

有色素米の栽培特性と機能性評価

総合農業技術センター¹・山梨大学²・株式会社はくばく³
石井利幸¹・廣瀬裕子²・内松大輔³・上野直也¹

Cultivation Characteristics and Evaluation of Physiological Functionalities of Colored-grain Rice

Yamanashi Prefectural Agricultural Technology Center¹, University of Yamanashi², Hakubaku Co.,Ltd³
Toshiyuki ISHII¹, Yuko HIROSE², Daisuke UCHIMATSU³, Naoya UENO¹

要 約

山梨県における有色素米の安定生産技術を確立するために、赤米、緑米、黄米について、それぞれの栽培特性と玄米外観品質から有望品種を選定し、赤米は、内容成分の抽出、定量分析から品種間差異を明らかにした。赤米は、「夕やけもち」が多収で、「西南赤糯137号」がプロアントシアニジン量を多含し、玄米外観品質に優れていた。緑米は、品種・系統の違いによって成熟期が異なり、「アクネモチ」は本県の早生種に相当し、「緑万葉」、「西海糯263号」、「緑米A」、「緑米B」が晩生種に相当することを明らかにした。玄米収量は、「緑万葉」が最も多く、次に「西海糯263号」が多収で、この2品種を有望とした。玄米外観品質は、品種・系統間に大きな違いは認められなかった。黄米は、系統により成熟期が異なり、「西海黄256号」が中間地向け、「むさしの20号」が平坦地向けとして有望であった。

Abstract

We aimed to establish a stable production technology of colored-grain rice in Yamanashi prefecture. We selected several promising varieties by each cultivation characteristics and the appearance quality of brown rice at red rice, green rice and yellow rice. Farther more, the varietal difference at red rice was obtained by the extraction of component and the quantitative analysis.

At red rice, “Yuyakemochi” excelled in high yielding and “Seinan akamochi 137” excelled in the large amount of proanthocyanidins and the appearance quality of brown rice. At green rice, it recognized the difference of the mature stage in tested varieties and lines. “Akunemochi” was classified as early variety, “Midorimanyo”, “Saikaimochi 263”, “Midorimai A”, and “Midorimai B” as late varieties in Yamanashi prefecture.

The yield of brown rice was the highest on “Midorimanyo” and the following was “Saikaimochi 256”. It seemed that the both varieties had excellent yield. There was no difference in tested varieties on the appearance quality of brown rice at green rice. At yellow rice, it recognized the difference of the mature stage between “Saikaiki 256” and “Musashino 20”. Therefore, it seemed that “Saikaiki 256” was the promising variety for cultivation at the middle ground and “Musashino 20” for cultivation at the flat field in Yamanashi prefecture.

1. 緒 言

有色素米は、ポリフェノールなどの有用成分を多く含み¹⁾、その機能性と特徴的な外観から高い関心を集めている。

本県においても、紫黒米「朝紫」が平成19年に奨励品種に採用され²⁾、平成21年度の作付面積は、26haで増加傾向にある（総合農業技術センター調べ）。有色素米は、主に白米と混合して炊飯するブレンド雑穀の素材として利用されており、有色素米取扱業者（以下、実需

者）からは「朝紫」の増産とともに、赤米や緑米等の他の有色素米の生産が求められている。そのため、これら有色素米の安定生産は、県内の水稻栽培農家の所得安定化に繋がるとともに、米流通産業の活性化が期待できる。

有色素米は、丈が長く倒れやすかったり、穂から籾が落ちやすいなど、栽培に適さない特徴が多くあったが、最近では品種改良が進み、栽培しやすい品種が育成されている³⁾。しかし、登熟期間の夜温が低く、気温の日較差が大きい本県の気象条件に適した品種や栽培技術に関

する知見は少ない。

そこで、本研究では赤米、緑米などについて、本県における栽培特性を明らかにし、早晚性、収量性、玄米品質などから優良品種を選定するとともに、色の濃さなどが均一で玄米外観品質が優れる栽培方法を明らかにする。また、生産された有色素米の機能性の評価を行い、新たな高付加価値農産物の創出を目指す。

