米の食味と理化学的变化に及ぼす玄米の水分含量 および貯蔵温度の影響

深井洋一^{*,**§}, 松澤恒友^{*}, 石谷孝佑^{***,****}

^{*} 社団法人長野県農村工業研究所

^{**} (現)株式会社マイパール長野

^{***} 独立法人国際農林水産業研究センター

^{****} (現)中国農業科学院・日中農業技術研究開発センター

Effects of Moisture Content and Storage Temperature of Husked Rice on Taste and Changes in Physicochemical Properties

Yohichi Fukai^{*,**§} Tsunetomo Matsuzawa^{*} and Takasuke Ishitani^{***,****}

^{*}Agricultural Technology Institute of Nagano Farmers, Federation, Suzaka, Nagano 382-0084

^{**} Myppearl Nagano Co. LTD, Horigane, Minamiazumi, Nagano 399-8211

^{***} Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Owashi, Tuskuba, Ibaraki 305-8686

^{****} Japan-China Research and Development Center for Agricultural Technology, Minamitaigai tiukanson kaidenku Beijing, China

A new grain and an old grain of rice were stored at low temperatures (-1°C , -5°C) for 60 days. They were examined over the period by physicochemically and with sensory analyses, what factors for taste improvement were studied. Significant differences were observed on the total sensory results, appearance, flavor, taste, and stickiness, when the old grain with moisture content adjusted to a middle level was stored for 60 days. It was found that the taste improvement was associated with moisture content, L value of color (brightness), free carbohydrate contents, free amino acid contents, flavor discernment, setback value, and the final viscosity. It will be possible to improve the taste of old rice grain by utilizing these findings.

(Received Aug. 21, 2002 ; Accepted Feb. 14, 2003)

新米が流通される前の梅雨期および夏季は、米の品質が最も低下し、米の需要も落ち込む時期であり、この時期の品質の良い米の供給が一つの課題となっている。また、政府米等で貯蔵されている古米についても、その利用にあたっては食味向上が懸案である。

氷点近くの低温下で果実、野菜、鮮魚、加工品などが美味しくなることは、東北農業試験場の寒絞め野菜¹⁾²⁾、水温研究所^{3)~7)}などの報告に見られるが、その品質向上のメカニズムに関しては科学的に未解明な部分が多い。

ここでは玄米を対象に、低温ストレスを利用して、高品質・良食味な米の通年流通を可能とし、成分や香りの蘇生と古米の復元を目的に、理化学的特性変化と食味と関連性状の変化の特徴の解明を試みたので報告する。

実験方法

1. 試料

(1) 原料米：長野県あづみ野産コシヒカリ玄米を、新米として平成12年産米、古米として平成11年産米（低温倉庫内にて温度 15°C 、湿度75%で保管）をそれぞれ供試した。

(2) 水分調製：低水分米として12~13%に、標準水分米として15~16%に、中水分米として18~19%の3条件に水分を調製した。低水分米の調製は、通風式乾燥機（ヤマトDK-62）、中水分米の調製は、東洋調質装置を用いて行った。

(3) 低温貯蔵条件：玄米5kgを横29cm、長さ56cm、幅7.5cmのクラフト紙袋（2層、64.5g）に入れ2重折りにしテープ張り後、多段ラック方式で貯蔵した。温度域は -1°C （氷温庫、（株）マツハシ冷熱製）および -5°C （試験用氷温庫、（株）マツハシ冷熱製）の2条件で設定した。低温処理期間を7日、14日、21日および60日の4条件を設定

^{*} 〒382-0084 長野県須坂市大字須坂 787-1

^{**§} 〒399-8211 長野県南安曇郡堀金村大字烏川 2669

^{***} 〒305-8686 茨城県つくば市大わし 1-2

^{****} 中国北京市海淀区中関村南大街 12 号

した。なお、対照は標準水分米の低温 (15℃) 貯蔵とした。

(4) 搗精、精米粉および澱粉調製：低温処理期間が終了した玄米は、既報⁸⁾と同様に、玄米の搗精は山本タテ型精米機 (摩擦式：ライスパル VP-31, (株)山本製作所) を用いて、搗精歩留を 90% に調製した。また、精米粉はサイクロンサンプルミル (UDY 社製, 静岡精機(株)), 澱粉はアルカリ法 (水酸化ナトリウム, 0.25%) により、それぞれ既報⁹⁾と同様に調製した。

2. 理化学的測定項目および方法

下記の (1)~(9) の 9 項目の理化学的性質を測定した。(1), (2) は初発試料, (3), (4), (6)~(9) までは全試料, (5) は初発と最終 (60 日後) 試料についてそれぞれ行った。

(1) タンパク質含量：既報⁸⁾と同様に、精米粉をセミミクロ改良ケルダール法により測定し、窒素・タンパク質換算係数は 5.95 を用いた。

(2) アミロース含量：既報⁸⁾と同様に、澱粉試料について電流滴定法 (平間理化研究所(株), 自動滴定装置 ATR-3) により、見掛けのアミロースを定量した。なお、標準はシグマ社製ポテトアミロース Type III を用いた。

