醸造用オオムギのみを用いた1990~1993年産で、年次をこみにした場合でも、原麦 β -グルカン含有率は千粒重及び原麦粗タンパク質含有率と有意な正の相関を示した(第5表)。以上のことから、原麦 β -グルカン含有率は千粒重及び原麦粗タンパク質含有率が増加する条件下で高まるものと考えられた。

第1図には、原麦粗タンパク質含有率を異にする材料での製麦中の β -グルカン含有率の減少経過を示した。低タンパク質オオムギ(平均8.1%)の製麦(発芽)3日目における β -グルカン含有率は、0.37%, 0.50%(あまぎ二条, ミサトゴールドの順, 以下同様)であったのに対して、高タンパク質オオムギ(平均12.8%)の同時期における β -グルカン含有率は、1.15%, 1.46%と低タンパク質オオムギの約3倍であった。この傾向は製麦(発芽)4日目でも変わらず、低タンパク質オオムギが0.17%, 0.16%, 高タンパク質オオムギが0.54%, 0.63%であった。

2) 麦芽 β -グルカン含有率及び β -グルカナーゼ活性の環境変動

第6表に製麦ラウンド間における麦芽 β -グルカン含有率及び β -グルカナーゼ活性の分散分析結果を示した。



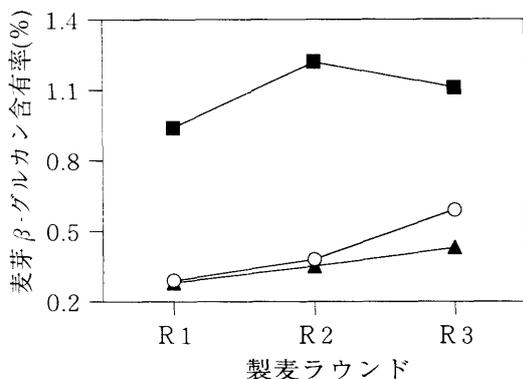
第1図 原麦粗タンパク質含有率が異なる材料の製麦中の β -グルカン含有率の変化.

□; 高タンパク質(12.8%).
 ▲; 中タンパク質(10.7%).
 ○; 低タンパク質(8.1%).

第6表 麦芽β-グルカン含有率及びβ-グルカナナーゼ活性の分散分析表(1994年産-b)

要因	自由度	麦芽β-グルカン		β-グルカナナーゼ	
		分散	分散比	分散	分散比
品種	2	1.995	235.17**	12600.4	10.98**
製麦ラウンド	2	0.136	16.03**	3171.2	2.76
品種×製麦ラウンド	4	0.031	3.62*	1505.0	1.31
誤差	24	0.008		1147.8	

注. **, *; 1%, 5%水準で有意.



第2図 麦芽β-グルカン含有率の製麦ラウンドによる変動.

■; 羽系I-41.
○; ミサトゴールド.
▲; ミカモゴールド.

β-グルカナナーゼ活性は、製麦ラウンドを異にしても変動は比較的小さかった。これに対して、麦芽β-グルカン含有率については製麦ラウンド間の分散比は有意であり、さらに、品種と製麦ラウンド間の交互作用も有意となった。第2図に製麦ラウンド別の麦芽β-グルカン含有率を品種毎に示した。麦芽β-グルカン含有率が比較的小さかったミサトゴールドとミカモゴールドにおいても、異なる製麦ラウンドで逆転することはなかったため、製麦ラウンド毎に同一の材料を含めることで、製麦ラウンドを異にした場合でも品種間差は検出できるものと考えられた。

第7表に栽培条件を変えた場合の麦芽β-グルカン含有率及びβ-グルカナナーゼ活性の分散分析結果を示した(1994年産-aの材料)。麦芽β-グルカン含有率については、品種間の分散比が顕著に大きかったが、原麦β-グル

第7表 麦芽β-グルカン含有率及びβ-グルカナナーゼ活性の分散分析表(1994年産-a)

要因	自由度	麦芽β-グルカン		β-グルカナナーゼ	
		分散	分散比	分散	分散比
品種	2	44.534	1588.26**	23076.2	13.62**
播種日	1	0.253	9.02**	21169.3	12.50**
施肥量	2	0.015	0.55	333.5	0.20
品種×播種量	2	0.053	1.88	3110.1	1.84
品種×施肥量	4	0.012	0.42	3668.6	2.17
播種量×施肥量	2	0.041	1.47	1126.0	0.67
品種×播種量×施肥量	4	0.013	0.46	1204.4	0.71
誤差	17	0.028		1694.6	

注. **, *; 1%水準で有意.

第8表 麦芽β-グルカン含有率及びβ-グルカナナーゼ活性と農業形質との間の相関係数(1994年産-a)

形質	品種・系統名	成熟期	稈長	穂数	千粒重	原麦粗タンパク質
麦芽β-グルカン	ミサトゴールド	0.81**	-0.52	-0.80**	0.79**	0.82**
	関東二条25号	0.38	-0.69*	-0.24	0.71**	0.81**
	四国裸46号	0.46	-0.31	-0.44	0.47	0.34
β-グルカナナーゼ	ミサトゴールド	-0.34	0.31	0.47	-0.32	-0.40
	関東二条25号	-0.70*	0.75**	0.58*	-0.71**	-0.38
	四国裸46号	-0.44	0.32	0.35	-0.55	-0.39

注. **, *; 1%, 5%水準で有意.

