

研究ノート

紫黒糯米品種「紫宝」の収量、ポリフェノール含量および餅加工特性を高める栽培法の検討

小林和幸¹⁾・城斗志夫²⁾・高橋能彦²⁾・福山利範²⁾

(¹⁾ 新潟県農業総合研究所企画情報部, ²⁾ 新潟大学農学部)

要旨: 新潟県が開発した紫黒糯米品種「紫宝」の収量、玄米品質・成分、ポリフェノール含量および餅加工特性の高位安定栽培技術を検討するため、2006～2007年に新潟県内で栽培試験と現地調査を行った。その結果、「紫宝」は、施肥窒素成分量が多く、出穂期が早く、登熟気温が高いほど、穂数が多く多収となった。餅加工特性は登熟気温が高いほど高かったが、ポリフェノール含量は登熟気温が高いほど低かったことから、収量および餅加工特性とポリフェノール含量とを同時に高めることは、栽培技術的に困難と考えられた。ポリフェノール含量を重視した「紫宝」の栽培では、その収量性と餅加工特性は低くなる可能性が高いという知見を現場に周知する一方、餅生地が硬くなりにくいという特性を活かした加工利用が重要と考えられた。「紫宝」の農業形質や玄米成分、餅加工特性には栽培地域間で差異が認められ、病害虫の種類や被害程度も多様であったことから、地域の気象条件や農法に応じた栽培指針を早急に整備する必要があると考えられた。

キーワード: 栽培法、紫黒糯米、紫宝、登熟気温、ポリフェノール含量、餅加工特性。

紫黒米には、動脈硬化抑制 (Ling ら 2001, Ling ら 2002)、腎臓病予防 (Toyokuni ら 2002)、細胞の老化に関与する活性酸素の除去能力 (木村ら 2002, 須田 2002, Oki ら 2005)、血糖値の上昇抑制 (山口ら 2003) など、様々な生理機能が報告されている。紫黒米では、玄米の果皮に含まれる主要なポリフェノールであるアントシアニン系の色素が抗酸化活性に大きく寄与しており、一般米に比べ、カリウム、カルシウム、マグネシウム、食物繊維も多く含まれる (猪谷 2000, 猪谷ら 2002)。このような生理活性成分や栄養成分を日常的に摂取できる紫黒米への消費者の関心と評価は高く、玄米そのもの、あるいは色素成分を活かした商品の開発が求められている (小林ら 2008)。

紫黒米の重要な品質特性である色素含量は登熟気温の影響を強く受け、産地や栽培年次によって果皮色に濃淡の差異が認められる (猪谷 1998, 小林ら 2001)。紫黒糯米品種「朝紫」において移植期や施肥法を検討した結果では、玄米のポリフェノール含量と抗酸化能は、登熟期間中の平均気温が 25℃ で最も高くなり、窒素施肥量や栽植密度の影響は小さかった (高田ら 2004)。一方、「朝紫」と紫黒粳米品種「おくのむらさき」では、多肥栽培によってポリフェノール含量と抗酸化能が高まったという報告もある (三輪 2007)。

紫黒米は地域活性化への貢献度が高く、特産化を目指した生産活動や商品開発が各地で進められているが (猪谷 2000)、優良な原材料を安定的に確保するための栽培方法に関する報告や知見は極めて少ない。新潟県が近年開発した紫黒糯米品種「紫宝」についても、既に県内の中山間地

域で栽培され、一部地域の農業生産組織では玄米や餅加工製品が販売されているが (小林 2004)、その栽培方法はこれまでほとんど検討されてこなかった。そこで、2006～2007年に栽培試験と多様な耕種条件下にある現地圃場での調査を行い、新潟県における「紫宝」の収量、玄米品質、ポリフェノール含量および餅加工特性の高位安定栽培法を検討した。

材料と方法

1. 耕種概要

第 1 図に栽培試験および現地調査の地点を、第 1 表に 2 年間の耕種概要を示した。

(1) 2006 年度栽培試験および現地調査

新潟県農業大学校 (新潟市西蒲区、以下、農大と略) では、播種・移植期に 2 週間の差をつけた普通期区と晩期区を設け、それぞれに施肥窒素成分量 0.5 kg/a (基肥資材: アラジン化成 444, 穂肥資材: 穂肥特 2 号) の標肥区と 1.0 kg/a の多肥区を設けた。各区 1.34 m × 5.0 m で反復を設けなかった。株播きポットの各セルに 4 粒ずつ播種し、ハウスで無加温育苗した。移植は 1 株当たり 4 本の中苗を条間 33.5 cm × 株間 15.0 cm の 4 条に手植えた。

系統採種区は施肥窒素成分量を 0.3 kg/a とした。水稻育苗箱 1 箱当たり 30 g を播種し、同一のハウスで中苗を養成して、普通期区と同一日に条間 33.5 cm × 株間 30.0 cm で 1 株 1 本を手植えた。生育調査には各区 10 株を供試した。収量調査には 2 条目と 3 条目の連続 20 株、計 40 株を用いた。系統採種区では 1 区 3.3 m² (32.8 株) を用



第1図 栽培試験および現地調査地点.

1. 新潟市西蒲区巻甲, 新潟県農業大学校.
2. 長岡市小国町森光.
3. 岩船郡関川村平内新.
4. 新発田市下羽津, 新発田市農業研修センター.
5. 佐渡市沢根五十里.
6. 岩船郡関川村滝原.
7. 新潟市西区新通, 新潟大学農学部附属フィールド科学教育研究センター新通ステーション.

いた.

現地調査は, 長岡市 (小国町森光地内圃場, 以下, 長岡と略), 岩船郡関川村 (平内新地内圃場, 以下, 関川と略), 新発田市 (新発田市農業研修センター内圃場, 以下, 新発田と略) および佐渡市 (沢根五十里地内圃場, 以下, 佐渡と略) で行った. なお, 長岡では3~5本/株の手植え, 他の3か所は機械移植, 関川はアイガモによる除草と鶏糞および米ぬか施用による無農薬無化学肥料栽培であった.

長岡では, 圃場の取水口側から排水口側に向かって生育の勾配が見られたため, 水口生育遅延区, 水口区, 水尻区の3区を設定し, 関川と新発田では, 生育中庸な地点を調査区とした. 各区10株の生育を調査し, 成熟期に1区3.3 m²を収穫して, 収量, 成分および餅加工特性を調査した. ただし, 佐渡では生育調査はしなかった.

