

“日本寒地北海道非糯米的食味和米粒外观品质提高” 特约专栏文章之四

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.06.007

日本寒冷地带北海道大米蛋白质和直链淀粉含量的年度与地区间差异及其影响因素

丹野 久

(北海道农产协会, 日本 北海道札幌, 060-0004)

摘要: 日本北海道大米的蛋白质和直链淀粉含量越低, 其味就越好。1991—2006 年(北海道 15 个种植地区)间的蛋白质含量范围是 7.2%~8.6% (7.2%~8.2%), 直链淀粉含量的范围为 18.3%~22.2% (19.8%~21.2%), 蛋白质和直链淀粉含量年度间的差异分别是种植地区间差异的 1.4 和 2.8 倍。这是由于水稻的种植期间及其各生长阶段的平均气温和产量等, 生育特性的年度间差异, 是种植地区间差异的 1.6~4.4 倍。在这 16 年期间, 抽穗期越早, 障碍危险期(出穗前 24 天开始的 30 天期间)的温度高引起的。不结实率越低, 千粒重越重, 稻谷产量越高, 蛋白质含量则越低。成熟气温(出穗后 40 天期间的日均累计气温)与蛋白质含量之间有二次回归方程的关系, 成熟气温 843 °C 时蛋白质含量最低。在分蘖期间风速大、水稻生育初期的土壤氮素可吸态化速度小引起的初期生育不良的湿地土壤和地区, 蛋白质含量与成熟气温的二次回归关系不明显; 相反千粒重越重, 蛋白质含量越高。在种植地区之间, 蛋白质含量与这些发育特性之间没有明显的不相关, 稻田泥炭土比率越低, 在分蘖期间风速越小, 蛋白质含量则越低。另外, 在不同年度和种植地区之间, 抽穗越早、成熟气温越高, 直链淀粉含量则越低。在种植地区之间, 离海距离越近, 纬度(北纬)越低, 成熟气温越低, 直链淀粉的含量则越低。

关键词: 北海道粳米; 影响因素; 直链淀粉含量; 蛋白质含量; 地区间差异; 年度间差异

中图分类号: TS5-33; S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2020)06-0057-09

网络首发时间: 2020-10-29 16:27:08

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20201029.1556.002.html>

Differences and Influencing Factors of Protein and Amylose Content in Rice from Different Years and Areas in Cold Region, Hokkaido in Japan

Hisashi Tanno

(Hokkaido Agricultural Association, Sapporo Hokkaido Japan, 060-0004)

Abstract: The lower the protein and amylose contents, the better was the eating quality of non-glutinous rice. The protein content (PC) and amylose content (AC) of rice in 15 planting areas of Hokkaido from 1991 to 2006 were analyzed. The average variation range of protein content was 7.2%-8.6% (7.2%-8.2%)

收稿日期: 2020-04-03

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 C4-C13。本文日语原文详见 P66-P74。

in all planting areas (all years), and the average range of amylose content was 18.3%-22.2% (19.8%-21.2%). The annual variation of protein and amylose content was 1.4 and 2.8 times of that between planting areas, respectively. This was because the range of the yearly variation in the average temperature and growth characteristics like grain yield during rice cultivation season and some growth stages was 1.6-4.4 times larger than that of regional variation. During the 16 years, the earlier the heading date was, the higher the temperature at the freezing injury sensitive stage of sterile rice seedlings, the lower the sterility, the heavier the 1000-kernel-weight; the higher the grain yield, and the lower the PC. Within 40 days after heading, the daily average temperature reached 843 °C, and the PC were lowest in the quadratic regression equation. Those relationships wasn't clear in the area where has high wind speed during tillering, low available rate of soil nitrogen and poor initial growth, on the contrary, between PC and 1000-kernel-weight, a positive relationship was found. The regional variation of PC did not correlate with these growth characteristics, but the lower the ratio of peat soil in the paddy field and the lower the wind speed during tillering, the lower was the PC. On the other hand among both years and regions the earlier the heading date, the higher the CTAH, the lower was the AC. Among areas, the shorter distance from the sea, the lower north latitude and the smaller mean diurnal temperature range during 40 days after heading, the lower was the AC.

Key words: amylose content; difference among areas; difference among years; non-glutinous rice; occurrence factors; protein content

一般认为大米中蛋白质含量越低，同样直链淀粉含量越低，米饭的食味就越好^[1-3] (图 1)。但是，大米的这两个指标含量在年度之间有很大差异 (图 2)，因此，日本北海道生产的大米，其食味在蛋白质或直链淀粉含量升高的年份而大幅度下降 (图 3)。此外，研究显示，大米中蛋白质含量的种植地区间差异也很大^[5]。

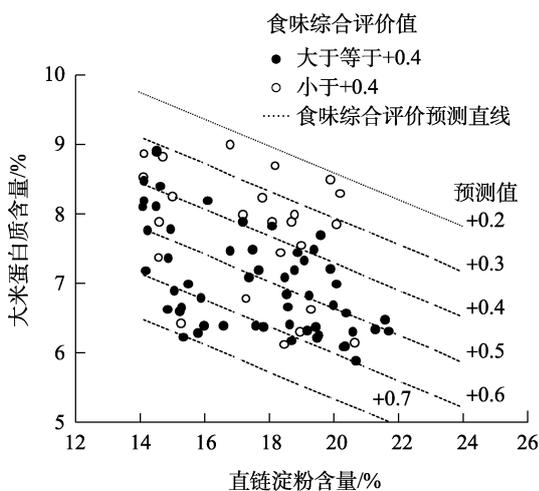


图 1 大米的直链淀粉和蛋白质的含量与食味综合评价之间的关系^[1]

注：根据“梦美”的食味管理目标；食味综合评价的线性方程为二元一次回归方程，即 $2.1183 - 0.1539 \times \text{蛋白质含量} - 0.0297 \times \text{直链淀粉含量}$ ， $R^2 = 0.24$ ($p < 0.0001$)。

