

精白米のアミロペクチン鎖長分布とその食味特性

金本 湧太*1, 高津 地志*2, 出澤 侑也*2, 藤田 明子*2, 渡邊 義之*3

Distribution of Amylopectin Chain Length in White Rice Grains and their Sensory Characteristics

Yuta KANEMOTO*1, Kunimoto TAKATSU*2, Yuya IDESAWA*2, Akiko FUJITA*2 and Yoshiyuki WATANABE*3

For seven cultivars, such as Kirara397, Yumepirika, Hitomebore, Koshihikari, Hinohikari, Ichihomare and Shinnosuke, the distribution of amylopectin chain-length in the white rice grains was measured using high performance anion exchange chromatography with a pulsed amperometric detector. The different distribution profiles were shown among the cultivars. Short glycosyl chains increased by cooking rice grains, indicating hydrolysis of glycosyl chains in amylopectin molecules. Sensory characteristics for cooked rice of the seven cultivars were evaluated by a series of analytical equipment and a sensory test. It seemed that the amount of short glycosyl chains in amylopectin contributed to the stickiness of cooked rice grains.

Keywords: Amylopectin, Chain-length Distribution, High Performance Anion Exchange Chromatography, Sensory Characteristic, White Rice

1. はじめに

日本では食生活の変化の影響で一人当たりの米の年間消費量が、昭和 37 年から平成 28 年の期間で 118 kg から 54 kg と半分以上も減少しており、主食用米としての需要量は毎年約 8 万トンずつ減少傾向にあるとされる⁽¹⁾。そのような中でも、米は依然として日本人の主食であり、食品学などの観点から様々な研究^(2, 3)や、その食味についての科学的な追及がなされている⁽⁴⁾。さらに、米は短粒種、中粒種および長粒種と大きく 3 つに分類され、気候条件や栽培環境に応じた様々な品種が作られており、各国の消費者に好まれるような品種改良がおこなわれている⁽⁵⁻⁷⁾。

一般的な米の食味評価は、外観、香り、味、粘り、硬さおよびそれらの総合評価といった項目で評価される。

米飯の食味には様々な成分が関与しており、米中のタンパク質の含有率が高いほど栄養面で優れているが、食味には悪い影響を与えることが報告されている⁽⁸⁾。また、米中に無機質として含まれているマグネシウムとカリウムの比率（マグネシウム/カリウム）が高いほど好ましい食味を示すという報告もある⁽⁹⁾。さらに、味覚を刺激する呈味成分の中でも、特に甘味成分である単糖およびオリゴ糖の寄与が大きいとされ⁽¹⁰⁾、糖の中でもグルコースは米飯の食味に良い影響を与えると報告されている⁽¹¹⁾。上述の食味評価項目の中でも、特に硬さや粘りなどの物理化学的性状が、食味評価の 7 割程度を占めるとされている^(3, 12)。精白米の 7 割以上が澱粉で構成されており、硬さ、粘りおよび粘弾性などの米粒の物性との関係が深い。一般的なうるち米の澱粉は、その分岐鎖構造により

原稿受付 2019 年 4 月 10 日

*1 近畿大学 工学部 化学生命工学科 (〒739-2116 東広島市高屋うめの辺 1 番)

*2 株式会社サタケ 食味研究室 (〒739-8602 東広島市西条西本町 2-30)

E-mail g-syokumi@satake-japan.co.jp

*3 近畿大学 大学院システム工学研究科 システム工学専攻 教授, 工学部 化学生命工学科 教授, 次世代基盤技術研究所 教授 (〒739-2116 東広島市高屋うめの辺 1 番)

E-mail wysyk@hiro.kindai.ac.jp

連絡先: 渡邊義之 (研究代表者)