(2) 2007年度栽培試験

農大では系統採種栽培を行い, 同じ新潟市内の新通に調査圃場 (新潟大学農学部附属フィールド科学教育研究センター新通ステーション: 新潟市西区, 以下, 新通と略) を設置した. また, 関川は前年よりやや標高が高い圃場 (関川村滝原地内, 以下, 関川滝原と略) で鶏糞と米ぬか施用による無農薬無化学肥料栽培を行った.

施肥窒素成分量は長岡と新発田で前年度より0.2 kg/a多くした. 栽植密度は同一であった. 移植時期は, 新発田では前年より1日早く, その他の調査区では4~19日遅かった. 長岡では3~5本/株, 農大と新通では1本/株で中

第1表 耕種概要.

年次	試験区および 調査区		施肥窒素成分量 (kg/a)	栽植密度 (株 / m ²)	播種日 (月 / 日)	移植日 (月 / 日)
2006 ¹⁾	農大	普通期 標肥	0.5	19.9	4/16	5/13
		多肥	1.0	19.9	4/16	5/13
		晩期 標肥	0.5	19.9	4/30	5/27
		多肥	1.0	19.9	4/30	5/27
	系統採種		0.3	10.0	4/16	5/13
	現地	長岡	0.4	14.3	4/27	5/21
		関川	0.4	14.2	5/ 2	5/21
		新発田	0.6	18.2	5/ 9	5/26
		佐渡	0.8	15.9	4/11	5/11
	2007 ²⁾	長岡	0.6 (+ 0.2)	14.3	5/19 (+ 22)	6/19 (+ 19)
関川滝原		0.4 (± 0.0)	14.2	5/ 8 (+ 6)	5/25 (+ 4)	
新発田		0.8 (+ 0.2)	18.2	5/ 9 (± 0)	5/25 (− 1)	
佐渡		0.8 (± 0.0)	15.9	4/29 (+ 18)	5/29 (+ 18)	
農大		0.3 (± 0.0)	10.0	4/25 (+ 9)	5/19 (+ 6)	
新通		0.6	16.0	5/14	6/10	

¹⁾ 農大: 新潟市西蒲区, 新潟県農業大学校内圃場. 長岡: 長岡市小国町森光地内圃場, 関川: 岩船郡関川村平内新地内圃場, 新発田: 新発田市農業研修センター内圃場, 佐渡: 佐渡市沢根五十里地内圃場. 農大および長岡は手植え, それ以外は機械移植, 関川はアイガモによる除草と鶏糞および米ぬか施用による無農薬無化学肥料栽培.

²⁾ 関川は関川村滝原地内圃場. 鶏糞および米ぬか施用による無農薬無化学肥料栽培. 農大: 新潟県農業大学校における系統採種栽培. 新通: 新潟大学農学部附属フィールド科学教育研究センター新通ステーション (新潟市西区) 圃場, 1本/株手植え. 括弧内の数字は前年との差を示す.

第2表 主要生育ステージと登熟気温 (2006年).

試験区		最高分げつ期 (月 / 日)	幼穂形成期 (月 / 日)	出穂期 (月 / 日)	登熟気温 ¹⁾ (℃)	成熟期 (月 / 日)
農大	普通期 標肥	7/ 8	7/ 7	8/ 3	27.4	9/11
	多肥	7/ 8	7/ 7	8/ 3	27.4	9/11
	晩期 標肥	7/22	7/14	8/ 9	27.0	9/19
	多肥	7/22	7/14	8/ 9	27.0	9/19
	系統採種	—	—	8/ 4	27.4	9/13
長岡	水尻区	7/15	7/12	8/ 6	28.0	9/16
	水口区	7/15	7/14	8/ 9	27.7	9/19
	水口生育遅延区	—	—	8/22	24.9	10/ 9
関川		—	7/20	8/15	26.0	9/23
新発田		7/15	7/20	8/14	26.0	9/23
佐渡		—	—	7/28	28.9	9/ 7

¹⁾ 登熟気温は出穂後 20 日間の日平均気温.

苗を手植えた. その他の調査区では稚苗あるいは中苗を 3~5 本 / 株で機械移植した.

2. 調査項目

(1) 登熟気温

米粒中の澱粉含量は開花 5 日後から直線的に増加し, 20 日頃に最大に達することから (Asaoka ら 1985), 圃場内の地上高 1 m に設置した温度測定データロガー (サーモクロン G タイプ, KN ラボラトリーズ) で気温を測定し, データ解析専用ソフト (Thermo Manager Ver.1.07) を用いて, 出穂後 20 日間の平均気温 (以下, 登熟気温と略) を求めた. なお, 佐渡と新通の登熟気温は, それぞれ近接する相川測候所と新潟地方気象台のデータを用いて算出した.

(2) 生育および収量

主要生育ステージとして, 最高分げつ期, 幼穂形成期, 出穂期および成熟期を確認し, 成熟期に稈長, 穂長, 穂数を調査した.

収穫株の全重を秤量後, 脱穀, 粳摺して粗玄米重を秤量した. 粗玄米試料 200 g を試験用縦目段篩 (大屋丹藏製作所) で 7 分間振とうしたのち, 粒厚別に回収し各重量比を求めた. 粒厚 1.85 mm 以上の米粒を精玄米とし, 千粒重と精玄米重歩合を求め, 単位面積当たりの精玄米重を算出した. 精玄米の水分を測定後, 千粒重と精玄米重を水分 15% に換算した.

(3) 玄米成分

精玄米試料をサイクロンサンプルミル (UDY 社) で粉碎し, 近赤外分光分析計 (6250HON, ニレコ社) により, 玄米タンパク質含有率を測定した.

総ポリフェノール量は Folin-Ciocalteu 法 (金谷 2006) により定量し, 没食子酸相当量として求めた. 試料の調整法は次の通りであった: 粉碎玄米 1 g に 80% エタノール 7 ml を加え 10 分間振とう後, 遠心分離 (10000 × g, 5 分) して上澄みを分取, 沈殿にさらに 80% エタノールを加えて

同様の抽出操作を 2 回繰り返し, 得られた上澄みを合わせ, 80% エタノールで 25 ml に定容し, これを総ポリフェノールの定量に使用した.