第9表 原麦 β -グルカン含有率の選抜効率

世代	組合せ	F5 分散比	原麦 β -グルカン含有率平均値				t値
			選抜系統	淘汰系統	選抜系統 後代	淘汰系統 後代	
F4→F5	A	--	3.67	4.13	2.69	2.90	4.01**
	B	--	4.24	4.65	3.09	3.15	0.91
	C	--	4.03	4.47	3.07	3.27	4.45**
	全体	--	3.91	4.50	2.90	3.16	6.57**
F5→F6	A	3.33**	2.62	2.96	2.81	3.06	4.26**
	B	4.58**	2.93	3.30	3.28	3.30	0.22
	C	2.76**	3.04	3.30	3.02	3.23	2.32*
	全体	5.77**	2.81	3.24	3.00	3.24	5.10**

注1. **, *; 1%, 5%水準で有意.

注2. 組合せA; 関東二条25号×ヤチホー・ルデン, B; ヤシホー・ルデン×羽系87-35, C; Clipper×ヤチホー・ルデン.

注3. F5分散比; 系統間分散を環境分散(ミサト・ルデン及びヤチホー・ルデンの分散平均値)で除した値.

カン含有率の場合と同様, 材料に麦芽 β -グルカン含有率が極端に高いモチ性食用オオムギを含めたためであり, このため品種間の分散が大きくなった. β -グルカナーゼ活性は, 品種間と栽培条件(播種日)の分散比がほぼ同等であった. 麦芽 β -グルカン含有率及び β -グルカナーゼ活性における品種と環境の交互作用は有意ではなく, したがって, 原麦 β -グルカン含有率と同様, 麦芽 β -グルカン含有率及び β -グルカナーゼ活性の品種間差も栽培条件が変わることによって順位が逆転することは少ないと考えられた.

麦芽 β -グルカン含有率は, 播種日の遅延に伴って高くなる傾向が認められた(第3表). しかしながら, 農業形質との相関では, 麦芽 β -グルカン含有率と千粒重及び原麦粗タンパク含有率との間に2品種で有意な正の相関を示したが, 四国裸46号では相関がなかった(第8表). 一方, β -グルカナーゼ活性は, 晩播で活性が低かったが, 施肥量の違いは影響がなく(第3表), 農業形質との関係は, 明確な傾向は認められなかった(第8表).

III β -グルカン含有率及び β -グルカナーゼ活性の選抜効率

1. 目的

醸造用オオムギの高品質化を図るためには, β -グルカン含有率が低く, β -グルカナーゼ活性が高いオオムギ系統の育成が重要である. そのため, 原麦及び麦芽 β -グルカン含有率, β -グルカナーゼ活性の初期世代での選抜効率を検討した.

2. 材料及び方法

関東二条25号×ヤチホー・ルデン, ヤシホー・ルデン×羽系87-35, Clipper×ヤチホー・ルデンの雑種140系統を材料とした. これらの材料はF₁穂別系統でオオムギ縮萎縮病に抵抗性を示した系統の中から無作為抽出した. F₁系統の収穫物は各系統20穂を混合し, 約100粒をF₅種子, 残りを分析用とした. F₅系統からは1個体をF₆種子, 残りを分析用とした. F₆系統も同様とした. なお, 対照としてF₅系統と一緒にミサト・ルデン及びヤチホー・ルデンを各々25区設けた. F₁ではII-2-5)の方法で原麦 β -グルカン含有率を測定した. F₅及びF₆では, 原麦 β -グ

第10表 麦芽 β -グルカン含有率の選抜効率

世代	組合せ	F5 分散比	麦芽 β -グルカン含有率平均値				t値
			選抜系統	淘汰系統	選抜系統 後代	淘汰系統 後代	
F5→F6	A	1.21	0.15	0.25	0.28	0.37	2.40*
	B	5.87**	0.32	0.57	0.44	0.54	1.65
	C	7.24**	0.34	0.60	0.40	0.53	2.44*
	全体	8.29**	0.22	0.52	0.36	0.50	4.37**

注1. **, *; 1%, 5%水準で有意.

注2. 組合せA; 関東二条25号×ヤチホー・ルデン, B; ヤシホー・ルデン×羽系87-35, C; Clipper×ヤチホー・ルデン.

注3. F5分散比; 系統間分散を環境分散(ミサト・ルデン及びヤチホー・ルデンの分散平均値)で除した値.

第11表 β -グルカナナーゼ活性の選抜効率

世代	組合せ	F5 分散比	β -グルカナナーゼ活性平均値				t値
			選抜系統	淘汰系統	選抜系統 後代	淘汰系統 後代	
F5→F6	A	3.95**	481	370	324	347	-1.34
	B	2.23*	418	333	361	331	2.69**
	C	2.97**	372	273	288	257	2.42*
	全体	4.22**	433	317	339	299	4.42**

注1. **, *; 1%, 5%水準で有意.

