

北海道で育成した酒造好適米品種における農業特性と 酒造適性の産地間・品種間差異

田中一生^{1,2)}・尾崎洋人²⁾・平山裕治²⁾・菅原彰²⁾

(¹⁾ 北海道立総合研究機構上川農業試験場, ²⁾ 北海道立総合研究機構中央農業試験場)

要旨：北海道で育成した酒造好適米（以下、酒米）品種の農業特性と酒造適性の産地間・品種間差異を検討し、農業特性では食用米品種との比較も行った。岩見沢市と比布町で栽培した酒米品種「吟風」と「彗星」ならびに食用米品種「ゆめぴりか」と「ななつぼし」を用いた。データ解析には2005～2013年の北海道水稻奨励品種決定基本調査と醸造用原料米全国統一分析の結果を用いた。玄米収量は、食用米2品種の平均より酒米2品種の平均の方が、また「吟風」より「彗星」の方が、それぞれ多かった。その主要因は、前者では千粒重が重かったこと、後者では不稔歩合が低く、千粒重が重かったことであった。精米歩合70%の白米の粗タンパク質含有率（以下、タンパク含有率）は、食用米、酒米ともに、岩見沢市より比布町の方が、また、いずれの産地でも「吟風」より「彗星」の方が、それぞれ低かった。低タンパク含有率の酒米生産のためには、産地と品種の選定が重要である。20分吸水率は、「吟風」より「彗星」の方が低く、その主要因は心白発現率が低かったことであると推察した。蒸米吸水率は有意な産地間・品種間差異を示さなかった。前報で示した兵庫県の酒米品種「山田錦」と比較すると、いずれの産地でも北海道の酒米2品種の方が、耐倒伏性は強く、玄米収量は多かった。一方、千粒重は軽く、タンパク含有率は高く、20分吸水率と蒸米吸水率は低いなど、酒造適性は劣った。今後は、北海道の酒米品種における、これらの酒造適性を栽培法や育種によって兵庫県の「山田錦」並に改善する必要がある。

キーワード：玄米収量、酒造好適米、心白、千粒重、粗タンパク質含有率、20分吸水率、蒸米吸水率。

前報（田中ら2015）では、2008～2012年に北海道岩見沢市で栽培した酒米品種「吟風」、「彗星」および「きたしずく」と兵庫県加東市で栽培した酒米品種「山田錦」、「五百万石」および「兵庫北錦」について、農業特性および酒造適性を比較した。北海道の酒米3品種は兵庫県の酒米3品種に比べて、玄米収量が多く、稈長が短く、倒伏程度が小さく、玄米品質が良いが、「山田錦」に比べて千粒重が軽く、精米歩合70%（水分13.5%）の白米の20分吸水率と蒸米吸水率が低く、タンパク含有率が高いという酒造適性上の欠点があることを明らかにした。今後、北海道の酒米品種の評価を高め、生産量を増加させるためには、玄米収量などの農業形質の優点を維持しつつ、千粒重などの酒造適性の欠点を改善する必要がある。

池上・世古（2000）と池上ら（2015）は、兵庫県の酒米品種の酒造適性に品種間差異があるとともに、産地や気象条件の影響で大きく変動すると報告した。また、前報（田中ら2015）で用いた北海道の酒米3品種の産地は、空知地域の岩見沢市1カ所のみであり、これらの酒米品種の農業特性と酒造適性の産地間差異については未検討であった。北海道の酒米品種についても産地や年次が異なると農業特性と酒造適性が変動する可能性がある。

2014年の北海道の酒米の作付面積は303 haで、その内、空知地域（164 ha）が最も多く、次いで上川地域（69 ha）が多く、この2地域で作付面積全体の約80%を占める（注：

北海道のお米 ホクレン農業協同組合連合会、2015年）。空知地域は偏東風の影響で、上川地域に比べて風が強く水稻の初期生育が遅れる（田口2011）。また、空知地域の土壌はグライ土や泥炭土の割合が高い（渡邊2011）。一方、上川地域は盆地で、空知地域に比べて風が弱く水稻の初期生育が進む。また、上川地域の土壌は褐色低地土の割合が高い。このように北海道は地域によって気象条件や土壌型が大きく異なり、これらの相違が酒米品種の農業特性と酒造適性に影響すると考えられる。

北海道における水稻品種の農業特性の産地間・品種間差異について、これまで食用米品種では多くの報告がある（稲津ら1982、稲津1988、田中ら1999、柳原2002、梶原ら2004、梶原ら2005a、梶原ら2005b、木下・佐藤2004、五十嵐ら2005、後藤2007、木下ら2007、田中ら2008b、丹野2010、木下2013）。そこで本研究では、2005～2013年に空知地域と上川地域で栽培した「吟風」と「彗星」の農業特性と酒造適性の産地間・品種間差異について、農業特性では食用米品種とも比較しながら明らかにすることにより、北海道の酒米品種の農業特性と酒造適性の改善方向を示した。また、これまで北海道の食用米品種で行われてきた栽培技術と育種が、北海道の酒米品種の農業特性および酒造適性の改善にも適用が可能なか検討した。

材料と方法

1. 品種、耕種概要、農業特性および酒造適性

供試品種には、2005～2013年に空知地域の岩見沢市にある北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場と上川地域の比布町にある同上川農業試験場で栽培した北海道の酒米品種「吟風」と「彗星」を用いた。また農業特性では、比較品種として同一圃場で栽培した食用米品種「ゆめぴりか」と「ななつぼし」を用いた。両産地ともに、苗の種類は中苗（3～5本/株）で、窒素施肥量は全層 8.0 g m^{-2} であり、その他に稲わら堆肥を 1.0 kg m^{-2} 施用した。栽植密度は岩見沢市が 25.3 株 m^{-2} 、比布町が 25.0 株 m^{-2} であった（注：平成17～平成25年度北海道農業試験会議（設計会議）資料 試験研究設計概要集－作物開発部会（稲）－）。土壌型は岩見沢市がグライ土、比布町が褐色低地土である。参考として、前報（田中ら2015）で報告した兵庫県加東市で栽培した「山田錦」における農業特性と酒造適性の2008～2012年の平均値と標準誤差を用いた。

農業特性として、出穂期、成熟期、登熟日数、稈長、穂長、 1 m^2 当たり穂数（以下、穂数）、1穂粒数、 1 m^2 当たり総粒数（穂数×1穂粒数から算出、以下、総粒数）、不稔歩合、千粒重、玄米収量、および倒伏程度について、2005～2013年の前段の品種と耕種概要による北海道水稻奨励品種決定基本調査結果（1試験区 4 m^2 、2反復）を用いた。千粒重は、酒造適性としても重要な特性であるが、重複を避けるため本研究では農業特性に含めた。