(3) 水分含量：既報⁸⁾と同様に、精米について単粒水分計 (CTR-800A, 静岡精機(株)) を用いて測定した。

(4) 色調：既報⁸⁾と同様に、精米について色差計 (TC-1500MC, 東京電色(株)) を用いて L 値 (明度) を測定した。

(5) 遊離脂肪酸組成および含量：精米粉の遊離脂肪酸を蛍光 (ADAM: 9-Anthryldiazomethane) と結合させ、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) により同定・定量を行う Nimura ら¹⁰⁾の方法で行った。なお、ここでの総遊離脂肪酸含量は、パルミチン酸 (16:0), ステアリン酸 (18:0), オレイン酸 (18:1), リノール酸 (18:2), リノレン酸 (18:3) の 5 種の遊離脂肪酸重量の合計を油脂当たりで求めた¹¹⁾。

(6) 遊離糖組成および含量：試料調製を既報¹²⁾と同様に行った。精米粉 20 g をソクスレーフラスコに採取し、80% エタノール 60 ml を加えて振とう後、沸騰湯浴中で 20 分間還流・抽出した。濾過 (東洋濾紙 5A) 後、残渣について同様の操作を 2 回繰り返す。濾液を合わせて 200 ml にメスアップした。この抽出液 100 ml を 10 ml まで減圧濃縮し、0.45 μm (東洋濾紙, DISMIC-25CS) のシリンジ・フィルターで濾過し、HPLC に供試した。HPLC は、液体クロマトグラフ：島津 LC-9A, カラム：ULTRON PS-80N (8.0 mmφ×300 mm), 溶離液：純水, 流量：1.0 ml/min, 検出器：示差屈折器 (島津 RID-6A), 10 μl, 感度：ATT8 で行った。なお、データ処理は島津クロマトパック C-R4A を用い、ピーク面積より求めた。

(7) 遊離アミノ酸組成および含量：試料調製は (6) 同様に行い、HPLC に供試して以下の条件で生体アミノ酸を測定した。液体クロマトグラフ：島津 LC-6AD, カラム：島

津 Shim-pack (4.0 φ×50 mm), 溶離液：クエン酸緩衝液 (pH ステップグラジェント), 流量：0.6 ml/min, カラム温度：39℃, 検出器：蛍光検出器 (島津 RF-550), 検出波長：EX 360 nm EM 440 nm, 感度：Low, 注入量：10 μl, 感度：ATT9 で行った。データ処理は (6) と同様に行った。

(8) 糊化特性：既報¹³⁾と同様に、精米粉についてラビッドビスコアナライザー (RVA-3D, フォス・エレクトリック社) で測定した。

(9) におい識別：精米 20 g をサンプルバック (PET 製, Flek-Sampler, NS 光研製造, 容量 2 l) に入れ、窒素封入して室温 (25℃制御) で約 18 時間放置した後、島津製作所製におい識別装置 FF-1 (酸化物質半導体センサ, 6 素子) で測定した。1 試料に対するサンプリングタイム 60 秒で予備測定 2 回を含む 5 回の測定を行った。装置設定は、恒温槽温度 60℃, 捕集管温度は、サンプリングおよび乾燥時 40℃, 測定時 220℃, クリーニング時 250℃で行った。また、窒素は純度 99.9998 以上 (A グレード), 圧縮空気は S グレードのものを使用した。なお、測定値についてはセンサ 6 個の 6 次元データを元に、SPSS (Base 10.0J) を用いて主成分分析を行った。

3. 炊飯米の官能検査

既報¹³⁾と同様、日本穀物検定協会の食味試験法に準じて、低水分調製の -1℃ 貯蔵を基準米として用いた 6 点評点法で行った。標準水分米の低温貯蔵区は比較される側に入れた。基準米に低水分調製の -1℃ 貯蔵を用いたのは、予備的な確認で、過乾燥された米の氷温効果が小さいことによる。また、試料数を 6 点にしたのは判別を安易にするために、低水分調製の -5℃ 貯蔵を削除した。試料の調製は、精白米 600 g を常法により 1.0 l 炊きの電気炊飯器 (シャープ, KS-F102) により炊飯した。洗米を 5 回行い、それぞれ水切りを 5 分間行った。加水量は洗米前の米重量の 1.4 倍量とし、水分 13.0% を基準に水分 0.1% につき 1.2 g を増減して調整した。室温 (約 20℃) で 1 時間浸漬、炊飯加熱および蒸らし時間は約 1 時間 (自動) とした。パネルは (株)マイパール長野の職員 20 名以上で実施した。なお、炊飯器は同機種 8 台を購入し、炊飯加熱および蒸らし時間の近似する 6 台を選定して行った。

4. 官能検査および理化学測定値の解析

EXCEL2000 のデータ解析ソフトを用いて、炊飯米の官能検査については分散分析一元配置、官能検査および理化学測定値の解析は相関係数行列を算出し、その有意差を検証した。

