

二条大麦「スカイゴールデン」の溶け特性

関和孝博・大塚勝・常見讓史¹⁾・加島典子²⁾・小田俊介³⁾

摘要：栃木県農業試験場栃木分場で育成した大麦萎縮病Ⅰ～Ⅲ型抵抗性品種である「スカイゴールデン」の溶け特性を明らかにするため、製麦中における麦芽品質の経時的変化を解析するとともに、製麦時の浸漬度および発芽温度の変化による麦芽品質の変動を解析した。

スカイゴールデンはあまぎ二条、ほうしゅんに比べ、浸漬開始62から86時間後にかけて、エキス含有率と麦芽可溶性窒素含有率が急速に高まり、その値は製麦期間を通して他の2品種より常に高かった。スカイゴールデンの製麦中におけるβ-グルカンの分解速度は、あまぎ二条よりも速かったが、ほうしゅんと同程度であった。浸漬度を低く設定した場合、全ての品種においてエキス含有率と麦芽可溶性窒素含有率が低下し、麦汁β-グルカン濃度が高まり、麦芽品質が低下する傾向が見られたが、スカイゴールデンはその影響が最も小さかった。発芽温度を高く設定したときのエキス含有率と麦芽可溶性窒素含有率の低下割合はスカイゴールデンと他の品種は同程度であった。

以上のことから、スカイゴールデンはデンプンおよびタンパク質が他の品種よりも速くかつ多く溶ける品種であり、その特性は浸漬度を低く設定した場合でも同様であると判断された。

キーワード：スカイゴールデン, 製麦, 溶け

Distinctive Modification of Malting Barley "Sukai Golden"

Takahiro SEKIWA, Masaru OHTSUKA, Jouji TSUNEMI, Noriko KASHIMA, Shunsuke ODA

Summary : The effect of malting conditions, particularly moisture content and germination temperature, and temporal shifts during malting, on malt quality of "Sukai Golden" were investigated. The increase in the extract and soluble nitrogen for "Sukai Golden" approached its maximum rate between 62hr and 86hr after the start of steeping, and those values were higher than for "Amagi Nijyo" and "Houshun". The degradation rate of β-glucan for "Sukai Golden" was higher than that for "Amagi Nijyo" and the same as that for "Houshun". Under lower moisture conditions at steeping, a decrease in malt qualities was observed in all cultivars. Specifically, the lower the moisture during steeping, the lower the extract and soluble nitrogen, and the higher the content of wort β-glucan. However, the decrease in malt qualities for "Sukai Golden" seemed to be less than that for other cultivars. A reduction in malt qualities was also observed at higher germination temperatures. The decrease in malt quality for "Sukai Golden" at high temperatures was equivalent to the other cultivars. Our results indicate that the starch and protein modification of "Sukai Golden" was faster and more advanced than that of other cultivars.

Key words: Sukai Golden, malting, modification

1)現 栃木県農業振興公社派遣, 2)現 栃木県下都賀農業振興事務所, 3)現 農林水産省農林水産技術会議事務局

I 結 言

二条大麦原麦中のデンプンやタンパク質は巨大分子であるので、「製麦」や「糖化」により酵母が発酵に利用できるレベルにまで低分子化される。製麦は原麦中のデンプンやタンパク質等を分解する酵素群の合成や活性化を誘導させるために、原麦を発芽させ麦芽にする工程である。製麦工程は原麦に水を十分に含ませる「浸漬」、浸漬した原麦から葉芽や根芽を生長させ緑麦芽にする「発芽」、緑麦芽を加熱乾燥させ保存性の良い麦芽にする「焙燥」の3工程に分かれる。製麦中にデンプンやタンパク質分子はある程度低分子化されるが、さらに低分子化するために糖化が行われる。糖化は麦芽を粉砕し、水を加え加温することにより分解酵素を十分に作用させる工程である。糖化によってできたもろみをろ過することで麦汁が得られる。

