

有色素米の安定生産技術の確立

石井利幸¹, 岩間巧², 奥田徹², 松岡翼³, 上野直也¹
(¹総合農業技術センター, ¹山梨大学, ³株式会社はくばく)

要約 山梨県における水稻有色素米の安定生産技術を確立するために、施肥体系、収穫時期、粒厚について検討した。赤米「西南赤糯137号」、緑米「緑万葉」とともに施肥体系は収量性、耐倒伏性などから窒素基肥量を5 kg/10a、減数分裂期の追肥を2~4 kg/10aが適していた。収穫適期は、収量性、玄米外観品質、機能性成分含量から「西南赤糯137号」は出穂期からの積算気温900°C程度、「緑万葉」は800~900°Cであることを明らかにした。粒厚選別は1.7mm以上において、玄米外観品質などを低下させることなく、玄米収量を増やすことができた。

Establishment of Studies on the Stable Production on Colored-grain Rice

Toshiyuki ISHII¹, Takumi IWAMA², Tohru OKUDA², Tsubasa MATSUOKA³, Naoya UENO¹
(¹Yamanashi Prefectural Agritechology Center, ²University of Yamanashi, ³Hakubaku Co.,Ltd)

Abstract We aimed to establish a stable production technology of red rice “Seinan akamochi 137” and green rice “Midorimanyo” in Yamanashi prefecture. The results are as follows.

1) Amount of nitrogen fertilizer application

Basal nitrogen of 5 kg per 10a and supplement application of 2~4 kg per 10a were excelled in high yields and lodging resistance.

2) Harvest time

The high yields, appearance quality and physiological functionalities were obtained by harvesting when the accumulated temperature was 900°C at “Seinan akamochi 137”, 800~900°C at “Midorimanyo”.

3) Grain thickness

Compared with brown rice thicker over than 1.7mm, the appearance quality of brown rice thicker over than 1.8mm was almost the same.

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23年度の作付面積は、20haとなっている(山梨県花き農水産課調べ)。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。

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。

本研究では、これまでに本県における有望品種として赤米は「西南赤糯137号」、緑米は「緑万葉」を選定した^{4,5)}。そこで、これらの有望品種について、施肥体系、収穫時期および粒厚の違いが、生育、収量、玄米外観品質、機能性成分含量などに及ぼす影響を明らかにし、安定生産方法を確立する。

2. 実験方法

2-1 施肥体系の違いが有色素米の生育、収量、玄米外観品質及び機能性成分含量に及ぼす影響

試験は、総合農業技術センター内圃場(甲斐市下今井、標高312 m、灰色低地土、前作:水稻、1-1号田)で行った。供試品種として、赤米は「西南赤糯137号」、緑米は「緑万葉」を用いた。試験規模は1区あたり9 m²として、各区2反復で行った。5月9日に播種し、6月8日に22.2株/m²(条間30 cm、株間15 cm)の栽植密度で、1株あたり3本を手植えた。試験区は基肥としてN-P₂O₅-K₂O=5-5-5 kg/10aの基肥慣行区(以下、基慣区)、7-7-7 kg/10aの基肥多肥区(基多区)の2水準、減数分裂期の追肥としてN-K₂O=2-2 kg/10aの追肥慣行区(追慣区)、4-4 kg/10a区(追多区)及び無施用区(追無区)の3水準を設け、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、出穂期、成熟期、倒伏程度、収穫後に玄米収量、収量構成要素、玄米外観品質、機能性成分含量を調査した。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 m²を坪刈りして、1週間程度の乾燥後、脱穀、脱芒、風力選別、籾すり、1.8 mmの粒厚選別を行った玄米を調査試料とした。玄米外観品質は、色彩色差計(日本電色工業株式会社製、ZE2000)による色差値(「西南赤糯137号」は赤色度合を示すa*値の高さ、「緑万葉」は緑色度合を示すa*値の低さ)で評価した。機能性成分は「西南赤糯137号」についてプロアントシアニン含量及び抗酸化活性(DPPHラジカル捕捉活性)を測定した。抽出及び分析方法は既報と同様に行った⁴⁾。

