

β-アミラーゼ活性が極めて高い二条大麦 HQ10 の育成と 高品質安定栽培法

大関美香・五月女敏範¹⁾・関和孝博・山口昌宏・加藤常夫・大山亮・豊島貴子²⁾・鈴木康夫³⁾・
白間香里⁴⁾・石川直幸⁵⁾・谷口義則⁶⁾・小田俊介⁷⁾・長嶺敬⁸⁾・加島典子³⁾・大塚勝⁹⁾・
小玉雅晴・常見譲史²⁾・渡邊修孝¹⁰⁾・鈴木恵美子・春山直人¹⁰⁾・河田尚之¹¹⁾・
福田暎¹²⁾・佐藤圭一⁴⁾・仲田聡⁹⁾・野沢清一¹³⁾・糸川晃伸・大野かおり¹⁴⁾・
渡邊浩久¹⁰⁾・沖山毅¹⁵⁾・高山敏之⁷⁾・斉藤哲哉¹⁶⁾・薄井雅夫¹⁷⁾

摘要： HQ10 (旧系統名：栃木二条 48 号) は、「極高ジアスターゼ力，原麦 β-アミラーゼ活性極高」を育種目標に，1997 年に「関東二条 32 号/3/<大系 HG32/2/<大系 HC15/四 R 系 1363> (F1) > (F4)」の組合せから育成した。HQ10 は，麦芽のジアスターゼ力および原麦 β-アミラーゼ活性が既存品種の約 2.5 倍から 4 倍と極めて高い。オオムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子 *rym3* と *rym5* を集積し，国内全てのオオムギ縞萎縮ウイルス系統 I ~ V 型に抵抗性である。子実重，整粒重，整粒歩合は，主導品種のサチホゴールドより低く，容積重も軽く，千粒重も小さく 20%以上低収である。サチホゴールドに比べて，ジアスターゼ力および最終発酵度は高いが，水感受性，麦芽エキスが低く，総じて麦芽・醸造品質は劣る。また，既存品種に比べて穀粒硬度は硬く，搗精時間が長く，搗精白度は低く，砕粒率は 10%以上高く，総じて精麦特性は劣る。HQ10 は出穂後の追肥により，さらに β-アミラーゼ活性が向上すること，タマイズミ専用などの肥効調節型肥料を用いた基肥一発の施肥体系によって，出穂後の追肥と同様に β-アミラーゼ活性の向上に効果があるとともに整粒歩合や千粒重が増加することを明らかにした。

キーワード： 栽培法，ジアスターゼ力，追肥，二条大麦，β-アミラーゼ

A new barley cultivar 'HQ10' with extremely high β-Amylase activity and high quality cultivation characteristics

Mika OOZEKI, Toshinori SOTOME, Takahiro SEKIWA, Masahiro YAMAGUCHI, Tsuneo KATO, Makoto OYAMA, Takako TOYOSHIMA, Yasuo SUZUKI, Kaori SHIRAMA, Naoyuki ISHIKAWA, Yoshinori TANIGUCHI, Shunsuke ODA, Takashi NAGAMINE, Noriko KASHIMA, Masaru OOTUKA, Masaharu KODAMA, Jouji TUNEMI, Nobutaka WATANABE, Emiko SUZUKI, Naoto HARUYAMA, Naoyuki KAWADA, Ei FUKUDA, Keiichi SATO, Satoshi NAKATA, Seiichi NOZAWA, Nobuteru KUMEKAWA, Kaori OONO, Hirohisa WATANABE, Takeshi OKIYAMA, Toshiyuki TAKAYAMA, Tetsuya SAITO and Masao USUI

Summary: We developed an extremely high β-amylase activity and diastatic power two-rowed barley 'HQ10' from a cross of Kantou-nijo32 (Sukai Golden) /3/<Daikei HG32/2/<Daikei HC15/Yon R kei 1363> (F₁) > (F₄), which was released in September 2014. Malt diastatic power and β-amylase in the grains of 'HQ10' were extremely high compared to leading cultivar such as 'Sachiho Golden', by approximately 2.5 times to 4 times. 'HQ10' is resistant to BaYMV strain types I to V (pyramided with resistance genes *rym5* and *rym3*). The agronomic characters of 'HQ10'—grain yield, volume weight, 1000-grain weight, and plump grain—are low and inferior compared to the leading cultivar 'Sachiho Golden'. The malting quality of 'HQ10' is as follows: extremely high diastatic power, high in apparent final attenuation, low in malt extract, and high in water sensitivity. The pearling quality of 'HQ10' is as follows: very hard and long pearling time, low in peel whiteness, and high in broken grain. The overall malt quality and pearling quality of 'HQ10' are inferior to those of 'Sachiho Golden'. Furthermore, we revealed that the β-amylase activity of 'HQ10' is improved with top dressing after heading or by using a slow release fertilizer.

Key words: β-Amylase, Cultivation Method, Diastatic Power, Top Dressing, Two-Rowed Barley

1)現栃木県安足農業振興事務所，2)現栃木県下都賀農業振興事務所，3)現栃木県上都賀農業振興事務所，4)現栃木県河内農業振興事務所，5)現西日本農業研究センター，6)現東北農業研究センター，7)現次世代作物開発研究センター，8)現中央農業総合研究センター北陸研究センター，9)現栃木県農業大学校，10)現栃木県農政部経営技術課，11)現京都学園大学，12)現鹿沼市在住，13)現しもつけ市在住，14)現東京事務所，15)現栃木県農政部生産振興課，16)現つくば市在住，17)現栃木県芳賀農業振興事務所
(2017.2.10 受理)

I 緒言

ビール大麦育種における麦芽品質に関する調査項目は多く、ジアスターゼ力はエキスと並んで最重要項目となっている。ビール大麦のジアスターゼ力は、麦芽を糖化して麦汁を作るときに必要なデンプン分解酵素 β -アミラーゼと α -アミラーゼの総活性であり、糖化工程の要となる形質である。副原料のデンプンを糖化させるためにも十分な力価をもつことが必要であり、ビール会社からはジアスターゼの高いものが求められてきた。

栃木県農業試験場では、2006 年に醸造品質に優れ、早生多収、大粒で整粒歩合が高いサチホゴールド (加藤ら, 2006) を、2013 年にコールバッハ数や可溶性窒素など麦芽の溶け特性が適正なオオムギ縮萎縮ウイルス系統 I ~ V 型に抵抗性のアスカゴールド (大関ら, 2013) を育成した。ビール大麦のジアスターゼ力改善を目的として、エチオピアの遺伝資源 Hiproly が有する高リジン遺伝子 *lys1* がジアスターゼ力の主活性である β -アミラーゼを増加させる (Hejgaard ら, 1979, 1980) ことを活用するために、*lys1* の導入を図ってきた。2003 年度に普及品種よりもジアスターゼ力が約 3 倍高い大系 HQ10 を選抜したが、収量性やエキスの一部の品質項目が普及品種に比べて劣ることから、品種化には至らなかった。

