米の浸漬におけるデンプン分解酵素の活性と品種および産地間での差異

誌名	日本食品科学工学会誌 : Nippon shokuhin kagaku kogaku kaishi = Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology
ISSN	1341027X
著者名	岸尾,昌子 青柳,康夫
発行元	日本食品科学工学会
巻/号	61巻6号
巻号補足	
掲載ページ	p. 232-243
発行年月	2014年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, **61** (6), 232–243, 2014
Copyright© 2014, Japanese Society for Food Science and Technology
doi : 10.3136/nskkk.61.232

http://www.jsfst.or.jp

報　文

米の浸漬におけるデンプン分解酵素の活性と品種および産地間での差異

岸尾昌子*，青柳康夫

女子栄養大学大学院栄養学研究科

Cultivar- and Region-specific Differences in the Starch-Degrading Enzymes Produced During Rice Soaking

Shoko Kishio* and Yasuo Aoyagi

Kagawa Nutrition University, 3-9-21 Chiyoda, Sakado-shi, Saitama 350-0288

Six common Japanese cultivars of ordinary (non-glutinous) rice (*Oryza sativa* subsp. *japonica*), namely Koshihikari, Hitomebore, Akitakomachi, Kinuhikari, Nipponbare and Hinohikari, were obtained from public agricultural experiment stations to investigate the production of reducing sugars during rice soaking, as well as related starch-degrading enzyme activities. Polished rice samples were ground to make rice flour consisting of 13% outer endosperm and 87% inner endosperm. Samples were soaked in water, and the amount of reducing sugars formed was then measured using the Somogyi-Nelson method. α-Glucosidase, α-amylase, and β-amylase activities for all samples were also measured. As a result, significant differences in the production of reducing sugars were found among cultivars. This research also suggested the possibility of region-dependent differences in the generation of reducing sugars. As for enzyme activities, α-glucosidase contributed the most to reducing sugar levels in all cultivars. The enzyme contributing the second most differed depending on the cultivar. Within the inner rice endosperm, which showed the greatest influence on reducing sugar formation, the top two enzymes contributed to reducing sugar formation nearly equally. Enzyme activities showed differing characteristics depending on the cultivar, suggesting the existence of cultivar-dependent differences in the formation of reducing sugars.

(Received Nov. 12, 2013 ; Accepted Mar. 7, 2014)

Keywords : rice, reducing sugar, α-glucosidase, α-amylase, β-amylase

キーワード : 米，還元糖，αグルコシターゼ，αアミラーゼ，βアミラーゼ

炊飯した米のおいしさについては，日本穀物検定協会の官能評価に基づく食味ランキングが知られ，例年発表される特Ａおよびａの上位ランクの産地と品種が良食味とされる[i]．食味に関係する理化学特性として，米飯のテクスチャー，糊化特性，タンパク質含有量，アミロース含有量などが報告され[1]，従来はそれらを指標に，良食味とされる各種の新形質米が開発されてきた[2)3)]．近年では理化学特性に関わるDNAを指標に食味の推定と品種改良を行う方法が報告され[4)5)]，分子生物学的手法から新品種の開発が試みられている．

米の食味に影響する最大の因子は品種であるとされる[6]．しかし，同じ品種の中でも現実には呈味が異なることがあり，たとえば全国で栽培されるコシヒカリは，同一品種でも特Ａランクの評価が多いのは北日本の産地である[ii]．官能評価に対して今まで言われてきた理化学特性上の要素以外に食味に影響する要素があるのではないかと考えられる．

精米粉の遊離糖は，主要糖組成がスクロース，マルトース，グルコースの順で共通しており，なかでもコシヒカリの遊離糖総量が高いことが報告されている[7]．炊飯における食味と浸漬との関係については，浸漬時間，浸漬温度，沸騰するまでの昇温時間が増えるほど白飯の還元糖量や遊離アミノ酸量が増加すると報告されている[8)~10)]．国内の主要なウルチ米14品種の炊飯後の主要な還元糖として，グルコース，フルクトース，マルトース，マルトトリオースが挙げられ，食味評価に対してグルコースは総合評価，味，粘りと正の相関を示し，フルクトースは総合評価と味，マルトース＋マルトトリオースは香りと正の相関がみられたことが報告されている[11]．また，マルトオリゴ糖は，炊飯米の呈味成分として関与する可能性があり[12)~14)]，コシヒカ

〒350-0288 埼玉県坂戸市千代田3-9-21

*連絡先 (Corresponding author)，shoko@mars.dti.ne.jp

リ，あきたこまちといった良食味米では炊飯後にマルトース，マルトトリオース，マルトテトラオースが多く含まれ，また，浸漬時間が長く，浸漬温度が高いほど，炊飯後に多量のオリゴ糖が存在することが報告されている[15]．これらのことより，炊飯米の食味指標として還元糖の重要性が考えられる．

調理時の還元糖の増加には，浸漬，昇温を通じて米粒中に存在する酵素類による反応が貢献することが知られている[16)~18)]．グルコースやマルトオリゴ糖を生成するα-アミラーゼ，マルトースを生成するβ-アミラーゼ，グルコースを生成するα-グルコシダーゼ，デンプンのα-1,6結合を切るプルラナーゼ等の酵素が関係すること[19)~21)]，それらの米粒内在性酵素の活性には品種間差があること[22)~24)]，また，日本晴はβ-アミラーゼの欠損した品種であることが報告されている[25)]．

炊飯過程においては，コシヒカリは60℃浸漬のときに糖類の分解が盛んになり，還元糖，特にグルコースの生成が顕著に起こること[26)]，これらの加水分解酵素の挙動は異なる品種の炊飯過程においてもコシヒカリと類似することが報告されている[27)]．

浸漬のみによる米粒および浸漬液の還元糖増加量は，浸漬を含む炊飯による総増加量の22％であり，昇温開始後40℃から60℃の間に還元糖が著しく増加すると報告されている[10)]．これについてAwazuharaらは精米コシヒカリの外層13％に当たる胚乳外縁部と内層87％に当たる胚乳中心部では還元糖生成酵素の温度依存性が異なり，至適温度はそれぞれ40℃，60℃付近にあること，またそれに関与する主要なデンプン分解酵素の分布も異なり，前者ではα-グルコシダーゼⅢ，α-アミラーゼG，β-アミラーゼ，後者ではα-グルコシダーゼⅠ，Ⅱ，α-アミラーゼAが強く関係しており，還元糖の生成には胚乳中心部の活性のほうが大きく貢献することを報告している[28)]．

また，露久保[26)]は，米粒内のデンプン分解酵素の局在性について調査し，コシヒカリ玄米種子を100-90，90-80，80-70，70-0％に4分画した場合，α-グルコシダーゼは外層・内層ともに分布し，中でも70-0％画分すなわち胚乳中心部に多く含まれること，また，α-アミラーゼⅠは90-80％画分すなわち胚乳外縁部に多く存在し，至適温度は70℃であること，α-アミラーゼⅡ-4は100-80％画分すなわち糠層と胚乳外縁部に多く存在し，至適温度は37℃であること，β-アミラーゼは米粒全体に存在することを報告している．さらにこれらの酵素の局在を異なる品種においても調査し，日本晴のα-グルコシダーゼは胚乳中心部ほど多く，胚乳外縁部に少ない点でコシヒカリと共通だが，その分布割合は異なること，β-アミラーゼはどの画分にも存在しないことを報告している．

これらのことより，品種間のデンプン分解酵素の活性と分布の差により，炊いたご飯の甘味に関係する要素に違いが生まれることが考えられた．甘味を生成する炊飯の全過程のうち，還元糖の生成には40～60℃の浸漬温度が最も寄与すること[10)]，また，食味値の高い品種ほどオリゴ糖量が高く，食味と糖量に関係があると推察されていること[14)]から，著者らは浸漬時における還元糖生成能が米の呈味にどのように関わるかに着目して検討することとした．すなわち，還元糖生成量に品種ごとの違いはあるか，同じ品種で異なる産地の間に還元糖生成能の違いがあるか等と食味の関わりを調べることとした．またこの目的のため，還元糖生成量とその生成に関わる酵素の態様についても調査することとした．なお，還元糖量について，単一品種もしくは複数の品種の試料米を炊飯してその変動を調べた先行研究はいくつか存在するが，浸漬時のみに焦点を絞り，生産地と栽培方法が明かな試料で，米粒の部位別の還元糖生成量と酵素活性について品種間および産地間の比較を行った報告は見あたらないようである．

