

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.05.003.en

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米粒外観品質の年次間地域間差異とその発生要因(日语原文)[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(5): 55-65.

TANNO H. Variation of the appearance quality of glutinous rice grains among years and among areas, and its occurrence factors in the coldest region for rice cultivation in Hokkaido, Japan[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(5): 55-65.

日本の寒地, 北海道の稲作限界地帯におけるもち米の米粒外観品質の年次間地域間差異とその発生要因(日语原文)

丹野 久

(日本水稻品質・食味研究会, 日本 東京都中央区, 104-0033)

摘 要: 北海道でも最も冷涼な稲作地帯で生産されるもち米の外観品質を, 栽培6地域で4力年調査した。年次間では, 障害型冷害危険期の平均気温と出穂後40日間の日平均積算気温(登熟気温)が高いほど, 不稔歩合が低く千粒重が重く多収で, 整粒歩合が高く未熟粒, 被害粒および着色粒歩合が低くなり, 精米蛋白質含有率が低く玄米白度と精米白度が高かった。一方, 地域間でこれらの関係が概して不明確だったが, これは生育期別気温, 生育特性および整粒, 未熟粒歩合における変動(最小値最大値の差異および変動係数)が地域間よりも年次間で大きいためだった。ただし, 被害粒と着色粒歩合は, 変動が地域間よりも年次間で小さく, 年次と地域込みで登熟気温が各845, 857℃で最低となる2次回帰の関係を示した。また, 整粒歩合では年次間と地域間で, 被害粒と着色粒歩合では年次間のみで, それらが不良なほど年次では地域間, 地域では年次間の変動係数が大きかった。なお, 乾燥後も半透明な未ハゼ粒は, 白濁不透明なハゼ粒との間に蛋白質含有率, 澱粉含有率, 澱粉粒の大きさ, 精製澱粉でのヨウ素吸収曲線の最大吸収波長とその吸光度の理化学的特性および餅生地明度で差がほぼ無く, 餅生地の物理特性でも大きな差異が無いため, 未ハゼ粒のもち米への混入は餅生地加工で問題とはならないと考えられた。また, 粳花粉との交雑により糯品種の胚乳が粳性となるキセニア粒は, 不稔が多いと多発生し, 粳と糯品種の圃場間の隔離距離が長いほど減少するが, 距離600mでも発生した。北海道では品質低下を避けるため糯品種を粳品種圃場から離れた地域で栽培している。

キーワード: もち米粒外観品質; 整粒歩合; 年次間地域間差異; 未ハゼ粒; キセニア粒; 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)05-0055-11

ネットワークの最初発表時間: 2022-09-02 15:18:58

ネットワークの最初発表アドレス: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.ts.20220902.1029.004.html>

投稿日時: 2021-11-26

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P44-54を参照できる。

Variation of the Appearance Quality of Glutinous Rice Grains among Years and among Areas, and its Occurrence Factors in the Coldest Region for Rice Cultivation in Hokkaido, Japan

Hisashi TANNO

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

Abstract: Appearance quality of glutinous rice grains produced in the six areas of cultivation in the coldest regions for rice cultivation in Hokkaido, Japan was investigated during four years. Among years, the higher the temperature during the stage sensitive to sterile-type cool injury, and the cumulative daily mean temperature during 40 days after heading (grain-filling temperature), the lower the sterility, the heavier the 1000-kernel-weight, the higher the grain yield, higher the percentage of whole grain, the lower the percentages of immature, damaged and colored grains, the lower was the protein content, and the higher was the whiteness of both brown rice and milled rice. On the other hand, the relationship among the 6 areas was not clear. This was because the range of the yearly variation (differences between the two extreme values and coefficients of variation) in the temperatures during the growth stages, the growth characteristics, and the percentages of both whole grain and immature grain were larger than the regional variations. However, the range of the yearly variation in the percentages of damaged grain and colored grain were smaller than the regional variations, and the percentages of damaged grain and colored grain were the lowest in the quadratic regression relationship, at the grain-filling temperature of 843°C and 857°C, respectively, among the 6 areas during the 4 years. In addition, the percentage of whole kernels varies between years and regions, and the affected kernels and colored kernels only change between years; the worse these characteristics, the larger the coefficient of variation among years in the same area or among areas in the same year. Moreover, glutinous grains, called mihaze grains, that are translucent after drying, did not show clear differences in physicochemical characteristics such as contents of both protein and starch, size of starch granules, iodine absorption spectrum of prepared starch and lightness of rice-cake dough as compared with the opaque grains called haze, and did not show large differences in physical property of rice-cake dough. Therefore, contamination of mihaze grains is considered to have little effect on the processing quality of rice-cake dough. Xenia seeds of glutinous rice plants occurred by outcrossing with pollen of a non-glutinous variety, and were found more in rice plants with high sterility than those with low sterility. The longer the isolation distance from non-glutinous variety to glutinous rice plant; the lower was the Xenia seed rate. However, Xenia seeds were found even at an isolation distance of 600 m. Therefore, in Hokkaido, to avoid quality deterioration, glutinous rice varieties should be cultivated in a district distant apart from paddy fields of non-glutinous rice varieties.

Key words: appearance quality of glutinous rice grain; percentage of whole grain; variation among years and among areas; translucent glutinous grain; Xenia seed; coldest region for rice cultivation

北海道の糯品種の作付け圃場は、粳品種の花粉との交雑により粳性胚乳となるキセニア粒の発生を避けるため、粳品種作付け地域から離れた地域にもち団地を形成し^[1]、北海道の稲作地帯でも気象条件が厳しい稲作の限界地帯にある。そのため、北海道のもち米の作柄は気象条

件の影響を受けやすく(図1)、それに伴って米粒の外観品質も変動しやすい(図2)。

また、卸・外食加工業者が重要視する品質調査項目では整粒歩合があげられる^[2]。さらに、北海道もち米を使用しない理由で、外観が悪いことがあげられており、求める改善方向でも、

粒揃いを良くすることや変色米を少なくするなど、外観品質の改良があげられている(図3)。以上のように、もち米の米粒外観品質はその流

通上きわめて重要であり、年次間と地域間の差異およびその発生要因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。

