
富山県農林水産総合技術センター 農業研究所研究報告

第 6 号

平成27年3月

富山県農総セ農研研報

Bull.Toyama Agr.Res.Inst.

No.6 Mar. 2015

富山県農林水産総合技術センター
農業研究所
(富 山 市 吉 岡)

富山県農林水産総合技術センター農業研究所研究報告 第6号 (1~26頁)

目 次

1. 富山県においてキクを加害するツヤマルカスミカメ属主要種とその防除対策
青山政義・西島裕恵・片山雅雄 1
2. 水稻新品種「赤むすび」(富山赤71号、富山赤78号)の育成
山口琢也・表野元保・前田寛明・森川真紀子・木谷吉則・尾崎秀宣・村田和優・
伊山幸秀・小島洋一郎・宝田研・向野尚幸・蛭谷武志 9

富山県においてキクを加害するツヤマルカスミカメ属主要種とその防除対策

青山政義・西島裕恵・片山雅雄¹⁾

I 緒言

ツヤマルカスミカメ属 *Apolygus* spp. (図1) は一般に食性の幅が広く、多種多様な植物に寄生することで知られ、2000年には東北地方でリングゴに深刻な被害を与え、北海道では一地域の高級菜豆に壊滅的な被害を与えた。近年ではナス、キュウリ、メロンなどの野菜類の他にチャやキクでの被害が各地で報告されるなど、本種による農作物の被害は増大傾向にある(安永智秀ら 2001; 安田慶次ら 2006; 坂本 2009)。

富山県西部のキクほ場においても、2006年頃から茎の芯止まり、曲がり、葉や花卉の奇形等の障害が多発生し問題となっている。これらの障害は、キクほ場で確認されるツヤマルカスミカメ属の加害により生じていると考えられていた。県外では、ツヤマルカスミカメ属のキクへの加害種として、沖縄県ではウスモンミドリカスミカメ *Taylorilgus pallidulus* が(安田、1993)、山形県や福井県ではコアオカスミカメ *Lygocoris lucorum* が(宮田 1993; 坂本 2009) 報告されている(宮田、1993; 坂本、2009)。しかし、本県におけるこれらの症状との因果関係や、原因となる種は特定されていなかった。

そこで、本県における加害種を特定するとともに、被害の再現、そしてキクほ場における発消長を調査した。また、被害が顕著な南砺市高瀬の個体群を用いて薬剤感受性検定を実施した。さらに、ツヤマルカスミカメ属の発生源と想定されたヨモギ等のキク科植物における発消長や、その他の野外植物における寄生の有無について調査したので報告する。



図1 キクほ場に生息するツヤマルカスミカメ属成虫

II 材料および方法

1 加害種の特定

南砺市高瀬、砺波市神島、砺波市六郎丸のキクほ場、および富山市福沢、小矢部市若林のヨモギ群生地からサクシオンマシンを用い、2010年5月9日~11月30日に約7日間隔でツヤマルカスミカメ属の成虫を採集した。本属は色彩変異があるため、外見から種を特定するのは難しく、雌成虫での同定は不可能である。そこで、雄の交尾器を解剖して、挿入器の形を詳しく観察し(安永ら、2001)、その形状により種を同定した。

2 ツマグロアオカスミカメ放飼による被害の再現試験

2010年の調査で主要種と判断されたツヤマルカスミカメ属の1種ツマグロアオカスミカメ *Apolygus spinolae* 成虫を2011年10月27日に南砺市高瀬のキクほ場からサクシオンマシンを用いて採取し、25°C、16時間日長の飼育室でコムギおよびアズキ幼苗を餌として継代飼育し、野外半日陰条件に4時間放飼し馴化した成虫を供試した。被害の再現試験は2012年に富山市吉岡の農業研究所の小ギク栽培ほ場6㎡において、黄花品種の

1) 現在：富山県庁農業経営課

「翁丸」(定植4月24日、摘心5月8日)を供試して行った。なお、栽培期間中に殺虫剤の散布は行わなかった。

放飼の際、網かけ全面ゴース張りの円筒ケージ(φ60×300mm)を、キクの茎頂部から20cmを包むように設置した。放飼虫数は、5頭、10頭、15頭、および20頭とし、無放飼を加え5区5反復を設けた。なお、雌雄の区別はしなかった。放飼期間は6月26日午後3時から6月29日午後3時までの72時間とし、放飼終了後、円筒ケージと放飼虫を取除くとともに死虫数を調べた。また、放飼期間中の降雨は0mm、平均気温は22.9℃であった。放飼後11日および21日後に茎の伸長を測定し、茎の芯止まり、曲がり、花とびの被害を観察した。

3 キクほ場および周辺ほ場におけるカメムシ類の発生活消長

茎頂部の芯止まりや曲がり等の被害が例年多発生する南砺市高瀬、発生は認められるが被害の少ない富山市八尾と富山市大沢野の慣行防除キクほ場は2012年4月23日～10月29日、また、富山市吉岡の農業研究所内の殺虫剤無散布ほ場は6月4日～10月29日に7日間隔で調査を行った。また、例年被害が多発生する南砺市高瀬についてはキクほ場周辺の無防除のヒマワリおよびクロタラリアほ場において、6月4日～8月6日にかけて7日間隔で地上部全体からサクシオンマシンを用いてカメムシ類を採取した。なお、採取による影響を少なくするため、同一カ所からは14日間隔をとった。

4 野外植物における発生活消長

富山市福沢のヨモギ群生地において2012年4月19日～10月31日にかけて7日間隔で調査を行った。富山市吉岡のセイタカアワダチソウ群生地、富山市福沢のヒメジオン群生地およびシロツメクサ群生地においても数回の調査を行った。採取は地上部全体からサクシオンマシンを用いてカメムシ類を採取したが、採取による影響を少なくするため、同一カ所は14日間隔をとった。

5 薬剤検定試験

2012年12月に上記2の被害再現試験に供試した継代飼育虫を用いてソラマメ催芽種子浸漬法(柴尾ら、2003)により薬剤検定試験を行った。薬剤はキクに登録のある22薬剤を供試し、各薬剤の

希釈倍率を表1に示した。ソラマメ種子を流水中で発芽させた後、剥皮した催芽種子を4分割し、各薬液に30秒間浸漬後、ろ紙上で風乾した。無処理区は水に浸漬したソラマメ分割催芽種子を用いた。アクリル製円筒容器(内径2.5cm、高さ10.0cm)に成虫とろ紙片、およびソラマメ催芽種子を入れた後、開口部を通気性のあるプラスチック製のキャップで蓋をした。各区5個体を供試し5反復とした。なお、雌雄の区別はしなかった。容器は25℃、16時間日長条件下に置き、調査は処理24、48時間後に死亡虫を調査した。各薬剤の殺虫効果は補正死亡率により判定した。

III 結果および考察

1 加害種の特定

2010年に県内3カ所のキクほ場で越冬株～開花期にかけて採取したツヤマルカスミカメ属雄成虫のうち84%がツマグロアオカスミカメ、16%がウスモンミドリカスミカメであり、主要種はツマグロアオカスミカメであると考えられた(図2)。また、県内2カ所のヨモギ群生地では100%がツマグロアオカスミカメであった。

2 ツマグロアオカスミカメ放飼による被害の再現試験

茎の伸長は、放飼数が増えるに従い抑制され、無放飼に対して5頭放飼区では5%水準、10頭、15頭、20頭では1%水準で有意差があった。特

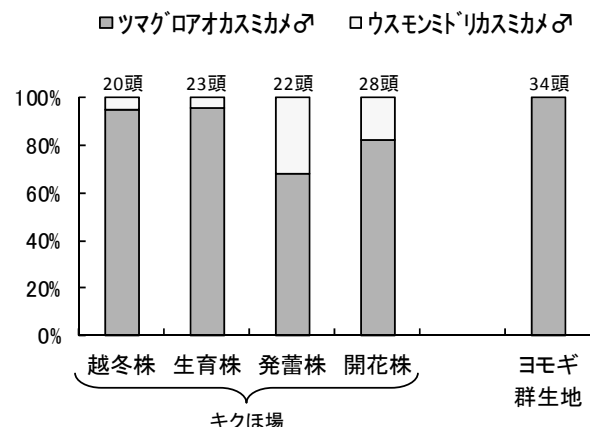


図2 キクほ場およびヨモギ群落におけるツヤマルカスミカメ類の種構成(2010年)

注)キクほ場は3カ所、ヨモギ群落では2カ所から採取した♂成虫を同定し算出

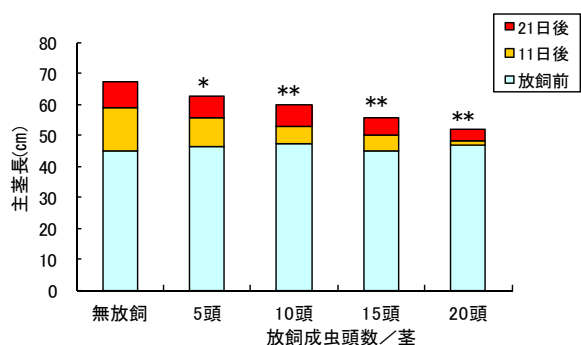


図3 ツマグロアオカスミカメを3日間放飼後の主茎長の伸長量の推移 (2012年)