そこでまず，数品種の精米を選び，胚乳中心部と外縁部に分け，それぞれの遊離糖の組成と浸漬による変動が品種によって異なるかを検討した．この実験により，品種間に違いが認められたため，各地の公的農業試験場より出自の明らかないくつかの品種の米を収集し，浸漬による還元糖生成能の違いとそれらに関係する酵素活性の比較を行った．

実験方法

1. 材料

(1) 遊離糖の組成と浸漬によるその変動に関する実験の試料

2004年（平成16年）産の玄米を個別の生産者から5品種各6サンプル計30試料集めた．あきたこまちは秋田県内の農業協同組合，きらら397は北海道内の米穀商，イセヒカリは山口県内の生産農家より直接，日本晴は滋賀県内の農業協同組合，コシヒカリは福島，新潟，茨城，栃木，千葉各県の生産農家，農業協同組合および米穀商を通じて収集した．

(2) 還元糖生成能と関連の酵素活性の比較に用いた試料

全国の18地域の公的農業試験場より，標準栽培された2008年（平成20年）産の6品種すなわちコシヒカリ，ひとめぼれ，あきたこまち，キヌヒカリ，日本晴，ヒノヒカリの計66試料を玄米で収集した．それぞれの産地と品種を表1に示した．

2. 試料の調製

Awazuharaら[28)]の方法にならい，すべての試料は玄米を精米機（サタケ，家庭用精米機 マジックミル RSKM5B [1]）を用いて歩留まり90％に搗精し，白米全粒とした．ついでそれを同精米機によりさらに13％削って胚乳外縁部とし，残り87％を胚乳中心部とした．胚乳外縁部，胚乳中心部それぞれを粉砕（大阪ケミカル[株]，WONDER

表 1　還元糖生成能と酵素活性の実験に用いた試料の品種と産地

産地	コシヒカリ	ひとめぼれ	あきたこまち	キヌヒカリ	日本晴	ヒノヒカリ
宮城	◎	◎	◎			
秋田1			○			
秋田2	◎	◎	◎			
山形1	◎	◎	◎			
山形2	◎	◎	◎			
新潟	◎	◎	◎	○	○	
福島	◎	◎	◎			
茨城	◎	◎	◎	○	○	○
福井	◎	◎	◎	○		
三重	◎	◎	◎	○		
兵庫	○			○	○	○
岡山	○				○	○
広島	◎	◎	◎	○	○	○
島根	○					○
高知	○				○	○
福岡	○			○	○	○
宮崎	◎	◎	◎		○	○
鹿児島	◎	◎	◎		○	

(◎は共通品種の産地間における還元糖生成能の比較にも用いた3品種12産地)

CRUSH/MILL) 後，篩別 (Mesh50) したものを試料として用いた．

3.　遊離糖の組成と浸漬による変動

1. の (1) 記載の5品種の米の胚乳中心部・外縁部における遊離糖組成と浸漬によるその変動を検討した．

(1) 試料抽出液の調製

試料0.5gを精秤し，浸漬しなかったものについては70%エタノールを加えてホモジナイズし，減圧濾過して濾液を得た．さらに2回70%エタノールで抽出を繰り返し，濾液を合わせて抽出液とした．浸漬したものについては，あらかじめ40℃，60℃に調整した水10mlに投入し，そのまま保温して1時間浸漬した．浸漬後，それぞれにエタノールを終濃度70%になるように加えて酵素反応を停止し，減圧濾過して濾液を得た．さらに2回70%エタノールで抽出を繰り返し，濾液を合わせて抽出液とした．

陽イオン交換樹脂 (Amberlite IR-120 [H^+型] オルガノ株式会社) を充填したガラスカラム (内径2.1cm×13cm) と，陰イオン交換樹脂 (Amberlite IR-45 [OH^-型] オルガノ株式会社) を充填したカラム (内径2.1cm×13cm) を連結させ，抽出液を流し，これに水100mlを流して非吸着部分を集めた．これをロータリーエバポレーターを用いて蒸発乾固し，アセトニトリル・水混液 (3：2) を用いて5mlに定容した．メンブランフィルター (PTFE 0.20μm　東洋濾紙株式会社) を用いて濾過し，HPLC分析に供した．

(2) HPLCによる遊離糖組成の分析

糖分析は蛍光検出器を用い，ポストカラムラベル法で行った．HPLCの条件は次の2通りである．①移動相：アセトニトリル・水混液 (3：1)，流速：0.6ml/min，反応液：50mM塩酸グアニジン・1.5mM $NaIO_4$・0.1M H_3BO_2 溶液 (pH10.5)，流速：0.2ml/min，反応槽：150℃ (CRB-6A Chemical Reaction Oven 島津製作所)，カラム温度：40℃，カラム：東ソー Tskgel Amide-80 (4.6mm×250mm)，検出：励起波長325nm　蛍光波長420nm (RF-10A Fluorescence Deterctor 島津製作所)，ポンプ：LC-10AT VP (島津製作所) ②移動相：アセトニトリル・水混液 (3：2)，流速：0.6ml/min 他の条件は①と同一である．

4.　浸漬による還元糖生成能と関連酵素の活性

1. の (2) 記載の6品種の米の胚乳中心部および外縁部の還元糖生成能と関連酵素活性が，その品種および産地と関連があるか検討した．

(1) 還元糖量の測定

試料0.5gと，あらかじめ20℃，40℃，60℃に調整した水30mlを試験管に入れ，十分に混和した後各温度の恒温水槽内で浸水を行った．1時間浸漬の後，試料混合物の上清をメンブランフィルター (ポアサイズ0.20μm，0.80μm) で濾過して試料溶液とし，ソモギー・ネルソン法で測定を行った．

(2) グルコース量の測定

試料0.5gと，あらかじめ60℃に調整した水30mlを試験管に入れ，十分に混和した後，60℃の恒温水槽内で浸水を行った．1時間浸漬の後，試料混合物の上清をメンブランフィルター (ポアサイズ0.80μm) で濾過して試料溶液とし，ムタロターゼ・グルコースオキシダーゼ法 (グルコースCII テストワコー，和光純薬工業製) における指定試薬でただちに反応を止め，グルコース総量を分析した．

(3) 酵素活性の測定

a) α-アミラーゼ活性

Megazyme 社製測定キットを用いて行った．試料 3 g に抽出緩衝液（Buffer A）20 ml を加え，攪拌（40℃，15 分）し，遠心分離（1000 g，10 分）を行い，上清を抽出液とした．抽出液 0.2 ml を基質ブロックパラニトロフェニルマルトヘプタオサイド（BPNPG7）0.2 ml に加え，20℃，40℃，60℃の各温度で 20 分間反応後，反応停止液を加えてそれぞれ 400 nm の吸光度を測定した．活性は各温度で 1 分間に 1 μmol のパラニトロフェノールを BPNPG7 から遊離する値を 1Unit（Ceralpha Unit）として表した．

b) β-アミラーゼ活性

Megazyme 社製測定キットを用いて行った．試料 0.5 g に抽出緩衝液（Tris/HCl buffer，pH 8.0）5 ml を加え，室温で 1 時間放置後，遠心分離（2000 g，10 分）を行い，上清を希釈用緩衝液（MES 緩衝液 ＋EDTA2Na＋ ウシ血清アルブミン）で 20 倍に希釈し，抽出液とした．抽出液 0.2 ml と基質 Betamyl（パラニトロフェニル マルトトリオース；PNPG3）を 20℃，40℃，60℃の各温度で 10 分間反応後，反応停止液を加えてそれぞれ 400 nm の吸光度を測定した．活性は各温度で 1 分間に 1 μmol のパラニトロフェノールを PNPG3 から遊離する値を 1Unit（Betamyl-3 Unit）として表した．

c) α-グルコシダーゼ活性

粗酵素抽出液の作成は，試料 2 g に 0.05 M 酢酸緩衝液（pH 6.0）10 ml を加え，攪拌後，4℃，2 時間放置し，遠心分離（0℃，13000 rpm，30 分）した．その上清 50 ml を透析膜に入れ，0.05 M 酢酸緩衝液に対して透析（4℃，24 時間）を行い，これを粗酵素抽出液とした．

