

丹野久教授主持“日本寒地北海道糯米品质改良与预研气候变暖对2030年代水稻生长的影响”特约专栏文章之四

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.05.004

丹野久, 平山裕治. 日本寒地北海道稻作极限地带糯米硬化糊化特性和米饭物理特性的年度间地区间差异及其产生因素[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(5): 66-74.

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): 66-74.

# 日本寒地北海道稻作极限地带糯米硬化糊化特性和米饭物理特性的年度间地区间差异及其产生因素

丹野久<sup>1</sup>, 平山裕治<sup>2</sup>

- (1. 日本水稻品质·食味研究会, 日本 东京都中央区 104-0033;
2. 北海道立综合研究机构上川农业试验场, 日本 北海道比布 078-0397)

**摘要:** 调查了北海道6个地区4个年度生产的糯米捣制年糕的硬化性和糊化特性。这些特性的最小值与最大值之差及变异系数都是年度间比地区间要大。根据年度间与地区间的比值及特性之间的相关系数, 按照比值小的顺序可以分为第Ⅰ组的最高粘度和崩解值, 第Ⅱ组的最低粘度、最终粘度以及粘稠度, 第Ⅲ组的糊化开始温度、最高粘度到达温度、最高粘度到达时间以及硬化性。在年度间, 这三组糊化特性中的第Ⅱ组和第Ⅲ组与硬化性有正相关关系, 第Ⅲ组最为明确。抽穗后40天之间的日平均累计气温(灌浆气温)越高, 第Ⅱ组和第Ⅲ组的糊化特性以及硬化性就越高, 这种关系为第Ⅲ组和硬化性最明确。而在地区间, 这些关系都不是很明确。大米蛋白质含量越高, 第Ⅰ组和第Ⅱ组在年度间和地区间, 第Ⅲ组只在年度间, 这些特性值就越低。关于米饭的物理特性, 灌浆气温的正常年份产与高温年份产相比, 正常年份产的米饭要软、粘性弱、食味差, 5℃下储藏24h后不容易变硬, 柔软程度无变化。而高温年份产的米饭粘性强, 5℃下储藏24h后变硬, 粘性也稍微下降。越是高蛋白质, 两种年份产的都呈现粘性变弱食味下降的趋势。因此, 为了生产优良食味的糯米低蛋白质米的生产技术很重要。

**关键词:** 捣制年糕的硬化性; 糊化特性; 米饭的物理特性; 年度间地区间差异; 抽穗后40天之间的日平均累计气温; 稻作极限地带

中图分类号: TS5-33; S511 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)05-0066-09

网络首发时间: 2022-09-01 15:00:47

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.ts.20220831.1858.022.html>

收稿日期: 2021-12-20

作者简介: 丹野久, 男, 1957年出生, 博士, 教授, 研究方向为稻米品质改良方面的育种栽培、生产技术及其品质关系。E-mail: bun01\_0405@yahoo.co.jp。本专栏背景及作者介绍详见PC11-15。本文日语原文详见P75-84。

## 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 TANNO<sup>1</sup>, Yuji HIRAYAMA<sup>2</sup>

(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

糯米作为加工原料被大量使用。在工厂生产年糕和糕点时, 刚捣制后又软又热的年糕通过冷藏硬化后被切割和加工。为了提高生产效率, 捣制年糕变硬时间短, 即捣制年糕的硬化性(图 1, 以下省略捣制年糕, 简称为“硬化性”)高的糯米很受欢迎。另一方面, 捣制年糕以柔软的状态被食用的年糕点心或用糯米粉加水揉制的团子

等, 制作后需要保持柔软度和长的食味保质期, 硬化性低的糯米比较适合。另外, 蒸煮的糯米饭或红豆糯米饭等, 也有必要保持米饭的柔软度。

即使是同一个品种, 灌浆期的气温越低, 硬化性就越低<sup>[3-4]</sup>。北海道的气候在日本最寒冷, 灌浆期的气温低, 并且北海道的糯稻品种在北海道气温最低的地区种植<sup>[5]</sup>, 因此, 以往北海道的

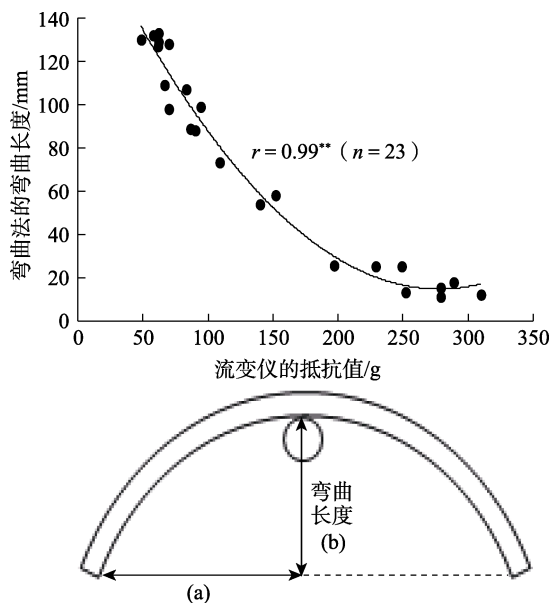


图 1 流变仪抵抗值 (本论文使用的捣制年糕硬化性测定法) 与通常使用的弯曲法的弯曲长度之间的关系<sup>[1]</sup>

注: 弯曲法: 在中心部吊起捣制年糕 (30×15×350 mm), 5 °C 放置 24 小时后测定弯曲长度 (图中的 b)。新泻县食品综合研究所使用 b/a 的数值来判断硬化性<sup>[2]</sup>。流变仪抵抗值: 厚度 10 mm 的年糕面胚, 5 °C 放置 24 小时后, 用 1 mm 粗的针以 6 mm/秒的速度插入时的最大抵抗值 (g)。\*\*为在 1% 水平上有显著性差异。