2-2 収穫時期の違いが有色素米の収量性、玄米外観品質及

び機能性成分含量に及ぼす影響

試験2-1における「西南赤糯137号」及び「緑万葉」の基慣・追慣区において、出穂期24日後から2～5日ごと(表1)に4株を採取し、屋内乾燥、脱穀、籾すり後、1.8 mm粒厚選別で調整した。調査項目は、精玄米歩合、1000粒重、玄米外観品質、機能性成分含量とし、機能性成分含量の調査は「西南赤糯137号」のみ実施した。精玄米歩合と1000粒重は、従来、成熟期と判断した日(「西南赤糯137号」は帯緑色籾率5～10%、「緑万葉」は積算日平均気温約900°C)を100としたときの比率で評価した。

2-3 粒厚の違いが有色素米の収量、玄米外観品質及び機能性成分含量に及ぼす影響

試験2-1における「西南赤糯137号」及び「緑万葉」の基慣・追慣区で得られた玄米(1.8 mm以上)を1.75 mm, 1.7 mmの篩で選別し、1.8 mm以上、1.75 mm以上、1.7 mm以上及び1.7 mm以下(粒厚選別未実施)の4区分に分類した。調査項目は、それぞれの重量、玄米外観品質及び機能性成分含量とし、機能性成分含量は「西南赤糯137号」のみ調査した。

3. 結果

3-1 施肥体系の違いが有色素米の生育、収量、玄米外観品質及び機能性成分含量に及ぼす影響

(1)「西南赤糯137号」

施肥体系の違いが「西南赤糯137号」の生育、収量および収量構成要素に及ぼす影響を表2に示した。出穂期は基肥量の増加によって1日遅くなったが、成熟期は同日だった。稈長は追肥量の増加に伴って長くなったが、倒伏程度に及ぼす影響は小さかった。穂数は追肥の施用によって増加したが、総粒数や登熟歩合に対しては一定の傾向が認められなかった。玄米収量は基慣・追無区が他の区より有意に少なかったが、それ以外の区間に有意な差は認められなかった。

玄米の色差値(a*値)は16.1～16.6となり、基肥量及び追肥量の違いによる影響は認められなかった。

玄米中のプロアントシアニジン含量及びDPPHラジカル捕捉活性を図1及び図2に示した。プロアントシアニジン含量は基多・追慣区で、DPPHラジカル捕捉活性は基多・追多区で他の

表1 各品種のサンプリング日

品種名	出穂日	サンプリング日
西南赤糯137号	8/9	8/31、9/4、9/6、9/9、9/13、9/15、9/18、9/21
緑万葉	9/1	9/25、9/27、9/30、10/4、10/7、10/10、10/14、10/19

区より高かったが、基肥量や追肥量の増加に伴う一定の傾向は認められなかった。

(2)「緑万葉」

施肥体系の違いが「緑万葉」の生育、収量および収量構成要素に及ぼす影響を表3に示した。出穂期は基肥量の増加によって1日程度遅くなったが、成熟期は同日だった。稈長は基肥量や追肥量の増加によって長くなり、倒伏程度が高くなった。穂数、総粒数は追肥によって増加した。1000粒重と登熟歩合は施肥体系の違いによる一定の影響は認められなかった。玄米収量は、追慣区、追多区が追無区より増収傾向となったが、基肥量の増加による増収効果は判然としなかった。

玄米の色差値調査結果を図3に示した。基肥量の増加による一定の傾向は認められなかったが、追肥によってa*値が低下する傾向が認められた。]

3-2 収穫時期の違いが有色素米の収量性、玄米外観品質及び機能性成分含量に及ぼす影響

(1)「西南赤糯137号」

収穫時期の違いが精玄米歩合と1000粒重に及ぼす影響を図4、玄米色差値に及ぼす影響を図5、プロアントシアニジン含量及びDPPHラジカル捕捉活性に及ぼす影響を図6に示した。

