

ビール大麦の原麦ジアスターゼ力と他形質との関係

加島典子・石川直幸¹⁾・大塚勝・小玉雅晴・谷口義則・河田尚之²⁾・五月女敏規

摘要：ビール大麦の重要な麦芽品質項目の一つである麦芽ジアスターゼ力（でんぷん分解酵素力）の効率的な選抜方法を開発するため、他形質との関連を調査した。実験材料は大系 HG32/ミサトゴールドと関東二条 25 号/南系 B4641 の組み合わせから Single Seed Descent(SSD)法で作出した Recombinant Inbred Line(RIL)集団を用い、麦芽ジアスターゼ力をはじめとする麦芽品質項目と選抜指標として利用可能な農業形質を調査した。

その結果、麦芽ジアスターゼ力は原麦ジアスターゼ力と相関があり、麦芽ジアスターゼ力の選抜指標として原麦ジアスターゼ力が利用できることが明らかとなった。また、原麦ジアスターゼ力は葉鞘毛の有無、うどんこ病抵抗性と関連が認められた。葉鞘毛の有無、うどんこ病抵抗性は初期世代でも容易に識別できる形質なので、葉鞘毛の有無、うどんこ病抵抗性を指標に初期世代で原麦ジアスターゼ力を選抜できることが示唆された。

キーワード：ジアスターゼ力、ビール大麦、麦芽品質、葉鞘毛、うどんこ病抵抗性、原麦ジアスターゼ

Relationship Between Barley Grain Diastatic Power and Other Traits

Noriko KASHIMA, Naoyuki ISHIKAWA, Masaru OHTUKA, Masaharu KODAMA,
Yoshinori TANIGUCHI, Naoyuki KAWADA, Toshinori SOTOME

Summary: Investigation was made into the relationship between barley grain diastatic power (starch decomposing enzymatic power), which is one of the most important malting quality items, and other qualities (ex. agronomic characters and other malting qualities) of malting barley, with a view to developing effective selecting method of this barley grain diastatic power. As test materials, we selected RIL (Recombinant Inbred Line) group produced by SSD (Single Seed Descent) method from a combination of Daikei HG32/Misato-Golden and Kantonijo 25/Nankei B4641, and examined grain diastatic power and other malting qualities as well as agronomic characters utilizable as indicators for the selection.

As a result, it has become clear that barley grain diastatic power is interrelated with malt diastatic power and that barley grain diastatic power can be used as indicators for the selection of malt diastatic power. Moreover, it was confirmed that barley grain diastatic power is also interrelated with the presence or not of hairy leaf sheath and resistance to powdery mildew. Since the presence or not of hairy leaf sheath and resistance to powdery mildew are qualities easily recognizable even in early generations, a suggestion was given about the possibility of selecting barley grain diastatic power in early generations by using the presence or not of hairy leaf sheath and resistance to powdery mildew as indicators.

Key words: diastatic power, malting barley, malting quality, hairy leaf sheath, resistance to powdery mildew, barley grain diastatic power

I 緒言

栃木県におけるビール大麦の栽培面積は 1.1 万 ha で県内総耕地面積の約 9% を占め、農業粗生産額は 83 億円で県内農業粗生産額の約 2.8% を占めており、県農業において重要な位置付けにある。また、生産高は日本一で全国生産量の約 31% を占め、契約達成率は高く、ビール原料の安定供給に重要な役割を果たしている。

ビール大麦品種に対しては、生産者からは安定して高収量の得られる栽培適性の高いもの、ビール会社からはビール原料として醸造品質の高いものが求められている。

醸造品質にかかわる諸形質のうち、原麦のタンパク質含有率・発芽勢などは原麦段階で評価されるが、多くの特性値は、原麦の浸漬－発芽－焙燥－除根という過程（製麦）を経て製造された麦芽で評価される。ビール大麦には休眠および水が多すぎると発芽しない水感受性という特性があり、通常、製麦は休眠が浅くなりかつ水感受性の低くなった 9 月から行っている。このため、栃木県農業試験場栃木分場では、6 月に収穫した材料を 6 月から 2 月までに製麦を、10 月から 3 月までに麦芽分析を行っている。6 月に収穫したビール大麦の醸造品質データをその年の 11 月のビール大麦播種期までに得ることは時間的に難しい。また、製麦試験には約 100g の材料が必要であり、原麦量が十分に確保できない育成初期世代の材料については醸造品質の検定を行っていない。したがって、現状では、品種育成の過程で、播種前に行う系統選抜に醸造品質特性を反映させることはできず、次年度の選抜に反映させている。