注1) 放飼21日後の茎の平均伸長は無放飼に対してT検定で、**は1%、*は5%水準で有意差あり
 注2) 品種は「翁丸」、放飼は6月26～29日に実施

に、放飼11日後の抑制が顕著であった (図3)。放飼3日後の死虫数は5頭放飼区16%、10頭放飼区10%、15頭放飼区9%、20頭放飼区13%であった。11日後の茎障害調査では10頭以上放飼区で葉先枯れや曲がり確認され、20頭放飼区では葉先

枯れが顕著に確認された。また、21日後調査では15頭および20頭放飼区で、芯止まりが確認され、20頭放飼区では顕著に観察された (図4)。

以上の結果から、茎がよく伸長する生長期に1茎あたり10頭以上を3日間放飼することにより、葉先枯れ、茎の芯止まり等の障害を引起こすことが明らかとなった。また、その後の観察では花とび症状も確認された。

3 キクほ場および周辺ほ場におけるカメムシ類の発生消長

2012年に県内4カ所のキクほ場で採取された植食性カメムシ類はツヤマルカスミカメ属およびヒメナガカメムシ *Nysius plebejus* であった。慣行防除キクほ場の富山市大沢野および富山市八尾ではツヤマルカスミカメ属が生育期間中ほとんど採取されなかったが、収穫跡株では採取された。ヒメナガカメムシは8月以降、収穫跡株で継続的に



図4 20頭を放飼した区の茎の葉先枯れ(左)と芯止まり症状(右) (2012年)

注) 品種は「翁丸」、放飼は6月26日～29日に実施

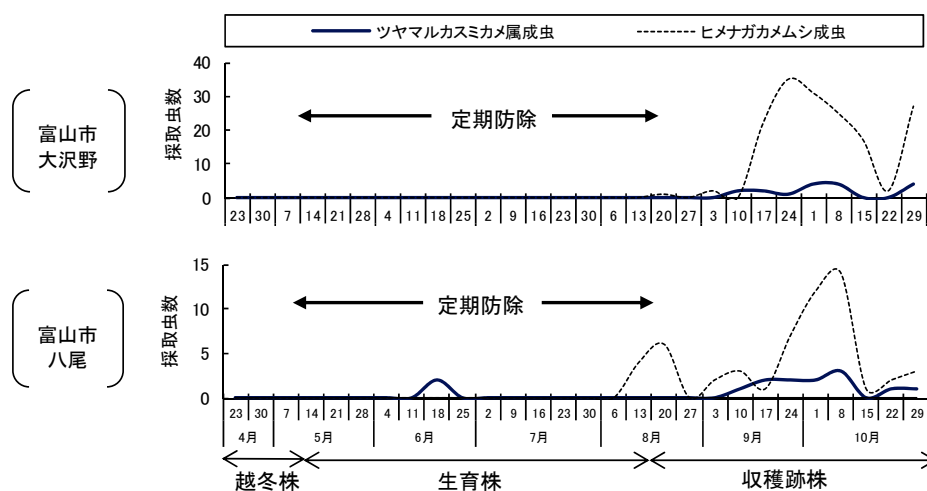


図5 慣行防除キクほ場から採取した植食性カメムシ類の推移 (2012年)

注) 20×0.4mあたりの採取虫数

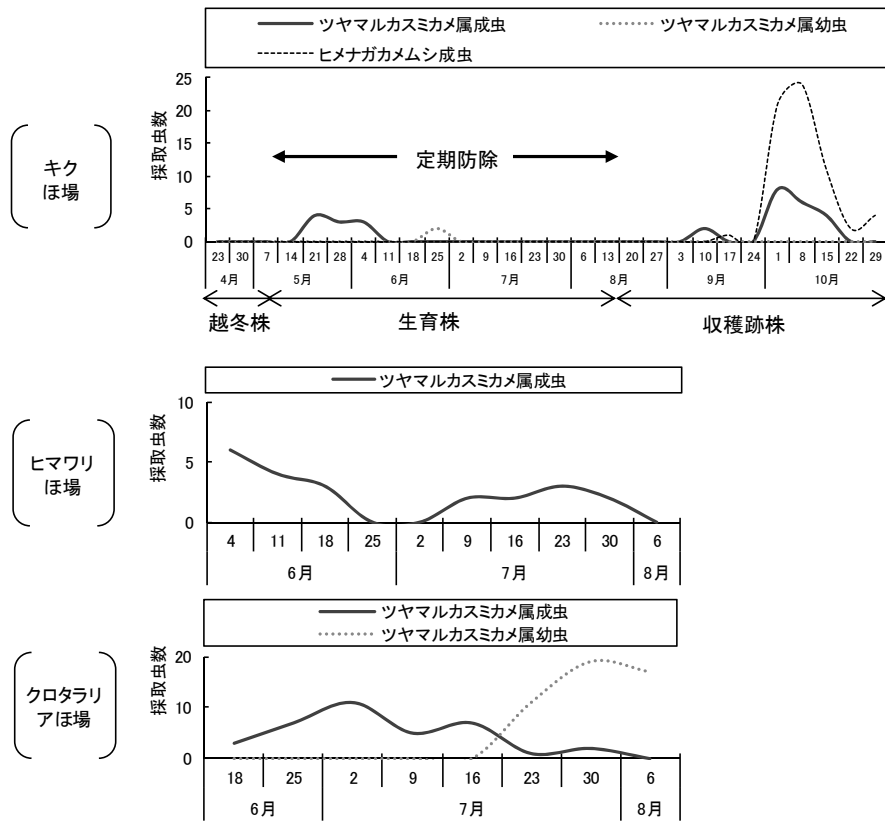


図6 南砺市高瀬の慣行防除キクほ場、ヒマワリおよびクロタリアほ場から採取した植食性カメムシ類の推移(2012年)

注) 20×0.4mあたりの採取虫数

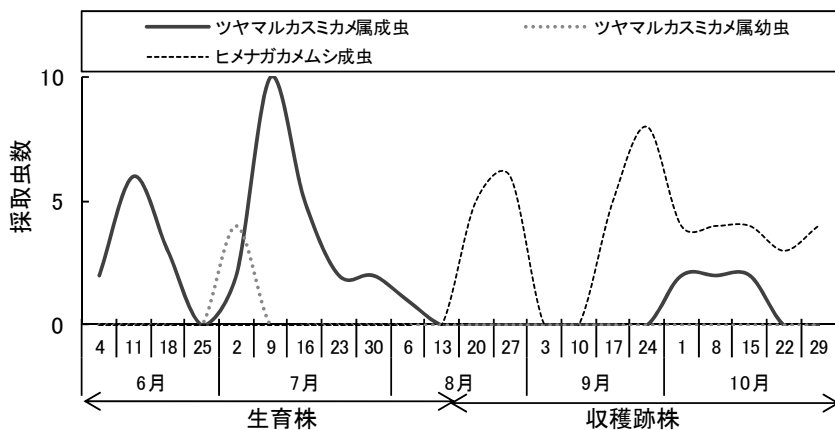


図7 富山市吉岡の殺虫剤無散布キクほ場から採取した植食性カメムシ類の推移(2012年)

注) 5×0.4mあたりの採取虫数

採取された(図5)。南砺市高瀬ではツヤマルカスミカメ属が5月上旬～6月下旬に生育株で、9月上旬～10月下旬に収穫跡株で採取されたが、7月上旬～8月下旬には採取されなかった。ヒメナガカメムシは9月中旬以降、収穫跡株で継続的に採取された(図6)。殺虫剤無散布キクほ場の富山市吉岡では、ツヤマルカスミカメ属が収穫直後の8月下旬～9月中旬を除き、いずれの調査時期でも採取された。ヒメナガカメムシは8月中旬以降、収穫跡株で継続的に採取された(図7)。ヒメナガカメムシも茎の伸長に影響を及ぼす(安田ら1993)ことが知られているが、キクほ場における発生が収穫期以降であることから被害は殆どないと考えられた。以上のように、芯止まりや曲がり被害が多発する5月～7月にはツヤマルカスミカメ属が採取され、放飼試験により被害が再現されたことから、本属の加害によると考えられた。また、慣行防除キクほ場では、定期防除期間中の採取虫数は少なかったことから、無防除となる収穫跡株では開花とともにカメムシ類がほ場に侵入し、産卵後に翌年まで定着すると考えられた。

以上のことから、薬剤による防除時期は越冬世代が越冬株および周辺寄主植物から飛来する5月中旬～6月上旬と親株での越冬量を低下させるための9月～10月、また収穫後は開花株に飛来することから、不要な株は早急に処分して耕起することが周辺の密度抑制に有効と考えられた。