粘性に強く寄与するとされるアミロペクチンが約 8 割、直鎖状で粘性への寄与がより低いとされるアミロースが残りの 2 割を占め、これらの組成が食味に大きな影響を与える。日本では、一般的にアミロース含有率が低いほど食味が良いとされる傾向があるため、低アミロース米などの新しい品種が開発されている^(13, 14)。低アミロース米とは、アミロース含量率が数%~15%の米を指し、粘りがあり老化が遅いなどの点が特徴として挙げられる⁽¹⁵⁾。これは、澱粉中のアミロペクチンに起因するものでもあり、アミロペクチン分子の鎖長分布や分子鎖、微細構造などが米の食味に関与すると考えられている。アミロペクチン分子にはアミロース様の長い単位鎖（重合度 1,000）がもち種を除いて存在しており、良質米の澱粉にごくわずかが存在し、長粒種や評価の低い米には比較的多く存在している⁽¹⁶⁾。アミロペクチンは澱粉や米粒の粘りや硬さに影響し、アミロペクチンの分子構造が僅かに変化するだけで、それらの物性が大きく変化する。

本研究では、精白米中に含まれるアミロペクチンの分子構造とその食味特性との関係を調査すべく、平成 29 年に収穫された米 5 品種と、平成 30 年に収穫された米 7 品種の精白米を試料とし、糖分析に用いられるパルスドアンペロメトリー検出器を用いた陰イオン交換クロマトグラフィー（HPAEC-PAD）にて精白米試料に含まれるアミロペクチン分子の鎖長分布の分析を行った。アミロペクチン鎖長分布について、米の品種や収穫年度間の比較を行い、そして米の食味計測器を用いて定量的に評価された食味鑑定値や官能試験により得られた食味官能値とアミロペクチン鎖長分布との関係性について、それぞれ検討した。

2. 実験方法

2.1 材料および試薬

平成 29 年に収穫された北海道産きらら 397、北海道産ゆめぴりか、宮城県産ひとめぼれ、新潟県産（魚沼）コシヒカリおよび広島県産（東広島）ヒノヒカリと、平成 30 年に収穫された北海道産きらら 397、北海道産ゆめぴりか、宮城県産ひとめぼれ、新潟県産コシヒカリ、広島県産ヒノヒカリ、福井県産いちほまれ、および新潟県産新之助をテスト精米機（株）サタケ製、MC-250 型）で精米し、試料とした。イソアミラーゼはシグマアルドリッチから、その他の試薬は和光純薬工業（株）、東京化成工業（株）および米山薬品工業（株）からそれぞれ購入した。

2.2 米澱粉およびアミロペクチンの調製

精米された米試料を多検体細胞破砕装置シェイクマスタートオート（株）バイオメディカルサイエンス、

BMS-A20TP）で粉碎した。粉碎された粉末試料 10 g に 0.2% (w/w)水酸化ナトリウム水溶液 50 mL を加えて、マグネチックスターラーにて 3 時間攪拌した。3 時間後、攪拌しながら 0.1 M 塩酸を加えて、溶液の pH を 7 から 8.5 に調整した。調整後、遠心分離機（アズワン（株）、CN-2060）で遠心分離（3,000 rpm, 5 min）を行い、沈殿物をフリーズドライヤー（ヤマト科学（株）、DC401）により凍結乾燥させ澱粉試料を得た。

澱粉試料 2 g にジメチルスルホキシド 30 mL を加えて 24 時間マグネチックスターラーで攪拌し、その後、1-ブタノールを素早く加えて 24 時間静置した。濾紙（アドバンテック（株）、No.2 125 mm）を用いて濾過を行い、残渣に蒸留水 200 mL を加えた。100°C に設定されたマグネチックスターラーを用い、アルゴン雰囲気下で 2 時間攪拌し加熱還流を行った後、60°C まで放冷した。チモール 200 mg を加えさらに攪拌し、72 時間静置後、遠心分離（6,500 rpm, 5 min）を行い、得られた上澄み液を粗アミロペクチン溶液とした。フリーズドライヤーで約 70 mL まで濃縮し、140 mL ジエチルエーテルを加えて液液分離を行い、下層（水層）を採取した。採取液に 30 mL の 99.5% エタノールを加え、遠心分離（6,500 rpm, 5 min）を行った。上澄み液を除き、さらに 99.5% エタノールを 30 mL 加えて洗浄し、アセトンで脱水後、精製アミロペクチンを得た。