酒造適性として、2005～2013年の酒米研究会の酒造原料米全国統一分析法（注：酒米研究会 <http://www.sakamai.jp/>, 1996年）による分析結果の中から、「吟風」と「彗星」について、前報（田中ら2015）で兵庫県の「山田錦」より劣った形質である、精米歩合70%（水分13.5%）の白米の20分吸水率（%）、蒸米吸水率（%）およびタンパク含有率（%）を用いた。その他にフォルモール態窒素量（ml、国税庁所定分析法3-6清酒のアミノ酸度に準ずる。以下、F-N）とカリウム含有量（ $\mu\text{g g}^{-1}\text{ DW}$ ）を用いた。また、酒米の大きな特徴である心白については、2008～2012年に行った水稻奨励品種決定試験基本調査の心白発現率（心白発現粒数/全粒数から算出、%）のデータを用いた。なお、食用米品種「ゆめぴりか」と「ななつぼし」では、酒造適性の分析と心白発現率の調査を行わなかった。

気象条件の解析には、農業環境技術研究所（現、農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター）のモデル結合型作物気象データベース（<http://meteocrop.dc.affrc.go.jp/real/top.php>）における2005～2013年のデータを用いた。出穂期前後80日間を10日間隔に8区分し、それぞれの区分ごとに毎日の最高気温（以下、最高気温）、同平均気温（以下、平均気温）および同最低気温（以下、最低気温）、高度2.5mの毎日の平均風速（以下、平均風速）、毎日の日照時間から推定した日射量（以下、日射量）の平

均値を算出した。8区分は出穂期-39～-30日（-Ⅳ期）、-29～-20日（-Ⅲ期）、-19～-10日（-Ⅱ期）、-9～0日（-Ⅰ期）、+1～+10日（+Ⅰ期）、+11～+20日（+Ⅱ期）、+21～+30日（+Ⅲ期）および+31～+40日（+Ⅳ期）とした。なお、各品種は中生種で、両産地における各年次での出穂期の品種間差が最大でも1.7日であったので、各品種ともに同一の8区分で示した。

2. 統計解析

各気温、平均風速および日射量の岩見沢市と比布町の産地間差異を、年次を反復とする対応のあるt検定法により検定した。農業特性と酒造適性の分散分析は、年次を反復、産地を主区、品種を副区とする分割区法で行った。また、農業特性では品種を酒米比較、食用米比較および酒米と食用米比較の3つに直交分解した（田中・垂水1986）。なお、計算にはエクセル統計2015（社会情報サービス株式会社）を用いた。

結 果

1. 出穂期前後80日間の気象条件

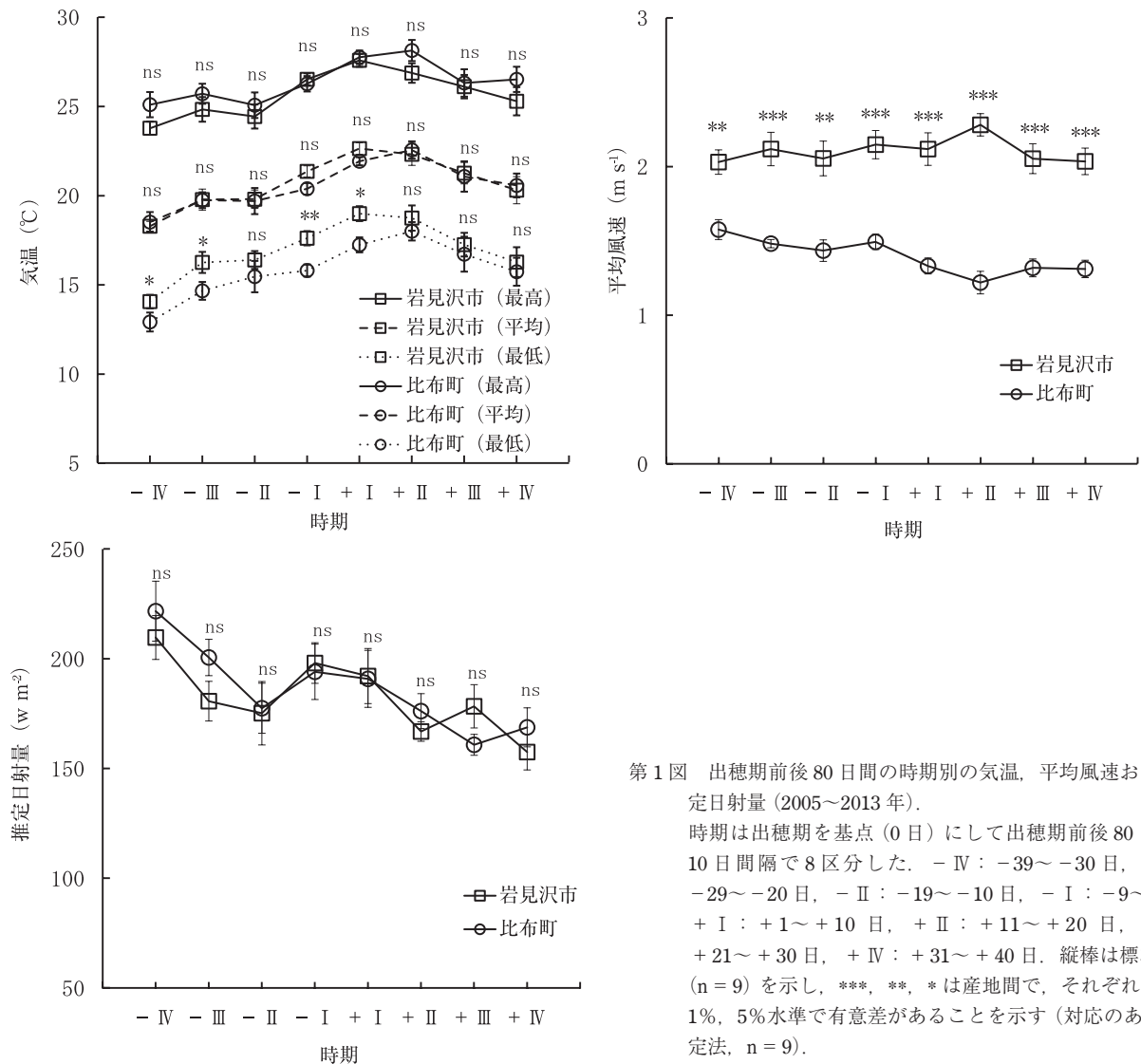
出穂期前後の80日間は、両産地を込みにすると6月15日～9月11日で、この期間は、おおそ4品種の幼穂形成期～登熟期に相当した。第1図に出穂期前後80日間の時期別の最高気温、最低気温、平均気温、平均風速および日射量を示した。各気温は、岩見沢市では+Ⅰ期で、比布町では+Ⅱ期で最も高い傾向を示した。最高気温と平均気温は、いずれの時期でも有意な産地間差異を示さなかったが、最低気温は、-Ⅳ期、-Ⅲ期、-Ⅰ期および+Ⅰ期で、岩見沢市より比布町の方が有意に低かった。平均風速は、いずれの時期でも岩見沢市より比布町の方が有意に小さかった。一方、日射量は、いずれの時期でも有意な産地間差異を示さず、両産地ともに出穂期前より出穂期後の方が少ない傾向を示した。