本年度は、赤米、緑米および胚乳黄化米（以下、黄米）について、生育、収量などの栽培特性と玄米品質から色素別に有望品種を選定する。また、実需者から要望の高い赤米については、プロアントシアニジン含有量および抗酸化活性を中心に機能性に関する評価も行う。

2. 実験方法

2-1 有色素米の品種比較試験

試験は総合農業技術センター内圃場（甲斐市下今井、標高312m、灰色低地土、前作：水稲、1-4・1-5号田）で行った。供試品種として、赤米は「夕やけもち」、「西南赤糯137号」、「関東赤234号」の1品種・2系統を、緑米は「アクネモチ」、「緑万葉」、「西海糯263号」、「緑米A」、「緑米B」の2品種・3系統を、黄米は「西海黄256号」、「むさしの20号」の2系統を用いた。各品種の育成地や来歴等は表1の通りである。対照品種は、本県で唯一有色素米奨励品種となっている紫黒米「朝紫」とした。試験規模は1区あたり9㎡として、各区2反復で行った。5月7日に播種し、6月2日に22.2株/㎡（条間30cm、株間15cm）の栽植密度で、1株あたり3本を手植えした。施肥量は基肥としてN-P₂O₅-K₂O=5-5-5kg/10a、減数分裂期の追肥としてN-K₂O=2-2kg/10a相当量を化学肥料で施した。雑草および病害虫防除、水管理等は所内慣行の方法で行った。生育期間中に生育ステージ、倒伏程度、収穫後に玄米収量、収量構成要素および玄米外観品質を調査した。倒伏程度の基準は、観察により、0（無）、1（微）、2（小）、3（中）、4（大）、5（甚）の6段階とした。収穫は、2.7㎡を坪刈

りして、1週間程度の乾燥後、脱穀、脱芒、風力選別、粃すり、1.8mmのグレーダー選別を行った玄米を調査試料とした。玄米外観品質は、赤米と緑米で実需者の観察による評価を実施した。赤米の評価基準は、色の均一性や発色の程度から、1（良好）、2（やや良好）、3（普通）、4（やや劣）、5（劣）の5段階とした。緑米は、一般の白い糯粒と混在している特性のため、緑色が強く、緑粒の混在割合の多さから、同様の5段階とした。また、赤米と黄米は、色彩色差計（日本電飾工業株式会社製、ZE2000）による色差値（赤米は赤色度合を示すa値、黄米は黄色度合を示すb値）の評価を行った。なお、外観品質評価は、色素の強さなどで評価したため、同一色素米の中で相対的に比較した。

2-2 赤米の機能性評価

供試試料は、「夕やけもち」、「西南赤糯137号」、「関東赤234号」を用いた。抽出液は、試料粉末200mgに抽出溶媒 [EtOH/水 (8:2 v/v)] 5mlを加え、50℃で1時間加熱し、メンブレンフィルター（PTFE、孔径1.0μm）でろ過後、10mlメスフラスコで一定容積とした。この抽出液を用いて、総フェノール量、総フラボノイド量、プロアントシアニジン量、DPPHラジカル捕捉活性を測定した。

総フェノール量の定量は、水3mlに抽出液1ml、5倍希釈したフェノール試薬1ml、10% (w/v) 炭酸ナトリウム水溶液1mlを順に加え、室温で暗所に1時間放置したあと、コントロールを対照として760nmにおける吸光度を測定した。濃度既知の (+)-カテキンEtOH/水 (8:2 v/v) 溶液に対して同様の発色操作を行い、得られた (+)-カテキン濃度と吸光度の相関直線から、試料100g新鮮重に対する (+)-カテキン相当量 (mg) として総フェノール量を算出した。

総フラボノイド量の定量は、水5mlを入れた10mlメスフラスコに、抽出液1ml、5% (w/v) 亜硝酸ナトリウム水溶液0.3mlを加え、混合し、6分間放置した。その後、10% (w/v) 塩化アルミニウム水溶液0.3mlを加