醸造品質の向上を目指した育種を効率的に行うためには、播種前に品質に関するデータを得ることと初期世代から品質分析をおこなうことが必要である。そのためには、麦芽でしか評価できない項目に代わって、簡易に評価・選抜でき、初期世代にも適用できる醸造品質に関する選抜指標を見いだす必要がある。

平成 8 年から農林水産省の「新用途畑作」プロジェクトで醸造品質と諸特性の関係を試験した結果、醸造品質の一つである麦芽のジアスターゼ力（ α -アミラーゼと β -アミラーゼのデンプン分解酵素力の指標、以下ジアスターゼ力を DP と略す）に関して、製麦を行わなくても簡易に評価・選抜できる手法を見いだしたのでここに報告する。

II 材料及び方法

1. 大系 HG32/ミサトゴールデンの RIL 集団を用いた試験

大系 HG32 とミサトゴールデンを交配し、Single Seed Descent (SSD) 法により Recombinant Inbred Line (RIL) 集団約 150 系統を養成し、1997 年産 RIL 集団 (F4) 118 系統および 1998 年産 RIL 集団 (F5) 118 系統を供試材料とした。比較のため、親系統も供試した。系統の栽培・管理は栃木分場標準慣行法で行った。葉鞘毛の有無とうどんこ抵抗性は圃場での肉眼観察で判定した。

収穫した麦は 2.5mm のふるいでふるい、製麦・麦芽分析は European Brewery Convention (EBC) 法に準拠する品種改良のためのビール麦品質検定法 (3)⁵⁾ に従って行った。両年とも製麦は b-type (60 g 製麦) で行い、あらかじめ、予備試験を行って、各系統の浸麦時間を一定時間浸麦とした。1997 年の製麦は各系統の平均浸麦時間である 39 時間、1998 年の製麦は同様に 36 時間の浸麦時間とした。分析は、通常 b-type で行う項目に加え、原麦の DP、麦芽の α -アミラーゼ活性を 2 反復で行った。

2. 関東二条 25 号/南系 B4641 の RIL 集団を用いた試験

関東二条 25 号は、木石港 3 由来の縞萎縮抵抗性遺伝子を持ち、麦芽品質はごく優良であるが、稈が弱いという農業形質を持つ。南系 B4641 は木石港 3 由来の縞萎縮抵抗性を持つが麦芽品質が劣る系統である。両系統共に葉鞘毛は無く、秋播性は低い。

関東二条 25 号と南系 B4641 を交配し、SSD 法により RIL 集団約 150 系統を養成し、1997 年産 RIL 集団 (F7) 122 系統および 1998 年産 RIL 集団 (F9) 128 系統を供試材料とした。比較のため、親系統も供試した。系統の栽培・管理、圃場での調査および製麦のための調整は、前述と同様とした。

1997 年産の製麦は b-type (60 g 製麦) で行い、予備試験の結果、38 時間の浸麦時間とした。分析は、前述と同様とした。

1998 年産の製麦は A-type (250 g 製麦) で行った。浸麦時間は一定とせず、浸麦度を 41% の一定とし、必要に応じ漬け直しを行った。分析は、通常 A-type で行う項目に加え、原麦 DP、麦芽の α -アミラーゼ活性を 2 反復で行った。

III 結果

1. 大系 HG32/ミサトゴールデンの RIL 集団を用いた試験

第 1 表に大系 HG32 とミサトゴールデンの主な形質の比較を示した。大系 HG32 はミサトゴールデンと比較して、秋播性が高く、葉鞘毛があり、うどんこ病に抵抗性であり、麦芽エキスが高く優れ、麦芽 α -アミラーゼの値は高くないが麦芽 DP が高く優れていた。麦