注2. 組合せA; 関東二条25号×ヤチホゴールデン, B; ヤシオゴールデン×羽系87-35, C; Clipper×ヤチホゴールデン.

注3. F5分散比; 系統間分散を環境分散(ミチゴールデン及びヤチホゴールデンの分散平均値)で除した値.

ルカン含有率の測定に加え, 60 g 製麦 (浸麦度41~43%, 水浸:空浸時間比1:2, 発芽温度15℃, 発芽期間5日, 乾燥温度40~85℃) を実施し, II -2-5) 及びII -2-6) の方法で麦芽 β -グルカン含有率及び β -グルカナナーゼ活性を測定した. 原麦及び麦芽 β -グルカン含有率, β -グルカナナーゼ活性の選抜シミュレーション試験は, 各形質とも選抜圧50%とした. また, F₅及びF₆では, 麦芽エキス, エキス収量, 麦芽全窒素, 可溶性窒素, コールバッハ数及びジアスターゼ力を測定し, これらの値から総合評点を算出した. なお, 総合評点とは育成系統の醸造品質の良否を判定するための指標であり, ビール業界との取り決めて定められている¹⁵⁾.

3. 結果及び考察

原麦及び麦芽 β -グルカン含有率について, 選抜系統後代と淘汰系統後代の平均値で t 検定を行った結果, 3組合せ全体では有意差が認められたが, 組合せ毎では大きく異なった. 関東二条25号×ヤチホゴールデン, Clipper×ヤチホゴールデンでは, 原麦と麦芽, F₅とF₆を問わず全てのケースで選抜効果が認められたのに対して, ヤシオゴールデン×羽系87-35では全てのケースで選抜効果がほとん

どなかった (第9表, 第10表). Powellらは, β -グルカン含有率には相加的に作用する3~5の遺伝子座が関与すると報告した¹⁰⁾. 本研究で選抜効果が認められなかったヤシオゴールデン×羽系87-35の組合せでは, F₅における原麦及び麦芽 β -グルカン含有率の分散比は有意であり, しかも, 他の組合せより大きかった. よって, この組合せの両親間では対立遺伝子が異なる遺伝子座が他の2組合せの両親間よりも多く, そのためにF₅でも固定が十分でなかった可能性が示唆された. β -グルカナナーゼ活性については, 3組合せ全体では選抜効果が認められたが, 組合せ毎では原麦及び麦芽 β -グルカン含有率とは異なり, 関東二条25号×ヤチホゴールデンで選抜効果がなかった (第11表).

原麦 β -グルカン含有率と麦芽品質各項目との間の相関関係は, 組合せによって異なるが, 概して, 麦芽 β -グルカン含有率と正の相関, コールバッハ数及び総合評点との間に負の相関が認められた (第12表). 麦芽 β -グルカン含有率と麦芽品質各項目との間の相関関係は, β -グルカナナーゼ活性, コールバッハ数, 総合評点及び麦芽エキスとの間に負の相関が認められた (第13表). β -グルカナナー

第12表 原麦 β -グルカン含有率と麦芽品質との間の相関係数

世代	組合せ	麦芽 β -グルカン	β - グルカナナーゼ	麦芽エキス	コールバッハ数	ジアスターゼ力 (WK/TN)	総合評点
F5	A	0.36*	-0.02	-0.34*	-0.22	0.14	-0.09
	B	0.59**	0.33*	-0.60**	-0.61**	0.03	-0.54**
	C	0.27	0.01	-0.03	-0.15	0.03	-0.08
	全体	0.65**	-0.24	-0.50**	-0.53**	-0.26*	-0.55**
F6	A	0.38**	-0.04	-0.18	-0.26	-0.07	-0.27
	B	0.62**	-0.02	-0.23	-0.45**	-0.09	-0.32*
	C	0.60**	-0.09	-0.11	-0.48**	-0.06	-0.25
	全体	0.62**	-0.01	-0.22*	-0.50**	-0.17	-0.35**

注1. **, *; 1%, 5%水準で有意.

注2. 組合せA; 関東二条25号×ヤチホゴールデン(n=47), B; ヤシオゴールデン×羽系87-35(n=49)

C; Clipper×ヤチホゴールデン(n=44).

第13表 麦芽 β -グルカン含有率と麦芽品質との間の相関係数

世代	組合せ	β - グルカナーゼ	麦芽エキス	コールバ ッハ数	ジアスターゼ力 (WK/TN)	総合評点
F5	A	-0.35*	0.13	-0.16	-0.12	-0.13
	B	-0.11	-0.57**	-0.61**	-0.24	-0.62**
	C	-0.38*	-0.36*	-0.50**	-0.35*	-0.57**
	全体	-0.48**	-0.50**	-0.60**	-0.49**	-0.69**
F6	A	-0.45**	-0.11	-0.46**	-0.31*	-0.47**
	B	-0.39**	-0.36*	-0.60**	-0.30*	-0.56**
	C	-0.33*	-0.26	-0.56**	-0.21	-0.44**
	全体	-0.34**	-0.33**	-0.62**	-0.30**	-0.51**

注1. **, *; 1%, 5%水準で有意.