α-グルコシダーゼの温度依存性は，100 μL の反応混合液（10％麦芽糖溶液 20 μL，0.2 M 酢酸緩衝液 20 μL〔pH 5.0〕，各粗酵素抽出液 50 μL，蒸留水 10 μL）を試験管に入れ，20℃，40℃，60℃の各温度で 30 分間反応させた．ムタロターゼ・グルコースオキシダーゼ法（グルコース CⅡテストワコー，和光純薬工業製）における指定試薬でただちに反応を止め，それぞれのグルコース総量を分析した．

5. 統計処理

本報告の還元糖生成能とグルコース量および酵素活性の各測定値について品種間，産地間の有意差検定と相関分析を行い，さらに重回帰分析を用いて還元糖生成能の品種間比較を行った．統計処理は Microsoft Excel を用いた．

実験結果および考察

1. 遊離糖の組成と浸漬による変動

精白米 5 品種の胚乳中心部および外縁部の遊離糖組成と浸漬によるその変動の結果を表 2 に示した．データは各品種 6 試料の平均値とした．浸漬しないときの遊離糖は，各品種とも胚乳外縁部のスクロース量が多かった．5 品種間のスクロース量はきらら 397，イセヒカリ，コシヒカリに多く，日本晴とあきたこまちには少なかった．グルコース，フルクトースは，浸漬しないときの胚乳中心部と外縁部いずれにも少量存在した．またマルトースはすべての品種で胚乳中心部・外縁部ともに検出限界以下の値だった．胚乳外縁部では，40℃での浸漬において，きらら 397，イセヒカリ，コシヒカリでマルトース生成量が多く，あきたこまちと日本晴は少なかった．また，日本晴の胚乳外縁部のマルトース生成量は，40℃ 1 時間浸漬で生成量が最も多かった他の 4 品種と異なり，60℃ 1 時間浸漬の生成量が最も多かった．しかし日本晴の胚乳中心部のマルトース生成量は，60℃浸漬のマルトース生成量が最も多かった他の 4 品種と異なり，40℃浸漬での生成量が最も多かった．胚乳中心部は，60℃での浸漬において，いずれの品種でもグルコースが顕著に生成された．ただし品種によって生成量に違いがあり，あきたこまち，コシヒカリ，きらら 397 のグルコース量は多く，イセヒカリ，日本晴は少なかった．

これらは，米の胚乳中心部には，さまざまな品種に共通して 60℃で活性の高い α-グルコシダーゼが存在していることを示唆するものである．またこれは露久保[26]，馬橋ら[27]，Awazuhara ら[28] の先行研究における考察とも一致していた．胚乳外縁部では，40℃で活性の高い種々のアミラーゼがオリゴ糖生成の中心となっていることが推察され，特に，いくつかの品種ではマルトースが増加することから，丸山ら[16][17] の報告にある，炊飯時に耐熱安定性を示す β-アミラーゼの存在と，品種によるその活性の違いが考えられた．

以上のことから，品種によって α-グルコシダーゼ，α-アミラーゼ，β-アミラーゼ等の分布や活性強度が異なり，そのため浸漬による還元糖生成量の差が出てくる可能性が示唆された．

Awazuhara ら[28] は，胚乳中心部で浸漬中に多くのグルコースを生成する品種は，甘味があり良食味を期待できることから，これを食味判定の一つの指標とできるのではないかと考察している．しかし，今回の実験では良食味米とされるコシヒカリの試料においてグルコース量のばらつきが大きく，栽培条件も一定に揃えられなかったため，指標としての有効性は確認できなかった．また，同じく良食味米とされるあきたこまちにおいて，胚乳外縁部のマルトースとマルトオリゴ糖の生成量はコシヒカリとくらべて少ないという違いがあったことから，それぞれの詳しい食味の特徴を知るには，胚乳外縁部にどのような糖が生成するかについての考慮も必要ではないかと考えられた．

そこで，代表的なジャポニカ種の米 6 品種について，各地の公的農業試験場において標準的な条件で栽培された試料を揃え，浸漬時における還元糖生成量の品種間差および産地間差を検討し，その生成に関わる酵素の態様を調べた．

2. 温度を変えて浸漬した精白米の，還元糖生成能の品種間差

浸漬 1 時間後における胚乳中心部の品種別還元糖生成量

表 2　5品種の米の胚乳中心部・外縁部の遊離糖組成と浸漬によるその変動　(mg/g 米)

			グルコース	フルクトース	スクロース	マルトース	マルトトリオース	マルトテトラオース	マルトペンタオース	マルトヘキサオース
胚乳中心部	コシヒカリ	浸漬なし	0.18	0.04	0.84	0.00	0.04	0.02	0.01	0.01
		40℃浸漬1時間	1.05	0.06	0.75	0.09	0.08	0.05	0.03	0.03
		60℃浸漬1時間	5.71	0.09	0.68	0.35	0.17	0.19	0.18	0.15
	イセヒカリ	浸漬なし	0.16	0.04	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		40℃浸漬1時間	1.11	0.06	0.47	0.07	0.04	0.02	0.02	0.03
		60℃浸漬1時間	3.94	0.03	0.41	0.09	0.04	0.05	0.04	0.04
	きらら397	浸漬なし	0.22	0.07	1.35	0.00	1.01	0.00	0.00	0.00
		40℃浸漬1時間	0.94	0.02	1.03	0.07	0.05	0.03	0.03	0.03
		60℃浸漬1時間	4.53	0.06	1.01	0.13	0.11	0.12	0.11	0.08
	あきたこまち	浸漬なし	0.32	0.06	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		40℃浸漬1時間	1.11	0.06	0.68	0.05	0.04	0.02	0.02	0.03
		60℃浸漬1時間	5.89	0.12	0.69	0.19	0.10	0.13	0.11	0.10
	日本晴	浸漬なし	0.31	0.06	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		40℃浸漬1時間	0.81	0.05	0.72	0.20	0.03	0.01	0.02	0.00
		60℃浸漬1時間	3.7	0.09	0.62	0.08	0.06	0.08	0.10	0.05
			グルコース	フルクトース	スクロース	マルトース	マルトトリオース	マルトテトラオース	マルトペンタオース	マルトヘキサオース
胚乳外縁部	コシヒカリ	浸漬なし	1.8	0.56	11.59	0.00	1.46	0.00	0.00	0.01
		40℃浸漬1時間	2.89	0.54	14.11	3.16	1.82	0.66	0.41	0.31
		60℃浸漬1時間	5.38	0.38	12.3	0.73	1.57	0.34	0.27	0.27
	イセヒカリ	浸漬なし	1.74	0.65	12.35	0.00	1.59	0.00	0.00	0.00
		40℃浸漬1時間	3.78	0.56	13.53	4.27	2.65	1.26	0.93	0.96
		60℃浸漬1時間	11.04	0.65	13.7	1.71	1.91	0.97	1.06	1.23
	きらら397	浸漬なし	1.92	0.71	12.6	0.00	1.53	0.00	0.00	0.01
		40℃浸漬1時間	3.88	1.03	15.65	4.92	2.04	0.78	0.49	0.36
		60℃浸漬1時間	4.95	0.86	13.61	0.29	1.18	0.33	0.34	0.30
	あきたこまち	浸漬なし	0.66	0.14	8.42	0.00	0.67	0.00	0.00	0.01
		40℃浸漬1時間	1.68	0.28	7.34	0.42	0.49	0.12	0.08	0.08
		60℃浸漬1時間	4.96	0.4	6.33	0.26	0.32	0.13	0.16	0.14
	日本晴	浸漬なし	0.79	0.21	5.82	0.00	0.28	0.00	0.01	0.00
		40℃浸漬1時間	1.28	0.27	4.64	0.13	0.29	0.10	0.11	0.17
		60℃浸漬1時間	4.42	0.16	4.63	0.19	0.17	0.17	0.19	0.23

を図1に示した．20℃と40℃のときの1時間浸漬後の胚乳中心部の還元糖生成能は同じ傾向であり，キヌヒカリの還元糖量がヒノヒカリとあきたこまちをのぞく3品種に対して有意に高かった．ヒノヒカリはひとめぼれ，コシヒカリ，日本晴に対して有意に高かった．また，ひとめぼれとあきたこまちではあきたこまちの還元糖量が多く，ひとめぼれは少なかった．あきたこまちはコシヒカリ，日本晴に対して有意に高かった．日本晴はヒノヒカリ，あきたこまち，キヌヒカリより有意に低かった．