2.3 アミロペクチン鎖長分布の分析

アミロペクチン試料 100 mg を乳鉢で粉碎し、蒸留水 20 mL を加え、75°C の振盪式恒温水槽（（株）タイテック、PERSONAL-11）にて 24 時間加熱した。25 mM 酢酸緩衝液（pH 4.5）20 mL および蒸留水 5 mL に対してイソアミラーゼ 2.2 μ L で調製したイソアミラーゼ溶液（755 units）を 19.8 μ L 加え、45°C の振盪式恒温水槽に 15 時間インキュベートした。反応終了後に 100°C で加熱して酵素を失活させた後、凍結乾燥した。乾燥試料 200 mg に 1 mL 蒸留水を加え、アルミブロック恒温槽（（株）タイテック、DTU-1C）を用い、100°C で 10 分間加熱した。メンブレンフィルター（孔径 0.45 μ m, メルクミリポア、LHVX13NK）で濾過し濾液を HPAEC-PAD（サーモフィシャーサイエンティックス（株）、ICS-5000+）の分析試料とした⁽¹⁷⁾。カラムオーブンは 30°C とし、分離カラムには CarboPac PA1（Dionex 社、250 mm \times 4 mm I.D.）を用いた。溶離液 A および B として、100 mM 水酸化ナトリウム水溶液および 100 mM 水酸化ナトリウム/500 mM 酢酸ナトリウム水溶液をそれぞれ用いた。送液流量は 1.0 mL/min とし、グラジエント溶出を次のように行った。溶出開始時は A : B = 60 : 40 (v/v)、開始 2 分後に A : B = 50 : 50 (v/v)、開始 40 分後に A : B = 20 :

80 (v/v)と、溶離液組成を変化させた。

2.4 食味評価

米試料 300 g に水道水を一定の速度で流水させながら指で 10 回かき混ぜ、水を捨てる操作を 5 回繰り返した。その後、水道水 420 mL を加え、炊飯器 (SR-HS 104, パナソニック (株)) にて炊飯した。加水量は質量比で米の 1.40 倍とし、浸漬時間と蒸らし時間をそれぞれ 30 分間とした。

炊飯された米試料の食味計測のために食味鑑定団 ((株) サタケ, 炊飯食味計 STA1B, 硬さ・粘り計 RHS1A およびシンセンサ RFD1A) を用いた⁽¹⁸⁾。炊飯食味計では米飯を 20 分間送風機に入れ降温した後、室温に 100 分間おいたものを試料とした。試料を量り取り、ステンレス製リングに特製の圧縮機と治具を使用して充填し、測定用セルに入れて測定を行った。測定回数は 1 試料につき表面 1 回、裏面 1 回の計 2 回行い、この操作を 3 回繰り返して行った。硬さ・粘り計では、炊飯食味計で用いた試料を続けて使用した。測定回数は 1 試料につき 1 回行い、この操作を 5 回繰り返した。シンセンサでは精白米に分析用試薬を加えて 1 分間振盪した。その後、遠心分離 (6,200 rpm, 1 min) を行い、上澄み液を試料としてシンセンサで測定した。測定回数は 1 試料につき 1 回行った。評価方法は外観、硬さ、粘りおよび鮮度をそれぞれ 10 点満点とし、総合評価である食味鑑定値として 100 点満点で評価した。

米飯食味評価試験 (一般社団法人 日本精米工業会) 適正者の資格を有する者 8 名をパネラーとし、炊飯米試料の官能試験を行った。評価項目は外観、味、香り、硬さ、粘りおよび総合評価の 6 項目とし、広島県産 (東広島) ヒノヒカリを基準 (0 点) に、良い評価をプラス・悪い評価をマイナスとし、それぞれ 1・2・3 点として評価を行った。同じ評価の場合は 0 点に換算した。

3. 結果および考察

3.1 アミロペクチン鎖長分布の比較

平成 29 年および平成 30 年に収穫された米のアミロペクチン鎖長分布を図 1 および図 2 に示す。HPAEC-PAD 分析においてマルトヘキサオース (重合度 6) のピークから検出された順に鎖長の重合度が示され、マルトヘキサオース 1.0 ppm を基準として相対的な検出強度が決定された。また、検出されたピークの重合度を 6~12, 13~23 および 24~34 の 3 つに区分けして、区分ごとに検出強度の割合を示した (表 1 および表 2)。図 1 および図 2 の結