表1 供試品種の来歴と特性

	品種・系統名	交配組み合わせ	育成地	備考
赤米	夕やけもち	たつこもち/羽系586	東北農業研究センター	糯種
	西南赤糯137号	中部糯113号/種子島赤米	鹿児島県農業開発総合センター	糯種
	関東赤234号	つ系942/和系77	作物研究所	低アミロース種
緑米	アクネモチ	不明	不明	糯種、民間種苗会社から購入
	緑万葉	不明	不明	糯種、民間種苗会社から購入
	西海糯263号	中国146号/あくねもち	九州沖縄農業研究センター	糯種
	緑米A	不明	不明	糯種、民間種苗会社から購入
	緑米B	不明	不明	糯種、民間種苗会社から購入
黄米	西海黄256号	キヌヒカリのガンマ線照射による突然変異	九州沖縄農業研究センター	粳種
	むさしの20号	「彩のかがやき」自然突然変異	埼玉県農業総合研究センター	粳種

え、5分間放置したのち、1m水酸化ナトリウム水溶液を2ml加え、15分放置後、510nmにおける吸光度を測定した。各種濃度の(+)-カテキン標準溶液を用いて同様な発色溶液を調製し、測定した結果から得られた(+)-カテキン濃度と吸光度の相関直線から、試料100g新鮮重に対する(+)-カテキン相当量(mg)として総フラボノイド量を算出した。

プロアントシアニジン量は菅原ら⁴⁾が開発した簡易定量法に準じた。共栓付試験管に試料粉末50mgを精秤し、MeOH 1ml、1% (w/v) バニリン/MeOH溶液 2ml、25% (v/v) 硫酸/MeOH溶液 2mlを加え、30℃で15分間振盪した後、MeOH 1mlを加え、遠心分離(3000rpm、10分間)を行い、上澄み液の500nmにおける吸光度を測定した。濃度既知の(+)-カテキン溶液 1mlに同様な操作を行い、(+)-カテキン濃度と吸光度の相関直線を作成し、試料100g新鮮重に対する(+)-カテキン相当量(mg)としてプロアントシアニジン量を算出した。

DPPHラジカル捕捉活性の測定には、200 μM DPPH/MeOH溶液 2mlと抽出液0.5mlと抽出溶媒1.5mlを混合し、室温で暗所に30分間放置した後、517nmにおける吸光度(A_{sample})を測定し、下記の式を用いてDPPHラジカル捕捉率(%)を算出した。

算出式： $\{(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}\} \times 100$

*： A_{control} ：抽出液無添加の溶液の517nmにおける吸光度

濃度既知のTrolox溶液に対して同様な操作を行い、得られた溶液濃度とDPPHラジカル捕捉率(%)の関係を表す相関直線から、試料100gあたりのTrolox相当量(μmol)としてDPPHラジカル捕捉活性を算出した。

3. 結果

3-1 有色素米の品種比較試験

各品種の生育、収量および収量構成要素に及ぼす影響を、赤米は表2-1、緑米は表2-2、黄米は表2-3に示した。また、赤米の色相と外観品質評価を第3表に示した。

(1)-1 赤米の栽培特性

1)「夕やけもち」：出穂期は2日、成熟期は4日早かった。稈長は短く、穂長は長かった。㎡あたりの穂数はやや少なかったが、千粒重は重く、玄米収量は6%多かった。総粒数、登熟歩合は同等だった。

2)「西南赤糯137号」：出穂期は3日、成熟期は1日遅かった。稈長は短く、穂長は長かった。㎡あたりの穂数は多く、登熟歩合も高かったが、千粒重は軽く、玄米収量に有意な差は認められなかった。総粒数は同等だった。

3)「関東赤234号」：出穂期は13日、成熟期15日遅かった。稈長は短く、穂長は長かった。㎡あたりの穂数はやや多く、千粒重は重かったが、総粒数が少なく、玄米収量に有意な差は認められなかった。登熟歩合は同等だった。