糯米作为日本典型的低硬化性原料被利用<sup>[6-8]</sup> (图 2、图 3)。比如, 长期作为北海道糯稻核心品种, 目前仍然大面积种植的“天鹅糯米”<sup>[9-10]</sup> 的硬化性要低于被认为是东北南部具有高硬化性代表品种的新泻县“黄金糯米”和被认为是低硬化性代表品种的佐贺县“肥沃糯米” (表 1)。另一方面, 近年北海道也培育出了硬化性高的新品种<sup>[11-13]</sup>。

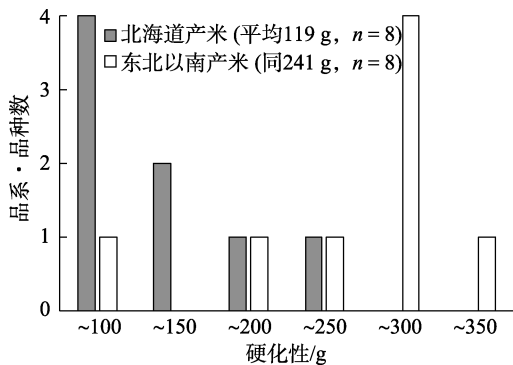


图 2 北海道产和东北以南产糯稻品种及品系的捣制年糕硬化性<sup>[1]</sup>

注: 样品为北海道产和东北以南产, 都包括同一品种而产地不同的 1~2 个以及市场销售的 1 个。

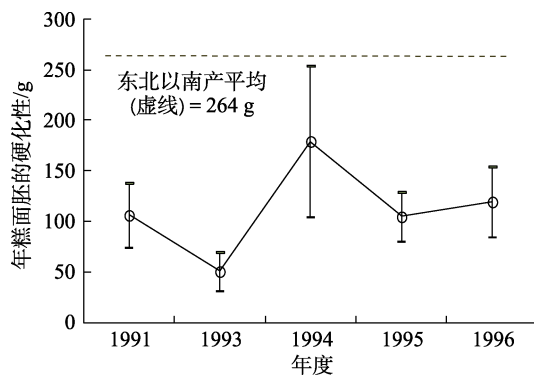


图 3 北海道糯稻品种的年糕面胚硬化性的年度变化以及与东北以南糯稻品种的比较<sup>[1]</sup>

注: 折线的○为各年度的平均, 误差线为标准偏差。使用样品为 1991, 1993—1996 年北海道立上川农业试验场和北见农业试验场的糯稻品种和品系 191 份。东北以南品种是 1991、1992、1994 年收集的糯稻品种 16 个样品的平均。

表 1 北海道产「天鹅糯米」以及东北以南的品牌糯米新泻县产「黄金糯米」(捣制年糕的硬化性高), 佐佐贺县产「肥沃糯米」(硬化性低)的捣制年糕硬化性的比较<sup>[4]</sup>

品种名	产地	硬化性/g	
		2003 年	2004 年
天鹅糯米	北海道	205	260
黄金糯米	新泻县	479	452
肥沃糯米	佐贺县	290	315

注: 表中的年度为试验年度, 2003 年的「肥沃糯米」为 2002 年生产, 其它都是试验年度和生产年度相同。「天鹅糯米」为上川中央部的比布町生产。

关于影响糯米加工适性的米粉糊化特性 (图 4), 在不同品种之间或同一品种的不同栽培条件之间, 糊化开始温度和最高粘度到达温度与硬化性之间呈正的相关关系<sup>[3, 14-15]</sup>, 这种关系也被用

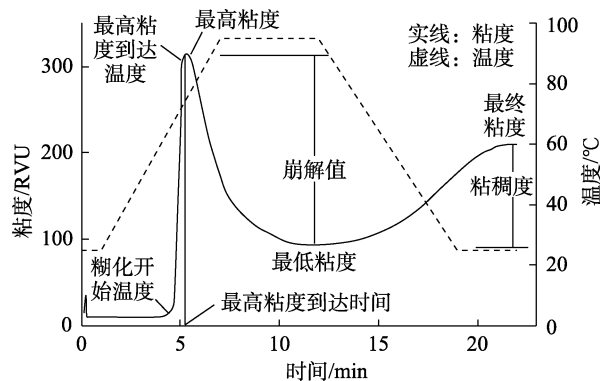


图 4 使用快速黏度仪测定米粉水溶液的温度和糊化特性<sup>[14]</sup>

注: 用 NEWPORT Scientific 公司制造的 RVA-3D 测定。使用米粉样品 3.5 g 和 0.044 4% 硫酸铜水溶液 25 mL。测定结束时的最终粘度为测定开始后的 22 min。