しかしながら、その後、酵素メーカー（天野エンザイム（株））より、酵素製造上の課題解決のために大系 HQ10 の

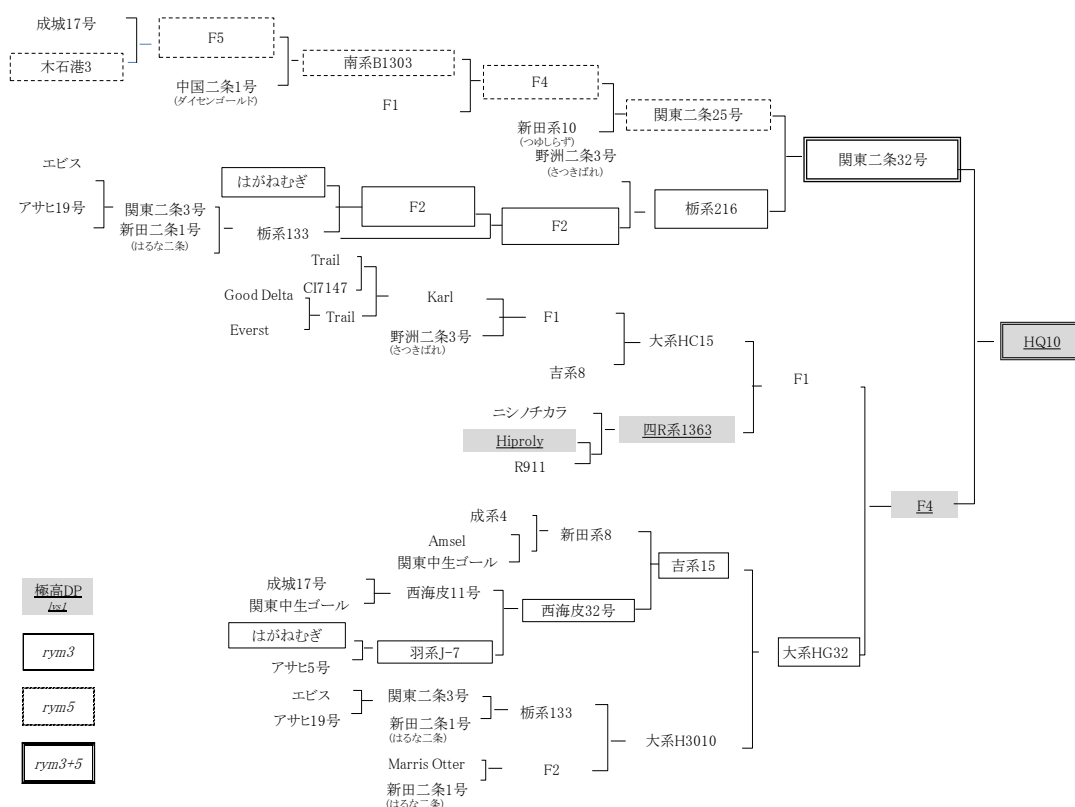
高い β -アミラーゼ活性が着目され、2011 年から極高 β -アミラーゼ大麦の酵素生産への利用可能性の評価に関する共同研究を進めてきた。その結果、HQ10 が極めて高い β -アミラーゼ活性を有し、HQ10 を活用することで、植物種子由来の酵素を高収量で製造する方法、並びに粘性が低く取扱い性の良いマルトース含有組成物を効率よく作製するための酵素の製造方法を開発した。

本報では、極めて高い β -アミラーゼ活性を有し、酵素原料に適する HQ10 について、本品種の来歴、育成経過および主要特性、さらには酵素活性向上のための栽培法について報告する。

なお、本育種試験は農林水産省「指定試験事業」および同「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」にて行った。

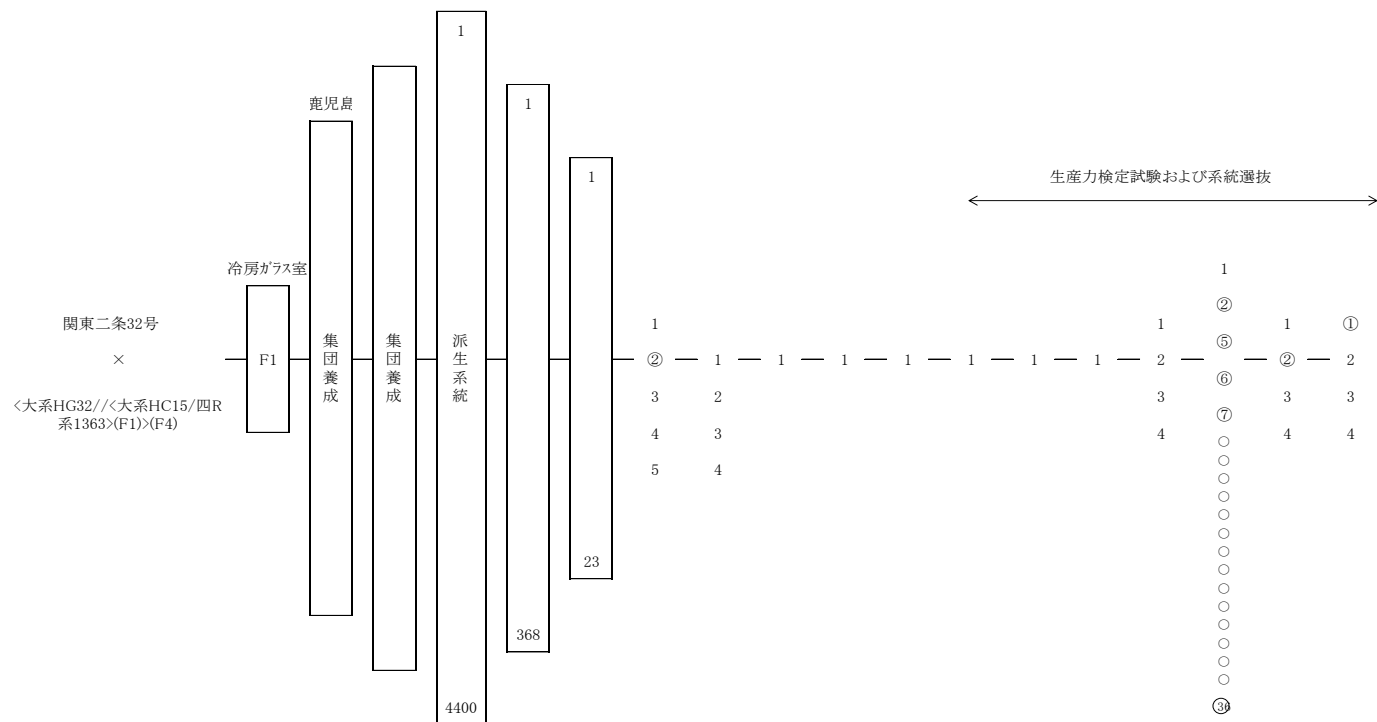
II 育成經過

HQ10 の系譜を第 1 図に示した。早生多収で、オオムギ縞萎縮病抵抗性をもち、ビール醸造適性に優れる高品質ビール大麦の育成を行うなかで、特に「極高ジアスターゼ力、原麦 β -アミラーゼ活性極高」を育種目標として、1997 年度 (1998 年 4 月、以下播種年度で示す) に栃木県農業試験場栃木分場において交配した。本品種は、関東二条 32 号 (後のスカイゴールデン) を母、四 R 系 1363 の持つ Hiproly 由来の極高ジアスターゼ力、大系 HG32 の持つ高ジアスターゼ力、大系 HC15 (後の二条大麦「中間母本農 1 号」) の持つ



第 1 図 HQ10 の系譜

播種年度	1997	同	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
世代	交配	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉	F ₁₀	F ₁₁	F ₁₂	F ₁₃	F ₁₄	F ₁₅	F ₁₆	F ₁₇	F ₁₈
供試	系統群数					368	23	5	4	1	1	1	1	1	1	4	9	4	1
	系統数																36	40	40
	個体数			5500粒	4400粒											380			
選抜	系統群数					24	5	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	1	1
	系統数															9	10	1	1
	個体数				368個体		25	5	5	1	1	1	1	1	4	36	40	10	10
特性検定試験(項目数)													3	4			4	1	1
系統適応性検定試験(場所数)																			
奨励品種決定調査(場所数)																	1	3	
備考	薬交3587								大系HQ10							栃木二条48号		HQ10	



第2図 HQ10の育成経過および育成系統図

低タンパク特性の集積を図った「<大系 HG32/2/ <大系 HC15/四 R 系 1363> (F1) > (F4)」を父として人工交配を行い (薬交 3587)、派生系統育種法により選抜・固定を進めてきたものである。

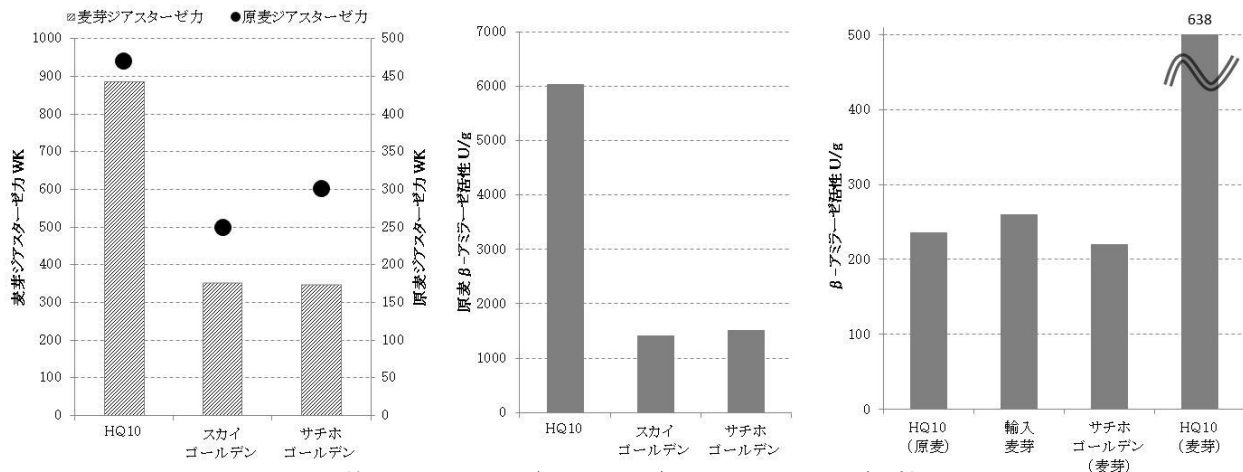
各世代の選抜経過は以下のとおりである (第2図)。1997年度にF1を冷房ガラス室、1998年度にF2集団を鹿児島県で世代促進し、1999年度にF3を集団栽培した。2000年度にF4系統を養成し蒔萎縮病、熟期、立毛で選抜、2001年度に単独系統として系統栽培し、草姿、熟期、外観品質で選抜後、関和ら (2004) の方法で、原麦ジアスターゼ力を測定した。なお、原麦中にはβ-アミラーゼのみが存在し、還元剤処理によって原麦中のβ-アミラーゼが活性化することから、原麦に含まれているデンプン分解酵素は全てβ-アミラーゼと仮定して測定を行った。2002～03年度に、製麦・醸造品質を分析し (栃木県農業試験場栃木分場, 1998)、良質でジアスターゼ力の極めて高い系統の選抜を行い大系HQ10の系統名を付した。その後、交配母本として活用するとともに固定化を図り、2008～09年度に生産力検定試験、特性検定試験に供試した。その結果、収量性が既存品種に比べて劣ること