さらに、毎年被害が多い南砺市高瀬圃場近隣のヒマワリ、クロタラリアほ場で調査を行った結果、ヒマワリほ場では調査開始の6月4日から調査

終了の8月4日まで、ほぼ継続的に本属カメムシが採取された。また、クロタラリアほ場でも調査開始の6月18日から調査終了の8月6日まで継続的に採取され、7月23日以降は幼虫が主体であった(図6)。これらのことから、ヒマワリ、クロタラリアほ場も主要な発生源となっていると考えられた。

4 野外植物における発生消長と寄主植物調査

富山市福沢のヨモギ群生地から採取されたカメムシ類はツヤマルカスミカメ属、ヒメナガカメムシ、アカヒメヘリカメムシ *Rhopalus maculatus*、オオメカメムシ *Piocoris varius*、アオクサカメムシ *Nezara antennata*、ブチヒゲカメムシ *Dolycoris baccalum*等であった。ツヤマルカスミカメ属は5月上旬～中旬に越冬世代幼虫が多く採取されたが、その後、成虫は殆んど採取されず、大半が成虫になると同時に他の植物へ移動すると考えられた。また、9月下旬以降、開花・花粉の飛散とともに、大量飛来があり調査期間終了の10月下旬まで確認され、産卵後、越冬場所になると推察された(図8)。

ツヤマルカスミカメ属のその他植物の採取調査を、セイタカアワダチソウ、シロツメクサ、ヒメジオンで実施した結果、シロツメクサでは採取されたが、セイタカアワダチソウ、ヒメジオンでは採取されなかった。以上、今回の結果や観察調査から、ツヤマルカスミカメ属はヨモギ、ヒマワリ、クロタラリア、シロツメクサに寄生が確認され、これらが主要な発生源と推察された。



図8 富山市福沢のヨモギ群生地から採取したツヤマルカスミカメ属の推移 (2012年)
注)8×1mあたりの採取虫数

5 薬剤検定試験

ツマグロアオカスミカメの成虫に対する薬剤殺虫効果を表1に示した。ソラマメ催芽種子法により殺虫効果を判断した結果、有機リン系殺虫剤3剤のうちアセフェート剤、プロチオホス剤の効果は高かったが、MEP剤は低かった。カーバメイト系ではマラソン・BPMC剤の効果が高かった。合成ピレスロイド系4剤は、いずれの薬剤も処理48時間後に70%以上の死亡率に達し、中でもエトフェンプロックス剤は処理24時間後の死亡率が100%に達し、速効性で効果が高かった。ネオニコチノイド系5剤はチアメトキサム剤の効果が高かったが、その他の薬剤は低かった。フェニルピラゾール系のフィプロニル剤は処理24時間後の死亡率が100%に達し、速効性で効果が高かった。新系統6剤の比較では、エマメクチン安息香酸塩酸塩乳剤、クロルフェナピル剤およびレピメクチン乳剤は処理48時間後の死亡率が80%前後に達したが、その他3剤の死亡率は低かった。

以上のことから、今回供試した薬剤のうちエトフェンプロックス剤とフィプロニル剤は速効性があり、本種に対し防除効果の高い薬剤と考えられた。

V 謝 辞

本研究を行うにあたり、(独)中央農業総合研究センター北陸研究センターの高橋明彦博士には終始有益な情報を頂いた。この場をかりて厚くお礼申し上げる。また、調査等でご協力いただいた園芸研究所、広域普及指導センター、農林振興センター職員各位に感謝申し上げます。

IV 摘 要

1. 富山県内のキクほ場およびヨモギ群落で確認されるツヤマルカスミカメ属の主要種は、ツマグロアオカスミカメである。
2. ツマグロアオカスミカメを生長期のキクに3日間放飼したところ、株当たり10頭以上の放飼区では茎の芯止まり、花とびなどの被害が再現され、本種が加害種である。
3. キクにおける発消長調査の結果、重要な薬剤防除の時期は、越冬世代が越冬株およびヨモギ等から飛来する5月中旬～6月上旬、および親株での越冬量を低下させるための9月～10月と考えられた。

表1 キクに登録のある各種薬剤のツマグロアオカスミカメ成虫に対する殺虫効果(2012年)

系統	薬剤名	希釈倍率	補正死亡率(%)	
			24時間後	48時間後
有機リン	※MEP乳剤	×1000	16.0	52.2
	アセフェート水和剤	×1000	28.0	95.6
	プロチオホス乳剤	×1000	92.0	100
	マラソン乳剤	×2000	88.0	100
カーバメイト	マラソン・BPMC乳剤	×1500	84.0	100
	ベンフラカルブマイクロカプセル剤	×1000	16.0	73.9
合成ピレスロイド	エトフェンプロックス乳剤	×2000	100	-
	アクリナトリン水和剤	×1000	72.0	82.6
	フルバリネート水和剤	×4000	36.0	91.3
	トラロメトリン水和剤	×2000	56.0	78.3
ネオニコチノイド	アセタミプリド水溶剤	×2000	4.0	43.5
	※クロチアニジン水溶剤	×2000	12.0	39.1
	※ジノテフラン水溶剤	×2000	0	51.6
	*チアメトキサム水溶剤	×1000	0	91.3
	ニテンピラム水溶剤	×1000	8.0	69.6
フェニルピラゾール	フィプロニル水和剤	×2000	100	-
新系統	エマメクチン安息香酸塩乳剤	×2000	0	82.6
	クロルフェナピル水和剤	×2000	16.0	82.6
	スピノサド水和剤	×5000	0	47.8
	トルフェンピラド乳剤	×1000	0	47.8
	ピリダリル水和剤	×1000	4.0	43.5
	レピメクチン乳剤	×1000	12.0	78.9
(参考)	無処理		0	8.0

※はカメムシ類、*はウスモンミドリカスミカメに登録のある薬剤

4. 収穫後は開花株に大量に飛来することから、不要な株は早急に処分して耕起することが周辺の密度抑制に有効であると考えられた。
5. ツヤマルカスミカメ属は、ヨモギ、ヒマワリ、クロタラリア、シロツメクサなどへの寄生が確認され、主要な発生源となっていると推察されることから、これら植物の刈払後のキクほ場への移動・侵入に注意する必要がある。
6. 薬剤検定の結果、ツマグロアオカスミカメに対して処理48時間後に90%以上の死亡率を示した薬剤はアセフェート剤、プロチオホス剤、馬拉ソン剤、馬拉ソン・BPMC剤、エトフェンプロックス剤、フルバリネート剤、チアメトキサム剤、フィプロニル剤であった。中でもエトフェンプロックス剤、フィプロニル剤は速効性であった。

VI 引用文献

- 宮田将秀 (1993) コアオメクラガメによるキクの吸汁害について, 北日本病虫研報 44: 172-174.
- 坂本 浩 (2009) キク害虫カスミカメ類の防除法, 福井園試
- 安田慶次 (1993) キクの害虫ウスモンミドリメクラガメの発生生態, 沖縄農試研報 14: 59-63.
- 安田慶次 (2006) 写真で見る菊の病害虫と防除, 沖縄県農林水産部・沖縄県花き園芸協会
- 安永智秀ら (2001) 日本原色カメムシ図鑑第2巻 全農協212-214
- 柴尾 学ら (2003) ソラマメ催芽種子浸漬法によるアザミウマ類の薬剤殺虫効果の簡易把握, 関西病虫研報45: 61-62

Study of *Apolygus* species on chrysanthemum fields in Toyama Prefecture.

Masayoshi AOYAMA, Hiroe NISHIJIMA and Masao KATAYAMA¹⁾

Summary

Most of the *Apolygus* species collected in chrysanthemum fields in Toyama Prefecture have been identified as *Apolygus spinolae*. When *Apolygus spinolae* bugs were released onto chrysanthemum plants, the plants showed typical damage, including blasting of flowers and stunting of plant. *Apolygus* species were also collected from Japanese mugwort, sunflower, crotalaria, curly dock, and white clover in the experimental area. We hypothesize that the bugs spread from these and other weeds into the chrysanthemum fields. The most effective times for pesticide application were mid-May to early June and during September and October. We also studied the susceptibility of *Apolygus spinolae* to 22 commercial insecticides. The following insecticides killed over 90 percent of the bugs: Acephate, Prothiofos, Marathon, MarathonBPMC, Etofenprox, Fluvalinate, Thiamethoxam and Fipronil.