果から、米の品種によりアミロペクチン鎖長分布に違いがあることがわかるが、年産ごとに分布の品種依存性は異なった。平成 29 年収穫米では、コシヒカリおよびひとめぼれの短鎖長 (重合度 6~12) の割合が大きく、一方でヒノヒカリは小さかった。また、平成 30 年の収穫米では、コシヒカリ、ひとめぼれおよびいちほまれにおいて短鎖長の割合が大きく、ヒノヒカリおよびきらら 397 では小さかった。中鎖長 (重合度 13 ~ 23) については、平成 29 年および平成 30 年収穫米ともコシヒカリが高い割合を示した。一般的にコシヒカリは粘りのある食感と言われており、また、コシヒカリにおいては中鎖長に対する短鎖長の比率が高いという報告がある⁽¹⁹⁾。本研究においても、コシヒカリは他品種と比べて中鎖長に対する短鎖長の比率が高いことから、コシヒカリ特有の粘りがアミロペクチン鎖長分布で確認できたものと考えられる。きらら 397、ゆめぴりか、ひとめぼれ、コシヒカリおよびヒノヒカリについて、年産により鎖長分布を比較すると、いずれの品種も短鎖長区分の差異が確認された。アミロペクチン分子中の短鎖の割合は、稲の栽培において登熟期の気温が高温になると減少することが報告されている⁽²⁰⁾。各品種の米の収穫地域における平成 29 年および平成 30 年の 8 月の平均気温は、北海道 (比布) で 19.8°C および 18.9°C、宮城県 (古川) で 22.2°C および 23.7°C、新潟県 (小出) で 25.4°C および 25.9°C、広島県 (東広島) で 26.1°C および 26.8°C であった⁽²¹⁾。ひとめぼれおよびコシヒカリにおいては、上述のような登熟期の気温による影響と同様な傾向が観察された。米の品種ごとに酵素活性に違いがあり、さらに登熟期における酵素活性は澱粉構造やアミロペクチン鎖長に強く影響する⁽²²⁾。これらが、アミロペクチンの分子構造に寄与した要因の一つとして考えられる。

平成 29 年に収穫された新潟県産コシヒカリの精白米と炊飯米のアミロペクチン鎖等分布を図 3 に示す。炊飯米の結果については、既報⁽¹⁸⁾から得られたデータが使用された。いずれの品種においても、炊飯米の方がアミロペクチン短鎖長の検出強度の比が高いことが示された。炊飯工程での高温高圧におけるアミロペクチン鎖の加水分解や、米の内存性加水分解酵素の活性化によるアミロペクチン鎖の切断などにより、超長鎖の減少と鎖長の短鎖化が生じたことが原因の一つと考えられる⁽²³⁾。