から、系統適応試験および地方配付を行わなかった。その後、2011年に実需者からβ-アミラーゼ活性の高い大麦品種の要望があったことから、2012年度から栃木二条48号の系統名を付し、生産力検定試験、特性検定試験に供試するとともに、栃木県の奨励品種決定調査に供試し、低い収量性と極めて高い酵素力を確認した。同時に酵素原料としての利用評価に関する検討を行った結果、高い実用性が認められたことから、2014年4月に品種登録出願し、2014年9月に品種登録出願公表となった (公表名HQ10)。

III 特性の概要

1. ジアスターゼ力ならびにβ-アミラーゼ特性

HQ10の麦芽ジアスターゼ力はスカイゴールデンやサチホゴールデンの約2.5倍と極めて高く、原麦β-アミラーゼ活性も約4倍と極めて高かった (第3図)。さらに、HQ10は原麦でも輸入麦芽やサチホゴールデンの麦芽と同等のβ-アミラーゼ活性を示しており、高いデンプン分解能を有することが明らかとなった。



第3図 HQ10のジアスターゼカとβ-アミラーゼ活性

注1.左図のジアスターゼカは、育成地の分析値。中図は、育成地分析によるβ-アミラーゼ活性値。右図は、実需者分析によるβ-アミラーゼ活性値。
 2.育成地分析のβ-アミラーゼ活性は、Megazyme社のβ-amylase assay kitにより測定。
 3.実需者分析のβ-アミラーゼ活性は、第十六改正日本薬局方、一般試験法4.03消化力試験法、1.1でんぷん糖化力測定法による。

2. 形態的および生態的特性

大麦種苗特性分類調査報告書（中央農業研究センター、1986）および農林水産植物種類別審査基準（UPOV）に基づき、HQ10の形態的および生態的特性を、生産力検定試験と特性検定試験の調査結果を総合的に判断して分級した概要を第1表、第2表に示した。叢生は“直立”，株はやや開き“中”である。葉色は“やや淡”でサチホゴールデンより淡く、スカイゴールデンと同程度である。葉鞘の毛は“無”でスカイゴールデンやサチホゴールデンと同様である。止葉の葉耳

および芒のアントシアンは“かなり弱”で、サチホゴールデンの“中”と異なり、“極弱”のスカイゴールデンに近い。穂のろう質は“やや少”でスカイゴールデンやサチホゴールデンよりわずかに少ない。芒の長さは、サチホゴールデンと同程度の“やや長”でスカイゴールデンよりも長い。粒の形は“長”，粒の大きさは“やや小”，穀皮の厚さは“やや厚”で、スカイゴールデンやサチホゴールデンよりも粒は小さく、穀皮が厚い。底刺毛茸は“中”とスカイゴールデンやサチホゴールデンより短い。粒着の粗密はスカイゴールデン，サチホゴールデンよ

第1表 形態的・生態的・生産的概要

項目/品種名	HQ10	スカイ ゴールデン	サチホ ゴールデン	項目/品種名	HQ10	スカイ ゴールデン	サチホ ゴールデン
i) 大麦種苗特性分類調査報告書基準				ii) 農林水産植物種類別審査基準(UPOV)の基準			
叢性	直立	直立	直立	草姿	直立	直立	直立
株の開閉	中	やや閉	やや閉	葉しよの毛の有無	無	無	無
並渦性	並	並	並	止め葉の葉耳のアントシアニン着色の強弱	かなり弱	極弱	中
稈長	中	中	やや短	植物体の反曲した止め葉の多少	無・極少	無・極少	無・極少
稈の細太	中	中	中	止葉葉しよのろう質の多少	やや少	中	中
稈の剛柔	やや剛	やや剛	やや剛	出穂期	やや早	やや早	かなり早
稈のワックスの多少	中	やや多	やや多	芒の先端のアントシアニン着色の強弱	かなり弱	極弱	中
葉耳の有無	有	有	有	穂のろう質の多少	やや少	中	中
葉色	やや淡	やや淡	中	穂の向き	立	立	立
葉鞘のワックスの多少	中	やや多	やや多	草丈	中	中	中
葉鞘の毛の有無多少	無	無	無	穂の条数	2条	2条	2条
穂型	矢羽根	矢羽根	矢羽根	穂の形	平行	平行	平行
穂長	中	やや短	中	穂の粒着の粗密	やや密	密	密
粒着の粗密	やや密	密	密	穂の長さ	中	やや短	中
穂の抽出度	中	中	中	芒の長さ	やや長	中	やや長
条性	二条	二条	二条	穂軸の長さ	中	中	中
穂の下垂度	直	直	直	穂軸の曲がりの強弱	無	無	無
芒の有無多少	多	多	多	穂の不稔小穂の発育	発育不全	発育不全	発育不全
芒長	やや長	中	やや長	不稔小穂の向き	先広	先広	先広
芒の粗滑	やや粗	やや粗	やや粗	穀粒に比べて中央小穂の芒を含む護穎の長さ	等	等	等
ふ色	淡黄	淡黄	淡黄	穀粒の小穂軸の毛の型	短	長	長
粒の形	長	中	やや大	穀粒の稈の有無	有	有	有
粒の大小	やや小	中	やや大	穀粒の外穎のアントシアニン着色の強弱	無・極弱	無・極弱	無・極弱
穀皮の厚さ	やや厚	やや薄	やや薄	穀粒の外穎背面内側面の葉脈沿いの突起の多少	極多	極多	極多
底刺毛茸の長短	中	長	長	穀粒の縦溝の毛の有無	有	有	有
外穎基部の横溝の有無	有	有	有	穀粒のりん皮の着き方	正面	正面	正面
腹溝の幅	中	中	中	穀粒の糊粉層の色	白色	白色	白色
鱗皮の毛の長短	長	長	長				
千粒重	やや小	やや大	大				
リットル重	やや小	中	中				
原麦粒の見かけの品質	中の下	中の中	中の中				

第 2 表 生態的特性の概要

項目/品種名	HQ10	スカイ ゴールデン	サチホ ゴールデン
播性	I	I	I
茎立性	やや早	早	早
出穂期	やや早	やや早	極早
成熟期	やや早	やや早	早
稈穂の別	稈	稈	稈
皮裸性	皮	皮	皮
脱芒性	やや易	やや易	やや易
穂発芽性	中	難	中
脱粒性	やや難	やや難	やや難
耐倒伏性	やや強	強	やや強
収量性	やや少	やや多	多
整粒歩合	少	やや多	やや多
縞萎縮病抵抗性	極強	極強	極強
赤かび病抵抗性	やや強	やや強	やや強
うどんこ病抵抗性	極強	極強	極強
原麦ジアスターゼ力	極大	大	大

注. 大麦種苗特性分類調査報告書(昭和 55 年 3 月)の基準による。

第 3 表 特性検定試験成績

系統名・品種名	オオムギ縞萎縮病				
	I	III	IV	V	<i>rym</i>
HQ10	抵抗性	抵抗性	抵抗性	抵抗性	3+5
スカイゴールデン	抵抗性	抵抗性	抵抗性	抵抗性	3+5
サチホゴールデン	抵抗性	抵抗性	罹病性	罹病性	3
ミカモゴールデン	抵抗性	罹病性	抵抗性	抵抗性	5