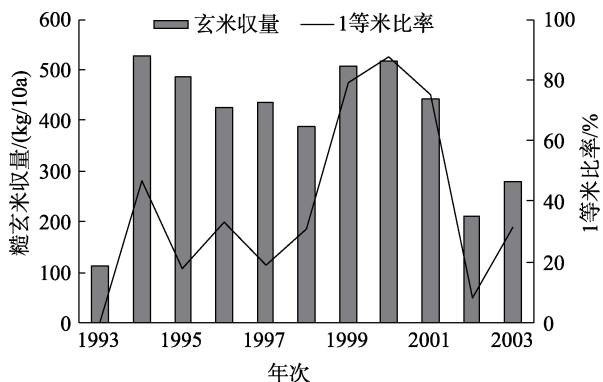


図1 北海道もち米における玄米収量と1等米比率の年次推移^[1]

(ほぼ精品種のみの作付け地である北見市, 女満別町, 遠別町, 美深町および南富良野町の平均。)

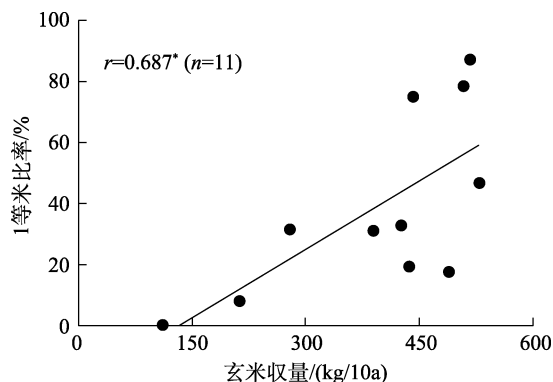
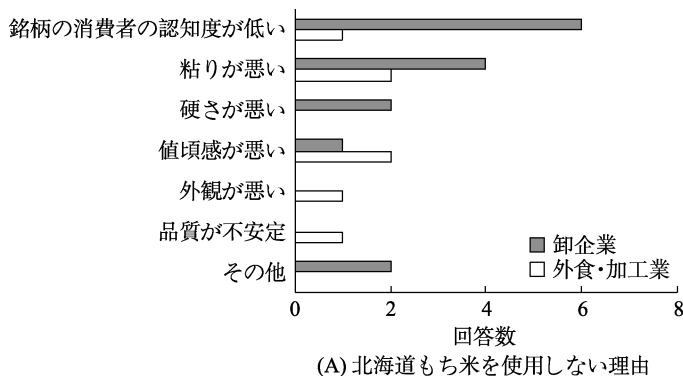
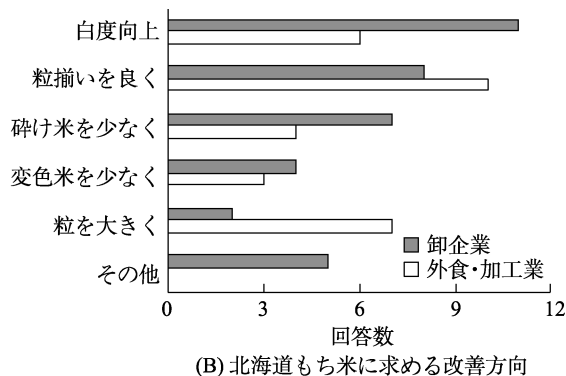


図2 北海道もち米における玄米収量と1等米比率との関係(1993—2003年)^[1]

実線の回帰式, $y=0.1488x-19.58$ 。データは図1参照。*は5%水準で有意。



(A) 北海道もち米を使用しない理由



(B) 北海道もち米に求める改善方向

図3 北海道もち米を使用しない理由および求める改善方向(卸業者と外食・加工業へのアンケート調査, 複数回答)^[2]
アンケート, 卸企業には発送118, 回答30, 外食・加工業には発送123, 回答25による。

一方、糯粒は収穫直後の高水分では半透明であるが、乾燥による低水分化とともに白濁する。これを「ハゼる(りよく化)」という。しかし、ごく一部の粒が乾燥後も白濁化せず(未ハゼ粒)、粳粒との判別がつかない。生産者はそれをハゼさせるため、玄米検査規格の水分含有率を超えてさらに乾燥を行い、過乾燥のため胴割れ粒を発生させることがある。そこで、その未ハゼ粒の発生条件とその品質の特徴を知る必要がある^[3-4]。

さらに、もち米への粳粒の混入は、それを原料とするもち米製品の品質を大きく低下させる。糯玄米の農産物検査では混入比率の最高限度が定められ、規格内の1, 2, 3等には混入の

許容限度がそれぞれ1%, 2%, 3%以下とされている^[5]。しかし、粳花粉が飛散し種子親の精品種と交雑するとキセニア現象により胚乳が粳性の粒となり、この混入率が高くなると、もち米品質上の大きな問題となる。キセニア現象が発生した粒の頻度は、粳品種と糯品種の両圃場間の距離に反比例する^[6]。また、冷害年で不稔発生が生じた条件では、明らかにキセニア粒の混入率が上昇することが報告されている^[7]。そのため、不稔発生条件における隔離距離と粳花粉との交雑によるキセニア粒の発生率との間の関係を明らかにすることは重要である。

以上のことから、本報では、北海道のもち米の作柄が大きく異なった2000—2003年に栽

培 6 地域から糯品種「はくちょうもち」^[8]を収集し、農産物検査の等級に関わる米粒外観品質、すなわち整粒、未熟粒、被害粒および着色粒の各発生率の年次間差異と地域間差異、および生育期別の気象、生育特性、精米蛋白質含有率(以下、蛋白質と記す)、米粒白度との間の関係を明らかにし、品質改善のための知見を得た^[9-10]。さらに、未ハゼ粒発生と乾燥過程すなわち米粒水分含有率との間の関係、および未ハゼ粒とハゼ粒との間の理化学的特性の差異を解明した^[3]。また、糯品種の不稔発生条件下で、種子親の糯品種と花粉親の粳品種の両栽培圃場の間の隔離距離を従来になく長く 600 m までとし、同距離とキセニア粒発生率との関係を明らかにした^[11]。

1 米粒外観品質、生育期別気象および生育特性の年次間地域間差異

年次間の最小値最大値の差異と変動係数は地域間との比で、整粒歩合はそれぞれ 1.4, 1.6

倍と年次間が地域間よりも大きく、未熟粒歩合が 1.1, 1.3 倍とやや大きく、被害粒と着色粒歩合ではいずれも 0.6 倍と逆に小さかった(表 1)。このように、米粒外観品質の間では最小値最大値の差異と変動係数の年次間と地域間との比で大きな違いが見られた。