5. 主成分分析による解析

EXCEL 統計 2002 を用いて、主成分分析を行い、食味に関連する性状を検証した。

実験結果

1. 貯蔵による米の理化学的性状変化

(1) 原料米のタンパク質およびアミロース含量

原料米のタンパク質およびアミロース含量の測定値を表1に示した。それぞれ平成11年産のタンパク質は6.6%、アミロース含量は18.5%、平成12年産のタンパク質は6.4%、アミロース含量は18.9%であり、年産間の差は小さかった。

(2) 精米水分と精米色調の関係

精米水分の経時的変化を平成11年産については図1、平成12年産については図2に示した。平成11年産の中水分米は、処理14日目頃から水分が減少する傾向を示したのに対し、標準水分米は、処理14日目から増加の傾向を示し

表1 原料米のタンパク質およびアミロース含量

年産	タンパク質含量 (%)	アミロース含量 (%)
11年	6.6	18.5
12年	6.4	18.9

図1 精米水分の経時的変化 (H11年産)

—×—; 低水分, -1°C; —+—; 低水分, -5°C; —△—; 標準水分, -1°C; —□—; 標準水分, -5°C; —○—; 標準水分, 15°C; —▲—; 中水分, -1°C; —■—; 中水分, -5°C.

図2 精米水分の経時的変化 (H12年産)

—×—; 低水分, -1°C; —+—; 低水分, -5°C; —△—; 標準水分, -1°C; —□—; 標準水分, -5°C; —○—; 標準水分, 15°C; —▲—; 中水分, -1°C; —■—; 中水分, -5°C.

た。低水分米は貯蔵初期から増加の傾向を示した。一方、平成12年度産は、中水分米がやや減少の傾向を示したものの、標準水分米、低水分米では顕著な傾向は見られなかった。

精米色調の経時の変化を、平成11年産については図3、平成12年産については図4に示した。各水分調製試料の経時の変化は、水分の挙動と近似する傾向を示し、全体的に水分が高いほどL値(明度)が高い傾向にある。平成11年産の中水分米については、貯蔵初期において明度が上昇する傾向が見られた。なお、ここではL値を白度の指標として用いているが、両者の測定値については相関が高い¹⁴⁾ことが認められている。

(3) 遊離脂肪酸組成および含量の変化

初発と60日処理後の遊離脂肪酸組成および含量について、平成11年産を図5、平成12年産を図6に示した。主要な遊離脂肪酸はリノール酸、オレイン酸、パルミチン酸で

図3 精米色調(明度)の経時的変化 (H11年産)

—×—; 低水分, -1°C; —+—; 低水分, -5°C; —△—; 標準水分, -1°C; —□—; 標準水分, -5°C; —○—; 標準水分, 15°C; —▲—; 中水分, -1°C; —■—; 中水分, -5°C.

図4 精米色調(明度)の経時的変化 (H12年産)

—×—; 低水分, -1°C; —+—; 低水分, -5°C; —△—; 標準水分, -1°C; —□—; 標準水分, -5°C; —○—; 標準水分, 15°C; —▲—; 中水分, -1°C; —■—; 中水分, -5°C.

図 5 初発および 60 日処理後の遊離脂肪酸含量 (H11 年産)

□, リノレイン酸; [checkered], リノール酸; [solid black], オレイン酸; [cross-hatched], パルチン酸; [solid grey], ステアリン酸.

図 6 初発および 60 日処理後の遊離脂肪酸含量 (H12 年産)

□, リノレイン酸; [checkered], リノール酸; [solid black], オレイン酸; [cross-hatched], パルチン酸; [solid grey], ステアリン酸.

あり、組成比率もこの順番に高く、この 3 種類で総遊離脂肪酸の 95% 以上を占めた¹³⁾。平成 11 年産および平成 12 年産ともに初発と 60 日処理後の差異は小さかったが、平成 11 年産は、平成 12 年産のおよそ 2~3 倍の含量を示し、古米の脂肪酸度が上昇している。

(4) 遊離糖組成および含量の経時的変化

糖の定量はフラクトース、グルコースおよびシュクロースについて行い、ここでは 3 組成分の合計量を総遊離糖含量とした。平成 11 年産の遊離糖含量の経時的変化を図 7、中水分米の -1°C 貯蔵を図 8、中水分米の -5°C 貯蔵を図 9、平成 12 年産の遊離糖含量の経時変化を図 10、中水分米の -1°C 貯蔵を図 11、中水分米の -5°C 貯蔵を図 12 にそれ

ぞれ示した。

中水分米は、貯蔵温度および年産の如何によらず経時的に増加する傾向が認められ、60 日貯蔵後ではその差が大きくなった。特に平成 11 年産の古米では -1°C 貯蔵で約 1.5 倍、-5°C 貯蔵で約 2 倍に顕著に増加した。標準水分米および低水分米では、貯蔵中に糖含量の大きな変化はなかった。組成糖のほとんどはシュクロースであり、シュクロースの生成量がそのまま総遊離糖含量の変化に反映される傾向にあった。

(5) 遊離アミノ酸組成および含量の経時的変化

遊離アミノ酸含量の経時的変化について平成 11 年産を図 13、平成 12 年産を図 14 に示した。また、60 日貯蔵後の

図 7 遊離糖含量の経時的変化 (H11 年産)

—×—; 低水分, -1°C ; —+—; 低水分, -5°C ; —△—; 標準水分, -1°C ; —□—; 標準水分, -5°C ; —○—; 標準水分, 15°C ; —▲—; 中水分, -1°C ; —■—; 中水分, -5°C .