于实际的育种选拔中<sup>[11-13, 15]</sup>。此外,硬化性与最低粘度,最终粘度以及粘稠度呈正相关,与崩解值呈负的相关关系<sup>[16-18]</sup>。根据研究结果灌浆期的气温与糊化开始温度,最高粘度到达温度以及粘稠度呈正相关,与崩解值呈负的相关关系<sup>[19-21]</sup>。

如上所述,糯米的硬化性和糊化特性在加工利用上很重要,这些特性因地区和年度的灌浆期气温而变动。有必要解明这些年度间和地区间的差异,以稳定糯米的品质。因此,在本试验中,从北海道的六大糯米产区收集了 2000—2003 年(在这些年份灌浆期的气温和收成差异很大)生产的糯稻品种“天鹅糯米”<sup>[4-5]</sup>,解明了硬化性和糊化特性的年度间和地区间差异,阐明了这些差异与抽穗后 40 天之间的日平均累计温度以及大米蛋白质含量(以下分别简称“灌浆气温”和“蛋白质”)之间的关系<sup>[14]</sup>。此外,在灌浆气温有显著差异的 1998 年和 1999 年进行的另一项试验中,用质构仪测定了米饭的硬度和粘度等物理特

性,阐明了这些物理特性的年度间差异与灌浆气温之间的关系以及蛋白质对这些物理特性的影响<sup>[8]</sup>。

## 1 硬化性、抽穗后 40 天之间的日平均累计气温以及大米蛋白质含量的年度间地区间差异

用流变仪测定的抵抗值来评价硬化性,抵抗值的最小值与最大值之差以及变异系数在年度间分别为 140(最小值 101~最大值 241)g 和 48.4%,在地区间分别为 22(133~155)g 和 12.9%。年度间之差要比地区间之差大,为 6.4 倍,年度间的变异系数是地区间的 3.8 倍(表 2)。从不同年度的硬化性分布来看,2000 年明显比其它三个年度的数值要高(图 5)。此外,蛋白质的最小值与最大值之差以及变异系数的年度间与地区间之比分别是 1.0 和 1.3 倍,为相同或年度间略大,同时灌浆气温的比值分别是 7.7 和 8.5 倍,比年度间要大。

表 2 北海道糯米的不同试验年度和地区的糊化特性,捣制年糕硬化性、大米蛋白质含量(蛋白质)以及抽穗后 40 天之间的日平均累计气温(灌浆气温)<sup>[14]</sup>

年度(n=4)或地区(n=5 <sup>†</sup> , 6)	糊化特性								硬化 <sup>‡</sup> 性/g	蛋白质/%	灌浆气温/°C
	最高粘度/RVU	最低粘度/RVU	崩解值/RVU	最终粘度/RVU	粘稠度/RVU	糊化开始温度/°C	最高粘度到达温度/°C	最高粘度到达时间/min			
平均	308	90	217	213	122	62.1	74.1	5.22	140	9.0	767
年度 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
变异系数(C)	4.0	8.4	4.3	8.6	8.8	2.2	1.8	2.3	48.4	8.9	9.4
方差分析	*	**	*	**	**	**	**	ns	**	**	**
地区 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
变异系数(F)	2.7	1.9	3.3	2.5	3.1	0.2	0.3	0.4	12.9	7.1	1.1
方差分析	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	**	ns
年度/地区 (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

注: <sup>†</sup>硬化性的地区数, 试验年度中有两年缺少一个地区的样品。试验品种为「天鹅糯米」。<sup>\*</sup>、<sup>\*\*</sup>分别为在 5%、1% 水平上有显著性差异。

## 2 糊化特性的年度间地区间差异

糊化特性的年度间的最小值与最大值之差以及变异系数与地区间的相比,崩解值基本相同或年度间稍大,其它都是年度间要大。按照最小值

与最大值之差以及变异系数的年度间与地区间之比,将糊化特性从小到大分组。其结果第 I 组为比值最小的崩解值(0.9~1.3 倍)和其次小的最高粘度(1.5~1.7 倍)。第 II 组为 2.9~4.5 倍的粘稠度,最终粘度和最低粘度。第 III 组为比值最大