1) Present Address: Agricultural Management Division, Toyama Prefecture, Toyama 930-8501

[Bull.Toyama Agr.Res.Inst.No.6 P1-P8 (2015)]

水稻新品種「赤むすび」(富山赤71号、富山赤78号)の育成

山口琢也・表野元保¹⁾・前田寛明²⁾・森川真紀子³⁾・木谷吉則⁴⁾・
尾崎秀宣³⁾・村田和優・伊山幸秀・小島洋一朗⁵⁾・宝田研⁶⁾・
向野尚幸⁷⁾・蛭谷武志

I 諸言

近年、食を通じた健康に対する関心が高まっており、そのような消費者ニーズに応えるためには、健康の維持や増進に役立つ農産物の開発が求められる。

食品がもつ機能性成分のひとつに、抗酸化成分がある。抗酸化性は、生体内において活性酸素やフリーラジカルを除去し、変異原物質の産生を抑制することなどから、循環器疾患の予防とともに、がん予防にも貢献する機能とみなされている (Ames, B. N., 1983)。抗酸化性に関してよく研究されている成分には、ビタミン類、ポリフェノール類、カロテノイド類があり、なかでもポリフェノール類は、中国医学で用いられる漢方薬や和漢薬などの薬草の作用性成分として古くから研究が行われており、様々な薬理作用が示されている (岩科, 1994)。

コメには果皮部 (いわゆる、ぬか層) が赤く着色した赤米品種が存在する。赤色の着色物質はポリフェノール類の1種のタンニン系色素が重合したプロアントシアニジンであり、赤米の抗酸化性は通常のコメ品種 (白米品種) と比べて明らかに高い (須田, 2002)、赤米は健康に対する機能が期待できる食品のひとつである。従来、赤米は白米への混入の懸念から、長きにわたって駆除の対象とされてきたため (石井, 2001)、これまで積極的な利用は行われてこなかった。しかし、近年は、その機能性が見直され、新品種の開発も実施されている (「ベニロマン」八木ら, 1998、「紅衣」山口ら, 2005、「紅更紗」石崎, 2002)。しかし、これらの品種は、在来の赤米品種がもつ、

極晩生、長稈で倒れやすいなどの栽培上の欠点を改良するにとどまっており、食味に関する選抜はなされていない。これまで赤米の利用は、白米に少量混ぜて炊飯し着色させることで加工品の付加価値を高めることが主な用途であり、食味の良否は選抜の対象にならなかったためと考えられる。

そこで我々は、おいしい赤米品種の育成に取り組み、次に示す3つの理由から、目標とする品種像は、「赤米化に関わる染色体領域のみが赤米品種由来で、他の遺伝的背景は全てコシヒカリ型の品種」とした。第一に、「コシヒカリ」は良食味品種の代表であり、その炊飯米の特長は粘りと光沢にある。しかし、「コシヒカリ」の良食味性を決定する遺伝的要因はいまだ明らかになっていない。第二に、準同質遺伝子系統 (NIL: near isogenic line) の選抜によって、「コシヒカリ」の良食味性を保持した系統を育成できることは、Kojima *et al.*, 2004、Wan *et al.*, 2005によってすでに示されている。また、NILの育成、およびそれらの集積系統 (PYL: pyramiding line) の育成のためには、DNAマーカー選抜 (MAS: DNA marker assisted selection) が有効であることも示されている (Ashikari *et al.*, 2005、Takeuchi *et al.*, 2006、表野ら, 2013)。第三に、赤米化には、第7染色体に座乗する*Rc*および第1染色体に座乗する*Rd*の2つの遺伝子が関わるということが知られており、それらの染色体上の位置情報もすでに明らかになっている (Furukawa *et al.*, 2006)。これらのことから、「コシヒカリ」の戻し交配によって、*Rc*および*Rd*を含む染色体領域のみが赤米由来のNILを育成することは可能である。そして、育成した系統は、「コシヒカリ」の良食味性を受け継いでいると考えられる。

1) 現在：農林水産省、2) 現在：高岡農林振興センター、3) 現在：農産食品課、4) 現在：富山農林振興センター、5) 現在：広域普及指導センター、6) 現在：新川農林振興センター、7) 現在：砺波農林振興センター

一方、実際の赤米品種の普及にあたっては、白米への混入を極力防止することに加え、万一混入しても除去できるよう、圃場での明確な識別性の付与が必要である。糯品種では、粳への混入がひとめでわかるように外穎先端に着色（ふ先色）を伴うよう改良されている場合が多い。我々は、「コシヒカリ」の遺伝的背景をもち、「ふ先色」をもつ系統「と系1378」を育成しており、この系統が第6染色体の短腕のごく一部にのみ在来品種の「阿波赤米」由来の領域をもつことを明らかにしていた（山口ら, 2011）。そこで、「と系1378」を交配親に用いることによって、「コシヒカリ」の遺伝的背景を維持しつつ、「ふ先色」を付与することとした。

本報告では、*Rc*および*Rd*を有する「コシヒカリ」のNILである「富山赤71号」、「富山赤71号」にさらに「ふ先色」を付与したNILである「富山赤78号」の育成経過と、これらの系統の特性について紹介する。

II 育成経過

「富山赤71号」および「富山赤78号」の系譜を図1に、選抜経過を表1および表2に示した。「富山赤71号」は、2003年に富山県農業技術センター農業試験場（現、富山県農林水産総合技術センター農業研究所、富山市）において、「H15Rc-1」（後の「と系赤1284」）を母、「SL-202」を父として人工交配を行った。「と系赤1284」は、*Rc*を含む近傍の染色体領域のみがインド型品種「Kasalath」型となった「コシヒカリ」のNILである。「SL-202」は、Ebitani *et al.* (2005) が育成した「コシヒカリ」を遺伝的背景とする「Kasalath」の染

色体断片置換系統群のうち、*Rd*を含む領域が「Kasalath」型に置換された系統である。2005年夏にF₁個体を養成して自殖種子を得た後、2005年冬にF₂集団（120個体）におけるMASによって、*Rc*が「Kasalath」ホモ型に固定し「SL-202」由来の領域（第1染色体）がヘテロ型の個体を選んだ。「SL-202」由来の「Kasalath」型染色体領域をできるだけ排除するために、F₂集団から*Rd*の上流側で組み換えのあった個体（42番）を選抜した。また、2006年夏に42番由来のF₃集団（26個体）から、*Rd*の下流側に組み換えを生じ、かつ、玄米色が赤色である個体（H18Rc/Rd-5-11）を選抜した。そして、2006年冬に*Rd*が「Kasalath」ホモ型に固定した個体（H18Rc/Rd-5-11-10）をF₄集団から選抜した。2007年にはF₅世代で「富山赤71号」の地方番号を付与し、本田において系統選抜と生産力検定を行った。その結果、「富山赤71号」は赤米である以外は「コシヒカリ」との同質性が高く、他の赤米品種と比較して食味が優良であり、固定度も実用上充分であった。このため、2007年11月20日に「富山赤71号」の品種名で品種登録申請を行い、2008年2月19日に出願公表され、2010年3月17日に登録された（登録番号：第19143号）。

「富山赤78号」は、2007年夏に、「富山赤71号」を母、「と系1378」を父として人工交配を行った。2007年冬に温室内でF₁個体を養成し、自殖種子を得た。2008年に本田でF₂集団（120個体）を展開し、MASにより*Rc*および*Rd*を含む領域が「Kasalath」ホモ型に固定し、第6染色体短腕がヘテロ型の個体（H20F2-18-45）を選抜した。さらに、2009年に本田でF₃集団（160個体）を展開し、第6染色体短腕が「阿波赤米」ホモ型に固定した8個体を

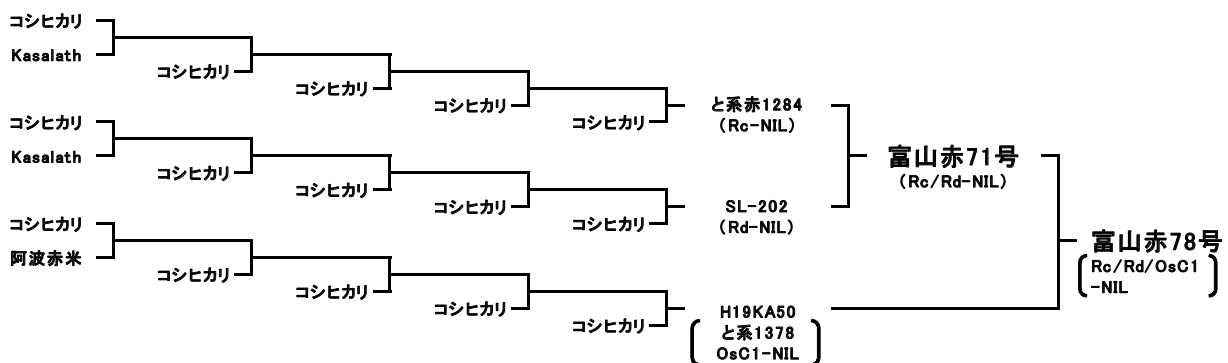


表1「富山赤71号」の選抜経過

試験年度	2003	2005夏	2005冬	2006夏	2006冬	2007
世代	交配	F1	F2	F3	F4	F5
供試系統群数						1
供試系統数			120個体	26個体	65個体	11
選抜系統群数						1
選抜系統数						1
選抜個体数			1	1	1	20
地方番号						富山赤71号