図 10 遊離糖含量の経時的変化 (H12 年産)

—×—; 低水分, -1°C ; —+—; 低水分, -5°C ; —△—; 標準水分, -1°C ; —□—; 標準水分, -5°C ; —○—; 標準水分, 15°C ; —▲—; 中水分, -1°C ; —■—; 中水分, -5°C .

図 8 遊離糖含量の経時的変化 (H11 年産)
〈中水分, -1°C 〉

■, フラクトース; ▨, シュクロース; □, グルコース.

図 11 遊離糖含量の経時的変化 (H12 年産)
〈中水分, -1°C 〉

■, フラクトース; ▨, シュクロース; □, グルコース.

図 9 遊離糖含量の経時的変化 (H11 年産)
〈中水分, -5°C 〉

■, フラクトース; ▨, シュクロース; □, グルコース.

図 12 遊離糖含量の経時的変化 (H12 年産)
〈中水分, -5°C 〉

■, フラクトース; ▨, シュクロース; □, グルコース.

アミノ酸組成および含量について平成 11 年産を表 2, 平成 12 年産を表 3 に示した。

遊離アミノ酸含量の変化は遊離糖と似た挙動をし、中水分米は貯蔵温度の如何によらず経時的に増加する傾向が認められ、特に平成 12 年産の貯蔵 21 日以降の増加が顕著で

あった。標準水分米、低水分米は、平成 12 年産では大きな変化がないものの、平成 11 年産の古米では明らかな増加の傾向が見られた。

構成アミノ酸は 29 成分について定量した。特に近年、胚芽¹⁵⁾¹⁶⁾ および玄米¹⁷⁾¹⁸⁾ の機能性成分として注目されている

表 2 60 日処理後のアミノ酸含量 (H 11 年産)

(nmol/100 ml)

	低水分, -1℃	低水分, -5℃	標準水分, -1℃	標準水分, -5℃	標準水分, 低温	中水分, -1℃	中水分, -5℃
P-セリン (Ser)	0.018	0.083	0.074	0.078	0.089	0.096	0.068
タウリン (Tau)	0.213	0.255	0.243	0.263	0.265	0.305	0.308
エタノールアミン (Et-amine)	0.029	0.060	0.038	0.043	0.056	0.059	0.044
アスパラギン酸 (Asp)	0.914	1.203	0.928	0.993	1.253	1.259	1.012
プロリン (Pro)	0.634	0.673	0.702	0.743	0.818	0.824	0.834
スレオニン (Thr)	0.265	0.335	0.300	0.333	0.371	0.382	0.367
セリン (Ser)	0.941	1.110	1.065	1.191	1.210	1.320	1.212
グルタミン酸 (Glu)	1.121	1.260	1.110	1.163	0.332	1.333	1.194
サルコシン (Sar)	0.619	0.627	0.638	0.717	0.851	0.755	0.824
α -アミノアジピン酸 (AAA)	0.086	0.083	0.080	0.091	0.107	0.104	0.105
グリシン (Gly)	0.445	0.514	0.490	0.569	0.564	0.632	0.538
アラニン (Ala)	1.808	1.995	1.937	2.167	2.330	2.384	2.172
α -アミノ酪酸 (ABA)	0.072	0.054	0.079	0.090	0.069	0.108	0.095
バリン (Val)	0.291	0.279	0.309	0.320	0.324	0.338	0.361
メチオニン (Met)	0.133	0.043	0.120	0.120	0.083	0.115	0.113
シスチン (Cys)	0.184	0.113	0.192	0.192	0.130	0.184	0.182
L-ロイシン (Leu)	0.095	0.074	0.097	0.098	0.084	0.099	0.108
ロイシン (Leu)	0.174	0.134	0.178	0.180	0.155	0.185	0.199
チロシン (Tyr)	0.160	0.127	0.164	0.170	0.154	0.174	0.184
アラニン (Ala)	0.096	0.065	0.099	0.098	0.079	0.100	0.105
β -アラニン (Ala)	0.110	0.096	0.115	0.018	0.110	0.133	0.129
γ -アミノ酪酸 (GABA)	1.596	1.210	1.631	1.666	1.448	1.661	1.570
ヒスチジン (His)	0.062	痕跡	0.062	0.067	0.074	0.070	0.081
L-メチルヒスチジン (Me-his)	0.006	0.004	0.005	0.005	0.004	0.004	0.007
カルノシン (Car)	0.048	0.050	0.049	0.052	0.056	0.058	0.059
アンセリン (Ans)	0.014	0.021	0.014	0.014	0.016	0.014	0.015
リジン (Lys)	0.493	0.539	0.518	0.545	0.576	0.556	0.476
オルニチン (Orn)	0.047	0.265	0.046	0.045	0.049	0.047	0.044
アルギニン (Arg)	0.570	0.819	0.622	0.647	0.874	0.715	0.675
合 計	11.243	12.091	11.905	12.676	12.530	14.013	13.081

図 13 遊離アミノ酸含量の経時的変化 (H 11 年産)

—○—; 低水分, -1℃; —□—; 低水分, -5℃; —△—; 標準水分, -1℃; —◇—; 標準水分, -5℃; —○—; 標準水分, 15℃; —▲—; 中水分, -1℃; —■—; 中水分, -5℃.