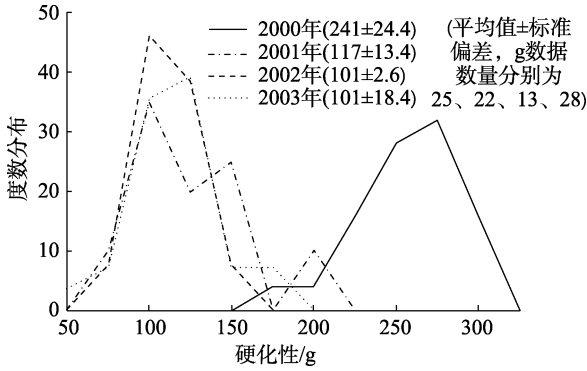


图 5 捣制年糕的硬化性在各年度的度数分布

的糊化开始温度, 最高粘度到达温度和最大粘度到达时间 (5.0~11.0 倍)。第 1 项所述的硬化性和灌浆气温的这些比值均与第 III 组相似 (表 2)。

### 3 糊化特性、硬化性以及抽穗后 40 天之间的日平均累计气温之间的相关关系

根据糊化特性之间的相关关系, 与第 2 项一

样可以将糊化特性分成三组 (表 3)。其结果, 第 I 组的最高粘度和崩解值之间的相关系数为年度间  $r=0.787^{ns}$ , 地区间  $r=0.986^{**}$ , 年度和地区综合  $r=0.944^{***}$  (分别为  $n=4、6、1044$ , 以下相同), 第 II 组的最低粘度, 最终粘度以及粘稠度之间的相关系数分别为  $r=1.000^{***}$ 、 $0.888^{*} \sim 0.989^{***}$ 、 $0.918^{***} \sim 0.987^{***}$ , 第 III 组的糊化开始温度, 最高粘度到达温度以及最高粘度到达时间之间的相关系数分别为  $r=0.998^{**} \sim 1.000^{***}$ 、 $0.831^{*} \sim 1.000^{***}$ 、 $0.886^{***} \sim 0.997^{***}$ 。此外, 第 II 组和第 III 组之间虽然不像各组内那样明确, 但也存在正的相关关系 ( $r=0.966^{*} \sim 0.983^{*}$ 、 $0.570^{ns} \sim 0.639^{ns}$ 、 $0.685^{***} \sim 0.795^{***}$ )。

在年度间灌浆气温越高, 以上第 II 组和第 III 组的糊化特性以及硬化性就越高<sup>[3, 19-21]</sup> (表 4, 图 6), 这种关系在第 III 组的特性和硬化

表 3 年度间和地区间的各糊化特性之间的相关关系<sup>[14]</sup>

指标 (数据数量) 糊化特性	最低 粘度	崩解值	最终 粘度	粘稠度	糊化开始 温度	最高粘度 到达温度	最高粘度 到达时间
年度 (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
崩解值			0.063	0.069	-0.191	-0.128	-0.130
最终粘度				1.000	0.968	0.981	0.980
粘稠度					0.966	0.980	0.980
糊化开始温度						0.998	0.998
最高粘度到达温度							1.000
地区 (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
崩解值			0.776	0.839	0.377	0.680	0.667
最终粘度				0.989	0.617	0.635	0.626
粘稠度					0.602	0.639	0.629
糊化开始温度						0.831	0.839
最高粘度到达温度							1.000
年度和地区综合 (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
崩解值			0.401	0.450	-0.056	-0.211	-0.209
最终粘度				0.987	0.787	0.732	0.732
粘稠度					0.756	0.686	0.685
糊化开始温度						0.887	0.886
最高粘度到达温度							0.997

注: 表中相关系数的差异性评价:  $n=4$  (自由度 2) 时 5% 为 0.950, 1% 为 0.990, 0.1% 为 0.999,  $n=6$  (自由度 4) 时分别为 0.811、0.917、0.974,  $n=1044$  (自由度 1042) 时分别为 0.052、0.068、0.086。

表 4 年度间和地区间的抽穗后 40 天之间的日平均累计气温 (灌浆气温), 捣制年糕的硬化性以及大米蛋白质含量 (蛋白质) 与糊化特性之间的相关关系, 以及糊化特性的实际测定值和根据灌浆气温的推测值之间的差异与蛋白质之间的相关关系<sup>[14]</sup>

项目 (数据数量)	指标	RVA 糊化特性								
		最高 粘度	最低 粘度	崩解值	最终 粘度	粘稠度	糊化开始 温度	最高粘度 到达温度	最高粘度 到达时间	硬化性
年度 (4)	灌浆气温	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
	蛋白质	-0.858	-0.829	-0.459	-0.834	-0.838	-0.708	-0.751	-0.754	-0.633
	蛋白质 <sup>†</sup>	-	-0.806	-	-0.802	-0.800	-0.901	-0.902	-0.915	0.123
地区 (6 或 5 <sup>#</sup> )	灌浆气温	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
	蛋白质	-0.812	-0.730	-0.763	-0.886	-0.926	-0.448	-0.401	-0.392	-0.589
	蛋白质 <sup>†</sup>	-	-0.941	-	-0.950	-0.959	-0.165	-0.253	-0.259	-0.316
年度地区 综合 (1 044 或 86 <sup>#</sup> )	灌浆气温	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
	蛋白质	-0.485	-0.509	-0.368	-0.588	-0.622	-0.315	-0.387	-0.390	-0.544
	蛋白质 <sup>†</sup>	-	-0.325	-	-0.438	-0.484	0.019	-0.105	-0.110	-0.139

注: 硬化性<sup>#</sup>: 硬化性的地区数量参照表 2 的脚注。蛋白质<sup>†</sup>: 糊化特性的实际测定值和根据灌浆气温的推测值之差与蛋白质之间的相关系数, 只显示与灌浆气温有明确的相关关系的特性, 推测值来自根据年度和地区综合的数据而得到的一次回归方程。表中的相关系数的差异性评价: n=4 (自由度 2) 时的 5% 为 0.950, 1% 为 0.990, 0.1% 为 0.999, n=6 (自由度 4) 时分别为 0.811、0.917、0.974, n=86 (自由度 84) 时分别为 0.212、0.277、0.349, n=1 044 (自由度 1 042) 时分别为 0.052、0.068、0.086。

性上最为明确。另外, 硬化性与第 II 组以及第 III 组的糊化特性之间具有正的相关关系<sup>[3,14-18]</sup>, 这种关系在第 III 组最为明确 (图 7~9)。另一方面, 在地区间这些关系一般来说不明确, 正如第 1 项和第 2 项所述, 这是由于灌浆气温和硬化性、糊化特性的最小值与最大值之差以及变异系数的地区间差异要比年度间要小。