(4) 餅加工特性

餅生地硬化性 (以下, 餅硬化性と略) は, 裁断, 成形に要する時間の長短を規定する最も重要な餅加工特性の一つであることから (斉藤 1987), Kobayashi ら (2003) の方法により, 粉碎玄米試料より餅生地を調製し, その硬化性を調査した. 次に, 小林ら (2003) の方法に従い, ラピッド・ビスコ・アナライザー (RVA-3D, ニューポートサイエンティフィック社, 以下 RVA と略) を用いて, 餅硬化性と相関の高い糊化開始温度およびピーク温度 (小林 2000, 岡本・根本 1998), さらに澱粉の粘度特性値として, 最高粘度, 最低粘度, 最終粘度, ブレークダウンおよびコンシステンシーを求めた.

3. 統計処理

統計処理にはエクセル統計 2006 (社会情報サービス社) を用いた. 2006 年の農大における栽培試験では, 移植時期と施肥窒素成分量について, 二元配置の分散分析を行った. ただし, 全重, 精玄米重歩合, 精玄米重および RVA 熱糊化特性は反復がないため, 繰り返しなしの条件で処理した. また, 現地調査の統計解析では Scheffe 法による多重比較を行った.

結 果

1. 2006 年度栽培試験および現地調査

(1) 生育経過および登熟気温

第 2 表に農大での栽培試験と現地栽培における「紫宝」の主要生育ステージと登熟気温を示した.

農大における晩期区の生育は, 普通期区に比べ, 最高分げつ期頃までは 2 週間程度の遅れであったが, 幼穂形成期以降は 1 週間程度の差となり, 出穂期と成熟期は普通期区

第3表 栽培試験および現地調査における主要農業形質（2006年）.

(a) 新潟県農業大学校内圃場¹⁾.

試験区		稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	全重 (kg/a)	精玄米重 歩合 (%)	精玄米重 (kg/a)	千粒重 (g)
普通期	標肥	85	20.4	276	114.3	84.7	37.0	21.2
	多肥	94	20.0	344	119.5	81.6	40.5	20.9
晩期	標肥	84	20.4	249	110.9	84.3	34.9	22.0
	多肥	89	20.4	326	125.3	79.6	36.7	21.7
移植期 (A)		**	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	**
施肥量 (B)		**	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	**
交互作用 (A×B)		n.s.	n.s.	n.s.	—	—	—	n.s.

(b) 現地調査圃場²⁾.

調査区		稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	全重 (kg/a)	精玄米重 歩合 (%)	精玄米重 (kg/a)	千粒重 (g)
長岡	水尻区	84 bc	19.6 a	202 a	96.9	86.3	32.8	20.9 e
	水口区	87 b	19.1 a	182 a	92.8	92.5	32.9	22.2 b
	水口生育遅延区	98 a	19.4 a	184 a	79.3	81.6	20.3	21.4 d
関川		80 c	20.7 a	182 a	85.8	91.8	25.9	21.9 c
新発田		74 d	19.2 a	206 a	92.9	95.8	34.9	22.6 a
佐渡		—	—	—	—	97.0	48.0	21.3 d

¹⁾ ** は1%水準で有意差あり. n.s. は有意差なし (二元配置の分散分析法による. 稈長, 穂長および穂数の全体の自由度は39, 千粒重は3反復調査で全体の自由度は11, 全重, 精玄米重歩合, 精玄米重は繰り返しなしで全体の自由度は3. 精玄米重歩合は逆正弦変換後).

²⁾ 異なる英小文字間には Scheffe 法による多重比較で5%水準の有意差あり.

が8月3日, 9月11日, 晩期区が8月9日, 9月19日であった. 登熟気温は普通期区が27.4℃, 晩期区が27.0℃であった.

現地栽培における「紫宝」の出穂期は, 佐渡の7月28日が最も早く, 長岡水口生育遅延区の8月22日が最も遅かった. 登熟気温は佐渡で28.9℃, 長岡水口生育遅延区では24.9℃であった. 成熟期は佐渡の9月7日が最も早く, 長岡水口生育遅延区では10月9日と約1か月遅く, 調査区間における生育と登熟条件の差異は顕著であった (第2表).

(2) 成熟期の生育および収量

第3表aに農大の栽培試験における「紫宝」の主要農業形質を示した. 稈長と穂数は, 晩期区より普通期区, 標肥区より多肥区で有意に大きく, 千粒重にはその逆の傾向が見られた. 他の形質では有意な差は認められず, 交互作用にも有意性は認められなかった.

第3表bに現地栽培の調査結果を示した. 現地では稈長の差異が顕著であった. 長岡では生育の遅延に伴って稈長が長くなり, 水尻区の84 cmに対して, 水口生育遅延区では98 cmとなった. 新発田では稈長が極端に短く74 cmであった. 穂長と穂数については調査区間で有意な差は認められなかった. 精玄米重歩合と精玄米重は長岡水口生育遅延区が最も低く, それぞれ81.6%, 20.3 kg/aであったのに対して, 佐渡の精玄米重歩合は97.0%と高く, 精玄米

重も48.0 kg/aを記録した. 千粒重は新発田が22.6 gと最も重く, 調査区間で最大1.7 gの差があった.

(3) 玄米成分および餅加工特性

第4表aに農大の栽培試験における「紫宝」の玄米成分と餅加工特性の分析結果を示した. 玄米タンパク質含有率は標肥区より多肥区で高かったが, 施肥量による差異は普通期区でより顕著であり, 分散分析の結果では, 移植期と施肥量の間に有意な交互作用があった. ポリフェノール含量は標肥区より多肥区, 普通期区より晩期区で高かった. 餅硬化性は多肥区で高く, 晩期区で低い傾向を示したが, その差は有意ではなかった. しかし, 施肥量に対する反応は栽培時期によって異なり, 晩期区ではその差が小さかった. 糊化開始温度は普通期区より晩期区, 標肥区より多肥区で低かった. 粘度特性は統計的に有意ではなかったが, 標肥区よりも多肥区で高い傾向を示した (第4表a).

