

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.05.004.en

丹野久, 平山裕治. 日本の寒地, 北海道の稲作限界地帯におけるもち米の硬化性, 糊化特性および炊飯米物理特性の年次間地域間差異と発生要因(日语原文)[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(5): 75-84.

TANNO H, HIRAYAMA Y. Variation of the hardening speed of pounded rice-cake, gelatinization of rice flour and physical property of cooked rice of glutinous rice among years and among areas, and its occurrence factors in coldest region for rice cultivation in Hokkaido, Japan[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(5): 75-84.

日本の寒地, 北海道の稲作限界地帯におけるもち米の硬化性, 糊化特性および炊飯米物理特性の年次間地域間差異と発生要因(日语原文)

丹野 久¹, 平山 裕治²

- (1. 日本水稲品質・食味研究会, 日本 東京都中央区, 104-0033;
2. 北海道立総合研究機構上川農業試験場, 日本 北海道比布, 078-0397)

摘 要: 北海道もち米の 6 地域 4 カ年における搗き餅の硬化性と糊化特性を調査した。それらの最小値最大値の差異および変動係数は, 年次間が地域間に比べ大きく, 年次間と地域間との比の大きさおよび特性間の相関係数から, 同比の小さい順に I 群の最高粘度とブレークダウン, II 群の最低粘度, 最終粘度およびコンシステンシー, III 群の糊化開始温度, 最高粘度到達温度, 最高粘度到達時間および硬化性に分けられた。年次間ではこれら 3 群の糊化特性の中で, II 群と III 群において硬化性と正の相関関係が認められ, III 群で最も明確であった。また, 出穂後 40 日間の日平均積算気温(登熟気温)が高いほど II 群, III 群および硬化性が高くなり, その関係は III 群と硬化性で最も明確であった。一方, 地域間ではこれらの関係が概して明確ではなかった。さらに, 精米蛋白質含有率が高いほど, I 群と II 群では年次間と地域間とも, III 群では年次間のみで, 特性値が低くなった。また, 炊飯米の物理特性で, 平年並みの登熟気温年産と高温の登熟気温年産を比べると, 平年登熟年産は柔らかいが粘りが弱く食味が劣るものの, 5 °C 24 時間貯蔵より硬くなりにくく柔らかさが持続した。一方, 高温登熟年産は粘りが強く 5 °C 24 時間貯蔵により硬くなり, 粘りもやや低下した。また, 高蛋白ほど, 両年産とも粘りが弱く食味が低下する傾向にあり, 良食味もち米生産のため低蛋白米生産技術が重要であった。

キーワード: 搗き餅の硬化性; 糊化特性; 炊飯米の物理特性; 年次間地域間差異; 出穂後 40 日間の日平均積算気温; 稲作限界地帯

中图分类号: TS5-33; S511 文献識別コード: A 文章番号: 1007-7561(2022)05-0075-10

投稿日時: 2021-12-20

作者紹介: 丹野 久, 男, 1957 年生まれ, 博士, 教授, 研究方向は米の品質改良における育種栽培、生産技術及びその形質との関係である。E-mail:bun01_0405@yahoo.co.jp。このコラムの背景と作者の紹介は PC13-17 にて具体的に掲載しており, 本論文の中国語訳文は P66-74 を参照できる。

ネットワークの最初発表時間: 2022-09-02 15:19:00

ネットワークの最初発表アドレス: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.ts.20220902.1026.002.html>

Variation of the Hardening Speed of Pounded Rice-Cake, Gelatinization of Rice Flour and Physical Property of Cooked Rice of Glutinous Rice Among Years and Among Areas, and Its Occurrence Factors in Coldest Region for Rice Cultivation in Hokkaido, Japan

Hisashi TANNO¹, Yuji HIRAYAMA²

(1. Japanese Society for Rice Quality and Palatability, Chuo-ku Tokyo Japan 104-0033;

2. Kamikawa Agricultural Experiment Station, Hokkaido Research Organization, Pippu, Hokkaido 078-0397, Japan)

Abstract: Hardening speed of pounded rice-cake and gelatinization property of glutinous rice were investigated in six areas of Hokkaido during four years. The range of the yearly variations (differences between the two extreme values and coefficients of variation) was larger than that of regional variations. Using the ratio of yearly to regional variations and values of correlation coefficient among those properties, in ascending order of ratio, the properties were classified as: Group 1: maximum viscosity and break down; Group 2: minimum viscosity, final viscosity and consistency; Group 3: gelatinization initiation temperature, temperature at which maximum viscosity was shown, time in which maximum viscosity was shown and hardening speed of pounded rice-cake. Among years, for gelatinization property, a positive relationship was seen for properties in Group 2 and Group 3 with hardening speed of pounded rice-cake, and the clearest positive relationship was seen for properties in Group 3. Moreover, the higher the cumulative daily mean temperature during 40 days after heading (grain-filling temperature), the higher the values in Groups 2 and 3 and hardening speed of pounded rice-cake; and, the clearest positive relationship was seen for properties in Group 3 and hardening speed of pounded rice-cake. However, the relationship with the area was not clear. Moreover, the higher the protein content; the lower the values in Group 1 and Group 2 among years and among areas, and the lower the values in Group 3 among years only. In addition, physical properties of cooked rice produced in the normal grain-filling temperature year (NGFTY) were compared with those in the high grain-filling temperature year (HGFTY). The cooked rice produced in NGFTY was softer and less sticky, namely the eating quality was lower. However, it was less stiffened and was kept soft by storage at 5 °C for 24 hours after cooking. On the other hand, cooked rice in HGFTY was stickier, and became hard and less sticky with storage at 5 °C for 24 hours. Moreover, the higher the protein content, the lower the stickiness, namely the eating quality was lower in both NGFTY and HGFTY. Therefore, the cultivation technique to obtain low protein content rice was considered important to obtain glutinous rice with good eating quality.