系統名・品種名	うどんこ病	播性	穂発芽
HQ10	抵抗性	I	中
スカイゴールデン	抵抗性	I	難
サチホゴールデン	抵抗性	I	中
ミカモゴールデン	罹病性	I	やや易

注 1. 試験実施場所および実施期間(年度)は以下のとおり。

オオムギ縞萎縮病 I 型及び III 型:

栃木県農試栃木農(2008,2009,2012,2013), IV 型: 栃木県大田原市(2008,2009,2012), V 型: 山口県農試(2012,2013)

うどんこ病: 栃木県農試栃木農場(2008,2009), 栃木県農試本場(2012)

播性: 栃木県農試栃木農場(2008,2009), 栃木県農試本場(2012)

穂発芽: 栃木県農試栃木農場(2009,2012), 栃木県農試本場 (2014)

2. オオムギ縞萎縮病(I・III・IV)は、モザイク病斑の発現程度と発病株数から発病抵抗性を 7 段階に分類した。調査結果を指標品種の数値で除して数値化し、RR(極弱)～SS(極弱)の 7 段階で判定した。V 型は発病抵抗性を 9 段階に分類し、以下は前述の I・III・IV と同じ。*rym5* は長嶺ら(2010)の *rym5* 座複対立遺伝子の判別 DNA マーカー fra2B、*rym3* は春山ら(2012)の DNA マーカー k09554-Aval により判別した。

3. うどんこ病: 春播きの自然発病による病斑程度から 0(病斑無し)～6(穂まで発病)の 7 段階で判定した。

4. 播性: 2 月下旬から 5 月中旬まで播種し、出穂の有無を調査し、指標品種との比較により、秋播性程度を I～VII で判定した。

5. 穂発芽性: 各品種 10 穂を成熟期に収穫し、17℃の水槽に 1 日浸漬したのみ、湿度 100%、17℃の条件下で 6 日間経過させる。穂別の発芽粒率を目視で判定し、10 穂の平均値を比較し、極易～極難の 7 段階で判定した。

りも粗く“やや密”である。

千粒重は、“大”のサチホゴールデンや“やや大”のスカイゴールデンよりも小さく“やや小”で、リトル重もサチホゴールデンやスカイゴールデンに比べて小さく、“やや小”である。

播性の程度は、“I”で、茎立性は“やや早”でサチホゴールデンの“早”よりわずかに遅く、脱粒性は同程度の“やや難”である(第 2 表)。

3. 主要病害等に対する特性(特性検定試験成績)

HQ10 の病害等に対する特性(特性検定試験成績)を第 3 表に示した。オオムギ縞萎縮病に対しては、本病抵抗性遺伝子 *rym3* と *rym5* を持ちスカイゴールデンと同様にウイルス系統 I～V 型に抵抗性を示す。うどんこ病に対しても抵抗性である。穂発芽性は“中”でサチホゴールデンと同程度であるが、スカイゴールデンに比べると劣る。

4. 生育特性および収量性

HQ10 の主要な生育特性および収量性について、育成地の生産力検定試験の調査結果を第 4 表に、草型、草姿、穂型および子実の形状を第 4～7 図に示した。出穂期はサチホゴールデンより 2 日遅いが、スカイゴールデンと同じで、成熟期は、サチホゴールデンやスカイゴールデンと同程度である。稈長はサチホゴールデンよりも 3 cm 高くスカイゴールデンと同程度、穂長はサチホゴールデンと同様に長い。穂数はスカイゴールデン、サチホゴールデンよりも少ない。1 穂粒数はスカイゴールデンよりわずかに多く、サチホゴールデンより少ない。子実重、整粒重ともにスカイゴールデンよりも 10 % 以上少なく“低収”である。容積重はスカイゴールデン、サチホゴールデンより軽く、千粒重もスカイゴールデンより 3 g 程度、サチホゴールデンより 7 g 程度も軽く、整粒歩合も 9～10 % 低い。外観品質はスカイゴールデン、サチホゴールデンより劣る。原麦の穀粒硬度は、スカイゴールデン、サチホゴールデンよりも 20 以上高く、硬い。

5. 麦芽品質特性

HQ10 の育成地における麦芽品質分析結果を第 5 表に示した。水感受性はスカイゴールデンよりも高い。麦芽粗蛋白は約 1 % 高く、可溶性窒素は同程度で、可溶性窒素/麦芽全窒素で表すコルパッハ数はスカイゴールデンに比べると低く、サチホゴールデンと同程度からやや低い。ジアスターゼ力はスカイゴールデン、サチホゴールデンの 2 倍以上高いが、麦芽エキ스는スカイゴールデンよりも約 4 % 低く、総じて麦芽品質は劣る。最終発酵度はスカイゴールデンと同程度に高く、サチホゴールデンより高い。麦汁 β-グルカン量はサチホゴールデンよりも低くスカイゴールデンと同程度である。

6. 精麦品質特性

HQ10 の育成地における搗精試験結果を第 6 表に示した。搗精時間はスカイゴールデン、サチホゴールデンより長い。搗精白度はスカイゴールデン、サチホゴールデンより低く、砕粒率は両品種に比べて 10 % 以上高く、総じて精麦特性は、スカイゴールデン、サチホゴールデンより劣る。

第4表 育成地における農業特性

年度	系統名・品種名	出穂期 月/日	成熟期 月/日	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	1穂 粒数	倒伏	赤かび 病	子実重 kg/a	対標比 %	整粒重 kg/a	対標比 %	整粒歩合 %	容積重 g/L	千粒重 g	穀皮 しわ	穀皮 厚さ	外観 品質	穀粒 硬度
平均	HQ10	4/21	5/29	92	6.8	626	26.8	0.2	0.0	48.0	87	41.3	78	83.6	701	38.2	5.0	4.1	4.7	79
	スカイゴールデン	4/21	5/29	91	6.3	659	26.5	0.6	0.0	55.4	100	51.9	100	92.6	728	41.5	3.5	3.3	3.7	53
	サチホゴールデン	4/19	5/29	89	6.9	668	27.8	0.4	0.0	64.2	116	60.6	117	93.5	730	45.5	3.0	3.0	3.4	56

注1. 2008から2010年度, 2012年度から2014年度の6か年平均。
2. 子実重, 千粒重は水分12.5%換算値. 穀皮しわは, 1(多), 2(やや多), 3(中), 4(やや少), 5(少). 外観品質は, 1(上上), 2(上), 3(中上), 4(中), 5(中下), 6(下). 穀粒硬度は, SKCS 4100 による測定値(300粒平均).



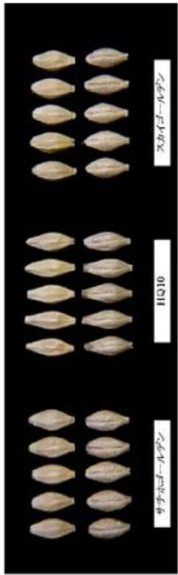
第4図 HQ10の草型



第5図 HQ10の草姿



第6図 HQ10の穂型



第7図 HQ10の子実

第5表 育成地における麦芽品質特性

年度	系統名・品種名	発芽 勢	水感 受性	浸漬 時間	調整 浸漬度	原麦 水分	原麦 粗蛋白	麦芽 収量率	麦芽 水分	麦芽 エキス	麦芽 粗蛋白	可溶性 窒素	コール ハッハ 数%	ジアスタ ーゼ力 WK	ジアスタ ーゼ力 WK/TN	対標準 比	最終 発酵度	総合 評点	標準 差	麦芽β- グルカン	麦芽 粘度							
		%	%	時間	%	%	%	%	%	dm%	dm%	dm%					%			mg/L	mPa・s							
平均	HQ10	98	46	37	41.6	10.8	12.4	90.0	4.5	78.9	b	71.1	11.7	0.79	42.2	885	a	227	82.4	a	57.0	-4.2	34	b	1.52	b		
	スカイゴールデン	98	29	39	41.6	11.0	11.8	90.0	4.6	83.0	a	74.7	10.7	0.82	48.2	350	b	204	b	100	81.5	ab	61.2	0.0	35	b	1.55	b
	サチホゴールデン	97	13	43	41.5	11.0	11.3	90.0	4.6	83.8	a	75.4	10.8	0.76	44.2	345	b	199	b	98	80.7	b	72.0	10.8	60	a	1.63	a

注. 2008 年度から 2010 年度, 2013, 2014 年度の 5 か年平均, 表中の同一アルファベットの記述は Tukey の多重比較(P<0.05)で有意差がないことを示す.