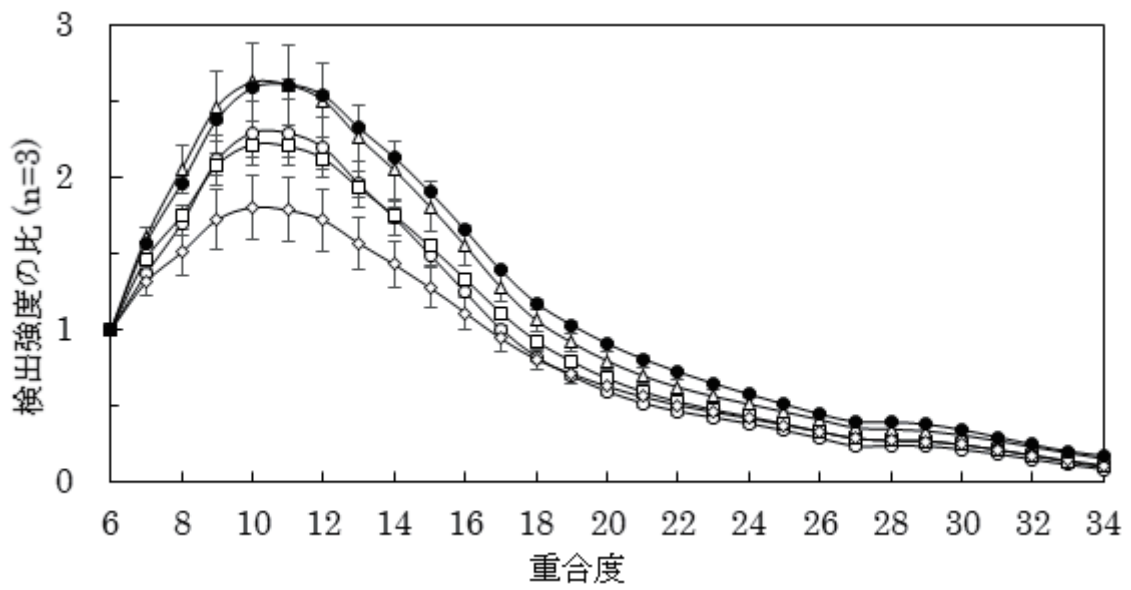


図1. 平成29年収穫米のアミロペクチン鎖長分布

○きらら397, □ゆめぴりか, △ひとめぼれ, ◇ヒノヒカリ, ●コシヒカリ

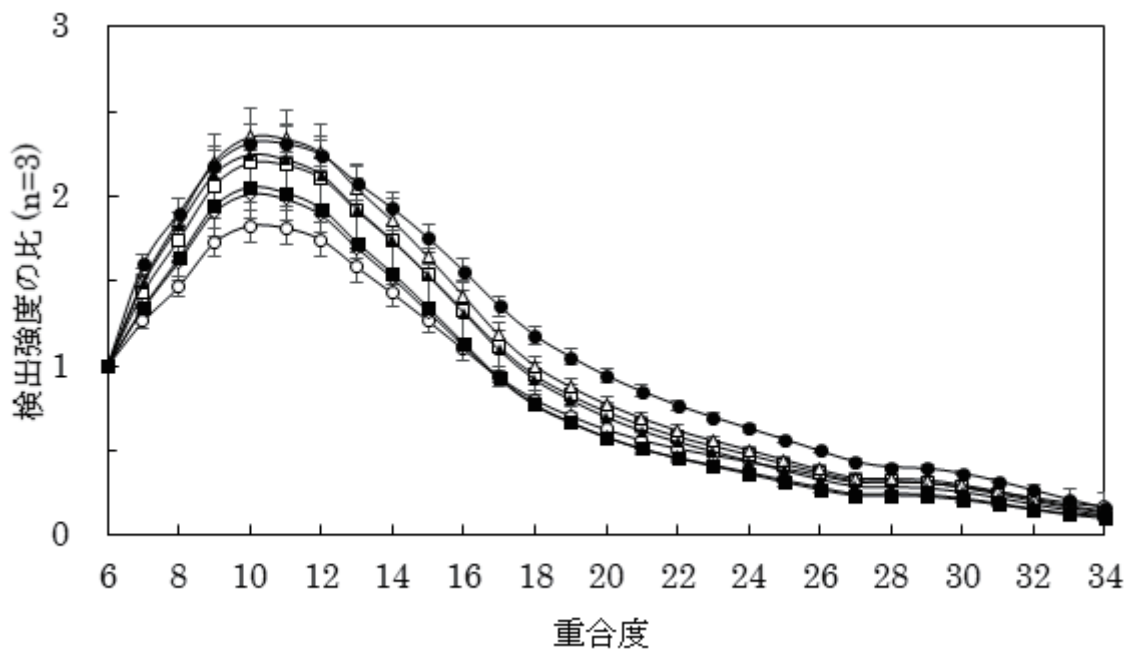


図2. 平成30年収穫米のアミロペクチン鎖長分布

○きらら397, □ゆめぴりか, △ひとめぼれ, ◇ヒノヒカリ (n=2), ●コシヒカリ, ■新之助, ▲いちほまれ

表 1. 平成 29 年収穫米アミロペクチン鎖の重合度区分の割合

品種	きらら397	ゆめぴりか	ひとめぼれ	ヒノヒカリ	コシヒカリ
6~12	49.1	46.9	46.4	45.8	43.9
13~23	41.5	42.6	42.4	42.2	44.1
24~34	9.4	10.4	11.2	12.0	11.9
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