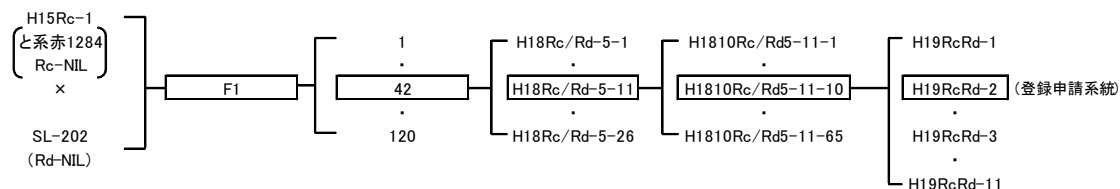
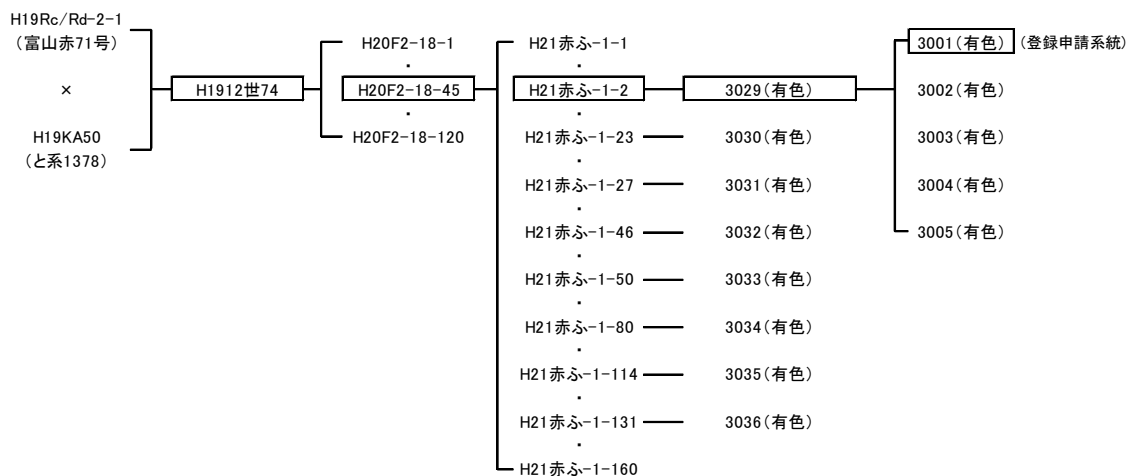


表2「富山赤78号」の選抜経過

試験年度	2007夏	2007冬	2008	2009	2010	2011
世代	交配	F1	F2	F3	F4	F5
供試系統群数						1
供試系統数			120個体	160個体	8	5
選抜系統群数					1	1
選抜系統数					1	1
選抜個体数			1	8	5	20
地方番号					と系赤1400	富山赤78号



選抜した。2010年にはF₄世代において「と系赤1400」の系統番号を付与して、系統選抜と生産力検定を実施し、収量、食味等の諸形質について調査した。その結果、「富山赤78号」は「ふ先色」が付与された以外は「富山赤71号」との同質性が高く、優れた系統であることが確認できた。そこで、2011年には「富山赤78号」の地方番号を付与し、現地適応性の検討を行ったところ、現地においても、食味等の諸特性が優良であることが確認できた。また、固定度を調査したところ、実用上十分に固定されていたため、優良な個体を選抜し、2011年12月26日に「富山赤78号」の品種名

で品種登録申請を行った。2012年3月16日に出願が公表され、2013年4月18日に品種登録された(登録番号:第22564号)。

流通にあたっては、2010年4月8日に「赤むすび」の名称で商標の出願を行い、2010年12月に商標登録された(登録番号:第5372301号)。2011年4月25日からは、「富山赤71号」の産地品種銘柄を「赤むすび」とした。さらに、2012年4月27日より、「赤むすび」を新たな品種群として設定し、構成する品種を「富山赤71号」および「富山赤78号」とした。

Ⅲ 品種特性の概要

1) 食味特性

「富山赤71号」と、他の機関が育成した赤米品種・系統の食味を2008年、2009年に比較した(表3)。「富山赤71号」は、食味官能検査の「うまみ」、「ねばり」の項目で優れ、総合評価が高かった。次に、「富山赤78号」の食味官能試験結果を表4に示す。「富山赤78号」は、「富山赤71号」とほぼ同等の

食味官能値を示し、「紅衣」と比べ、「総合評価」、「うまみ」、「ねばり」で有意に優れていた。また、2009年にRapid Visco Analyzer (Newport Scientific社製)を用いて糊化特性を測定した(図2)。「富山赤71号」は、「紅衣」と比較して、最高粘度が「コシヒカリ」並に高いことなど、「コシヒカリ」に近似していた。表5には、2008～2010年の品種間比較を示す。3か年とも測定機が異なるため、年次間の数値比較はできないが、「富

表3 「富山赤71号」と他の育成品種の食味官能試験

試験年	品種名	食味官能値				
		総合	うまみ	ねばり	かたさ	光沢
2008	富山赤71号	0.13	0.15	0.16	-0.03	0.26
	紅衣	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	紅更紗	-0.01	0.07	0.02	0.08	0.26
	ベニロマン	-0.63	-0.25	-0.75	-0.66	-0.14
	(参考) Kasalath	-1.12	-0.71	-0.98	-0.86	-0.11
2009	富山赤71号	0.21	0.24	0.11	0.08	0.08
	紅衣	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	紅更紗	-0.08	-0.13	0.03	0.27	-0.11
	岩手赤92号	0.00	0.08	-0.08	0.03	-0.03
	滋賀赤72号	-0.11	-0.03	-0.05	0.08	0.13
	西南赤134号	-0.26	-0.08	-0.15	-0.11	0.08

注1) 2008年の食味官能試験は、95%搗精、約20名のパネラーで、食味基準を「コシヒカリ」とし、極不良(-2)～極良(+2)の9段階で評価し、「紅衣」を0とした場合の平均値を算出した。

注2) 2009年の食味官能試験は、95%搗精、約20名のパネラーで、食味基準を「紅衣」とし、極不良(-2)～極良(+2)の9段階で評価した。

注3) 2008年の「Kasalath」は富山赤71号のドナーの在来品種であり、育成品種ではないが、食味値の参考として記載した。

表4 「富山赤78号」と他の育成品種の食味官能試験

試験年	品種・系統名	玄米蛋白 (%)	食味官能値				
			総合	うまみ	ねばり	かたさ	光沢
2010	と系赤1400	6.9	0.32 *	0.20	0.16	0.23 *	0.40 **
	富山赤71号	6.8	0.21 *	0.14	0.06	0.22 *	0.36 *
	紅衣(対照)	7.4	0.03	0.01	-0.06	0.00	0.17
2011	富山赤78号	6.4	0.14	0.13 **	0.10	0.10	0.05
	富山赤71号	6.3	0.08	0.05 *	0.07 *	0.10	0.04
	紅衣(対照)	7.1	-0.13	-0.07	-0.01	0.02	0.02
平均	富山赤78号	6.6	0.23 **	0.17 **	0.13 **	0.16 **	0.23
	富山赤71号	6.6	0.14 *	0.09 *	0.06 **	0.16 **	0.20
	紅衣(対照)	7.3	-0.05	-0.03	-0.03	0.01	0.09

