

## 市販腎臓病治療用たんぱく質調整米の嗜好性を含めた品質特性について<sup>†</sup>

### Quality characteristics including palatability of commercially available low protein rice products for diet therapy in patients with chronic kidney disease

菊地 紘美<sup>\*1</sup> 星 祐二<sup>\*2</sup>

Hiromi KIKUCHI Yuji HOSHI

The quality characteristics, including palatability, of 5 kinds of low-protein rice products (LPRPs) for the treatment of chronic kidney disease and a low glutelin rice variety (LGR) were investigated.

The results of SDS electrophoresis suggested that LGR was less susceptible to pepsin/pancreatin digestion because of its high content of indigestible prolamin.

The appearances of LPRPs were influenced by the protein reduction methods, while LGR had an appearance similar to that of control rice *Hitomebore* (RR). In addition, microstructure observation by SEM revealed that starch granules and amyloplasts present in RR and LGR were not observed in LPRPs and they had smooth structures.

The hardness of the cooked rices with LPRPs (c-LPRPs) was lower than that of the control cooked rice (c-RR), and the adhesiveness tended to be about the same as or lower than that of c-RR. The hardness of cooked LGR was similar to that of c-RR, and the adhesiveness was low.

The product with a low protein reduction rate (1/5) exhibited an appearance, aroma, and taste similar to c-RR, but products with reduced protein to about 1/25 often exhibited the appearance and flavor peculiar to c-LPRPs.

**Keywords:** low-protein rice product, chronic kidney disease, quality characteristic

たんぱく質調整米、慢性腎臓病、品質特性

#### 1. 緒言

我が国の腎臓病患者数は、生活習慣病の増加にともなって増えており、現在 1,330 万人（成人の 8 人に 1 人）に達し、維持透析を受ける患者数も約 33 万人となっている<sup>1,2)</sup>。慢性腎臓病患者が、透析に至らないようにするためには残存腎機能の維持が重要あり、そのためには食事療法と禁煙などの生活習慣の改善、薬剤を用いた血圧管理等が必要となる。なかでも食事療法においては、食塩摂取量を 1 日 6 g 未満に制限することや健常人と同程度のエネルギー（25~35 kcal/kg 体重/日）を確保しつつ、慢性腎臓病の病期分類に応じたタンパク質制限（0.6~1.0 g/kg 体重/日）を行うことが必要とされている<sup>3)</sup>。

タンパク質はエネルギー産生栄養素の 1 つであり、体構成成分やエネルギー源として重要であるが、タンパク質を過剰に摂取することで腎臓の糸球体の内圧が上昇し、腎組織が傷害を受けることから、腎臓病患者がタンパク質の摂取量を制限することは、腎機能低下抑制の点で有用であるとされている<sup>4,5)</sup>。また、タンパク質が体内で代謝されると窒素化合物も生成されるが、腎機能が低下

している場合には、その排泄が十分に行えず、尿毒症などの原因となる点からも、タンパク質の摂取を制限することは有用となる<sup>3)</sup>。

良好な栄養状態を維持しながら、タンパク質の制限を行うためには、アミノ酸スコアの低い穀物（主食）由来のタンパク質の摂取を抑え、良質なタンパク質を多く含む肉や魚などの摂取割合を高めることが重要となる<sup>6,7)</sup>。さらに、摂取したタンパク質をエネルギー源としてではなく、体構成成分として利用するためには、十分なエネルギー量の確保が必要であり、単に主食量を減じてタンパク質摂取量の低減化を図ることは、エネルギー不足を惹起する可能性がある点に留意すべきであろう<sup>4,7,8)</sup>。

このように相反する諸条件を満たしながら、腎臓病の食事療法を継続するためには、「腎臓病治療用特殊食品」を活用することも選択肢の 1 つとなり、そのための食品として、「たんぱく質調整食品」や「でんぶん製品」などがある。

著者らは、宮城県内 30 施設の病院に勤務し、日々栄養指導を行っている管理栄養士を対象に、タンパク質制限食

<sup>\*1</sup>医療法人双桜会 やまと内科クリニック

<sup>\*2</sup>宮城学院女子大学大学院健康栄養学研究所

<sup>†</sup>2021 年 1 月 6 日受付, 2021 年 1 月 29 日受理

指導やでんぶん製品等の嗜好性に関するアンケート調査を実施し、「多種市販されているたんぱく質調整食品の中から、患者の嗜好にあった製品を紹介することができますか」の質問に対し、製品によって味や食感の差異を認識している方であっても、約7割の方が「(患者の嗜好にあった製品の紹介は)できない」と回答された。

このように、日々の業務でタンパク質制限食を指導する管理栄養士であっても、たんぱく質調整食品の嗜好特性の差異に関する知識が十分ではないことが明らかとなり<sup>9)</sup>、これらの結果を受けて、著者らは、「でんぶんパンミックス」から調製した「でんぶんパン」や「でんぶん米」を炊飯した「でんぶんご飯」の嗜好性改善に取り組んできた<sup>10,11)</sup>。

上記のでんぶん米やでんぶんパンミックスの他にも、主要な腎臓病治療用特殊食品として「たんぱく質調整米」があり、多くの企業から多種多様な製品が市販されているが、それらを利用する患者が、自分の嗜好にあった製品を選択する際に迷うことも多い。そこで本研究では、指導にあたる管理栄養士が、患者の嗜好にあったたんぱく質調整米を選択し、食事療法を行う方のQOL向上に資することを目的として、入手の容易なたんぱく質調整米とそれらを炊飯した「たんぱく質調整ご飯」の物理化学的および感覚的特性を明らかにすることとした。

なお、「たんぱく質」や「でんぶん」の表記は、学術用語としてはカタカナであるが、製品等の名称については、平仮名で表記することとした。

## II. 試料および実験方法

### 1. 対照米および各種たんぱく質調整米

同程度にタンパク質を低減化した製品として、タンパク質含有量1/20~1/25の3製品(製造/販売会社が同じものも含む)と、同一ブランド名でタンパク質含有量の異なる2製品を選択した。また、一般的なたんぱく質調整米は、普通米を原料に酵素や乳酸発酵処理によって含有タンパク質量を低減したものを指すが<sup>12-14)</sup>、本研究では育種により、易消化性タンパク質であるグルテリンを低減化した米もたんぱく質調整米の1つとした<sup>15-17)</sup>。なお、

当該品種米は「低グルテリン米」の名称で流通しているが、開発元の農研機構では、その名称の使用自粛を求めている<sup>18)</sup>。一方、農研機構を含め<sup>17,19)</sup>、他の公的機関においてもその名称が使用されており<sup>20)</sup>、他に適当な表現がなく、本研究でも「低グルテリン米」の呼称を使用することとした。

#### 1) 対照米

ひとめぼれ (2016年産)

#### 2) タンパク質含有量が1/20~1/25に低減化された製品群と略号

1/25 低減化製品 E25 (A社)

1/25 低減化製品 M25 (A社)

1/20 低減化製品 P20 (B社)

#### 3) 同一ブランド名でタンパク質含有量が異なる製品群と略号

1/05 低減化製品 Y05 (C社)

1/25 低減化製品 Y25 (C社)

#### 4) 低グルテリン米と略号

農研機構が人工交配により育成した品種 LGR (2017年産)

## 2. 炊飯方法

### 1) 対照米および低グルテリン米

① 米粒1合(180g)を筥に入れ、流水で30秒間かき混ぜた。

② 炊飯器(タイガー魔法瓶JBH-G1)付属の内釜へ移し、米粒が隠れる程度の水を入れ、30回素早くかき混ぜ、さらに水を足し、全体をよくかき混ぜ、白く濁った水を捨てた。