2. 農業特性

第1表に農業特性について分散分析の結果を示した。各形質は総粒数を除き、産地と品種との間には有意な交互作用を示さなかった。そこで総粒数を除き、産地間・品種間差異について交互作用を考慮せずに検討した。

岩見沢市と比布町の移植日は、2005～2013年の9年間の平均で、それぞれ5月21日と5月18日であり、岩見沢市より比布町の方が3日早かった。岩見沢市と比布町の4品種を含めた出穂期は、2005～2013年の9年間の平均で、それぞれ8月2日と7月25日であり、岩見沢市より比布町の方が8日早かった。また、酒米2品種の平均より食用米2品種の平均の方が1.4日早かった。

稈長は、岩見沢市より比布町の方が4.0 cm（岩見沢市対比94）短かった。また、酒米2品種の平均より食用米2品種の平均の方が3.3 cm（酒米2品種の平均対比105）、



第1図 出穂期前後80日間の時期別の気温、平均風速および推定日射量(2005~2013年)。

時期は出穂期を基点(0日)にして出穂期前後80日間を10日間隔で8区分した。 -IV: -39~-30日, -III: -29~-20日, -II: -19~-10日, -I: -9~0日, +I: +1~+10日, +II: +11~+20日, +III: +21~+30日, +IV: +31~+40日。縦棒は標準誤差(n=9)を示し, ***, **, *は産地間で、それぞれ0.1%, 1%, 5%水準で有意差があることを示す(対応のあるt検定法, n=9)。

酒米品種「吟風」より「彗星」の方が1.6 cm(「吟風」対比103), それぞれ長かった。

成熟期と登熟日数は、産地間には有意な差異を示さなかった。しかし、品種間には有意な差異を示し、酒米2品種の平均より食用米2品種の平均の方が、成熟期は2.4日早く、登熟日数は1.1日少なかった。穂長と倒伏程度は、産地間と品種間にいずれも有意な差異を示さなかった。

穂数、1穂粒数、総粒数および不稔歩合は、産地間と品種間にいずれも有意な差異を示した。すなわち、穂数は、岩見沢市より比布町の方が57本(岩見沢市対比92)少なかった。また、酒米2品種の平均より食用米2品種の平均の方が153本(酒米2品種の平均対比126)多かった。一方、酒米2品種間には有意な差異が認められなかった。1穂粒数は、岩見沢市より比布町の方が4.8(岩見沢市対比90)少なかった。また、酒米2品種の平均より食用米2品種の平均の方が4.8(酒米2品種の平均対比90), 「吟風」より「彗星」の方が4.6(「吟風」対比91), それぞれ少なかった。総粒数は、岩見沢市より比布町の方が 6.1×10^3 (岩

見沢市対比83) 少なかった。また、酒米2品種の平均より食用米2品種の平均の方が 3.9×10^3 (酒米2品種の平均対比113) 多かった。酒米2品種間と食用米2品種間にいずれにも有意な差異は認められなかった。なお、総粒数は産地と品種の間に交互作用が認められ、2012年では、岩見沢市より比布町の方が、「ななつぼし」を除き、3品種の平均で 1.3×10^3 (岩見沢市対比104) 多かった。

不稔歩合は、岩見沢市より比布町の方が3.1ポイント(岩見沢市対比71) 低かった(百分率の差の単位は, “%”ではなく“ポイント”とした。以下同様)。また、「吟風」より「彗星」の方が4.4ポイント(「吟風」対比58) 低かった。

千粒重と玄米収量は、産地間には有意な差異を示さなかったが、品種間には有意な差異を示した。千粒重は、酒米2品種の平均より食用米2品種の平均の方が2.8 g(酒米2品種の平均対比89) 軽く、「吟風」より「彗星」の方が1.6 g(「吟風」対比107) 重かった。玄米収量は、酒米2品種の平均より食用米2品種の平均の方が 24 g m^{-2} (酒米2品種の平均対比96) 少なく、「吟風」より「彗星」の

第1表 北海道で育成した酒造好適米品種と食用米品種における農業特性の産地間・品種間比較.

産地・品種		出穂期 (7月1日 = 1, 日)	成熟期 (9月1日 = 1, 日)	登熟日数 (日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	倒伏程度
岩見沢市		32.5 ± 0.73	19.1 ± 0.94	48.6 ± 0.73	68.4 ± 0.56	16.5 ± 0.11	0.15 ± 0.07
比布町		24.8 ± 0.79	13.8 ± 1.44	51.1 ± 0.96	64.4 ± 0.74	16.7 ± 0.10	0.17 ± 0.09
平均		28.7 ± 0.76	16.5 ± 1.19	49.9 ± 0.85	66.4 ± 0.65	16.6 ± 0.11	0.16 ± 0.08
吟風		29.6 ± 1.42	17.6 ± 1.89	50.1 ± 1.20	64.0 ± 0.98	16.5 ± 0.11	0.06 ± 0.06
彗星		29.1 ± 1.40	17.7 ± 2.04	50.7 ± 1.45	65.6 ± 1.08	16.7 ± 0.14	0.11 ± 0.11
平均		29.4 ± 1.41	17.7 ± 1.97	50.4 ± 1.33	64.8 ± 1.03	16.6 ± 0.13	0.08 ± 0.09
ゆめぴりか		27.9 ± 1.46	14.9 ± 1.63	49.0 ± 1.11	67.2 ± 0.83	16.6 ± 0.17	0.22 ± 0.12
ななつぼし		28.1 ± 1.40	15.6 ± 1.75	49.6 ± 1.21	68.9 ± 0.94	16.6 ± 0.17	0.25 ± 0.15
平均		28.0 ± 1.43	15.3 ± 1.69	49.3 ± 1.16	68.1 ± 0.89	16.6 ± 0.17	0.24 ± 0.14
山田錦 (参考)		58.0 ± 0.63	40.0 ± 3.89	45.0 ± 4.14	106.5 ± 1.71	20.5 ± 0.47	3.16 ± 0.43
分散分析	自由度	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方
主区							
年次	8	150.4**	304.5 ^{ns}	92.0 ^{ns}	65.0*	1.262 ^{ns}	0.798***
産地	1	1058.0***	501.4 ^{ns}	107.6 ^{ns}	284.8**	0.551 ^{ns}	0.003 ^{ns}
誤差	8	23.8	121.4	112.2	17.5	0.747	0.058
副区							
品種	3	11.5***	35.9***	9.7 ^{ns}	78.8***	0.108 ^{ns}	0.152 ^{ns}
酒米比較	1	2.3*	0.3 ^{ns}	4.0 ^{ns}	24.5*	0.321 ^{ns}	0.028 ^{ns}
食用米比較	1	0.3 ^{ns}	4.7 ^{ns}	2.8 ^{ns}	26.2*	0.003 ^{ns}	0.007 ^{ns}
酒米と食用米比較	1	32.0***	102.7***	22.2**	185.6***	0.000 ^{ns}	0.420 ^{ns}
産地×品種	3	0.7 ^{ns}	12.8 ^{ns}	9.4 ^{ns}	3.6 ^{ns}	0.434 ^{ns}	0.115 ^{ns}
誤差	48	0.6	3.4	2.8	3.7	0.214	0.193