第4表bに現地栽培の調査結果を示した. 長岡水口生育遅延区の玄米タンパク質含有率とポリフェノール含量が他区に比べて有意に高かった. この区のポリフェノール含量は佐渡の2倍以上であった. 第2図に示したように, 長岡水口生育遅延区の玄米は果皮の着色むらが少なく, 色沢も良好で外観品質に優れた. 一方, 餅硬化性とRVAによる熱糊化特性は長岡水口生育遅延区が最も低く, 佐渡が最も高い値を示した (第4表b).

第4表 栽培試験および現地調査における玄米成分と餅加工特性 (2006年).

(a) 新潟県農業大学校内圃場¹⁾.

試験区		玄米成分		餅加工特性							
		タンパク質 含有率 (%)	ポリフェノール 含量 ($\mu\text{mol/g}$)	餅硬化性 ²⁾ (N)	RVA 熱糊化特性 ²⁾					ブレーク ダウン (RVU)	コンシス テンシー (RVU)
					糊化開始 温度 (℃)	ピーク温度 (℃)	最高 粘度 (RVU)	最低 粘度 (RVU)	最終 粘度 (RVU)		
普通期	標肥	6.5	5.9	35.3	69.3	83.7	108	61	84	47	23
	多肥	7.5	7.8	40.2	68.0	81.5	176	89	132	87	43
晩期	標肥	6.7	10.4	33.3	66.2	81.4	124	73	105	51	32
	多肥	7.1	14.1	36.3	65.8	80.2	175	85	124	90	39
移植期 (A)		*	**	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
施肥量 (B)		**	**	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.
交互作用 (A × B)		**	n.s.	**	—	—	—	—	—	—	—

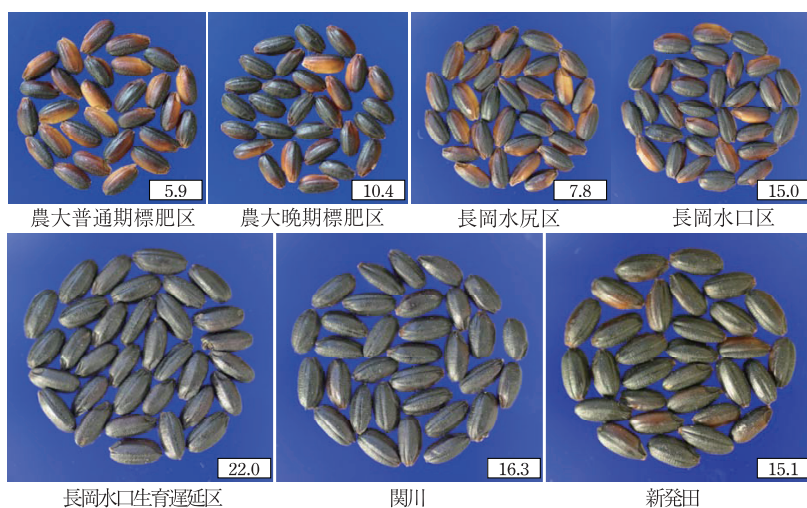
(b) 現地調査圃場³⁾.

試験区		玄米成分		餅加工特性							
		タンパク質 含有率 (%)	ポリフェノール 含量 ($\mu\text{mol/g}$)	餅硬化性 ²⁾ (N)	RVA 熱糊化特性 ²⁾					ブレーク ダウン (RVU)	コンシス テンシー (RVU)
					糊化開始 温度 (℃)	ピーク温度 (℃)	最高 粘度 (RVU)	最低 粘度 (RVU)	最終 粘度 (RVU)		
長岡	水尻区	6.2 b	7.8 c	42.2 b	67.1	80.0	178	85	123	93	38
	水口区	6.2 b	15.0 b	37.3 c	65.4	78.8	178	84	123	94	39
	水口生育遅延区	7.4 a	22.0 a	26.5 c	62.4	76.0	170	77	112	93	35
関川		6.0 bc	16.3 b	28.4 c	63.0	77.2	175	85	121	90	36
新発田		6.3 b	15.1 b	31.4 c	62.9	77.2	178	85	123	93	38
佐渡		5.9 b	9.9 c	53.0 a	66.2	80.9	224	101	148	123	47

¹⁾ *, ** はそれぞれ 5, 1%水準で有意差あり. n.s. は有意差なし (二元配置の分散分析法による. タンパク質含有率は2反復調査で全体の自由度は7, ポリフェノール含量は3反復調査で全体の自由度は11, 餅硬化性は5反復調査で全体の自由度は19, RVA熱糊化特性値は繰り返しなしで全体の自由度は3, タンパク質含有率は逆正弦変換後).

²⁾ 餅硬化性はKobayashiら(2003)に従い, 5 $^{\circ}\text{C}$ で6時間冷蔵した餅生地をテンシプレッサーで測定, 数値が高いほど餅硬化性に優れる. 単位はNewton (1N=0.10197kgf). RVUはラピッド・ビスコ・アナライザーの測定単位.

³⁾ 異なる英小文字間にはScheffe法による多重比較で5%水準の有意差あり.



第2図 玄米の外観品質 (2006年産米).

図中の数字はポリフェノール含量 ($\mu\text{mol/g}$) を示す.

第5表 ポリフェノール含量, 餅硬化性および精玄米重と栽培条件との相関 (2006年).

	施肥窒素 成分量	栽植密度	出穂期	登熟気温	稈長	穂長	穂数
ポリフェノール含量	-0.286	-0.487	0.863**	-0.761*	0.169	-0.331	-0.542
餅硬化性	0.445	0.030	-0.893***	0.928***	0.059	-0.076	0.465
精玄米重	0.657*	0.486	-0.919***	0.827**	-0.196	0.171	0.746*

n=10, ただし, 稈長, 穂長, 穂数は佐渡を除く.

*, **, *** はそれぞれ 5, 1, 0.1%水準で相関に有意性あり.

第6表 2007年の出穂, 成熟期, 登熟気温および主要農業形質¹⁾.