γ -アミノ酪酸 (GABA) やタウリンも中水分, -1℃ および -5℃ の貯蔵条件下で増加の傾向にあり, 特に平成 12 年産の中水分米では顕著な増加が見られ, 健康機能性の面から

図 14 遊離アミノ酸含量の経時的変化 (H 12 年産)

—○—; 低水分, -1℃; —□—; 低水分, -5℃; —△—; 標準水分, -1℃; —◇—; 標準水分, -5℃; —○—; 標準水分, 15℃; —▲—; 中水分, -1℃; —■—; 中水分, -5℃.

も有効と思われた.

(6) 糊化特性の経時的変化

糊化特性の経時的変化を検討し, セットバック値 (最終

表 3 60 日後のアミノ酸含量の処理条件別の差異 (H 12 年産)

(nmol/100 ml)

	低水分, -1℃	低水分, -5℃	標準水分, -1℃	標準水分, -5℃	標準水分, 低温	中水分, -1℃	中水分, -5℃
P-セリン (Ser)	0.074	0.100	0.085	0.069	0.082	0.087	0.134
タウリン (Tau)	0.186	0.251	0.212	0.200	0.230	0.246	0.327
エタノールアミン (Et-amine)	0.027	0.050	0.043	0.041	0.041	0.052	0.072
アスパラギン酸 (Asp)	0.670	1.162	0.646	0.727	0.666	0.671	1.145
プロリン (Pro)	1.032	0.410	0.363	0.952	1.099	0.576	0.839
スレオニン (Thr)	0.219	0.256	0.235	0.234	0.265	0.405	0.505
セリン (Ser)	0.651	0.904	0.759	0.753	0.808	1.033	1.434
グルタミン酸 (Glu)	0.584	0.236	0.742	0.537	0.715	0.552	1.050
サルコシン (Sar)	0.531	0.056	0.555	0.516	0.650	0.647	0.720
α -アミノアジピン酸 (AAA)	0.075	0.063	0.072	0.065	0.078	0.075	0.084
グリシン (Gly)	0.219	0.342	0.285	0.299	0.283	0.885	1.305
アラニン (Ala)	1.017	0.143	1.181	0.135	1.335	3.949	4.692
α -アミノ酪酸 (ABA)	0.052	0.018	0.051	0.017	0.060	0.080	0.072
バリン (Val)	0.157	0.149	0.166	0.141	0.199	0.273	0.312
メチオニン (Met)	0.075	0.045	0.064	0.059	0.072	0.083	0.068
シスチン (Cys)	0.114	0.094	0.126	0.091	0.128	0.151	0.152
L-ロイシン (Leu)	0.048	0.040	0.051	0.043	0.060	0.068	0.072
ロイシン (Leu)	0.091	0.081	0.096	0.082	0.108	0.126	0.136
チロシン (Tyr)	0.093	0.091	0.099	0.085	0.117	0.135	0.157
アラニン (Ala)	0.050	0.046	0.053	0.045	0.059	0.062	0.069
β -アラニン (Ala)	0.030	0.042	0.038	0.036	0.041	0.056	0.078
γ -アミノ酪酸 (GABA)	0.285	0.760	0.337	0.682	0.285	1.254	1.592
ヒスチジン (His)	0.055	0.067	0.064	0.052	0.073	0.084	0.107
L-メチルヒスチジン (Me-his)	0.003	0.004	0.003	0.002	0.004	0.003	0.004
カルノシン (Car)	0.050	0.056	0.054	0.046	0.066	0.091	0.113
アンセリン (Ans)	0.020	0.018	痕跡	痕跡	0.019	0.017	0.014
リジン (Lys)	0.776	0.439	0.805	0.790	0.900	0.867	0.568
オルニチン (Orn)	0.165	0.153	0.077	0.076	0.083	0.077	0.055
アルギニン (Arg)	0.872	0.908	0.879	0.879	0.916	0.905	0.921
合 計	8.221	6.983	8.140	7.653	9.446	13.510	16.798

図 15 セットバックの経時的変化 (H 11 年産)

—×—; 低水分, -1℃; —+—; 低水分, -5℃; —△—; 標準水分, -1℃; —□—; 標準水分, -5℃; —○—; 標準水分, 15℃; —▲—; 中水分, -1℃; —■—; 中水分, -5℃.

粘度-最低粘度)の平成11年産を図15, 平成12年産を図16, 最終粘度の平成11年産米を図17, 平成12年産米を図18に示した.