第6表 育成地における精麦品質特性

系統名・品種名	55%搗精 時間 秒	白度	砕粒率 %	*L	*a	*b
HQ10	410	39.0	30.2	76.2	1.6	18.3
スカイゴールデン	349	46.0	16.1	80.8	0.6	15.7
サチホゴールデン	351	47.4	14.7	80.4	0.7	13.5
とちのいぶき	375	49.6	13.6	81.6	0.6	15.6

注. 55%搗精時間, 白度, 砕粒率は 2009, 2010 年度, 2012 年度から 2014 年度の 5 か年平均, L,*a,*b は 2012 年度, 2014 年度の 2 か年平均.

第7表 栃木県における奨励品種決定調査での農薬特性

試験地	系統名・品種名	出穂期 月/日	成熟期 月/日	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	倒伏 多少	うどんこ 病	赤かび 病	縮萎縮 病	子実 重 kg/a	同左 標比 %	整粒 重 kg/a	同左 標比 %	整粒 歩合 %	容積 重 g/L	千粒 重 g	品質 概評	検査 等級	原麦ジアスターゼ 力 WK	原麦β-アミラーゼ 活性 U/g
宇都宮市 (本場)	HQ10	4/20	6/01	103	6.5	818	0.0	0.0	0.0	0.0	53.0	99	47.0	91	88.7	689	38.8	6.0	2	420	4580
	スカイゴールデン	4/22	6/01	100	6.2	799	0.1	0.0	0.0	0.0	54.6	100	52.6	100	96.2	703	43.1	3.5	2	250	949
	サチホゴールデン	4/19	5/31	95	6.6	771	0.0	0.0	0.0	0.0	63.9	119	61.5	119	96.3	715	47.0	4.3	2	260	1359
	アスカゴールデン	4/21	6/01	97	6.2	858	0.0	0.0	0.0	0.0	66.7	124	63.7	123	95.6	709	45.9	3.2	2	259	1412
栃木市 (藤岡)	HQ10	4/21	5/25	84	6.9	653	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	76	41.0	67	83.6	720	39.4	-	-	-	-
	サチホゴールデン	4/19	5/23	77	6.7	530	0.0	0.0	0.0	0.0	64.2	100	60.7	100	94.6	755	46.0	-	2	-	-
	アスカゴールデン	4/21	5/26	81	6.1	676	0.0	0.0	0.0	0.0	51.6	80	49.5	82	95.9	743	45.5	-	2	-	-

注 1. 農薬試験場本場は 2012 年度, 2013 年度の 2 か年平均, 現地試験(栃木市藤岡)は 2013 年度.

2. 倒伏, 病害は, 0(無), 1(微), 2(少), 3(中), 4(多), 5(甚)外観品質は, 1(上上), 2(上下), 3(中上), 4(中中), 5(中下), 6(下).

第8表 栃木県における奨励品種決定調査での麦芽品質特性

試験地	品種系統名	発芽 勢	水感 受性	浸漬 時間	一日後 浸漬度	麦芽 収量率	麦芽 水分	麦芽 エキス	麦芽 粗蛋白	可溶性 窒素	コール ハッハ 数%	シースタ ーゼ力 WK	シースタ ーゼ力 WK/TN	対標準 比	最終 発酵度	総合 評点	標準 差	麦芽β- グルカン mg/L	麦芽 粘度 mPa・s	
宇都宮市 (本場)	HQ10	100	23	48	41.2	89.8	4.9	80.0	71.8	10.0	0.66	41.1	1212	756	255	84.4	72.1	-17.3	20	1.61
	スカイゴールデン	100	7	40	41.2	90.0	4.9	83.5	75.2	9.9	0.68	43.3	469	297	100	83.4	89.4	0.0	22	1.60
	サチホゴールデン	100	1	44	41.2	90.2	5.3	84.3	76.1	9.5	0.59	38.7	427	280	94	83.0	78.6	-10.8	38	1.60
	アスカゴールデン	100	1	48	41.2	91.0	4.8	84.2	76.6	9.3	0.61	41.5	436	294	99	81.9	80.3	-9.1	20	1.55
栃木市 (藤岡)	HQ10	98	44	40	40.7	89.4	4.8	80.2	71.7	9.9	0.73	46.5	1149	728	308	85.7	73.5	10.9	27	1.52
	サチホゴールデン	95	5	40	40.6	89.4	5.0	85.5	76.5	8.3	0.66	49.8	313	236	100	80.9	62.6	0.0	20	1.50
	アスカゴールデン	98	6	44	40.7	91.0	4.6	85.0	77.3	8.1	0.67	51.9	309	238	101	82.6	59.8	-2.8	24	1.51

7. 栃木県における奨励品種決定調査成績

栃木県では 2012 年度より奨励品種決定調査（栃木県農業試験場本場）に 2 か年、同現地試験に 1 年供試した。栃木県農業試験場本場および現地（栃木市（旧藤岡町））における生育および収穫物調査結果を第 7 表に示した。農試本場においては、HQ10 はスカイゴールデンと比べると、出穂期は 2 日早い、成熟期は同程度であった。稈長はやや高く、穂長はやや長い傾向を示した。穂数は、2012 年度では少なかったが、2013 年度では多く、サチホゴールデンに比べると多かった。容積重、千粒重はともに小さく、整粒歩合は低く、整粒重はスカイゴールデンに比べて約 1 割程度低収で、外観品質も劣ったが、 β -アミラーゼ活性は既存品種の 3 倍以上の高い活性を示した。現地試験の成績を見ると、HQ10 はサチホゴールデンに比べて、出穂期および成熟期ともに 2 日遅かった。稈長は高く、穂長は同程度、穂数は多かった。容積重、千粒重はともに小さく、整粒歩合は低く、整粒重は多収品種サチホゴールデンの約 3 割程度低収であった。

麦芽品質については第 8 表に示した。HQ10 は、麦芽エキスが明らかに低いが、ジアスターゼ力は極めて高く、最終発酵度はやや高く、育成地における特性と同様の特性を示した。

8. 高品質安定栽培法の検討

前述のとおり HQ10 は既存品種に比べて極めて高い β -アミラーゼ活性をもつものの、千粒重、整粒歩合が低く低収である。そこで、栽培条件を変えて収量性、 β -アミラーゼ活性等の特性を把握し、酵素活性および収量性が向上する栽培法について検討した。

1) 播種量の違いが β -アミラーゼ活性および収量等に与える影響

栃木県農業試験場本場において、播種量に関して、第 9 表のとおり 3 水準を設け、2 か年実施した。2013 年度は 30 cm の 8 条ドリル播き、2014 年度は条間 20 cm 6 条ドリル播きとして行った。その結果を第 8 図に示した。両年度とも β -アミラーゼ活性は播種量の違いによる影響が認められず、酵素活性に関わる子実粗蛋白質含量についても、播種量による影響はみられなかった。千粒重は、2014 年度については、播種量を少なくすると増加し、少播による粒大の改善効果が示唆されたが、整粒歩合については播種量の違いによる影響は認められなかった。

2) 施肥体系の違いが β -アミラーゼ活性および収量等に

第 9 表 播種量試験および施肥体系の処理内容

1) 播種量試験

年度	播種量 (kg/a)		
	少播	中播	多播
2013	0.60	0.70	0.85
2014	0.59	0.70	0.87

2) 施肥体系

年度 処理水準	N 施肥量 (kg/a)		
	試験場内	現地1	現地2
2013年度			
①ビール麦エース・追肥なし	0.80	0.65	0.55
②茎立期直前・追肥 (LPS30 2kg)	0.8+0.2	0.65+0.2	0.55+0.2
③茎立期直前・追肥 (LPS30 4kg)	0.8+0.4	0.65+0.4	0.55+0.4
④出穂期+10日・追肥 (尿素2kg)	0.8+0.2	0.65+0.2	0.55+0.2
⑤出穂期+10日・追肥 (尿素4kg)	0.8+0.4	0.65+0.4	0.55+0.4