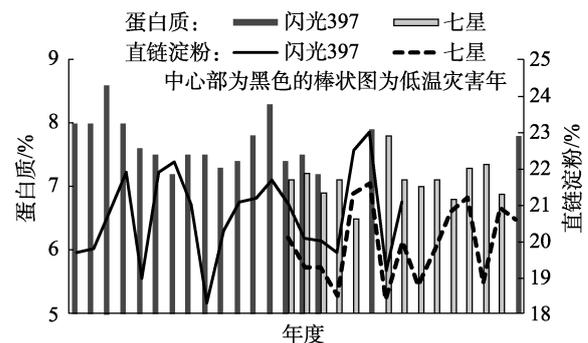


图 2 大米蛋白质和直链淀粉含量的全北海道均值的年度变化
注：数据来源于北海道米麦改良协会-米分析中心，每年分析数据是 621~6 043 个。

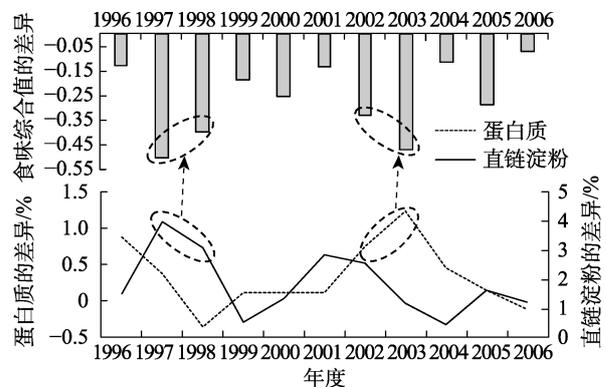


图 3 东北以南生产的优质大米品种与北海道生产的大米品种之间食味综合评价、蛋白质和直链淀粉含量的年度差异^[4]

注：东北以南产 4 种优质大米品种平均值为 0 时的北海道品种“星之梦”、“闪光 397”的平均值。

为了实现北海道大米的食味优良和稳定，必须分析蛋白质和直链淀粉含量的年度及地区间差异的幅度及其产生原因，为此选择优良食味大米栽培技术^[6-7]及种植品种^[8-9]很重要。本研究首先阐明了北海道生产的大米，在过去 16 年间和 15 个地区之间蛋白质和直链淀粉含量的年度和地区差异，进行了比较分析。接着，从与水稻的栽培时期和不同生长阶段的气温、生长发育特性以及土壤类型等的关系阐述了其发生原因。最后分析了水稻初期生长发育不同的种植土壤和地区的差异对大米蛋白质含量及其年度差异的影响。

1 北海道大米的蛋白质和直链淀粉含量在年度间、地区间的差异及分析

北海道大米蛋白质含量在 1991—2006 年的

16 年间，变化范围 7.2%~8.6%，有 1.4% 的差异（表 1），直链淀粉含量在相同年度间变化范围是 18.3%~22.2%，存在 3.9% 的差异。在整个北海道 15 个水稻种植地区之间，大米蛋白质含量变化范围是 7.2%~8.2%，相差 1.0%，而直链淀粉含量变化范围是 19.8%~21.2%，相差 1.4%。也就是说，年度之间的差异与地区之间差异相比较，对蛋白质含量高达 1.4 倍，对直链淀粉含量高达 2.8 倍，蛋白质和直链淀粉含量年度间的标准偏差也很大，分别是地区间的标准偏差的 1.5 和 3.2 倍，尤其是直链淀粉含量的标准偏差更大。

图 4~5 显示了大米蛋白质和直链淀粉含量的年度间和地区间变化。在它们的平均值与标准偏差之间的关系中，在年度间，蛋白质含量的平均值越高，标准偏差就越大，呈现了一定的相

表 1 一定试验年度和地区的水稻种植期间和各生长阶段的气温、生长发育特性及大米蛋白质含量、直链淀粉含量的统计结果^[5]

年度及地区 (数量)	统计结果	水稻种植期间日 平均累计温度/°C		分蘖期 的平均 气温/°C	障碍型冷 害危险期 的平均气 温/°C	抽穗后 40 天期间的 日平均累 计气温/°C	抽穗后 40 天期间的 日温差累 计气温/°C	抽穗期 (7 月 1 日=1)	不结实 率/%	千粒 重/g	糙米 产量/ (kg/10a)	大米蛋 白质含 量/%	直链淀 粉含量 /%
		5~7 月	8~9 月										
年度 (16)	平均值	1 441	1 142	15.8	20.5	806	339	34.2	16.0	22.7	493	7.7	20.8
	标准偏差 (A)	66	78	0.98	1.16	68	25.5	4.9	13.9	0.82	99	0.41	1.13
	最小值 (B)	1 314	1 056	14.6	18.3	706	302	28.6	5.0	21.1	205	7.2	18.3
	最大值 (C)	1 559	1 279	17.7	22.1	924	396	46.9	61.0	23.5	576	8.6	22.2
	C-B (D)	245	223	3.1	3.8	218	94	18.3	56.0	2.4	371	1.4	3.9
地区 (15)	平均值	1 441	1 142	15.8	20.5	806	339	34.1	16.0	22.7	493	7.6	20.7
	标准偏差 (E)	34	31	0.49	0.27	18	29.4	3.4	4.4	0.36	54	0.27	0.35
	最小值 (F)	1 373	1 099	15.0	20.2	769	295	28.7	8.9	22.0	398	7.2	19.8
	最大值 (G)	1 493	1 213	16.6	21.1	841	378	40.0	21.5	23.3	593	8.2	21.2
	G-F (H)	120	114	1.6	0.9	72	83	11.3	12.6	1.3	195	1.0	1.4
变动比	D/H	2.0	2.0	1.9	4.2	3.0	1.1	1.6	4.4	1.8	1.9	1.4	2.8
同上	A/E	1.9	2.5	2.0	4.3	3.8	0.9	1.4	3.2	2.3	1.8	1.5	3.2