製麦時に原麦中の貯蔵物質に起こる変化は「溶け (modification)」と表現される。「溶け」はデンプンや細胞壁多糖などの「炭水化物の溶け」と「タンパク質の溶け」に大別される。炭水化物の溶けの指標としては、麦汁の比重 (エキス含有率)、粘度、 β -グルカン濃度であり、タンパク質の溶けの指標としては、麦汁中の窒素濃度 (麦芽可溶性窒素含有率) がある。また、糖化前の麦芽全窒素あたりの麦芽可溶性窒素の割合を示す値であるコールバツハ数もタンパク質の溶けの程度を表す。ビール醸造用の品種としては、製品の歩留に直結する形質であるエキス含有率は高く、ろ過工程に支障をきたしビールの濁りの原因となる麦汁粘度や麦汁 β -グルカン濃度⁴⁾は、低いことが望まれている。一方、ビールの味や泡持ち等に関係する形質である麦芽可溶性窒素およびコールバツハ数²⁾については適正な範囲であることが求められている。つまり、溶けの特性としては炭水化物の溶けが進み、タンパク質の溶けが適正であることが望まれている。デンプン分解酵素力 (ジアスターゼ力) もその他の品質重要項目であり、その値は高いことが望まれている。これらの諸形質は環境要因による変動を大きく受けるものの遺伝的要因に支配されており¹⁰⁾、品種育成の際は一定の製麦条件で麦芽品質を分析評価し、系統選抜を行っている。

本県で育成した大麦縮萎縮病 I 型~III 型抵抗性品種である「スカイゴールデン」は、高品質品種として関東地域で広く栽培されているミカモゴールデンと比較してエキス含有率、ジアスターゼ力、麦芽可溶性窒素含有率およびコールバツハ数が高い¹²⁾。麦芽可溶性窒素含有率とコールバツハ数については実需者から高すぎるとの指摘が

あるが、現在スカイゴールデンほど高い品種は見あたらず、タンパク質の溶けに関する研究材料としても有用な品種である。しかしながら、これらの諸特性は一定の製麦条件下で評価したものにすぎない。一般に、品種によって製麦中の溶けの進み方が異なることや、製麦条件を変えることによって麦芽品質に受ける影響の大きさが異なること⁹⁾が知られている。製麦工場では品種に応じて麦芽品質が目的の数値になるように条件を調節しながら製麦を行っている。したがって、品種固有の溶けの特性を把握することは極めて重要である。

そこで、本研究ではスカイゴールデンの溶け特性を明らかにする目的で、製麦中における麦芽品質の経時的変化の解析と、製麦時における浸漬度や発芽温度の変化による溶け程度の変動の解析を行った。

II 試験方法

1. 試験材料

分析材料として平成10年度に栃木県農業試験場栃木分場内水田圃場 (細粒灰色低地土) で標準的な肥料水準で栽培されたスカイゴールデン (分析時は関東二条32号) を使用した。比較用の品種として標準品種であるあまぎ二条、高品質品種であるほうしゅん、ミカモゴールデンを用いた。また、参考のためビール会社から分譲を受けたビール原料用のカナダ産Harringtonを供試した。

2. 製麦方法

製麦中の麦芽品質の経時的変化を解析するため、スカイゴールデン、ほうしゅん、あまぎ二条の原麦60gを用いて製麦を行った。製麦条件は通常栃木分場で行う品種比較試験と同じ浸漬温度15℃、目標浸漬度41%、発芽温度15℃とした。試験の処理は浸漬開始から62, 86, 110, 134 (焙燥直前) 時間後に試料を採取した。採取後-80℃で凍結し、真空凍結乾燥処理を行い分析した。

製麦条件の変化による麦芽品質の変動を解析するため、スカイゴールデン、あまぎ二条、ミカモゴールデン、Harringtonの原麦250gを用いて製麦を行った。浸漬温度は通常より2℃高い17℃一定とした。製麦条件を第1表に示した。浸漬度の処理は通常設定の41%およびそれより低い38%、36%の3水準、発芽温度処理は通常よりも2℃以上高い17℃および19, 21℃の3水準を設けた。発芽日数は4日間とした。

3. 麦芽品質分析方法

麦芽品質分析は品種改良のためのビール麦品質検定法¹³⁾に従った。麦芽の溶けの指標となるフライアピリティーはANALYTICA-EBC¹¹⁾に準拠してフライアピリメーター (PFEUFFER FRIABIRIMETER) で測定した。

第1表 麦芽品質の変動を解析するための製麦条件

目標浸漬度	発芽温度		
	17℃	19℃	21℃
36%	○	○	○
38%	○	○	○
41%		○	○

注. ○の条件下で製麦を行った.