Key words: hardening speed of pounded rice-cake; gelatinization of rice flour; physical property of cooked rice; variation among years and among areas; cumulative daily mean temperature during 40 days after heading; coldest region for rice cultivation

もち米は加工原料として多く使用される。工場での餅や菓子の製造では、餅搗き直後には熱く柔らかい餅が冷蔵により硬くなってから切断、加工する。作業効率化のため、その間の時間が短く搗き餅が早く硬くなる、すなわち搗き

餅の硬化性（図 1，以下，搗き餅を略し，硬化性と記す）が高いもち米が望まれる。一方，搗き糯を柔らかいまま食する餅菓子やもち米粉を水で練って製造する団子などでは，製造後柔らかさが持続し賞味期間が長いことが必要であ

り、硬化性の低いもち米が適する。さらに、炊飯米や蒸し米を食する赤飯やおこわでも、柔らかさが持続する特性が望まれる。

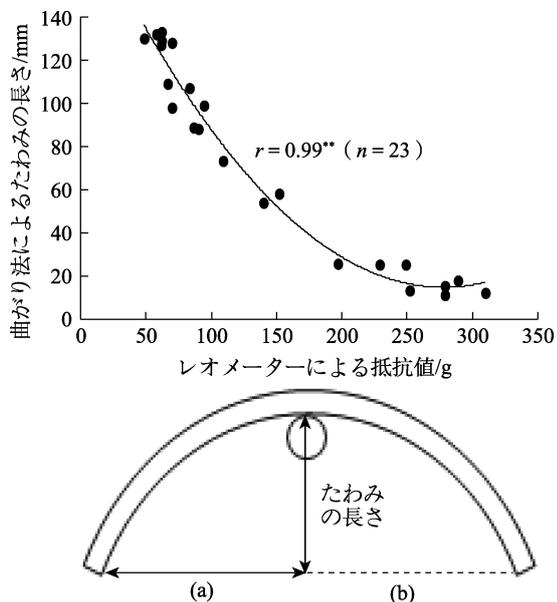


図1 搗き餅硬化性の測定法である本報で用いたレオメーター抵抗値と従来一般に使用されている曲がり法のたわみの長さとの関係^[1]

曲がり法は、搗き餅(30×15×350 mm)を中心部でつるし、5℃24時間で放置後のたわみの長さ(左図のb)による。なお、新潟県食品総合研究所方式では、b/aの値により硬化性を判定する^[2]。レオメーター抵抗値は、厚さ10 mmの餅生地を5℃24時間で放置後、太さ1 mmの針を6 mm/秒で侵入させたときの最大抵抗値(g)による。**は1%水準で有意。

また、硬化性は同一品種でも登熟期の気温が低いほど低くなる^[3-4]。北海道は日本の中でも気象が最も冷涼で登熟期の気温が低く、さらに北海道におけるもち米品種の作付けは、北海道の稲作地帯でも気温が最も低い地域で行われている^[5]。そのため、従来北海道もち米は、日本でも代表的な硬化性が低い原料として利用されてきた^[6-8](図2, 図3)。例えば、長い間北海道もち米の基幹品種であり、現在も多く作付けされている「はくちょうもち」^[9-10]の硬化性は、東北以南で硬化性が高い代表品種とされる新潟県産「こがねもち」や同じく低い代表とされる佐賀県産「ヒヨクモチ」よりも低い(表1)。一方、近年には北海道でも、硬化性の高い新たな品種が育成されている^[11-13]。

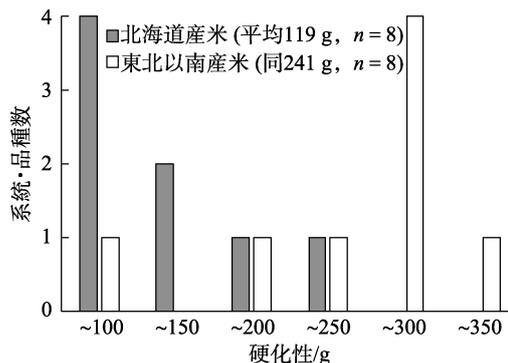


図2 北海道産および東北以南産の糯品種系統における搗き餅の硬化性^[1]

北海道産および東北以南産の供試材料において、いずれも同一品種での異なる産地1~2点および市販品1点を含む。

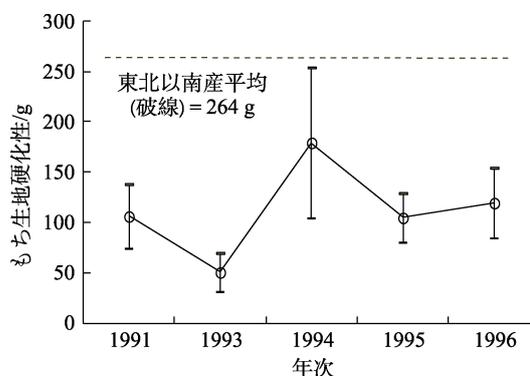


図3 北海道糯品種の餅生地硬化性の年次推移と東北以南糯品種との比較^[1]

折れ線の○は各年次の平均で、誤差線は標準偏差。1991, 1993—1996年の北海道立上川農業試験場と同北見農業試験場での糯品種系統191点を供試。東北以南品種は1991, 1992, 1994年に入手したもち品種16点の平均。

表1 北海道産「はくちょうもち」および東北以南の銘柄もち米である新潟県産「こがねもち」(搗き餅の硬化性高)、佐賀県産「ヒヨクモチ」(同硬化性低)における搗き餅の硬化性の比較^[4]

品種名	産地	硬化性/g	
		2003年	2004年
はくちょうもち	北海道	205	260
こがねもち	新潟県	479	452
ヒヨクモチ	佐賀県	290	315