産地・品種		穂数 (本 m ⁻²)	1 穂粒数	総粒数 (× 10 ³ m ⁻²)	不稔歩合 (%)	千粒重 (g)	玄米収量 (g m ⁻²)
岩見沢市		706 ± 17.8	49.6 ± 0.97	34.8 ± 0.88	10.41 ± 0.91	23.4 ± 0.31	590 ± 10.4
比布町		649 ± 17.4	44.8 ± 0.87	28.7 ± 0.61	7.34 ± 1.11	23.6 ± 0.31	615 ± 9.4
平均		677 ± 17.6	47.2 ± 0.92	31.8 ± 0.75	8.88 ± 1.01	23.5 ± 0.31	603 ± 9.9
吟風		596 ± 15.1	51.9 ± 1.27	30.9 ± 1.03	10.57 ± 1.76	24.1 ± 0.25	598 ± 16.8
彗星		606 ± 17.5	47.3 ± 0.92	28.7 ± 1.04	6.17 ± 0.80	25.7 ± 0.27	630 ± 10.8
平均		601 ± 16.3	49.6 ± 1.10	29.8 ± 1.04	8.37 ± 1.28	24.9 ± 0.26	614 ± 13.8
ゆめぴりか		795 ± 15.1	42.7 ± 1.13	33.9 ± 1.07	9.70 ± 1.51	22.2 ± 0.23	578 ± 13.2
ななつぼし		713 ± 20.2	46.8 ± 1.45	33.5 ± 1.60	9.07 ± 1.52	21.9 ± 0.25	602 ± 13.8
平均		754 ± 17.6	44.8 ± 1.29	33.7 ± 1.33	9.39 ± 1.52	22.1 ± 0.24	590 ± 13.5
山田錦 (参考)		383 ± 30.2	—	—	—	27.3 ± 0.51	476 ± 30.3
分散分析	自由度	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方
主区							
年次	8	17022 ^{ns}	51.7 ^{ns}	30.4 ^{ns}	218.3***	7.11*	149.9 ^{ns}
産地	1	57630*	422.2*	651.9*	169.6*	0.64 ^{ns}	113.3 ^{ns}
誤差	8	10514	50.0	59.8	30.8	1.84	59.1
副区							
品種	3	161209***	257.2***	107.7***	65.3***	55.26***	80.9***
酒米比較	1	880 ^{ns}	190.8***	44.6 ^{ns}	174.0***	22.88***	87.4**
食用米比較	1	60927***	154.7***	1.3 ^{ns}	3.5 ^{ns}	0.67**	52.8 ^{ns}
酒米と食用米比較	1	421821***	426.0***	277.1***	18.5 ^{ns}	142.24***	102.5**
産地×品種	3	5080 ^{ns}	19.8 ^{ns}	37.8**	24.5 ^{ns}	0.04 ^{ns}	15.9 ^{ns}
誤差	48	1367	10.1	6.2	6.6	0.07	10.5

試験期間は 2005～2013 年である。出穂期と成熟期は、それぞれ 7 月 1 日と 9 月 1 日を 1 とした時の日数を、倒伏程度は 0 (無)～5 (甚) の 6 段階で評価したスコアの平均値を、千粒重と玄米収量は分 15.0% に換算した数値を、玄米収量は篩目 1.85～1.90 mm 上の収量を、それぞれ示す。産地・品種の各数値は 2005～2013 年の平均値を、平均は産地の岩見沢市と比布町、酒米品種「吟風」と「彗星」、食用米品種「ゆめぴりか」と「ななつぼし」のそれぞれの平均値を、± は標準誤差 (産地 n = 36, 品種 n = 18, 平均 n = 2) を示す。参考として、前報の 2008～2012 年での兵庫県加東市産の「山田錦」の値を示した。分散分析は年次を反復、産地を主区、品種を副区とする分割区法で行い、品種を酒米比較、食用米比較および酒米と食用米比較の 3 つに直交分解した (「山田錦」を除く)。***, **, * は、それぞれ 0.1%, 1%, 5% 水準で有意性があり、ns は有意性がないことを示す。

第2表 「吟風」と「彗星」における酒造適性の産地間・品種間比較.

産地・品種		20分吸水率 (%)	蒸米吸水率 (%)	フォルモール 態窒素量 (F-N) (ml)
岩見沢市		26.9 ± 0.36	33.28 ± 0.28	0.77 ± 0.02
比布町		26.7 ± 0.34	33.27 ± 0.34	0.69 ± 0.01
平均		26.8 ± 0.35	33.28 ± 0.31	0.73 ± 0.02
吟風		27.8 ± 0.26	33.27 ± 0.27	0.77 ± 0.02
彗星		25.8 ± 0.25	33.28 ± 0.35	0.69 ± 0.01
平均		26.8 ± 0.25	33.28 ± 0.31	0.73 ± 0.02
山田錦 (参考)		29.9 ± 0.54	35.40 ± 0.70	0.72 ± 0.03
分散分析	自由度	平均平方	平均平方	平均平方
主区				
年次	8	3.14 ^{ns}	5.033 [*]	0.010 ^{ns}
産地	1	0.27 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.053 ^{**}
誤差	8	1.17	1.457	0.004
副区				
品種	1	36.67 ^{***}	0.001 ^{ns}	0.068 ^{***}
産地 × 品種	1	0.06 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.000 ^{ns}
誤差	16	0.24	0.522	0.001

産地・品種		粗タンパク 質含有率 (%)	カリウム 含有量 ($\mu\text{g g}^{-1}\text{DW}$)	心白発現率 (%)
岩見沢市		5.65 ± 0.12	317 ± 12.4	72.2 ± 6.2
比布町		4.98 ± 0.10	343 ± 12.2	71.9 ± 6.6
平均		5.32 ± 0.11	330 ± 12.3	72.1 ± 6.4
吟風		5.53 ± 0.15	311 ± 12.0	84.6 ± 2.7
彗星		5.10 ± 0.11	348 ± 11.9	59.4 ± 6.3
平均		5.32 ± 0.13	331 ± 12.0	72.0 ± 4.5
山田錦 (参考)		4.63 ± 0.14	379 ± 27.6	78.0 ± 3.8
分散分析	自由度	平均平方	平均平方	平均平方
主区				
年次	8 (4)	0.35 ^{ns}	6767 ^{ns}	598.239 ^{ns}
産地	1	4.12 ^{**}	6149 ^{ns}	0.498 ^{ns}
誤差	8 (4)	0.32	3181	132.007
副区				
品種	1	1.68 ^{***}	11942 ^{***}	3159.808 ^{**}
産地 × 品種	1	0.04 ^{ns}	75 ^{ns}	0.002 ^{ns}
誤差	16 (8)	0.04	91	163.092

