

極低ポリフェノールビール大麦育成系統の品質および農業特性

長嶺敬・山口恵美子¹⁾・大関美香・関和孝博²⁾・渡邊修孝³⁾・渡辺浩久・大野かおり
・糸川伸晃⁴⁾・望月哲也⁵⁾・河田尚之⁶⁾・加藤常夫

摘要：ビールの濁りや食用麦の加熱後褐変等の原因物質であるポリフェノール類の低減は大麦の重要な品質育種目標であり、極低ポリフェノール品種の育成が求められている。筆者らは、極低ポリフェノール性をもたらすプロアントシアニンフリー遺伝子 *ant13*, *ant17*あるいは *ant28*を導入した極低ポリフェノール系統を育成し、その品質及び農業特性について検討した。いずれの系統も *ant* 遺伝子源となった原系統に比べて品質、農業特性とも改良されており、とくに *ant28* を有する大系 HL107, HL112 は麦芽品質、農業特性ともミカモゴールドに準ずるレベルに達しており、同じく *ant28* を有する大系 HL106, 109 は精麦特性が優れ、加熱後褐変も抑制できる系統であった。ただし、極低ポリフェノール育成系統はいずれも耐穂発芽性が劣るため、軽度の穂麦芽による麦芽品質あるいは種子としての発芽特性に対する悪影響の危険があることが推察され、今後の極低ポリフェノール大麦の育種では耐穂発芽性の強化が重要であると考えられた。

キ - ワ - ド：ポリフェノール, ビール大麦, プロアントシアニンフリー, ビール醸造品質, 育種

Quality and Agronomic Characteristics of Promised Malting Barley Lines with Proanthocyanidin-free Allele

Takashi NAGAMINE, Emiko YAMAGUCHI, Mika OZEKI, Takahiro SEKIWA, Nobutaka WATANABE,
Hirohisa WATANABE, Kaori OHNO, Nobuteru KUMEKAWA, Tetsuya MOCHIZUKI,
Naoyuki KAWADA and Tsuneo Kato

Summary: The purpose of this breeding was to obtain barley lines with extremely low polyphenol content which have great advantages in prevention of the haze formation during beer brewing and the browning of polished barley after boiling. All the breeding lines possessing proanthocyanidine-free allele *ant13*, *ant17* or *ant28* had more excellent qualities and agronomic properties than their proanthocyanidine-free parents. Among these three *ant* alleles, the lines possessing *ant28* showed the most excellent performances both in the malt quality and agronomic properties; Daikei HL107 and Daikei HL112 with *ant28* had higher yield than Mikamo Golden with the similar characteristics in the malting quality. However, all the proanthocyanidine-free breeding lines showed poor tolerance to the pre-harvest sprouting. In the further breeding of the proanthocyanidine-free barley, the improvement of the tolerance to the pre-harvest sprouting is the most important problem.

Key words: polyphenol, malting barley, proanthocyanidin-free, malting quality, breeding

1) 現 栃木県下都賀農業振興事務所, 2) 現 栃木県農業環境指導センター, 3) 現 栃木県安足農業振興事務所, 4) 現 農務部生産振興課,

5) 永倉精麦株式会社品質管理課, 6) 九州沖縄農業研究センター

(2006.7.25 受理)

緒 言

ビール大麦は実需者から麦芽品質の向上が強く求められており⁴⁾、大麦作の維持発展のためにも従来品種にない高品質品種の育成が必要である。

極低ポリフェノール品種の開発は、近年のビール大麦育種における重要な目標である。その理由として、ビール大麦種子のプロアントシアニンなどのポリフェノールはビール醸造の貯酒工程においてタンパク質と重合し、濾過に悪影響を及ぼす混濁物を生成するためである。また、プロアントシアニンは食用大麦でも炊飯時褐変の原因物質であると考えられている。これまでにデンマークのカールスバーグ研究所などでプロアントシアニン合成が著しく低下したプロアントシアニンフリー突然変異系統が獲得されており、その原因遺伝子として、*ant13*、*ant17*、*ant28*など多種の遺伝子が報告されている^{1,2,6)}。

当研究室における高品質化育種においても、プロアントシアニンフリー形質を導入した系統の開発及びその評価に取り組んできた³⁾。*ant*遺伝子源として導入した原系統の農業・醸造品質は全く実用性のないものであったが、大幅に特性を改良した極低ポリフェノール系統が育成でき、その評価を行ったので、本稿において紹介する。

特に、育成した極低ポリフェノール性系統については農林水産省研究高度化事業による共同研究「極低ポリフェノール大麦を利用した機能性食材の新規用途開発」において精麦特性や加熱後褐変特性など食用麦としての評価も行ったのであわせて結果を報告する。