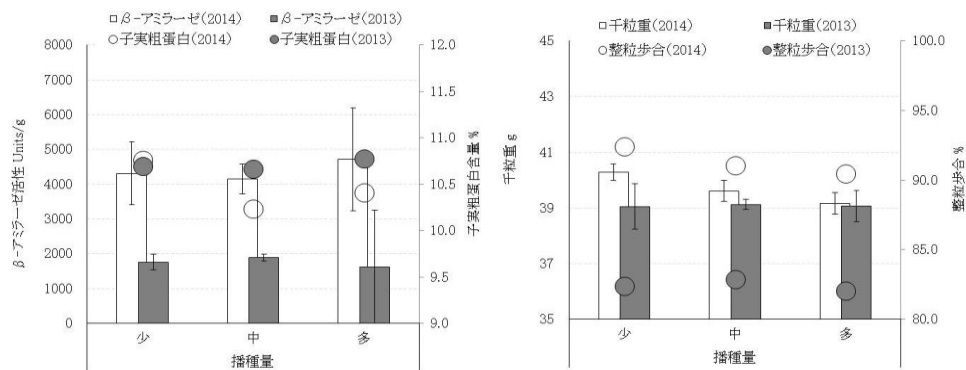
※肥料(基肥)はビール麦エース(N:P2O5:K2O=14:18:14, 窒素量の40%は被服尿素LP40)使用。現地1は水稻跡、現地2は畑。

2014年度			
①ビール麦エース・追肥なし	0.80	0.60	0.60
②ビール麦エース・追肥あり	0.8+0.4	0.6+0.4	0.6+0.4
③タマイズミ専用・追肥なし	1.20	1.00	1.00
④ビール麦エース+タマイズミ専用・追肥なし	1.20	1.00	1.00

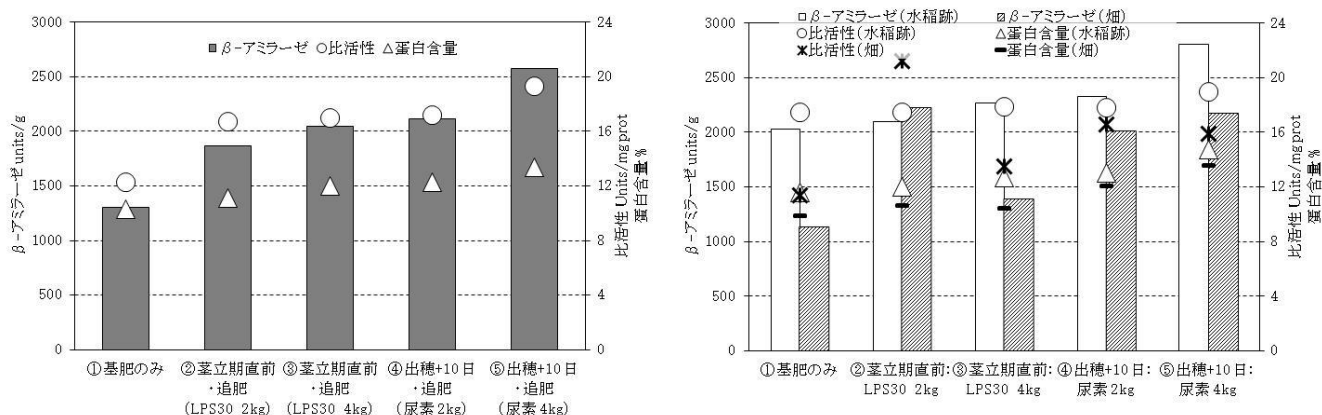
※肥料はビール麦エース、タマイズミ専用666 (N:P:K=16:16:16, 窒素成分:即効性7.3, 緩効性:8.7*, *緩効性はLP40:LPS40=1.2:7.5)を使用。ビール麦エース+タマイズミ専用の試験区(以下ブレンド区)では、ビール麦エースとタマイズミ専用666を窒素成分が1:1となるように混合して使用。
②の追肥は2013年度の⑤と同じ出穂+10日に尿素4kg。

与える影響

栃木県農業試験場本場および試作現地圃場で実施した。2013 年度は出穂後追肥および茎立期における肥効調節型肥料の追肥の施肥体系を、2014 年度は生育後半に肥効が現れる肥効調節型肥料を用いた施肥体系について調査した。なお、2013年度の現地圃場は前作が異なる2圃場(現地1; 水稻跡、現地2; 畑)で行った。その結果を第9, 10図および第10表に示した。2013年度の試験では、 β -アミラーゼ活性は、追肥時期が遅いほど、また、追肥量が多くなるほど有意に増加し、同時に子実粗蛋白質含量も上昇した。現地ほ場に及ぼす影響をみてみると、追肥により整粒歩合や千粒重が増加し、出穂後の追肥による粒大の改善効果が認められ

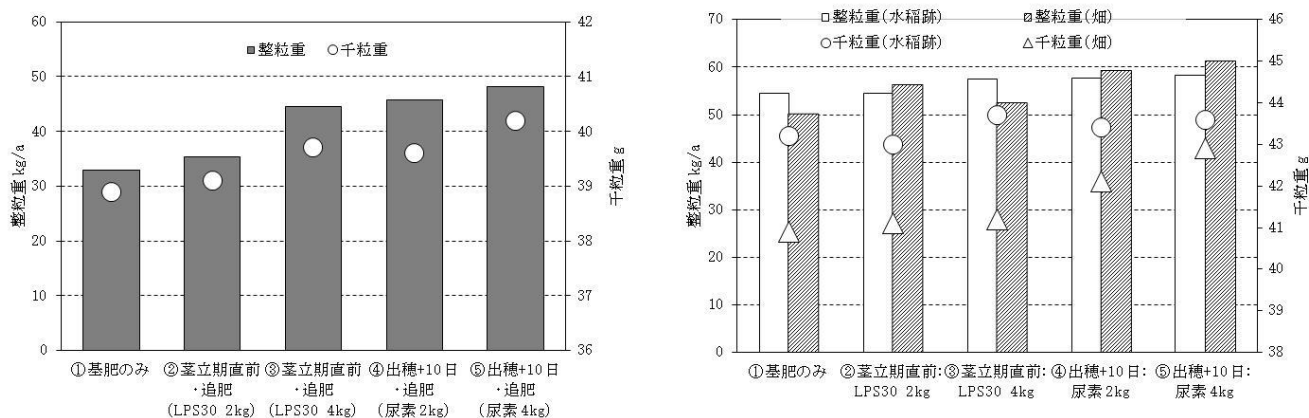


第 8 図 播種量が HQ10 の品質および収量に与える影響



第 9 図 異なる施肥体系が HQ10 の β-アミラーゼ活性に与える影響 (2013 年度)

注. 左図は場内における結果, 右図は試作現地圃場 (水稻跡および畑) における結果.



第 10 図 異なる施肥体系が HQ10 の粒大等を与える影響 (2013 年度)

注. 左図は場内における結果, 右図は試作現地圃場 (水稻跡および畑) における結果.

た. 2014 年度の試験では, β-アミラーゼ活性は, 有意ではないが増肥によって高くなる傾向が見られた. 増肥した 3 区では, タマイズミ専用・追肥なし区で最も高く, ビール麦エース・追肥あり区とビール麦エース+タマイズミ専用・追肥なしのブレンド区では同程度であったことから, 肥効調節型肥料を用いた場合においても, 出穂後の追肥と同様に β-アミラーゼ活

性向上の効果が確認できた. 粒大等に及ぼす影響は, ビール麦エース・追肥あり区とタマイズミ専用・追肥なし区では, 整粒歩合や千粒重が増加し, 粒大の改善効果が認められた. タマイズミ専用肥料は, 年によっては肥効が現れる時期が遅いことが予想されたので, 特性の異なる肥効調節型肥料 (ビール麦エースとタマイズミ専用) をブレンドすることで, 出穂