千粒重は水分 13.8% に調整した玄米を、その他は精米歩合 70% の水分 13.5% に調整した白米を、それぞれ用いた。産地・品種の各数値は 2005～2013 年 (心白発現率のみ 2008～2012 年) の平均値を、平均は岩見沢市と比布町の平均値、「吟風」と「彗星」の平均値を、± は標準誤差 (産地 $n=18$ ・品種 $n=18$, 心白発現率のみ $n=10$, 平均 $n=2$) をそれぞれ示す。参考として、前報の 2008～2012 年での兵庫県加東市の「山田錦」の値を示した。心白発現率は心白発現粒数 / 全粒数から算出した。分散分析は年次を反復、産地を主区、品種を副区とする分割区法で行った。なお心白発現率のみ、主区の年次と誤差の自由度はそれぞれ 4、副区の誤差の自由度は 8 である (「山田錦」を除く)。***, **, * はそれぞれ 0.1%, 1%, 5% 水準で有意性があり、ns は有意性がないことを示す。

方が 32 g m^{-2} (「吟風」対比 105) 多かった。

3. 酒造適性

第2表に酒造適性について分散分析の結果を示した。いずれの形質についても、産地と品種の間には有意な交互作用は認められなかった。そこで、産地間・品種間差異につ

いて交互作用を考慮せずに検討した。20分吸水率、カリウム含有量および心白発現率は、産地間には有意な差異を示さなかったが、品種間には有意な差異を示した。「吟風」より「彗星」の方が、20分吸水率は2.0ポイント (「吟風」対比 93) 低く、カリウム含有量は $37\text{ }\mu\text{g g}^{-1}\text{DW}$ (「吟風」対比 112) 多く、心白発現率は 25.2 ポイント (「吟風」対

比70) 低かった。

F-Nとタンパク含有率は、産地間と品種間のいずれにも有意な差異を示した。F-Nは、岩見沢市より比布町の方が、また、「吟風」より「彗星」の方が、それぞれ0.08 ml (岩見沢市対比90, 「吟風」対比90) 低かった。タンパク含有率は、岩見沢市より比布町の方が0.67ポイント (岩見沢市対比88), また、「吟風」より「彗星」の方が0.43ポイント (「吟風」対比92), それぞれ低かった。蒸米吸水率は、産地間と品種間にいずれも有意な差異を示さなかった。

考 察

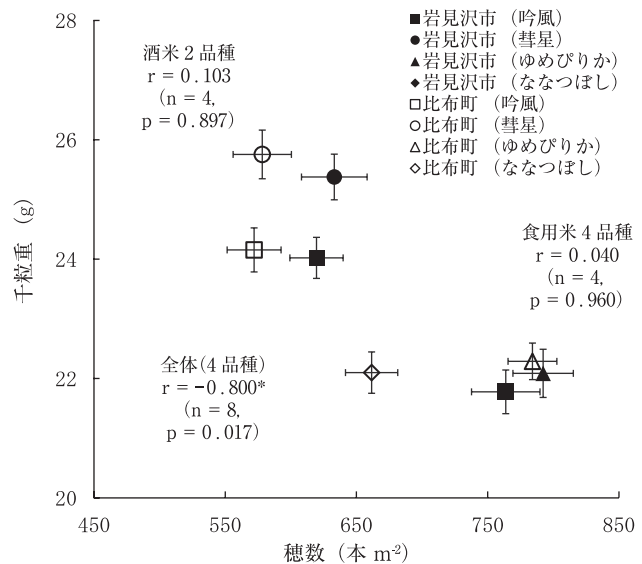
1. 農業特性

「山田錦」(1936年育成)や「雄町」(1908年育成)等の東北以南の酒米品種は優れた酒造適性を有している。しかし、これらの品種は「コシヒカリ」(1955年育成)や「あきたこまち」(1984年育成)等の食用米品種に比べて、出穂期および成熟が遅く、長稈で耐倒伏性が弱く、総じて農業特性の劣るものが多い(前重・小林2000)。そこで、北海道の酒米2品種における農業特性の産地間・品種間差異を、北海道の食用米2品種とも比較しながら検討した。

いずれの産地でも、酒米2品種の平均より食用米2品種の平均の方が、稈長は有意に長く、倒伏程度は大きい傾向を示し、既報(丹野ら2002, 吉村ら2002, 尾崎2008, 田中ら2011)で報告されている酒米2品種の耐倒伏性(やや強~強)および食用米2品種の耐倒伏性(やや弱)と同じ傾向であった(第1表)。また、いずれの産地でも、酒米2品種の平均は兵庫県の「山田錦」に比べて、稈長は短く倒伏程度は小さかった(第1表)。これらのことから、北海道の酒米2品種の耐倒伏性は、いずれも食用米2品種の耐倒伏性に比べて強く、また、兵庫県の「山田錦」の耐倒伏性に比べて明らかに強いと考えられた。

玄米収量は、食用米2品種の平均より酒米2品種の平均の方が多かった。この要因について収量構成要素に分けて検討した。食用米2品種の平均より酒米2品種の平均の方が、穂数は少なく、1穂穂数は多く、総穂数は少なかった。また、不稈歩合は有意な差異を示さなかった。その結果、1 m²当たりの稈実総穂数(総穂数×(1-不稈歩合/100))から算出)は、食用米2品種の平均(30.5×10³)より酒米2品種の平均(27.3×10³)の方が少なかった。しかし、千粒重は酒米2品種の平均の方が重かった。これらのことから、食用米2品種の平均より酒米2品種の平均の方が玄米収量の多かった主要因は、千粒重が重かったことであると考えられた。

同様に「吟風」と「彗星」の玄米収量の差異を収量構成要素から考察した。穂数は両品種間で有意な差異を示さなかった。また、1穂穂数は「彗星」の方が少なかった。しかし、総穂数は両品種間で有意な差異を示さなかった。また、「彗星」の方が不稈歩合は低く、千粒重は重かった。



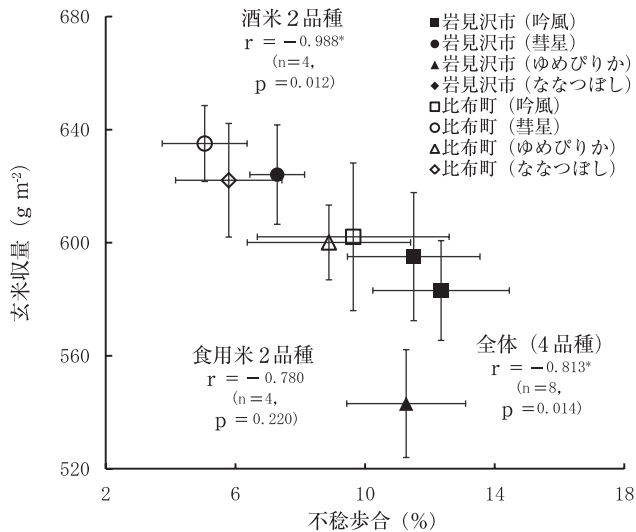
第2図 穂数と千粒重の関係。

縦棒と横棒は標準誤差(n=9)を、*は5%水準で有意性があることを示す。第3図も同様。

これらのことから、「吟風」より「彗星」の方が玄米収量の多かった主要因は、不稈歩合が低く、千粒重が重かったことであると考えられた。

北海道の酒米2品種の玄米収量は、いずれの産地でも兵庫県の「山田錦」の玄米収量に比べて多かった(第1表)。また、穂数は兵庫県の「山田錦」の穂数に比べて、明らかに多かった。しかし、千粒重は兵庫県の「山田錦」の千粒重(27.3 g)に比べて軽かった。これらのことから、北海道の酒米2品種は、いずれの産地でも兵庫県の「山田錦」に比べて、穂数が多いことが関係して収量性が高いと考えられた。