試験方法

1. 材料及び方法

1) 供試系統及び栽培条件

試験には高品質中間母本育種で育成した極低ポリフェノール系統を用いた(第1表)。2002年播、2003年播の麦芽品質分析材料の栽培は、ともに麦作後、夏期湛水を行った圃場を用い、畦間65cm、条間10cm、株間5cmの二条千鳥点播とし10月末に播種した。基肥には10a当たりビール麦BB2号(組成:N:P₂O₅:K₂O=8:18:16、窒素成分のうち20%は緩効性成分)を15kg、PK化成40号(N:P₂O₅:K₂O=0.20:20)を46.7kgと1300kgの堆肥を施用した。すなわち化成肥料の施用成分量としては N:P₂O₅:K₂O=1.2:12.0:11.7kg/10aとした。

2004年播で実施した生育特性・収量性評価試験は当研究室の育種事業における生産力検定試験と同様に行い、収穫物は麦芽品質及び精麦品質の分析に供した。前作は水稻で、畦間65cm、条間5cm、株間5cmの三条千鳥点播とし(1区3.12m²)、11月10日に播種した。10a当たりの基肥量は堆肥2000kg/10a、ビール麦エース(N:P₂O₅:K₂O=14:18:14)を67.9kg、PK化成40号を10kg、すなわち化成肥料はN:P₂O₅:K₂O=9.5:14.2:11.5 kg/10aを施用した。

2004年播では特性検定試験(オオムギ縞萎縮病抵抗性、うどんこ病抵抗性、赤かび病抵抗性、湿害耐性、側面裂皮耐性、播性)を育種事業における常法により実施した。

なお、各年の生育概況は、2002年播及び2004年播は登熟期が好天に恵まれ、子実重、整粒歩合とも高い多収年であったが、2003年播は登熟期が高温多雨条件となったため、整粒歩合が低くなった年であった。

2) 製麦及び麦芽品質の分析

製麦および麦芽品質分析は、European Brewery Convention (EBC)法に準じた「品種改良のためのビール麦品質検定法 第3版」⁵⁾により行った。2002年及び2003年播サンプルの製麦は整粒50gを用いて自動小型製麦機

第1表 極低ポリフェノール育成系統の交配組合せ

系統名	ani遺伝子型	世代(2004年播)	交配組合せ
大系HO4	<i>ant13</i>	F ₉	関東二条32号(=後のスカイゴールド)/大系HJ18(=栃系216/ <i>ant13</i> -152(Triumph))
大系HO7	<i>ant13</i>	F ₉	関東二条32号/大系HJ20(=栃系216/ <i>ant13</i> -152(Triumph))
大系HL99	<i>ant13</i>	F ₁₂	栃系253(=後のスカイゴールド)//<栃系216/ <i>ant13</i> -152(Triumph)>F1
大系HL97	<i>ant17</i>	F ₁₂	栃系253//<栃系216/Galant(<i>ant17</i> -148(Triumph))>F1
大系HL106	<i>ant28</i>	F ₁₂	栃系253//<栃系216/ <i>ant28</i> -494(Catrin)>F1
大系HL107	<i>ant28</i>	F ₁₂	栃系253//<栃系216/ <i>ant28</i> -494(Catrin)>F1
大系HL109	<i>ant28</i>	F ₁₂	栃系253//<栃系216/ <i>ant28</i> -494(Catrin)>F1
大系HL112	<i>ant28</i>	F ₁₂	栃系253//<栃系216/ <i>ant28</i> -494(Catrin)>F1

(フェニックス・バイオシステムズ社 Automatic micromalting machine)によって行った。また、2004年播サンプルは整粒250gを用いて育種用小型製麦機(タイテック社)により製麦した。

3) 精麦及び加熱後褐変特性の評価

極低ポリフェノール系統の精麦及び加熱後褐変特性は農林水産研究高度化事業共同研究機関である永倉精麦において、同社が常用している分析法で評価した。

(1) 精麦加工適性の評価

丸麦搗精試験・切麦搗精試験に分け、各々の項目について評価しそれを基にランク付けを行なった。丸麦搗精、切麦搗精とも粒径2.5mm以上の整粒180gを用い、佐竹式グレイテストミル(砥石粒度#36・回転数1150rpm・硬度P)により歩留55%となるように搗精した。ただし、切麦搗精は歩留80%まで予備搗精を行った時点で切断処理を行ったのちに歩留55%まで搗精した。搗精麦の白度はケット式粒体用光電白度計C-300を使用し測定した。外観品位は色相、黒条線の幅、搗精ムラ、軟硬質のバラツキに基づいて評価した。