調査区	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	登熟気温 (℃)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	全重 (kg/a)	精玄米重 歩合(%)	精玄米重 (kg/a)	千粒重 (g)
水尻区	8/14(+8)	9/20(+4)	25.9(-2.1)	68(81)	22.4(114)	191(95)	67.2(69)	85.0(102)	11.6(35)	19.8(95)
長岡 水口区	8/17(+8)	9/23(+4)	25.4(-2.3)	68(78)	22.4(117)	211(116)	74.5(80)	79.3(86)	10.6(32)	19.8(89)
水口生育遅延区	8/27(+5)	10/13(+4)	24.9(±0.0)	87(89)	20.6(106)	170(92)	62.5(80)	79.0(97)	15.6(77)	21.1(99)
関川滝原	8/13(-2)	9/15(-4)	24.9(-1.1)	83(104)	19.9(96)	203(112)	82.5(97)	83.0(90)	20.0(77)	20.7(95)
新発田	8/15(+1)	9/18(-5)	25.7(-0.3)	81(109)	21.7(110)	195(95)	118.7(128)	90.0(94)	42.7(122)	22.0(97)
佐渡	8/9(+12)	9/20(+21)	27.5(-1.4)	-	-	-	-	89.2(92)	46.0(96)	20.6(97)
農大	8/8(+4)	9/15(+2)	27.2(-0.2)	85(93)	21.8(94)	187(103)	-	-	-	21.9(102)
新通	-	-	25.5	-	-	-	-	69.2	-	21.5
平均	8/15(+6)	9/23(+4)	25.9(-1.1)	79(92)	21.5(106)	193(102)	81.1(91)	84.3(93)	24.4(73)	20.8(96)

¹⁾ 括弧内の数字は前年との差および前年との比率(%)を示す. ただし, 新通のデータは除外.

(4) ポリフェノール含量, 餅硬化性および収量と栽培条件との関係

農大の栽培試験では登熟気温の差が0.4℃にとどまったこと, 現地栽培では施肥窒素成分量の差が小さかったことから, 農大での栽培試験と現地調査区的全データを用いて, ポリフェノール含量, 餅硬化性および精玄米重と栽培条件との相関を調べた. 第5表にその結果を示した.

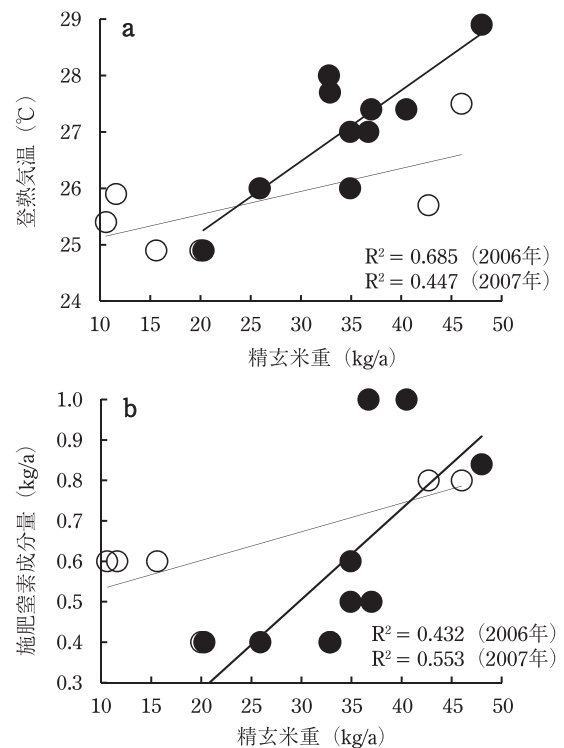
ポリフェノール含量は, 出穂期と有意な正の, 登熟気温とは有意な負の相関を示した. 餅硬化性は, 出穂期と有意な負の, 登熟気温とは有意な正の相関を示した. 精玄米重は, 施肥窒素成分量, 登熟気温および穂数と有意な正の, 出穂期と有意な負の相関を示した(第5表).

この結果に基づき, 2007年の現地栽培では, 各調査区とも収量を確保するため施肥窒素成分量を増やすとともに, 登熟気温を低下させてポリフェノール含量を高めるため播種・移植の時期を遅らせた.

2. 2007年度栽培試験

(1) 生育および収量

第6表に2007年の現地栽培における出穂・成熟期, 登熟気温, 成熟期の生育と収量を示した. 新発田を除くすべての試験区において, 前年より播種・移植を遅らせたため(第1表), 出穂・成熟期は遅れ, 登熟気温は約1.0℃低くなった. しかし, 生育遅延により, 周辺圃場より葉色が濃く推移した長岡ではウンカによる虫害, 前年よりやや標高の高い関川滝原では8月初旬から葉いもち, 中旬から穂い



第3図 精玄米重と登熟気温および施肥窒素成分量との関係.

●: 2006年, ○: 2007年.

もちによる病害, 佐渡ではコブノメイガによる虫害が多発生した. それぞれ緊急的に薬剤散布を行ったが, 長岡水尻区, 水口区および関川滝原では十分な防除効果が得られな

第7表 2007年の玄米成分と餅加工特性¹⁾.

試験区	玄米成分		餅加工特性							
	タンパク質 含有率	ポリフェ ノール含量	餅硬化性	RVA 熱糊化特性						
				糊化開始 温度	ピーク 温度	最高 粘度	最低 粘度	最終 粘度	ブレイク ダウン	コンシス テンシー
	(%)	($\mu\text{mol/g}$)	(N)	($^{\circ}\text{C}$)	($^{\circ}\text{C}$)	(RVU)	(RVU)	(RVU)	(RVU)	(RVU)
水尻区	6.4(103)	8.8(113)	32.4(77)	64.6(96)	77.5(98)	132(74)	65(76)	91(74)	67(72)	26(68)
長岡 水口区	6.3(102)	12.1(81)	34.3(92)	63.8(98)	77.1(98)	142(80)	67(80)	93(76)	75(80)	26(67)
水口生育遅延区	6.9(93)	28.4(129)	23.5(89)	62.3(100)	77.4(103)	166(98)	73(95)	107(96)	93(100)	34(97)
関川滝原	6.4(107)	12.1(74)	26.5(93)	62.8(100)	77.0(100)	162(93)	74(87)	106(88)	88(98)	32(89)
新発田	6.8(108)	19.9(132)	33.3(106)	63.1(100)	78.1(101)	164(92)	80(94)	116(94)	84(90)	36(95)
佐渡	6.8(115)	15.3(155)	37.3(70)	64.0(97)	78.3(97)	165(74)	77(76)	112(76)	88(72)	35(74)
農大	6.5(97)	14.7(165)	37.8(92)	64.2(96)	79.3(97)	173(92)	86(93)	127(94)	88(91)	41(95)
新通	7.2	16.8	41.7	63.5	77.7	204	89	130	115	41
平均	6.6(104)	15.9(121)	32.2(88)	63.5(98)	77.8(99)	157(86)	75(86)	107(85)	83(86)	33(84)