一方、蛋白質での最小値最大値の差異と変動係数は年次間が地域間の 1.0, 1.3 倍と同じかやや大きく、玄米白度と精米白度は 1.6~2.6 倍と年次間が大きかった。さらに、生育期別気象では出穂後 40 日間の日積算日照時間は 1.1~1.3 倍と年次間がやや大きく、出穂前 24 日以降 30 日間(以下、障害型冷害危険期と記す)の平均気温および出穂後 40 日間の日平均積算気温(以下、登熟気温と記す)は 3.8~8.5 倍、また不稔歩合、千粒重および玄米収量の生育特性は 1.3~1.8 倍と、いずれも年次間が地域間よりも大きかった(表 1)。すなわち、生育期別気象は最小値最大値の差異と変動係数が年次間で地域

表 1 北海道もち米の試験年次別と地域別における米粒外観品質、米粒白度、精米蛋白質含有率、生育期別気象および生育特性^[10]

年次 (n=6) または 地域 (n=4)	整粒 歩合 /% ¹⁾	未熟粒 歩合 /% ²⁾	被害粒 歩合 /% ³⁾	着色粒 歩合 /% ⁴⁾	玄米 白度	精米 白度	精米蛋白 含有率/%	障害型冷 害危険期 の平均気 温/°C ⁵⁾	出穂後 40 日間の日平 均積算気温 /°C	出穂後 40 日間の日積 算日照時間 /hr	不稔 歩合 /%	千粒 重/g	玄米 収量 /(kg/1 0a)
平均	80.2	13.6	5.9	0.2	23.6	48.4	9.0	19.7	767	186	22.5	20.1	402
最小 (A)	73.5	7.9	2.6	0	21.6	45.1	8.4	17.9	712	148	5.7	19.2	270
最大 (B)	90.0	17.0	9.1	0.4	26.5	53.1	9.9	21.7	873	224	42.3	21	514
変動係数 (C)	9.3	31.1	45.1	74.4	9.2	7.7	8.9	7.9	9.4	17.3	71.6	3.9	28.4
分散分析	*	ns	*	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**
平均	80.2	13.6	5.9	0.2	23.6	48.4	9.0	19.7	767	186	22.5	20.1	402
最小 (D)	74.2	9.8	2.8	0.0	22.3	45.2	8.4	19.1	755	149	12.5	19.3	308
最大 (E)	86.3	18.4	13.8	0.7	24.4	50.2	9.9	20.1	776	221	37.8	20.4	489
変動係数 (F)	6.0	23.2	69.9	124.7	3.6	4.3	7.1	1.8	1.1	13.3	44.9	2.2	17.8
分散分析	ns	ns	**	*	ns	ns	**	*	ns	**	**	**	**
変動比 (B-A)/(E-D)	1.4	1.1	0.6	0.6	2.3	1.6	1.0	3.8	7.7	1.1	1.4	1.6	1.3
C/F	1.6	1.3	0.6	0.6	2.6	1.8	1.3	4.4	8.5	1.3	1.6	1.8	1.6

年次は 6 地域、地域は 4 ヶ年の平均。1) 整粒は被害粒、死米、未熟粒、異種穀粒および異物を除いた粒をいう。2) 未熟粒は死米を除いた成熟していない粒をいう。すなわち、乳白粒、心白粒、青未熟粒、基部未熟粒、腹白未熟粒、背白粒、その他未熟粒である。3) 被害粒は損傷を受けた粒をいう。すなわち、発芽粒、病害粒、芽くされ粒、虫害粒、胴割粒、奇形粒、茶米、碎米、斑点粒、胚芽欠損粒、はく皮粒である。また、奇形粒は胴切米、ねじれ粒、その他奇形粒である。4) 着色粒は粒面の全部または一部が着色した粒および赤米をいうが、搗精によって除かれ、または精米の品質および精米歩留に著しい影響を及ぼさない程度のものを除く。5) 障害型冷害危険期は出穂前 24 日以降 30 日間。供試品種は「はくちょうもち」。白度はケット科学研究所 C-300-3 による。整粒、未熟粒、被害粒および着色粒は静岡製機社製品品質判定機 RS2000X で測定し、その他に死米(充実していない粉状質の粒、青死米および白死米)が年次間と地域間ともに 0.0~0.1% あった。*, **はそれぞれ 5%, 1% 水準で有意差あり。

間よりも大きいため、生育特性も同様に年次間が大きくなり、整粒歩合、未熟粒歩合、蛋白質および米粒白度も同じであった。

2 年次と地域の各平均値と変動係数との間の関係

整粒歩合は、いずれの年次とも幅広く分布した(図4)。外観品質の年次と地域での各平均値と、年次では各年次に供試した6地域間の変動係数と、地域では各地域の4年次間の変動係数との間の関係を見ると、整粒歩合では年次と地域ともに平均値が低いほど変動係数が大きく、被害粒と着色粒歩合では年次のみで平均値が高いほど変動係数が大きかった(表2, 図5)。すなわち、玄米の農産物検査で重要な整粒歩合が低い年次や地域では、それぞれ地域間や年次間でも変動係数が大きく、外観品質を安定化するためには大きな問題であった。

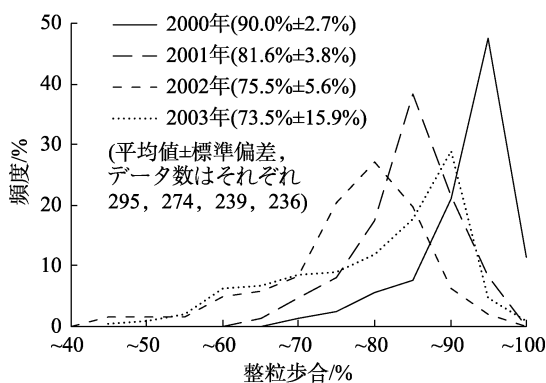


図4 整粒歩合の年次別頻度分布

整粒歩合30%以下で、頻度が1%未満のデータは省略した。

表2 米粒外観品質における試験年次と地域の各平均値と変動係数との間の相関係数^[10]