(1)-2 赤米の外観品質評価

「西南赤糯137号」は、色差値(a値)が最も高く、実需者による外観評価は、3で他の品種より優れていた。「夕やけもち」および「関東赤234号」は、色の均一性にばらつきがあり、外観評価は5だった。

(2)-1 緑米の栽培特性

1)「アクネモチ」：出穂期は2日遅く、成熟期は3日早かった。稈長は同等で、穂長は長かった。㎡あたりの穂数と総粒数は多く、千粒重も重かったが、登熟歩合がやや低く、玄米収量に有意な差は認められなかった。

2)「緑万葉」：出穂期は25日、成熟期は30日遅かった。稈長は長く、穂長は同等だった。㎡あたりの穂数と総粒数は多く、玄米収量は30%多かった。千粒重および登熟歩合は同等だった。

3)「西海糯263号」：出穂34日、成熟期は38日遅かった。稈長、穂長は同等だった。総粒数が多く、千粒重も重く、玄米収量は13%多かった。なお、千粒重は供試した緑米の中で最も重かった。登熟歩合は低かった。

4)「緑米A」：出穂期は26日、成熟期は31日遅かった。稈長はやや長く、穂長は同等だった。㎡あたりの穂数と総粒数は多かったが、千粒重は軽く、玄米収量に有意な差は認められなかった。

5)「緑米B」：出穂期は26日、成熟期は31日遅かった。稈長はやや長く、穂長は同等だった。㎡あたりの穂数と総粒数は多かったが、千粒重は軽く、玄米収量に有意な差は認められなかった。

(2)-2 緑米の外観品質評価

いずれの品種・系統においても、外観評価は3となり、品種・系統の違いによる差は認められなかった。

(3)-1 黄米の栽培特性

1)「西海黄256号」：出穂期は4日、成熟期は3日遅かった。稈長は短く、穂長は同等だった。㎡あたりの穂数と総粒数は多く、千粒重は重く、玄米収量は22%多かった。

2)「むさしの20号」：出穂期は14日、成熟期は24日遅かった。稈長は短く、穂長は長かった。㎡あたりの穂数は同等で、総粒数が少なかったが、千粒重が重く、玄米収量に有意な差は認められなかった。

(3)-2 黄米の外観品質評価

「西海黄256号」および「むさしの20号」の色差値(b値)は、19程度で、色の均一性に違いがなく、供試系統の違いによる差は小さかった。

表2-1 赤米品種・系統の違いが生育と収量および収量構成要素に及ぼす影響

品種・系統名	出穂期 月.日	成熟期 月.日	倒伏程度 0-5	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	玄米収量 kg/10a	千粒重 g	総粒数 千粒/m ²	登熟歩合 %
夕やけもち	8.03	9.09	0	66.2	20.0	243	445 ^b	22.7	22.3	88
西南赤糯137号	8.08	9.14	0	80.8	19.4	281	437 ^{ab}	20.2	22.5	96
関東赤234号	8.18	9.28	0	79.9	19.8	268	442 ^{ab}	24.1	21.3	86
(対照) 朝紫	8.05	9.13	0	86.6	18.5	259	419 ^a	21.4	22.3	88

玄米収量, 千粒重は含水率15%に補正した。
玄米収量における同一アルファベット間には5%水準で有意差がない (Tukey法)。

表2-2 緑米品種・系統の違いが生育と収量および収量構成要素に及ぼす影響

品種・系統名	出穂期 月.日	成熟期 月.日	倒伏程度 0-5	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	玄米収量 kg/10a	千粒重 g	総粒数 千粒/m ²	登熟歩合 %
アクネモチ	8.07	9.10	0	87.0	20.1	301	437 ^{ab}	22.8	23.3	82
緑万葉	8.30	10.12	0	92.0	18.5	339	545 ^c	20.2	32.2	84
西海糯263号	9.07	10.19	0	87.6	18.3	241	472 ^b	25.6	24.6	75
緑米A	8.31	10.13	0	91.4	18.8	294	448 ^{ab}	20.3	25.7	85
緑米B	8.31	10.13	0	90.5	18.6	297	441 ^{ab}	20.4	26.5	82
(対照) 朝紫	8.05	9.13	0	86.6	18.5	259	419 ^a	21.4	22.3	88