第1表 大系HG32とミサトゴールデンの主な形質の比較

	年産	有	V	r	製	製	製	製	製	製	製	製	製	製	製	
					う	製	製	製	製	製	製	製	製	製	製	
					製	製	製	製	製	製	製	製	製	製	製	
					製	製	製	製	製	製	製	製	製	製	製	
大系HG32	1997年産	有	V	r	100	82.0	2.19	0.81	37.1	554	252	47	60	1.690	456	208
	1998年産	有	V	r	89	82.8	2.17	0.86	39.8	404	186	39	29	1.580	363	154
ミサトゴールデン	1997年産	無	I	s	100	80.0	2.07	0.82	39.6	321	155	55	126	1.815	240	116
	1998年産	無	I	s	100	80.3	2.13	0.73	34.5	374	175	51	35	1.594	213	92

注1. 親系統分析の平均

注2. 播性の程度を表す. IからVIIまであり数字が大きくなるほど出穂に必要な低温要求の程度が高くなる

注3. r:抵抗性、s:罹病性

第2表 HG32/ミサトゴールデン RIL 集団の1997年産(F4)と1998年産(F5)の相関関係

	RILs F4集団					
	1997年産	麦芽DP	麦芽 DP/TN	麦芽 α-amy	原麦DP	原麦 DP/TN
	1998年産	WK	WK/TN	DU	WK	WK/TN
F5集団	麦芽DP		0.97 **	-0.07	0.65 **	0.60 **
	麦芽DP/TN	0.92 **		-0.07	0.56 **	0.58 **
	麦芽 α-amy	0.24 *	0.33 **		-0.10	-0.11
RIL	原麦DP	0.68 **	0.50 **	-0.14		0.96 **
	原麦DP/TN	0.64 **	0.57 **	-0.13	0.95 **	

注 n=118 * :5%有意水準 > 0.19、** :1%有意水準 > 0.24

汁βグルカン、麦汁粘度は兩年とも大系HG32の方が低く優れていた。麦芽全窒素は兩年とも大系HG32の方が高かったが、可溶性窒素は1997年産と1998年産で結果が逆転していた。

第2表にRIL集団の1997年産と1998年産の各世代内形質相関を示した。1997年産の原麦DPは、麦芽DP、麦芽DP/TN、原麦DP/TNと1%水準で有意な相関があった。原麦DP/TNは、麦芽DP、麦芽DP/TNと1%水準で有意な相関があった。麦芽α-アミラーゼ活性は、有意な相関はなかった。1998年産の原麦DPは、麦芽DP、麦芽DP/TN、原麦DP/TNと1%水準で有意な相関があった。原麦DP/TNは、麦芽DP、麦芽DP/TNと1%水準で有意な相関があった。麦芽α-アミラーゼ活性は、1997年産と異なり、麦芽DP/TNと1%水準で有意な相関があった。また、麦芽DPと5%水準で有意な相関があった。