精玄米歩合は積算日平均気温(以下、積算気温)が約800°Cまでは上昇し、その後はほぼ一定になった。しかし、観察では積算気温が1000°Cを超えると砕米が増加した。一方、1000粒重は収穫時期の違いにかかわらずほぼ一定だった。

一方、玄米色差値は600°Cの時は11.9だったのに対して、1040°Cでは18.3まで上昇し、外観上でも赤みが強くなった。

機能性成分は、プロアントシアニジン含量、DPPHラジカル捕捉活性ともに積算気温が増加するにつれて低下し、600°Cの時に比べて1040°Cでは30%以上減少した。

(2)「緑万葉」

収穫時期の違いが精玄米歩合と1000粒重に及ぼす影響を

表2 施肥体系の違いが「西南赤糯137号」の生育、収量及び収量構成要素に及ぼす影響

試験区	出穂期 月.日	成熟期 月.日	倒伏程度 0-5	稈長 cm	穂数 本/m ²	1000粒重 g/1000粒	総粒数 千粒/m ²	登熟歩合 %	玄米収量 kg/10a
基慣・追無	8.09	9.14	0	77.0	304	21.1	24.6	89.0	429 ^a
基慣・追慣	8.09	9.14	0	76.9	303	21.8	24.2	93.1	490 ^b
基慣・追多	8.09	9.14	0	78.5	386	21.8	28.0	80.5	489 ^b
基多・追無	8.10	9.14	0	81.2	347	21.0	27.1	84.9	482 ^b
基多・追慣	8.10	9.14	0	83.0	327	21.0	25.7	88.8	480 ^b
基多・追多	8.10	9.14	0.5	83.5	365	21.0	25.1	93.8	493 ^b

倒伏程度は0(無)～5(甚)の6段階評価(観察)

1000粒重、玄米収量は水分15%換算値

玄米収量右上の同一アルファベット間には有意差がないことを示す(Tukey法, 5%)