注2. 組合せA; 関東二条25号×ヤチゴールテン(n=47), B; ヤチゴールテン×羽系87-35(n=49)
C; Clipper×ヤチゴールテン(n=44).

ゼ活性と麦芽品質各項目との間の相関関係は、ジアスターゼ力及び総合評点との間に正の相関が認められた(第14表).

低 β -グルカンあるいは高 β -グルカナーゼ系統を選抜した次世代において、これらの形質と有意な相関関係にある麦芽品質は同時に向上することが期待される. 本研究においては、3組合せ全体では期待された効果が認められたが、組合せ毎ではほとんど効果が認められなかった(第3~5図). 3組合せ全体のF₅での原麦 β -グルカン含有率による選抜系統後代は、淘汰系統後代に比べて全ての麦芽品質が有意に高く、特に総合評点、麦芽エキス及びコールバツハ数で向上した. これに対して、F₆での原麦 β -グルカン含有率による選抜系統後代は、麦芽エキス及び総合評点では淘汰系統後代と有意差がなかった(第3図). 3組合せ全体のF₅での麦芽 β -グルカン含有率による選抜系統後代も、淘汰系統後代に比べて全ての麦芽品質が有意に高くなり、わずかながら原麦 β -グルカン含有率よりも効

果が大きかった(第4図). 同様に、 β -グルカナーゼ活性による選抜系統後代もほとんどの麦芽品質が有意に高くなった. しかしながら、 β -グルカナーゼ活性とジアスターゼ力との間に正の相関があるにもかかわらず、選抜系統後代のジアスターゼ力は淘汰系統後代と有意差がなかった(第5図).

IV 総合考察

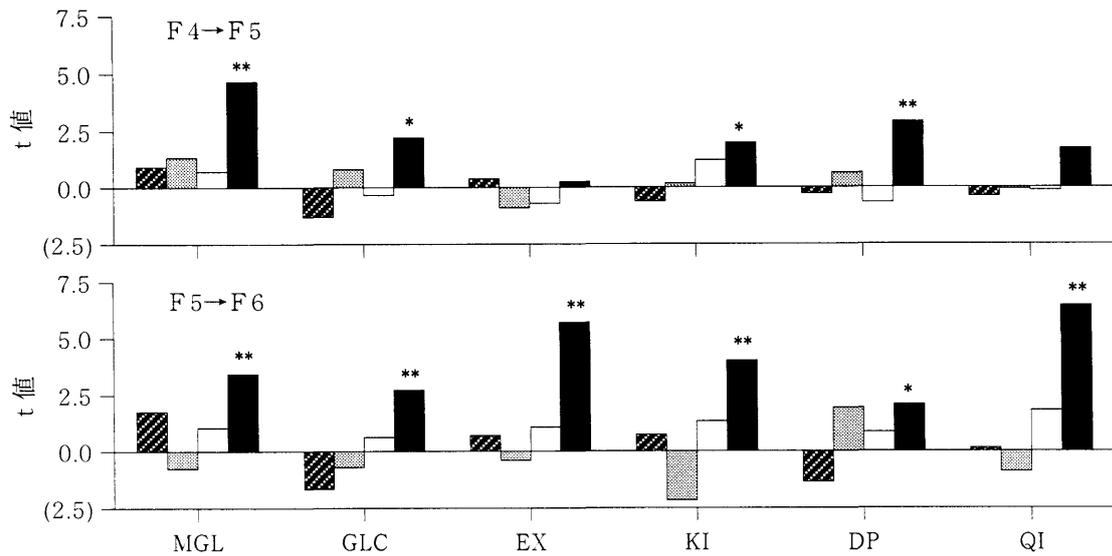
醸造用オオムギが加工原料である以上、高品質なものを安定して供給しなければならない. 原麦中の β -グルカン含有率が4%以上であると、その後の製麦・醸造工程に支障をきたすことが知られている⁷⁾. したがって、高品質醸造用オオムギの安定生産のためには、原麦 β -グルカン含有率を低めることが重要であり、原麦 β -グルカン含有率の変動要因を知ることがその方策につながる. 本研究において、晩播や多肥栽培の原麦粗タンパク質含有率が高くなる条件で原麦 β -グルカン含有率は高まることが示され

第14表 β -グルカナーゼ活性と麦芽品質との間の相関係数

世代	組合せ	麦芽エキス	コールバ ッハ数	ジアスターゼ力 (WK/TN)	総合評点
F5	A	-0.20	0.02	0.61**	0.18
	B	0.03	-0.06	0.72**	0.21
	C	0.32*	0.11	0.58**	0.49**
	全体	0.41**	0.22	0.64**	0.57**
F6	A	0.07	0.09	0.54**	0.30*
	B	0.31*	0.42**	0.62**	0.55**
	C	0.16	0.32*	0.56**	0.38*
	全体	0.47**	0.39**	0.39**	0.55**

注1. **, *; 1%, 5%水準で有意.