第1図にF4集団の原麦DPと麦芽DPの散布図を示した。相関0.65**で原麦DPと麦芽DPの関係は近似式、

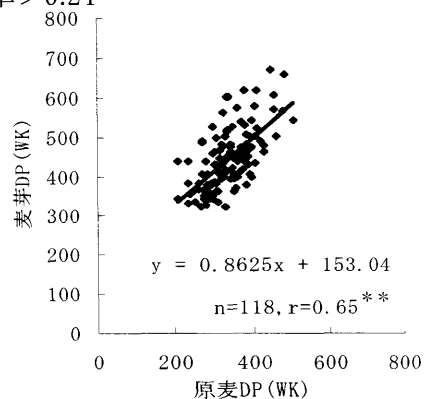
$$y = 0.8625x + 153.04$$

で示された。

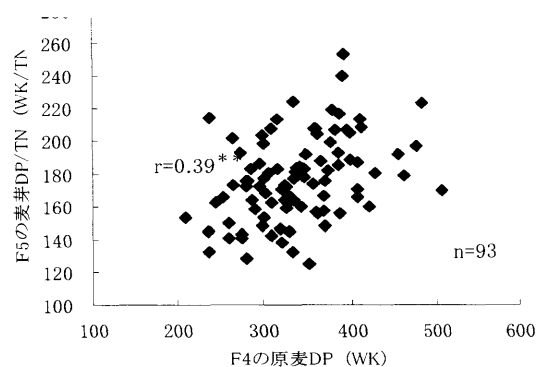
F5集団でも相関0.68**で、近似式

$$y = 0.859x + 122.77$$

で示された(図略)。



第1図 大系HG32/ミサトゴールデンのRILs F4集団における原麦DPと麦芽DPの関係



第2図 大系HG32/ミサトゴールデン RILs集団におけるF4の原麦DPとF5の麦芽DP/TNの関係

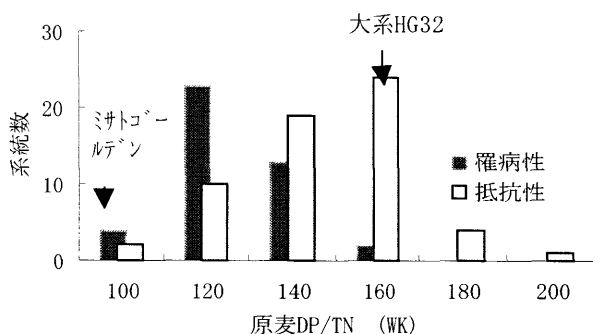
F4, F5 世代間の同形質の相関は (両年ともに製表した系統, n=93), 原麦 DP で 0.60, 原麦 DP/TN で 0.66 であり, 0.1%水準で有意であった. 麦芽 α-アミラーゼで 0.38 であり, 1%水準で有意であった. また, 麦芽 DP で 0.29, 麦芽 DP/TN で 0.32 であり, 5%水準で有意であった.

第3表 うどんこ病抵抗性、葉鞘毛と
ジアスターゼカの関係
(HG32/ミサトゴールデンのRIL 集団)

系統数	うどんこ病抵抗性			葉鞘毛		
	うどんこ病抵抗性	うどんこ病罹病性	差	葉鞘毛有	葉鞘毛無	差
系統数	42	37		33	53	
	60	42		58	52	
麦芽DP	469	424	45 **	467	432	35
(WK)	409	370	39 **	398	393	5
麦芽DP/TN	219	196	23 **	213	201	12
(WK/TN)	181	165	16 **	178	172	6
麦芽 α-amy	48	50	-2	48	51	-3 *
(DU)	44	45	-1	43	45	-2
原麦DP	360	309	51 **	365	319	46 **
(WK)	331	281	50 **	322	302	20 *
原麦DP/TN	168	143	25 **	166	148	18 **
(WK/TN)	136	116	20 **	134	124	10 **

注1. 上段1997年 F4、下段1998年 F5

注2. *: 5%有意水準, **: 1%有意水準



第3図 大系HG32/ミサトゴールデン RIL F5集団の
葉鞘毛と原麦DP/TNの関係

さらに, F4 の原麦 DP と F5 の麦芽 DP/TN の相関は 0.39 で 1%水準で有意であった (第 2 図).

うどんこ病抵抗性と葉鞘毛の有無で区別した RIL 集団間でジアスターゼ力を比較した (第 3 表). うどんこ病抵抗性でホモに固定している系統群と罹病性でホモに固定している系統群の間で, 麦芽 DP, 麦芽 DP/TN, 原麦 DP, 原麦 DP/TN は 1%水準で有意な差があったが, 麦芽 α-アミラーゼ活性は有意な差はなかった. 葉鞘毛有でホモに固定している系統群と葉鞘毛無でホモに固定している系統群の間で, 原麦 DP/TN は 2 カ年とも 1%水準で有意な差があった. 原麦 DP は, 1997 年産では 1%水準で, 1998 年産では 5%水準で有意な差があった. 麦芽 α-アミラーゼ活性は 1997 年産では, 5%水準で有意な差が見られたが, 1998 年産は有意差が見られなくなっていた. 2 カ年とも, 麦芽 DP, 麦芽 DP/TN は有意な差はなかった.