¹⁾ 括弧内の数字は前年との比率 (%) を示す。なお、新通のデータは除外。単位は第4表の脚注と同じ

かった。

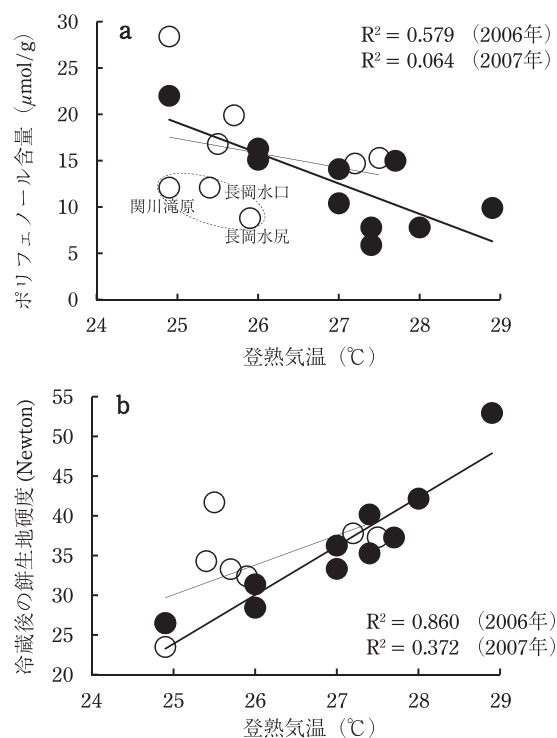
2006年と農業形質を比較したところ、稈長は関川滝原と新発田では前年よりやや長かったが、他区はいずれも前年を下回った。穂長は前年並みからやや長め、穂数はほぼ前年並み、全重、精玄米重歩合および千粒重は前年を下回る傾向が認められた。精玄米重は新発田と佐渡を除き、前年を大きく下回った(第6表)。

第3図に精玄米重と登熟気温および施肥窒素成分量との関係について、2か年の結果を併せて示した。施肥窒素成分量と登熟気温は、両年とも精玄米重との間に正の相関が認められたが、特異的な病害・虫害の発生した2007年は精玄米重歩合および千粒重の低下が認められ、施肥窒素成分量の増加および登熟気温の上昇に伴う増収程度は2006年より低下した(第3図a, b)。

(2) 玄米成分および餅加工特性

第7表に玄米成分と餅加工特性の調査結果を示した。玄米タンパク質含有率は前年よりやや高い傾向を示し、関川滝原、新発田および佐渡において、その傾向が顕著であった。ポリフェノール含量は虫害・病害が発生した長岡水口区と関川滝原で前年を下回ったが、長岡水口生育遅延区、新発田、佐渡および農大では前年を大きく上回り、全体では前年より約20%増加した。一方、餅硬化性は新発田を除くすべての試験区で前年より低下した。RVAによる熱糊化特性は糊化開始温度とピーク温度はほぼ前年並みの値であったが、粘度特性はいずれの項目も前年を15%程度下回った(第7表)。

第4図に登熟気温とポリフェノール含量および餅硬化性との関係について、2か年の結果を併せて示した。登熟気温とポリフェノール含量は、2006年には有意な負の相関を示したが、2007年には有意性が認められなかった。しかし、虫害・病害が多発生した長岡水口区、水尻区および関川滝原を除くと、両年を通じて、登熟気温が低いほどポリフェ



第4図 登熟気温とポリフェノール含量および餅硬化性との関係。
●：2006年，○：2007年，長岡水口，水尻および関川滝原
では、病害虫の被害が多発生。

ノール含量は高くなる傾向が見られた(第4図a)。登熟気温と餅硬化性は両年とも正の相関を示したが、2007年は2006年に比べ、登熟気温の上昇に伴う餅生地硬化の割合が低く、相関も低かった(第4図b)。

考 察

「紫宝」の育成地(新潟県作物研究センター、長岡市)における生産力検定試験の成績によると、施肥窒素施用量

0.5 kg/a, 栽植密度 19.6 株 / m², 4 本 / 株, 5 月初旬の中苗手植えて, 精玄米重は 49.8 kg/a と報告されている (小林 2004)。しかし, 本研究では 2 か年を通じてその値を上回る区はなかった。育成地の成績では, 収量構成要素のうち, 穂数は 388 本 / m², 千粒重は 23.3 g であり, 本研究のすべての区がこの値を下回っていることから, 穂数が少なく千粒重が軽かったことが低収の要因と推察される。それに加え, 長岡では型枠を用いた手植えのため栽植密度が低いこと, 新発田では地力の低い砂質土壌であるため生育量自体が小さいこと, 関川ではアイガモ除草を考慮した疎植栽培とアイガモによる稲体への直接的な損傷, 稲体への米ぬかの影響等が考えられた。さらに, 新潟県の主力品種である「コシヒカリ」との作業重複および混種事故等を避けるため, 栽培地全域で「紫宝」を遅植えしていることも要因の一つに加えられる。

2 か年の栽培試験および現地調査の結果では, 多肥により精玄米重は増加する傾向があることから (第 3 図 b), 施肥窒素成分量の増加が「紫宝」栽培における増収技術として有効と考えられる。農大での多肥栽培を含め, 現地において実用上問題になるような倒伏は見られなかったことから, 窒素成分量として 1.0 kg/a 程度までの施用は可能と判断される。また, 精玄米重への寄与が大きい穂数 (第 5 表) を増加させるため, 水稲移植機の設定限界 (24 株 / m²; 坪 80 株) まで栽植密度を高めることも技術的には可能であり, 有効と考えられる。