③ ②の作業を3回繰り返したのち、水切りをした。

④ 洗米後、ひとめぼれの場合は220mLを加水し、洗米時に付着した水20mLと合わせ1.33倍の加水量とした。低グルテリン米は販売店において、少なめの水加減が推奨されているため、洗米後200mLを加水し、1.22倍加水とした。

⑤ 加水後、常温で1時間浸漬させ、炊飯時間が約40分の「普通炊き」で炊飯後、10分間蒸らした。

表1. たんぱく質調整米の炊飯方法

製品名	製品重量 (g)	加水量 (mL)	炊飯方法	蒸らし時間 (分)
E25	150	170	早炊き	15
M25	150	225	早炊き	15
P20	135	170	早炊き	15
Y05 および Y25	140	195	普通炊き	15

なお、洗米時は水道水、炊飯時はミネラルウォーター（日本コカ・コーラ「森の水だより」）を使用した。

## 2) たんぱく質調整米

各製品の包装に記載されている方法に準じて炊飯し、具体的な炊飯方法が記載されていない場合は販売会社へ照会後、推奨された方法で炊飯した。ただし、予備炊飯において、仕上がりが不良であった場合は、水加減等を検討し、良好に仕上がったものを評価対象とした。製品ごとの炊飯方法を表1に示した。なお、今回使用した「炊飯ジャー」には、「普通炊き」機能（炊飯時間約40分）と「早炊き」機能（炊飯時間約20分）があったため、たんぱく質調整米製品で早炊き炊飯が推奨されている場合は、早炊き機能を使用して炊飯を行った。以後、このようにして炊飯したたんぱく質調整米を「たんぱく質調整ご飯」と表記した。

なお、著者らのたんぱく質調整食品の品質特性に関する一連の研究では、今回のたんぱく質調整米に加え、「たんぱく質調整パックご飯」や「でんぶん米」、さらには「でんぶんパン」の品質特性の評価も目的としているために、供試試料数が非常に多くなった<sup>9-11)</sup>。そこで、ひとめぼれを事前に3回炊飯し、炊飯ごとに色彩およびテクスチャーの評価を行ったところ、各測定値間に有意差がなかったことを確認したので、たんぱく質調整米の炊飯は各製品につき1回とした。

## 3. 炊飯米乾燥粉末試料の調製

上記2で炊飯した米飯を $-18^{\circ}\text{C}$ で凍結後、凍結乾燥を行った。乾燥後、ファイバーミキサー（パナソニックMX-X700）のミル機能により粉碎して、炊飯米乾燥粉末試料を得た。また、未炊飯米粉末試料は、搗精米粒を直接ファイバーミキサーで粉碎して調製した。

## 4. タンパク質分解酵素による消化と SDS 電気泳動

### 1) ペプシンおよびパンクレアチンによる消化

ペプシン（「ペプシン1:100」和光純薬）とパンクレアチン（和光純薬）による段階的消化を、以後「人工消化液による消化」とした。

- ① 炊飯米乾燥粉末試料1gを蒸留水50mLに分散後、pHを2に調整した。
- ② ペプシン10mgを添加し、 $37^{\circ}\text{C}$ に設定したウォーターバスで、2時間反応させた。
- ③ ペプシン分解後、pHを8.8に調整した。
- ④ 0.05M トリス緩衝液（pH8.8）50mLにパンクレアチン100mgを溶解し、上記③の分解液と混合後、 $37^{\circ}\text{C}$ で4時間反応させた。

### 2) 炊飯米分解乾燥粉末試料の調製

- ① 人工消化液による分解後、 $95^{\circ}\text{C}$ 、10分間加熱し、パンクレアチンを失活させ、酵素分解を止めた。
- ② 3,000回転、10分間の遠心分離により沈殿を回収し

た。回収した沈殿は2回洗浄後、凍結乾燥により粉末化し、これを「炊飯米分解乾燥粉末試料」とした。

### 3) 泳動用試料の調製

未炊飯米乾燥粉末試料約50mgまたは炊飯米分解乾燥粉末試料約25mgをマイクロチューブ（1.5mL容）にとり、2倍に希釈した泳動用試料調製液 EzApply（アトー）1.0mLを加え、ボルテックミキサーで攪拌し、1時間放置した。放置後、 $90^{\circ}\text{C}$ で10分間加熱してから流水で冷却した。冷却後、小型卓上遠心機（アズワンDLAB D1008）で1分間遠心し、上清を回収した。電気泳動は、プレキャストゲル（アトー e-PAGEL E-T/R15L）を用いて、20mAで1時間行い、泳動終了後、染色・脱色操作を行った。

## 5. 外観評価および微細構造の観察

### 1) デジタルマイクロスコープによる外観評価

炊飯前後の米粒の色や形状観察は、デジタルマイクロスコープ（アルファーマイラージュ DIM-02）を用いて行った。

### 2) 走査型電子顕微鏡（SEM）による微細構造観察

SEM（日立 TM-3000）による微細構造の観察は、炊飯米についてはSEM用試料調製の段階でアーティファクトの影響が認められたため、未炊飯米についてのみ行うこととした。未炊飯米粒を剃刀で長辺方向に2~3mm厚に切断し、切断面を上にしてSEM試料台にボンドで接着し、金を蒸着（エイコー IB-3）してから1,000倍で観察した。

## 6. たんぱく質調整米の形状評価

破損していない未炊飯米粒の粒長、粒幅および粒厚を、ノギス（分解能0.1mm）で製品ごとに20粒測定し、測定値から粒長の粒幅に対する倍率である「長幅比」（粒長/粒幅）と、粒長と粒幅の積である「長幅積」（粒長×粒幅）を算出した<sup>21)</sup>。

## 7. 色彩評価

色彩（ $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ ）の測定は、直径4cmのプラスチックシャーレに試料を充填し、測色色差計（日本電色工業 ZE 2000）を用いて行った。また、炊飯前後の米粒の $a^*$ 、 $b^*$ 値から、次式にしたがって彩度を算出した<sup>22)</sup>。

$$\text{彩度} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

各製品と対照米ひとめぼれとの色の差を数値化するために、ひとめぼれを基準にし、製品ごとの色差も算出した。ひとめぼれの色度値（ $L_1^*$ 、 $a_1^*$ 、 $b_1^*$ ）と各製品の色度値（ $L_2^*$ 、 $a_2^*$ 、 $b_2^*$ ）から、次式により色差を求めた。

$$\text{色差} \Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

算出した色差は、JIS規格等で使用されている「色の許容差事例」を参考に評価した<sup>23)</sup>。

## 8. テクスチャー評価

レオメーターを用いて米飯のテクスチャーを評価する方法として、シャーレに試料を充填して測定する方法や、米粒3粒または1粒について評価する「3粒法」や「1粒法」がある<sup>24-30)</sup>。それらの中でもっとも迅速に測定できる1粒法は、米粒間のバラツキを考慮する必要はあるものの、3粒法と相関するという報告もあるため<sup>30)</sup>、本研究では1粒法で、各製品につき10粒ずつ評価することとした。

測定は、直径40mmのプラスチックシャーレの上に米粒1粒をのせて行き、「硬さ」および「付着性」を求めた。レオメーターは、直径30mmの円形平板プランジャーを装着したRHEONER II CREEP METER RE-2-33005S(山電)を用い、ロードセル「20N」、ロードマグニチュード「1」、ステップ「0.01mm」、圧縮速度「1.0mm/秒」、圧縮率「50%」、圧縮回数「2回」の条件で測定した。レオメーターからの出力電圧は、自作直流増幅器で5倍に増幅後、Science Cube(ケニス)を介して、Windows7が稼働するPC上のMicrosoft Excel 2007に、20ミリ秒間隔で取り込み、Excel上でテクスチャー解析を行った。なお、「えん下困難者用特別用途食品」の表示許可基準において、付着性の単位は $J/m^3$ となっているが<sup>31)</sup>、今回の測定では、圧縮面の接触面積を正確に求めることはできないので、単位はN(ニュートン)とした。また、一定時間間隔でデータを取り込み、レオメーターの試料台も定速で移動することから移動距離の乗算も行わなかった。