(2) 加熱後褐変特性の評価

3合炊き家庭用電気炊飯器を使用し丸麦搗精55%歩留品を200g試料とし、炊上がり直後、12、24時間後に測色した。測色は炊飯麦15~18gを15mmシャーレにいれてミノルタ分光測色計CM-3500dにて行った。

4) 穂発芽性検定

成熟期に1品種・系統当たり10穂をサンプリングし、24時間の水浸後、17日(2003年播)あるいは18日(2004年播)の発芽処理を行った。穂別発芽率を目視判定し、10穂の平均発芽率を穂発芽指標品種の発芽率と比較して「極難」~「極易」の7段階に分類した。

結果及び考察

1. 極低ポリフェノール系統の麦芽品質

極低ポリフェノール系統及び比較品種の麦芽品質を第2表に示した。*ant*遺伝子源の*ant*13-152, Galant(*ant*17-148), *ant*28-494の3系統に比べて、育成系統はいずれも整粒歩合が著しく高くなり、麦芽粗蛋白質含量は低くな

る傾向が見られた。

*ant*13を有する育成3系統はいずれも*ant*13-152に比べて、麦芽エキスが2~3%高くなり、ミカモゴールドンなどの普及品種並の値であった。コールパツハ数は原系統が低すぎたのに対し、適正值(40~45)よりも高くなりすぎる傾向が顕著であった。ジアスターゼ力については、原系統と大差なく普及品種に比較し、かなり低かった。

*ant*17を有する大系HL97はGalant(*ant*17-148)と比較して整粒歩合こそ大幅に改良されたものの麦芽品質については大差なく、麦芽エキス、ジアスターゼ力、麦汁-グルカン、麦汁粘度などの形質が普及品種に比べて劣っていた。

*ant*28の育成系統は麦芽品質のバランスが比較的優れていた。育成した4系統はいずれも、普及品種に比べると麦汁-グルカンがやや高く、ジアスターゼ力がやや低めではあったが、麦芽エキスはミカモゴールドン並のものが多かった。総合評点の高い大系HL109, 106が有望であると考えられた。

なお、2004年播の材料だけで評価した最終発酵度については*ant*13, *ant*17の育成系統は普及品種であるミカモゴールドンなどに比べて大系HO4で2.4%、その他の系統では4%以上低く、発酵性に難点があることが明らかとなった。一方、*ant*28育成系統はいずれも普及品種並の最終発酵度を有していた。

以上の結果から、極低ポリフェノール育成系統の麦芽品質は*ant*遺伝子源の原系統に比べて大幅に改良が進んでいるものが多く、特に*ant*28育成系統については通常の普及品種に近い麦芽品質を有すること、並びに発酵性に問題が無いことから有望であると考えられた。

2. 極低ポリフェノール系統の精麦及び加熱後褐変特性

極低ポリフェノール系統及び比較品種であるミカモゴールドン、ニシノホシの精麦特性の試験結果を第3表に示した。全体的な傾向として、搗精粒の白度、搗精時間、黒条線比率は優れるが、碎麦が多い系統が多かった。碎麦率は特に切麦搗精で高くなった。

供試系統のなかでは*ant*13を有する大系HL99が特に白度が高く、碎麦が少なく、外観品位も高かった。また、*ant*28を有する大系HL106, 大系HL109も碎麦が比較的少なく、外観品位も優れていた(第3表)。