図 16 セットバックの経時的変化 (H 12 年産)

—×—; 低水分, -1℃; —+—; 低水分, -5℃; —△—; 標準水分, -1℃; —□—; 標準水分, -5℃; —○—; 標準水分, 15℃; —▲—; 中水分, -1℃; —■—; 中水分, -5℃.

セットバック値は, 中水分米の貯蔵14日目頃から減少が大きく, 一方で対照(15℃貯蔵した標準水分米)の値はほとんど変わらなかった. 最終粘度は, 平成11年産米では

図 17 最終粘度の経時的変化 (H11 年産)

—×—; 低水分, -1°C ; —+—; 低水分, -5°C ; —△—; 標準水分, -1°C ; —□—; 標準水分, -5°C ; —○—; 標準水分, 15°C ; —▲—; 中水分, -1°C ; —■—; 中水分, -5°C .

図 18 最終粘度の経時的変化 (H12 年産)

—×—; 低水分, -1°C ; —+—; 低水分, -5°C ; —△—; 標準水分, -1°C ; —□—; 標準水分, -5°C ; —○—; 標準水分, 15°C ; —▲—; 中水分, -1°C ; —■—; 中水分, -5°C .

セットバック値の変化に近似し、中水分米での減少が大きいものに対して、対照の変化は小さかった。

このように、セットバック値と最終粘度の指標にみられるように、低温貯蔵により老化性の低下が認められ、その変化は水分が高いほど大きく、貯蔵温度および年産（新・古）の差は小さかった。なお、セットバック値と最終粘度以外の糊化特性の指標では、顕著な経時的変化は認められなかった。

(7) においの識別の変化

60 日貯蔵後のにおい識別の主成分分析結果について、平成 11 年産を図 19、平成 12 年産を図 20 に示した。

第一主成分軸 (SC1) がにおいの強度、第二 (SC2)、第三 (SC3) 主成分軸がにおいの質の違いの判別軸になっている。両年産とも、においの強度では中水分米の -5°C 貯蔵が最も強く、逆に低水分米の -1°C が最も小さかった。若干の逆転はあるものの、水分が高いほどにおいの強度が

図 19 60 日処理後のにおい識別 (H11 年産)

×; 低水分, -1°C ; +; 低水分, -5°C ; △; 標準水分, -1°C ; □; 標準水分, -5°C ; ○; 標準水分, 15°C ; ▲; 中水分, -1°C ; ■; 中水分, -5°C .

図 20 60 日処理後のにおい識別 (H12 年産)

×; 低水分, -1°C ; +; 低水分, -5°C ; △; 標準水分, -1°C ; □; 標準水分, -5°C ; ○; 標準水分, 15°C ; ▲; 中水分, -1°C ; ■; 中水分, -5°C .

大きく、水分が低いほど小さい傾向にあった。 -5°C 貯蔵が SC2 のプラス側に位置したが、中水分米の -1°C 貯蔵は年産により位置が異なることから、においの質に差異があるものと考えられた。

2. 官能検査の評価

平成 11 年産の 60 日貯蔵後の官能検査結果を図 21 に示した。中水分米において -1°C および -5°C 貯蔵とも、硬さを除きすべての項目で有意差を認めた。すなわち、平成 11 年産の古米を中水分に調製し、 -1°C および -5°C の低温下で 60 日間貯蔵した場合、総合、外観、香りおよび味が良く、粘りが強くなることが確認された。

しかし、平成 12 年産の全試料および平成 11 年産の 21 日貯蔵以前の試料では、全項目で有意差は認められなかった。このように、平成 11 年および 12 年産で特に 21 日貯蔵から顕著に認められた、遊離アミノ酸、遊離糖含量の増加、セットバック、最終粘度の低下は本試験では平成 11 年産

図 21 炊飯米の官能検査 (H 11 年産の 60 日処理後)

表 4 食味求評価の相関行列 (H 11 年産の 60 日処理)

	総合	外観	香り	味	粘り
外観	0.905**				
香り	0.974**	0.878*			
味	0.901*	0.846*	0.881*		
粘り	0.870*	0.862*	0.837*	0.915**	
硬さ	-0.284	-0.554	-0.349	-0.193	-0.453

n=6, **; 危険率 1% で有意.

*; 危険率 5% で有意.

の 60 日貯蔵においてのみ官能検査結果に反映された.

3. 食味求評価の相関性と主成分分析による解析

食味求項目間の相関行列を表 4 に示した. 硬さを除く全項目で有意差を認め, 相関関係があることが示された. 次に, 主成分分析により, 主成分の寄与率を求めたところ, 第一主成分が 78.8%, 第二主成分が 15.4% であり, 第一主成分で約 8 割の説明できた. その主成分負荷量は, 硬さを除く 5 項目でそれぞれ 0.9 以上を示した (図 22). それらは値が近似したが, 最も高い負荷量を示したのは総合評価であり, 以下, 食味求評の代表値に総合値を用いた.