注1) 玄米蛋白含量は、ケルダール法を用いて測定し、水分15%に換算して算出した。

注2) 食味官能試験は、95%搗精、約20名のパネラーで、食味基準用「紅衣」を0とし、極不良(-2)～極良(+2)の9段階で評価した。

注3) 食味官能値の右横に記載した*および**は、t検定で「紅衣(対照)」と比べた際に、5%および1%水準で有意差があることを示す。

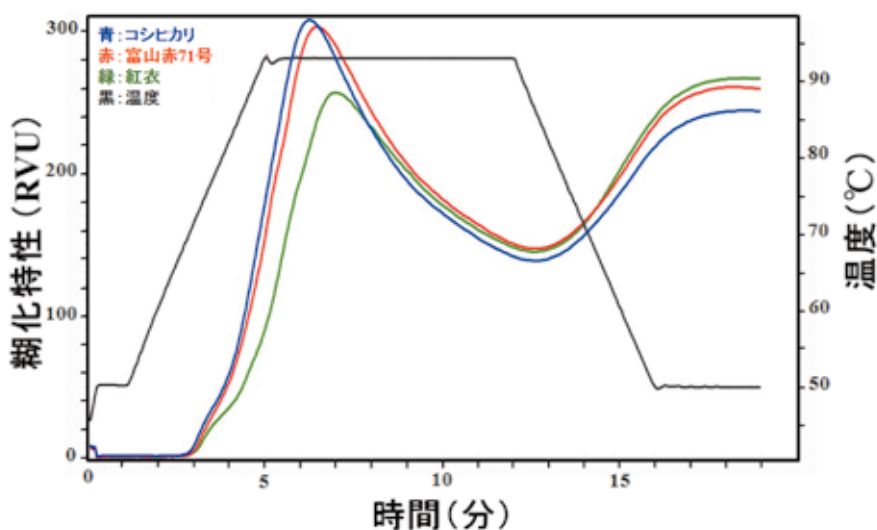


図2 「富山赤71号」と他品種の糊化特性の比較（2009年）

注) 95%搗精の精米サンプルを粉碎し、Newport Scientific社のRVAで測定を行った。

表5 「富山赤71号」および「富山赤78号」の糊化特性

試験年	品種・系統名	最高粘度	最低粘度	最終粘度	ブレイクダウン	セットバック
2008	富山赤71号	527	209	319	318	-208
	紅衣	515	240	343	275	-172
	紅更紗	473	260	383	213	-90
	ベニロマン	419	226	388	193	-31
	(参考)Kasalath	427	195	385	232	-42
	コシヒカリ	506	201	305	305	-201
2009	富山赤71号	299	144	255	155	-45
	紅衣	259	146	265	113	6
	コシヒカリ	308	140	245	169	-63
2010	富山赤78号	338	147	258	191	-80
	富山赤71号	333	153	264	179	-69
	紅衣	298	173	301	125	3
	コシヒカリ	351	159	273	192	-78

注1) いずれも95%搗精の精米を粉碎し、Newport scientific社のRVAにより計測した。

2008年は福井農試、2009年は新潟大、2010年は作物研究所において計測した。

注2) ブレイクダウンは炊飯米の粘りの指標であり、大きいと粘りが大きくなる。

ブレイクダウン＝最高粘度－最低粘度

注3) セットバックは炊飯米の老化の指標のひとつであり、小さいと冷めても硬くなりにくい。

セットバック＝最終粘度－最高粘度

山赤71号」および「富山赤78号」は同条件で測定した他の赤米品種と比較して、ブレイクダウン値が明らかに大きく、セットバック値が低いことから、「ねばり」に優れ冷めても硬くなりにくい

特性をもつと考えられる。

2) 栽培特性

3ヶ年の奨励品種決定調査の概要を表6に示す。「富山赤71号」は、出穂期、成熟期、穂長、穂数、千粒重、精玄米重に関して「コシヒカリ」との差異がほとんど認められず(表6)、稲株の外観および群落の様相についても「コシヒカリ」との同質性が非常に高かった(写真1、写真2)。一方、比較品種の「紅衣」に対しては、着粒数が多く20～30%程度多収であった(表6、表7)。粒形および粒厚分布に関しても、「富山赤71号」と「コシヒカリ」との間に大きな違いはみられなかった(表8、図3)。稈長に関しては、若干の差異が認められ、「富山赤71号」は「コシヒカリ」より2～3センチ長く、やや倒伏しやすい傾向にあった(表6)。節間長調査(表7)では、第1～第4節間が「コシヒカリ」よりも、やや伸長しやすくなっていた。また、「富山赤78号」は、すべての栽培特性項目に関し、「富山赤71号」と同等の特性を示した。

以上のことから、「富山赤71号」および「富山赤78号」は「コシヒカリ」との同質性がきわめて高く、「紅衣」と比べて、収量性が非常に高いことがわかった。



写真1 稲体の写真

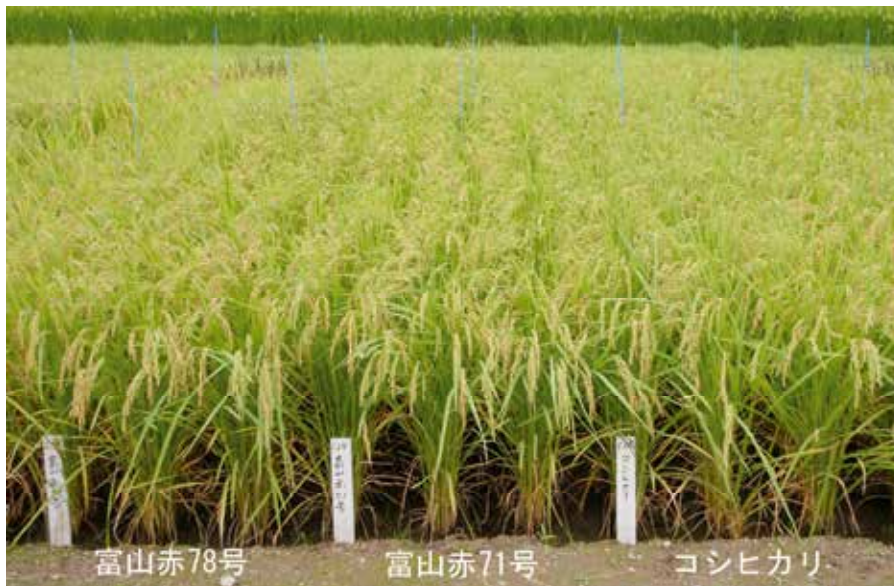


写真2 黄熟期の草型

表6 奨励品種決定調査の概要(2010~2011年)

試験年	品種名	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	千粒重 ^{注2} (g)	粗玄米重 ^{注2} (kg/a)	精玄米重 ^{注2} (kg/a)	同左比 ^{注3} (%)	屑米重 ^{注2} (kg/a)	倒伏 (無0-基5)
2010	富山赤78号	8/1	9/10	94.4	18.3	381	21.8	63.3	59.8	98	3.4	2.9
	富山赤71号	8/1	9/10	93.4	18.5	396	22.0	63.4	59.4	98	4.0	3.0
	(比)コシヒカリ	8/2	9/9	89.8	18.6	369	22.1	63.7	60.8	100	3.0	2.1
	(比)紅衣	7/21	8/25	76.8	20.1	218	23.6	50.5	45.2	74	5.2	0.5
2011	富山赤78号	7/31	9/9	90.7	18.6	397	23.3	56.3	53.8	97	2.5	2.3
	富山赤71号	7/31	9/9	88.9	18.4	392	23.4	56.6	54.4	98	2.2	2.4
	(比)コシヒカリ	8/1	9/11	85.8	18.9	362	23.0	57.5	55.6	100	1.9	2.6
	(比)紅衣	7/18	8/24	71.1	19.6	289	26.9	47.4	43.7	79	3.8	0.0
2012	富山赤78号	8/2	9/10	86.9	19.0	374	24.2	62.7	60.4	101	2.2	2.5
	富山赤71号	8/2	9/9	85.8	18.3	371	24.4	61.8	59.6	99	2.3	2.3
	(比)コシヒカリ	8/2	9/10	82.7	18.1	358	23.7	62.9	60.1	100	2.8	2.2
平均 ^{注4}	富山赤78号	8/1	9/9	90.7	18.7	384	23.1	60.8	58.0	99	2.7	2.6
	富山赤71号	8/1	9/9	89.4	18.4	386	23.2	60.6	57.8	98	2.8	2.6
	(比)コシヒカリ	8/2	9/10	86.1	18.5	363	23.0	61.4	58.8	100	2.5	2.3
	(比)紅衣	7/19	8/25	74.0	19.9	254	25.2	49.0	44.5	76	4.5	0.3

注1) 各年度とも、3試験区の平均値であり、2010年は5/13、2011年は5/20、2012年は5/17に移植し、慣行に従った肥培管理を行った。

注2) 収量および千粒重は、1.9mmの篩を用い、水分15%に換算して算出した。

注3) 同左比は、「コシヒカリ」の精玄米重を100としたときの比率を示した。

注4) 「紅衣」のみが2ヶ年平均で、他の品種は3ヶ年平均値を示した。

表7 節間長および着粒数調査

試験年	品種名	節間長(cm)						1種 着粒数 (粒/1種)	m ² あたり 着粒数 (粒/m ²)	登熟歩合 1.9mm以上 (%)
		第1節間	第2節間	第3節間	第4節間	第5節間	第6節間			
2010年	富山赤78号	37.4	22.0	17.3	11.2	6.0	0.2	69.2	26,303	87.5
	富山赤71号	37.4	21.5	17.8	11.1	6.0	0.3	69.7	28,750	85.9
	(比)コシヒカリ	36.2	20.8	15.9	10.4	5.6	0.3	72.1	27,358	87.0
	(比)紅衣	36.4	18.0	15.3	8.9	0.6	0.0	87.0	19,945	74.6
2011年	富山赤78号	38.5	21.8	18.8	9.0	3.1	0.0	68.6	27,404	82.5
	富山赤71号	38.9	21.9	18.1	8.2	2.1	0.0	68.3	27,110	85.0
	(比)コシヒカリ	38.7	21.4	16.7	7.6	2.3	0.0	72.7	26,829	88.1
	(比)紅衣	34.5	18.5	12.6	5.7	0.1	0.0	72.0	21,521	70.6
平均	富山赤78号	38.0	21.9	18.1	10.1	4.6	0.1	68.9	26,853	85.0
	富山赤71号	38.2	21.7	17.9	9.6	4.0	0.1	69.0	27,930	85.5
	(比)コシヒカリ	37.4	21.1	16.3	9.0	4.0	0.2	72.4	27,094	87.5
	(比)紅衣	35.5	18.3	13.9	7.3	0.3	0.0	79.5	20,733	72.6