第2表 極低ポリフェノール系統の麦芽品質

ant	品種系統名	年度(播)	整粒歩合 %	麦芽Iキス dm%	麦芽粗蛋白 dm%	可溶性窒素 dm%	コールハッパ数%	ジアスタゼ力 WK/TN	最終発酵度 %	総合評点	麦汁ゲルカク mg/l	麦汁粘度 mPa・s
ant13	ant13-152 (比較)	2002	90.4	79.7	12.4	0.73	36.5	102	-	27.0	109	1.83
ant13	ant13-152 (比較)	2003	9.3	78.3	10.9	0.69	39.2	125	-	40.3	131	1.73
ant13	大系HO4	2002	99.1	83.4	10.8	0.90	52.0	128	-	43.7	72	1.66
ant13	大系HO4	2003	74.1	83.5	9.4	0.83	55.3	87	-	29.9	52	1.78
ant13	大系HO4	2004	98.9	82.0	11.9	1.11	58.0	178	80.3	4.1	50	1.51
ant13	大系HO7	2002	98.3	84.2	10.6	0.94	55.4	109	-	30.1	66	1.68
ant13	大系HO7	2003	60.9	80.3	9.8	0.69	44.0	115	-	50.6	122	1.75
ant13	大系HO7	2004	98.3	83.2	11.9	1.04	54.7	186	78.5	23.8	31	1.48
ant13	大系HL99	2002	97.5	81.6	11.1	0.87	48.9	121	-	43.3	145	2.00
ant13	大系HL99	2003	78.6	82.1	10.4	0.80	47.9	73	-	47.1	75	2.12
ant13	大系HL99	2004	96.9	81.1	12.1	1.09	55.9	126	76.9	-7.5	89	1.67
ant17	Galant(ant17-148) (比較)	2002	88.6	80.0	11.3	0.77	42.5	58	-	38.6	129	2.14
ant17	Galant(ant17-148) (比較)	2003	45.3	81.3	10.1	0.70	43.7	192	-	73.6	69	1.61
ant17	大系HL97	2002	96.8	80.0	10.7	0.73	42.3	109	-	50.3	140	2.17
ant17	大系HL97	2003	74.3	79.2	9.5	0.67	44.3	66	-	30.9	170	2.08
ant17	大系HL97	2004	97.4	77.1	11.6	0.84	45.5	121	78.8	24.4	89	1.76
ant28	ant28-494	2002	79.3	78.2	12.2	0.67	34.1	104	-	10.6	104	1.73
ant28	ant28-494	2003	41.6	80.6	9.2	0.65	44.2	176	-	56.3	60	1.54
ant28	大系HL106	2002	94.9	83.0	9.8	0.77	48.8	165	-	66.0	141	1.87
ant28	大系HL106	2003	74.5	82.4	9.6	0.76	49.3	118	-	50.4	101	1.88
ant28	大系HL106	2004	97.9	83.8	10.3	0.83	50.3	204	83.7	70.3	38	1.50
ant28	大系HL107	2002	93.7	83.1	9.5	0.74	48.9	135	-	58.4	163	1.87
ant28	大系HL107	2003	74.1	81.6	9.1	0.72	49.7	92	-	36.1	137	1.89
ant28	大系HL107	2004	98.3	81.0	10.2	0.82	50.3	174	84.6	53.3	65	1.53
ant28	大系HL109	2002	95.8	81.7	9.8	0.69	43.5	170	-	69.4	186	1.99
ant28	大系HL109	2003	75.6	80.5	10.5	0.72	42.9	142	-	59.4	146	1.78
ant28	大系HL109	2004	98.0	81.8	9.8	0.78	49.4	268	83.0	70.9	46	1.48
ant28	大系HL112	2002	96.9	82.1	9.7	0.67	43.2	149	-	64.6	179	1.79
ant28	大系HL112	2003	78.7	83.1	10.6	0.88	51.8	112	-	41.6	38	1.71
ant28	大系HL112	2004	99.0	82.9	8.8	0.68	48.3	183	82.1	58.4	47	1.49
-	ミカモールデン(比較)	2002	89.3	83.4	9.4	0.64	42.6	166	-	70.6	65	1.72
-	ミカモールデン(比較)	2003	82.1	81.1	12.9	0.81	39.2	215	-	60.3	104	1.69
-	ミカモールデン(比較)	2004	91.4	84.8	8.5	0.76	56.1	224	83.8	53.1	36	1.47
-	スカイコールデン(比較)	2002	97.7	83.2	10.1	0.75	46.5	163	-	74.6	82	1.67
-	スカイコールデン(比較)	2003	89.2	80.7	13.1	0.79	37.6	216	-	52.9	80	1.65
-	スカイコールデン(比較)	2004	93.3	85.3	8.6	0.86	62.5	198	82.7	27.5	25	1.45
-	サチホコールデン(比較)	2002	97.7	84.8	9.2	0.69	46.4	204	-	80.9	93	1.73
-	サチホコールデン(比較)	2003	87.9	82.7	11.8	0.74	39.5	241	-	84.0	95	1.70
-	サチホコールデン(比較)	2004	95.5	86.4	8.3	0.72	54.1	219	83.2	55.8	20	1.49
ant13	ant13-152	平均(02,03年)	49.8	79.0	11.7	0.71	37.9	113	-	33.7	120	1.78
ant13	大系HO4	平均(02,03年)	86.6	83.5	10.1	0.87	53.6	108	-	36.8	62	1.72
ant13	大系HO7	平均(02,03年)	79.6	82.3	10.2	0.81	49.7	112	-	40.4	94	1.72
ant13	大系HL99	平均(02,03年)	88.1	81.9	10.8	0.84	48.4	97	-	45.2	110	2.06
ant17	Galant(ant17-148)	平均(02,03年)	67.0	80.7	10.7	0.74	43.1	125	-	56.1	99	1.87
ant17	大系HL97	平均(02,03年)	85.5	79.6	10.1	0.70	43.3	87	-	40.6	155	2.12
ant28	ant28-494	平均(02,03年)	60.5	79.4	10.7	0.66	39.2	140	-	33.5	82	1.64
ant28	大系HL106	平均(02,03年)	84.7	82.7	9.7	0.76	49.1	142	-	58.2	121	1.88
ant28	大系HL107	平均(02,03年)	83.9	82.3	9.3	0.73	49.3	113	-	47.3	150	1.88
ant28	大系HL109	平均(02,03年)	85.7	81.1	10.2	0.71	43.2	156	-	64.4	166	1.88
ant28	大系HL112	平均(02,03年)	87.8	82.6	10.1	0.77	47.5	131	-	53.1	108	1.75
-	ミカモールデン	平均(02,03年)	85.7	82.2	11.1	0.72	40.9	190	-	65.5	85	1.70
-	スカイコールデン	平均(02,03年)	93.5	82.0	11.6	0.77	42.1	189	-	63.8	81	1.66
-	サチホコールデン	平均(02,03年)	92.8	83.7	10.5	0.72	43.0	222	-	82.5	94	1.72