一方, 玄米の外観品質に優れ, ポリフェノール含量の高い「紫宝」の生産には冷涼な登熟条件が必須である (第 5 表, 第 2 図, 第 4 図 a)。実際のところ, 2007 年の栽培試験では, 前年より播種・移植を遅らせたことにより出穂が遅れ, 登熟気温が低下し, ポリフェノール含量は高まった。しかし, 栄養生長期間の短縮による生育量の不足と生育遅延に起因する特異的な病害虫の発生により, 精玄米重は 2006 年をさらに下回り, ポリフェノール含量も 20% 程度の増加にとどまった。2007 年の長岡と関川滝原は, 登熟気温は前年以下であったが, ウンカによる吸汁といもち病害により, 玄米果皮への色素転流が大きく阻害されたと考えられる。

2006 年の農大における栽培試験より, 施肥窒素成分量の増加は, 「紫宝」の収量性およびポリフェノール含量の向上に効果的と考えられるが, 一方で玄米タンパク質含有率の増加につながる (第 4 表 a)。また, 長岡生育遅延区のように, 栽培条件によって特異的に玄米タンパク質含有率が高まる場合がある (第 4 表 b)。米粒中のタンパク質含有率が増加すると, 米菓の膨化が劣り (吉井・有坂 1994), 切り餅の食味や品質が低下することから (諸橋・江川 2000), 今後, 加工適性を低下させないタンパク質含有率の基準値と施肥窒素成分量を規定する必要がある。

また, 澱粉の粘度特性は, 施肥窒素成分量の増加により高まる傾向を示し (第 4 表 a), 栽培年次や栽培条件による変動も認められた (第 4 表 b, 第 7 表)。糯米における最高

粘度は, 澱粉が最も膨潤した状態を示す特性値であり, 最低粘度は糊化時の米粉ゲルの強度を, 最終粘度は米粉ゲルの老化度を示す特性値である (有坂 1994)。したがって, 粘度特性が高い場合には澱粉の膨潤能は高く, ゲル強度は強く, 老化は早い。逆に低い場合はそれと正反対の特性を示すことから, 今後, 加工時の加水量や加熱時間の調整といった対策を検討する必要がある。

高田ら (2004) によると, 紫黒糯米品種「朝紫」では, ポリフェノール含量と抗酸化能の高い玄米を多く得るためには, 登熟気温 (出穂後 35 日間の平均気温) が 25.0℃ 以下となるような移植時期を設定することが重要とされる。本研究では, 登熟気温を出穂後 20 日間の平均気温としたが, 35 日間で見た場合, 最もポリフェノール含量が高かった長岡水口生育遅延区の登熟気温は, 2006 年が 22.9℃, 2007 年が 24.0℃ であった。したがって, 長岡の「紫宝」栽培圃場全体でこの温度条件を満たすためには, 8 月 20～25 日以降に出穂させるような栽培時期を設定する必要があるが, これまで述べてきたように, 出穂期の遅延に伴う収量性の低下を補う施肥水準と栽植密度などの栽培条件の設定が不可欠である。

また, 餅加工において最も重要な特性である餅硬化性は, 登熟気温が低いほど低下し (第 5 表, 第 4 図 b), 登熟気温が低いと餅硬化性に及ぼす施肥量の影響も小さくなる (第 4 表 a)。したがって, 登熟気温が低い条件では, 施肥量の調整によって餅硬化性の低下を補うことは難しいと考えられ, 登熟気温を低く維持して「紫宝」の玄米の外観品質とポリフェノール含量を向上させれば, その収量性と餅硬化性は低下する可能性が高いという知見をあらかじめ生産現場に十分周知する必要がある。ただし, 餅生地が硬く, いつまでも柔らかいという特性は, 生菓子など, 伝統的な和菓子製品の日持ち性を向上させるためには重要であり, このような特性を活かした加工利用を進めることが大切である。

本研究では, 「紫宝」の農業形質や玄米成分, 餅加工特性に顕著な地域間差異が認められ, 病害虫の種類や被害程度も多様であった。これは中山間地域の地形が複雑で気象に微妙な変化を生じやすいためと考えられる (前川 2001)。このような地域特性に加え, 農法, 例えば健康食品への利用を前提とした減農薬・減化学肥料栽培や有機栽培 (アイガモ農法や再生紙マルチ移植等) では, 化学肥料や化学合成農薬を主体とする平坦地での一般的な栽培とは生育が異なる。

したがって, 中山間地域の農業振興を目的とする「紫宝」栽培では, 一般米品種のような全県一律の栽培指針だけでは対応が難しく, 対象地域の気象条件や農法に応じて, 施肥窒素成分量や栽植密度, 栽培時期等をきめ細かく設定する必要がある。玄米の外観品質に優れ, ポリフェノール含量の高い「紫宝」を新潟県の中山間地域で安定的に生産するためには, 生育遅延に伴う生育量不足と病害虫への対応

技術を確立することが特に重要な課題である。

今後、「紫宝」の基本的な栽培指針に加え、対象地域での栽培に適した個別指針を早急に整備するとともに、現地での突発的な障害発生や地域特有の課題に迅速に対応するため、研究と普及組織の双方が現場に出向き、生産者や実需者と一体となって課題解決に取り組むきめ細やかな指導体制を早急に構築しなければならない。

謝辞：本論文の作成にあたり、前筑波大学大学院教授横尾政雄博士、県立広島大学教授猪谷富雄博士に有益なご助言と原稿の校閲を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