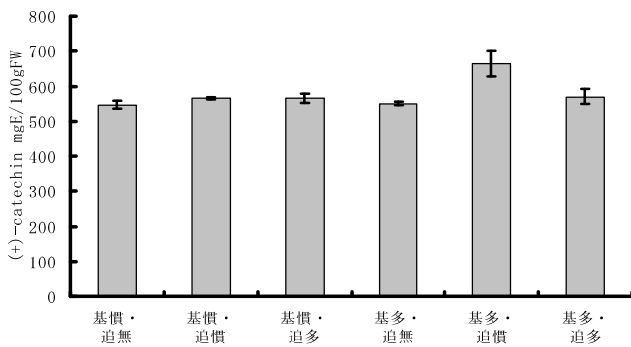


図1 施肥体系の違いが「西南赤糯137号」のプロアントシアニン含量に及ぼす影響
ト-は標準誤差

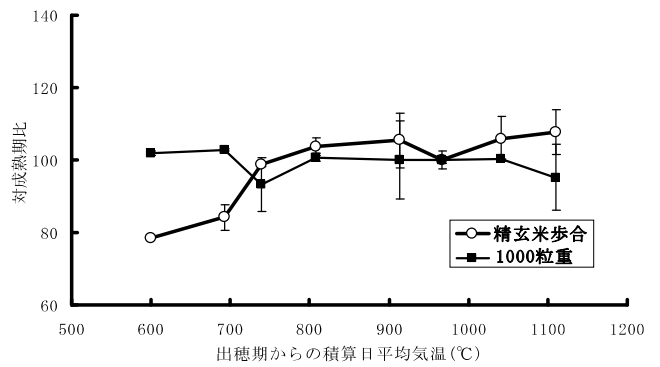


図4 積算気温の違いが「西南赤糯137号」の精玄米歩合と1000粒重に及ぼす影響(対成熟期比)
ト-は標準誤差

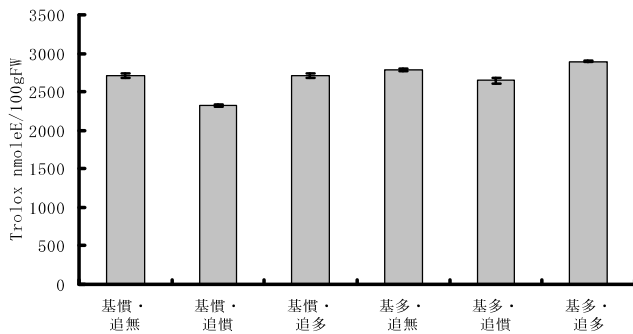


図2 施肥体系の違いが「西南赤糯137号」の抗酸化活性(DPPHラジカル捕捉活性)に及ぼす影響
ト-は標準誤差

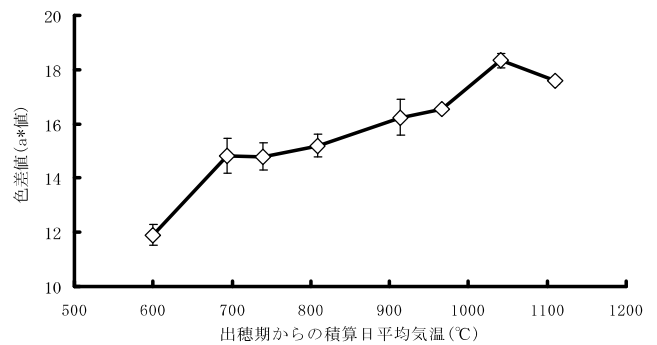


図5 積算気温の違いが「西南赤糯137号」の玄米色差値に及ぼす影響
a*値が高いほど赤色を呈することを示す。ト-は標準誤差

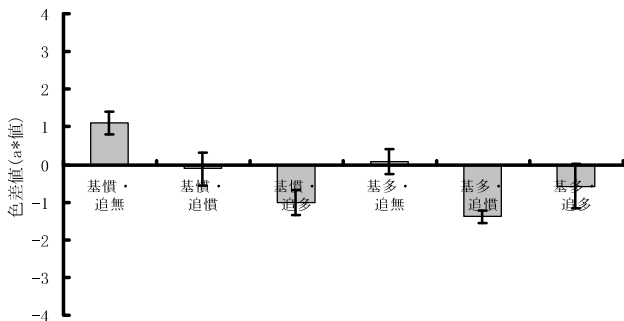


図3 施肥体系の違いが「緑万葉」の色差値に及ぼす影響
a*値が低いほど緑末を呈することを示す。ト-は標準誤差

粒重は収穫時期の違いによる明確な変化は認められなかった。玄米色差値は積算気温の増加に伴って高くなり、外観上は緑色を呈する米粒が減少した。特に観察調査では積算気温が950°Cを超えると一般の糯米とほぼ同じ白い粒が多くなった。

3-3 粒厚の違いが有色素米の収量、玄米外観品質及び機能性成分含量に及ぼす影響

(1)「西南赤糯137号」

粒厚別玄米収量と色差値を表4に示した。玄米収量は1.8 mm以上と比較して1.75 mm以上で1%、1.7 mm以上で4%、粗玄米(粒厚選別未実施)で5%増加した。色差値(a*値)は1.7 mm以上まで差が認められなかったが、粗玄米では低下した。また観察では粗玄米において碎米や粃が多く混入していた。