前述のとおり、北海道の酒米2品種における玄米収量の品種間差異は、千粒重および不稈歩合の品種間差異が主要因で生じたと考えられたので、千粒重および不稈歩合についてさらに考察した。酒米品種における千粒重は、玄米収量に関係するとともに、酒造適性として重要な精米歩留や白米の吸水性にも関係し、千粒重の重い品種が酒米に適する(前重・小林2000)。食用米では、一般に収量構成要素の間に、その要素よりも前に決まる要素の大きさと負の相関関係があるとされ(松崎1997)、穂数と千粒重との間に負の相関関係が認められる。本研究の両産地の酒米2品種および食用米2品種では、穂数と千粒重との間に有意な相関関係が認められなかったが、4品種全てを含めた場合には、 $r = -0.800$ ($n = 8$, $p = 0.017$)の強い負の相関関係が認められた(第2図)。太田ら(2005)は千葉県の酒米「総の舞」の品種特性として、穂数の増加が稈数の増加につながりやすく、稈数が過剰になった場合、千粒重が低下すると報告した。また、穂数は栽植密度や施肥量などの栽培法が影響することが知られている(近藤1944)。これらのことから、今後は、北海道の酒米品種の穂数や稈数と千粒重



第3図 不稔歩合と玄米収量の関係。

との関係について詳細に検討し、育種に加えて栽培法にも留意して千粒重の増加を図る必要がある。

2011年の岩見沢市と旭川市での北海道の酒米系統「空育酒177号」(後の「きたしずく」)の千粒重は、それぞれ28.1gと28.5gであり(注:北海道農業試験会議(成績会議)水稻新品種候補「空育酒177号」2014年)、兵庫県の「山田錦」の千粒重(29.2g)との差異が小さかった。また兵庫県では、極大粒の放射線突然変異系統「IM.106」を系譜に持つ、「山田錦」より重い千粒重の酒米品種「兵系酒18号」(1972年育成)と「兵庫北錦」(1986年育成)を育成した(西田ら1987, 池上・西田2008)。さらに秋田県では、「兵系酒18号」由来の酒米品種「華吹雪」(1985年育成)を系譜に持つ、「山田錦」並の千粒重の酒米品種「秋田酒こまち」(2001年育成)の育成に成功した(眞崎ら2006)。北海道の酒米品種の系譜には、これらの東北以南の酒米品種が含まれていないので(田中ら2015)、今後、これらの酒米品種を利用して北海道の酒米品種の千粒重を増加できるかもしれない。

北海道の水稲では、不稔歩合と玄米収量は密接に関係し、低温や日照不足によって不稔が多発すると大きく減収する(丹野2011)。本研究においても、不稔歩合と玄米収量との間には、両産地の4品種で $r = -0.813$ ($n = 8, p = 0.014$)、酒米2品種で $r = -0.988$ ($n = 4, p = 0.012$)の、それぞれ高い負の相関関係が認められ、不稔歩合が高くなると玄米収量は顕著に低下した(第3図)。「吟風」は「彗星」や食用米2品種に比べて耐冷性が弱い(田中ら2011)。食用米と同じく酒米においても育種による耐冷性の強化は重要な課題である。

2. 酒造適性

白米のタンパク含有率は、岩見沢市より比布町の方が、「吟風」より「彗星」の方が、それぞれ低かった(第2表)。

また、品種間差異より産地間差異の方が大きかった。白米のタンパク含有率におぼす影響の程度は、品種や栽培法より産地の土壌の方が大きいことが知られている(五十嵐ら2005)。前述したように、岩見沢市と比布町の土壌は、それぞれグライ土と褐色低地土で(渡邊2011)、グライ土より褐色低地土の方が、タンパク含有率は高まりやすい(五十嵐ら2005)。したがって、タンパク含有率が岩見沢市より比布町の方が低かった主要因は、土壌の産地間差異であると推察した。また、平均風速は岩見沢市より比布町の方が調査した期間を通じて小さかった(第1図)。丹野(2010)は北海道の食用米品種「きらら397」を用い、分げつ期の平均風速と白米のタンパク含有率との間に有意な正の相関関係が認められると報告した。本研究では、分げつ期の平均風速は岩見沢市より比布町の方が小さかった。このため、タンパク含有率の産地間差異には平均風速も関係したと推察した。2012年の比布町での「吟風」と「彗星」の白米のタンパク含有率(精米歩合70%)は、それぞれ5.12%と4.75%であり、兵庫県の「山田錦」のタンパク含有率(4.84%)との差異が小さかった。これらのことから、比布町は岩見沢市よりタンパク含有率の低い酒米を生産するのに適した産地であると考えられた。また、いずれの産地でも「吟風」より「彗星」の方が、それぞれ低かった。低タンパク質含有率の酒米生産のためには、産地と品種の選定が重要である。

北海道の食用米生産では、客土や側条施肥、幼穂形成期後7日目のケイ酸追肥、収穫後の稲わらの搬出などの土壌改良および育苗を用いた密植栽培などによる低タンパク含有率化を推進している(柳原2002, 後藤2007)。これらの土壌改良や栽培法は低タンパク含有率の酒米生産にも応用できると考えられる。また、北海道の水稲は不稔歩合が高くなると白米のタンパク含有率が上昇し、タンパク含有率の上昇は食用米では、食味の低下を招き(丹野2011)、酒米では、製造酒のアミノ酸含量が増加して雑味や着色の原因になる(前重・小林2000)。したがって、北海道で低タンパク含有率の酒米を安定生産するためには、食用米生産と同様に、冷害対策技術である防風網等の設置(真木1979, 山崎ら1982)や前歴期間～冷害危険期の深水かんがい(励行して(Satakeら1987)、不稔の発生を防止することが重要であると考えられる。

食用米では、白米のタンパク含有率には品種間差異が認められ(稲津ら1982)、北海道では、アミロース含有率ならびにタンパク含有率を下げた食用米品種の育成に成功した(木下2013)。例として、米国カリフォルニア州の食用米品種「国宝ローズ」に由来するタンパク含有率の低い「空系90242A」や「空系90242B」の利用による、従前の「きらら397」よりタンパク含有率の低い「ななつばし」(吉村ら2002)や「ふっくりんこ」(田中ら2008a)の育成があげられる。本研究で供試した酒米2品種は、「国宝ローズ」に由来する系統や品種を系譜に含まない。今後は、