引用文献

- Asaoka, M., K. Okuno, T. Sugimoto and H. Fuwa 1985. Developmental changes in the structure of endosperm starch of rice (*Oryza sativa* L.). *Agric. Biol. Chem.* 49 : 1973–1978.
- 有坂将美 1994. 米菓製造における澱粉の性質評価に関する研究. 新潟食品研報特別号. 27–34.
- 猪谷富雄・杉戸政之・玉置雅彦 1998. 赤米および紫黒米における色素発現の推移と温度の影響. 日作紀 64(別 2): 32–33.
- 猪谷富雄 2000. 事例で見る古代米栽培の実際, “赤米・紫黒米・香り米—「古代米」の品種・栽培・加工・利用—”, 農山漁村文化協会, 東京. 68–112.
- 猪谷富雄・建本秀樹・岡本実剛・藤井一範・武藤徳男 2002. 有色米抗酸化活性とポリフェノール成分の品種間差異. 日作紀 49 : 540–543.
- 金谷建一郎 2006. ポリフェノール類・総量, 日本食品科学工学会・食品分析研究会編, 新食品分析法 II. 光琳, 東京. 68–79.
- 木村俊之・山口誠之・鈴木雅博・山岸賢治・新本洋士 2002. 色素米のラジカル消去能. 東北農業研究 55 : 271–272.
- 小林明晴・清水恒・黒田昌治 2001. 紫黒米の登熟期の平均気温と色素含量の関係. 北陸作報 36 : 33–35.
- Kobayashi, K., K. Ishizaki, Y. Kawai, T. Matsui, H. Kasaneya and T. Hoshi 2003. Development of rapid measuring method on rice-cake hardness in waxy rice. *Breed. Sci.* 53 : 169–175.
- 小林和幸 2000. 微量核酸熱変性測定システムによる水稻糯品種の餅硬化性評価. 新潟農総研報 2 : 1–7.
- 小林和幸・合田梢・河合由起子・松井崇晃・重山博信・石崎和彦・西村実・山元皓二 2003. イネ糯誘発突然変異系統の餅加工特性. 育種学研究 5 : 45–51.
- 小林和幸 2004. 新潟県で育成した新形質米品種とその普及状況. 育種学研究 6 : 215–224.
- 小林和幸・福山利範・平泉光一 2008. マーケティング手法の導入による水稻品種の評価とその育種の意義—新潟県における紫黒糯米品種「紫宝」への価格感度測定法の適用事例—. 育種学研究 10 : 15–22.
- Ling W.H., Q.X. Cheng, J. Ma and T. Wang 2001. Red and black rice decrease atherosclerotic plaque formation and increase antioxidant status in rabbits. *J. Nutr.* 131 : 1421–1426.
- Ling W.H., L.L. Wang and J. Ma 2002. Supplementation of the black rice outer layer fraction to rabbits decreases atherosclerotic plaque formation and increases antioxidant status. *J. Nutr.* 132 : 20–26.
- 前川俊清 2001. 条件不利と言われる中国地方の地理的特徴の有利条件. 荒木幹雄編著, 中山間地域の再生と持続的発展—中国地方を中心とした研究と提言—. 養賢堂, 東京. 27–50.
- 三輪章志 2007. 新形質米の特性を活かした商品開発. 日作紀 76(別2): 324–325.
- 諸橋敬子・江川和徳 2000. 糯米の性状と餅の食味品質. 新潟食品研報 34 : 11–13.
- 岡本和之・根本博 1998. 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もつ陸稲品種「関東糯172号」. 日作紀 67 : 492–497.
- Oki, T., M. Masuda, S. Nagai, M. Takeichi, M. Kobayashi, Y. Nishiba, T. Sugawara, I. Suda and T. Sato 2005. Radical-scavenging activity of red and black rice. In Toriyama, T., K.L. Heong and B. Hardy eds., *Rice is Life: scientific perspectives for the 21st century*. Proceedings of the world rice research conference, International Rice Research Institute, Manila 256–259.
- 斎藤昭三 1987. 米の加工—新潟県における米研究を中心として. 農水省農研センター編, 稲と米 生産から流通まで. 農林水産技術情報協会, 東京. 74–129.
- 須田郁夫 2002. アントシアニン・プロアントシアニジン含有農作物の機能性と利用. 農林水産技術研究ジャーナル 25(7): 33–35.
- 高田聖・溝渕正晃・坂田雅正・岩崎昭雄・島本文子 2004. 有色米の特性評価と安定栽培技術. 高知農技セ研報 13 : 89–102.
- Toyokuni S., T. Itani, Y. Morimitsu, K. Okada, M. Ozeki, S. Kondo, K. Uchida, T. Osawa, H. Hiai and T. Tashiro 2002. Protective effect of colored rice over white rice on fenton reaction-based renal lipid peroxidation in rats. *Free Rad. Res.* 36(5): 583–592.
- 山口誠之・横上晴郁・片岡知守・中込弘二 2003. 有色素米品種「朝紫」「紅衣」の静菌作用とラットでの血糖値上昇抑制作用. 育種学研究 5(別 1): 154.
- 吉井洋一・有坂将美 1994. うち米の理化学的性質と米菓の膨化性. 日食工誌 41 : 747–754.

Cultivation Methods for Improvement of Yield, Polyphenol Content and Characteristics for Rice Cake Processing of Black-kerneled Glutinous Rice Cultivar ‘Shiho’ in Niigata Prefecture : Kazuyuki KOBAYASHI¹⁾, Toshio JOH²⁾, Yoshihiko TAKAHASHI²⁾ and Toshinori FUKUYAMA²⁾ (¹⁾*Niigata Agr. Res. Inst., Nagaoka, Niigata 940-0826, Japan;* ²⁾*Fac. of Agr., Niigata Univ.*)

Abstract : The black-kerneled glutinous rice cultivar ‘Shiho’ was recently released in Niigata Prefecture, but the relationships among yield, polyphenol content and characteristics for rice cake processing have not been discussed precisely. We carried out the cultivation experiment under different conditions at several locations in Niigata Prefecture in 2006 and 2007, and examined various agronomic characters and grain properties of ‘Shiho’. Higher yield of ‘Shiho’ was attained by increasing the number of panicles per unit area by heavy manuring and the higher temperature during the ripening period. The higher temperature during the ripening period also resulted in the superior characteristics for rice cake processing, however lower content of polyphenol. Thus, it is difficult to find an appropriate cultivation method for satisfying simultaneously both yield and grain characteristics of ‘Shiho’ in higher order. It should be announced previously to rice farmers and the rice cake processed food company that ‘Shiho’ with higher polyphenol content could result in lower yield and inferior characteristics for rice cake processing. It may be important to develop of products characterized by keeping softness for a long period. ‘Shiho’ cultivated in different areas in Niigata prefecture showed marked differences in agronomic traits, ingredient of kernel and characteristics for rice cake processing, and damage by various diseases and pests. The cultivation methods need to be improved for various climatic conditions and farming systems in the mountainous region.

Key words : Black-kerneled glutinous rice, Characteristics for rice cake processing, Cultivation methods, Polyphenol contents, Shiho, Temperature during the ripening period.