60℃1時間浸漬のとき，ヒノヒカリはひとめぼれをのぞく4品種に対して有意に高く，ひとめぼれ，あきたこまちはキヌヒカリと日本晴に対して有意に高かった．コシヒカリ，キヌヒカリは日本晴に対して有意に高く，日本晴はいずれの品種よりも還元糖生成能が小さいことがわかった．

図2に浸漬1時間後における胚乳外縁部の品種別還元糖生成量を示した．40℃1時間浸漬のとき，キヌヒカリの還元糖生成量はコシヒカリと日本晴より高く，日本晴はヒノヒカリ以外の4品種すべてにくらべて有意に低かった．60℃1時間浸漬のとき，外縁部の品種間における差異は，60℃1時間浸漬の中心部の品種間差と同じであり，さらにひとめぼれの還元糖量があきたこまちより有意に高かった．

還元糖量の平均増加倍率を図3に示した．試料とした6品種において，浸漬温度が40℃から60℃に変わるとき，胚乳中心部の還元糖生成能が著しく高くなる傾向が見られた．これは，すべての品種に共通する特性といえ，前述の遊離糖の組成と浸漬による変動に関する実験結果とも一致した．胚乳中心部の還元糖生成量は60℃において40℃の4倍，20℃の12倍となった．中心部の歩留まり率が外縁部

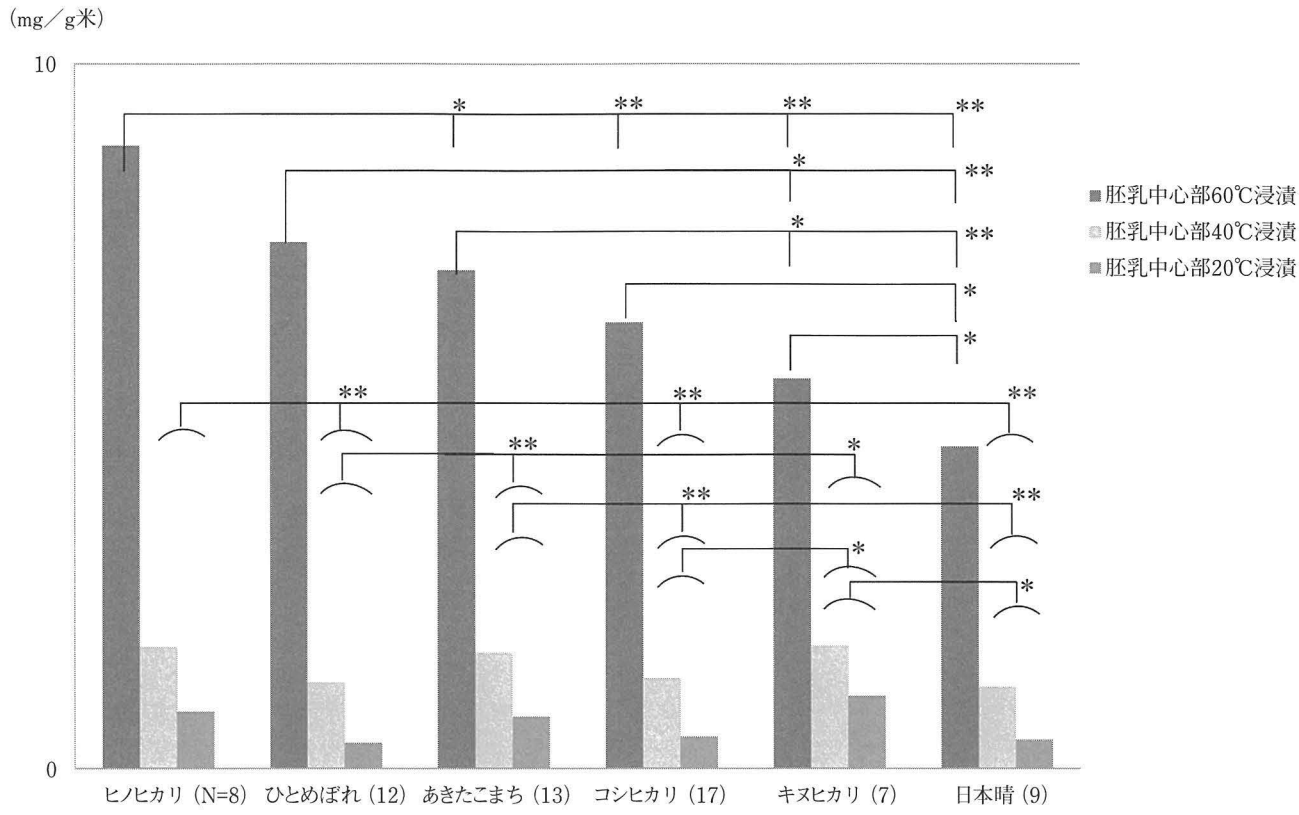


図 1　浸漬 1 時間後における胚乳中心部の品種別平均還元糖生成量

(*＝$P<0.05$　**＝$P<0.01$)

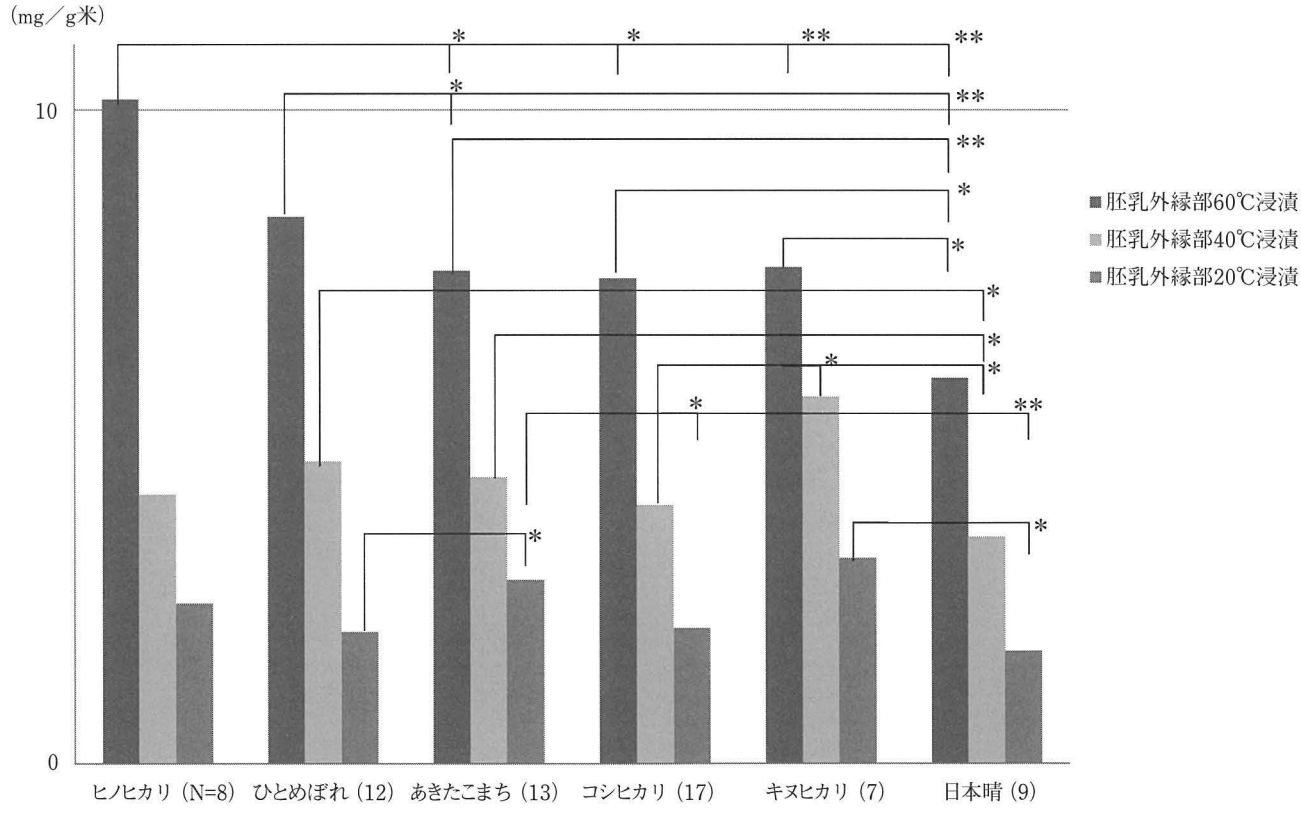


図 2　浸漬 1 時間後における胚乳外縁部の品種別平均還元糖生成量

(*＝$P<0.05$　**＝$P<0.01$)