4. 官能検査および理化学測定値の相関性

平成 11 年産の中水分米の 60 日貯蔵後における官能検査で有意差を認めたことから, 官能検査の総合評価および理化学測定値の関係について相関分析を行い, 相関行列を示した (表 5). その結果, 官能検査の総合評価は水分値, 色調 L 値, 遊離糖含量および遊離アミノ酸含量で有意差を認め, におい識別値, セットバック値および最終粘度で一定の相関関係を示した.

この結果から, 食味の向上には, 水分値, 色調 L 値, 遊離糖含量, 遊離アミノ酸含量およびにおい識別値が高く, セットバック値および最終粘度が低いほど関与することがわかった. なお, ここでのにおい識別値は, 強度指標であ

図 22 食味求評価の第 1 主成分の負荷量 (H 11 年産の 60 日処理後)

る CS1 の値を用いた. CS1 はアミノ酸含量との相関 ($r=0.911$) が高く, NH_3 系のセンサーの影響が働いた可能性が示唆された. しかし香りの質の十分な説明には至らず, 炊飯米の香りの良否の判別を含め, 今後の課題である.

5. 主成分分析による食味に関連する性状について

食味に関連する性状について, 明度を除く水分値, 遊離糖含量, 遊離アミノ酸含量, におい識別値, セットバック値, 最終粘度, 食味総合値の 7 項目で主成分分析を行った. 貯蔵に伴う第 1 および第 2 主成分寄与率の変化を図 23 に

表 5 官能検査および理化学測定値の相関行列 (H11 年産の 60 日処理)

	色調 L 値	遊離糖含量	遊離アミノ酸含量	セットバック	最終粘度	におい識別値	官能検査総合
水分値	0.897**	0.719	0.820*	-0.745	-0.551	0.866**	0.838*
色調 L 値	—	0.950**	0.747	-0.850*	-0.726	0.643	0.908**
遊離糖含量	—	—	0.622	-0.786*	-0.724	0.425	0.853*
遊離アミノ酸含量	—	—	—	-0.714	-0.198	0.911**	0.847*
セットバック	—	—	—	—	-0.754	-0.593	-0.736
最終粘度	—	—	—	—	—	-0.160	-0.440
におい識別値	—	—	—	—	—	—	0.672

n=7, **; 危険率 1% で有意.

*; 危険率 5% で有意.

図 23 貯蔵に伴う第 1 および第 2 主成分寄与率の変化

示した. 第 1 主成分は 50% 以上の寄与率であり, 貯蔵に伴い平成 11 年産は顕著な増加傾向を示した. 第 2 主成分は, 20% 程度で貯蔵に伴う変化は小さく, 平成 11 年産が減少傾向であるのに対して平成 12 年産の変化は小さかった. 次に, 官能検査で有意差を認めた平成 11 年産の 60 日貯蔵後について, 第 1 主成分 (寄与率 72.2%) に関連する性状を主成分負荷量から検討した (図 24). プラス因子は, 水分値, 食味総合値, 遊離アミノ酸含量, 遊離糖含量, におい識別値であり, この順番に負荷量が高かった. 一方, マイナス因子はセットバック値および最終粘度であった. この結果は, 表 5 の相関行列が示す, 水分値, 遊離糖含量, 遊離アミノ酸含量およびにおい識別値が高く, セットバック値および最終粘度が低いほど関与するという結果と整合した. なお第 2 主成分については, 寄与率が 17.7% と低い上に, 食味成分等と物性の系で主成分負荷量に一定の傾向が認められなかったため, 検討から除外した.

考 察

平成 11 年産の古米を, 中水分で $-1^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$ の温度において 3 週間以上貯蔵することにより, 顕著な食味の向上が認められる.

理化学測定値では, 年産の如何に関わらず経時的な変化が認められたが, 官能検査では平成 12 年産は有意差が認

図 24 官能検査および理化学測定値の第 1 主成分の負荷量 (H11 年産の 60 日処理後)

められなかった. この要因として, 平成 12 年産は収穫直後の新米であり, 原料米そのものが新鮮で食味が優れていたために, 官能的な差異を認めるに至らなかったと推定される.

このように, 今回得られた成果は, 古米を氷点下 1°C から氷点下 5°C の温度で中期間貯蔵することにより, 中水分米で顕著な食味向上を認めたことである. 食糧庁の買い上げ基準の水分は, 15.5~16.0% 以下であり, 食糧庁の低温貯蔵庫は 15°C , 湿度 75% (平衡水分約 15%) である. 今回調製した中水分米は水分が 18~19% であり, この水分は

カントリーエレベーターで一次乾燥したときの比較的安定な水分含量であることから、これを本条件下の低温温度帯で徐々に水分を除去すると省エネルギー効果も期待できる。しかし、貯蔵に先立つ水分の調製において留意することは19%以下に制御することであり、過度に水分を増加させると胴割れや糸状菌の生育による品質劣化が起こる可能性がある。