注：各地区都是有代表性的 2~3 个市乡村的平均值，地区为 15 个、年度为 1991—2006 年的平均值。千粒重、大米蛋白质和直链淀粉的含量其中有 2 年是 12~13 或 14~15 个地区，有 3 个地区是 14—15 年的平均值。障碍型冷害危险期为抽穗前 24 天开始的 30 天时间。分蘖期是 6 月份。

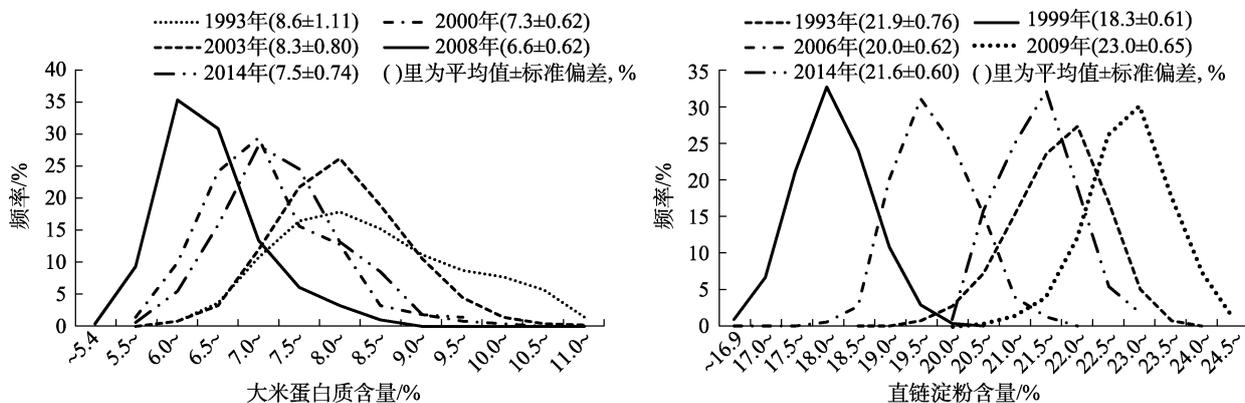


图 4 不同年度的大米蛋白质和直链淀粉含量的分布

注：在 1991—2014 年的 24 年间，全北海道大米蛋白质和直链淀粉含量平均值为最大、最小及中间的 5 年结果。大米品种为“闪光 397”，每年数据有 418~5 036 个。数据由北海道米麦改良协会—北海道米分析中心提供。

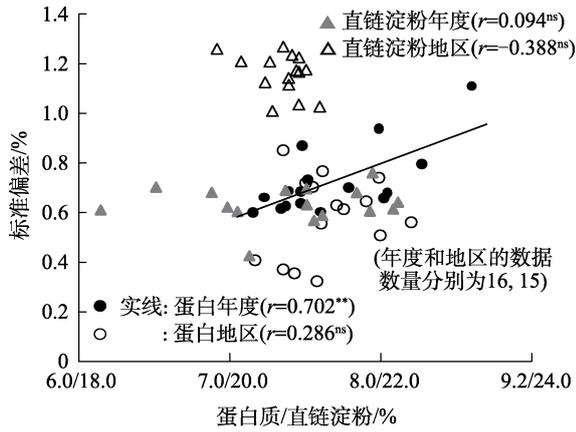


图 5 年度间和地区间大米蛋白和直链淀粉的含量的平均值与其标准差之间的关系^[5]

注：1991—2006 年期间，各年度为全北海道的平均值，地区为各年度的平均值。**是在 1% 水平有极显著差异。

关系。直链淀粉含量在年度之间平均值变化虽然很大，但是标准偏差的差异不大，仅为 0.43%~0.76%，平均值与标准偏差之间没有一定的相关关系。

如上所述，大米蛋白质和直链淀粉含量在年度和地区之间均有很大的差异，并且前者比后者更大。特别是在蛋白质含量高的年份，其地区间的标准偏差也变大，会成为销售、流通方面的重大问题。

2 水稻不同种植期间、生长阶段的气温及生长特性的年度间与种植地区间的差异比较

水稻种植期间的 5~7 月和 8~9 月日均累计气温，其年度间（15 个地区的均值）最大值和最小值的差，是各种种植地区间（16 个年度的均值）的 2.0 倍，标准偏差也是年度间比地区间大 1.9~2.5 倍（表 1）。

分蘖期（6 月份）的平均气温，抽穗前 24 天开始的 30 天期间即障碍型冷害危险期（以下称障

碍危险期）的平均气温，抽穗后 40 天期间的日均累计气温（以下称为成熟期气温），以及抽穗后 40 天期间的日温差累计气温（以下称为成熟期日温差气温），其年度间差异与地区间相比，以及年度间标准偏差与地区间相比，除去几乎相同的成熟期日温差累计气温外，分别有 1.9~4.2 倍及 2.0~4.3 倍的很大差异（表 1）。

在生长发育特性方面，每 0.1 公顷的糙米产量年度间的分布在 205~576 kg 之间，大小相差 371 kg，标准偏差为 99 kg，比地区间大 1.8~1.9 倍。在抽穗期、不结实率和千粒重的生长发育特性方面，年度间的差异与地区间差异相比，还有年度间的标准偏差与地域间标准偏差相比，分别大 1.6~4.4、1.4~3.2 倍（表 1）。

如上所述，水稻种植期间的平均气温年度间差异比地区间差异大，而不同生长阶段的平均气温也同样存在较大的年度间差异。因此，可以认为水稻的糙米产量等生长发育特性指标的年度间差异比地区间差异大，从而蛋白质和直链淀粉含量也是年度间差异较大。