Ⅲ 試験結果

1. 製麦中の麦芽品質の経時的変化

浸漬度41%になるまでに要した吸水時間は3品種とも40時間程度とほぼ同じであった(データ略).

製麦中の麦芽品質の経時的変化を第1図に示した. スカイゴールデンのエキス含有率は浸漬開始62時間後では79.8%であり, あまぎ二条, ほうしゅんと同程度であったが, 浸漬開始86時間後では84.5%になり24時間のうちに4.7ポイント上昇した. それ以降はあまり上昇せず浸漬開始134時間後には85.2%となった. 一方, あまぎ二条, ほうしゅんのエキス含有率はスカイゴールデンのような製麦初期での急激な上昇は見られず浸漬開始62時間後から134時間後まで徐々に上昇した. 最終的にはスカイゴールデンほどは上らず各々83.8%, 83.0%であった.

麦芽全窒素含有率は, 製麦期間中ほぼ同じ値であった. 浸漬開始134時間後にはスカイゴールデン1.52%, あまぎ二条1.43%, ほうしゅん1.82%であった(データ略).

スカイゴールデンの麦芽可溶性窒素含有率はエキス含有率と同様に発芽初期に急速に高まった. 浸漬開始62時間後では, あまぎ二条, ほうしゅんとほぼ同じ0.46%であったが, 浸漬開始86時間後では0.82%になり, その上昇量は他の2品種のほぼ2倍であった. 浸漬開始86時間以降はスカイゴールデンとあまぎ二条の上昇量はわずかであった. ほうしゅんは86時間以降も徐々に上昇したがスカイゴールデンの値を超えることはなかった. 浸漬開始134時間後のスカイゴールデンの麦芽可溶性窒素含有率は0.84%であり, あまぎ二条より0.20ポイント, ほうしゅんより0.11ポイント高かった.

麦汁 β -グルカン濃度は浸漬開始62時間後ではスカイゴールデン302mg/l, あまぎ二条285mg/l, ほうしゅん291mg/lとほぼ同程度であった. 各品種とも最終的には50mg/l程度まで低下したが, 50mg/lになる時期はスカイゴールデンとほうしゅんでは浸漬開始110時間後であっ

たのに対して, あまぎ二条は134時間後だった. あまぎ二条の麦汁 β -グルカン濃度は他の2品種より常に高く推移した.

麦汁粘度は全ての品種で1.5mPa \cdot s程度で下限に達した. 1.5mPa \cdot sになるまでスカイゴールデン, ほうしゅんでは110時間, あまぎ二条は134時間要し, 麦汁 β -グルカン濃度が50mg/lまで低下するのに要した時間と同じであった.

ジアスターゼ力は浸漬開始62時間後ではスカイゴールデン154WK/TN, あまぎ二条が138WK/TN, ほうしゅんが143WK/TNと同程度であった. 3品種とも浸漬開始110時間または134時間後まで上昇し続けたが, スカイゴールデンの上昇量はあまぎ二条, ほうしゅんよりも多かった.

2. 製麦条件による麦芽品質の変動

製麦条件による麦芽品質の変動を第2図に示した. エキス含有率は浸漬度の下降, 発芽温度の上昇と共に低下する傾向にあり, 浸漬度を下げることによるエキス含有率の低下割合に品種間差異が見られた. 例えば発芽温度19℃の場合, 浸漬度が41%と36%のエキス含有率の差はあまぎ二条, Harringtonではそれぞれ1.9, 1.4ポイントと大きかったのに対し, スカイゴールデンでは0.5ポイント, ミカモゴールデンでは0.7ポイントであった. このことは, あまぎ二条やHarringtonに比べてスカイゴールデンやミカモゴールデンはエキス含有率に浸漬度の影響を受けにくいことを示している.

原麦の粗タンパク質含有率はスカイゴールデン9.9%, あまぎ二条9.0%, ミカモゴールデン9.1%, Harrington 10.7%であった. 麦芽全窒素含有率はそれぞれの原麦の粗タンパク質含有率とほぼ同じ傾向であり, 浸漬度, 発芽温度に関係なく, ほぼ一定であった(データ略).