注2. 組合せA; 関東二条25号×ヤチゴールテン(n=47),
B; ヤチゴールテン×羽系87-35(n=49), C; Clipper×ヤチゴールテン(n=44).

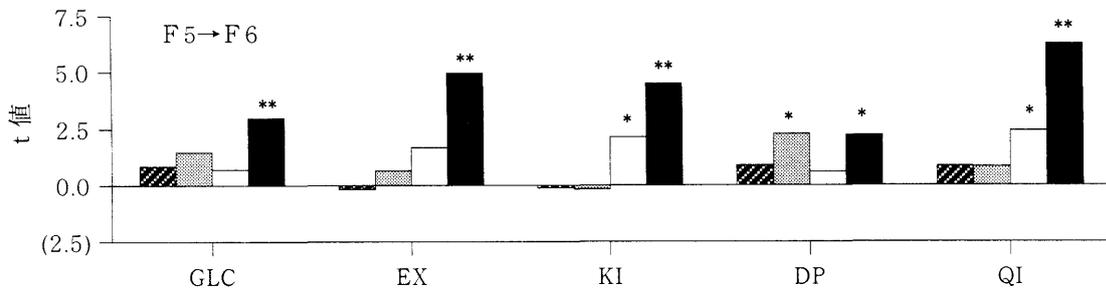


第3図 原麦 β -グルカン含有率による選抜が次世代の麦芽品質に及ぼす影響.

t 値；選抜系統後代と淘汰系統後代の比較. **, *; 1%, 5%水準で有意.

MGL; 麦芽 β -グルカン含有率, GLC; β -グルカナーゼ活性, EX; 麦芽エキス, KI; コールパツハ数, DP; ジアスターゼ力(WK/TN), QI; 総合評点.

凡例; 左から組合せA, 組合せB, 組合せC, 3組合せ全体.

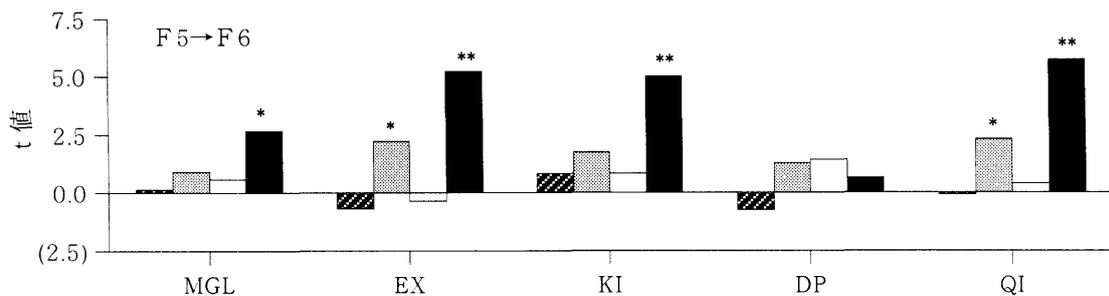


第4図 麦芽 β グルカン含有率による選抜が次世代の麦芽品質に及ぼす影響.

t 値；選抜系統後代と淘汰系統後代の比較. **, *; 1%, 5%水準で有意.

GLC; β グルカナーゼ活性, EX; 麦芽エキス, KI; コールパツハ数, DP; ジアスターゼ力 (WK/TN), QI; 総合評点.

凡例; 左から組合せA, 組合せB, 組合せC, 3組合せ全体.



第5図 β -グルカナーゼ活性による選抜が次世代の麦芽品質に及ぼす影響.

t 値；選抜系統後代と淘汰系統後代の比較. **, *; 1%, 5%水準で有意.

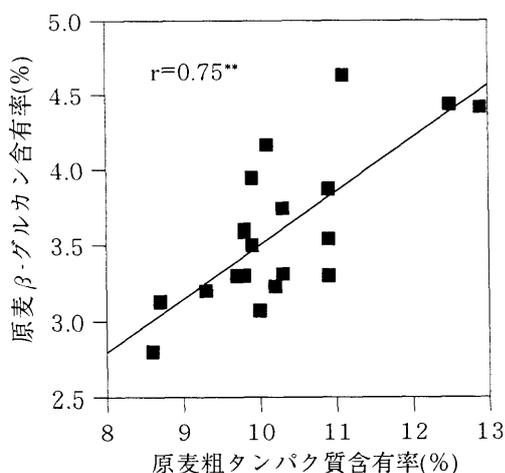
MGL; 麦芽 β -グルカン含有率, EX; 麦芽エキス, KI; コールパツハ数, DP; ジアスターゼ力(WK/TN), QI; 総合評点.

凡例; 左から組合せA, 組合せB, 組合せC, 3組合せ全体.