在本实验中, 虽然没有年度间那样明确, 在地区间也是灌浆气温越高硬化性就越高。因此, 如要生产硬化性高的糯米需要在正常年份灌浆气温就高的地区种植硬化性高的品种, 如要生产硬

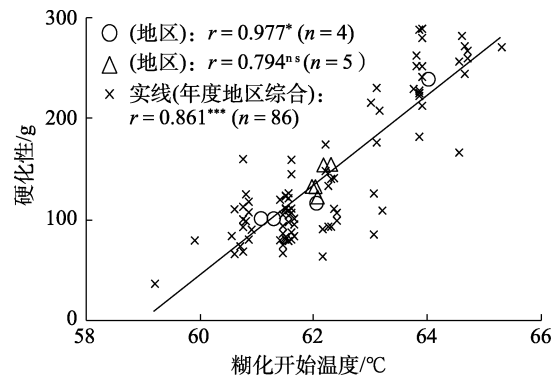


图 7 快速粘度仪的糊化开始温度与捣制年糕的硬化性之间的关系<sup>[14]</sup>

注: 实线的回归方程,  $y=44.644x-2\ 634.2$ 。\*、\*\*\*分别为在 5%、0.1% 水平上有显著性差异。

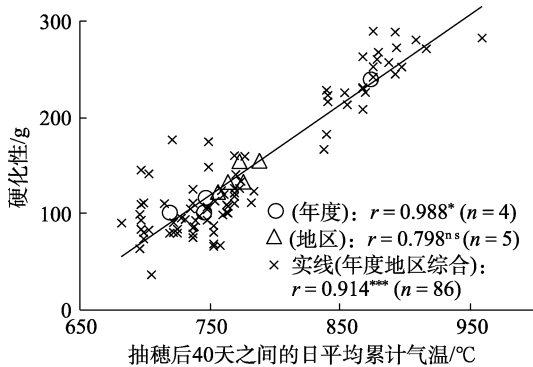


图 6 抽穗后 40 天之间的日平均累计气温与捣制年糕的硬化性之间的关系<sup>[14]</sup>

注: 实线的回归方程,  $y=0.934\ 3x-581.5$ 。\*、\*\*\*分别为在 5%、0.1% 水平上有显著性差异。

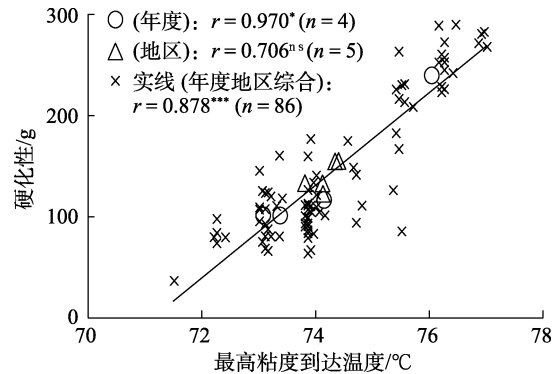


图 8 快速粘度仪的最高粘度到达温度与捣制年糕的硬化性之间的关系<sup>[14]</sup>

注: 实线的回归方程,  $y=46.068x-3\ 278.4$ 。\*、\*\*\*分别为在 5%、0.1% 水平上有显著性差异。

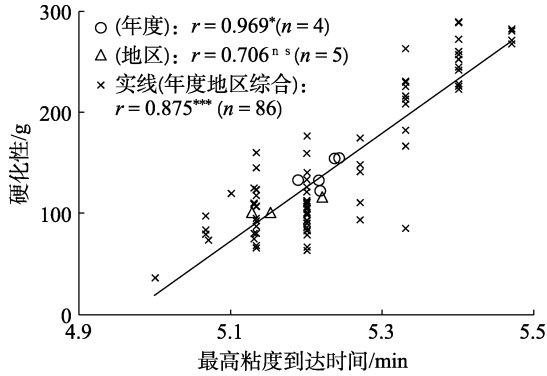


图 9 快速黏度仪的最高粘度到达时间与捣制年糕的硬化性之间的关系

注: 实线的回归方程,  $y=535.04x-2655.8$ 。\*、\*\*\*分别为在 5%、0.1%水平上有显著性差异。

化性低的糯米需要在正常年份灌浆气温就低的地区生产硬化性低的品种<sup>[13]</sup>。

#### 4 大米蛋白质含量与硬化性、糊化特性之间的相关关系

在与灌浆气温没有相关性的第 I 组的糊化特性中, 除了崩解值的年度间有些不明确以外, 但在其它糊化特性上年度间和地区间都与蛋白质呈负相关 (表 4, 图 10)。另一方面, 与灌浆气温在年度间和地区间都有明确正相关性的第 II 组, 第 III 组的糊化特性以及硬化性在与蛋白质的相关性上, 由于蛋白质与灌浆气温之间具有负的相关关系 (年度地区综合,  $r=-0.394^{***}$ , 即  $r^2=0.155$ , 数据数量 1 044), 所以有可能受灌浆气温的影响。此外, 蛋白质与灌浆气温之间, 二次回归的决定系数 (年度地区综合,  $r^2=0.184$ ,  $n=1044$ ) 大于一次回归的决定系数<sup>[5]</sup>。因此, 使用偏