3 大米蛋白质含量的年度间及地区间差异的产生原因

在不同年度之间，抽穗期越早，障碍危险期的平均气温越高，不结实率越低^[10]，千粒重越高^[11-13]，糙米产量越高，蛋白质含量就越低（表 2，图 6~8）。另外，成熟期气温在年度间最低为 843 °C，比这个气温高^[14-15]或低^[16]时蛋白质含量增高，两者之间的关系可通过二次回归方程表示（图 9）。而另一方面，在不同地区之间，没有发现在不同生长阶段的平均气温及生长发育特性与蛋白质含量之间有相关关系。

表 2 年度间和地区间大米蛋白质和直链淀粉的含量、糙米产量与生长发育特性、各生长阶段气温之间的相关系数^[5]

项目 (数据数量)	形质	分蘖期的 平均气温	障碍型冷害 危险期的平均气温	抽穗后 40 天期间的 日平均累计气温	抽穗期	不结实率	千粒重	糙米产量
年度 (16)	大米蛋白含量	0.134	-0.770	-0.385	0.544	0.840	-0.860	-0.845
	直链淀粉含量	-0.510	-0.466	-0.874	0.573	0.340	-0.303	-0.377
	糙米产量	0.240	0.828	0.639	-0.743	-0.967	0.888	1.000
地区 (15)	大米蛋白含量	0.083	0.340	0.085	0.233	0.249	-0.076	-0.165
	直链淀粉含量	0.214	-0.639	-0.701	-0.264	-0.193	0.220	0.400
	糙米产量	0.741	-0.503	0.226	-0.924	-0.803	0.865	1.000

注：关于分蘖期及冷害危险期，参照表 1 的脚注。表中相关系数的有意水平如下： $n=15$ （自由度 13）时的 5% 为 0.514，1% 为 0.641， $n=16$ （自由度 14）时分别为 0.497 和 0.623。

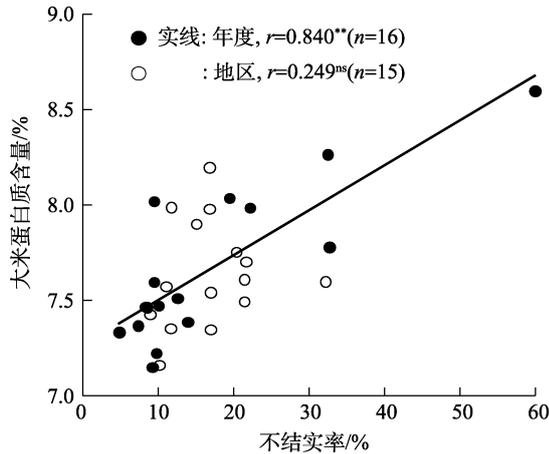


图 6 年度间和地区间的不结实率与大米蛋白质含量之间的关系^[5]

注：参照表 1。**表示 1% 水平差异极显著。

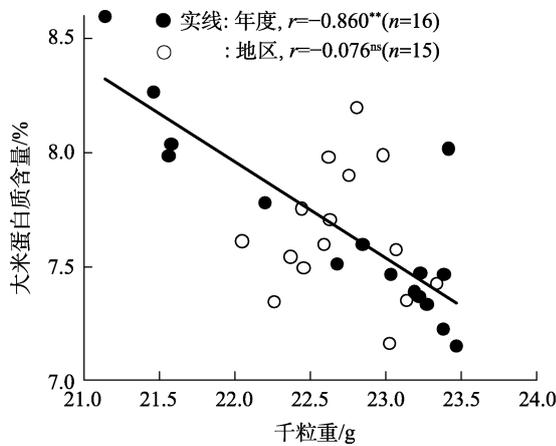


图 7 年度间和地区间的千粒重与大米蛋白质含量之间的关系^[5]

注：参照表 1。**表示 1% 水平差异极显著。

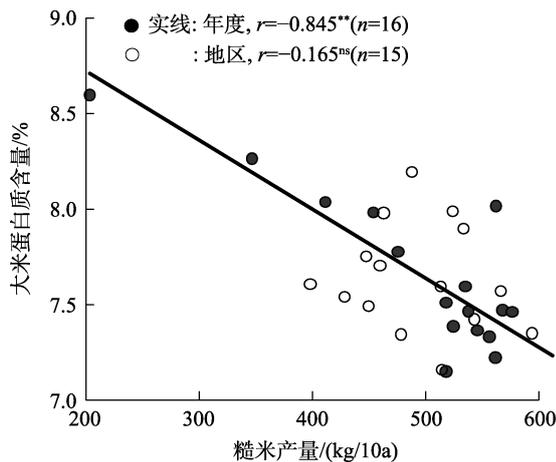


图 8 年度间和地区间的糙米产量与大米蛋白质含量之间的关系^[5]

注：参照表 1。**表示 1% 水平差异极显著。

在不同地区的土壤类型中，泥炭土比率越低，褐色低地土和灰色低地土比率越高的地区，蛋白质含量越低（图 10）。这些关系的决定系数中，分布幅度 0%~42% 为最宽的泥炭土比率的决定系

数最大，影响度很高^[17-19]。

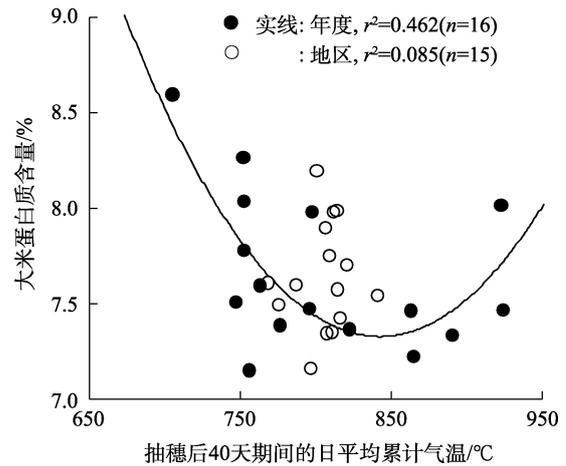


图 9 年度和地区间抽穗后 40 天期间的日平均累计气温与大米蛋白质含量之间的关系^[5]