第 3 図に葉鞘毛の有無で区別した系統群の原麦 DP/TN のヒストグラムを示した. 矢印は親の原麦 DP/TN の平均を表す. 葉鞘毛有でホモに固定している系統群と葉鞘毛無でホモに固定している系統群の間では, 原麦 DP/TN の分布は重なっている部分があるが, 葉鞘毛のある系統群の方が, 明らかに原麦 DP/TN が高かった. うどんこ病抵抗性で, ホモに固定している系統群と罹病性でホモに固定している系統群の間でも同様の傾向があり, うどんこ病抵抗性系統群の方が原麦 DP/TN の方が高かった (図略).

2. 関東二条 25 号/南系 B4641 の RIL 集団を用いた試験

第 4 表に関東二条 25 号と南系 B4641 の主な形質を示した. 関東二条 25 号は南系 B4641 に比較し, うどんこ病に抵抗性で麦芽エキス, 可溶性窒素, コールパツハ数が高い. 麦芽 DP, 麦芽 DP/TN, 麦芽 α-アミラーゼ, 原麦 DP, 原麦 DP/TN が高く, 麦汁 β グルカン, 麦汁粘度は低く優れていた. 麦芽全窒素は 1997 年産では, 南系 B4641 の方が高かったが, 1998 年産は逆転していた.

第 5 表に RIL 集団の 1997 年産と 1998 年産の各形質の相関を示した.

1997 年産の原麦 DP は, 麦芽 DP, 麦芽 DP/TN,

第4表 関東二条25号と南系B4641の主な形質の比較

	製麦時発芽	うどんこ病	%	麦芽エキス	%	麦芽全窒素	%	可溶性窒素	%	コールパツハ数	麦芽 DP	麦芽 DP/TN	最終発酵度	%	麦芽 α-アミラーゼ	DU	麦汁 β グルカン	mg/L	麦汁粘度	mPa·s	原麦 DP	原麦 DP/TN
関東二条25号	1997年産	r	100	81.2	2.19	0.85	38.7	441	201	-	63	22	1.59	328	150							
	1998年産	r	100	80.4	2.66	0.86	32.3	502	188	84.0	57	16	1.51	332	125							
南系B4641	1997年産	s	100	77.0	2.39	0.72	30.0	272	114	-	44	183	2.11	197	82							
	1998年産	s	100	76.2	2.37	0.65	27.6	275	116	82.4	44	87	1.68	189	80							

注1. 親系統分析の平均

注2. r: 抵抗性, s: 罹病性

第5表 関東二条25号/南系B4641 RIL 集団各世代内形質相関

		RILsF7集団				
1997年産		麦芽 DP	麦芽 DP/TN N	麦芽 α-amy	原麦 DP	原麦 DP/TN
1998年産		WK	WK/TN	DU	WK	WK/TN
RILs F9集団	麦芽DP		0.95 **	0.17	0.69 **	0.65 **
	麦芽DP/TN	0.94 **		0.18	0.63 **	0.70 **
	麦芽 α-amy	0.13	0.10		0.21 *	0.23 *
	原麦DP	0.61 **	0.49 **	0.07		0.94 **
	原麦DP/TN	0.53 **	0.54 **	0.04	0.93 **	

1997年 n=122 *:5%有意水準>0.19, **:1%有意水準>0.24
 1998年 n=128 *:5%有意水準>0.18, **:1%有意水準>0.21

第6表 うどんこ病抵抗性と
ジアスターゼ力の関係

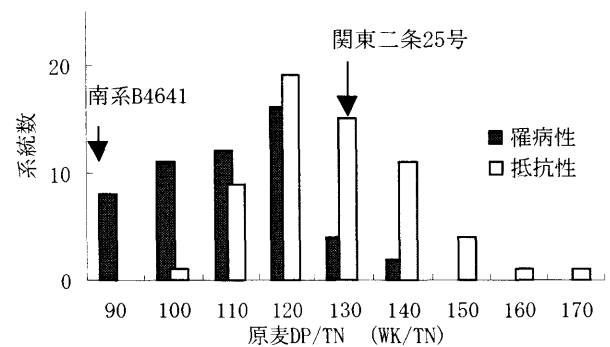
(関東二条25号/NB4641のRIL 集団)