た、醸造適性に優れるミカモゴールドンにおいて、原麦粗タンパク質含有率と原麦β-グルカン含有率との関係を見ると、原麦粗タンパク質含有率が適正範囲の上限である11.5%付近あるいはこの値を越えると、原麦β-グルカン含有率は4%以上になる傾向があった(第6図)。また、原麦粗タンパク質含有率が高いオオムギは、低タンパク質のものに比べ、製麦後期でも多くのβ-グルカンが残存することが示された。一方、同一品種内では、原麦粗タンパク質含有率は麦芽エキス及びコールパツハ数と負の相関、ジアスターゼ力と正の相関があることが知られている^{12,13)}。したがって、原麦β-グルカン含有率を低く抑え、かつ麦芽品質をバランス良く保つためには、原麦粗タンパク質含有率は適正範囲の9.5~11.5%の中でも低い方が安全であると考えられた。

原麦β-グルカン含有率は、千粒重との間にも正の相関を示した。一般に千粒重の増大は高収量の一要因であるので、原麦β-グルカン含有率と千粒重との間に正の相関があることは、生産上好ましくない。しかしながら、原麦β-グルカン含有率と子実重及び整粒重とは相関がなかったことから、高収量が直接的に高β-グルカン含有率にはならないと考えられた。

上述した原麦β-グルカン含有率と原麦粗タンパク質含有率及び千粒重との間の関係は、同一品種内における環境相関である。一方、遺伝子型の異なる材料(Ⅲの供試材料)でこれらの関係を見ると、3組合せ中2組合せの雑種集団で、原麦β-グルカン含有率と原麦粗タンパク質含有率との間に有意な正の相関が認められたが、千粒重との間には明確な関係がなかった(第15表)。これらの関係には、遺伝相関に環境相関も含まれているので厳密ではないが、原



第6図 原麦β-グルカン含有率と原麦粗タンパク質含有率との関係。品種；ミカモゴールドン。

麦粗タンパク質含有率が高い品種・系統は原麦β-グルカン含有率も高くなる傾向が強いと考えられる。

醸造用オオムギの高品質化を図るためには、原麦及び麦芽中のβ-グルカン含有率が低いオオムギを育成することが重要である。そのためには、β-グルカン自体を低めること、あるいはβ-グルカン分解酵素の一つであるβ-グルカナーゼ活性を高めることが必要である。また、β-グルカナーゼ活性の向上は、麦汁中のβ-グルカン含有率の低下や他の酵素活性の向上につながる可能性がある。本研究において、原麦及び麦芽β-グルカン含有率、β-グルカナーゼ活性における品種×環境の交互作用は小さいことが示され、従来の知見と一致した^{1,4,14)}。したがって、これらの形質の特性を検定する場合、環境によって生じる誤差は小さく、遺伝的差異は比較的容易に検出できるものと考えられた。麦芽β-グルカン含有率及びβ-グルカナーゼ活性の場合、製麦の操作が入るため、製麦による誤差も考慮しなくてはならない。β-グルカナーゼ活性では品種×製麦ラウンドの交互作用は小さかったが、麦芽β-グルカン含有率ではこの交互作用が有意であった。しかしながら、分散比は主要因に比べ小さく、品種順位の逆転も見られなかったことから、製麦ラウンドが異なった場合でも、遺伝的差異の検出はさほど困難ではないと考えられた。

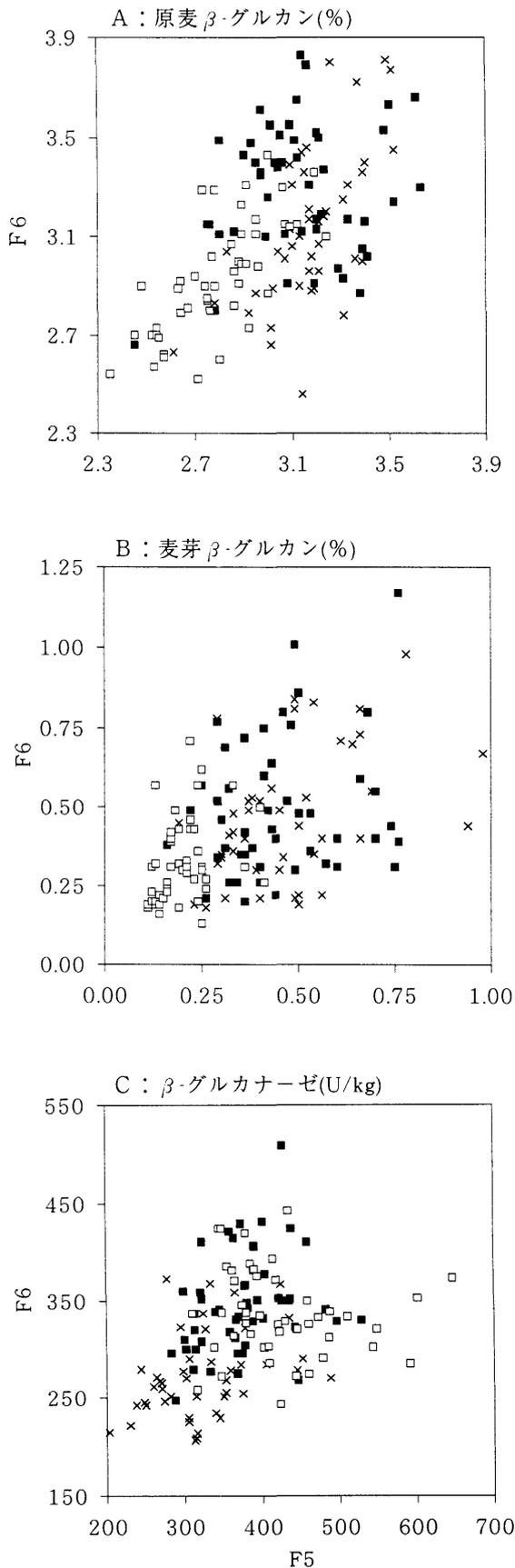
F₅あるいはF₆世代における、原麦及び麦芽β-グルカン含有率とβ-グルカナーゼ活性の選抜試験の結果、組合せ毎よりも3組合せ全体の方が選抜効果は大きかった。第7図に各形質におけるF₅とF₆の世代間関係を示した。原麦及び麦芽β-グルカン含有率は、組合せAが組合せB・Cより低く、また、β-グルカナーゼ活性は、組合せA・Bが組合せCより高い傾向にあり、この相対的關係はF₅