これらの食用米の系統や品種を利用することにより、北海道の酒米品種のタンパク含有率を低下できると考えられる。

20分吸水率は白米の吸水速度を示す指標の一つであり、20分吸水率の高い酒米は白米の吸水速度が大きいため作業性に優れる(前重・小林2000)。本研究において、20分吸水率は有意な産地間差異を示さなかったが、「吟風」より「彗星」の方が低かった(第2表)。「吟風」と「彗星」の20分吸水率に差異が生じた要因について検討する。20分吸水率には心白発現率が関与し、心白発現率が高くなると20分吸水率は高くなる傾向がある(前重・小林2000)。柳内(1996)は、20分吸水率は無心白粒より心白粒の方が高く、この差は米粒内部組織構造に起因するもので、心白粒ではデンプン粒子間の大きな間隙へ急速な吸水が起ると報告した。20分吸水率の高かった「吟風」は心白発現率が高く(第2表)、本研究の結果は、上述の報告と一致した。

一方、吉沢ら(1973, 1974)と花本(1976)は白米の吸水性にタンパク含有率が関与し、タンパク含有率が高くなると20分吸水率は低下する傾向があると報告した。しかし、本研究では、20分吸水率の高かった「吟風」はタンパク含有率が高く上述の報告と相反した。これらのことから、「吟風」より「彗星」の20分吸水率が低かった主要因は心白発現率が低かったことであると推察した。

上島(1981)は「山田錦」と食用米品種「朝日」および「千本旭」を交配して得られたF₂集団において、心白発現率に関係する広義の遺伝率は0.622~0.824を示し、高かったと報告した。また池上ら(2003)も、「山田錦」と食用米「レイホウ」との正逆組み合わせ交雑によるF₂集団において、心白発現率の広義の遺伝率は高く(0.860~0.825)、心白発現率を高めるためには個体選抜が有効であると報告した。前報(田中ら2015)で示したように、兵庫県での「兵庫北錦」の心白発現率(96.4%)は、「山田錦」の心白発現率(78.0%)と同じく高かった。「彗星」の系譜には「兵庫北錦」や「山田錦」が含まれていないので(田中ら2015)、今後は、これらの酒米品種を利用することにより心白発現率を高め、間接的に北海道の酒米品種の20分吸水率を高めることができるかもしれない。

蒸米吸水率は醗(もろみ)における蒸米の溶解性に関係し、蒸米の消化性の指標の一つであり、生成酒の酒質のみならず粕歩合などの原料利用効率にも影響する(吉沢ら1974)。蒸米吸水率の高い米は粕歩合が低く、原料利用効率が低い傾向がある(前重・小林2000)。本研究において、蒸米吸水率は産地間と品種間でともに有意な差異を示さず(第2表)、酒米2品種の蒸米吸水率は、いずれも兵庫県の「山田錦」の蒸米吸水率に比べて2.1ポイント(「山田錦」対比94)低かった。一方、前報(田中ら2015)で示したように、兵庫県での「兵庫北錦」の蒸米吸水率(34.3%)は、「山田錦」の蒸米吸水率(35.4%)と同じく高かった。北海道の酒米品種の系譜には、「兵庫北錦」や「山田錦」が

含まれていないので(田中ら2015)、今後は、これらの酒米品種を利用することにより北海道の酒米品種の蒸米吸水率を高める必要がある。

謝辞: 本論文を作成するにあたり、日本作物学会和文誌編集委員会の地域編集委員の北海道大学名誉教授岩間和人博士にご校閲をいただきました。統計解析について、元・関西福祉大学教授和田武夫博士より懇切丁寧なご指導をいただきました。水稻奨励品種決定基本調査成績データベースの利用について、農業・食品産業技術総合研究機構作物研究所稲研究領域、北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場生産研究部水田農業グループおよび同上川農業試験場研究部水稻グループの関係各位に、酒造用原料米全国統一分析結果の利用について、酒類総合研究所酒米研究会事務局の関係各位に、それぞれご快諾いただきました。ここに記して深く感謝の意を表します。

引用文献

- 後藤英次 2007. 北海道における高品質米生産に関する土壌化学性と合理的施法の研究. 北海道立農業試験場報 116: 14-48.
- 花本秀生 1976. 清酒製造過程における酒造米の適性評価法. 育種学最近の進歩 17: 55-60.
- 五十嵐俊成・安積大治・竹田一美・島田悟 2005. 北海道産米のタンパク質含有率に及ぼす栽培条件の影響. 北農 72: 16-25.
- 池上勝・世古晴美 2000. 兵庫県北部における極早生品種の玄米品質と気象との関係. 兵庫農技総セ研報(農業) 48: 12-17.
- 池上勝・吉田晋弥・中村千春・上島脩志 2003. 選抜反応から推定した酒米品種「山田錦」の心白発現の遺伝. 育種学研究 5: 9-15.
- 池上勝・西田清数 2008. 放射線突然変異を利用した「兵系酒 18 号」の育成経過と育種の利用. 兵庫農技総セ研報(農業) 56: 39-53.
- 池上勝・藤本啓・小河拓也・三好昭宏・矢野義昭・土田利・平川嘉一郎 2015. 兵庫県における「山田錦」の玄米品質と気象との関係. 日作紀 84: 295-302.
- 稲津脩・佐々木忠雄・新井利直 1982. 長内俊一 監修 お米の味 北農会. 札幌. 57-59.
- 稲津脩 1988. 北海道産米の食味向上による品質改善に関する研究. 北海道立農業試験場報告 66: 43-58.
- 梶原靖久・田中一生・田中英彦・大坪耕介・岩間和人・寺内方克 2004. 北海道水稻主要栽培品種間における窒素反応性の差異—特に、多窒素条件下での子実収量. 育種・作物学会北海道談話会会報 45: 17-18.
- 梶原靖久・田中一生・田中英彦・大坪耕介・岩間和人・寺内方克・実山豊 2005a. 北海道水稻主要品種における収量性と品質の相互作用—窒素施肥量に対する反応性—. 日作紀 74(別2): 26-27.
- 梶原靖久・平山裕治・田中一生・田中英彦・清水博之・岩間和人 2005b. 北海道水稻主要栽培品種・育成系統における 2005 年度の多収要因—乾物生産と収量構成要素—. 育種・作物学会北海道談話会会報 46: 71-72.
- 上島脩志 1981. 酒米に関する育種学的研究: II. F₂集団における心白発現率、玄米粒重および稈長の分離と、それら諸形質間の相互関係. 神戸大学農学部研究報 14(2): 265-272.
- 木下雅文・佐藤毅 2004. 登熟気温の差異が北海道水稻品種のアミロース含有率に及ぼす影響. 育種・作物学会北海道談話会会報 45: 19-