表中の年次は試験年次で、2003年の「ヒヨクモチ」のみ2002年産米、他は試験年次と生産年次は同じ。「はくちょうもち」は上川中央部の比布町産。

これらもち米の加工適性に影響する米粉の糊化特性(図4)については、品種間あるいは同一品種での異なる栽培条件間で、糊化開始温度および最高粘度到達温度と硬化性との間に正の相関関係があり^[3,14-15]、実際の育種の選抜に

も利用されている^[11-13,15]。さらに、硬化性は最低粘度、最終粘度およびコンシステンシーとの間には正、ブレイクダウンとの間には負の相関関係も認められている^[16-18]。一方、登熟期の気温は糊化開始温度、最高粘度到達温度およびコンシステンシーとの間には正、ブレイクダウンとは負の相関関係が報告されている^[19-21]。

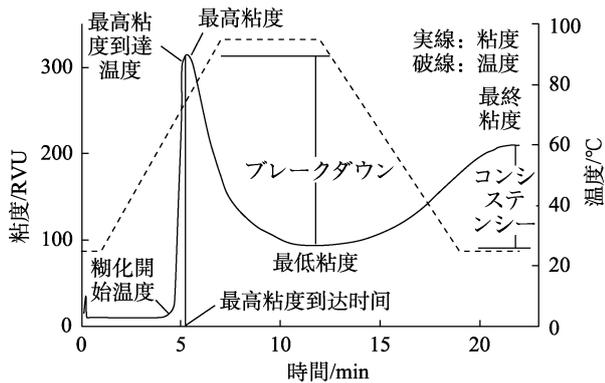


図 4 ラピッドビスコアライザー測定における米粉水溶液の温度と糊化特性^[14]

NEWPORT Scientific 社製 RVA-3D で測定。米粉サンプル 3.5 g に 0.0444% 硫酸銅水溶液 25 mL 使用。最終粘度は測定終了の 22 分時。

以上のように、もち米の硬化性や糊化特性はその利用上重要であるが、地域や年次の登熟期の気温により変動する。そのため、それらの年次間と地域間の差異を明らかにすることは、

もち米品質の安定化を図るために必要である。そこで本試験では、登熟期の気温と作柄が大きく異なった 2000—2003 年に生産された糯品種の「はくちょうもち」を北海道の主要なもち米生産 6 地域から収集し^[4-5]、硬化性および糊化特性の年次間地域間差異を明らかにし、出穂後 40 日間の日平均積算気温および精米蛋白質含有率（以下、それぞれ登熟気温、蛋白質と記す）との関係も解明した^[14]。さらに、登熟気温が大きく異なる 1998, 1999 年に行った別試験では、テクスチュロメーターによる炊飯米の硬さや粘りの物理特性を測定し、それら物理特性の年次間差異と登熟気温との間の関係およびそれらへの蛋白質の影響を明らかにした^[8]。

1 硬化性、出穂後 40 日間の日平均積算気温および精米蛋白質含有率の年次間地域間差異

硬化性の評価に用いたレオメータの抵抗値における最小値と最大値の差異および変動係数は、年次間でそれぞれ 140（最小値 101~最大値 241）g と 48.4%，地域間で 22（133~155）g と 12.9%であった。年次間差異は地域間差異に比べ 6.4 倍、変動係数の比では 3.8 倍と大きかった（表 2）。すなわち、硬化性の年次別分布を

表 2 北海道もち米の試験年次別と地域別における糊化特性、搗き餅の硬化性、精米蛋白質含有率（蛋白質）および出穂後 40 日間の日平均積算気温（登熟気温）^[14]

年次 (n=4) または 地域 (n=5 [†] , 6)	糊化特性							硬化性 [†] g	蛋白質 %	登熟 気温/ °C	
	最高 粘度/ RVU	最低 粘度/ RVU	ブレイク ダウン/ RVU	最終 粘度/ RVU	コンシス テンシー/ RVU	糊化開始 温度/°C	最高粘度 到達 温度/°C				最高粘度 到達 時間/min
平均	308	90	217	213	122	62.1	74.1	5.22	140	9.0	767
年次 最小 (A)	290	83	207	194	111	61.2	73.1	5.13	101	8.4	712
最大 (B)	317	101	226	237	137	64.1	76.1	5.39	241	9.9	873
変動係数 (C)	4.0	8.4	4.3	8.6	8.8	2.2	1.8	2.3	48.4	8.9	9.4
分散分析	*	**	*	**	**	**	**	ns	**	**	**
地域 平均	308	90	217	213	122	62.1	74.1	5.22	140	9.0	767
最小 (D)	302	88	206	205	117	62.0	73.8	5.19	133	8.4	755
最大 (E)	318	93	227	218	126	62.3	74.4	5.24	155	9.9	776
変動係数 (F)	2.7	1.9	3.3	2.5	3.1	0.2	0.3	0.4	12.9	7.1	1.1
分散分析	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	**	ns
変動比 (B-A)/(E-D)	1.7	3.6	0.9	3.3	2.9	9.7	5.0	5.2	6.4	1.0	7.7
C/F	1.5	4.5	1.3	3.4	2.9	11.0	6.0	5.8	3.8	1.3	8.5

[†]硬化性の地域数、供試年次が 2 カ年のみの 1 地域を除く。供試品種は「はくちょうもち」。*, **はそれぞれ 5%, 1%水準で有意差あり。

みると、2000 年が他の 3 カ年よりも明らかに高く分布していた (図 5)。また、蛋白質での最小値最大値の差異および変動係数の年次間と地域間との比では、それぞれ 1.0, 1.3 倍と同じか年次間がやや大きく、登熟気温では 7.7, 8.5 倍と年次間が大きかった。