第10表 場内および現地圃場における施肥体系の違いがβ-アミラーゼ・収量等に及ぼす影響（2014年度）

		成熟期	倒伏	稈長	穂長	穂数	一穂粒数	不稈率	整粒重	千粒重	容積重	整粒歩合	外観品質	子実粗蛋白	SKCS硬度	β-アミラーゼ	比活性
		月/日		cm	cm	本/m ²		%	kg/a	g	g/L	%		%		Units/g	U/mg Prot
本場	施肥体系	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	**	n.s.	**	**	n.s.	n.s.
	①エース・追肥なし	5/23 a	0.0	87	6.0	627	26.1	0.5	41.4	39.2 b	727 b	90.4 c	4.9	9.9 c	73.0 b	4629	29.4
	②エース・追肥あり	5/26 b	0.0	88	6.1	624	25.9	0.6	42.9	41.1 a	745 a	95.9 a	4.8	12.6 a	79.1 a	5379	23.1
	③タマ専・追肥なし	5/26 b	0.0	89	6.0	661	26.2	1.3	47.0	40.9 a	748 a	94.8 a	4.7	11.5 ab	75.7 b	5694	31.0
	④ブレンド・追肥なし	5/25 ab	0.0	89	6.0	654	25.7	1.4	44.6	40.2 b	742 a	92.9 b	4.8	10.5 bc	74.9 b	4958	24.9
現地A (三鴨)	施肥体系	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	①エース・追肥なし	5/25	0.3	106 a	7.5	493	28.4	1.3	41.6	38.4	702	84.0	5.5	11.9	78.1	5166	34.9
	②エース・追肥あり	5/25	1.0	105 b	7.5	504	28.3	1.5	45.5	39.7	707	85.1	5.7	14.0	80.0	6448	36.2
	③タマ専・追肥なし	5/24	0.7	103 b	7.4	511	28.1	2.0	45.4	39.6	699	85.6	5.7	13.7	81.8	6566	48.2
	④ブレンド・追肥なし	5/24	0.7	102 b	7.3	557	28.4	2.1	43.2	39.8	702	83.6	5.6	12.9	82.8	6745	35.1
現地B (部屋)	施肥体系	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	①エース・追肥なし	5/29	2.5	104	7.6	692	28.4	1.9	31.0	38.1	686	73.5	5.7	12.9	83.0	6370	39.0
	②エース・追肥あり	5/29	3.5	103	7.4	711	28.6	2.6	33.6	39.2	692	77.2	5.8	13.9	85.3	7187	44.3
	③タマ専・追肥なし	5/29	2.5	102	7.5	696	28.9	3.4	39.6	39.3	700	78.9	5.8	15.2	87.5	7184	48.2
	④ブレンド・追肥なし	5/29	3.5	102	7.6	746	28.3	3.2	31.0	37.9	691	72.7	5.7	14.6	87.1	7179	50.0
施肥体系		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	**	n.s.	**	*	n.s.	n.s.
	①エース・追肥なし	5/25	0.8	98	7.0	593	27.5	1.2	38.9	38.6 b	707	83.8 c	5.3	11.4 b	77.4 b	5266	33.9
	②エース・追肥あり	5/27	1.3	98	7.0	601	27.5	1.5	41.5	40.1 a	718	87.2 ab	5.4	13.4 a	81.0 a	6232	33.3
	③タマ専・追肥なし	5/26	0.9	98	6.9	614	27.6	2.1	44.6	40.0 a	718	87.4 a	5.4	13.2 a	80.9 a	6393	41.7
	④ブレンド・追肥なし	5/26	1.1	97	6.9	640	27.4	2.1	40.7	39.5 ab	714	84.4 bc	5.3	12.4 ab	80.9 a	6184	33.3
圃場*施肥体系		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

注1. 子実重, 整粒重, 千粒重は水分12.5%換算. 整粒重, 整粒歩合は2.5mm以上.

2. **, *は1%, 5%水準で有意. n.s.:有意差無し. 表中の同一アルファベットの記述はTukeyの多重比較(P<0.05)で有意差がないことを示す.

3. β-アミラーゼ活性はMegazyme社のBETAMYL-3 METHODを一部改変して測定した. Protein含量は, Bradford法により測定した.

後に継続的に窒素成分が溶出し, 安定して追肥と同等の効果が得られることを期待して, ビール麦エース+タマイズミ専用・追肥なしのブレンド区を設けたが, タマイズミ専用区の方がβ-アミラーゼ活性や粒大改善に効果的であった.

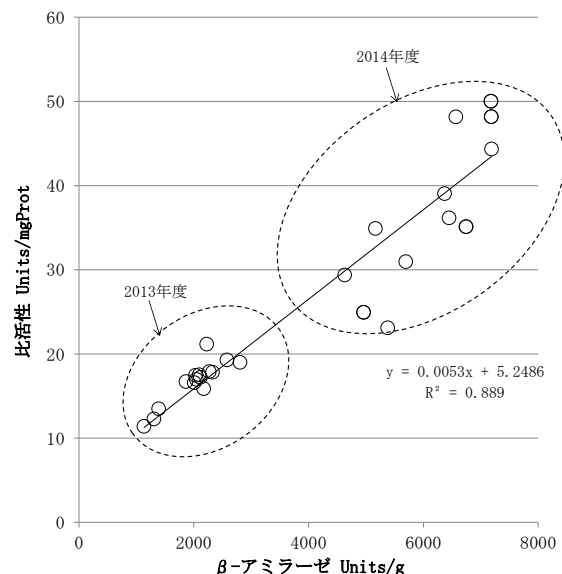
2か年の全試験地のβ-アミラーゼ活性と比活性(β-アミラーゼ活性 Units/タンパク含量 mg) の関係を第11図に示した. β-アミラーゼ活性の向上に伴い, 比活性も増加したことから, 追肥による窒素成分および肥効調節型肥料の窒素成分が効果的に酵素合成に寄与している可能性が示唆された.

IV 考 察

ビール醸造用二条大麦として育成されてきた HQ10 は, ビール原料用としては不適であったが, 極めて高いβ-アミラーゼ活性という特性により, 酵素原料用としての可能性があることから育成を再開した品種である.

本県の土地利用型基幹作物の二条大麦は, その多くがビール大麦として販売されているが, 2013年産より粗蛋白質含量が受入品質基準外の生産物はビール大麦として売れなくなり, 恒常的に子実粗蛋白質含量が高くなる産地では, 生産振興上大きな課題に直面してきている. このような産地に HQ10 を普及することで, 農家の経営安定を図るとともに実需者ニーズに応えることができると考え, HQ10 の酵素生産への利用の可能性を評価するとともに, HQ10 のもつ高い酵素活性をさらに向上させるための栽培法について検討した.

その結果, HQ10 は極めて高い酵素活性を有し, 原麦でも輸入麦芽と同等の酵素活性を有することから, 酵素生産での実用性が認められた. ビールや発泡酒の副原料として用いることにより, より多くの副原料の使用を可能とし, アミラーゼ添加剤の代わりにもなると考えられることから, ビール大麦の母本としても有望である. さらに, ビール大麦としては適さない高蛋白麦のほうが酵素活性が高くなることが経験的に知ら



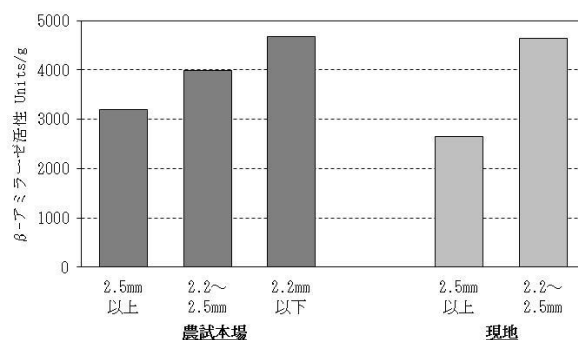
第11図 場内および現地におけるHQ10のβ-アミラーゼ活性と比活性の関係

れている。2013 年度の栽培試験の HQ10 の酵素活性を粒厚別に測定した結果を第 12 図に示した。この結果、2.2 mm の篩下の生産物のほうが酵素活性が高かったことから、篩下の生産物についても酵素原料としての利用が可能であると考えられる。

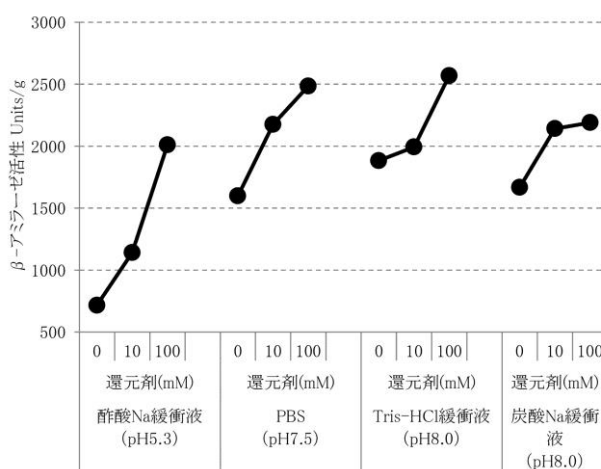
また、酵素活性をさらに向上させるための栽培法について検討した。その結果、播種量の違いによって、β-アミラーゼ活性および酵素活性に関わる子実粗蛋白質含量への影響はみられなかったが、千粒重は、播種量を少なくすると増加したことから、少播による粒大改善による収量向上の可能性が示唆された。加えて、HQ10 は出穂後の追肥により、さらに β-アミラーゼ活性が向上すること、タマイズミ専用などの肥効調節型肥料を用いた基肥一発の施肥体系によって、出穂後の追肥と同様に β-アミラーゼ活性の向上に効果があることから、酵素原料として利用する際には、HQ10 のもつ高い酵素活性を、これらの栽培法によってさらに向上させることも必要であると考えられる。ただし、第 8 図や第 11 図から示唆されるように、β-アミラーゼ活性は年次間差や試験地によっても活性に差が認められた。また、第 13 図に示したように、抽出方法により更なる酵素活性が向上することも明らかになりつつあることから、栽培法に加えてより効率的な抽出方法等についても検討する必要がある。