表 2. 平成 30 年収穫米アミロペクチン鎖の重合度区分の割合

品種	きらら397	ゆめぴりか	ひとめぼれ	ヒノヒカリ	コシヒカリ	新之助	いちほまれ
6~12	45.0	45.7	45.7	48.5	42.4	48.8	47.1
13~23	41.4	42.6	42.8	41.1	44.3	41.3	42.2
24~34	13.5	11.7	11.6	10.4	13.3	9.9	10.6
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

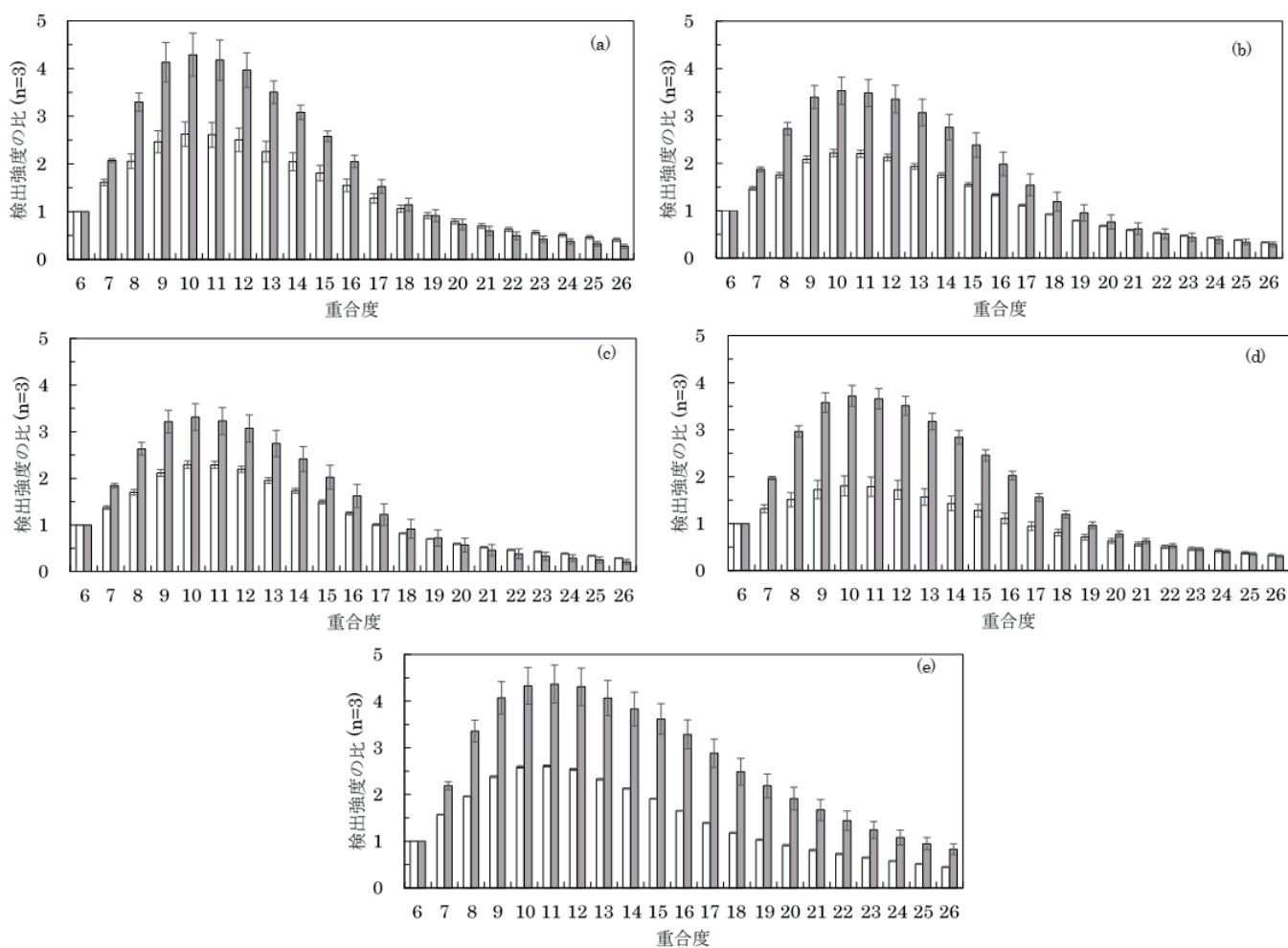


図 3. 平成 29 年収穫の精白米と炊飯米のアミロペクチン鎖長分布の比較
 (a) ひとめぼれ, (b) ゆめぴりか, (c) きらら 397, (d) ヒノヒカリ, (e) コシヒカリ
 □精白米, ■炊飯米

3.2 炊飯米の食味評価

炊飯食味計ではつや、透明度など外観の測定、硬さ・粘り計では硬さ、粘り、歯ごたえなど食感の測定、シンセンサでは新鮮度の測定を行い、その総合的な評価を食味鑑定値として算出された。平成 29 年および平成 30 年に収穫された米の各食味評価値を、表 3 および表 4 にそれぞれ示す。アミロペクチン量とその分子構造は、特に硬さおよび粘りの評価項目に関与するものとされ²⁴⁾、短

鎖長の割合が高いと硬さ値が低くなり、粘り値は高くなる傾向が予想される。これらの結果とアミロペクチン鎖長分布（図 1、図 2、表 1 および表 2）から、短鎖長の割合が高い場合に粘り値が高い傾向が確認され、粘り特性へのアミロペクチン構造の寄与が示唆された。一方、硬さ特性に関しては、予想とは異なる傾向が認められたため、アミロペクチンの関与だけでなくアミロースの割合や分子量など他の因子の寄与が推察された。

表 3. 平成 29 年収穫米の食味評価値

	きらら397	ゆめぴりか	ひとめぼれ	ヒノヒカリ	コシヒカリ