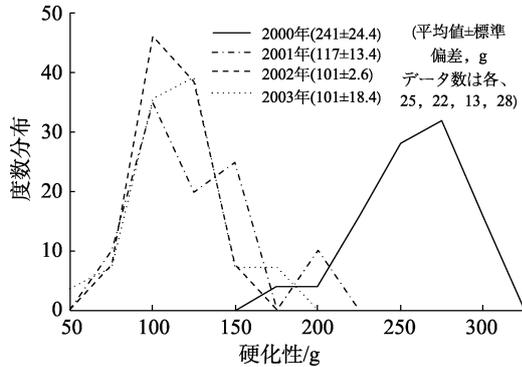


図 5 搗き餅の硬化性における年次別の度数分布

2 糊化特性の年次間地域間差異

糊化特性における年次間の最小値最大値の差異および変動係数を地域間に比べると、ブレイクダウンではほぼ同じか年次間がやや大きく、その他ではいずれも年次間が大きかった。次に、最小値最大値の差異および変動係数における年次間の地域間に対する比で、小さい方から糊化特性を群別した。すなわち、I 群は最も小さい 0.9~1.3 倍のブレイクダウンおよび次い

で低い 1.5~1.7 倍の最高粘度であった。II 群は、2.9~4.5 倍のコンシステンシー、最終粘度および最低粘度であった。III 群は、5.0~11.0 倍と最も大きい糊化開始温度、最高粘度到達温度および最高粘度到達時間であった。なお、項目 1 で述べた硬化性および登熟気温のこれらの値は、いずれも III 群に近似していた。(表 2)。

3 糊化特性、硬化性および出穂後 40 日間の日平均積算気温の間の相関関係

糊化特性間にみられた相関関係からも、項目 2 と同じ 3 つの群に分類できた (表 3)。すなわち、I 群の最高粘度とブレイクダウンの間には、年次間で $r = 0.787^{ns}$ 、地域間で $r = 0.986^{**}$ 、年次地域込みで $r = 0.944^{***}$ (それぞれ $n = 4, 6, 1044$, 以下同じ)、II 群の最低粘度、最終粘度およびコンシステンシーの間には、 $r = 1.000^{***}$ 、 $0.888^* \sim 0.989^{***}$ 、 $0.918^{***} \sim 0.987^{***}$ 、III 群の糊化開始温度、最高粘度到達温度および最高粘度到達時間の間には $r = 0.998^{**} \sim 1.000^{***}$ 、 $0.831^* \sim 1.000^{***}$ 、 $0.886^{***} \sim 0.997^{***}$ の相関係数が得られた。なお、これら II 群と III 群との間にも、各群内に比べやや明確ではない場合があるものの、正の相関関係があった ($r = 0.966^* \sim 0.983^*$ 、 $0.570^{ns} \sim 0.639^{ns}$ 、 $0.685^{**} \sim 0.795^{***}$)。

表 3 年次間と地域間における糊化特性の間の相関係数^[14]

項目 (データ数)	最低粘度	ブレイクダウン	最終粘度	コンシステンシー	糊化開始温度	最高粘度到達温度	最高粘度到達時間
年次 (n=4)							
最高粘度	0.659	0.787	0.665	0.670	0.455	0.510	0.508
最低粘度		0.055	1.000	1.000	0.969	0.983	0.982
ブレイクダウン			0.063	0.069	-0.191	-0.128	-0.130
最終粘度				1.000	0.968	0.981	0.980
コンシステンシー					0.966	0.980	0.980
糊化開始温度						0.998	0.998
最高粘度到達温度							1.000
地域 (n=6)							
最高粘度	0.704	0.986	0.866	0.909	0.448	0.706	0.693
最低粘度		0.577	0.946	0.888	0.603	0.577	0.570
ブレイクダウン			0.776	0.839	0.377	0.680	0.667
最終粘度				0.989	0.617	0.635	0.626
コンシステンシー					0.602	0.639	0.629

续表 3

項目 (データ数) 糊化特性	最低 粘度	ブレイク ダウン	最終 粘度	コンシス テンシー	糊化開始 温度	最高粘度 到達温度	最高粘度 到達時間
糊化開始温度						0.831	0.839
最高粘度到達温度							1.000
年次と地域込み (n=1044)							
最高粘度	0.607	0.944	0.673	0.695	0.230	0.089	0.091
最低粘度		0.310	0.970	0.918	0.795	0.765	0.765
ブレイクダウン			0.401	0.450	-0.056	-0.211	-0.209
最終粘度				0.987	0.787	0.732	0.732
コンシステンシー					0.756	0.686	0.685
糊化開始温度						0.887	0.886
最高粘度到達温度							0.997

表中の相関係数の有意水準は以下のとおり。N=4 (自由度 2) では 5% が 0.950, 1% が 0.990, 0.1% が 0.999, n=6 (自由度 4) では各 0.811, 0.917, 0.974, n=1044 (自由度 1042) では 0.052, 0.068, 0.086。

年次間で登熟気温が高いほど、上記 II 群と III 群の糊化特性および硬化性が高くなり^[3,19-21] (表 4, 図 6), その関係は III 群の特性と硬化性が最も明確であった。また、硬化性と II 群および III 群の糊化特性との間で正の相関関係があり^[3,14-18], その関係は III 群が最も明確であった (図 7~9)。一方、地域間でこれらの関係は概して明確ではなく、このことは項目 1 および項目 2 で述べたように、登熟温度や硬化性、糊化特性での最小値最大値の差異および変動係数に

おける地域間差異が年次間差異よりも小さいためと思われた。

本試験では、年次間ほど明確ではないが、地域間でも登熟気温が高いほど硬化性が高くなった。そのため、硬化性が高いもち米を生産するには平年気温から登熟気温が高い地域で、硬化性が低いもち米を生産するためには登熟気温が低い地域で、それぞれ硬化性が高いあるいは低い特性を有する品種^[13]を作付けする必要がある。