麦芽可溶性窒素含有率はエキス含有率と同様に浸漬度の下降, 発芽温度の上昇によって低下する傾向があった. また, エキスと同様に浸漬度の下降による麦芽可溶性窒素含有率の低下割合に品種間差異が見られた. 発芽温度19℃の場合, 浸漬度が41%と36%における麦芽可溶性窒素含有率の差はミカモゴールデンは0.06ポイント, あまぎ二条は0.14ポイント, Harringtonは0.17ポイント, スカイゴールデンは0.02ポイントであり, エキス含有率と同様にスカイゴールデンは最も浸漬度の影響を受けにくいことがわかった. また, 全ての条件でスカイゴールデンの麦芽可溶性窒素含有率は他の3品種より高かった. 麦芽可溶性窒素含有率は原麦粗タンパク質含有率と相関関係が高かった. コールバッハ数で比較すると, スカイゴールデンは発芽温度が21℃の時にはミカモゴールデンの

コールパツハ数とはほぼ同じであったが、発芽温度が19°C、17°Cの条件ではミカモゴールデンよりタンパク質の溶けが進むことがわかった。

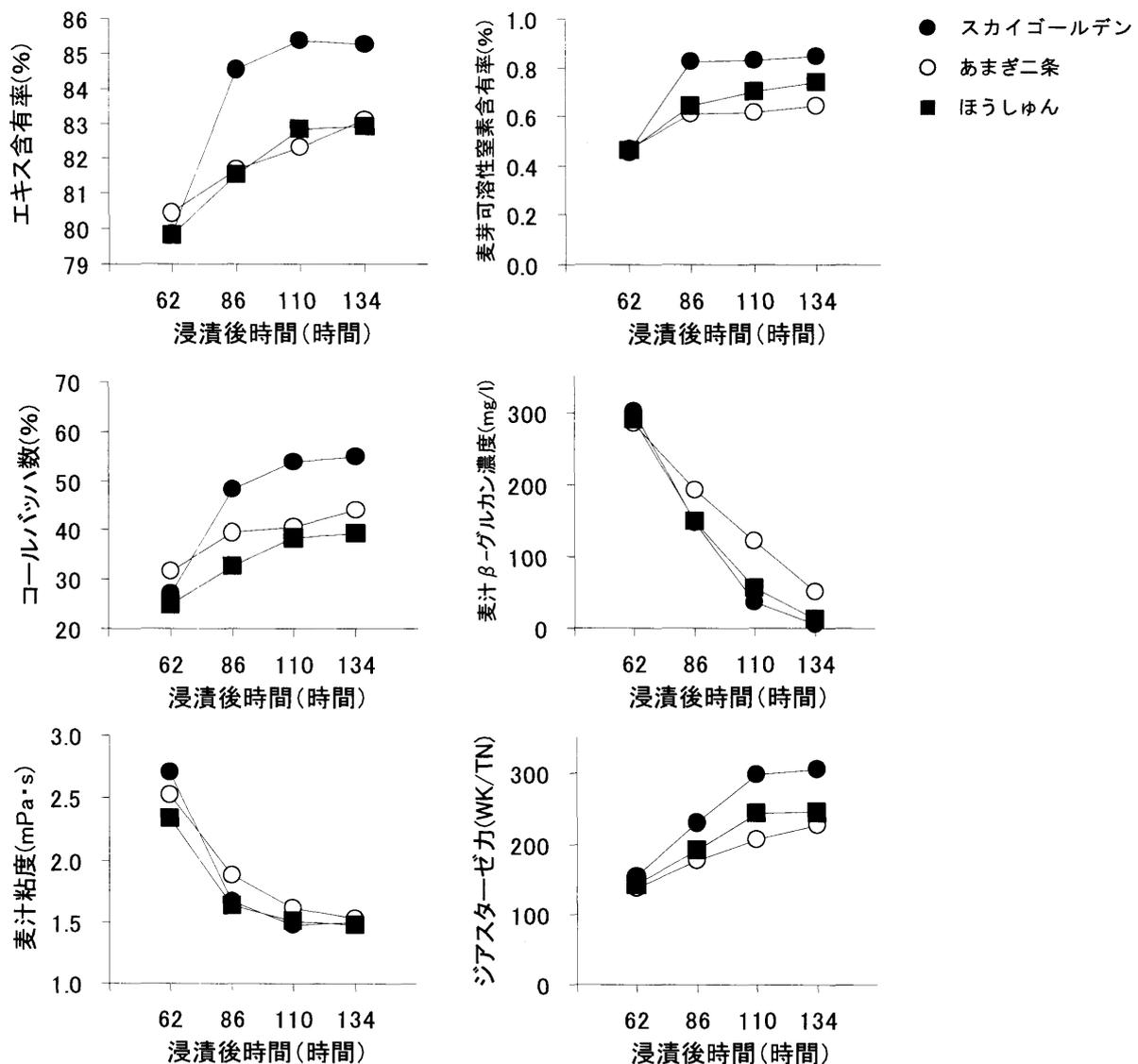
麦汁β-グルカン濃度は浸漬度の下降により高まり、発芽温度の上昇により低下する傾向にあった。発芽温度による品種間差は見られなかった、浸漬度による影響に品種間差異が見られ、発芽温度が19°Cの場合、浸漬度を41%から36%に下降することによりスカイゴールデンでは30mg/l、ミカモゴールデンでは88mg/l、あまぎ二条では154mg/l、Harringtonでは153mg/l上昇した。このことは、スカイゴールデンは麦汁β-グルカン濃度に浸漬度の影響を最も受けにくいことを示している。