20.
木下雅文・沼尾吉則・佐藤毅 2007. 北海道産米と府県産米との食味の違いに関する理化学的解析. 育種・作物学会北海道談話会会報 48: 27-28.
木下雅文 2013. 北海道における新旧水稻品種の食味官能評価と理化学特性. 北農 80: 10-18.
近藤頼巳 1944. 水稻に於ける栽植密度の増加に就いて. 農及園 19: 667-674.
前重道雅・小林信也 2000. 最新日本の酒米と酒造り. 養賢堂, 東京. 1-319.
真木太一 1979. 防風網による水田の昇温効果. 農業気象 34: 165-176.
眞崎聡・畠山俊彦・加藤武光・松本眞一・川本朋彦 2006. 水稻新品種「秋田酒こまち」の育成. 秋田県農試研報 46: 1-20.
松崎昭夫 1997. 農学大事典. 養賢堂, 東京. 1460.
西田清数・山根国男・佐村薫・岩井正志・五百蔵義弘・須藤健一・曳野亥三夫 1987. 酒米新品種「兵系酒 38 号」の育成. 兵庫農技総セ研報 35: 1-8.
太田和也・星野徹也・西川康之・在原克之・小山豊 2005. 高品質な酒造原料米生産のための「総の舞」の生育特性の解明. 千葉農総研研報 4: 77-86.
尾崎洋人 2008. 平成 20 年に普及に移される水稻新品種「上育 453 号」. 北農 75: 134-135.
Satake, T., Lee S.Y., Koike, S. and Kariya, K. 1987. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XX VII Effect of water temperature and nitrogen application before the critical stage on the sterility induced by cooling at the critical stage. Jpn. J. Crop Sci. 56: 404-410.
田口章一 2011. VI 北海道の気象条件の特徴. 北海道の米づくり (2011 年版). 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. 62-75.
田中一生・前川利彦・菊池治己 1999. 1999 年高温年における北海道水稻品種の食味特性について. 育種・作物学会北海道談話会会報 40: 35-36.
田中一生・尾崎洋人・越智弘明・品田裕二・沼尾吉則・宗形信也・萩原誠司・前田博・佐々木忠雄・本間昭・吉村徹・太田早苗・鴻坂扶美子 2008a. 水稻新品種「ふっくりんこ」の育成. 北海道立農試集報 92: 1-13.
田中一生・吉村徹・菅原彰・其田達也 2008b. 2008 年における北海道水稻の多収・低タンパク質化の要因解析. 育種・作物学会北海道談話会会報 49: 29-30.
田中一生・平山裕治・菅原彰・吉村徹・前田博・本間昭・相川宗嚴・田縁勝洋・丹野久・菅原圭一・宗形信也・柳原哲司 2011. 水稻新品種「彗星」の育成. 北海道立農試集報 95: 1-12.
田中一生・平山裕治・丹野久 2015. 北海道と兵庫県の酒造好適米における農業特性と酒造適性の比較. 日作紀 84: 182-191.
田中豊・垂水共之 1986. 11. 共分散分析 (1)-1 因子実験 パソコン統計解析ハンドブック III 実験計画法編. 共立出版, 東京. 141-442.
丹野久・吉村徹・本間昭・前田博・田縁勝洋・相川宗嚴・田中一生・佐々木忠雄・太田早苗・沼尾吉則・佐々木一男・和田定・鴻坂扶美子 2002. 酒造好適米新品種「吟風」. 北海道立農試集報 82: 1-10.
丹野久 2010. 寒地のうるち米における精米蛋白質含有率とアミロース含有率の年次間と地域間の差異およびその発生要因. 日作紀 79: 16-25.
丹野久 2011. IX 冷害の発生と対策. 北海道の米づくり (2011 年版). 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. 209-218.
山崎信弘・岩崎徹夫・藤村稔彦 1982. 防風網と稲の生育. 北農 49: 1-14.
柳原哲司 2002. 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. 北海道立農業試験場報告 101: 5-12.
柳内敏靖 1996. 酒米特性に及ぼす酒造好適米の心白の影響: 原料米の酒造適性に関する研究 (第 2 報). 生物工学会誌 74: 97-103.
吉村徹・丹野久・菅原圭一・宗形信也・田縁勝洋・相川宗嚴・菊池治己・佐藤毅・前田博・本間昭・田中一生・佐々木忠雄・太田早苗・鴻坂扶美子 2002. 水稻新品種「ななつぼし」の育成. 北海道立農試集報 83: 1-10.
吉沢淑・石川雄章・浜田由紀夫 1973. 酒造米に関する研究 (第 3 報) 精白米の諸性質間の相関. 醸協 68: 767-771.
吉沢淑・石川雄章・今村一臣・武田莊一・藤江勇 1974. 酒造米に関する研究 (第 4 報) 米の吸水性と消化性, 老化性について. 醸協 69: 315-318.
渡邊裕治 2011. V 北海道の水田土壌の特徴. 北海道の米づくり (2011 年版). 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. 52-61.

Regional and Varietal Differences in Agricultural Characteristics and Sake Brewing Aptitude of Rice in Hokkaido, Japan : name Kazuo TANAKA^{1,2)}, Hiroto OZAKI²⁾, Yuji HIRAYAMA²⁾ and Akira SUGAWARA²⁾ (¹⁾*Hokkaido Kamikawa Agri. Exp. Stn. Pippu 078-0397, Japan;* ²⁾*Hokkaido Central Agri. Exp. Stn.*)

Abstract : We examined the agricultural characteristics and sake brewing aptitude of two Hokkaido brewers'rice varieties "Ginpuu" and "Suisei" cultivated in two regions of Hokkaido, Iwamizawa and Pippu. The brown rice yield was higher in "Ginpuu" and "Suisei" than in the table rice varieties "Yumepirika" and "Nanatuboshi" due to heavier 1000 grain weight, and was higher in "Suisei" than in "Ginpuu" due to lower sterility rate and heavier 1000 grain weight. The crude protein content of Pippu rice was lower than that of Iwamizawa rice, and that of "Suisei" was lower than that of "Ginpuu". The selection of cultivation region and variety is important to reduce the protein content in brewers'rice. The 20-minute water absorption rate (20WR) was lower in "Suisei" than in "Ginpuu" due to lower occurrence rate of white core rice. The steamed water absorption rate of rice did not significantly vary with the region or variety. The lodging resistance and brown rice yield of the two Hokkaido brewers'rice varieties in the two regions were superior to those of "Yamadanishiki" cultivated in Hyogo prefecture, but the 1000 grain weight, crude protein content, 20WR and steamed-water absorption rate of the two Hokkaido brewers'rice varieties in the two regions were inferior to those of "Yamadanishiki". It is necessary to improve the sake brewing aptitude rice to the same level as that of "Yamadanishiki" cultivated in Hyogo prefecture by breeding and by improving the cultivation method.

Key words : Brewers'rice, Brown rice yield, Crude protein content, Steamed-water absorption rate, 1000 grain weight, 20-minute water absorption rate, White core.