の6倍以上であることを考えると，精米全粒の還元糖の挙動に大きな影響があるものと考察された．

今回分析した全試料の胚乳中心部の還元糖生成量を産地別に検定したところ，60℃浸漬時の生成量に産地間差が多く見られた．宮城，秋田，山形，新潟，福島，島根の米は還元糖生成量が高く，福井，三重，広島，鹿児島の米は低く，おもに北の産地とそれ以外の産地との間に有意差が見られた．しかし全試料の検定では産地ごとに品種が揃っておらず，信頼性に乏しいと判断した．そこで，コシヒカリ，ひとめぼれ，あきたこまちの3品種が共通して揃う，表1の◎印に示す12の産地に絞り込んで検定を行った．表3にその検定結果を示した．ここでは仮に新潟以北を北日本，茨城以南を南日本として考察することとする．還元糖生成量と産地の関係を表すグラフで，左側の北日本すなわち宮城，秋田，山形（2カ所），福島，新潟よりも右側の南日本すなわち茨城，福井，三重，鹿児島のほうが，中心部60℃ 1時間浸漬の還元糖生成量が総じて低いという結果になった（図4）．北の産地とそれ以外の産地との間には有意差が見られた（表3）．北日本の地域に対して南日本の地域の産米は，60℃浸漬時の胚乳中心部の還元糖生成能が低い傾向にあることが示唆された．

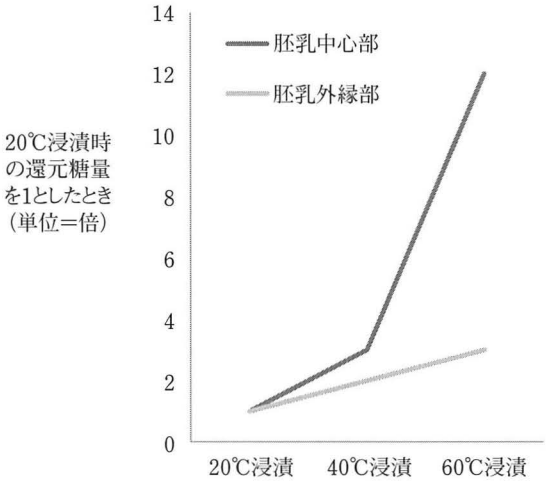


図 3　6品種の還元糖量の平均増加率

全試料における胚乳外縁部の還元糖生成量を産地別に検定したところ，60℃浸漬時には有意差はほとんど見られなかったが，20℃，40℃での浸漬時に多くの有意差が見られた．そこで中心部と同様に，コシヒカリ，ひとめぼれ，あきたこまちの3試料が揃う12の産地に関して検定を行ったところ，20℃と40℃のときは同様の傾向が見られた．表4は40℃浸漬時の検定結果である．宮城は北日本の地域の中でも還元糖量が有意に低く，南日本の地域に属する福井，三重，宮崎，鹿児島に対して有意に低かった．北日本の新潟は南日本の三重，鹿児島に対して有意に低く，北日本の山形，福島は南日本の鹿児島にくらべて有意に低かった．還元糖生成量と産地の関係を表すグラフでは，左側の北日本すなわち宮城，秋田，山形（2カ所），福島，新潟から右側の南日本すなわち茨城，福井，三重，鹿児島にむけて，外縁部の20℃・40℃浸漬時の還元糖生成量はゆるやかに右肩上がりとなった（図5）．北日本産に対して南日本の産米は，20℃・40℃浸漬時の胚乳外縁部の還元糖生成能が高い傾向があると考えられた．谷ら[6]は，5品種の米（トワダ，農林17号，コシヒカリ，越路早生，ホウネンワセ）の食味評価に関係する理化学的要因のうち，主要な差は品種間および同一品種内の産地間にあり，同一品種内の産地間差としては，南日本の早期栽培地区（千葉，高知，宮崎，鹿児島）のほうが北日本の普通栽培地区（青森，岩手，秋田，新潟，石川）に比べて米飯の粘性が低く，食味評価に影響したと報告している．これは，著者の試料とした品種および産地とは必ずしも重ならないものの，本報告からも推察される結果と考えられた．炊飯において昇温開始から40℃付近まで，胚乳外縁部では20℃・40℃付近で活性の高い種々のアミラーゼがデンプンを分解し，デキストリンや少糖類を生成すると推察されるが，その活性が高いほど米

表 3　胚乳中心部60℃浸漬時における還元糖生成量の産地間の有意差

中心部60℃	宮城	秋田2	山形1	山形2	福島	新潟	茨城	福井	三重	広島	宮崎	鹿児島
宮城	——											
秋田2		——										
山形1			——									
山形2				——								
福島					——							
新潟						——						
茨城		*	*	*	*		——					
福井	**	*	*			*		——				
三重	*	*	*		*	*			——			
広島										——		
宮崎											——	
鹿児島		*	*			*						——

(**＝$P<0.01$　*＝$P<0.05$)

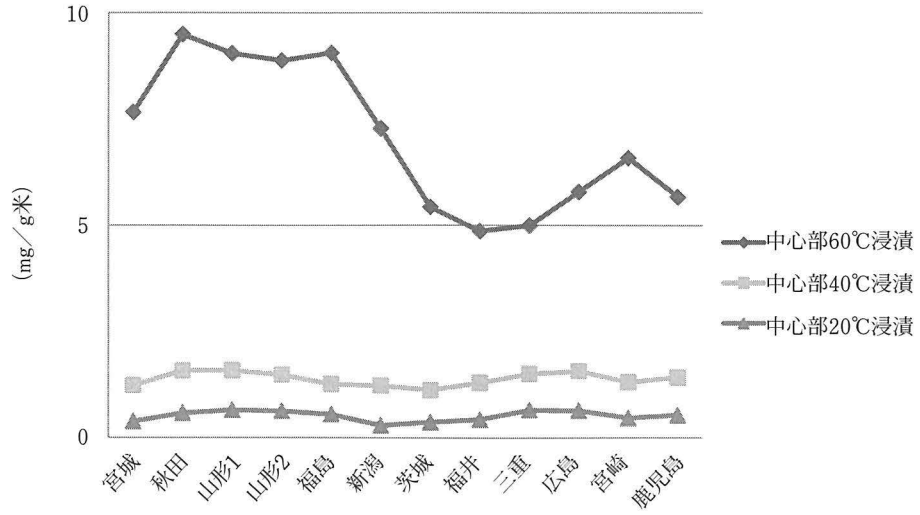


図 4　産地別に見る胚乳中心部の還元糖生成能（3 品種 12 産地）

表 4　胚乳外縁部 40℃浸漬時における還元糖生成量の産地間の有意差

外縁部 40℃	宮城	秋田 2	山形 1	山形 2	福島	新潟	茨城	福井	三重	広島	宮崎	鹿児島
宮城	——											
秋田 2	*	——										
山形 1	*	*	——									
山形 2	*	*	*	——								
福島		*	*		——							
新潟	*					——						
茨城							——					
福井	*							——				
三重	*					*		**	——			
広島										——		
宮崎	*										——	
鹿児島	**			*	*	**		**				——