## 9. 感覚的評価

30代女性と60代男性の2名がパネルとなって感覚的評価を実施した。上述の方法で炊飯したたんぱく質調整ご飯を日本穀物検定協会の評価項目に準じて、対照米を基準に評価した<sup>32,33)</sup>。評価項目および評価点数は、「外観」、「香り」、「味」および「総合」の項目については、「-3」の「非常に不良」から「+3」の「非常に良い」、「粘り」については、「-3」の「非常に弱い」から「+3」の「非常に強い」、「硬さ」については、「-3」の「非常に軟らかい」から「+3」の「非常に硬い」までの7段階評価とした。

## 10. 統計処理

データ解析は、製品間の比較を行う際に正規性および等分散性がみられた項目については、一元配置分散分析を実施してからTukey-Kramer法による多重比較を行った。一方、正規性や等分散性がみられなかった項目については、Steel-Dwassの検定を行った。解析には、「エクセル統計」第4版の付属アドインソフトである、Statcel

4(オーエムエス出版)を用いた。

## III. 結果と考察

### 1. 米タンパク質の電気泳動的観察

ひとめぼれと低グルテリン米のLGRに含まれるタンパク質のSDS電気泳動パターンを図1に示した。未炊飯のひとめぼれには、分子量37kDaと23kDa付近にグルテリンサブユニット( $\alpha$ 、 $\beta$ )のバンドと分子量13kDa付近にプロラミン画分のバンドが認められた<sup>34)</sup>。LGRについても、ひとめぼれと同様、グルテリンサブユニットとプロラミン画分のバンドが認められたが、LGRのグルテリンサブユニットの染色程度はひとめぼれのバンドよりも低い一方、プロラミン画分はLGRの方が濃く染色されており、LGRには難消化性タンパク質であるプロラミンが多く含まれていることが確認できた。ペプシンおよびパンクレアチン分解を受けた炊飯米粉の電気泳動パターンから、ひとめぼれおよびLGRとも易消化性タンパク質であるグルテリンのバンドは完全に消失しており、ペプシンおよびパンクレアチンによって消化されたものと考えられた。一方、難消化性といわれるプロラミンについては、ひとめぼれおよびLGRともに明瞭に残存しており、プロラミンが消化されにくいタンパク質であることが確認できた。また、LGRはひとめぼれに比べ、消化性の低いプロラミン画分が相対的に高いことから、タンパク質消化を受けにくい米であると考えられた。