玄米収量における同一アルファベット間には5%水準で有意差がない (Tukey法)。

表2-3 黄米系統の違いが生育と収量および収量構成要素に及ぼす影響

品種・系統名	出穂期 月.日	成熟期 月.日	倒伏程度 0-5	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	玄米収量 kg/10a	千粒重 g	総粒数 千粒/m ²	登熟歩合 %
西海黄256号	8.09	9.16	0	73.7	18.0	300	511 ^b	25.6	23.9	84
むさしの20号	8.19	10.07	0	71.0	20.5	260	445 ^a	25.3	20.7	85
(対照) 朝紫	8.05	9.13	0	86.6	18.5	259	419 ^a	21.4	22.3	88

玄米収量における同一アルファベット間には5%水準で有意差がない (Tukey法)。

表3 赤米品種の違いが色差値と外観評価に及ぼす影響

	色差値 (a 値)	外観評価
夕やけもち	9.3	5.0
西南赤糯137号	11.2	3.0
関東赤234号	8.4	5.0

色差値 (a 値) は数値が大きいほど赤色程度が大きいことを示す。

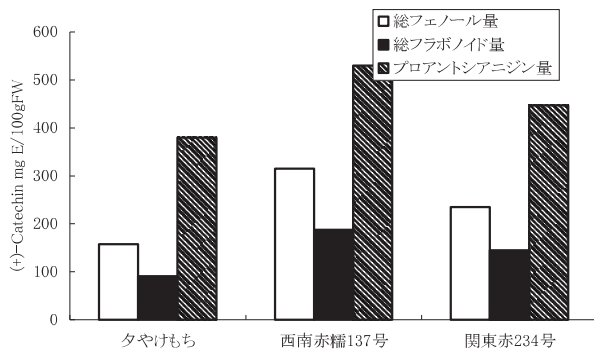


図1 赤米品種の違いが機能性成分含有量に及ぼす影響

3-2 赤米の機能性評価

総フェノール量, 総フラボノイド量, プロアントシアニン量の測定結果を図1に示した。「西南赤糯137

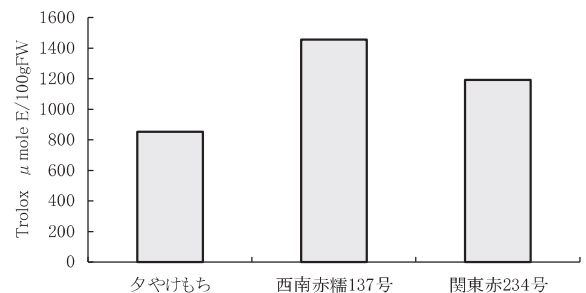


図2 赤米品種の違いが抗酸化活性 (DPPHラジカル捕捉活性) に及ぼす影響

号」が, いずれの項目も最も高く, 次に「関東赤234号」, 「夕やけもち」の順であった。また, 図2のようにDPPHラジカル捕捉活性も同様の傾向を示した。

4. 考察

赤米については, 「夕やけもち」の玄米収量が, 対照の「朝紫」より多収であった。玄米外観品質では, 「西南赤糯137号」が赤色の度合いが強く, 実需者による評価は高かった。一方, 「関東赤234号」の実需者評価は,

「夕やけもち」と同等であったが、消費者が食感などの面で糯種を好むことから、商品性の観点で「夕やけもち」, 「西南赤糯137号」より劣ると考えられる。機能性評価では「西南赤糯137号」が, 「夕やけもち」, 「関東赤234号」よりプロアントシアニン量などの成分が多く, DPPHラジカル捕捉活性が高かった。これらのことから, 「夕やけもち」「西南赤糯137号」が有望であると考えられた。今後は, 「夕やけもち」および「西南赤糯137号」について, 年次による変動の確認を行うとともに, 商業的観点において重要になる炊飯適性についても検討を行う。また, 登熟期間中の低温条件がラジカル消去活性を高めるといった研究報告があり⁵⁾, 移植時期を変えた作期試験を行い, 栽培環境の違いが, 生育, 収量, 玄米品質および機能性成分に及ぼす影響を明らかにしていく必要がある。