年次 (n=6) 或 地域 (n=4)	整粒 歩合/%	未熟粒 歩合/%	被害粒 歩合/%	着色粒 歩合/%
年次 (n=4)	-0.749	0.313	0.872	0.872
地域 (n=6)	-0.873*	0.576	0.307	0.536
年次地域 込み (n=24)	-0.826***	-0.416*	-0.327	-0.359

平均値と変動係数との間の相関係数で、年次は各年次での6地域間の変動係数、地域は各地域での4年次間の変動係数との間の相関。*, ***はそれぞれ5%, 0.1%水準で有意。

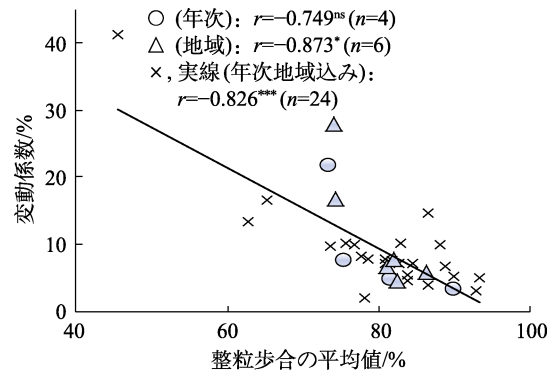


図5 整粒歩合における平均値と変動係数との間の関係^[10]

変動係数は表2の脚注参照。実線の回帰式, $y = -0.6013x + 57.40$ 。*, ***はそれぞれ5%, 0.1%水準で有意。

3 米粒外観品質、生育期別気象および生育特性の間の関係

年次間では、障害型冷害危険期の平均気温および登熟気温が高いほど、被害粒歩合、着色粒歩合および未熟粒歩合が低く、整粒歩合が高く、玄米白度と精米白度が高かった(表3, 図6, 図7, 表4)。一方、年次と地域込みで、被害粒歩合と着色粒歩合はそれぞれ登熟気温が845, 857°Cで最低となる2次回帰の関係があった(それぞれ図8, 図9)。

出穂後40日間の日積算日照時間は、年次間で米粒外観品質との間に登熟気温と同様な関係がみられる傾向があったが、着色粒歩合を除いて明確ではなかった。また、地域間ではこれら生育期別気象と外観品質との関係は明確な関係がなかった。

年次間では、整粒歩合は未熟粒歩合、被害粒歩合および着色粒歩合が低いほど高くなった(表4, 図10)。また、不稔歩合が低く千粒重が重く多収なほど、整粒歩合が高く被害粒歩合および着色粒歩合が低くなり、蛋白質が低く玄米白度と精米白度が高くなった(表4, 図11, 図12)。なお、被害粒歩合と着色粒歩合との間の関係は、被害粒歩合が高くなるに伴い着色粒歩合も高くなり、原点をほぼ通る正の二次回帰であった(図13)。

表 3 北海道もち米の年次間と地域間における米粒外観品質, 米粒白度と生育期別気象との間の相関係数^[10]

項目(データ数) 形質	整粒歩合	未熟粒歩合	被害粒歩合	着色粒歩合	玄米白度	精米白度
年次 (n=4)						
障害型冷害危険期の平均気温	0.938	-0.919	-0.957	-0.826	0.954	0.920
出穂後 40 日間の日平均積算気温	0.893	-0.925	-0.837	-0.857	0.888	0.878
出穂後 40 日間の日積算日照時間	0.575	-0.569	-0.571	-0.751	0.540	0.625
地域 (n=6)						
障害型冷害危険期の平均気温	0.214	0.583	-0.647	-0.692	0.469	0.485
出穂後 40 日間の日平均積算気温	0.527	-0.129	-0.478	-0.538	0.432	0.417
出穂後 40 日間の日積算日照時間	0.350	-0.175	-0.266	-0.153	0.431	0.454
年次と地域込み (n=1 044)						
障害型冷害危険期の平均気温	0.460	-0.156	-0.507	-0.332	0.755	0.657
出穂後 40 日間の日平均積算気温	0.502	-0.237	-0.471	-0.336	0.723	0.634
出穂後 40 日間の日積算日照時間	0.202	-0.065	-0.227	-0.169	0.310	0.371

障害型冷害危険期は表 1 の脚注参照。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² 0.950, 1%が² 0.990, 0.1%が² 0.999, n=6 (自由度 4) ではそれぞれ 0.811, 0.917, 0.974, n=1 044 (自由度 1 042) では 0.052, 0.068, 0.086。

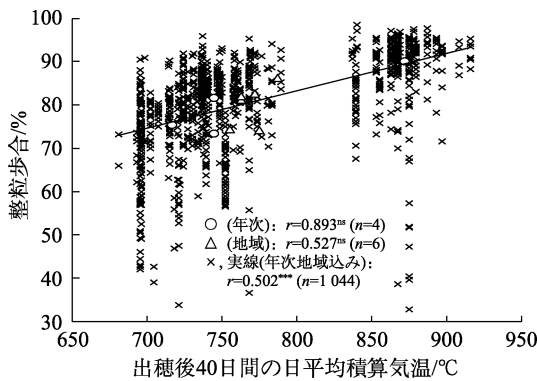


図 6 出穂後 40 日間の日平均積算気温と整粒歩合との関係^[9]

実線の回帰式, $y=0.08674x+13.85$ 。***は 0.1%水準で有意。

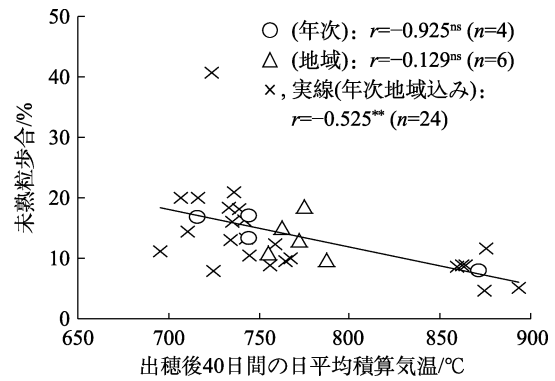


図 7 出穂後 40 日間の日平均積算気温と未熟粒歩合との関係

年次地域込みのデータは地域平均で示す。実線の回帰式, $y=-0.06187x+61.23$ 。**は 1%水準で有意。

表 4 北海道もち米の年次間と地域間における米粒外観品質, 米粒白度, 精米蛋白質含有率および生育特性の間の相関係数^[10]