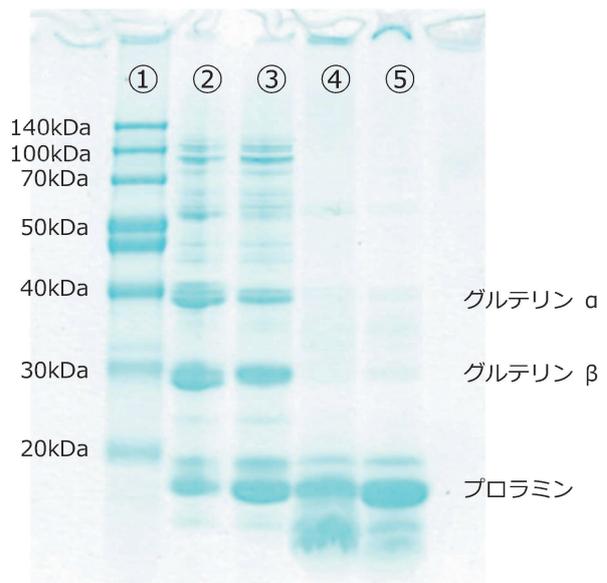


図1. 米タンパク質のSDS電気泳動パターン  
①：分子量マーカー ②：未炊飯ひとめぼれ ③：未炊飯LGR ④：炊飯\_分解ひとめぼれ ⑤：炊飯\_分解LGR

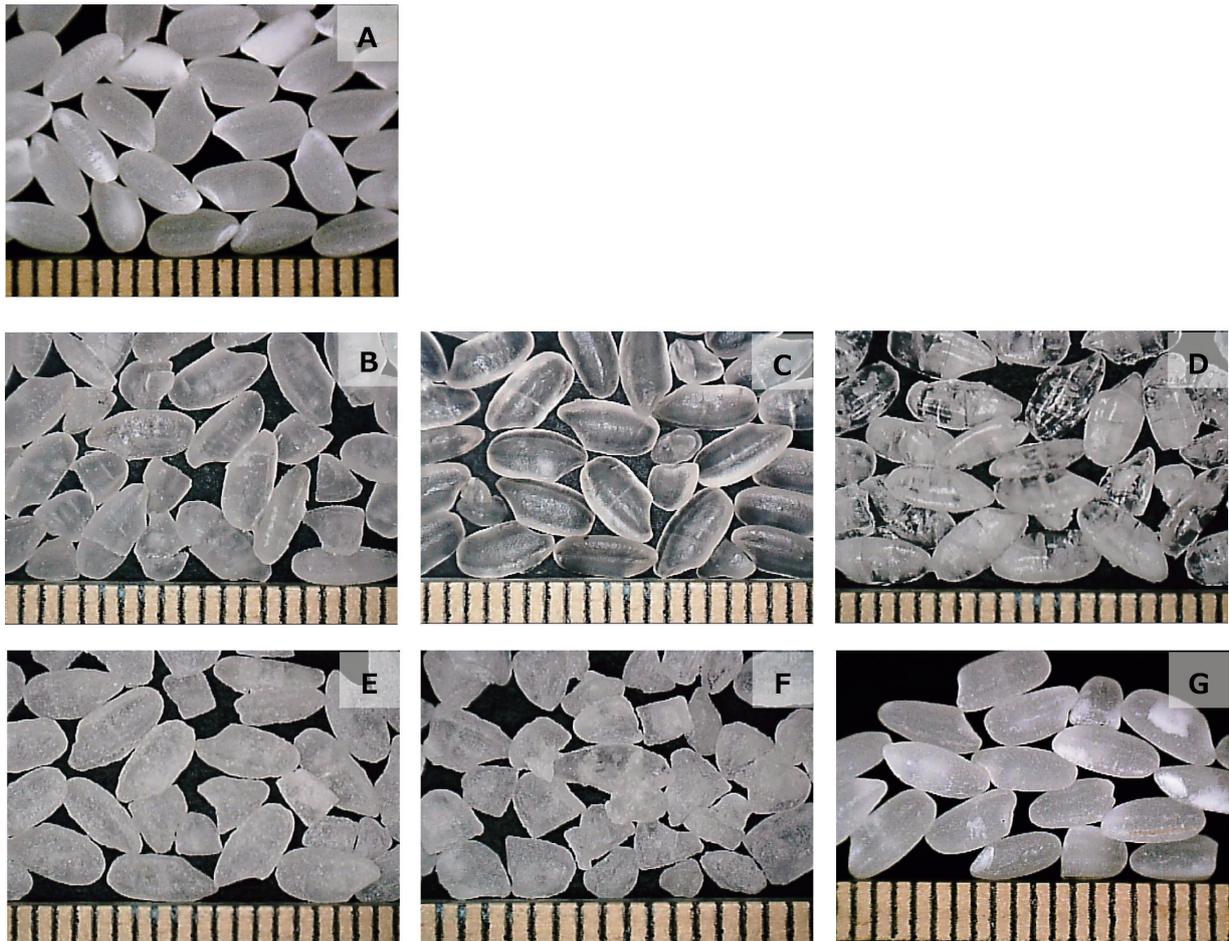


図2. 炊飯前たんぱく質調整米のデジタルマイクログラフ撮影画像  
A：ひとめぼれ B：E25 C：M25 D：P20 E：Y05 F：Y25 G：LGR

## 2. デジタルマイクログラフによる外観評価およびSEMによる微細構造観察

デジタルマイクログラフを用いた外観評価は炊飯前後、SEMを用いた微細構造観察は炊飯前の試料のみとした。それぞれの撮影画像を図2～4に示した。

ひとめぼれの炊飯前米粒には艶があり、米粒の大きさが揃っている様子が確認できた。それに対し、たんぱく質調整米のE25、M25およびP20には、たんぱく質調整米特有の透明感や艶が認められたが、Y05とY25はともにそのような外観は認められず、その一方で破碎している米粒が多く存在していた。E25、M25およびP20は乳酸発酵によって含有タンパク質を低減化しているのに対し<sup>12,14)</sup>、Y05とY25は酵素処理によってタンパク質を低減化しており<sup>13)</sup>、これらの外観的な差異はタンパク質の低減化法の相違に起因していると考えられた。低グルテリン米のLGRは、形状は普通米に近いものの、艶は少なく、一部白濁している様子が認められたが、化学処理によってタンパク質を低減化したたんぱく質調整米に比べれば、普通米に近い外観を呈していた。

炊飯後の外観も炊飯前の様子がある程度引き継いでおり、

M25およびP20は、炊飯後も透明感を有していた。また、タンパク質含有量の異なるY05とY25では、タンパク質低減率の低いY05の方が透明感は低く、米粒の形もY25に比べ、普通米に近い外観を呈していた。

SEMを用いて炊飯前米粒の微細構造を観察した結果、ひとめぼれやタンパク質低減化処理を行っていないLGRでは、デンプン粒やデンプン粒の集合体であるアミロプラストが確認でき、さらにLGRでは、それらがより明瞭に確認できた。一方、たんぱく質調整米では、デンプン粒などは認められず、平滑な構造を呈していた。これは、含有タンパク質を低減化する際の乳酸発酵や酵素処理の影響によるものと考えられた。

## 3. 形状評価

炊飯前米粒の長さ、幅および厚さをノギスで測定し、測定値より長幅比（粒長/粒幅）と長幅積（粒長×粒幅）を算出した結果を表2に示した。

米粒の長さは、ひとめぼれの4.8 mmと比較し、LGRを含めたいずれのたんぱく質調整米も有意に長く、E25は5.5 mm、M25は5.4 mm、P20は5.8 mm、Y05は

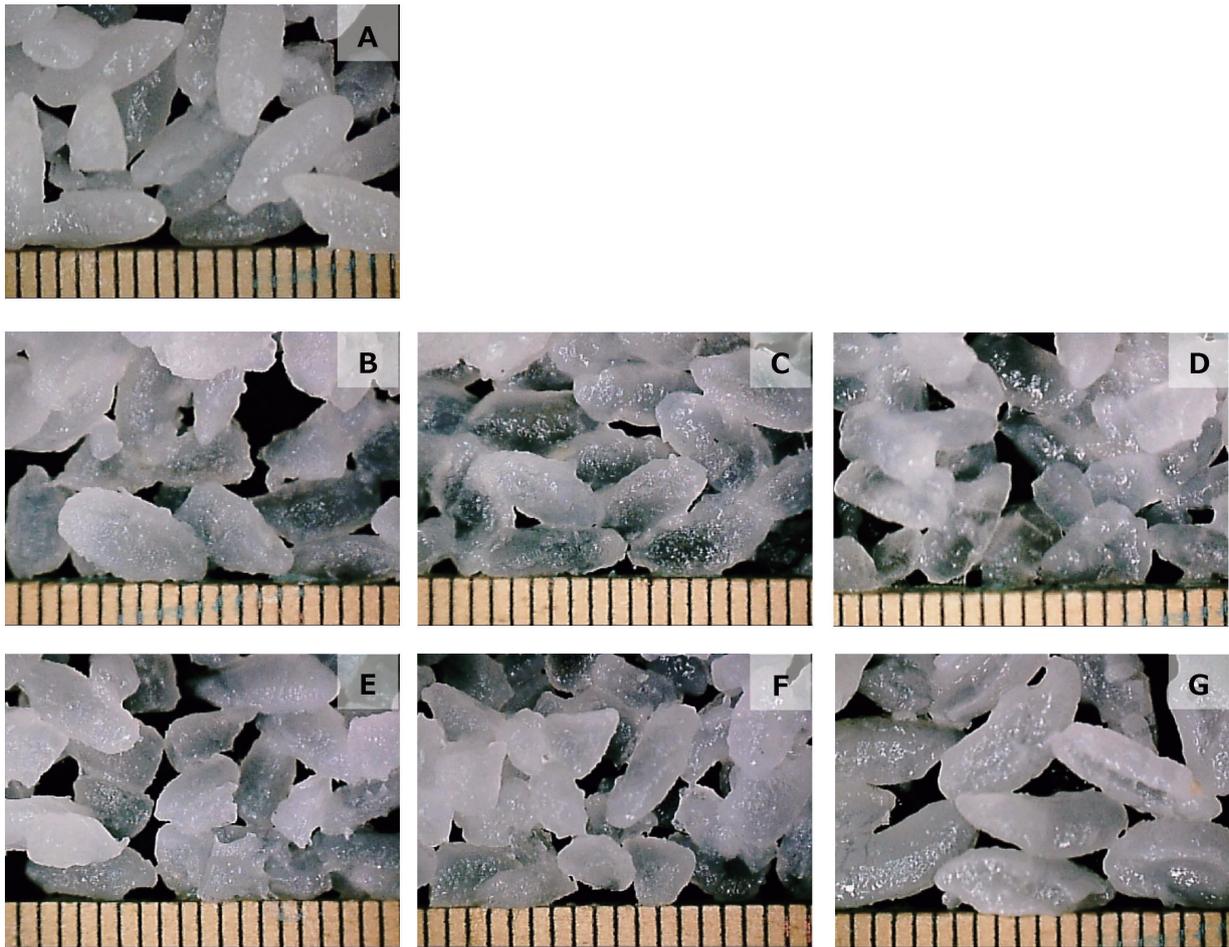


図3. 炊飯後たんぱく質調整米のデジタルマイクロスコープ撮影画像  
 A：ひとめぼれ B：E25 C：M25 D：P20 E：Y05 F：Y25 G：LGR

5.5 mm、Y25は5.7 mm、LGRは5.6 mmであった。  
 米粒の幅については、M25とY05、およびY25は、ひとめぼれと同等の粒幅であった。一方、ひとめぼれに比べ、幅の狭い米粒はLGRであり、広い製品はE25およびP20であったが、いずれも有意差はなかった。

米粒の厚さについては、LGRを除くすべてのたんぱく質調整米は、ひとめぼれと比較し有意に薄かった。

長幅比および長幅積の値は、いずれのたんぱく質調整米ともひとめぼれに比べ、有意に大きな値を示し、Y05およびLGRは中粒種中型、Y25は中粒種大型、P20は短粒種大型の分類となり、E25およびM25はひとめぼれと同じ短粒種中型であった。

#### 4. 色彩評価

ひとめぼれ、および各種たんぱく質調整米の色彩評価結果を図5～8、および表3に示した。

明るさを示す $L^*$ は、炊飯前はY5とY25間を除き、すべての製品間に有意差があった。ひとめぼれの $74.19 \pm 0.28$ と比較し、P20、Y05およびY25は、それぞれ $75.47 \pm 0.83$ 、 $77.03 \pm 0.47$ 、 $77.14 \pm 0.08$ と有意に大きく、E25、