	うどんこ病抵抗性	うどんこ病罹病性	差
系統数	59	60	
	61	53	
麦芽DP	381	345	36 **
WK	391	366	25 *
麦芽DP/TN	173	154	19 **
WK/TN	156	146	10 *
麦芽 α-amy	52	54	-2 *
DU	52	55	-3 **
原麦DP	270	230	40 **
WK	283	241	42 **
原麦DP/TN	123	102	21 **
WK/TN	123	105	18 **

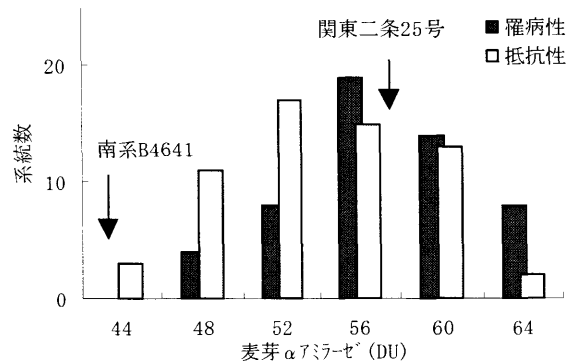
注1. 上段1997年産F7 下段1998年産F9
 注2. 罹病程度が不明確な系統は省いた
 注3. *:5%有意水準, **:1%有意水準

原麦 DP/TN と 1%水準で有意な相関があった。麦芽 α-アミラーゼ活性とは 5%水準で有意な相関があった。原麦 DP/TN は、麦芽 DP, 麦芽 DP/TN と 1%水準で有意な相関があった。麦芽 α-アミラーゼ活性と 5%水準で有意な相関があった。麦芽 α-アミラーゼは原麦 DP, 原麦 DP/TN と 5%水準で有意な相関があった。

1998 年産の原麦 DP は、麦芽 DP, 麦芽 DP/TN, 原麦 DP/TN と 1%水準で有意な相関があった。原麦 DP/TN は、麦芽 DP, 麦芽 DP/TN, 原麦 DP/TN と 1%水準で有意な相関があった。麦芽 α-アミラーゼ活性はいかなる DP とも有意な相関があるとはいえなかった。うどんこ病抵抗性の有無で区別した RIL 集団間の



第4図 関東二条25号/南系B4641の RIL F9集団におけるうどんこ病と原麦 DP/TN



第5図 関東二条25号/南系B4641の RIL F9集団におけるうどんこ病とαアミラーゼとの関係

ジアスターゼ力を比較し、第 6 表に示した。1997 年産はうどんこ病抵抗性でホモに固定している系統群と罹病性でホモに固定している系統群の間で、麦芽 DP, 麦芽 DP/TN, 原麦 DP, 原麦 DP/TN は 1%水準で有意な差があった。麦芽 α-アミラーゼ活性は 5%水準で有意な差があった。1998 年産は麦芽 α-アミラーゼ活性, 原麦 DP, 原麦 DP/TN は 1%水準で有意な差があった。麦芽 DP, 麦芽 DP/TN は 5%水準で有意な差があった。F7, F9 世代間の同形質間相関は (兩年とも

に製麦した系統, n=109), 原麦 DP で 0.61, 原麦 DP/TN で 0.74, 麦芽 DP/TN で 0.33 であり 1%水準で有意であった。また, 麦芽 DP で 0.20, 麦汁 β グルカンで 0.20 であり, 5%水準で有意であった。 α -アミラーゼは有意な相関は認められなかった。

さらに F7 の原麦 DP と F9 の麦芽 DP/TN の関係は 0.33 で 1%水準で有意な相関があった (図略)。

第 4 図にうどんこ病抵抗性で区別した原麦 DP/TN の関係をヒストグラムに示した。矢印は親の平均を表す。ヘテロの系統はなかった。全体からうどんこ病に罹病したかどうか不明な系統は省いた。大系 HG32/ミサトゴールデンの RIL 集団と同様にうどんこ病抵抗性の系統群の方が原麦 DP/TN の高い方に偏った分布を示していた。

第 5 図にうどんこ病と α -アミラーゼの関係を示した。同様に全体からうどんこ病に罹病したかどうか不明な系統は省いた。うどんこ病罹病性の系統の方が麦芽 α -アミラーゼの分布の高い方に偏っていた。