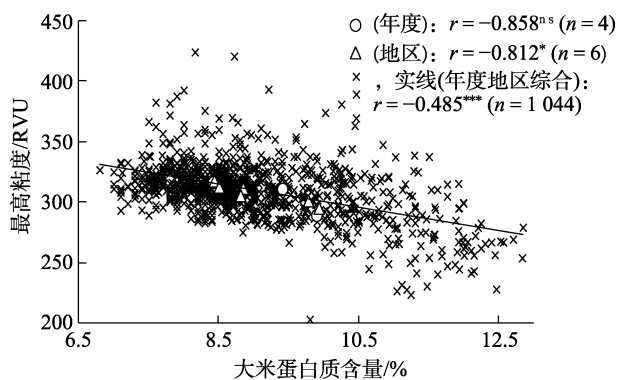


图 10 大米蛋白质含量与快速黏度仪的最高粘度之间的关系  
注: 实线的回归方程,  $y=-9.479x+395.29$ 。\*、\*\*\*分别为在 5%、0.1%水平上有显著性差异。

相关系数来阐明这些关系是不合适的。

为了解明排除灌浆气温影响后的糊化特性与蛋白质之间的关系, 在硬化性和第 II 组, 第 III 组的糊化特性上, 首先求得它们的实际测定值和从与灌浆气温的线性回归方程得到的推测值之间的差异, 然后分析了其差异与蛋白质之间的相关性。其结果, 硬化性在年度间和地区间都与蛋白质没有明确的相关关系 (表 4)。另一方面, 第 III 组的糊化开始温度, 最高粘度到达温度以及最高粘度到达时间与硬化性之间有很强的正相关性, 与蛋白质之间在地区间以及年度地区综合上没有一定的相关性, 只在年度间具有负的相关关系 (表 4, 图 11)。此外, 第 II 组的糊化特性与蛋白质之间、在年度间和地区间、还有年度地区综合上都具有负的相关关系 (表 4, 图 12)。

综上所述, 蛋白质越高, 第 I 组和第 II 组的

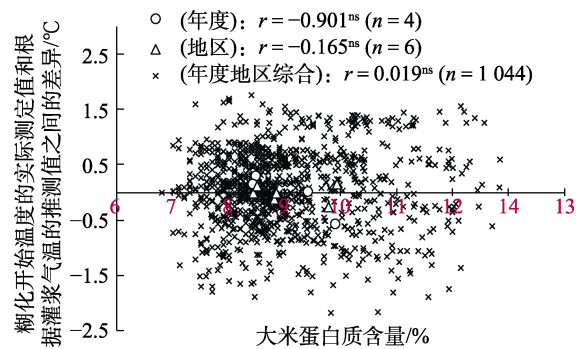


图 11 快速黏度仪的糊化开始温度的实际测定值和根据抽穗后 40 天之间的日平均累计气温 (灌浆气温) 的推测值之间的差异与大米蛋白含量之间的关系

注: \*\*为在 1%水平上有显著性差异。

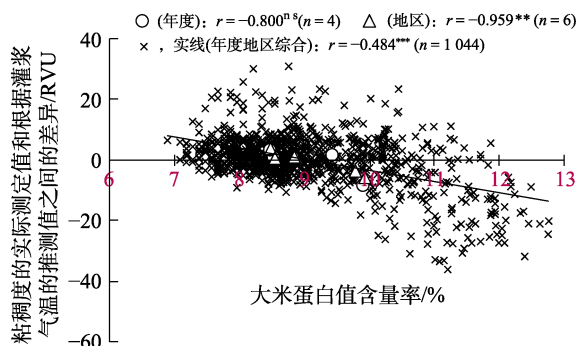


图 12 快速黏度仪的粘度实际测定值和根据抽穗后 40 天之间的日平均累计气温 (灌浆气温) 的推测值之间的差异与大米蛋白质含量之间的关系

注: 实线的回归方程,  $y=-3.531x+31.92$ 。\*、\*\*\*分别为在 1%、0.1%水平上有显著性差异。

糊化特性在年度间和地区间, 第Ⅲ组的糊化特性只在年度间, 其特性值就越低。另一方面, 蛋白质与硬化性之间, 在年度间和地区间都没有一定的相关性。但是, 与硬化性之间具有明确的正相关性的第Ⅲ组的糊化特性, 其与蛋白质之间在年度间呈负的相关关系, 因此蛋白质对硬化性的影响需要进一步的探讨。

## 5 抽穗后 40 天之间的日平均累计气温的相异年份产的米饭物理特性

针对灌浆气温比正常年份高的 1999 年以及

与正常年份相似的 1998 年生产的糯米(以下分别称为高温灌浆年产, 正常灌浆年产), 比较了米饭物理特性的硬度和粘度。高温灌浆年产与正常灌浆年产相比, 煮饭后 1 h 的硬度稍微优越, 粘度大幅度优越。5 °C 下储藏 24 h 后, 在硬度上高温灌浆年产比正常灌浆年产稍微大些, 与煮饭后 1 h 相比都有所增大; 而在粘度上, 5 °C 下储藏 24 h 后与煮饭后 1 h 相比, 正常灌浆年产基本没有变化, 高温灌浆年产大幅度下降。但是, 5 °C 下储藏 24 h 后的高温灌浆年产也比正常灌浆年产在硬度和粘度上都优越(表 5, 图 13)。