表 4 年次間と地域間における出穂後 40 日間の日平均積算気温 (登熟気温), 搗き餅の硬化性および精米蛋白質含有率 (蛋白質) と糊化特性との間の相関係数, および糊化特性の実測値と登熟温度気温からの推定値の間の差異と蛋白質[†] との間の相関係数^[14]

項目 (データ数)	形質	RVA 糊化特性								硬化性
		最高 粘度	最低 粘度	ブレイク ダウン	最終 粘度	コンシス テンシー	糊化開始 温度	最高粘度 到達温度	最高粘度 到達時間	
年次 (4)	登熟気温	0.226	0.881	-0.423	0.877	0.874	0.970	0.953	0.954	0.988
	硬化性 [#]	0.361	0.904	-0.200	0.902	0.900	0.977	0.970	0.969	1.000
	蛋白質	-0.858	-0.829	-0.459	-0.834	-0.838	-0.708	-0.751	-0.754	-0.633
	蛋白質 [†]	-	-0.806	-	-0.802	-0.800	-0.901	-0.902	-0.915	0.123
地域 (6 または 5 [#])	登熟気温	0.118	0.753	-0.038	0.516	0.391	0.542	0.365	0.368	0.798
	硬化性 [#]	0.488	0.847	0.365	0.748	0.681	0.794	0.706	0.706	1.000
	蛋白質	-0.812	-0.730	-0.763	-0.886	-0.926	-0.448	-0.401	-0.392	-0.589
	蛋白質 [†]	-	-0.941	-	-0.950	-0.959	-0.165	-0.253	-0.259	-0.316
年次地域 込み (1044 または 86 [#])	登熟気温	0.098	0.720	-0.182	0.718	0.693	0.829	0.838	0.834	0.914
	硬化性 [#]	0.441	0.824	0.135	0.822	0.793	0.861	0.878	0.875	1.000
	蛋白質	-0.485	-0.509	-0.368	-0.588	-0.622	-0.315	-0.387	-0.390	-0.544
	蛋白質 [†]	-	-0.325	-	-0.438	-0.484	0.019	-0.105	-0.110	-0.139

硬化性[#], 硬化性の地域数については表 2 脚注参照。蛋白質[†]は、糊化特性の実測値と登熟気温からの推定値との差異と蛋白質との間の相関係数で、登熟気温と明確な相関関係がみられた特性のみ、推定値は年次地域込みのデータで得られた一回帰式より得た。表中の相関係数の有意水準は以下のとおり。N=4 (自由度 2) では 5% が 0.950, 1% が 0.990, 0.1% が 0.999, n=6 (自由度 4) では各 0.811, 0.917, 0.974, n=86 (自由度 84) では 0.212, 0.277, 0.349, n=1044 (自由度 1042) では 0.052, 0.068, 0.086。

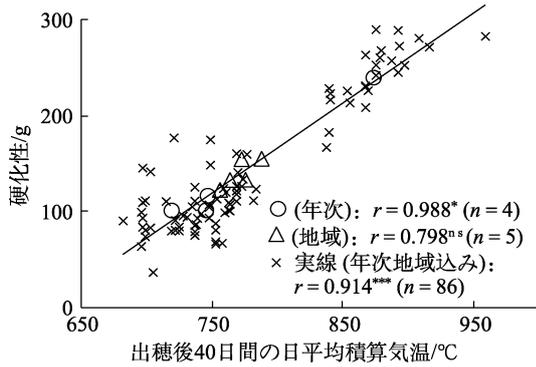


図6 出穂後40日間の日平均積算気温と搗き餅の硬化性との間の関係^[14]

実線の回帰式, $y=0.9343x-581.5$ 。*, ***, **はそれぞれ5%, 0.1%水準で有意。

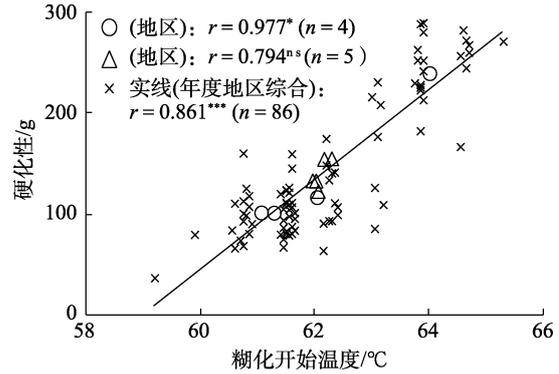


図7 ラビットビスコアナライザーの糊化開始温度と搗き餅の硬化性との間の関係^[14]

実線の回帰式, $y=44.644x-2634.2$ 。*, ***, **はそれぞれ5%, 0.1%水準で有意。

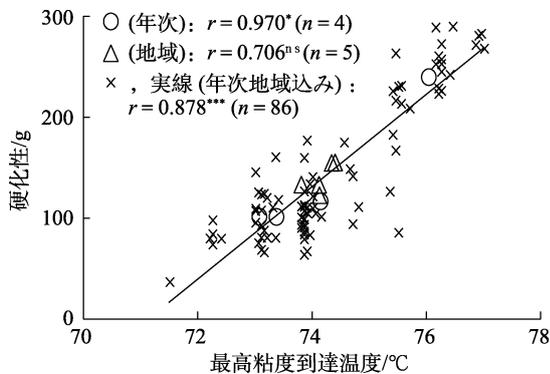


図8 ラビットビスコアナライザーの最高粘度到達温度と搗き餅の硬化性との間の関係^[14]