麦汁粘度は麦汁β-グルカン濃度と同様に浸漬度を下げると高まる傾向が見られたが、発芽温度の変化による影響は特定できなかった。発芽温度が19°Cの時に浸漬度を41%から36%に下降させると麦汁粘度はスカイゴール

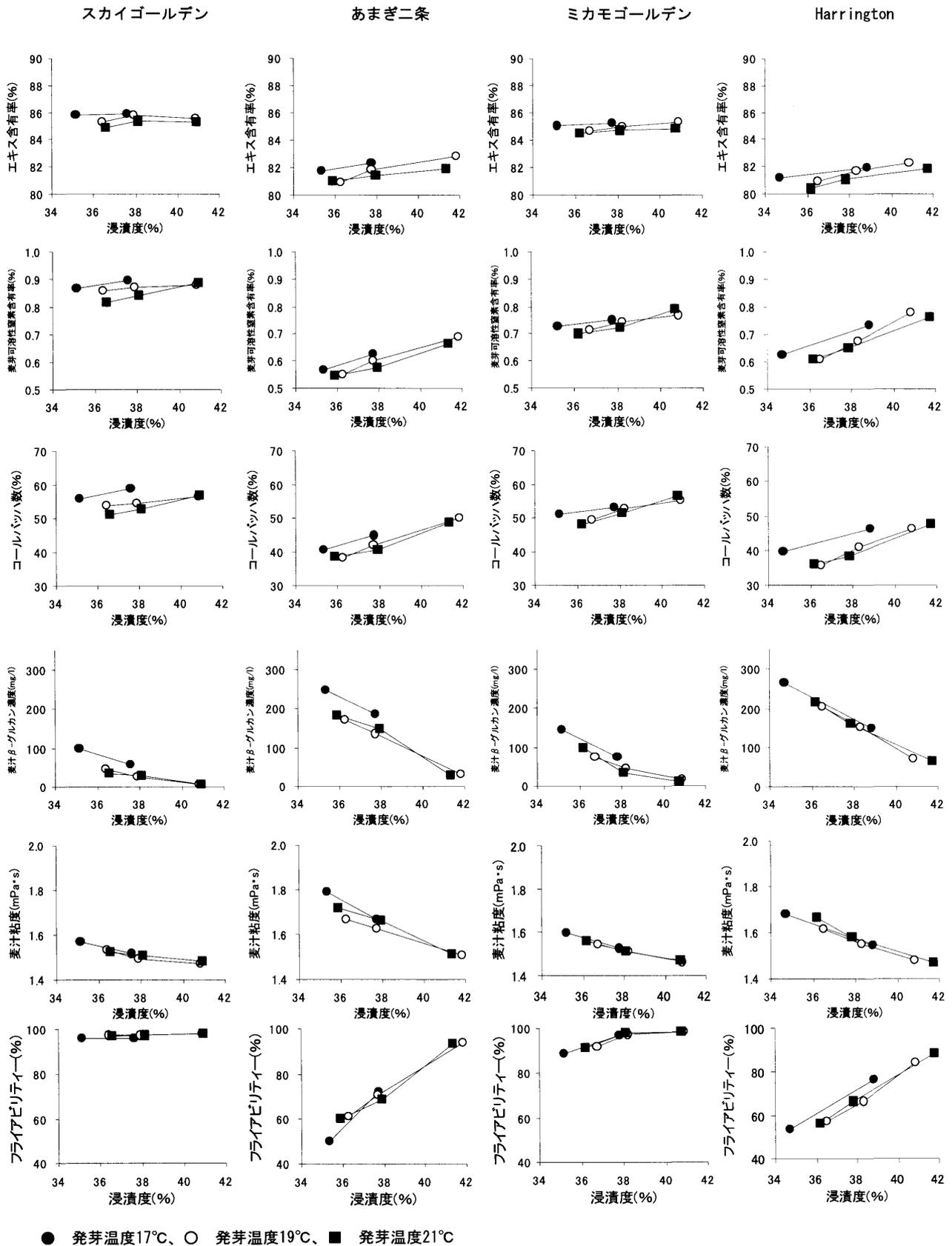
デンで0.06mPa・s、ミカモゴールデンで0.08mPa・s、あまぎ二条で0.16mPa・s、Harringtonで0.14mPa・s上昇し、麦汁β-グルカン濃度と同様スカイゴールデンは浸漬度の影響を最も受けにくいことがわかった。