注) 各年度ともに3試験区の平均値。

表8 粒形調査結果(2011年)

品種名	粒 長		粒 幅		粒長/粒幅比	粒 厚	
	平均値±標準偏差		平均値±標準偏差			平均値±標準偏差	
	(mm)		(mm)			(mm)	
富山赤78号	4.99	± 0.18	2.92	± 0.11	1.71	2.07	± 0.06
富山赤71号	5.02	± 0.19	2.92	± 0.11	1.72	2.08	± 0.07
(比)コシヒカリ	4.94	± 0.18	2.90	± 0.10	1.71	2.04	± 0.06
(比)紅衣	5.25	± 0.20	3.03	± 0.10	1.74	2.23	± 0.09

注) 3試験区の平均値と標準偏差を示した。

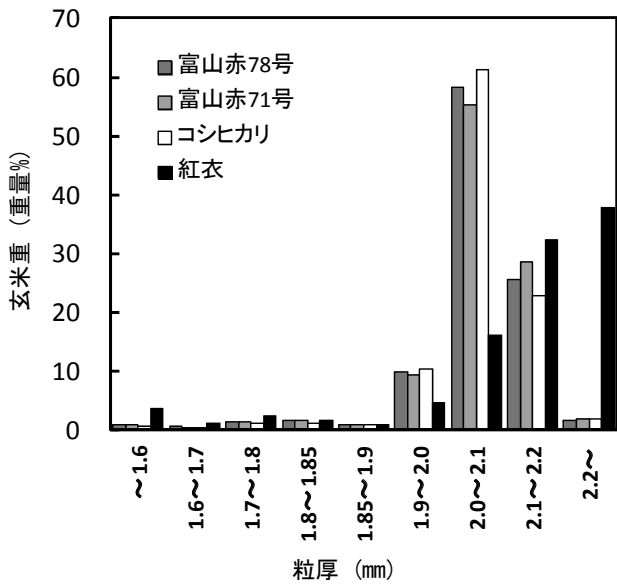


図3 粒厚分布の比較 (2010年、2011年の平均)

3) 「コシヒカリ」との区別性および置換された遺伝領域

「富山赤71号」は、玄米色が赤いことで「コシヒカリ」との区別性がある。一方、「富山赤78号」は、玄米色が赤いことで「コシヒカリ」との区別性があることに加え、出穂期から黄熟期にかけての外穎先端の色(ふ先色)と、出穂期の柱頭の色が紫色である点において「富山赤71号」および「コ

シヒカリ」との区別性がある。写真3には、成熟期の玄米および粃の品種比較、写真4には「富山赤78号」の熟期毎の「ふ先色」の色彩の変化を示した。また、「富山赤78号」のグラフ遺伝子型を図4に示した。ゲノム全体に分布する114種類のマーカーで遺伝分析した結果、Rdが座乗する第1染色体にはRM6716~RM5931間(6.3Mbp)、Rcが乗する第7染色体にはRM7161~RM8028間(2.1Mbp)の「Kasalath」由来の染色体領域があり、第6染色体短腕にはRM19559~RM19641間(1.1Mbp)に「阿波赤米」に由来する染色体領域があった。この3箇所の領域以外は、全て「コシヒカリ」型に置換されていることが明らかになった。

4) 抗酸化性

2007年産の「富山赤71号」、他の赤米品種および「コシヒカリ」の玄米を用いて、抗酸化性を分析した結果を図5に示した。測定は、DPPH法(Blois M.S. 1958)で行った。「富山赤71号」の玄米のラジカル消去活性は、「コシヒカリ」と比較して約20倍の値を示し、「紅更紗」と同等で、「紅衣」よりも高い値を示した(図5-a)。さらに、「富山赤71号」のラジカル消去活性と、その両親である「と系赤1284」、「SL-202」およびドナー品種である「Kasalath」を比較した結果、「と系