項目(データ数) 形質	未熟粒歩合	被害粒歩合	着色粒歩合	玄米白度	精米白度	精米蛋白質含有率	不稔歩合	千粒重	玄米収量
年次 (n=4)									
整粒歩合	-0.997	-0.993	-0.968	0.999	0.998	-0.862	-0.935	0.944	0.912
未熟粒歩合		0.980	0.970	-0.993	-0.994	0.824	0.903	-0.913	-0.880
被害粒歩合			0.951	-0.995	-0.992	0.903	0.969	-0.976	-0.944
着色粒歩合				-0.955	-0.980	0.875	0.897	-0.891	-0.915
玄米白度					0.994	-0.859	-0.939	0.951	0.909
精米白度						-0.882	-0.940	0.945	0.928
地域 (n=6)									
整粒歩合	-0.452	-0.773	-0.721	0.921	0.914	-0.838	-0.955	0.883	0.906
未熟粒歩合		-0.216	-0.285	-0.123	-0.115	0.057	0.367	-0.051	-0.400
被害粒歩合			0.992	-0.923	-0.921	0.881	0.786	-0.932	-0.710
着色粒歩合				-0.875	-0.871	0.815	0.735	-0.882	-0.639
玄米白度					0.999	-0.952	-0.927	0.992	0.918
精米白度						-0.951	-0.911	0.990	0.910

续表 4

項目(データ数) 形質	未熟粒歩合	被害粒歩合	着色粒歩合	玄米白度	精米白度	精米蛋白質 含有率	不稔歩合	千粒重	玄米収量
年次と地域込み (n=1044)									
整粒歩合	-0.738	-0.610	-0.559	0.814	0.778	-0.535	-0.668	0.619	0.565
未熟粒歩合		-0.084	-0.048	-0.423	-0.362	0.036	0.216	-0.158	-0.132
被害粒歩合			0.863	-0.712	-0.738	0.756	0.741	-0.735	-0.687
着色粒歩合				-0.573	-0.611	0.576	0.566	-0.581	-0.525
玄米白度					0.889	-0.704	-0.815	0.800	0.738
精米白度						-0.745	-0.804	0.780	0.754

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) ではそれぞれ 0.811, 0.917, 0.974, n=1 044 (自由度 1 042) では 0.052, 0.068, 0.086。

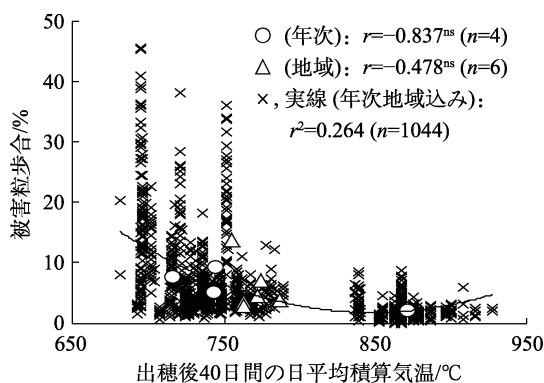


図 8 出穂後 40 日間の平均積算気温と被害粒歩合との関係

実線の二次回帰式, $y=0.000\ 478x^2-0.811\ 3x+345.89$ 。なお, 一次回帰直線では, $r^2=0.221$ 。

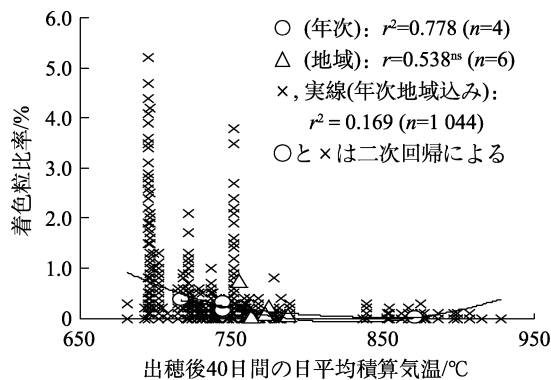


図 9 出穂後 40 日間の日平均積算気温と着色粒歩合との関係

実線の二次回帰式, $y=0.000\ 045\ 86x^2-0.075\ 94x+31.36$ 。なお, 一次回帰直線では $r^2=0.113$ 。

一方, 地域間ではこれらと同様な関係が見られたが, とくに未熟粒歩合と他の形質との関係が明確でなかった(表 4)。すなわち, 項目 1 で述べたように, 年次間に比べ地域間では生

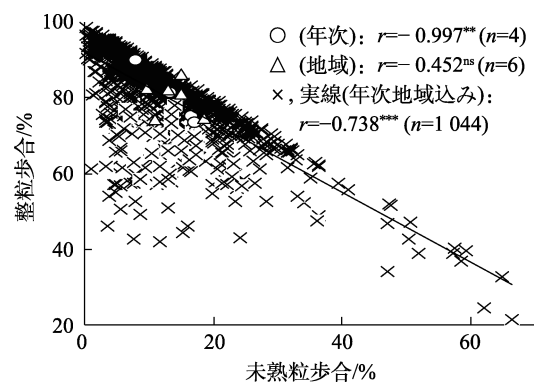


図 10 未熟粒歩合と整粒歩合との関係

実線の回帰式, $y=-0.929\ 3x+92.17$ 。**, ***はそれぞれ 1%, 0.1%水準で有意。

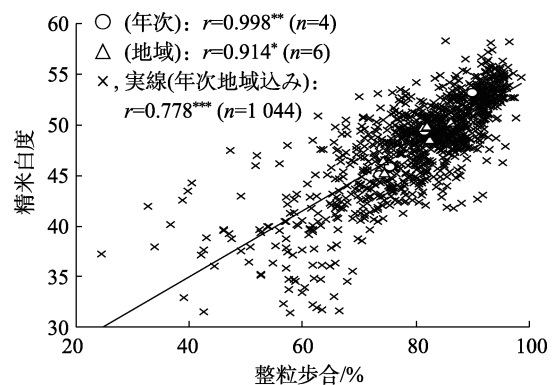


図 11 整粒歩合と精米白度との関係^[10]

実線の回帰式, $y=0.325\ 5x+22.00$ 。*, **, ***はそれぞれ 5%, 1%, 0.1%水準で有意。

育期別気象, 生育特性および整粒歩合, 未熟粒歩合の最小値最大値の差異および変動係数が小さく, そのためそれら気象と外観品質との間の関係および未熟粒と他の外観品質や生育特性との間の関係が明確でなかった。