M25およびLGRは、それぞれ $68.40 \pm 0.29$ 、 $64.96 \pm 0.36$ 、 $72.88 \pm 0.17$ と有意に小さい値であった。また、炊飯により、明るさに変化があるものとそうではないものがあったが、ひとめぼれと比較し、LGRを除くすべての製品で、有意に小さい値となり、炊飯前ほど製品間の差異は認められなくなった。

また、色調については、 $a^*$ および $b^*$ の値から、いずれの製品とも、ひとめぼれと同様の緑黄色方向にあり、炊飯することでくすみが増し、彩度は低下するという結果が得られた。

以上より、たんぱく質調整米の明るさや彩度は、タンパク質低減化処理の影響を受けやすいと考えられた。また、炊飯により色調は変化しないものの、暗さやくすみは変化することが明らかとなった。

ひとめぼれを基準に算出した炊飯前の色差については、LGRのみが色の離間比較でほとんど気付かれない色差レベルであるA級許容差であり、P20、Y05およびY25が印象レベルでは同じ色として扱える範囲のB級許容差となり、E25およびM25は、JIS標準色票、マンセル色票の1歩度に相当する色差であるC級許容差となった。同一製

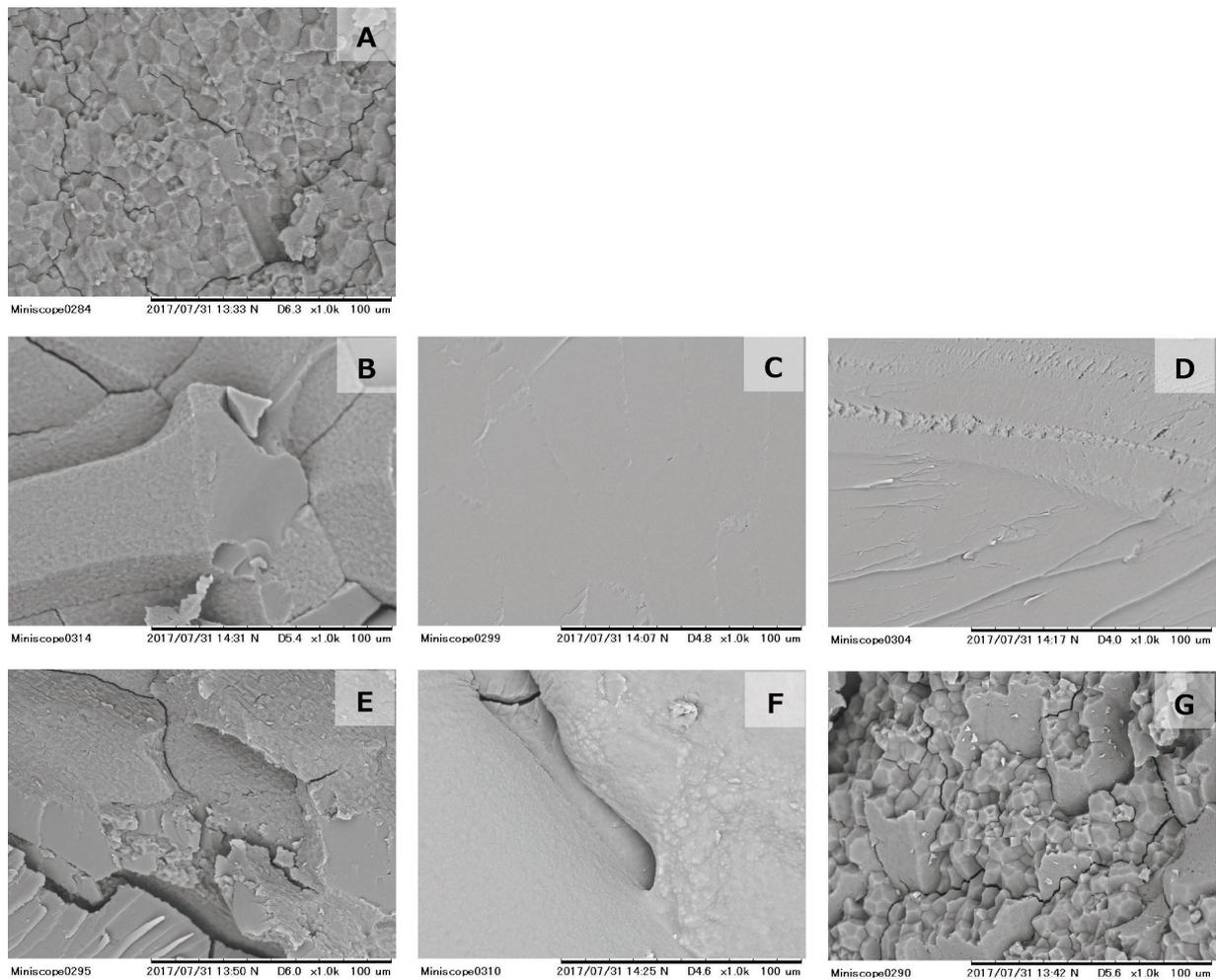


図4. 炊飯前たんぱく質調整米の走査型電子顕微鏡撮影画像  
A：ひとめぼれ B：E25 C：M25 D：P20 E：Y05 F：Y25 G：LGR

表2. ひとめぼれ、およびたんぱく質調整米の形状評価

試料	長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	粒長/粒幅 (分類)	粒長×粒幅 (分類)
ひとめぼれ	4.8±0.2	2.8±0.2	2.0±0.1	1.7±0.1 (短粒種)	13.8±1.3 (中型)
E25	5.5±0.2**	2.9±0.1	1.6±0.1**	1.9±0.1** (短粒種)	15.9±0.9** (中型)
M25	5.4±0.1**	2.8±0.1	1.8±0.1**	1.9±0.1** (短粒種)	14.9±0.8** (中型)
P20	5.8±0.2**	3.0±0.2	1.6±0.1**	1.9±0.1** (短粒種)	17.3±1.4** (大型)
Y05	5.5±0.3**	2.8±0.1	1.7±0.1**	2.0±0.1** (中粒種)	15.4±1.2** (中型)
Y25	5.7±0.4**	2.8±0.2	1.6±0.1**	2.0±0.1** (中粒種)	16.2±1.6** (大型)
LGR	5.6±0.3**	2.7±0.1	2.0±0.1	2.0±0.1** (中粒種)	15.4±1.1** (中型)

平均値±標準偏差

ひとめぼれと比較した際の有意差 \*\*： $p < 0.01$

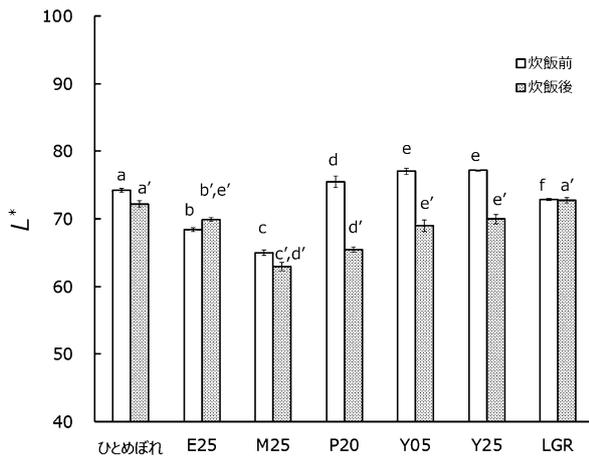


図5. 各種たんぱく質調整米の炊飯前後の $L^*$ の変化 ( $n=3$ ) 一元配置分散分析と Tukey-Kramer の多重比較検定を行い、各群間の有意差は、異なるアルファベット (炊飯前 a, b, c, d, e, f; 炊飯後 a', b', c', d', e') で示した ( $p<0.05$ )。