硬さ [kgf]	5.7	4.8	5.4	5.4	5.7
粘り [kgf]	0.9	1.1	1.1	1.0	1.1
新鮮度	95	92	99	90	88
外観	66	79	77	76	80
食味鑑定値	65	78	78	74	78

表 4. 平成 30 年収穫米の食味評価値

	きらら397	ゆめぴりか	ひとめぼれ	ヒノヒカリ	コシヒカリ	新之助	いちほまれ
硬さ [kgf]	5.7	4.9	5.2	5.3	5.2	5.5	5.2
粘り [kgf]	0.6	1.2	0.9	1.0	0.9	1.0	1.2
新鮮度	96	100	99	100	96	100	83
外観	66	71	81	81	83	86	86
食味鑑定値	64	72	81	81	84	86	84

表 5. 平成 29 年収穫米の官能評価値

	ヒノヒカリ	コシヒカリ	きらら397	ゆめぴりか	ひとめぼれ
香り	0	0	-0.6	0	0
外観	0	0.2	-0.1	0.1	0
味	0	0.1	-0.4*	-0.4	-0.6*
粘り	0	-0.6*	-0.9*	1.0*	0.2
硬さ	0	0.6*	0.7	-0.7*	0
総合評価	0	-0.2	-0.8*	-0.3	-0.3

表 6. 平成 30 年収穫米の官能評価値

	ヒノヒカリ	コシヒカリ	きらら397	ゆめぴりか	ひとめぼれ	新之助	いちほまれ
香り	0	0	-0.4	-0.1	-0.3	-0.1	-0.3
外観	0	-0.4*	-0.5*	-0.3	-0.3	0.1	-0.1
味	0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.2	0	-0.6*
粘り	0	-0.3	-0.6*	0.4	-0.2	0	-0.6
硬さ	0	-0.1	0.6*	-0.5	-0.4	0.3	0.1
総合評価	0	-0.4*	-1.0	-0.5	-0.7*	0.3	-0.6*