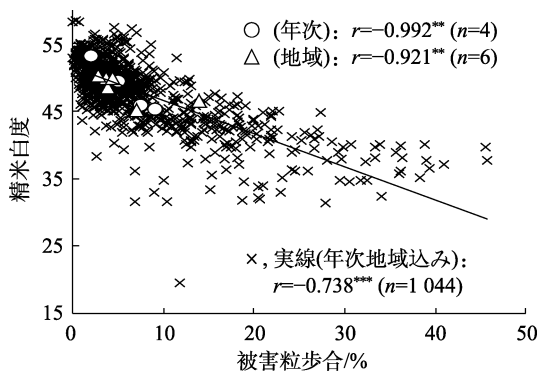


図 12 被害粒歩合と精米白度との関係

実線の回帰式, $y = -0.4917x + 51.53$ 。**, ***はそれぞれ 1%, 0.1%水準で有意。

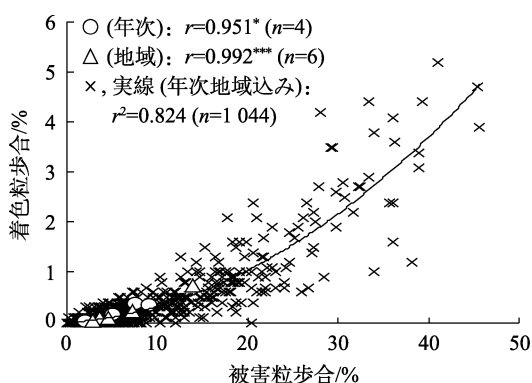


図 13 被害粒歩合と着色粒歩合との関係

実線の二次回帰式, $y = 0.00201x^2 + 0.0122x - 0.0056$ 。なお, 一次回帰直線では $r^2 = 0.745$ 。*, ***はそれぞれ 5%, 0.1%水準で有意。

4 米粒外觀品質を高める栽培法

登熟が進む, すなわち出穂から刈り取りまでの日平均積算気温(以下, 出穂後積算気温と記す)が高くなるにつれて, 青米が減少し玄米収量が高くなり被害粒と着色粒がともに増えてくる^[12](図 14)。また, 整粒歩合は出穂後積算気温が高くなるほど増加するが, 刈り取りの目安とされる整粒歩合 80%となるための出穂後積算気温はほぼ 800 °Cであった(図 15)。以上のことから, 整粒歩合を高めるためには, 早植えや葉齢の大きな苗を移植することなどにより出穂を促進することで, 登熟気温を十分に確保し, 青未熟粒の発生を抑制する^[12](図 7)。同時に, 基準の栽植密度を守ることや側条施肥を行うことなどにより初期生育を促すことで出穂揃いを斉一化し, 登熟の不揃いによる白未熟粒

や青未熟粒の発生を抑制する。

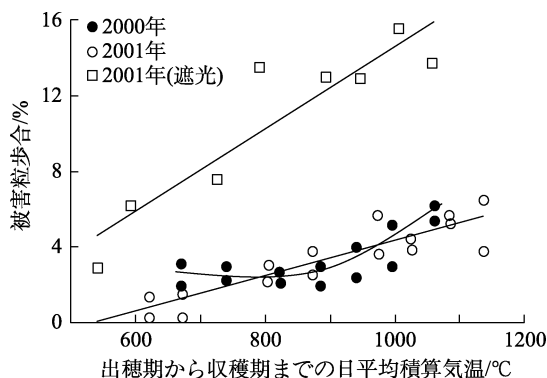


図 14 異なる収穫時期における出穂期から収穫期までの日平均積算気温と被害粒歩合との関係^[4]
北海道立上川農業試験場における試験。

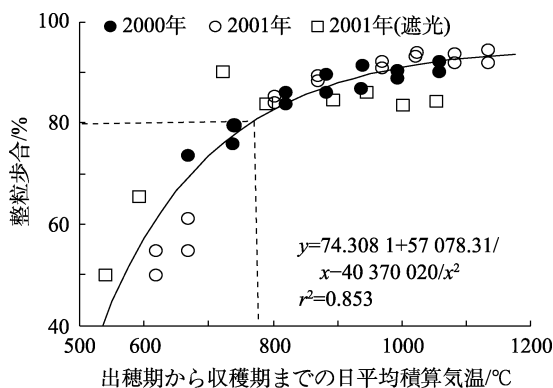


図 15 異なる収穫時期における出穂期から収穫期までの日平均積算気温と整粒歩合との関係^[4]

北海道立上川農業試験場における試験。遮光処理は, 7月 13 日から 7 月 27 日迄に 50%遮光。図中の破線は, 整粒歩合 80%のために必要な登熟期間の積算気温が, ほぼ 800 °Cであることを示す。

さらに, 被害粒と着色粒の発生を最小限に抑えるために, 玄米収量が高く同時に玄米外觀品質を低下させない最適な刈り取り時期を, 出穂後積算気温 800 °Cを参考に決定し, それを厳守することが必要である。とくに, もち米ではうるち米に比べ玄米水分の低下が緩慢であるために, 着色粒の一つである紅変米の発生による落等が多発することがあり, 割初の少ない品種を作付けし, 刈り遅れを避けるとともに, 収穫後は速やかに乾燥を行う必要がある^[13]。

項目 1 で述べたように, 被害粒や着色粒の発生は整粒や未熟粒と異なり, 年次間差異よりも地域間差異が大きかった。しかし, その地域

間差異の発生要因は、年次間差異が地域間差異よりも大きな生育期別気象や生育特性によるとは考えられない。一方、本項目で前述したように、被害粒歩合と着色粒歩合は出穂後積算気温が高くなる、すなわち収穫期が遅くなるにともない増加する。これらのことから、被害粒歩合と着色粒歩合において年次間差異よりも大きな地域間差異が生じる要因は、刈り取り適期から実際の刈り取り期までの長さにおける栽培管理上の地域間差異である可能性がある。