注：回归方程，年度： $y=0.000\ 059\ 1x^2-0.099\ 7x+49.351$ 。参照表 1。

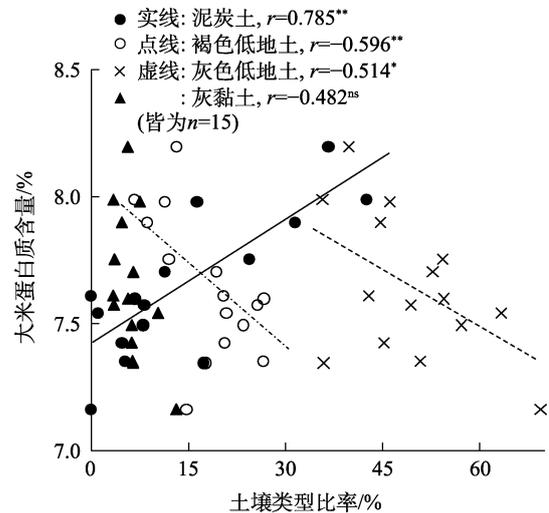


图 10 地区间的土壤类型比率与大米蛋白质含量之间的关系^[5]

注：*和**分别为 5% 和 1% 水平差异显著和极显著。

另外，在分蘖期的平均风速和蛋白质含量之间，年度间没有一定的相关性，而在地区间具有风速越小，蛋白质含量则有越低的倾向（图 11）。考虑原因是风速越小，水稻初期生长发育越好，蛋白质含量就越低。此外，泥炭土比例低的地区，风速也有变小的倾向（ $r=0.578^*$ ， $n=15$ ）。

如上所述，在年度间，抽穗越早，障碍危险期因高温导致的不结实率越低，千粒重越重、越丰收，蛋白质含量越低，与成熟期气温有着在 843 °C 为最低的二次回归方程的关系。但在地区间，与这些因素则没有一定的相关关系。另外，在地区间，泥炭土比率越低，分蘖期风速越小，大米蛋白质含量越低。

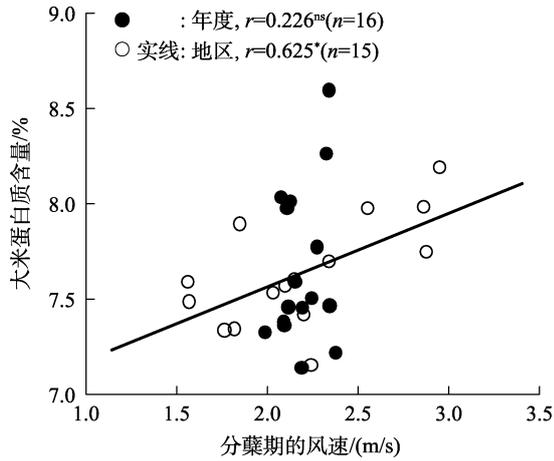


图 11 年度与地区间分蘖期的风速与大米蛋白质含量之间的关系^[5]

注：分蘖期为 6 月份。*是 1% 水平差异极显著。

4 初期生长发育情况不同的土壤和地区差异对于大米蛋白质含量和年度间差异形成因素之间关系的影响

在北海道的中央北部和南部地区，由于是水稻生长初期风速小，土壤氮素可吸态转化速度大的褐色低地土（干田），水稻初期生长旺盛^[20]（表 3）。在这些地区，每平方米的结实稻谷籽粒数量

越多，并且在中央北部的籽粒全重、南部的千粒重越重越丰收，蛋白质含量就越低^[16]（表 4，图 12~ 13）。

与此相对，中央南部地区由于是生长初期风速大、土壤氮素可吸态转化速度小的灰黏土（湿田），初期生长较差^[20]（表 3）。在该地区，大米蛋白质含量和每平方米的稻谷数量，籽粒全重和糙米产量之间没有明确的关系，而千粒重则相反，千粒重越重，蛋白质含量越高（表 4，图 12~13）。

在蛋白质和成熟期气温的关系中，初期生长良好的北海道中央北部和南部，除去因为不结实率高达 30% 以上而大米高蛋白的数据，可以看到在 835~840 °C 时为最低值的二次回归关系。另外，在初期生长较差的中央南部，除去特别是在成熟后期由于土壤氮吸收较多而被推测为高蛋白的年度数据之外，同样观察到了在 832 °C 时为最低值的二次回归关系。（图 14）。

综上所述，在水稻初期生长不良的土壤和地区，土壤中的氮在生长前期没有被充分吸收，或者由于在气温变高的夏季容易进行氮可吸态转化，因此在成熟期，导致水稻的氮吸收也比较多。

表 3 初期生长发育情况不同的土壤和地区的栽培特性比较^[16,20]

地区名	土壤类型	水稻初期生长发育良好与否	分蘖期的平均风速/(m/s)	抽穗期(7月1日=1)	不结实率/%	每平方米结实稻谷数/($\times 10^3$)	全重/(kg/10a)	千粒重/g	精糙米产量/(kg/10a)	蛋白质含量/%
初期生长发育良好的土壤、地区										
北部中央	褐色低地土	良好	1.8	27	11.2	29.4	1 430	21.9	566	6.7
南部	褐色低地土	良好	2.3	32	14.7	26.6	1 255	21.6	474	6.8
初期生长发育不良的土壤、地区										
中央南部	灰黏土	有点不良~不良	3.4	35	11.9	29.2	1 363	22.4	521	7.3
方差分析	-	-	-	**	ns	*	**	**	**	*