（**＝$P<0.01$　*＝$P<0.05$）

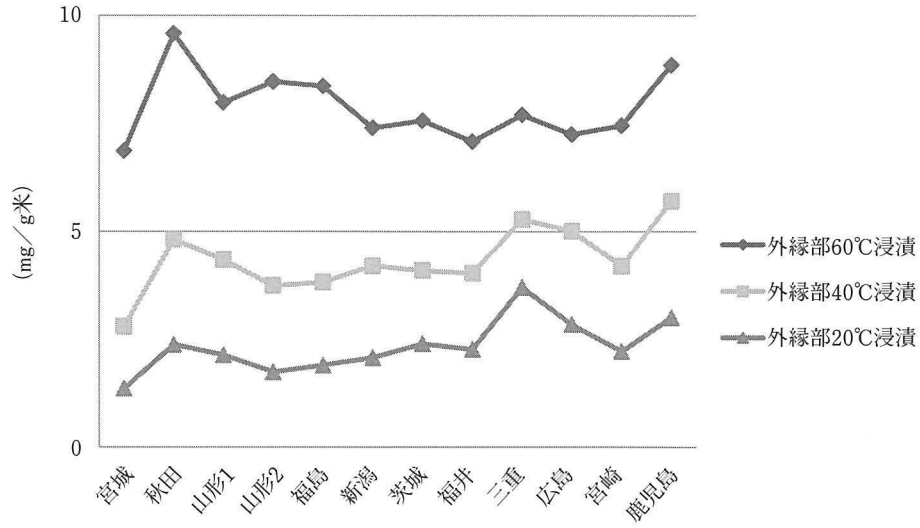


図 5　産地別に見る胚乳外縁部の還元糖生成能（3 品種 12 産地）

はアミロペクチンの構造を失い，粘りを失うと考えられる．南日本の米において，20℃・40℃浸漬時の胚乳外縁部の還元糖生成能が高いということは，関連する外縁部の種々のアミラーゼの活性が高いということであり，上記した粘性の低下と関連があるものと推察できる．また，岩田ら[22]は，60℃が至適温度のα-グルコシダーゼは，良食味といわれる品種で活性が高く，α-グルコシダーゼ活性とアミロース含量との間には負の相関があり，最高粘度およびブレークダウンと強い正の相関があることから，間接的に食味と関連があると推定されると報告している．本報告の北日本の米において，α-グルコシダーゼの活性が南日本より高い原因は明らかでないが，北日本と南日本の米の食味の違いの一因であるとすれば興味深い．

本報告における産地間差は，県単位の1地域につき3品種を1試料ずつ収集し，仮に産地代表として検定した場合の分析結果であり，地域によって還元糖生成能に差がある可能性を示したに過ぎないと考えている．今後さらに市町村単位の狭い地域に絞り込み，各地域で試料数を揃えて，より厳密に産地間差が存在するか否かを検討する予定である．

3. 還元糖生成能に関与するデンプン分解酵素の活性

ヒノヒカリ，コシヒカリ，日本晴の3品種の胚乳中心部・外縁部の試料について，20℃，40℃，60℃の各温度帯でα-グルコシダーゼ，α-アミラーゼ，β-アミラーゼの各酵素が示す活性を調べた（表5）．

それぞれの品種のα-グルコシダーゼ活性，α-アミラーゼ活性，β-アミラーゼ活性のデータを説明変数とし，還元糖生成量を被説明変数として，重回帰分析を行ったところ，3品種すべてにおいて3酵素の活性により，還元糖生成量は非常によく説明されるという結果を得た（$P<0.001$，決定係数はヒノヒカリ0.78，コシヒカリ0.85，日本晴0.87）．

なお日本晴は，Yamaguchiら[25]と露久保[26]により，β-アミラーゼ欠損と報告される品種だが，一方で，岩田ら[22]，Tranら[29]は本報告と同じ測定方法を用い，日本晴にもマルトースを生成する酵素の活性が検出されると報告している．米粒中の還元糖生成酵素は，現在，主たるものの存在と酵素特性等の知見が蓄積されつつあるが，β-アミラーゼ欠損品種において他にどのような糖化酵素群がマルトースの生成に寄与しているか全容は明らかでなく，今後，詳細な解明が待たれる．ここでは仮に日本晴のそれをβ-アミラーゼ様の活性と呼ぶ．反応温度60℃の胚乳中心部における日本晴のβ-アミラーゼ様活性は，ヒノヒカリより低いものであった．中でもα-グルコシダーゼ活性は，いずれの反応温度の胚乳中心部においても他の2品種より有意に低く，また，反応温度60℃の胚乳外縁部において他の2品種より有意に低かった（表6）．このことは，α-グルコシダーゼの胚乳中心部での局在が品種間に共通し，しかしその分布の割合は品種によって異なるという露久保[26]の研究結果とも一致していた．

表7は各品種の酵素活性を説明変数としたときの還元糖量への寄与度を示すt値と，その影響の順位を考察したものである．米粒全体で見た場合，いずれの品種も共通して還元糖生成にα-グルコシダーゼ活性が最も関与しており，その次にヒノヒカリではβ-アミラーゼ活性が，コシヒカリではα-アミラーゼ活性が関与していると分析された．胚乳中心部と外縁部に分けて分析した場合，ヒノヒカリ中心部の還元糖生成量はα-グルコシダーゼ活性とβ-アミラーゼ活性によってよく説明され（$P<0.05$），コシヒカリ中心部の還元糖生成量もα-グルコシダーゼ活性とβ-アミラーゼ活性によってよく説明された（$P<0.05$）．さらに，いずれの品種も1位と2位の酵素活性の還元糖量に対する寄与の度合いはほぼ同等という結果が得られた．一方，日本晴中心部はα-グルコシダーゼ活性ではなく，むしろβ-アミラーゼ様の活性の影響を主に受けるという結果が得られた（$P<0.05$）．また，各品種の外縁部については，いずれの品種においても，最も影響する酵素がα-グルコシダーゼであることは共通していたが，その次に関与する酵素活性が，ヒノヒカリの場合はβ-アミラーゼであり，α-アミラーゼは関係性が低いことが示された（$P<0.05$）．コシヒカリの場合，2位の酵素はα-アミラーゼであり，ヒノヒカリとは逆にβ-アミラーゼの関与は低いことが示された（$P<0.05$）．日本晴の場合，α-グルコシダーゼの次に影響する酵素はα-アミラーゼであり，β-アミラーゼ様の活性を示す，マルトース生成に関わる酵素も弱いながら第3位の影響力を持つと分析された（$P<0.05$）．

これらのことは，胚乳中心部のα-グルコシダーゼ活性が還元糖生成に大きく貢献するとしたAwazuharaらの報告[28]と一致するが，ヒノヒカリに関しては，米粒全体に存在すると露久保[26]により報告されたβ-アミラーゼが，コシヒカリと異なる分布や活性強度を持つ可能性が考えられ，また，日本晴に関しては，総じて相対的に還元糖生成酵素の活性が低い品種と考察された．

3品種の胚乳中心部・外縁部別に，60℃浸漬時に生成する還元糖総量に占めるグルコース量を表8に示した．ヒノヒカリは，生成する還元糖量が最も多い品種であるものの，その還元糖全体に含まれるグルコースの割合は，最も少なかった．60℃浸漬時にヒノヒカリ中心部で働く酵素は，α-グルコシダーゼとβ-アミラーゼが同程度であり，外縁部においてもα-グルコシダーゼの次にβ-アミラーゼが働くと考えられることから，ヒノヒカリは総じてβ-アミラーゼによるマルトースの生成量が高い品種ではないかと推察された．

α-アミラーゼはデンプンのα-1，4結合をランダムに切断するため，グルコース（甘味度0.6-0.7 ＊スクロースの甘味を1とした場合）のほかにさまざまな重合度の糖類およびデキストリンが生じるが，それらはほとんど甘味を有