図7, 玄米色差値に及ぼす影響を図8に示した。
精玄米歩合は積算気温の増加に伴って高くなったが、1000

表3 施肥体系の違いが「緑万葉」の生育、収量及び収量構成要素に及ぼす影響

試験区	出穂期 月.日	成熟期 月.日	倒伏程度 0-5	稈長 cm	穂数 本/m ²	1000粒重 g/1000粒	総粒数 千粒/m ²	登熟歩合 %	玄米収量 kg/10a
基慣・追無	9.02	10.10	0.5	95.4	306	18.5	31.1	78.1	448 ^a
基慣・追慣	9.01	10.10	0.5	99.8	320	18.5	34.1	77.3	487 ^{bc}
基慣・追多	9.01	10.10	1	100.7	321	18.5	34.5	74.8	477 ^{bc}
基多・追無	9.02	10.10	1	102.2	331	18.0	35.6	72.8	467 ^{ab}
基多・追慣	9.02	10.10	1.5	101.7	348	17.9	37.6	74.2	500 ^c
基多・追多	9.02	10.10	1.5	103.1	354	17.9	37.8	70.2	494 ^{bc}

倒伏程度は0(無)~5(甚)の6段階評価(観察)

玄米収量、千粒重は水分15%換算値

玄米収量右上の同一アルファベット間には有意差がないことを示す(Tukey法, 5%)

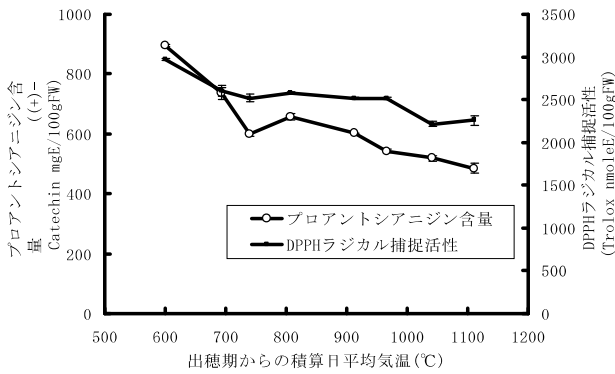


図6 積算気温の違いが「西南赤糯137号」のプロアントシアニン含量及びDPPHラジカル捕捉活性に及ぼす影響
±は標準誤差

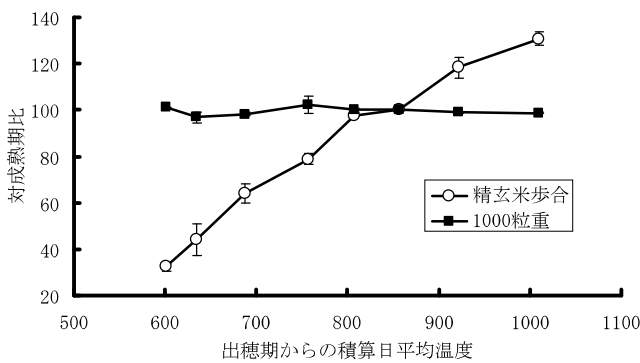


図7 積算気温の違いが「緑万葉」の精玄米歩合と1000粒重に及ぼす影響(対成熟期比)
±は標準誤差

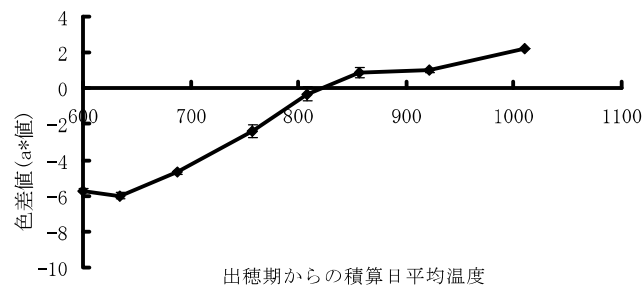


図8 積算気温の違いが「緑万葉」の玄米色差値に及ぼす影響
a*値が低いほど緑色を呈することを示す。
±は標準誤差

表4 粒厚の違いが「西南赤糯137号」の玄米収量と色差値に及ぼす影響

	玄米収量 kg/10a	色差値 a*値
1.8mm以上	489 ^a	16.4 ^b
1.75mm以上	494 ^a	16.7 ^b
1.7mm以上	497 ^a	16.1 ^b
粗玄米	513 ^a	13.2 ^a