第15表 原麦β-グルカン含有率と千粒重及び原麦粗タンパク質との間の相関係数

世代	組合せ	千粒重	原麦粗タンパク質
F5	A	-0.05	0.48**
	B	-0.26	0.75**
	C	-0.09	0.05
F6	A	-0.40**	0.36*
	B	0.04	0.56**
	C	0.37*	0.16

注1. **, *; 1%, 5%水準で有意。

注2. A ; 関東二条25号×ヤチゴールデン(n=47)
B ; ヤチゴールデン×羽系87・35(n=49)
C ; Clipper×ヤチゴールデン(n=44)。



第7図 原麦及び麦芽 β -グルカン含有率, β -グルカナーゼ活性の世代間相関
 □; 組合せA, ■; 組合せB, ×; 組合せC.

とF₆ではほぼ同等であった。この傾向は、実際の育種において良い結果をもたらすであろう。なぜなら、同じ育種目標の組合せはそれらを混合して選抜を加えることが多いからである。 β -グルカン含有率及び β -グルカナーゼ活性と他の麦芽品質との相関関係は、原麦及び麦芽 β -グルカン含有率は低い方が、 β -グルカナーゼ活性は高い方が高品質になる傾向があり、原麦及び麦芽 β -グルカン含有率、 β -グルカナーゼ活性によって選抜された系統後代は、麦芽品質の向上が認められた。これらのことは、醸造用オオムギの品質育種にとって好都合である。ただし、F₁で原麦 β -グルカン含有率の低い系統を選抜した場合の次世代では、麦芽エキス及び総合評点の向上は見られず、コールパツハ数の向上もF₅で選抜した場合に比べ小さかった。これらのことから、F₁では麦芽エキス及びコールパツハ数の固定が十分でないことが示唆された。

加藤らは、原麦及び麦芽 β -グルカン含有率、 β -グルカナーゼ活性の遺伝変異と麦芽品質との関係を調査し、原麦 β -グルカン含有率及び β -グルカナーゼ活性を遺伝的に改良することで、麦芽 β -グルカン含有率を現状よりもさらに低減化できる可能性を示した⁶⁾。本研究において、原麦 β -グルカン含有率及び β -グルカナーゼ活性によって選抜した系統の後代は麦芽 β -グルカン含有率が有意に低くなったことから、原麦 β -グルカン含有率が低い品種・系統と β -グルカナーゼ活性が高い品種・系統の有効利用が重要であると考えられた。

V 摘要

醸造用オオムギの高品質化を図るため、原麦及び麦芽 β -グルカン含有率と β -グルカナーゼの環境変動ならびに選抜効率を検討した。結果の概要は以下の通りである。

1. 原麦 β -グルカン含有率は、原麦粗タンパク質含有率及び千粒重との間に正の相関があり、晩播及び多肥栽培による原麦粗タンパク質含有率及び千粒重が増加する環境条件下で高まった。しかし、子実重及び整粒重との間には相関がなかった。また、高タンパク質オオムギは、低タンパク質のものに比べ、製麦後期でも多くの β -グルカンが残存していた。したがって、 β -グルカン含有率を抑制するためには、原麦粗タンパク質含有率を適正範囲内に抑えることが重要である。

2. 原麦及び麦芽 β -グルカン含有率と β -グルカナーゼ活性における品種×環境の交互作用は小さく、環境が異なっても品種間の順位が逆転することはなかった。したがって、これらの形質の遺伝的な差を評価することは比較的容易であると考えられる。

3. 雑種F₄~F₅世代において原麦及び麦芽 β -グルカ

ン含有率または β -グルカナーゼ活性に関する選抜を行うと、3組合せ中2組合せ及び3組合せ全体の場合において、次世代におけるそれらの形質が有意に向上した。

4. 雑種 F_1 ~ F_3 世代において原麦及び麦芽 β -グルカン含有率または β -グルカナーゼ活性によって選抜された系統の後代は、3組合せ全体で選抜・評価した場合に、麦芽品質の向上が認められた。

5. 以上のことから、初期世代における β -グルカン含有率または β -グルカナーゼ活性に関する選抜は、高品質醸造用オオムギを育成するために有効であることがわかった。