第3表 極低ポリフェノール系統の搗精試験評価(2004年播)

ant遺 伝子 型	系統名	玄麦評価		丸麦搗精試験								切麦搗精試験				
		硝子率		白度	搗精時間	砕麦		黒条線比率		外観 品位	白度	搗精 時間	砕麦	外観 品位		
		%	評価	値	評価	(分:秒)	評価	(%)	評価	(%)	評価	値	(分:秒)	(%)	評価	
ant13	大系HO7	77.5	F	44.4	B	11:45	A	16.8	F	12.1	B	C	46.1	9:13	69.4	E
ant13	大系HL99	69.5	E	48.1	A	13:50	A	1.9	B	15.3	C	B	49.8	11:32	33.8	B
ant28	大系HL106	62.5	E	43.8	B	16:20	C	2.5	C	13.7	B	B	47.2	11:38	28.4	B
ant28	大系HL109	62.0	E	45.6	A	15:10	B	4.5	E	13.9	B	B	47.7	11:15	41.6	B
ant28	大系HL112	47.0	C	46.2	A	13:05	A	11.5	F	11.4	A	C	47.2	9:35	59.5	E
-	ミカモゴールドン	54.0	D	45.3	A	13:05	A	3.1	D	14.6	C	C	45.2	10:00	40.6	C
-	ニシノホシ	64.0	E	44.7	B	13:45	A	5.5	F	14.2	C	C	43.5	11:40	37.0	B

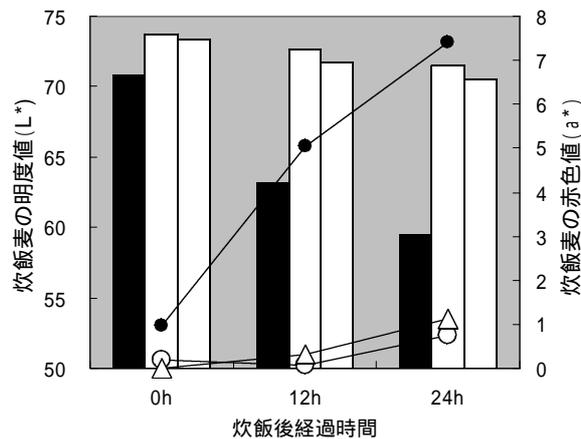
注1. 評価(白度、搗精時間、砕麦、黒条線比率): A(優)・B(良)・C(可)・D(劣)・E(不可)

注2. 評価(外観品位): A(非常に良い)・B(良)・C(可)・D(やや劣)・E(劣)・F(不可)

注3. 分析・評価は永倉精麦で実施した。

第1図に大系HL109, HL112の炊飯後色相の経時変化のデータを示した。炊飯試験では極低ポリフェノール系統は比較品種に比べて炊飯直後の明度(L*)が高く、赤色値(a*)が低く、好ましい色調であった。また、比較品種では炊飯後の時間の経過にともなって著しい褐変(明度の低下と赤色値の増加)が進行するが、極低ポリフェノール系統では褐変はほとんど進行しなかった。図示しなかった他の極低ポリフェノール系統もほぼ同様の低褐

変性を示した(データ略)。一般に、醸造用の二条大麦はシュンライなど精麦用として改良された六条大麦と比較して砕麦率が高いことが知られているが、軟質・高白度等の精麦特性が比較的優れ焼酎・食用品種として普及しているニシノホシと比較して、砕麦率が低かった大系HL99, HL106は、その優れた低褐変特性も考慮すれば、食用等の精麦用原料麦としての可能性もあろう。



第1図 炊飯麦の色相の経時変化

■ L* ミカモゴールドン □ L* 大系HL109
 □ L* 大系HL112 ● a* ミカモゴールドン
 ○ a* 大系HL109 △ a* 大系HL112