IV 考察

麦芽 DP はデンプンを端から順番に切っていく exo 型酵素の β -アミラーゼとランダムに切っていく endo 型の α -アミラーゼからなり, 一方原麦 DP はほぼ β -アミラーゼであると言われ, α -アミラーゼは発芽工程で発現するとされている²⁾。また, 麦芽中の DP に占める α -アミラーゼの割合は品種・系統によって異なるがほぼ 9%~22%の範囲に収まっていた (栃木分場データ略)。過去, 代表的な二条・六条大麦の品種・系統の原麦 DP と麦芽 DP を栃木分場で調べた結果から麦芽高 DP でかつ高 α -アミラーゼ活性である品種・系統の中に原麦 DP の低い系統があることが判明している。しかし, 本研究に用いた RIL 集団 2 組み合わせは麦芽高 DP でかつ原麦高 DP の交配親を用いた。この 2 年間の実験結果から, 原麦 DP は麦芽 DP および麦芽 DP/TN と非常に高い相関を持つことが明らかとなった。また, 原麦 DP は, 各形質の中で年次間相関が一番安定している。この事は環境による変動が少なく, 前年に原麦 DP の低い系統を切り捨てることによって次の年の麦芽 DP/TN を高くすることが可能であると判断される。また, 葉鞘毛の有無と原麦 DP/TN に違いのある交配親を用いた場合, 葉鞘毛の有で選抜することによって次年度集団の原麦 DP/TN の分布も高い方へゆがませることができると明らかになった。葉鞘毛の遺伝子は 4H 染色体上にあり, 日本型の播性は強く連鎖していることが知られている^{1, 3)}。今回, 大系 HG32/ミサトゴールデンの RIL 集団で, 原麦 DP と相関があり, 有意な結果

となったことは, この集団の原麦 DP に関与する因子がこの 4H 染色体上にあったためと思われる。

また, 葉鞘毛と同様に, うどんこ病抵抗性で原麦 DP/TN に違いのある交配親を用いた場合, 圃場でうどんこ病抵抗性の系統を選抜することによって次年度集団の原麦 DP/TN の分布も高い方へゆがませることができると明らかになった。

うどんこ病抵抗性遺伝子は, 1H 染色体に座乗していることが知られている^{1, 3)}。その近くに β -アミラーゼ活性に関する遺伝子が座乗していることは, うどんこ病と原麦 DP/TN の関係から明らかであり, このことは新しい知見である。また, 関東二条 25 号/南系 B4641 の RIL 集団での QTL 解析の結果, 1H 染色体上に β -アミラーゼ活性に関する QTL 領域の見つかったこととも一致する (データ略)⁴⁾。

また, 大系 HG32/ミサトゴールデンの RIL 集団では不明確であった, うどんこ病抵抗性と麦芽 α -アミラーゼ活性の関係に二条 25 号/南系 B4641 の RIL 集団では 1%または 5%水準で有意な差が見いだされた。関東二条 25 号は, うどんこ病抵抗性かつ麦芽ジアスターゼ力・ α -アミラーゼ活性共に高い系統であるにもかかわらず, RIL 集団をうどんこ病抵抗性の有無で見ると, うどんこ病抵抗性の系統群の方が明らかに α -アミラーゼ活性の分布が低くなっていた。理由は不明であるが興味深い現象である。

今回の結果から, うどんこ病抵抗性で原麦 DP・麦芽 DP の高い交配親を用いた場合, 圃場でうどんこ病抵抗性系統を選抜し, さらに原麦 DP の低い系統を切り捨てれば 11 月の播種前に麦芽 DP 育成集団の分布を高い方にゆがませることが示唆された。

謝辞

試験実施に当たり, 実験を補助していただいた星野洋子主任技術員に感謝を記します。

引用文献

1. Davis M. P. et al. Barley genetics newsletter (1996) Vol.26
2. 学会出版センター (1986)「アミラーゼ」
3. 加島ら(1998)大麦原麦のジアスターゼ力と他形質との連鎖. 育種学雑誌 48 別 1 : 150
4. 大塚ら(1999) 本邦ビール大麦を用いたゲノム解析研究 3. β -グルカン含量及びその分解酵素活性の QTL 解析 育種学雑誌 49 (別 1) : 22
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)」