表 5 北海道糯米抽穗后 40 日之间的日平均累计气温(灌浆气温)为正常年份(1998 年)以及高温年份(1999 年)时的米饭物理特性

试验年份 (灌浆气温)	品质指标	品种名称 产地	数据 数量	煮饭后到测定为止的储藏条件	
				室温 1 h	5 °C 24 h
1998 年 (天鹅糯米: 772 °C, 风之子糯米: 771 °C)	H	天鹅糯米	21	2.14±0.18	2.42±0.24
	(硬度)	风之子糯米	15	2.15±0.12	2.42±0.24
	-H	天鹅糯米	21	1.32±0.24	1.24±0.15
	(粘度)	风之子糯米	15	1.50±0.17	1.42±0.16
1999 年 (天鹅糯米: 908 °C, 风之子糯米: 904 °C)	H	天鹅糯米	22	2.45±0.12	2.99±0.21
	(硬度)	风之子糯米	17	2.51±2.51	3.00±0.21
	-H	天鹅糯米	22	2.61±0.35	1.91±0.56
	(粘度)	风之子糯米	17	2.78±0.10	2.24±0.44

注: 质构仪的测定值, 平均±标准偏差。灌浆气温为北海道立上川农业试验场的数值, 「天鹅糯米」、「风之子糯米」的正常年份(1989—1999 年的平均)数值分别为 783、766 °C。

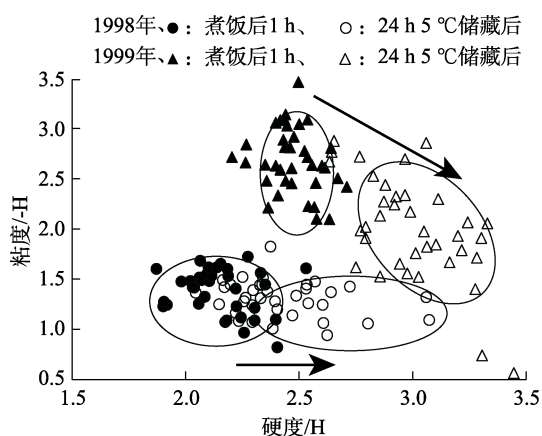


图 13 抽穗后 40 天之间的日平均累计气温(灌浆气温)为正常年份(1998 年)和高温年份(1999 年)时的米饭硬度与粘度之间的关系<sup>[8]</sup>

注: 使用质构仪测定。试验品种为「天鹅糯米」和「风之子糯米」。灌浆气温以及储藏条件参照表 5。

蛋白质对硬度的影响, 正常灌浆年产不是很明确或影响非常小, 高温灌浆年产的话, 蛋白质越高, 煮饭后 1 h 和 5 °C 下储藏 24 h 后都是硬度稍微上升的趋势。粘度方面, 是蛋白质变高, 正常灌浆年产稍微变低, 高温灌浆年产大幅度下降(图 14)。

由此, 正常灌浆年产的米饭软, 粘性和食味差, 5 °C 下储藏 24 h 后不容易变硬而保持柔软性。反之, 高温灌浆年产的米饭粘性强, 5 °C 下储藏 24 h 后变硬, 粘性也下降。另外, 蛋白质越高, 高温灌浆年产就越硬, 高温灌浆年产和正常灌浆年产都是粘性和食味下降的趋势<sup>[8]</sup>。为了避免食味下降, 和粳稻一样实施低蛋白大米的栽培方法<sup>[22]</sup>很重要。



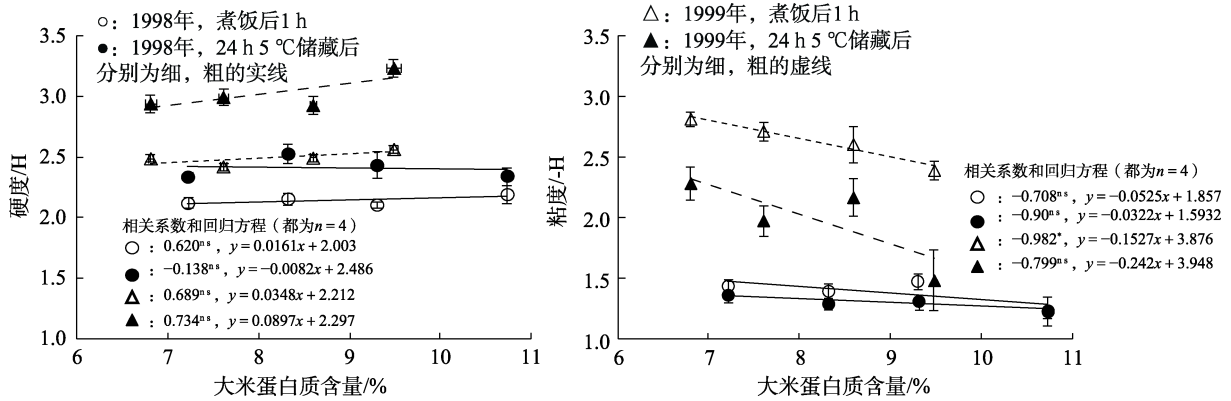


图 14 抽穗后 40 天之间的日平均累计气温 (灌浆气温) 为正常年份 (1998 年) 和高温年份 (1999 年) 时的大米蛋白质含量与米饭硬度 (H) 及粘度 (H) 之间的关系