5 未ハゼ粒の発生

糯精米の乾燥過程における精米の水分含有率（以下、水分と記す）と半透明な未ハゼ粒の頻度との間の関係を調査した。糯精米の水分 17% では 80% 以上が未ハゼ粒だったが、玄米検査規格である水分 15% では大部分が不透明化、すなわちハゼた。しかし、水分 15% 以下でも未ハゼ粒が見られ、最低 13.5% でも未ハゼ粒があった^[3-4]（図 16）。また、同じ水分でも未ハゼ粒とハゼ粒とが混在しており（図 17）、すなわち粒毎にハゼる境界水分が違うと考えられた。

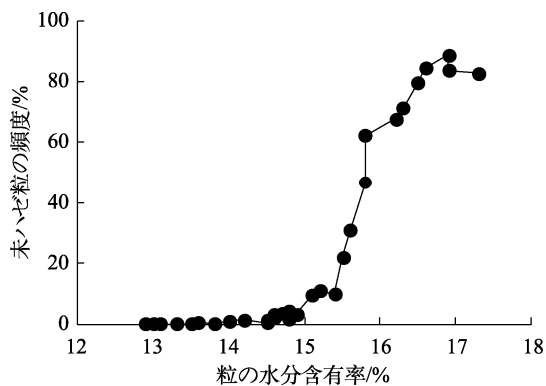


図 16 糯精米の試験乾燥過程における精米の水分含有率と未ハゼ粒の頻度^[3]

水分含有率 17% の精米を実験室内で自然乾燥させ、10 分間隔で 50 粒ずつ未ハゼ粒の頻度と精米水分含有率を測定。

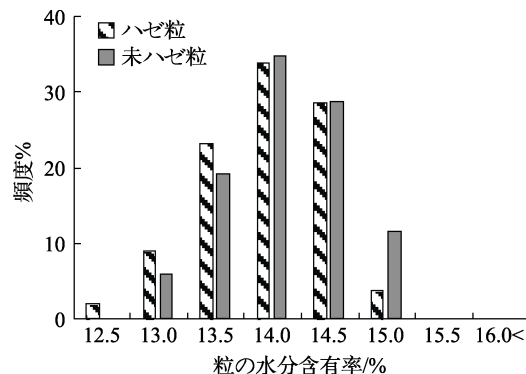


図 17 ハゼ粒と未ハゼ粒の水分含有率の頻度分布^[3]

収穫後初水分含有率 15% に乾燥させ、搗精歩合 90.0% に精米し、ハゼ粒と未ハゼ粒の水分含有率を 50 粒測定。水分含有率 (%), ハゼ粒: 12.5~15.5, 平均 13.9。未ハゼ粒: 13.0~15.5, 平均 14.1。

さらに、未ハゼ粒とハゼ粒との間における理化学的特性の違いを見たところ、同じ水分での両粒の間には蛋白質や澱粉含有率、澱粉粒の大きさ、および精製澱粉でのヨウ素吸収曲線の最大吸収波長とその吸光度にほぼ差が見られなかったため（表 5）、理化学特性には差がほぼ無いと考えられた。また、未ハゼ粒精米の白度や明度はハゼ粒に明らかに劣っていたが、餅生地では明度に差異がみられなかった（表 5、表 6）。餅生地の物理特性では、5 °C 24 時間貯蔵後で未ハゼ粒はハゼ粒よりもやや柔らかい傾向があったが、その差異は小さかった（表 6）。以上のことから、未ハゼ粒のもち米への混入は餅生地加工で問題とはならないと考えられた^[14]。

生産者は、糯玄米の農産物検査で粳粒の混入が落等要因とされるため、収穫後の乾燥によりできるだけハゼさせようとするので、玄米検査規格に定められた適正水分 15% よりも玄米水分を低下させやすい。そのため、胴割粒や過乾燥米の発生が問題となるので、過乾燥とならないように生産者へ周知することが重要である。

表 5 ハゼ粒と未ハゼ粒における精米の水分含有率、千粒重、白度および理化学的特性^[3]

粒の外観	水分含有率/% [†]	千粒重/g [†]	白度 [†]	蛋白質含有率/%	澱粉含有率/%	澱粉粒の大きさ/μm	最大吸収波長 [#]
ハゼ	13.9	18.2	49.7	6.7	93.2	5.6	1.14
未ハゼ	14.1	18.0	35.9	6.7	91.9	5.4	1.06

†: 精米を測定, #: ヨウ素-澱粉複合体に対する最大吸収波長。

表 6 ハゼ粒と未ハゼ粒における精米と餅生地での明度および 5 °C、2、24 h 冷蔵後の餅生地での物理特性^[14]

粒の外観	明度 (L*)		餅生地での物理特性 (5 °C 冷蔵時間)		
	精米 (n=9)	餅生地 (n=9)	硬さ (2 h)	伸展性 (2 h)	硬さ (24 h)
ハゼ	79.7±0.4	74.8±0.4	40.9	3.77	78.7
未ハゼ	77.2±0.3	74.5±0.7	42.5	4.13	72.8

一方、糯玄米の農産物検査では、半透明な玄米粒での粳粒と糯粒の識別をヨウ素デンプン反応により行っており、検査等級の許容範囲を超えた粳粒が混入することは無い。しかし、実需者にとって、未ハゼ粒は糯粒であってもハゼ粒よりも米粒の白度や明度が低く、未ハゼ粒の混入したもち米の外観品質の評価は低くなりやすい。そのため、実需者には、未ハゼ粒の混入は外観上も含め餅生地加工では問題とはならないことを、十分に理解してもらう必要がある。

6 粳花粉との交雑によるキセニア粒の発生

異なる不稔歩合の種子親糯品種で、糯種子親と粳品種花粉親間の隔離距離と交雑発生との間の関係を明らかにするために、粳花粉親圃場から風下側に、2~600 m 離して、糯種子親を設置した。種子親には、不稔発生を促進するため穂ばらみ期に冷水を処理した区と、隔離距離 150~600 m には加えて無処理区も設定した。その結果、各隔離距離とも不稔歩合が低い無処理

区に比べ不稔歩合が高い冷水処理区で交雑率が高く、また概して長距離ほど交雑率が低下した。しかし、冷水処理区では最長 600 m でも交雑が認められた^[11] (表 7, 図 18)。

このように、600 m の隔離距離を設けてもキセニア粒発生を防ぐことは出来なかった。その要因として、以下の 4 要因があげられた^[6-7,11,15-16]。

(1) 種子親と花粉親の出穂始めから揃いまでの期間が重複する、(2) 種子親は花粉親より不稔歩合が高く、その差異が大きい、(3) うち花粉源の圃場面積が大きい、(4) 開花期間の風向は花粉親から種子親への方向が占め、同方向の平均風速も大きい。