表 5　3品種の胚乳中心部・外縁部における α アミラーゼ，β アミラーゼ，α グルコシダーゼ活性

	反応温度	産地	ヒノヒカリ α-アミラーゼ (Units (CU)/g)	ヒノヒカリ β-アミラーゼ (Units (BU)/g)	ヒノヒカリ α-グルコシダーゼ (Glc mg/protein mg/30 min)	コシヒカリ α-アミラーゼ (Units (CU)/g)	コシヒカリ β-アミラーゼ (Units (BU)/g)	コシヒカリ α-グルコシダーゼ (Glc mg/protein mg/30 min)	日本晴 α-アミラーゼ (Units (CU)/g)	日本晴 β-アミラーゼ様の活性 (Units (BU)/g)	日本晴 α-グルコシダーゼ (Glc mg/protein mg/30 min)
胚乳中心部	20℃	茨城	0.01	0.03	0.76	0.00	0.03	0.82	0.01	0.05	0.44
		兵庫	0.01	0.04	0.65	0.01	0.01	0.78	0.01	0.06	0.48
		岡山	0.01	0.07	0.55	0.00	0.05	0.84	0.00	0.05	0.35
		広島	0.01	0.14	0.97	0.00	0.04	0.67	0.00	0.04	0.63
		高知	0.01	0.06	0.81	0.00	0.07	1.03	0.00	0.03	0.61
		福岡	0.01	0.02	0.85	0.00	0.06	1.20	0.00	0.03	0.59
		宮崎	0.01	0.15	1.19	0.00	0.06	1.03	0.00	0.04	0.62
	40℃	茨城	0.01	0.10	2.02	0.01	0.05	1.98	0.01	0.07	1.28
		兵庫	0.01	0.00	1.76	0.01	0.05	1.87	0.01	0.08	1.06
		岡山	0.01	0.17	1.44	0.01	0.07	2.35	0.01	0.07	1.06
		広島	0.01	0.06	2.71	0.01	0.04	1.52	0.00	0.04	1.94
		高知	0.01	0.02	2.20	0.01	0.06	2.70	0.01	0.06	1.70
		福岡	0.01	0.15	2.49	0.00	0.07	3.11	0.00	0.03	1.60
		宮崎	0.01	0.25	3.23	0.01	0.08	2.87	0.01	0.08	1.97
	60℃	茨城	0.01	0.78	5.05	0.01	0.13	5.18	0.01	0.14	3.03
		兵庫	0.01	0.80	4.24	0.01	0.13	4.94	0.01	0.16	2.55
		岡山	0.01	0.40	3.43	0.01	0.12	5.72	0.01	0.15	2.49
		広島	0.01	0.42	7.17	0.01	0.12	3.67	0.01	0.15	4.47
		高知	0.01	0.35	5.35	0.01	0.11	6.63	0.01	0.16	4.32
		福岡	0.01	0.18	5.71	0.01	0.11	7.64	0.01	0.14	4.27
		宮崎	0.01	0.28	7.87	0.01	0.09	6.26	0.01	0.16	4.48

	反応温度	産地	ヒノヒカリ α-アミラーゼ (Units (CU)/g)	ヒノヒカリ β-アミラーゼ (Units (BU)/g)	ヒノヒカリ α-グルコシダーゼ (Glc mg/protein mg/30 min)	コシヒカリ α-アミラーゼ (Units (CU)/g)	コシヒカリ β-アミラーゼ (Units (BU)/g)	コシヒカリ α-グルコシダーゼ (Glc mg/protein mg/30 min)	日本晴 α-アミラーゼ (Units (CU)/g)	日本晴 β-アミラーゼ様の活性 (Units (BU)/g)	日本晴 α-グルコシダーゼ (Glc mg/protein mg/30 min)
胚乳外縁部	20℃	茨城	0.02	0.13	0.29	0.02	0.25	0.68	0.02	0.13	0.45
		兵庫	0.02	0.12	0.29	0.02	0.21	0.73	0.02	0.13	0.69
		岡山	0.01	0.08	0.38	0.02	0.18	0.90	0.01	0.09	0.80
		広島	0.02	0.10	0.41	0.04	0.27	0.56	0.02	0.27	0.55
		高知	0.04	0.25	0.38	0.05	0.72	0.53	0.03	0.19	0.58
		福岡	0.02	0.04	0.39	0.01	0.33	0.79	0.02	0.17	0.72
		宮崎	0.06	0.25	0.44	0.02	0.37	0.73	0.03	0.20	0.71
	40℃	茨城	0.04	0.16	0.64	0.05	0.27	1.69	0.05	0.20	0.79
		兵庫	0.04	0.14	0.65	0.05	0.31	1.70	0.05	0.15	1.35
		岡山	0.03	0.11	0.92	0.03	0.22	2.33	0.02	0.11	1.64
		広島	0.04	0.13	1.02	0.07	0.20	1.40	0.04	0.31	1.23
		高知	0.09	0.31	0.97	0.13	0.68	1.51	0.09	0.24	1.16
		福岡	0.03	0.06	0.99	0.02	0.22	2.25	0.04	0.17	1.47
		宮崎	0.11	0.27	1.17	0.05	0.27	1.93	0.07	0.13	1.61
	60℃	茨城	0.01	0.20	3.69	0.04	0.40	3.70	0.04	0.01	1.58
		兵庫	0.01	0.22	3.05	0.04	0.42	4.04	0.04	0.23	2.96
		岡山	0.01	0.17	2.84	0.03	0.30	5.19	0.02	0.12	3.58
		広島	0.01	0.20	5.25	0.05	0.36	3.12	0.05	0.30	2.46
		高知	0.01	0.39	7.21	0.07	0.63	3.67	0.09	0.37	2.56
		福岡	0.01	0.09	5.48	0.03	0.33	5.30	0.03	0.14	3.17
		宮崎	0.01	0.30	7.66	0.03	0.38	4.29	0.06	0.16	3.43

しない．一方β-アミラーゼは，デンプンを2糖単位で切り離し，グルコースの半分程度の甘味を持つマルトース(甘味度0.3)を生成する．米粒各部位におけるα，β-アミラーゼの活性の違いが，品種を超えて最も優位に働くα-グルコシダーゼによってもたらされるグルコースの甘みに，付加される甘味の強弱の違いとなっている可能性がある．

米粒の部位によって各種の還元糖生成酵素の分布と活性は異なった態様を示し，品種によっても活性パターンに違いが出ると考えられる．ヒノヒカリやコシヒカリといった良食味といわれる品種は胚乳中心部のα-グルコシダーゼとβ-アミラーゼの活性がともに高く，中心部は外縁部の6.7倍の歩留まりを持つことから，これらの中心部の酵素活性が呈味に大きな影響を与えている可能性がある．良食味ではない日本晴は，胚乳中心部において甘みの強いグルコースを産生するα-グルコシダーゼよりも，甘みの少ないマルトースを産生するβ-アミラーゼ様の活性のほうが還元糖生成量に関与すると分析された．このような還元糖生成能の違いが，日本晴の呈味の低さに影響を与えている可能性があった．特に，α-グルコシダーゼ活性はアミロース含量と負の相関があり，最高粘度およびブレークダウンと強い正の相関があることから，間接的に食味と関連があると推定されており[22]，胚乳中心部でその活性が低い日本晴は，3品種の中でも呈味が低いと推察された．品種間におけるこれらの酵素活性の違いが炊飯後の食味の差にも関連する可能性があると考えられた．

表 6　反応温度別にみたα-グルコシダーゼ活性の品種間の有意差

	反応温度		ヒノヒカリ	コシヒカリ	日本晴
胚乳中心部	20℃	ヒノヒカリ	——		
		コシヒカリ		——	
		日本晴	**	***	——
	40℃	ヒノヒカリ	——		
		コシヒカリ		——	
		日本晴	**	**	——
	60℃	ヒノヒカリ	——		
		コシヒカリ		——	
		日本晴	**	**	——
胚乳外縁部	20℃	ヒノヒカリ	——		
		コシヒカリ	***	——	
		日本晴	***		——
	40℃	ヒノヒカリ	——		
		コシヒカリ	***	——	
		日本晴	**	**	——
	60℃	ヒノヒカリ	——		
		コシヒカリ		——	
		日本晴	**	***	——

(***=$P<0.001$　**=$P<0.01$)

要　　約

還元糖生成能には品種によって有意差がある．ヒノヒカリ，ひとめぼれ，あきたこまち，コシヒカリといった，一般に良食味とされる品種は60℃浸漬時に胚乳中心部の還元糖生成能が高く，一方，キヌヒカリは20℃・40℃浸漬時の胚乳外縁部の還元糖生成能が高い傾向が見られた．日本晴はいずれの品種よりも低かった．

また，産地間に還元糖生成能に差がある可能性が示唆された．北日本の地域の産米は60℃浸漬時における胚乳中心部の還元糖生成能が高い傾向が見られ，それに対して南日本の産米は20℃・40℃浸漬時の胚乳外縁部の還元糖生成能が高い傾向が見られたが，さらなる検証が必要である．

還元糖生成能に関与するとされるα-グルコシダーゼ，α-アミラーゼ，β-アミラーゼの各デンプン分解酵素の活性において，品種によって優位となる酵素に違いがあることが

表 8　60℃浸漬時，還元糖総量に含まれるグルコース量の割合

(% [W/W])