注: 使用质构仪测定。试验品种为「天鹅糯米」和「风之子糯米」。将大米蛋白质含量的分布范围 4 等分, 得到每个分布范围的平均 (符号) 和标准偏差 (误差线)。各个符号的数据数量为 1998 年: 5~13, 总共 36, 1999 年: 5~14, 总共 39。灌浆气温及储藏条件参照表 5。\*为在 5% 水平上有显著性差异。

(术语备注: 文中的“硬化性”在日本主要用于评价糯米、年糕的回生特性。)

参考文献:

[1] 柳原哲司. 北海道大米的食味提高和不同用途品质的高度化研究, 提高北海道糯米加工适用性的技术开发[R]. 北海道立农业试验场报告, 2002, 101: 55-62.

[2] 山下浩. 硬化特性的测定. 农林水产省农业研究中心 山本隆一・堀末登・池田良一共编 水稻育种手册 特性检定, 糙米成分量, 糯米[M]. 东京: 养贤堂, 1996: 72-73.

[3] 松江勇次, 内村要介, 佐藤大和. 用黏度谱特性的糊化开始温度评价糯稻品种年糕硬化速度的方法和从年糕硬化速度看糊化开始温度和灌浆温度[J]. 日作纪, 2002, 71(1): 57-61.

[4] 丹野久, 木下雅文, 佐藤毅. 寒地糯米品质的年度间与地区间差异及其产生因素[J]. 日作纪, 2009, 78(1): 50-57.

[5] 丹野久. 日本寒地北海道稻作极限地带糯米蛋白质含量和白度的年度间地区间差异及其产生因素[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(5): 26-34.

[6] 江川和德, 吉井洋一. 不同产地・品种糯米的年糕硬化性[J]. 新潟食品研报, 1990, 25: 29-33.

[7] 赤间芳洋, 有坂将美. 糯米. 榊润钦也监修, 日本的稻育种[M]. 东京: 农业技术协会, 1992: 197-208.

[8] 平山裕治. 北海道糯米的实际需求和理化特性[J]. 北农, 2001, 68(4): 355-360.

[9] 本间昭, 楠谷彰人, 前田博, 等. 水稻糯米新品种「天鹅糯米」的培育[N]. 北海道立农试集报, 1991, 62:1-11.

[10] 北海道农政部 生产振兴局农产振兴课编. 有关大米的资料 [生产・价格・需求] (令和 2 年 10 月)北海道农政部 生产振兴局农产振兴课 北海道的水田农业(2020)[R]. [http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/nsk/kome/01\\_r2zentai\\_1.pdf](http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/nsk/kome/01_r2zentai_1.pdf) (2021/5/18 浏览).

[11] 粕谷雅志, 佐藤毅, 沼尾吉则, 等. 水稻糯米新品种「白熊糯米」的培育[N]. 北海道立综合研究机构农试集报, 2013, 97:

15-28.

[12] 平山裕治, 前川利彦, 品田博史, 等. 水稻糯米新品种「北福糯米」的培育[N]. 北海道立综合研究机构农试集报, 2018, 102: 15-27.

[13] 丹野久, 吉村徹, 平山裕治. 日本寒地北海道的优质糯米育种[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(5): 1-12.

[14] 丹野久, 木下雅文, 佐藤毅. 北海道糯稻品质的年度间和地区间差异及其产生因素, 大米的外观品质・食味研究的最前线 [40] [J]. 农及园, 2016, 91(4): 455-467.

[15] 岡本和之, 根本博. 使用快速黏度仪评价陆稻糯米品种的年糕硬化性以及年糕硬化性高的陆稻糯米品种「关东糯 172 号」[J]. 日作纪, 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, 齐藤真一, 吉田智彦. 根据年糕硬化性, 糊化特性以及尿素崩溃性进行水稻糯米品种的选拔[J]. 日作纪, 2005, 74(3): 310-315.

[18] 高桥徹, 佐々木玲, 熊谷昌则. 影响年糕面胚硬化性的糯米糊化特性[R]. 秋田县综合食品研究中心报告, 2013, 15: 33-36.

[19] 木下雅文, 沼尾吉则, 尾崎洋人, 等. 和其它府县水稻糯米品种一样具有高年糕硬化性的培育品系解析[N]. 育种・作物学会北海道谈话会会报, 2005, 46: 61-62.

[20] 佐藤弘一, 吉田直史, 大谷裕行, 等. 水稻糯米品种的糊化特性与糙米千粒重, 糙米白度之间的关系[J]. 日作纪, 2007, 76(1): 65-70.

[21] 广田雄二, 多々良泉, 德田真二. 灌浆温度对水稻糯米品种・品系的糯米品质的影响[N]. 日作九支报, 2007, 73:5-8.

[22] 柳原哲司. 大米蛋白质含量的降低技术. 北海道米麦改良协会编, 北海道的稻作 [2011 年版] [M]. 札幌: 北海道米麦改良协会, 2011: 104-111. ㊦

日译中: 河野元信 (日本株式会社佐竹)