注：中央北部是道总研上川农业试验场（比布町，北纬 43.9 度）；中央南部是道总研中央农业试验场岩见泽试验地（岩见泽市，北纬 42.2 度），南部是道总研道南农业试验场（北斗市，北纬 41.9 度）的田地。生长发育特性分析是采用了“星之梦”和“闪光 397”两个品种，平均了 1994—2008 年 15 年的数据，分蘖期为 6 月份。根据农林水产省作物统计调查，糙米产量全北海道常年值的同期平均值为 521 kg/10a。*和**分别在 5% 和 1% 的水平上有显著性和极显著性差异。

表 4 初期生长发育情况不同的土壤、地区的年度间大米蛋白含量与生长特性之间的相关系数^[16]

地区名	不结实率/%	每平方米结实稻谷数/($\times 10^3$)	全重/(kg/10a)	千粒重/g	精糙米产量/(kg/10a)
初期生长发育良好的土壤、地区					
中央北部	0.764	-0.633	-0.543	-0.228	-0.809
南部	0.889	-0.701	-0.069	-0.624	-0.797
初期生长发育不良的土壤、地区					
中央南部	0.178	-0.329	-0.237	0.411	-0.147
地区平均	0.837	-0.807	-0.518	-0.440	-0.767

注：2 个品种一共 15 年的数据。土壤等参照表 4。表中相关系数的有效水平为， $n=30$ （自由度 27），5% 为 0.367，1% 为 0.470。

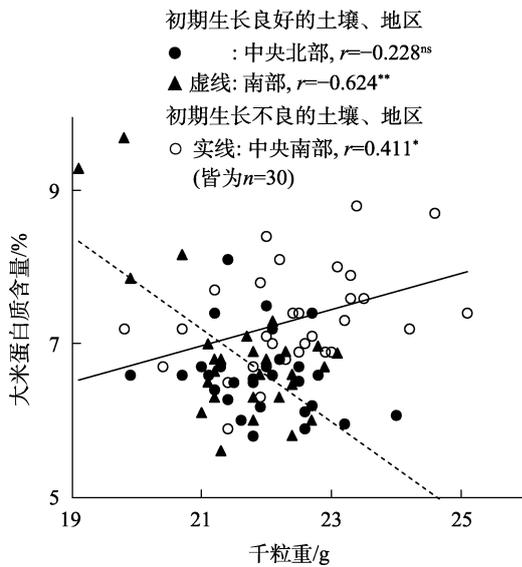


图 12 水稻初期生长发育情况不同的土壤和地区的年度间千粒重与大米蛋白质含量之间的关系^[16]

注：各试验田为 2 个品种，一共 15 年的数据。土壤等参照表 4。*和**分别在 5% 和 1% 的水平有显著和极显著差异。

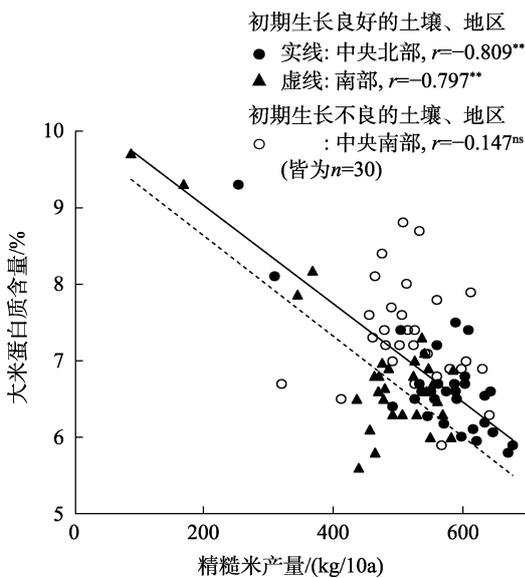


图 13 初期生长发育情况不同的土壤和地区的年度间精糙米产量与大米蛋白质含量之间的关系^[16]

注：各试验田为 2 个品种一共 15 年的数据。土壤等参照表 4。*和**是分别在 5% 和 1% 的水平有显著和极显著差异。

特别是到成熟后期为止，由于土壤中水分多且高温，水稻作物还没有老化等从而导致光合作用条件良好的情况下，同时土壤中的氮吸收也较多。其结果是，即使丰收也不会产生大米低蛋白化，或者是千粒重变重的同时大米高蛋白化等，与前述的在北海道水稻栽培全区域以及，在初期生长发育良好的土壤和地区发现大米蛋白质含量与水稻生长发育特性之间的关系不同。

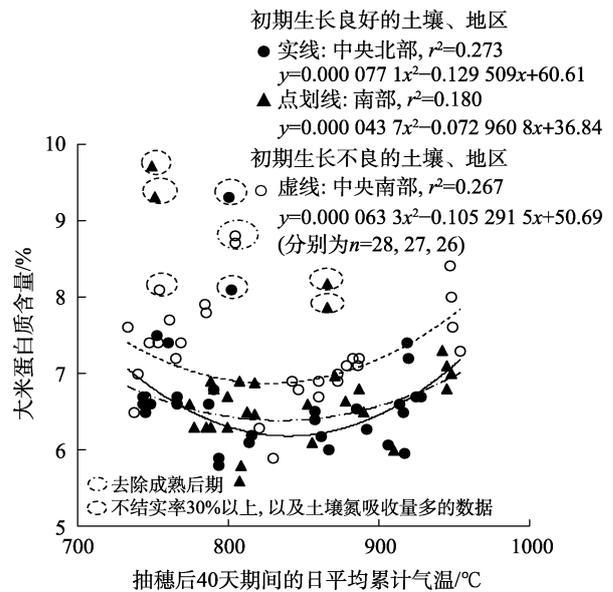


图 14 初期生长发育情况不同的土壤、地区的年度间抽穗后 40 天期间的日均累计气温与大米蛋白质含量之间的关系^[16] (去除了不结实率 30% 以上和成熟后期土壤氮吸收量多的数据)