	ヒノヒカリ	コシヒカリ	日本晴
胚乳中心部	60	69	78
胚乳外縁部	48	52	60

表 7　重回帰分析による各酵素活性のt値と還元糖生成量への寄与順位

	α-アミラーゼ t値	β-アミラーゼ t値	α-グルコシダーゼ t値	還元糖量の説明変数としての寄与順位
ヒノヒカリ(中心部+外縁部)	2.6	3.3	7.1	αグルコシターゼ>βアミラーゼ>αアミラーゼ
コシヒカリ(中心部+外縁部)	3.9	2.4	11.3	αグルコシターゼ>αアミラーゼ>βアミラーゼ
日本晴(中心部+外縁部)	3.9	3.9	9.7	αグルコシターゼ>αアミラーゼ≒βアミラーゼ様の活性
ヒノヒカリ中心部	—	6.0	6.0	βアミラーゼ≒αグルコシターゼ
コシヒカリ中心部	—	3.1	3.2	αグルコシターゼ≒βアミラーゼ
日本晴中心部	—	13.0	—	βアミラーゼ様の活性
ヒノヒカリ外縁部	—	4.1	9.3	αグルコシターゼ>βアミラーゼ
コシヒカリ外縁部	6.1	—	8.0	αグルコシターゼ>αアミラーゼ
日本晴外縁部	3.8	3.1	7.3	αグルコシターゼ>αアミラーゼ>βアミラーゼ様の活性

示唆された．α-グルコシダーゼが最も強く関与するのはいずれの品種にも共通するが，2番目に寄与するアミラーゼの種類が品種によって異なり，ヒノヒカリはβ-アミラーゼ，コシヒカリはα-アミラーゼが2位で寄与すると分析された．

食味に大きな影響を与えるとされる中心部の酵素活性において，1位と2位の酵素活性の寄与度はほぼ同等であった．α-グルコシダーゼに次いで優位に働く酵素は，ヒノヒカリとコシヒカリの場合，β-アミラーゼと分析された．日本晴の中心部にはα-グルコシダーゼおよびα-アミラーゼよりも，β-アミラーゼ様のマルトース生成酵素が寄与すると分析された．このような品種間の違いが，食味の違いに影響を与えている可能性が考えられた．

胚乳外縁部の酵素活性においても，全品種の還元糖生成に最も強く影響する酵素はα-グルコシダーゼであった．しかし次に影響する酵素には品種ごとに違いがあり，ヒノヒカリはβ-アミラーゼ，コシヒカリはα-アミラーゼが2位で寄与すると分析された．日本晴はα-グルコシダーゼ，α-アミラーゼ，β-アミラーゼ様の酵素の順に還元糖生成に寄与すると分析された．

上記3種のデンプン分解酵素は，品種により異なる活性を示し，それによって生成する還元糖の組成と生成量の違いが生ずると考えられた．

文　献

1) 石谷孝祐，日本の米の特性と新形質米の開発，日本調理科学会誌，**26**, 365-372 (1993).
2) 大坪研一，新形質米の特性とその利用例，日本調理科学会誌，**35**, 393-396 (2002).
3) 鈴木啓太郎，岡留博司，中村澄子，大坪研一，理化学測定による各種新形質米の品質評価，日本食品科学工学会誌，**53**, 287-295 (2006).
4) 大坪研一，中村澄子，岡留博司，DNA判別による米の食味判定，日本食品科学工学会誌，**50**, 122-132 (2003).
5) 中村澄子，岡留博司，原口和朋，奥西智哉，鈴木啓太郎，佐藤　光，PCR法による世界の広範囲な特性の米の識別および食味要因の探索，日本農芸化学会誌，**78**, 764-799 (2004).
6) 谷　達雄，吉川誠次，竹生新治郎，堀内久弥，遠藤　勲，柳瀬　肇，コメの食味評価に関係する理化学的要因 (1)，栄養と食料，**22**, 452-461 (1969).
7) 深井洋一，金谷清身，松澤恒友，小田切一宏，石谷孝佑，新形質米の理化学的性質と新形態食品への利用の検討，日本調理学会誌，**30**, 44-49 (1997).
8) 丸山悦子，坂本　薫，炊飯に関する基礎的研究　温水浸漬の影響，日本家政学会誌，**43**, 97-100 (1992).
9) Xavier, I.J. and Raj, S.A., Enzyme changes in rough rice during parboiling. *J. Food Biochem.*, **19**, 381-389 (1995).
10) 香西みどり，石黒恭子，京田比奈子，浜薗貴子，畑江敬子，島田淳子，米の炊飯過程における還元糖および遊離アミノ酸量の変化，日本家政学会誌，**51**, 579-585 (2000).
11) 丸山悦子，東紀代香，梶田武俊，米飯の物理化学的特性と食味評価の関係，日本家政学会誌，**34**, 819-825 (1983).
12) 千田悠子，田島　眞，炊飯米に存在するマルトオリゴ糖ならびにその生成酵素に関する研究，実践女子大学生活科学部紀要，**41**, 86-90 (2004).
13) 狩野佳代，田島　眞，各種食味米のマルトオリゴ糖組成，実践女子大学生活科学部紀要，**38**, 50-55 (2001).
14) 田島　眞，米飯の新しい食味指標，食糧振興，**65**, 28-31 (1998).
15) 田島　眞，加藤万里子，飯塚敏恵，炊飯米に含まれるオリゴ糖，日本食品工業学会誌，**41**, 339-340 (1994).
16) 丸山悦子，西千代子，宮田康子，梶田武俊，炊飯に関する研究（第4報）炊飯中におけるアミラーゼ活性の挙動，日本家政学会誌，**32**, 253-258 (1981).
17) 丸山悦子，永曾康子，中西洋子，梶田武俊，炊飯に関する研究（第5報）生米β-アミラーゼの精製と性質，日本家政学会誌，**32**, 588-593 (1981).
18) 丸山悦子，炊飯過程におけるオリゴ糖の生成酵素，日本家政学会誌，**53**, 431-436 (2002).
19) Dunn, G., A model for starch breakdown in higher plants. *Phytochemistry*, **13**, 1341-1346 (1974).
20) Sun, Z. and Henson, C.A., A quantitative assessment of the importance of barley seed α-amylase, β-amylase, debranching enzyme, and α-glucosidase in starch degradation. *Arch. Biochem. Biophys.*, **284**, 298-305 (1991).
21) 竹内若子，白米炊飯時における還元糖生成の分子機構に関する研究，名古屋女子大学紀要，**48**, 25-33 (2002).
22) 岩田　博，岩瀬新吾，高浜圭誠，松浦宏行，猪谷富雄，荒巻功，米α-グルコシダーゼ活性と理学的特性値との関係，日本食品科学工学会誌，**48**, 482-490 (2001).
23) 松倉　潮，鈴木保宏，岩井陽子，門間美千子，青木法明，金子成延，α-アミラーゼ活性の粳米と糯米の比較および糊化粘度への影響，日本食品科学工学会誌，**51**, 554-558 (2004).
24) 馬橋由佳，大倉哲也，香西みどり，炊飯の温度履歴が米飯の化学成分に及ぼす影響，日本調理科学会誌，**40**, 323-328 (2007).
25) Yamaguchi, J., Itoh, S., Saitoh, T., Ikeda, A., Tashiro, T. and Nagato, Y., Characterization of β-amylase and its deficiency in various rice cultivars. *Theor, Appl. Genet.*, **98**, 32-38 (1999).
26) 露久保美夏，米の食味に関わる米内在性酵素の局在と炊飯中の挙動，日本調理科学会誌，**46**, 145-152 (2013).
27) 馬橋由佳，三輪有紀枝，大倉哲也，香西みどり，異なる品種における精白米内在性酵素の米飯成分への関与，日本調理科学会誌，**43**, 228-236 (2010).
28) Awazuhara, M., Nakagawa, A., Yamaguchi, J., Fujiwara, T., Hayashi, H., Hatae, K., Chino, M. and Shimada, A., Distribution and characterization of enzymes causing starch degradation in rice (Oriza sativa cv. koshihikari). *J. Agric. Food Chem.*, **48**, 245-252 (2000).
29) Tran, U., Okadome, H., Murata, M., Hommma, S. and Ohtsubo, K., Comparison of Vietnamese and Japanese rice cultivars in terms of physicochemical properties. *J. Food Sci. Technol. Res.*, **7**, 323-330 (2001).

引用 URL

i) http://www.kokken.or.jp/data/ranking_sanchi.pdf (2013.9.30).
ii) http://www.kokken.or.jp/data/ranking_tokua.pdf (2013.9.30).

（平成25年11月12日受付，平成26年3月7日受理）