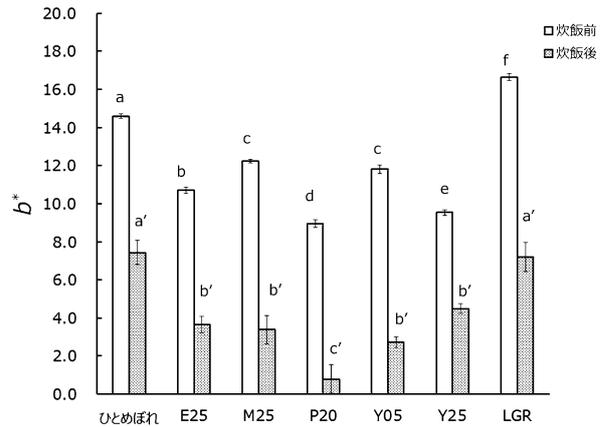


図7. 各種たんぱく質調整米の炊飯前後の $b^*$ の変化 ( $n=3$ ) 一元配置分散分析と Tukey-Kramer の多重比較検定を行い、各群間の有意差は、異なるアルファベット (炊飯前 a, b, c, d, e, f; 炊飯後 a', b', c') で示した ( $p<0.01$ )。

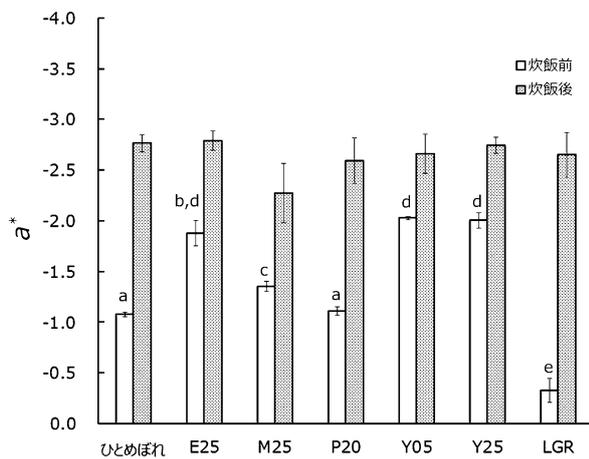


図6. 各種たんぱく質調整米の炊飯前後の $a^*$ の変化 ( $n=3$ ) 一元配置分散分析と Tukey-Kramer の多重比較検定を行い、各群間の有意差は、異なるアルファベット (a, b, c, d, e) で示した ( $p<0.01$ )。

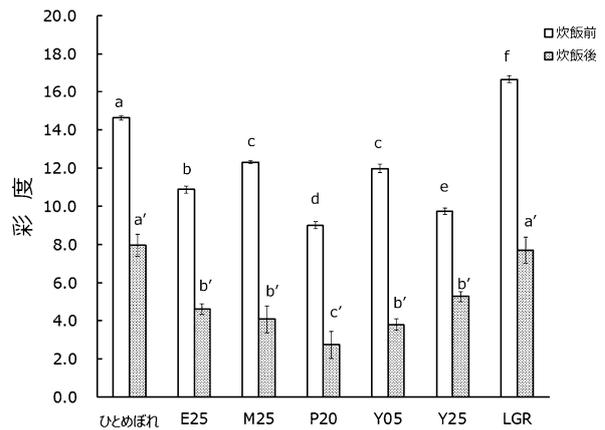


図8. 各種たんぱく質調整米の炊飯前後の彩度の変化 ( $n=3$ ) 一元配置分散分析と Tukey-Kramer の多重比較検定を行い、各群間の有意差は、異なるアルファベット (炊飯前 a, b, c, d, e, f; 炊飯後 a', b', c') で示した ( $p<0.01$ )。

造会社の製品は、タンパク質含有量が異なる場合でも、色差は同一の許容差であった一方、タンパク質低減率が同程度の製品でも、製造/販売会社が異なれば、許容差に差異が生じることから、炊飯前のたんぱく質調整米の色差は、タンパク質含有量の差異ではなく、製造方法の影響を大きく受けると思われた。

炊飯後の色差については、理由は明確ではないが、炊飯により色差が改善される製品とそうではない製品があり、LGRのみが、色の隣接比較でわずかに色差が感じられるレベルとされるAA級許容差となり、E25、Y05およびY25はB級許容差、M25およびP20はC級許容差となった。

### 5. テクスチャー評価

各種たんぱく質調整米を規定の方法で炊飯した米飯の硬さおよび付着性について、レオメーターを用いて測定した結果を図9と図10に示した。

硬さについては、基準としたひとめぼれが $3.47 \pm 0.89N$ と最も高い値を示し、次いでLGRの $3.29 \pm 1.10N$ となった。それに対し、タンパク質を低減化したE25は $2.78 \pm 0.78N$ 、M25は $2.96 \pm 0.48N$ 、P20は $2.48 \pm 0.96N$ 、Y05は $3.01 \pm 0.60N$ 、Y25は $2.16 \pm 0.94N$ となり、Y25が最も低い値を示した。これらのことから、タンパク質を低減化することで硬さは低下すると考えられ、最も値が小さかったY25は、ひとめぼれに比べ有意に低い結果となった。

付着性については、基準としたひとめぼれの $0.94 \pm 0.55N$ と比較し、ほぼ同等の付着性となったのはP20の $1.00 \pm$

表3. ひとめぼれを基準に算出した各種たんぱく質調整米の色差

製品名	炊飯前		炊飯後	
	色差	許容差	色差	許容差
E25	7.3	C級	4.5	B級
M25	9.8	C級	9.8	C級
P20	5.8	B級	9.4	C級
Y05	3.9	B級	5.8	B級
Y25	5.8	B級	3.8	B級
LGR	2.7	A級	1.3	AA級

$n = 3$

AA級許容差：色の隣接比較で、わずかに色差が感じられるレベル。

A級許容差：色の隣接比較では、ほとんど気づかれない色差レベル。

B級許容差：印象レベルでは同じ色として扱える範囲。

C級許容差：JIS標準色票、マンセル色票などの1歩度に相当する色差。

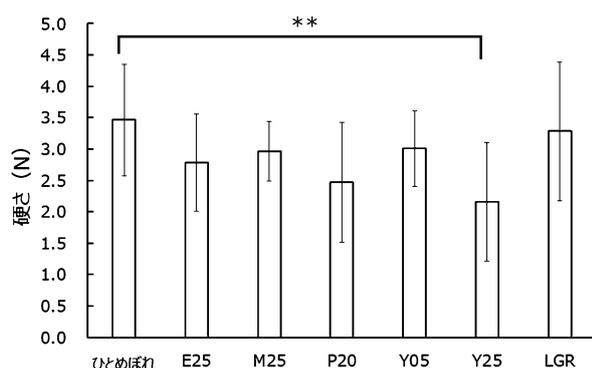


図9. 各種たんぱく質調整ご飯の硬さ ( $n=10$ )  
一元配置分散分析と Tukey-Kramer の多重比較検定を行い、各群間の有意差は「\*\*」で示した ( $p<0.01$ )。