共同研究を行った酵素メーカー（天野エンザイム(株)）との契約に基づき、50 ha の HQ10 の試作栽培を行ってきたが、β-アミラーゼ精製・製造コストの面でさらなる削減が必要であることが明らかとなり、試作栽培は打ち切りとなった。今後、HQ10 の β-アミラーゼ活性が極めて高い特性を活かした新規需要を開拓していくことが求められる。さらに β-アミラーゼは、デンプンをマルトースに分解する酵素として、製糖・甘味料の合成、ビール製造、食品添加物（老化防止剤、デンプン分解）に用いられている。しかし、オオムギ由来の β-アミラーゼは、大豆由来や微生物由来の β-アミラーゼに比べて耐熱性が劣ることが知られている（天野エンザイム株式会社、2011）。

オオムギの耐熱性については、国内外で研究が進められており、これまでに 6000 を超えるオオムギの耐熱性の品種変異が評価され、A（高）、B（中）、C（低）の 3 型に大別されること、これらが地理的分布を示すことなどが報告されている（Kihara ら、1998）。加えて、A 型を越える高度耐熱性系統（スーパー A）が遺伝資源から見出されており、ビール醸造効率を著しく高めることが期待され、ビール醸造業界からも注目されている（Kihara ら、1998; Kaneko ら、2001; Whensheng ら、2004）。また、ヨーロッパやチベットにおける栽培種・野生種についても、β-アミラーゼ活性および耐熱性の品種変異やハプロタイプの分布などが報告されるとともに（Eglinton ら、1998;



第 12 図 HQ10 の粒厚別の β-アミラーゼ活性



第 13 図 異なる抽出条件における HQ10 の β-アミラーゼ活性

注. 4 種類の異なる pH・組成の抽出液に、還元剤(システイン塩酸塩)を 0,10,100mM 添加して測定。β-アミラーゼ活性は、Megazyme 社の β-amylase assay kit により測定。

Chiapparino ら、2006; Zhang ら、2014)、分子レベルでの解析も進められている（Kaneko ら、2000; Zhang ら、2007; Lukhanina, 2010; Vinje, 2010; Gong, 2013; Stratula, 2015）。

ビール醸造や食品添加物として、HQ10 をはじめオオムギ由来の β-アミラーゼを利用する場合、加熱加工後でも安定した高度耐熱性の β-アミラーゼが望まれるが、現在、大豆や微生物由来の β-アミラーゼに匹敵する耐熱性をもつオオムギ品種は育成されていないことから、当研究室においても、β-アミラーゼの耐熱性向上を目指した品種改良に取り組んでいる。HQ10 のもつ極高 β-アミラーゼ特性に加えて、β-アミラーゼの耐熱性向上によって、ビール醸造だけではなく食品利用への拡大、さらにはこれらの取り組みにより、二条大麦を活用した産業の活性化、本県大麦生産の新たな需要の拡大、本県フードバレーの推進への寄与、ひいては自給率の向上、利用の拡大がなされることを期待したい。

謝辞

特性検定試験では、次世代作物開発研究センター（作

物研究所), 山口県農林総合技術センター, 福岡県農林業総合試験場の関係者各位に多大なるご協力をいただいた。ここに厚く感謝の意を表す。また, 本品種育成にあたっては, 当試験場及び栃木農場技術員諸氏ならびにパート職員の皆様には多大な支援をいただいた。心より感謝申し上げます。

引用文献

- 天野エンザイム株式会社(2011) β -アミラーゼを利用した食品の改質方法(WO2011007404 A1)
- Chiapparino.E, P. Donini, J.Reeves, R.Tuberosa, D.M.O'Sullivan.(2006) Distribution of β -amylase I haplotypes among European cultivated barleys.Molecular Breeding 18-4:341-354
- Eglinton.J.K., P. Langridge, D. E. Evans.(1998) Thermostability variation in alleles of barley β -amylase. Journal of Cereal Science 28(3):301-309
- Gong.X., S. Westcott,X.Zhang, G. Yan, R. Lance, G. Zhang, D. Sun, C. Li.(2013)Discovery of novel Bmy1 alleles increasing β -amylase activity in Chinese landraces and Tibetan wild barley for improvement of malting quality via MAS. PLoS One 8(9):e72875
- 春山直人・大関美香・五月女敏範(2012) オオムギ縮萎縮病抵抗性遺伝子 rym3 の選抜に有効な DNA マーカー. 栃木県農業試験場研究成果集 30:65-66
- Hejgaard,J.B,Koie,K.E.Karlsson and A.Tallberg(1979) β -Amylase activity- A simple screening test in Hipoly barley breeding. Hereditas.90:145-147
- Hejgaard,J. and S.Boisen(1980) High-lysine proteins in Hipoly barleybreeding:Identification,nutritional significance and new screening methods. Hereditas.93:311-320
- Kaneko,T, M. Kihara and K.Ito.(2000) Genetic analysis of β -amylase thermostability to develop a DNA marker for malt fermentability improvement in barley, *Hordeum vulgare*. Plant Breeding 119(3):197-201
- Kaneko.T., W.S. Zhang, K. Ito, K. Takeda.(2001) Worldwide distribution of β -amylase thermostability in barley.Euphytica 121:223-228
- 加藤常夫・長嶺敬・糸川晃伸・山口恵美子・大野かおり・渡辺浩久・大関美香・関和孝博・渡邊修孝・谷口義則・山口昌宏・大塚勝・小田俊介・常見譲史・五月女敏範・加島典子・仲田聡・河田尚之・石川直幸・小玉雅晴・野沢清一・福田暎佐藤圭一・早乙女和彦・徳江紀子・宮川三郎・神永明(2006) 二条大麦新品種サチホゴールデンの育成(二条大麦農林 22 号)」。栃木農試研報 58:59-77.
- Kihara.M., T. Kaneko and K. Ito.(1998) Genetic variation of β -amylase thermostability among varieties of barley, *Hordeum vulgare* L., and relation to malting quality.Plant Breeding 117-5:425-428
- Lukhanina.N.V., M. G. Siniauskaya, I. M. Goloenko, O. G. Davydenko(2010)Identification of the barley accessions to serve as donors of thermostable β -amylase alleles.Russian Journal of Genetics 46(1):113-116
- 農業研究センター(1986) 醸造用大麦調査基準. 農業研究センター:1-74.
- 大関美香・五月女敏範・加藤常夫・渡邊浩久・糸川晃伸・長嶺敬・春山直人・関和孝博・山口昌宏・鈴木恵美子・大野かおり・沖山毅・高山敏之・渡邊修孝・谷口義則・大塚勝・小田俊介・常見譲史・飯田貴子・鈴木康夫・薄井雅夫(2013) ビール大麦(二条大麦)「アスカゴールデン」の育成. 栃木農試研報 71:1-25.
- 関和孝博・渡邊修孝・小田俊介・加藤常夫・長嶺敬(2004) 原麦全 β -アミラーゼ活性による高ジアスターゼ力系統選抜方法の開発.栃木農試研報 No53:16~24
- Stratula.O. R., R. N. Kalendar, Y. M.Sivolap(2015) Allelic variants of the gene bamy1 barley in Eastern European and Central Asian areas. Cytology and Genetics 49(2):80-89
- 栃木県農業試験場栃木分場 1998. 品種改良のためのビール麦品質検定法 第3版. 栃木県農業試験場 栃木:1-60.
- Vinje.M.A., S.H.Duke, C.A.Henson.(2010) Utilization of Different Bmy1 Intron III Alleles for Predicting β -Amylase Activity and Thermostability in Wild and Cultivated Barley. Plant Molecular Biology Reporter 28(3):491-501
- Wensheng Z, T.Kaneko and K.Takeda.(2004) β -amylase Variation in Wild Barley Accessions. Breeding Science 54: 41-49
- Zhang.W.S., X.Li, J.B.Liu.(2007) Genetic variation of Bmy1 alleles in barley (*Hordeum vulgare* L.) investigated by CAPS analysis.Theoretical and Applied Genetics 114(6):1039-1050
- Zhang.H., T. Chen, B. Zhang, De. Wu, Y. Huang, F. Wu, G. Zhang.(2014) Variation in β -amylase activity and thermostability in Tibetan annual wild and cultivated barley genotypes. Journal of Zhejiang University SCIENCE B 15(9):801-808