引用文献

1. Aman, P. (1986) A note on the content of mixed-linked β -glucans in swedish barley. Swedish J. Agric. Res. 16 : 73-75.
2. Bamforth, C. W. (1982) Barley β -glucans. Their role in malting and brewing. Brewers Digest (6) : 22-27.
3. Bendelow, V. M. (1975) Determination of non-starchy polysaccharides in barley breeding programmes. J. Inst. Brew. 81 : 127-130.
4. Bourne, D. T. and Wheeler, R. E. (1984) Environmental and varietal differences in total β -glucan contents of barley and the effectiveness of its breakdown under different malting conditions. J. Inst. Brew. 90 : 306-310.
5. European Brewery Convention (1994) Advances in malting barley. 1993 : 11.
6. 加藤常夫・佐々木昭博・武田元吉 (1995) オオムギにおける β -グルカン含有率および β -グルカナーゼ活性の遺伝変異と麦芽品質との関係. 育雑 45 (4) : 471-477.
7. McCleary, B. V. and Glennie-Holmes, M. (1985) Enzymic quantification of (1-3) (1-4) - β -D-glucan in barley and malt. J. Inst. Brew. 91 : 285-295.
8. McCleary, B. V. and Codd, R. (1991) Measurement of (1-3) (1-4) - β -D-glucan in barley and oats : A streamlined enzymic procedure. J. Sci. Food Agri. 55 : 303-312.
9. McCleary, B. V. and Shameer, I. (1987) Assay of malt β -glucanase using azo-barley glucan : An improved precipitant. J. Inst. Brew. 93 : 87-90.
10. Powell, W., Caligari, P. D. S., Swanston, J. S. and Jink, J. L. (1985) Genetical investigations into β -glucan content in barley. Theor. Appl. Genet. 71 : 461-466.
11. 佐々木昭博 (1990) 作物育種と食品加工 [4] ビールオオムギ 農及園 65 (4) : 537-542.
12. 佐々木昭博・桐生光広・加藤常夫・神永明 (1992) データベース利用による二条オオムギの麦芽品質変動の解析. 栃木農試研報 39 : 75-86.
13. 早乙女和彦・星川清親・伊藤浩・宮川三郎 (1991) 醸造用二条オオムギの硬質粒に関する研究 栃木農試研報 38 : 37-58.
14. Stuart, I. M., Loi, L. and Fincher, G. B. (1988) Varietal and environmental variations in (1-3,1-4) - β -glucan levels and (1-3,1-4) - β -glucanase potential in barley : Relationships to malting quality. J. Cereal Sci. 7 : 61-71.
15. 栃木県農業試験場栃木分場ビール麦品質改善指定試験地 (1989) 品種改良のためのビール麦品質検定法 (2) : 1-100.
16. 山下 博・広野辰彦 (1985) β -グルカナーゼの作用により生成するビール中の沈殿について. 日本食品工業学会誌 32 (10) : 746-753.
17. 吉田久・田谷省三・他23名 (1988) 二条大麦新品種「ミカモゴールデン」の育成. 栃木農試研報 35 : 31-50.

Environmental Variation and Selection Efficiency of Beta-glucan and Beta-glucanase in Barley

Tsuneo KATO*, Naoyuki ISHIKAWA, Masaru OHTSUKA and Michiko TOKUE

Summary

High content of (1-3,1-4)-beta-D-glucan ("beta-glucan"), the main component of barley endosperm cell wall, adversely affects some processes and quality parameters in malting and brewing industries. This polysaccharide is depolymerized by (1-3,1-4)-beta-D-glucanase (EC 3.2.1.73) ("beta-glucanase") synthesized during malting processes. In this report we studied environmental variation and selection efficiency of grain and malt beta-glucan contents and beta-glucanase activity to improve the quality of malting barley. The results are as follows.

1. Grain beta-glucan content was high when barley was sown late or highly fertilized, and positively correlated with grain protein content. After four days germination, beta-glucan remained more in high protein grains than in low protein ones of the same variety. Although grain beta-glucan content was positively correlated with thousand grain weight, there was no significant correlation between grain beta-glucan content and grain yield. Therefore, low level of grain protein content leads to low beta-glucan content.

2. Grain/malt beta-glucan contents and beta-glucanase activity were influenced by environmental factors such as year, sowing time and amount of fertilizer applied. Interaction between genotypes and environment was not significant, and the order of varieties concerning these traits was stable. So it was easy to evaluate genotypic potential of them.

3. Selection of grain/malt beta-glucan contents and/or beta-glucanase activity in F₁ or F₅ generation were effective for the improvement of these traits in the next generation in two out of three crosses investigated.

4. Progeny lines selected by grain/malt beta-glucan contents and/or beta-glucanase activity in F₁ or F₅ generation had significantly high malting quality compared to the eliminated progeny lines when three crosses were combined.

5. We concluded that the selection of beta-glucan content and/or beta-glucanase activity in early generation is effective for breeding high quality malting barley.

* Present address: National Agriculture Research Center, Tsukuba, Ibaraki 305