注：2 个品种一共 15 年的数据，为根据二次回归计算得到。土壤等参照表 4。中央南部的 1988 年与其他年份相比，在成熟初期为低温，之后为高温，推测原因为成熟期长，成熟后期土壤中氮吸收量多。

5 大米直链淀粉含量的年度与地区间差异的形成原因

大米中直链淀粉含量在年度和地区之间，都是在水稻成熟气温越高，含量就越低（表 2，图 15）。虽然地区之间大米直链淀粉含量也有差异，但分蘖期的平均气温越高（年度间 $r=-0.637^{**}$ ， $n=16$ ，地区间 $r=-0.786^{**}$ ， $n=15$ ，以下相同），障碍危险期的平均气温越高（ $r=-0.721^{**}$ ， $r=$

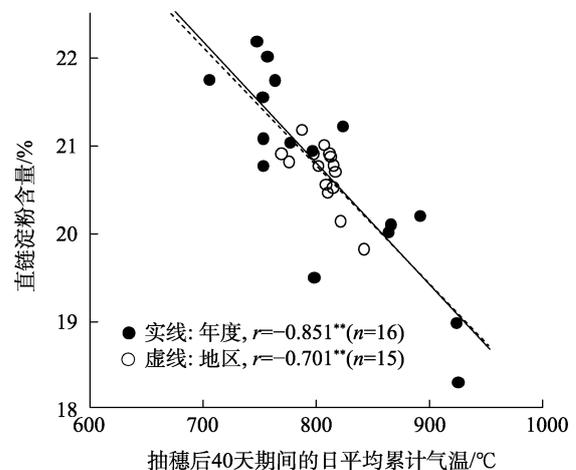


图 15 年度间及地区间抽穗后 40 天期间的日均累计气温与直链淀粉含量之间的关系^[15]

注：参照表 1。**表示 1% 水平差异极显著。

0.427^{ns}), 抽穗期越早, 而抽穗期越早, 成熟气温越有升高的倾向^[21] ($r=-0703^{**}$, $r=-0415^{ns}$)。由于抽穗期的促进效果, 除去地区之间分蘖期的平均气温, 在年度间和地区间, 都是分蘖期和障碍危险期的平均气温越高, 越容易形成低的大米直链淀粉含量 (表 2)。

此外, 直链淀粉含量在地区之间随着成熟期日温差累计气温的降低而降低^[2] (图 16)。还有, 离海距离越近, 纬度 (北纬) 越低, 越容易形成低的大米直链淀粉含量 (图 17)。但是, 离海距离和纬度与成熟气温之间, 都未发现有一定的相关关系 (表 5)。由此, 考虑离海距离和纬度与直链淀粉之间形成的关系是由于离海距离越近, 成熟期日温差累计气温越低造成的。并且在北海道纬度越低的水稻种植地区, 大多离海距离越近,

从而也就造成纬度越低, 日温差累计气温就越低^[23] (表 5)。

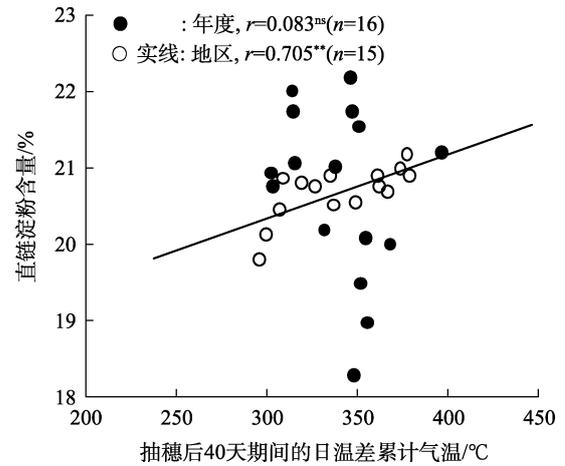


图 16 年度间及地区间抽穗后 40 天期间的日温差累计气温与直链淀粉含量之间的关系^[22]

注: 参照表 1, **表示 1% 水平差异极显著。

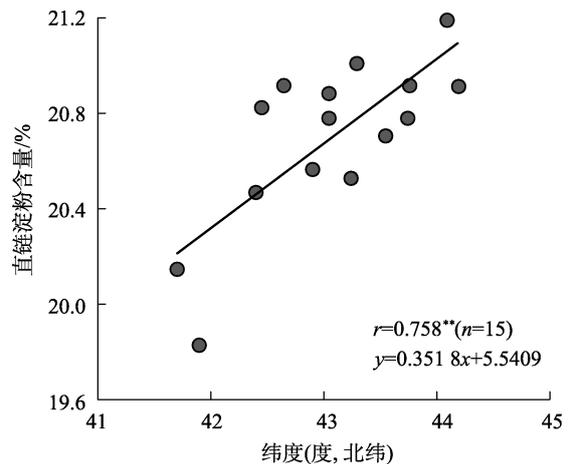
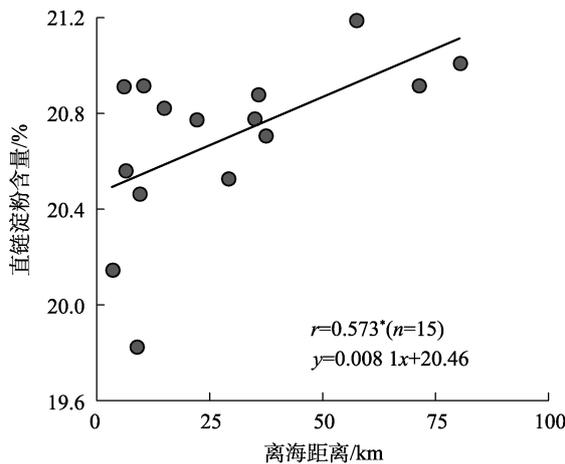