実線の回帰式, $y=46.068x-3278.4$ 。*, ***, **はそれぞれ5%, 0.1%水準で有意。

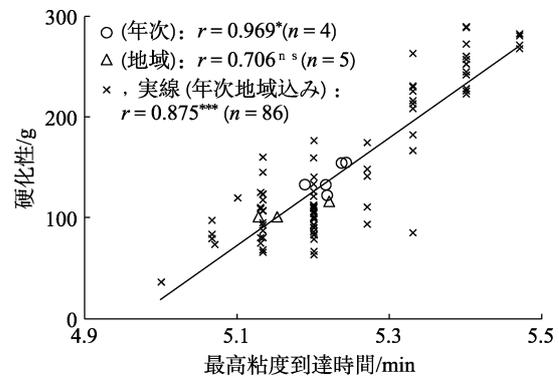


図9 ラビットビスコアナライザーの最高粘度到達時間と搗き餅の硬化性との間の関係

実線の回帰式, $y=535.04x-2655.8$ 。*, ***, **はそれぞれ5%, 0.1%水準で有意。

4 精米蛋白質含有率と硬化性, 糊化特性との間の相関関係

登熟気温との相関関係が認められなかったI群の糊化特性は, ブレークダウンの年次間ではやや明確ではないが, その他では年次間と地域間ともに蛋白質と負の相関関係があった(表4, 図10)。一方, 登熟気温と年次間および地域間ともに明確な正の相関関係があったII群, III群および硬化性において蛋白質との相関関係を求めると, 蛋白質は登熟気温との間に有意な負の相関係数(年次地域込み, $r=-0.394^{***}$ すなわち $r^2=0.155$, データ数は1044)も得られているため, 登熟気温の影響が反映される懸念がある。また, 蛋白質は登熟気温との間において一次回帰よりも二次回帰の決定係数(年次地域込

み, $r^2=0.184$, $n=1044$)の値が大きい^[5]。そのため, これらの関係を解明するために偏相関係数を用いることは適さない。

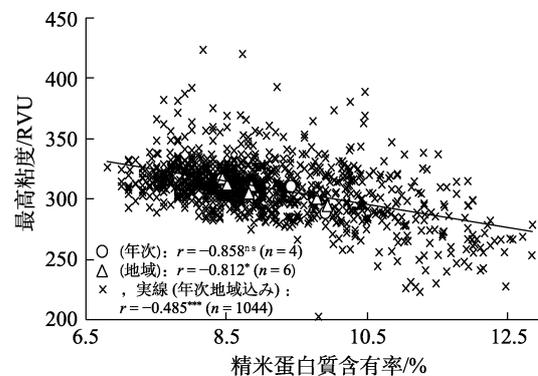


図10 精米蛋白質含有率とラビットビスコアナライザーの最高粘度との間の関係

実線の回帰式, $y=-9.479x+395.29$ 。*, ***, **はそれぞれ5%, 0.1%水準で有意。

そこで、登熟気温の影響を除いた糊化特性と蛋白質との間の関係を明らかにするため、硬化性及びⅡ群、Ⅲ群の糊化特性では、まずそれらの実測値と登熟気温からの一次回帰式から推定される値の差異を求め、さらにその差異と蛋白質との間の相関関係を解明した。その結果、硬化性は年次間と地域間ともに、蛋白質と明確な相関関係がなかった(表 4)。一方、硬化性と強い正の相関関係にあるⅢ群の糊化開始温度、最高粘度到達温度および最高粘度到達時間では、地域間および年次地域込みで一定の関係は認められなかったが、年次間のみで負の相関関係があった(表 4, 図 11)。さらに、Ⅱ群では年次間と地域間、さらに年次地域込みでも負の相関関係が認められた(表 4, 図 12)。

以上のように、蛋白質が高くなるほど、糊

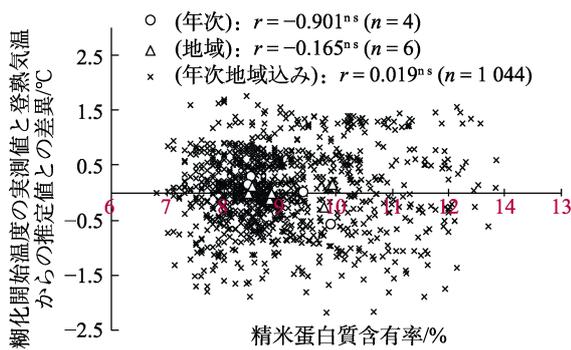


図 11 ラピッドビスコアナライザーによる糊化開始温度の実測値と出穂後 40 日間の日平均積算気温(登熟気温)からの推定値との差異と精米蛋白質含有率との関係

**は 1%水準で有意。

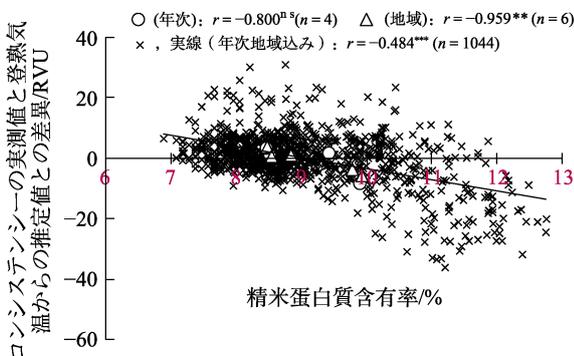


図 12 ラピッドビスコアナライザーによるコンシステンシーの実測値と出穂後 40 日間の日平均積算気温(登熟気温)からの推定値との差異と精米蛋白質含有率との関係

実線の回帰式, $y = -3.531x + 31.92$. **, ***はそれぞれ 1%, 0.1%水準で有意。

化特性のⅠ群とⅡ群では年次間と地域間ともに、Ⅲ群では年次間のみで、その特性値が低くなった。一方、蛋白質は硬化性との間には年次間と地域間とも一定の関係が認められなかった。しかし、硬化性との間に明確な正の相関関係を示した糊化特性のⅢ群と蛋白質との間には、年次間で負の相関関係が認められたことから、蛋白質が硬化性に及ぼす影響について、さらに検討が必要である。