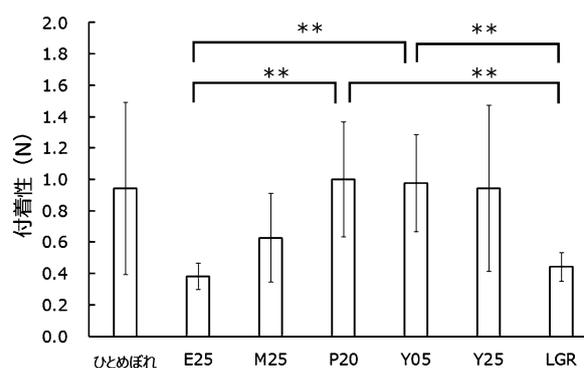


図10. 各種たんぱく質調整ご飯の付着性 ( $n=10$ )  
多重比較検定は Steel-Dwass 法を用いて行い、各群間の有意差は「\*\*」で示した ( $p<0.01$ )。

0.37N、Y05 の  $0.98 \pm 0.31N$  および Y25 の  $0.94 \pm 0.53N$  であった。一方、E25 と M25、および LGR は、それぞれ  $0.38 \pm 0.08N$ 、 $0.63 \pm 0.28N$  および  $0.44 \pm 0.09N$  と低値を示し、E25 と LGR の付着性は P20 と Y05 に対して有意に低い値となった。測定の結果からは、製品名が同じでタンパク質含有量が異なっても付着性は同程度であったり、含有タンパク質量が同程度に低減化した製品であっても、製品によって付着性が異なったりしたことから、たんぱく質調整米における付着性は、色彩と同様、タンパク質含有量ではなく、製品の種類によって異なると考えられた。

## 6. 感覚的評価

各種たんぱく質調整米を規定の方法で炊飯した米飯の嗜好性について、ひとめぼれと比較しつつ、製品間の差異を評価した。

炊飯後の外観は、いずれの製品も炊飯前の色彩や形状

をある程度引き継いでいたが、炊飯前ほど、製品間の差異は感じられなかった。色差において B 級許容差と判断された Y05 と Y25 については、Y05 は普通米飯よりたんぱく質調整飯特有の白さはあったものの透明感は少なく、色差の測定結果と一致した。それに対して Y25 には、たんぱく質調整飯特有の白さが目立ち、また破碎している米粒が多かったため、色差測定結果以上の差異が感じられた。同じく B 級許容差と判断された E25 には、たんぱく質調整飯特有のガラスの反射のような艶や独特の白みが少なくなり色差測定結果と同様、印象レベルでは普通米飯と同じ色彩であると認識できた。C 級許容差と判断された P20 は、特有の白さを呈したものの、形状は比較的普通米飯に近く、色差測定結果ほどの差は感じられなかった。一方で、同じく C 級許容差と判断された M25 は透明感が非常に強く、色差測定結果同様、明らかにひとめぼれとは異なる印象であった。また、低グ

ルテリン米のLGRには亀裂の入っている飯粒も多くあったが、米飯全体の印象は普通米飯に類似しており、色差測定結果と一致した。これらのことから、目視での印象とたんぱく質調整ご飯の色差測定結果は概ね一致することがわかった。

香りの評価については、たんぱく質調整ご飯特有の匂いがした製品はP20およびY25であったが、P20は継続的に摂食すれば馴化できる程度であった。E25およびM25では、たんぱく質調整ご飯特有の匂いに加え、タンパク質低減化処理に用いた乳酸発酵処理の影響と思われる酸味臭も感じられた。一方、LGRは普通米飯と同等の香りで、良好な香りといえた。

味については、Y5には普通米飯に近いうま味があり、E25にもやや水っぽさはあるものの米のうま味を感じた。また、P20も比較的普通米飯に近い味であった。Y25は、甘味やうま味は少ないものの、たんぱく質調整ご飯特有の味もあまり気にはならなかった。M25は、香りと同様、酸味のある呈味性を示した。LGRは普通米飯と遜色のない食味であった。

粘りについては、テクスチャー測定で普通米飯とほぼ同等の付着性を示したP20、Y05およびY25が測定値と同様に普通米飯に近い粘りを、LGRを含めたその他のたんぱく質調整ご飯には粘りの低さを感じ、テクスチャー測定結果と感覚的評価が一致した結果となった。

テクスチャー測定結果では、タンパク質を低減化した米飯の硬さは低下したが、感覚的評価では、いずれの製品もしっかりとした硬さの製品が多かった。M25は、パッケージに記載されている標準の加水量で1合分を炊飯した場合は、かなり硬い食感であったが、加水量や1回あたりの炊飯量を調整することで改善できた。一方、規定の水分量で調理すると、やや硬めの食感となったLGRは、加水量を増加させた場合でも硬さの改善には至らず、硬めの食感はLGRに特有のものであると考えられた。

総合評価として、Y05はタンパク質低減率が低いため、普通米飯に近い外観や香り、および味が残っていたが、タンパク質を1/25程度に低減した製品は、たんぱく質調整ご飯特有の外観や風味を示すものが多かった。タンパク質を1/25程度に低減化したたんぱく質調整ご飯のそれぞれの特徴を要約すれば、① P20には、味やテクスチャーの点で比較的普通米飯に近い風味が感じられ、② E25はたんぱく質調整米特有の透明感が少なく、普通米飯に近い外観を呈し、③ M25は香りや味の面で劣る部分もあったが、しっかりとした粒立ち感を有し、④ Y25は、摂取前の段階ではたんぱく質調整ご飯特有の匂いを感じたが、実際に摂取すると特有の匂いはあまり気にならなかった。

またLGRは、タンパク質含有量を1/20-1/25に低減化した製品に比べ、摂取タンパク質量を大幅に低減するこ

とはできないが、嗜好の面では硬めの食感ではあるものの、普通米飯と遜色のない嗜好性を示したことから、腎機能障害が軽度で、タンパク質制限の厳しくない方やタンパク質制限食導入期の方が、制限食に馴化する際に利用するとよいのではないかと考えられた。

#### IV. 要約

腎臓病治療用たんぱく質調整米5製品とプロラミン含量を高めた品種米について、嗜好性を含めた品質特性について検討した。

- 1) 対象試料は、① 同一メーカー製でともにタンパク質量を1/25に低減した製品 (E25、M25; A社)、② タンパク質量を1/20に低減した製品 (P20; B社)、③ 同一メーカー製でタンパク質を1/5または1/25に低減した製品 (Y05、Y25; C社) の5つとした。さらに、易消化性タンパク質であるグルテリン含量を減らし、難消化性タンパク質のプロラミン含量を高めた米品種 (LGR) についても、たんぱく質調整米の1つとして検討対象に加えた。
- 2) SDS電気泳動の結果から、①ペプシン/パンクレアチンによるカスケード消化によってもプロラミンは分解されにくいこと、②普通米のひとめぼれと比較して、LGRはプロラミンを多く含むことから、難消化性の米であると考えられた。
- 3) たんぱく質調整米米粒の外観は、タンパク質低減量だけでなく、その低減化方法の影響も受けるものと考えられた。一方、LGRの米粒は、ひとめぼれに近い外観を呈していた。
- 4) 走査型電子顕微鏡による炊飯前米粒の微細構造観察の結果、ひとめぼれやLGRにおいて観察されたデンプン粒やアミロプラストは、たんぱく質調整米には認められず、平滑な構造を呈していた。
- 5) Y05およびLGRは中粒種中型、Y25は中粒種大型、P20は短粒種大型に分類され、M25およびE25は、ひとめぼれと同様、短粒種中型であった。
- 6) 各たんぱく質調整米製品を炊飯した飯 (たんぱく質調整ご飯) のテクスチャー測定の結果、ひとめぼれと比較して、いずれの飯とも硬さが低下したが、感覚的にはしっかりとした硬さの製品が多かった。一方、付着性については、ひとめぼれと同等か低値を示し、感覚的評価と一致していた。LGRのテクスチャー測定結果については、硬さはひとめぼれと同等の値を示したが、感覚的にはやや硬めに感じ、付着性は測定値と感覚的評価が一致していた。
- 7) 色彩を含めたたんぱく質調整ご飯の外観については、たんぱく質調整ご飯特有の白さが目立つ製品とLGRのようにひとめぼれに近い外観を呈する製品があり、概ね色差測定結果と一致するものであった。香りについては、継続的に摂食すれば馴化できるレベルの