注. 分析は永倉精麦にて実施した

3. 極低ポリフェノール系統の農業特性

極低ポリフェノール育成系統の栽培特性には発芽不良が目立った(第4表)。他場所でも極低ポリフェノール系統については発芽不良が目立つ例がある(近中四農研・柳澤氏, サッポロビールBR研・荒井氏 私信)。収量性は*ant28*を持つ3系統(大系HL107, HL109, HL112)は比較的多収, *ant13*の2系統(大系H04, HL99)はかなり低収であった。不良形質としては*ant13*の大系H04の不稔, *ant28*の大系HL109の側面裂皮が目立った。

極低ポリフェノール育成系統は全てオオムギ縞萎縮病

に対して抵抗性であったが, うどんこ病に対しては大系H04, H07のみ抵抗性であった。耐湿性は大系HL99, HL112がやや弱いが, それ以外の系統はミカモゴールドン並であった。播性は全て であった(第5表)。

農業形質は*ant*遺伝子を導入した育成系統はいずれも大幅に改良されていたが, 栽培性について総合的に判断すると大系HL107が特に優れており, ミカモゴールドンに近い特性をもつ, 次いで大系HL112も耐湿性, 側面裂皮にやや難点が見られるが相対的に優れる有望系統であった。

第4表 極低ポリフェノール系統の生産力検定試験成績 (2004年播)

ant 遺伝子 型	系統名・品種 名	発芽 良否	成熟 期	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	1穂 粒数	倒伏 多少	縞萎 縮病	不稔	側面 裂皮	子実 重	容積 重	千粒 重	整粒 歩合	整粒 重	対標 準比
<i>ant13</i>	大系H04	4.5	6.10	76	7.2	394	29.4	0.0	0.0	2.5	0.0	31.6	751	49.3	98.9	31.2	70
<i>ant13</i>	大系H07	3.0	6.08	87	6.7	482	28.0	0.0	0.0	0.6	0.0	40.7	756	49.1	98.3	40.0	90
<i>ant13</i>	大系HL99	4.5	6.10	87	6.8	458	27.9	0.0	0.0	0.6	0.0	33.1	742	47.5	96.9	32.1	72
<i>ant17</i>	大系HL97	4.0	6.09	92	6.9	505	26.3	0.0	0.0	0.1	0.0	43.2	740	47.3	97.4	42.1	95
<i>ant28</i>	大系HL106	2.8	6.06	83	6.2	478	27.8	0.0	0.0	0.1	1.8	40.4	745	45.5	97.9	39.5	89
<i>ant28</i>	大系HL107	3.3	6.08	89	7.2	553	30.3	0.3	0.0	0.1	0.4	52.0	764	49.1	98.3	51.1	115
<i>ant28</i>	大系HL109	1.0	6.07	94	6.1	565	26.0	0.0	0.0	0.0	4.0	52.7	771	48.7	98.0	51.6	116
<i>ant28</i>	大系HL112	1.3	6.06	90	6.7	462	28.5	0.0	0.0	0.1	2.5	47.6	766	48.5	99.0	47.1	106
-	ミカモールドン	1.0	6.06	91	5.7	595	24.1	0.0	0.0	0.2	0.2	46.5	754	43.0	95.8	44.5	100
-	スカイールドン	1.0	6.06	92	6.6	601	27.2	0.0	0.0	0.2	0.3	54.6	755	47.0	98.3	53.6	120
-	サチホールドン	1.0	6.05	89	7.0	518	27.8	0.0	0.0	0.1	0.5	52.3	769	48.8	97.4	50.9	114

注1. 発芽良否 1:良(80%以上) 5:不良(60%以下)

注2. 倒伏および縞萎縮病 0:無 1:微 2:少 3:中 4:多 5:甚

注3. 不稔および側面裂皮 0:無 1:微(0.5~1%) 2:少(1~2%) 3:中(2~5%) 4:多(5~10%) 5:甚(10%以上)

第5表 極低ポリフェノール系統の特性検定試験成績 (2004年播)

ant 遺伝子 型	系統名	耐縞萎縮病		耐う どん こ病	耐赤 かび 病	耐湿性		播性
		型	型			稈長比	達観	
<i>ant13</i>	大系H04	RR	RR	0	中	68	5	
<i>ant13</i>	大系H07	RR	RR	0	やや強	63	5	
<i>ant13</i>	大系HL99	RR	RR	2.8	-	57	6	
<i>ant17</i>	大系HL97	RR	RR	3	-	67	4	
<i>ant28</i>	大系HL106	RR	RR	3.5	-	66	4.5	
<i>ant28</i>	大系HL107	RR	RR	3.3	-	78	4	
<i>ant28</i>	大系HL109	RR	RR	3.8	-	73	4	
<i>ant28</i>	大系HL112	RR	RR	3.8	-	52	6	
-	あまぎ二条	SS	S	2.5	やや強	-	-	
-	ミカモールドン	RR	S	3	強	67	3.8	
-	スカイールドン	RR	RR	0	強	70	3.3	