图 17 地区之间离海距离及纬度 (北纬) 与直链淀粉含量之间的关系^[22]

注: *, **: 分别在 5%, 1% 的水平差异显著和极显著。

表 5 15 个地区的离海距离、纬度 (北纬)、抽穗后 40 天期间的日温差累计气温以及同期日平均累计气温之间的相关系数^[22]

项目	离海距离	抽穗后 40 天期间的日温差累计气温	抽穗后 40 天期间的日平均累计气温
纬度 (北纬)	0.559*	0.737**	-0.236 ^{ns}
离海距离		0.697**	0.054 ^{ns}

注: *, **: 分别在 5%, 1% 的水平差异显著和极显著。

如上所述, 大米直链淀粉含量在年度和地区都是成熟气温越高, 其含量越低。另一方面, 在地区之间, 纬度越低, 离海距离越近, 成熟期日温差累计气温越低, 则大米直链淀粉含量越低。

参考文献:

- [1] 北海道立综合研究机构上川农业试验场·中央农业试验场. 《梦美》的当前品质食味管理目标[M]. 北海道立综合研究机构农业技术信息广场试验研究成果一览, 2011(<http://www.hro.or.jp/list/agricultural/center/kenkyuseika/panf/23.pdf>).
- [2] 稻津修. 通过提高北海道产大米食味进行品质改善的研究[R]. 北海道立农业试验场报告, 1988, 66: 1-89.
- [3] 古原洋, 渡边佑志, 竹内晴信, 等. 北海道米的食味、白度的变动因素和高位稳定化技术[J]. 北农, 2002, 69: 17-25.
- [4] 木下雅文, 沼尾吉则, 佐藤毅. 关于北海道产米和府县产米的食味差异的理化学分析[R]. 育种·作物学会北海道谈话会会报, 2007, 48: 27-28.
- [5] 丹野久. 寒地粳米中的大米蛋白质含量与直链淀粉含量的年

- 度与地区差异及其产生因素[J]. 日本作物学会纪事, 2010, 7: 16-25.
- [6] 丹野久. 日本寒冷地带北海道的优良食味稻米栽培技术研究(译文)[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(6): 10-26.
- [7] 丹野久. 日本寒冷地带北海道优良食味粳稻育种研究[J/OL]. 粮油食品科技: 1-11. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20201103.1347.002.html>.
- [8] 丹野久. 日本寒冷地带北海道的优良食味稻米栽培技术研究(译文)[J]. 粮油食品科技(中国), 2019, 27(6): 10-17.
- [9] 丹野久. 日本の寒冷地における良食味米栽培(日语原文)[J]. 粮油食品科技(中国), 2019, 27(6): 18-26.
- [10] 西村实. 北海道水稻品种因障碍型冷害而导致的食味特性下降[J]. 日本作物学会纪事, 1993, 62: 242-247.
- [11] 茶村修吾, 金子平一, 齐藤佑幸. 成熟期的气温和大米食味之间的关系—在成熟期间温度一定的情况下[J]. 日本作物学会纪事, 1979, 48: 475-482.
- [12] 佐佐木次郎, 鹤田广身, 伊藤修. 宫城县笹锦的白米中氮含量的变动—每平方米稻谷数及抽穗期之间的关系[J]. 日作东北支报, 1993, 36: 67-69.
- [13] 小田中温美, 吉田宏, 高桥政夫. 2003年产米的食味相关成分的特征[J]. 东北农业研究, 2004, 57: 13-14.
- [14] 本庄一雄. 关于大米蛋白质含量的研究第 1 部气象环境对蛋白质含量的品种间差异以及蛋白质含量的影响[J]. 日本作物学会纪事, 1971, 40: 183-189.
- [15] 前重道雅. 关于涉及大米食味因素变动的研究第 3 部成熟气温对糙米蛋白质含量的影响[R]. 广岛农试报告, 1981, 44: 49-44.
- [16] 丹野久, 本间昭, 宗形信也, 等. 北海道产粳米的大米蛋白质含量与直链淀粉含有率的年度及地域间差异与生长特性的关系[J]. 日本作物学会纪事, 2010, 79: 440-449.
- [17] 平宏和, 平春枝. 北海道产粳稻糙米的生产地区和化学成分组成[J]. 日本作物学会纪事, 1976, 45: 343-350.
- [18] 平宏和, 平春枝, 山崎一彦. 土壤类型及品种对水稻糙米的蛋白质、脂质以及灰分含量的影响[J]. 日本作物学会纪事, 1977, 46: 157-163.
- [19] 五十岚俊成, 安积大治, 竹田一美, 等. 栽培条件对北海道米蛋白质含量的的影响[J]. 北农, 2005, 72: 16-25.
- [20] 渡边佑志. 北海道水田土壤的特征[M]. 北海道米麦改良协会编北海道的水稻种植〔2011年版〕. 2011: 52-61.
- [21] 五十岚俊成, 古原洋. 《闪光 397》的成熟温度及枝梗发生位置对直链淀粉含量的影响[J]. 日本作物学会纪事, 2008, 77: 12-150.
- [22] 丹野久, 平山裕治, 其田达也. 北海道粳米品质的年度及地域间差异及其产生因素[J]. 大米的外观品质·食味研究最前线〔39〕. 农及园, 2016, 91(1): 16-32.
- [23] 今久. 温湿度环境, 新版农业气象学[M]. 东京: 文永堂, 1992: 21-38. ㊟

备注:

1. 参考文献中, 除注明国家的期刊外, 其余均为日语期刊。
2. 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。

(组稿: 谭洪卓; 日译中: 殷宏; 专业校对: 河野元信; 编辑加工: 尤梦晨)