5 出穂後 40 日間の日平均積算気温が異なる年次の産米の炊飯米物理特性

登熟気温が平年より高温の 1999 年および平年並の 1998 年に生産された米(以下、それぞれ高温登熟年産、平年登熟年産と記す)について、炊飯米の物理特性である硬さおよび粘りを比較した。高温登熟年産は、平年登熟年産よりも炊飯 1 時間後では硬さはやや優り、粘りは大きく優っていた。5℃ 24 時間貯蔵により、硬さは平年登熟年産よりも高温登熟年産でやや大きく、しかしいずれも増大し、粘りは平年並登熟気温年産ではほぼ変わらず、高温登熟年産では大きく低下した。しかし、それにも関わらず 5℃ 24 時間貯蔵後でも、高温登熟年産が平年並登熟年産よりも硬さと粘りとも優っていた(表 5, 図 13)。

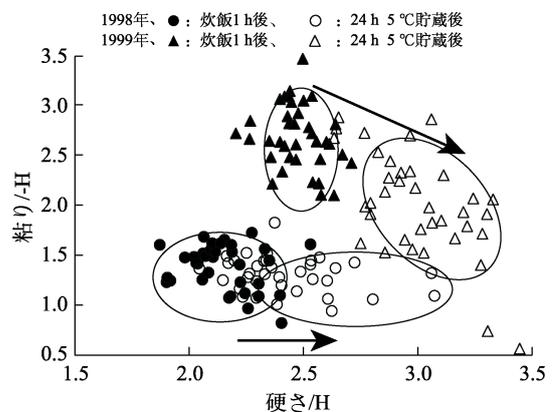


図 13 出穂後 40 日間の日平均積算気温(登熟気温)が平年並みの年次(1998 年)および高温の年次(1999 年)における炊飯米の硬さと粘りの間の関係^[8]

テクスチュロメーターによる測定。供試品種は「はくちょうもち」と「風の子もち」。登熟気温および貯蔵条件は表 5 を参照。

一方、蛋白質の硬さへの影響は平年登熟年産で不明確か極めて小さいにすぎないが、高温登熟年産では蛋白質が高いほど炊飯 1 時間後と 5 °C 24 時間貯蔵後とも硬さがやや上昇する傾向があった。また、粘りは蛋白質が高くなると平年登熟年産ではやや低下し、高温登熟年産で大きく低下した (図 14)。

このように平年登熟年産の炊飯米は柔らかいが粘りが劣り食味が劣るものの、5 °C 24 時

間貯蔵により硬くなりにくく柔らかさが持続した。一方、高温登熟年産の炊飯米は粘りが強く、5 °C 24 時間貯蔵では硬くなり粘りもやや低下した。また、蛋白質が高いほど、高温登熟年産では硬くなり両年産とも粘りが低下し、食味が低下する傾向があった^[8]。その食味低下を回避するためには、うるち米と同様に低蛋白質米生産のための栽培法^[22]を励行することが重要であると思われた。

表 5 北海道もち米における出穂後 40 日間の日平均積算気温 (登熟気温) が平年並みの年次 (1998 年) および高温の年次 (1999 年) における炊飯米の物理特性

試験年次 (登熟気温)	形質	品種名産地	データ数	炊飯後, 測定までの貯蔵条件	
				室温 1 時間	5 °C 24 時間
1998 年 (はくちようもち: 772 °C, 風の子もち: 771 °C)	H	はくちようもち	21	2.14±0.18	2.42±0.24
	(硬さ)	風の子もち	15	2.15±0.12	2.42±0.24
	-H	はくちようもち	21	1.32±0.24	1.24±0.15
	(粘り)	風の子もち	15	1.50±0.17	1.42±0.16
1999 年 (はくちようもち: 908 °C, 風の子もち: 904 °C)	H	はくちようもち	22	2.45±0.12	2.99±0.21
	(硬さ)	風の子もち	17	2.51±2.51	3.00±0.21
	-H	はくちようもち	22	2.61±0.35	1.91±0.56
	(粘り)	風の子もち	17	2.78±0.10	2.24±0.44

テクスチュロメーターによる測定値で、平均±標準偏差。登熟気温は北海道立上川農業試験場における値で、平年 (1989—1999 年の平均) は「はくちようもち」, 「風の子もち」でそれぞれ 783, 766 °C。

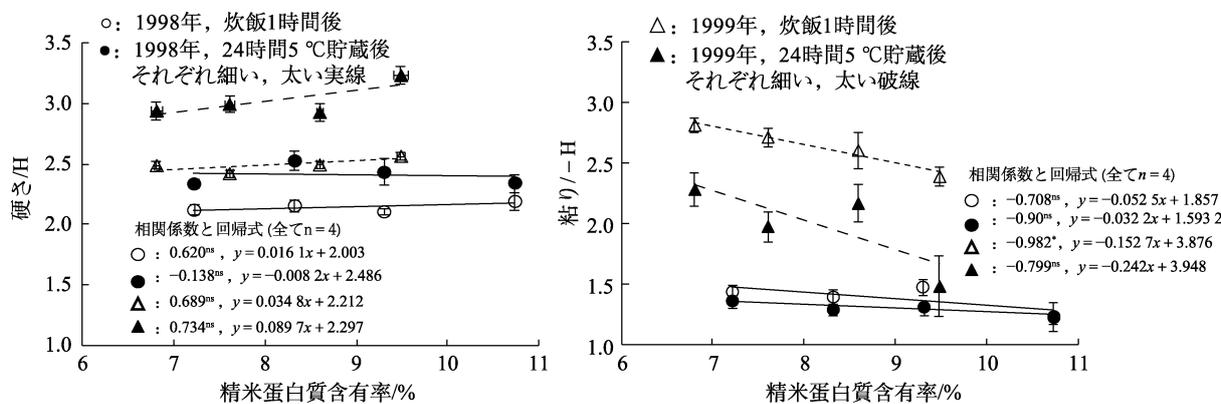


図 14 出穂後 40 日間の日平均積算気温 (登熟気温) が平年並みの年次 (1998 年) および高温の年次 (1999 年) における精米蛋白質含有率と炊飯米の硬さ (H) および粘り (-H) との間の関係