右上の横益アルファベット間には有意差がないことを示す(Tukey法, 5%)

プロアントシアニン含量及びDPPHラジカル捕捉活性は、それぞれ565～580 (+)-Catechin mg E/100 gFW, 2275～2356 Trolox mmole E/100g FWとなり、粒厚が薄くなっても成分の低下は認められなかった。

(2)「緑万葉」

玄米収量は1.8 mm以上が477 kg/10a, 1.75 mm以上が484 kg/10a, 1.7 mm以上が493 kg/10a, 粗玄米が517 kg/10aとなり、1.8 mm以上に対する増収率は、それぞれ1%, 4%, 5%だった。色差値(a*値)は-1.1～0.18となり、粒厚の違いによる一定の傾向は認められなかった。また、赤米同様、観察では粗玄米中に碎米や粳が散見された。

4. 考察

4-1「西南赤糯137号」の安定栽培技術

窒素施肥量は基肥5 kg/10aにおいて、追肥の実施によって増収した。一方、追肥を実施すれば基肥量を増量しても玄米収量は同等だった。

玄米外観品質(色差値)と機能性成分については、窒素施肥量の違いによる影響は認められなかった。

高田ら⁹⁾によれば、紫黒米「朝紫」、赤米「ベニロマン」では玄米中のポリフェノール含量及び抗酸化能に対する施肥窒素の影響は小さいとしている。本試験で供試した「西南赤糯137号」についても同様の傾向であったと考えられる。

このことより、収量性、外観品質、機能性成分含量などを安定的に確保するための窒素施肥体系は基肥5 kg/10a, 減数分裂期の追肥2～4 kg/10aが適当であると考えられる。

収穫時期は出穂期からの積算気温の増加に伴って、精玄米歩合と玄米外観品質(色差値)が向上し、機能性成分が低下した。赤米の玄米色については出穂後の日数が進むにつれて色差値(a*値)が高まることが報告されており^{7, 8)}、本試験においても同様の傾向が示された。このことより、収量性、玄米外観品質、機能性成分含量の推移から、収穫適期は出穂期からの積算気温が900°C程度であると推察された。積算気温の増加によってプロアントシアニン含量やDPPHラジカル捕捉活性が低下した要因については今後の検討を要する。

収穫後の粒厚選別については、1.7 mm以上の玄米収量は1.8 mm以上と比較して4%増加し、玄米外観品質や機能性成分の低下は認められなかった。本県の水稲産地では、玄米を出荷する際、通常1.8 mmの粒厚選別を実施している。しかし、「西南赤糯137号」については1.7 mmで選別することで玄米品質を低下させずに玄米収量を増やすことができることが明らかになった。これまでの成果では、一般品種「コシヒカリ」より少収であったが、本成果を利用することで、若干ではあるものの収量性を改善できると考えられる。

4-2「緑万葉」の安定栽培技術

窒素の施肥体系については、追肥の実施によって増収傾向となったが、基肥量の増加による一定の増収効果は認められなかった。このことより、収量などを安定的に確保するための窒素の施肥体系は基肥5 kg/10a, 減数分裂期の追肥2～4 kg/10aが適当であると考えられる。

なお、追肥の増加とともにa*値が低下したことは、追肥により登熟期の窒素栄養状態が高く維持され、成熟期がやや遅くなった可能性がある。しかし、外観上でその違いを判断するこ

とが難しく、全区を同時に収穫したため、追肥実施区が追肥未実施区よりやや早刈りになったと考えられる。試験2-2の結果では早刈りほど緑色が濃い傾向が認められた。そのため、本試験の追肥実施区の外観品質が優れていたのは、追肥量の増加によるものではなく、収穫時期の違いによる影響と推察される。