<判定基準>

大麦縞萎縮病 型 発病程度をニューゴールドンとの比較から数値化し, RR~SSの7段階で判定.
 大麦縞萎縮病 型 発病程度をミカモールドンとの比較から数値化し, RR~SSの7段階で判定.
 うどんこ病 3月上旬播種. 病斑程度から0(無)~5(甚)の6段階で判定.
 赤かび病 圃場検定. 罹病程度を0~10で評価し, 弱~強の5段階で判定.
 湿害 湛水区と無処理区を設定. 稈長比は無処理区に対する比率.
 達観は0(無)~6(極甚)の7段階.
 播性 標準品種との比較から ~ で判定.

4. 極低ポリフェノール系統の穂発芽耐性

極低ポリフェノール育成系統の耐穂発芽性は2004年、2005年とも「やや易」～「極易」で、ほとんどは「易」以下であり、耐穂発芽性に問題があることがわかった（第6表）。ただし、*ant*遺伝子源の親系統の耐穂発芽性は「中」～「極難」であり、プロアントシアニジンフリー系統であっても、耐穂発芽性は改良可能であることが示唆された。ビール麦育種においては、穂発芽抑制に最も有効である休眠性を小さくする方向に長年の選抜が続けられてきた経緯がある。プロアントシアニジンフリー系統には従前の品種が持つ強い休眠性を付与することが耐穂発芽性の改善のためには必要と考えられる。

さきのプロアントシアニジンフリー系統の発芽不良の問題も耐穂発芽性と関連している可能性がある。すなわち、採種時の状況により、明確な穂発芽症状を示してい

ない場合でも、いわゆる「芽がうごいた」状態の麦では発芽率が大幅に低下することは広く知られている。

なお、小麦でも種皮のポリフェノール系色素の組成・含量が赤粒種と大幅に異なり、重合体ポリフェノールの少ない白粒種では耐穂発芽性が著しく劣ることが知られており、極低ポリフェノール大麦と白粒種小麦には類似した機構があると推察される。

また、穂発芽は麦芽品質にも影響を与えることがわかっている。これまでの当研究室での分析事例では原麦-アマラーゼ活性が0.2U程度の「軽度の穂発芽」麦であっても、製麦時発芽率、ジアスターゼ力は低下し、麦汁-グルカン、麦汁粘度、麦汁色度が高く、濾過時間が極端に長い、など麦芽品質への悪影響が見られている。このことから、耐穂発芽性の改良は麦芽品質の高位安定化のためにも重要な課題であると考えられる。

第6表 極低ポリフェノール系統の耐穂発芽性

ant遺伝子型	系統名	04年播(05年産)		03年播(04年産)	
		穂発芽率	判定	穂発芽率	判定
<i>ant13</i>	大系HO4	100	極易	-	-
<i>ant13</i>	大系HO7	100	極易	100	極易
<i>ant13</i>	大系HL99	100	極易	-	-
<i>ant13</i>	大系HJ12	27	やや易	48	易
<i>ant17</i>	大系HL97	39	易	-	-
<i>ant28</i>	大系HL106	100	極易	-	-
<i>ant28</i>	大系HL107	100	極易	-	-
<i>ant28</i>	大系HL109	55	易	74	易
<i>ant28</i>	大系HL112	100	極易	59	易
<i>ant13</i>	<i>ant13</i> -152	0	極難	-	-
<i>ant17</i>	Galant(<i>ant17</i> -148)	12	中	-	-
<i>ant28</i>	<i>ant28</i> -494	0	極難	-	-
(穂発芽基準品種)					
-	スカイゴールデン(基準:難)	2	難	4	難
-	サチホゴールデン(基準:中)	10	中	22	中
-	大系HG13(基準:易)	53	易	84	極易
-	大系HE30(基準:極易)	93	極易	100	極易

総合考察

大麦のポリフェノール生合成に関わる代謝系に影響を及ぼす突然変異遺伝子が*ant*遺伝子として多数報告されているが、各遺伝子の麦芽品質特性や農業特性に対する遺伝子多面作用についての報告例はほとんどなく、実用的な極低ポリフェノール品種の開発のための情報が欠けている。また、実際に育成された極低ポリフェノール品種は*ant13*を利用したCaminantなど少数であり、ほとんど普及していない。日本国内ではサッポロビールバイオリソース研究所が育成した*ant13*を有する新田系69がビール麦合同比較試験に供試されたが、品質変動が大きいこと、収量性などの農業特性が不十分であることから実