フライアビリティーは浸漬度を下げると低下する傾向が見られたが、スカイゴールデンは全ての製麦条件で96%以上であった。一方、あまぎ二条、Harringtonでは浸漬度が41%の時でもスカイゴールデンほど高い値は得られなかった。ミカモゴールデンでは浸漬度が41%の時スカイゴールデン並みの値が得られたが、浸漬度を38%以下にすると低下した。フライアビリティーの発芽温度による変動は麦汁粘度と同様に小さかった。

ジアスターゼ力は浸漬度を下降させると低下する傾向にあったが、低下割合に品種間差異は見られなかった。また、発芽温度の変化による変動にも一定の傾向はなかった(データ略)。



第1図 製麦中の麦芽品質の経時的变化



第2図 製麦条件による麦芽品質の変動

IV 考察

浸漬度3水準、発芽温度3水準のいずれの場合においてもスカイゴールドはミカモゴールドに比べてエキス含有率は同等であり、可溶性窒素が高く、麦汁 β -グルカン濃度は同等もしくは低く、従来の特性¹²⁾が再確認された。浸漬度を下げることによってデンプンや β -グルカンなどの細胞壁多糖、タンパク質の溶けが抑制され⁹⁾、発芽温度を上げると、デンプンおよびタンパク質の溶けが抑制され、細胞壁多糖の溶けが促進すること⁹⁾が知られている。本試験においても供試された4品種共に浸漬度を下げることによってエキス含有率と麦芽可溶性窒素含有率は低下し、麦汁 β -グルカン濃度は高まった。また、発芽温度を上げることによって、エキス含有率、麦芽可溶性窒素含有率および麦汁 β -グルカン濃度は低下し、過去の報告⁹⁾と同様の傾向が見られた。

品種ごとに麦芽品質の変動を比較すると、発芽温度の上昇に伴う麦芽品質の変動には品種間差異が認められなかったが、浸漬度を下降させたときの麦芽品質の低下に品種間差異が認められた。つまり、スカイゴールドはあまぎ二条、ミカモゴールドおよびHarringtonに比べ、浸漬度を通常の41%から38%、36%と下降させたときのエキス含有率および麦芽可溶性窒素含有率の減少と麦汁 β -グルカン濃度の増加割合が小さく、品質低下が最小限にとどまった。このことは溶けを抑制する製麦条件においてもスカイゴールドは品種本来の特性を十分にあらわしているといえる。しかし、麦芽可溶性窒素含有率については適正な範囲を越えることがあるため、今後の育種目標としてはタンパク質の溶けが進みすぎない品種を育成する必要があると考えられる。スカイゴールドはあまぎ二条およびほうしゅんに比べ、製麦の比較的初期に急速にエキス含有率および麦芽可溶性窒素含有率が高まり最終的な値も高かった。 β -グルカンの分解も比較的早く進んだが、エキス含有率および麦芽可溶性窒素含有率が急速に高くなる時期の分解は不十分であった。デンプン、タンパク質および細胞壁多糖がバランスよく溶けるためには、細胞壁多糖の分解に関してさらに改善する必要があると考えられた。