平成 29 年および平成 30 年に収穫された米についての官能試験結果を、表 5 および表 6 にそれぞれ示す。平成 29 年収穫米では、コシヒカリおよびゆめぴりかの粘りと硬さにおいて有意差が認められた。平成 30 年収穫米では、きさら 397 の粘りと硬さで有意差が確認できた。粘り値および硬さ値で有意差が認められた試料と基準であるヒノヒカリについて、アミロペクチン鎖長の割合を比較した。平成 29 年収穫米では、ゆめぴりかはヒノヒカリよりも鎖長の割合が高く、粘り値も高かった。また、コシヒカリは鎖長の割合が低く、粘り値も低かった。平成 30 年収穫のきさら 397 は、ヒノヒカリより鎖長の割合は低く、粘り値も低かった。これらのことから、有意差が示された試料に関しては、アミロペクチン鎖長分布と食味評価の粘り値において関係性が示されたものと結論付けられる。

4. まとめ

品種および年産による精白米のアミロペクチン鎖長分布の比較から、鎖長の割合の相違が認められ、稲栽培における出穂日から登熟期間の気温が、アミロペクチン構造に影響を与えていることが示唆された。炊飯米のアミロペクチン鎖長は、精白米に比べ特に短・中鎖長の割合が顕著に多く、炊飯工程におけるアミロペクチン鎖長の切断と鎖長化が示された。食味評価試験から、粘り特性とアミロペクチン鎖長分布との関係性が示されたが、それ以外の項目や総合評価に関しては、関係性が認められなかった。アミロースやタンパク質など、アミロペクチン以外の米に含まれる他成分の寄与について、検討していくことが必要と考えられる。

参考文献

- (1) 農林水産省, 米をめぐる関係資料, 6 巻, (2017).
- (2) 田島眞, 米粒の科学, 88 巻 2 号 (1993), pp.90-94.
- (3) 長沼誠子, 秋田大学教育文化学部研紀要, 58 巻 (2003), pp.29-35.
- (4) 横江未央ら, 日本食品科学工学会誌, 56 巻 5 号 (2009), pp.291-298.
- (5) 島田浩章, 化学と工業, 46 巻 2 号 (1993), pp.240-243.
- (6) 小林和幸ら, 北陸作物学会報, 36 巻 (2001), pp.7-9.
- (7) 後藤明俊, AFC フォーラム, 3 巻 (2011), pp.11-14.
- (8) 狩野佳代ら, 実践女子大学生生活科学学部紀要, 38 巻 (2001), pp.50-55.
- (9) 竹生新治郎ら, 米の科学, 朝倉書店 (1995), pp.134-137.
- (10) 馬橋由佳, 日本家政学会誌, 53 巻 5 号 (2002), pp.431-436.
- (11) 平井浩一, 福井県農業試験場研究報告, 38 巻 (2001), pp.59-66.
- (12) 千田悠子ら, 実践女子大学生生活科学学部紀要, 41 巻 (2004), pp.86-90.
- (13) 不破英次ら, 日本食品工業学会誌, 41 巻 6 号 (1994), pp.413-418.
- (14) 深井洋一ら, 日本食品化学工学会誌, 51 巻 5 号 (2004), pp.254-262.
- (15) 松田佳奈ら, 日本家政学会誌, 54 巻 11 号 (2003), pp.889-897.
- (16) 高橋節子ら, 応用糖質科学, 45 巻 2 号 (1998), pp.99-106.
- (17) 横野一步ら, 美味技術学会誌, 15 巻 2 号 (2017), pp.15-20.
- (18) 高津地志ら, 近畿大学次世代基盤技術研究所, 9 巻 (2018), pp.67-70.
- (19) 平塚真遊ら, 日本作物学会講演要旨集 (2008), p.222.
- (20) 森田敏, 日本作物学会紀事, 77 巻 1 号 (2008), pp.1-12.
- (21) 気象庁, 過去の気象データ,
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2018).
- (22) 岩田博ら, 日本食品科学工学会誌, 48 巻 7 号 (2001), pp.482-490.
- (23) 馬橋由佳, 日本調理科学会誌, 42 巻 6 号 (2009), pp.369-377.
- (24) 梅本貴之, 日本作物学会紀事, 78 巻 1 号 (2009), pp.107-112.