用品種にはならなかった。

本報告では*ant13*のほか*ant17*、*ant28*を利用した極低ポリフェノール系統の特性を検討し、この3種類の遺伝子のなかでは*ant28*を有する系統が麦芽品質及び農業特性の点から有望であることがわかった。育成系統の比較によるものであり、必ずしも十分に遺伝子の多面効果を評価したものではないが、同様に極低ポリフェノール大麦の育種を実施している九州沖縄農業研究センターや作物研究所の大麦育種研究チームでも、*ant28*系統の農業特性や精麦特性が優れていることを見出ししている（河田ら、塔野岡ら 未発表）。しかし、極低ポリフェノール育成系統の問題点として、耐穂発芽性が劣ることが挙

げられる。耐穂発芽性が「極易」の品種・系統であっても実際に圃場で緑芽が見られるような穂発芽が生じる例はほとんどないが、胚乳成分の分解がわずかに開始される程度の「軽度の穂発芽」はしばしば見られる。軽度の穂発芽であっても麦芽品質あるいは種子としての発芽特性に対してはかなり大きな悪影響がある。今後の極低ポリフェノール系統の育種では種子の休眠性を付与して、耐穂発芽性を改善することが重要であろう。ビール大麦の育種では水感受性を改善するために種子の休眠性を低くする方向への選抜を長年行ってきたため、耐穂発芽性が劣る品種・系統が多くなっている。登熟期の異常気象が頻発する近年の状況を考えると、成熟期の降雨による穂発芽害を回避するためには、極低ポリフェノール系統であっても、サチホゴールデン並みの耐穂発芽性を目標とすべきであろう。

栃木分場でのビール大麦品種育種ではビール醸造用の麦芽品質についての選抜は実施してきたが、食用大麦としての搗精特性や炊飯特性についてはまったく選抜を行っていない。今回はじめて永倉精麦が、他場所育成の系統とともに栃木育成極低ポリフェノール系統の搗精特性や炊飯特性を評価した結果、栃木系統にも搗精特性が優れるものがあった。ビール大麦は原麦の細胞壁主要成分である - グルカン含量を低減する方向へ選抜が重ねられてきており、極軟質の品種・系統が多く、搗精時には破碎粒が極めて多く生じるため、食用大麦としての搗精利用は難しいと思われていた。しかし、搗精特性については無選抜であった極低ポリフェノール育成系統でも搗精特性に支障のない系統が見出されたことから、今回供試した極低ポリフェノール系統は、食用品種の育種素材としても有望であると考えられた。

今回、品質特性・農業特性を評価した極低ポリフェノール育成系統は *anti* 遺伝子源の原系統に比べて、品質特性、農業特性ともに改良され、とくに *ant28* を有する大系 HL107, HL112 は麦芽品質、農業特性ともミカモゴールデンに準ずる程度まで改良されている有望系統であったが、さらにうどんこ病抵抗性や高ジアスターゼ性を付与する必要がある。現在、これらの系統とサチホゴールデンなど最新品種との交雑後代から、さらなる改良系統を選抜中である。また、*ant18*, *ant25*, *ant26*, *ant27* など別種の *anti* 遺伝子をサチホゴールデンに戻し交雑法で導入した同質遺伝子系統も育成している。今後は、これらの新たな系統・遺伝子の評価・選抜を行うとともに、有望系統をビール大麦合同比較試験に供試し、実用化を図りたいと考えている。

謝辞

本研究の一部は農林水産省農林水産研究高度化事業及び指定試験事業により実施したものである。研究材料の養成、分析には星野洋子、大塚孝、徳原裕幸、若槻淳、田中良張の諸氏に協力いただいた。ここに記して心から感謝の意を表する。

引用文献

1. Erdal, K. (1986) Proanthocyanidin-free barley - malting and brewing. J. Inst. Brew. 92:220-224.
2. Jende-Strid, B. (1991) Gene-enzyme relations in the pathway of flavonoid biosynthesis in barley. Theor. Appl. Genet. 81:668-674.
3. 長嶺敬・関和孝博・山口恵美子・加藤常夫 (2005) ビール大麦の高品質化育種。農業及び園芸 80:546-552.
4. 谷口義則 (2002) ビール用二条大麦における品質育種の成果と今後の方向 農業技術 57:337-342.
5. 栃木分場 (1998) 品種改良のためのビール麦品質検定法 (第3版)
6. Ullrich, J.L.S., Ingversen, J., Nielsen, A.E., Cochran, J.S. and Clanay, J. (1987) Breeding and malting behavior of two different proanthocyanidin-free barley gene sources. Barley Genetics V: 767-772.