緑米については, 供試した品種・系統の違いによって, 成熟期が大きく異なった。すなわち, 「アクネモチ」は, 本県の早生種に相当し, 「緑万葉」, 「西海糯263号」, 「緑米A」, 「緑米B」が晩生種に相当することが明らかになった。これらの晩生種は, 成熟期が10月以降のため, 栽培可能地域が限定される可能性がある。玄米収量は, 「緑万葉」が最も多く, 次に「西海糯263号」が多収であった。玄米外観品質は, 供試した品種・系統間に大きな違いは認められなかった。これらのことから, 早熟の「アクネモチ」, 多収の「緑万葉」, 「西海糯263号」が有望であると考えられた。今後は, 年次による変動や作期の違いが栽培特性に及ぼす影響を明らかにする必要がある。また, 予備試験では収穫時期の違いによって外観品質が異なる可能性が認められたため, 収穫適期の解明も必要である。さらに, 緑米の色素であるクロロフィルなどの機能性評価についても栽培条件と関連づけて明らかにしたい。

黄米については, 供試した2系統の成熟期が異なったが, 玄米収量や外観(黄の色相)に大きな違いは認められなかったことから, 中生種の「西海黄256号」は中間地向け, 晩生種の「むさしの20号」は平坦地向けとして有望であると思われた。今後は, 機能性評価を詳細に評価し, 栽培条件と機能性成分の関係を明らかにしていく予定である。

5. 結 言

本県の水稲生産現場および県内有色米取扱業者から, 新たな有色米の生産が求められている。本研究では, 赤米, 緑米, 黄米の品種比較栽培試験を行い, それぞれの栽培特性と玄米品質を把握し, 有望品種を選定した。さらに, 赤米については, 内容成分の抽出, 定量分析を行い, 品種間差異を明らかにした。

今後は, 有望品種の年次変動の確認, 作期の違いや気

象条件の違いが生育, 収量, 玄米品質, 及び機能性成分含有量に及ぼす影響とともに, 本県での安定栽培法を明らかにする必要がある。

6. 謝 辞

本研究の実施にあたり, 種子を分譲して下さった各育成地には厚く御礼申し上げます。栽培管理, 収量や玄米品質などの調査補助を担当していただきました飯島善仁主任技能員, 中嶋今朝子さん, 植松誠さん, 植原直樹さんには大変お世話になりました。玄米の機能性成分の分析においては, 山梨大学の笠井明穂さんにご協力をしていただきました。御礼申し上げます。最後になりましたが, 総合理工学研究機構の市川和規研究管理幹には, 試験の遂行にあたりご指導, ご助言を賜りました。ありがとうございました。

参考文献

- 1) 猪谷富雄, 建本英樹, 岡本実剛, 藤井一範, 武藤徳男: 有色米の抗酸化活性とポリフェノール成分の品種間差, 日本食品科学工学会誌49, No.8, 540-543 (2002)
- 2) 農林水産省生産局: 水稲稲・麦類・大豆奨励品種特性表, 78-79 (2008)
- 3) 猪谷富雄, 小川正巳: わが国における赤米栽培の歴史と最近の研究情勢, 日作紀73 (2), 137-147 (2004)
- 4) 菅原晃美, 沖智之, 西場洋一, 須田郁夫, 小林美緒, 永井沙樹, 佐藤哲生: 赤米に含まれるプロアントシアニンの簡易な測定法, 九州沖縄農業研究成果情報 (2004)
- 5) 小松清高, 玉置雅彦, 藤井一範, 武藤徳男, 猪谷富雄: 有色米の抗酸化能に関する研究—品種間差異と栽培条件の影響—, 日作紀72 (別2), 108-109 (2003)