このため、同一の地域内で粳品種が栽培されている場合、とくに冷害年では糯品種でのキセニア粒の発生を防ぐことは難しいと思われる。北海道では、キセニア粒の混入による品質低下を避けるため、粳品種作付け地域から離して糯品種作付けに特化した地域、いわゆるもち団地を設けており^[1]、この制度により糯品種と粳品種の栽培圃場を大きく隔離している。

表 7 隔離距離 150~600 m にある種子親糯品種「はくちようもち」と花粉親粳品種「ななつぼし」の出穂期、不稔歩合および花粉親品種別交雑粒数、交雑率^[11]

種子親	種子親区の花粉親圃場からの距離	冷水処理の有無	出穂期 (月日)			不稔歩合/%	調査粒数	花粉親別交雑種子数				合計	同左交雑率/%
			始	期	揃			ななつぼし	きらら397	ほしのゆめ	不明		
種子親	150 m 区	冷水処理区	7.28	7.29	8.2	42.1	35 609	27	3	0	0	30	0.084
		無処理区	7.27	7.29	7.31	24.0	41 180	7	0	0	0	7	0.017
	300 m 区	冷水処理区	7.28	7.29	8.2	37.3	39 213	9	0	0	0	9	0.023
		無処理区	7.28	7.29	8.1	25.1	43 590	6	0	0	0	6	0.014
	450 m 区	冷水処理区	7.28	7.29	8.1	46.4	33 828	2	2	0	0	4	0.012
		無処理区	7.28	7.29	8.1	27.0	42 885	1	0	0	0	1	0.002
	600 m 区	冷水処理区	7.28	7.29	8.2	47.5	31 709	9	2	0	0	11	0.035
		無処理区	7.28	7.29	8.1	26.3	38 152	0	0	0	0	0	0.000
	花粉親圃場			7.28	7.31	8.3	11.3						

2007 年の圃場試験。1/5000a ワグネルポットによる種子親区には、穂ばらみ期に冷水処理を行った冷水処理区と無処理区を設けた。花粉親品種の判別は DNA マーカー解析による。

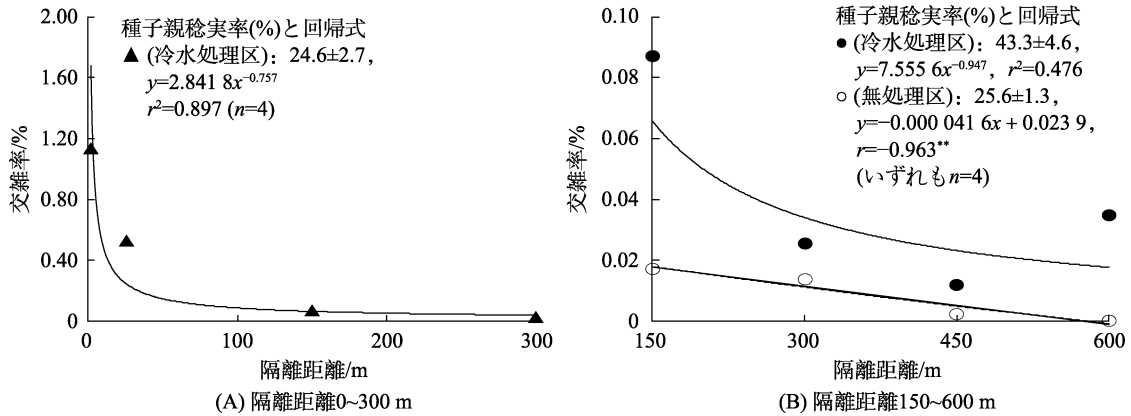


図 18 種子親の糯品種と花粉親の粳品種との間の隔離距離と交雑率との関係^[11]

隔離距離と試験年次, 隔離距離 0~300 m: 2006 年, 同 150~600 m: 2007 年。2007 年の具体的なデータは表 7 参照。**は 1% 水準で有意。

引用文献:

[1] 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).

[2] 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.

[3] 中森朋子, 柳原哲司, 加藤淳. もち米の未ハゼ粒発生に関する研究[J]. J. Appl. Glycosci., 2003, 50(2): 139-142.

[4] 五十嵐俊成, 後藤英次, 中森朋子. 主食用もち米の栽培管理指針の策定[J]. 土肥誌, 2004, 75(1): 109-114.

[5] 全国食糧検査協会編. 農産物検査ハンドブック 米穀編 [M]. 東京: 日本農民新聞社, 2002: 1-361.

[6] 大内邦夫. 低温処理による糯から粳の出現[J]. 北農, 1960, 27 (8): 1-3.

[7] 山崎信弘. 水稲もち採種圃における「うるち粒」混入の実態調査[J]. 北農, 2005, 72(3): 231-239.

[8] 本間昭, 楠谷彰人, 前田博, 等. 水稲糯新品種「はくちょうもち」の育成について[J]. 北海道立農試集報, 1991, 62: 1-11.

[9] 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.

[10] 丹野久, 木下雅文, 佐藤毅. 北海道の水稲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.

[11] 丹野久, 竹内徹, 木内均, 等. イネの穂ばらみ期低温による不稔発生条件下における隔離距離と交雑率との関係[J]. 日作紀, 2011, 80(1): 49-58.

[12] 五十嵐俊成. 外観品質を左右する要因と向上対策. 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: 89-95.

[13] 田中文夫. 病害防除. 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: 165-182.

[14] 北海道立中央農業試験場, 上川農業試験場. もち米品質がもち生地品質 (色・物性) に及ぼす影響とその評価法 [R]. 北海道立総合研究機構 農業技術情報広場 北海道農業試験場 試験研究成果一覧(2004). <http://www.agri.hro.or.jp/center/kenkyuseika/gaiyosho/h16gaiyo/2004610.htm> (2021/5/20 閲覧).

[15] 品田裕二, 佐々木忠雄, 前川利彦. 水稲糯品種「風の子もち」の採種栽培における稈粒発生要因[J]. 北農, 1999, 66(3): 273-276.

[16] 佐藤裕, 横谷砂貴子. 穂ばらみ期の低温による雄性不稔化がイネの交雑率に及ぼす影響[J]. 育種学研究, 2008, 10: 127-134. 完