収穫時期は出穂期からの積算気温の増加に伴って、精玄米歩合が向上し、玄米外観品質(色差値)が低下した。緑米の刈り遅れは、玄米外観品質の低下を招くといわれていたが、具体的な出穂期からの積算気温との関係は未解明であった。本試験の結果より収量性を確保しつつ、玄米外観品質が大きく低下しない収穫適期は、出穂期からの積算気温800~900°Cであることが明らかになった。ただし、積算気温800°C程度では、籾水分が高く、籾すり作業で脱ぶ率(籾から籾がらを取り除くことができる割合)が低下する可能性があるため、収穫後の乾燥を徹底する必要がある。

4-3 今後の展開

赤米や緑米は一般の粳米より価格が高く取引されており、本県の水稲産地で「西南赤糯137号」や「緑万葉」を作付けすることで、生産者の経営改善に役立つことを期待する。また、赤米と緑米を含む既存雑穀商品について本試験で得られた生産物に置き換えた試作品を作製した。今後、生産者と有色素米取扱業者がタイアップし、このような新商材が開発されるよう普及指導を行っていく。

5. 結 言

本研究では、山梨県における赤米、緑米の有望品種について、施肥体系、収穫適期、収穫後の粒厚選別技術に関する検討を行い、それぞれの安定生産技術を確立することができた。今後は、関係機関と連携し、生産農家に対する栽培の技術指導を行うとともに、生産物の利用方法を検討し、新たな6次産業の創出を目指したい。

謝 辞

本研究の実施にあたり、種子を分譲してくださった鹿児島県農業総合開発センター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、河野淳一さんには大変お世話になりました。御礼申し上げます。総合理工学研究機構の市川和規特別研究員には、試験の遂行にあたりご指導、ご助言を賜りました。厚く感謝申し上げます。

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・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) 石井利幸, 廣瀬裕子, 内松大輔, 上野直也: 有色素米の栽培特性と機能性評価, 山梨県理工学研究機構研究報告書第5号, 91-95 (2010)
- 5) 石井利幸, 廣瀬裕子, 岩間巧, 内松大輔, 上野直也: 山梨県における有色素米の有望品種, 山梨県理工学研究機構研究報告書第6号, 41-45 (2011)
- 6) 高田聖, 溝渕正晃, 坂田雅正, 岩崎昭雄, 島本文子: 有色米の特性評価と安定栽培技術, 高知県農業技術センター研究報告13, 89-102 (2004)
- 7) 猪谷富雄: 赤米・紫黒米・香り米-「古代米」の品種・栽培・加工・利用-, 農文教 (2000)
- 8) 猪谷富雄, 杉戸政之, 玉置雅彦: 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67(別2), 32-33 (1998)

成果発表状況

学会発表

- 1) 石井利幸, 上野直也, 廣瀬裕子, 笠井明穂, 岩間巧, 内松大輔: 山梨県における水稲緑米品種の栽培特性と機能性および炊飯評価, 日本作物学会関東支部第100回講演会, 埼玉県熊谷市 (2011)
- 2) 石井利幸, 上野直也, 岩間巧, 奥田徹, 廣瀬裕子, 松岡翼, 内松大輔: 収穫時期の違いが水稲有色素米の収量性, 外観品質および機能性成分に及ぼす影響, 日本作物学会第233回講演会, 東京都府中市 (2012)
- 3) 岩間巧, 石井利幸, 上野直也, 奥田徹, 廣瀬裕子: 有色素米登熟中の機能性成分の変化, 日本農芸化学会2012年度大会, 京都府京都市 (2012)
- 4) 上野直也, 長沼孝多, 石井利幸, 木村英生, 小嶋匡人, 奥田徹, 岩間巧, 小宮山光彦, 内松大輔: 酒造米および有色素米の栽培と利用に関する研究, やまなし産学官連携研究交流事業研究公開, 甲府市 (2011)
- 5) 上野直也, 長沼孝多, 石井利幸, 木村英生, 小嶋匡人, 奥田徹, 岩間巧, 北原兵庫, 松岡翼: 酒造米および有色素米の栽培と利用に関する研究, 山梨県総合理工学研究機構研究成果発表会, 甲府市 (2012)