従来、氷温帯と呼ばれる低温下において澱粉は遊離糖に、高温では遊離糖から澱粉へと可逆反応的に変化するとされており、このような現象は水分含量の高い馬鈴薯の貯蔵などで起こることは広く知られている。氷温処理をうたった食品としては、納豆やパンなどが商品化され、付加価値を高めて販売されている。山根は、氷点近くの低温下で旨味が向上する理由として、生体が氷温域で低温ストレスによる生体反応がおこり、タンパク質や多糖類が分解してアミノ酸や遊離糖が増加すると述べ、旨味成分の生成に関与する酵素反応だけが優先的に働くためであるとしている。比較的水分の低い穀類の米においては、このような反応はほとんど起こらないが、水分を18~19%程度に高めることにより低温下での生体反応を活性化し、食味を向上させることができることが示唆された。

今後の課題としては、品種により貯蔵期間と品質の向上・劣化の傾向が異なることが予想されるため、いくつかの代表品種についてもその効果を検証する必要があると考えている。

要 約

(1) 超低温下(−1℃, −5℃)で、新米と古米を最長で60日間貯蔵し、経時的に理化学測定と官能検査を行い、食味の向上要因を検討した。その結果、中水分に調製した古米を60日間貯蔵した場合、官能検査の総合、外観、香り、味および粘りで有意差が認められた。

(2) この食味向上の要因として、水分値、色調L値(明度)、遊離糖含量、遊離アミノ酸含量、におい識別、セットバック値および最終粘度が関与していることが明らかになった。

(3) これらの成果の活用により、特に古米の食味向上を図ることが可能であり、これにより付加価値が向上し、米の新規需要が図られて需要拡大の一手段に成るものと考えられる。

なお本知見は、社団法人食品需給研究センターの平成12

年度フードシステム連携強化・循環推進技術確立事業の研究成果である。多大なご支援をいただいた同センターに厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 加藤忠司, 青木和彦, 山西弘恭, 冬季ハウス栽培ホウレンソウのビタミンC, β カロテン, トコフェロールおよびシュウ酸含有量に対する外気低温の影響, 日本土壤肥科学雑誌, **66**, 563-565 (1995).
- 2) 青木和彦, 低温を利用した野菜の品質向上, 農耕と園芸, **51**, 76-78 (1996).
- 3) 山根昭美, 氷温貯蔵食品の開発, 日食工誌, **29**, 736-743 (1982).
- 4) 山根昭美, 氷温乾燥食品, 食品低温流通, **12**, 28 (1983).
- 5) 山根昭美, 食品のおいしさを損わない氷温保存法について, 食品加工技術, **4**, 68-76 (1984).
- 6) 山根昭美, 氷温貯蔵, 食物を氷結点前の未凍結領域で貯蔵する技術, 科学と生物, **22**, 215-216 (1984).
- 7) 山根昭美, 氷温貯蔵の科学, (農山漁村文化協会, 東京), pp. 1-173 (1997).
- 8) 深井洋一, 松澤恒友, 石谷孝佑, 米粒の搗精部位層における澱粉の糊化特性と理化学的性質, 食科工, **44**, 102-111 (1997).
- 9) 深井洋一, 高木悦子, 小林昭一, 酵素処理による米澱粉の特性改変, 澱粉科学, **40**, 263-269 (1993).
- 10) Nimura, N and Kinoshita, T., Fluorescent labeling of fatty acids with 9-anthryldiazomethane (ADAM) for high performance liquid chromatography. *Analytical Letters*, **13** (A3), 191 (1980).
- 11) 深井洋一, 唐沢秀行, 高速液体クロマトグラフィー(9-アンスリルジアゾメタン化)による米貯蔵中の遊離脂肪酸の変化, 日食保蔵誌, **23**, 9 (1997).
- 12) 深井洋一, 松澤恒友, 石谷孝佑, タイ, 米国および中国産糯米の理化学的性質と加工適性, 調理科学, **33**, 13-17 (2000).
- 13) 深井洋一, 松澤恒友, 石谷孝佑, 無洗米の品質特性および貯蔵性の評価, 食科工, **44**, 367-375 (1997).
- 14) 深井洋一, 長野米定点調査報告書(平成2~5年), 長野県経済事業農業協同組合連合会, p. 1 (1994).
- 15) Saikusa, T., Horino, T. and Mori, Y., Distribution of free amino-acids in the rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution. *Jagr. Food Chem.*, **42**, 1122-1125 (1994).
- 16) Saikusa, T., Horino, T. and Mori, Y., Accumulation of gamma-aminobutyric-acid (GABA) in the rice germ during water soaking., *Biosci. Biotech. Bioch.*, **58**, 2291-2292 (1994).
- 17) 杵淵美倭子, 関谷美由紀, 山崎 彬, 山元皓二, 高圧処理を利用した玄米中への γ -アミノ酪酸(GABA)の蓄積, 食科工, **46**, 323-328 (1999).
- 18) 杵淵美倭子, 関谷美由紀, 山崎 彬, 山元皓二, 高圧処理により γ -アミノ酪酸(GABA)を蓄積させた玄米の一般生菌数の変化と加工玄米に性質, 食科工, **46**, 329-333 (1999).

(平成14年8月21日受付, 平成15年2月14日受理)