テクスチュロメーターによる測定。供試品種は「はくちようもち」と「風の子もち」。精米蛋白質含有率の分布幅を 4 等分し、各平均 (シンボル) および標準誤差 (誤差線) を求めた。各シンボルのデータ数は 1998 年: 5~13 で合計 36, 1999 年: 5~14 で合計 39。登熟気温および貯蔵条件は表 5 を参照。*は 5%水準で有意。

引用文献:

[1] 柳原哲司. 北海道米の食味向上と用途別品質の高度化に関する研究, 北海道もち米の加工適性向上に関する技術開発 [R]. 北海道立農業試験場報告, 2002, 101: 55-62.

[2] 山下浩. 硬化特性の測定. 農林水産省農業研究センター 山本隆一・堀末登・池田良一共編イネ育種マニュアル 特性検定, 玄米成分量, もち[M]. 東京: 養賢堂, 1996: 72-73.

[3] 松江勇次, 内村要介, 佐藤大和. アミログラム特性の糊化開始温度による水稲もち品種の餅硬化速度の評価方法と餅硬化速度からみた糊化開始温度と登熟温度[J]. 日作紀, 2002, 71(1): 57-61.

[4] 丹野久, 木下雅文, 佐藤毅. 寒地における水稲もち米品質

- の年次間と地域間の差異およびその発生要因[J]. 日作紀, 2009, 78(1): 50-57.
- [5] 丹野久. 日本の寒地, 北海道の稲作限界地帯におけるもち米の精米蛋白含有率および米粒白度の年次間地域間差異とその発生要因(日語原文)[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(5): 35-43.
- [6] 江川和徳, 吉井洋一. 産地・品種を異にした糯米による餅の硬化性[J]. 新潟食品研報, 1990, 25: 29-33.
- [7] 赤間芳洋, 有坂将美. もち米. 櫛渕欽也監修, 日本の稲育種[M]. 東京: 農業技術協会, 1992: 197-208.
- [8] 平山裕治. 北海道もち米の実需実態と理化学特性[J]. 北農, 2001, 68(4): 355-360.
- [9] 本間昭, 楠谷彰人, 前田博, 等. 水稻糯新品種「はくちょうもち」の育成について[N]. 北海道立農試集報, 1991, 62: 1-11.
- [10] 北海道農政部 生産振興局農産振興課編. 米に関する資料[生産・価格・需要](令和 2 年 10 月)北海道農政部生産振興局農産振興課北海道の水田農業(2020)[R]. http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/nsk/kome/01_r2zentai_1.pdf (2021/5/18 閲覧).
- [11] 粕谷雅志, 佐藤毅, 沼尾吉則, 等. 水稻糯新品種「しろくまもち」の育成[N]. 北海道立総合研究機構農試集報, 2013, 97: 15-28.
- [12] 平山裕治, 前川利彦, 品田博史, 等. 水稻糯新品種「きたふくもち」の育成[N]. 北海道立総合研究機構農試集報, 2018, 102: 15-27.
- [13] 丹野久, 吉村徹, 平山裕治. 日本の寒地, 北海道におけるもち米良質育種(日語原文) [J]. 粮油食品科技, 2022, 30(5): 13-25.
- [14] 丹野久, 木下雅文, 佐藤毅. 北海道の水稻もち米品質における年次間と地域間差異およびその発生要因, 米の外観品質・食味研究の最前線 [40] [J]. 農及園, 2016, 91(4): 455-467.
- [15] 岡本和之, 根本博. ラピッド・ビスコ・アナライザーによる陸稲糯品種の餅硬化性の評価と高度の餅硬化性を持つ陸稲品種「関東糯 172 号」[J]. 日作紀, 1998, 67(4): 492-497.
- [16] CHEN J, WATANABE M, NAKAMORI T, et al. Relationship between physical properties and amylopectin structure of waxy rice starch[J]. J. Appl. Glycosci., 2003, 50: 133-137.
- [17] 佐藤弘一, 齊藤真一, 吉田智彦. 水稻糯品種の餅硬化性, 糊化特性および尿素崩壊性による選抜方法[J]. 日作紀, 2005, 74(3): 310-315.
- [18] 高橋徹, 佐々木玲, 熊谷昌則. 餅生地硬化性に及ぼす糯米の糊化特性[R]. 秋田県総合食品研究センター報告, 2013, 15: 33-36.
- [19] 木下雅文, 沼尾吉則, 尾崎洋人, 等. 府県水稻糯品種並に高い餅硬化性を持つ育成系統の解析[N]. 育種・作物学会北海道談話会会報, 2005, 46: 61-62.
- [20] 佐藤弘一, 吉田直史, 大谷裕行, 等. 水稻糯品種の糊化特性と玄米千粒重, 玄米白度との関係[J]. 日作紀, 2007, 76(1): 65-70.
- [21] 広田雄二, 多々良泉, 徳田眞二. 登熟温度が水稻もち品種・系統のもち質に及ぼす影響[N]. 日作九支報, 2007, 73: 5-8.
- [22] 柳原哲司. 精米タンパク質含有率の低下技術. 北海道米麦改良協会編, 北海道の米づくり [2011 年版] [M]. 札幌: 北海道米麦改良協会, 2011: 104-111. 