本研究の結果はスカイゴールドの溶け特性の本質的な要因について明確にすることはできないが、いくつかの可能性を示唆することはできる。スカイゴールドのデンプンおよびタンパク質の溶けが他の品種と比較して早く進むことや浸漬度の下降による溶けの抑制程度が小さいことから、デンプンおよび種子貯蔵タンパク質、およびそれらを分解する酵素群にも質的な違いがあること

が推察される。デンプンに関しては、側鎖の分岐密度が粗であれば α -アミラーゼの作用を受けやすく分解率が高まる⁸⁾し、リミットデキストリナーゼや α -グルコシダーゼもデンプン分解に寄与する^{7, 11)}といわれている。また、種子貯蔵タンパク質であるホルデインのうち、ホルデインDはホルデインBやCに比べて製麦の早期に分解されること¹⁰⁾や大麦中のプロテアーゼにはその種類と活性に品種間差異があること⁶⁾が知られている。したがって、スカイゴールドの種子中の成分は分解されやすいデンプン構造や種子貯蔵タンパク質の組成であり、また分解性の高いアミラーゼ類やプロテアーゼが多く含まれている可能性がある。大麦種子中の β -グルカンは製麦中に β -グルカナーゼによって分解され、その活性は製麦中の β -グルカンの分解程度に大きく影響する³⁾。スカイゴールドは細胞壁多糖の溶けが他の品種に比べて比較的早く進んだことから β -グルカナーゼ活性が高いと推測される。

スカイゴールドの溶け特性を支配する要因を解明するためには、デンプン、タンパク質、細胞壁多糖の種子成分とそれらの分解酵素について研究を進める必要がある。それによって、種子貯蔵タンパク質の溶けが適正な品種を育成するための重要な情報を得られるだろう。

謝辞

最後に、本稿を執筆するにあたって種々の助言をくださった谷口義則室長、加藤常夫主任研究員、品質分析において多大なる協力をいただいた星野洋子主任技術員に心から感謝します。

引用文献

1. European Brewery Convention ANALYTICA-EBC (1998)
2. 福嶋禎久 (2000) シリーズ・醸造の基本技術 大麦・麦芽(2) 日本醸造協会誌 95(7): 485-493
3. 石川直幸ら (1998) 高品質ビール大麦育成のための β -グルカン簡易分析法(Congo Red法)の改良 栃木農試研報47: 57-64.
4. Jacson G. and Bamforth C. W. (1983) Anomalous haze readings due to β -glucan. J. Inst. Brew. 89: 155-156.
5. John G. S., Bryce K.L., Erica T, and Anthony T. F. (1993) Relationship among wort β -glucan, malting conditions, and malt analysis. J. Am. Soc. Brew. Chem. 51(3): 88-93.
6. 木原ら (2000) オオムギプロテアーゼに関する

- る育種学的研究1. オオムギ麦芽中プロテアーゼに見られる品種間差異 育研2(別2): 155.
7. Maeda I. and Nikuni Z. (1978) Purification of a debranching enzyme (R-enzyme) from malted barley, and the role of the enzyme in the digestion of starch granules during the germination of barley seeds. *Carbohydrate Res.* 61: 309-320.
 8. Manners D. J. (1985) *Biochemistry of storage carbohydrates in green plants* 149-203.
 9. 宮地秀夫 (1999) 「ビール醸造技術」
 10. 佐々木昭博ら (1992) データー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.
 11. Sun Z. and Henson C. A. (1990) Degradation of native starch granules by barley α -glucosidases. *Plant. Physiol.* 58: 380-386.
 12. 谷口義則ら (2001) 二条大麦新品種「スカイゴールデン」の育成 栃木農試研報50: 1-18.
 13. 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)」
 14. Walter W., Wilhelm P., and Angelika G. (1992) Qualitative and quantitative changes in barley seed protein patterns during the malting process analyzed by sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis with respect to malting quality. *Electrophoresis* 13: 787-797.