製品がある一方で、たんぱく調整ご飯特有の匂いや酸味臭のする製品もあった。また、味についても、ひとめぼれと同様のうま味を呈する製品と酸味を感じる製品があった。

総合評価として、Y05はタンパク質低減率が低いため、普通米飯に近い外観や香り、および味を呈したが、タンパク質を1/25程度に低減した製品は、たんぱく質調整ご飯特有の外観や風味を呈するものが多かった。

## V. 利益相反

開示すべき利益相反はない。

## VI. 参考文献

- 1) 一般社団法人日本腎臓学会：CKD診療ガイド（2012）
- 2) 一般社団法人日本腎臓学会：CKD診療ガイド（2018）
- 3) 一般社団法人日本腎臓学会：医師・コメディカルのための慢性腎臓病 生活・食事指導マニュアル（2015）
- 4) 出浦照國：慢性腎不全の食事療法，日本内科学会雑誌，**82**(11)，64-71（1993）
- 5) 出浦照國，吉村吾志夫：腎疾患における低たんぱく食の意義と可能性と問題点，透析会誌，**32**(5)，323-325（1999）
- 6) 金澤良枝，中尾俊之，下光輝一：慢性腎不全の低たんぱく食事療法におけるアミノ酸摂取の質的内容に関する検討，日本病態栄養学会誌，**3**(1)，75-85（2000）
- 7) 片山一男，渡邊慶子，川村美笑子：アミノ酸スケールによる慢性腎不全患者の低タンパク食の評価，*Trace Nutrients Research*，**27**，97-102（2010）
- 8) 田山宏典：保存期慢性腎不全における食事療法，昭和医会誌，**70**(2)，112-116（2010）
- 9) 菊地紘美：腎臓病治療用特殊食品の品質特性および嗜好性改善に関する研究，2018年度 宮城学院女子大学大学院健康栄養学研究科健康栄養学専攻修士論文
- 10) 菊地紘美，鎌田由香，星祐二：腎臓病治療用でんぷんパンの嗜好性改善について，宮城学院女子大学生生活環境科学研究所研究報告 **51**，1-14（2019）
- 11) 菊地紘美，鎌田由香，星祐二：腎臓病治療用でんぷんご飯の嗜好性改善について，宮城学院女子大学生生活環境科学研究所研究報告 **52**，7-17（2020）<sup>3</sup>
- 12) 木徳神糧，商品紹介
- 13) 亀田製菓のお米研究所：腎臓病患者さん向け低たんぱく質米飯  
<https://www.kameda-okome.com/okome-yume.html>（参照 2020 年 12 月 26 日）
- 14) N. Takei, N. Watanabe and M. Nakajo: PLC Rice Series: Low-Protein Rice Products, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **65**, S148-S152（2019）
- 15) 農研機構：品種詳細 春陽 <http://www.naro.affrc.go.jp/collab/breed/0100/0107/001616.html>（参照 2020 年 12 月 26 日）
- 16) 水間友哉，古川幸子：低グルテリン米の酒造適正，醸協，**99**(1)，487-494（2004）
- 17) 榎本圭子，重田耕司：尿中尿素排泄量測定による難消化性タンパク質含有量の高い水稲「春陽」の消化吸収率の推定，山陽女子短期大学研究紀要 XX VIII，19-25（2007）
- 18) 農研機構：稲品種「春陽」「LGCソフト」「エルジーシー活」「エルジーシー潤」を消費者向けに販売する際の表示について  
<http://www.naro.affrc.go.jp/collab/breed/attention/attention4.html>（参照 2020 年 12 月 25 日）
- 19) 飯田修一，春原嘉弘，前田英郎，松下景，根本博，石井卓朗，吉田泰二，中川宣興，坂井真，西尾剛：良食味低グルテリン米品種「LGCソフト」の育成，近中四農研報 **3**，57-74（2004）
- 20) 千葉県農業総合研究センター育種研究所水稲育種研究室：試験研究成果普及情報  
[https://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/shikenkenkyuu/documents/04\\_3.pdf](https://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/shikenkenkyuu/documents/04_3.pdf)（参照 2020 年 12 月 25 日）
- 21) 公益社団法人 米粒安定供給確保支援機構：国産長粒米の生産，販売等の動向（2017）
- 22) コニカミノルタジャパン株式会社： $L^*a^*b^*$ 色空間，彩度算出式，色差算出式  
<https://www.konicaminolta.jp/instruments/knowledge/color/section2/02.html>（参照 2020 年 12 月 25 日）
- 23) 日本電色工業株式会社：色の許容差の事例  
[https://www.nippondenshoku.co.jp/web/japanese/colorstory/08\\_allowance\\_by\\_color.htm](https://www.nippondenshoku.co.jp/web/japanese/colorstory/08_allowance_by_color.htm)（参照 2020 年 12 月 25 日）
- 24) 竹満初穂，林康寛，佐古圭弘，北村進一：連続蒸気炊飯装置を用いて炊飯した米飯の食味と保存性，日本食品科学工学会誌，**60**(11)，628-634（2013）
- 25) 富田晴雄，坂本薫，竹森利和：浸漬時間の違いによ

<sup>3</sup>文献 11) に下記の誤記がありました。

7頁「Keyword」欄

【誤】

chronic kidney disease 慢性腎臓症

【正】

chronic kidney disease 慢性腎臓病

- る米飯の構造とテクスチャーの関係, 日本調理科学会誌, **48**(1), 18-25 (2015)
- 26) 岡留博司, 豊島英親, 須藤充, 安藤郁男, 沼口憲治, 堀末登, 大坪研一: 米粒1粒の多面的物性測定に基づく米の食味評価, 日本食品科学工学会誌, **45**(7), 398-407 (1998)
- 27) 貝沼やす子, 福田靖子: 竹炭による米飯の性状改善効果, 日本調理科学会誌, **35**(2), 139-147 (2002)
- 28) 池田ひろ, 鈴木利昭, 佐伯幸弘, 小川敬子, 友田健治, 口羽敬子: 米飯の性状と構造の関係について(第1報), 日本家政学会誌, **47**(9), 877-887 (1996)
- 29) 新井映子, 清水美智子, 渡辺道子: 加温浸漬による米飯の品質改変, 日本家政学会誌, **48**(9), 789-795 (1997)
- 30) 岡留博司, 豊島英親, 大坪研一: 単一装置による米飯物性の多面的評価, 日本食品科学工学会誌, **43**(9), 1004-1011 (1996)
- 31) 消費者庁: 特別用途食品の表示許可基準  
[https://www.caa.go.jp/policies/policy/food\\_labeling/health\\_promotion/pdf/syokuhin1539.pdf](https://www.caa.go.jp/policies/policy/food_labeling/health_promotion/pdf/syokuhin1539.pdf) (参照 2020 年 12 月 25 日)
- 32) 食料庁: 米の食味試験実施要領, 食料庁, 17-22 (1968)
- 33) 竹生新次郎: 米の食味評価法, 「食品分析法」, 日本食品工業学会食品分析法編集委員会編, (光琳, 東京), 595-604 (1982)
- 34) T. Kumagai, H. Kawamura, T. Fuse, T. Watanabe, Y. Saito, T. Masumura, R. Watanabe and M. Kadowaki: Production of Rice Protein by Alkaline Extraction Improves Its Digestibility, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **52**, 467-472 (2006)