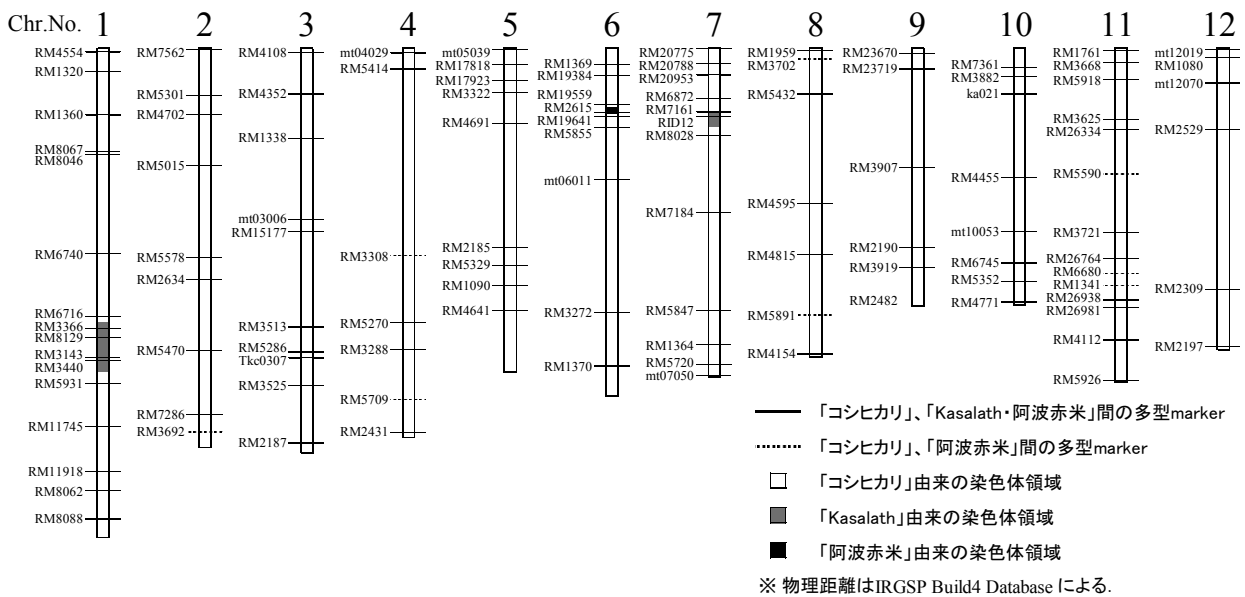


図4 「富山赤78号」のグラフ遺伝子型



写真3 成熟期の玄米および粳

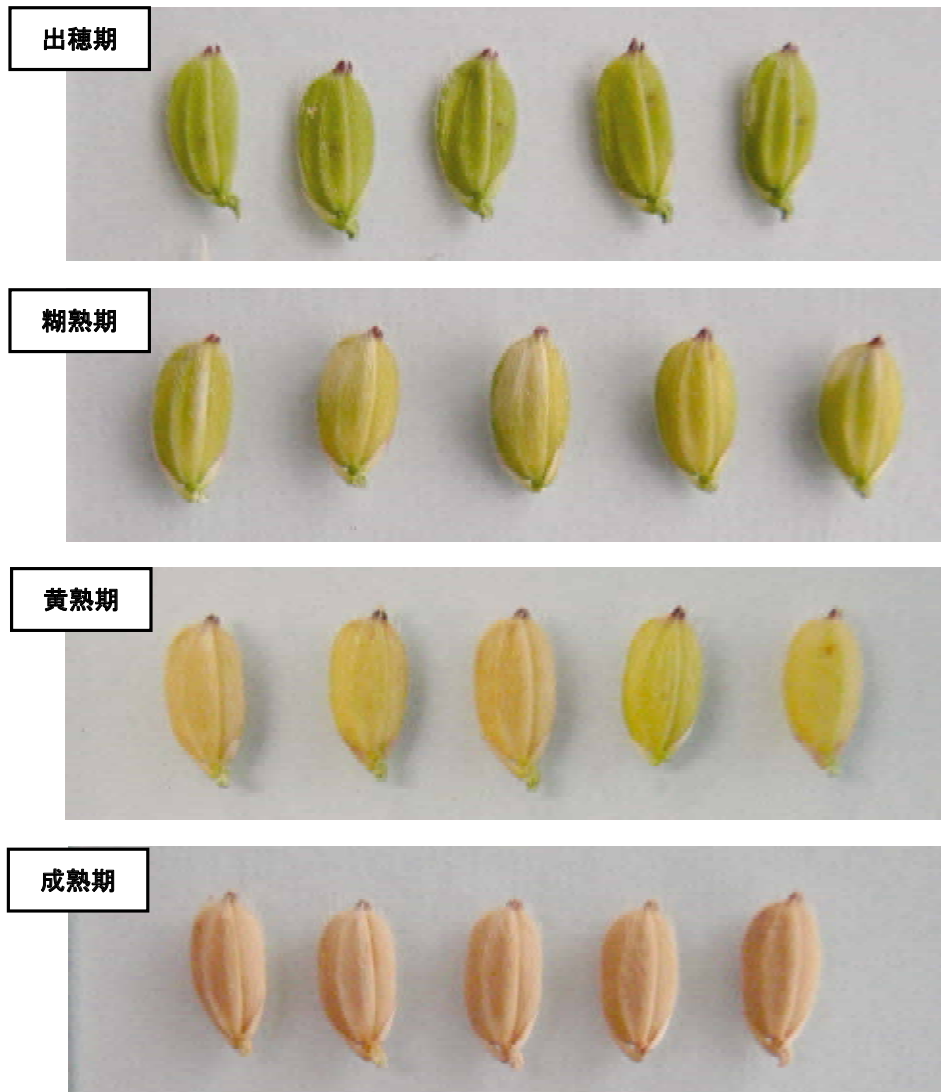


写真4 「富山赤78号」における外穎先端の色(ふ先色)の色彩の変化

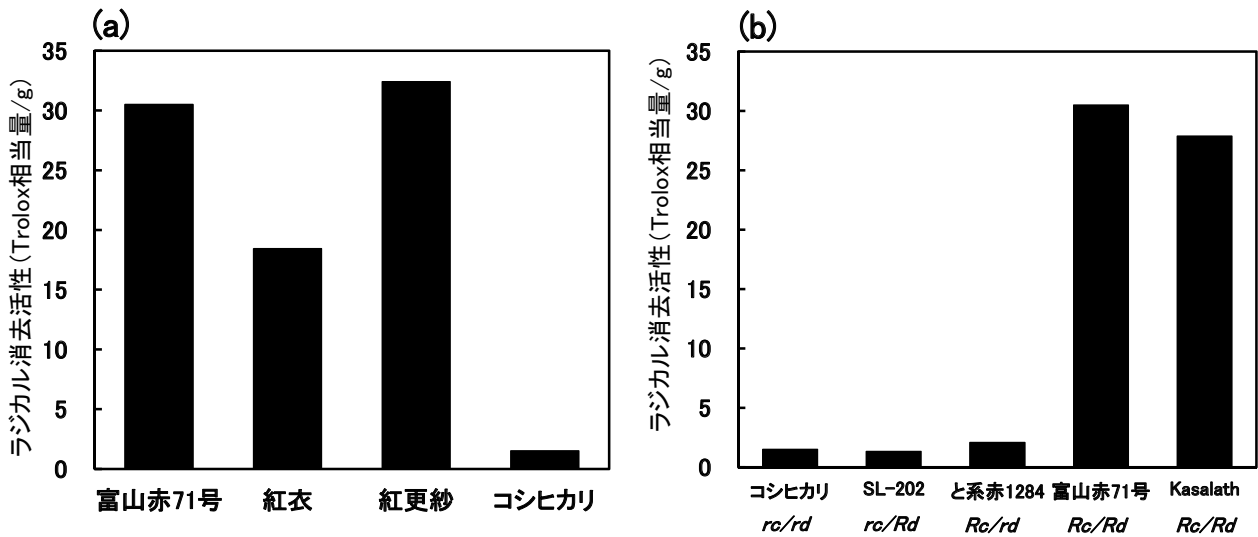


図5 DPPH法を用いた抗酸化性の測定結果 (2007年)

(a)には育成品種の抗酸化能の比較結果、(b)には「富山赤71号」の交配親およびドナー品種の抗酸化能の測定結果を示した。分析は(株)品質安全研究センターに委託した。(b)の品種名の下記号は、赤米化遺伝子の *Rc* および *Rd* の遺伝子型が機能型か欠損型かを示している (*Rc*, *Rd* は機能型、*rc*, *rd* は欠損型であることを示す)。

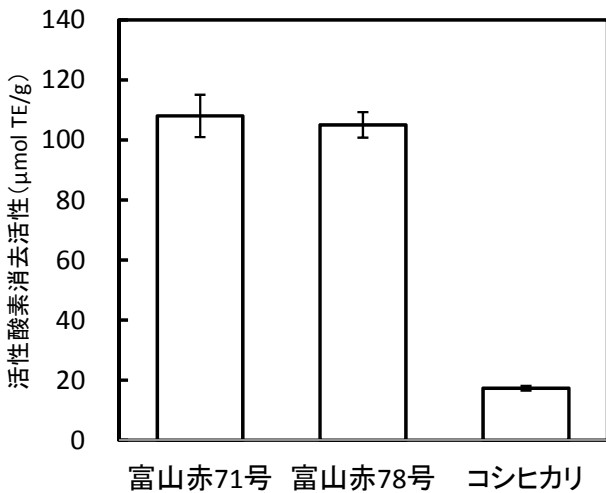


図6 ORAC法を用いた抗酸化性の測定結果 (2011年)

注) 分析は(財)日本食品分析センターに試験依頼した。
2011年12月6日 第11113159002~11113159004号

赤1284」と「SL-202」の値は「コシヒカリ」と同等であるが、「富山赤71号」は「Kasalath」並に高い値を示した(図5-b)。また、ORAC法(Cao *G et al.* 1993)を用いて、2011年産の「富山赤71号」と「富山赤78号」の抗酸化性を測定した結果を図6に示した。「富山赤78号」のラジカル消去活性は、「富山赤71号」と同等に高かった。

IV DNA分析法

F₂~F₄世代の分離集団におけるMASは、以下の方法で実施した。各個体からサンプリングした約1cmの葉を0.4mLのTPSバッファー(10mM EDTA, 1M KCl, 100mMTris-HCl (pH8.0))に入れ、マルチビーズショッカー((株)安井器械)で葉を破碎し、65°C 1時間でDNAを溶出させた。3,000rpm、10分間の遠心分離後、上0.12mLと等量のイソプロパノールを混合して、3,000rpm、10分間の遠心分離を行い、DNAを沈殿させた。上清を捨てた後、70%エタノールで洗浄し、風乾させ1/10TEバッファー(100mM EDTA, 1mMTris-HCl (pH8.0)) 30μLに溶解しDNA溶液とした。MASに適用するPolymerase chain reaction(以降、PCR)分析の反応液の組成は、0.5μLの鋳型DNA(10~30ng)、1μLの10×PCRバッファー、1.5μLの2.5mM dNTPs、1.5μLの5×チューニングバッファー、0.1μLのTaqDNAポリメラーゼ((株)北海道システムサイエンス、5U/μL)、0.25μLの20μMに調製した両プライマー、4.9μLの滅菌水とした。

反応条件は、DNA変性 95°C・20秒、アニーリング 55°C・60秒および伸長反応 72°C・30秒の35サイクルで行った。増幅したDNAは、3%のTBEアガロースゲルで電気泳動後、臭化エチジウムに

表9 MASに使用したDNAマーカーのプライマー配列

目的遺伝子	マーカー名	Primer-U	Primer-L
Rc	RID12	TACAGGGGAGCAGAAACACC	AAAGGTACCAAAGATCGCAGAA
Rd	RM8129	CTCAACCCGGCTTTCCATCTCG	GCTGCAGAGTCTCGCACGTTCC
	RM3143	AAAGCCTGGATAAGATGGTTCCG	CTGTAGTTGCTGTTTGCCTGTCC
OsC1	RM19603	ATGACAGAGCCGTCGATGGTTGG	TGCCGCTAAGCGAAACATTACAGC
	RM2615	ATCTCGTTCATACTGCTTGACC	GACTGGTTTCCTTCATGTTACC

よって染色し、遺伝子型を分析した。解析に用いたプライマーの塩基配列情報は、表9のとおり、*Rc* はSweeny *et al* (2007) より、*Rd* および第6染色体短腕はSimple sequence repeat (以降、SSR) マーカーをInternational Rice Genome Sequencing Project (2005)より選抜して用いた。

「富山赤78号」のゲノム全体の遺伝子型調査に使用した鋳型DNAは、約3gの葉からCTAB法(Murray and Thompson 1980)で抽出し、1/10TEバッファーに溶解させ50ng/ μ Lに調製後、分離集団と同様のPCR分析を行った。使用したマーカーの物理位置は図4のとおりであり、多型のあるSSRマーカーが得られなかった領域については、表10のとおりInsertion and deletion (Indel) マーカーを設計した。

V 考察

「医食同源」という言葉があるのとおり、「赤むすび」(富山赤71号、富山赤78号)は、健康機能性とおいしさの両方を追求した新品種である。本品

種育成の目的は、美味しい粳の赤米品種を育成するというものであったが、実際、育成した「赤むすび」の食味は、優れた「うまみ」と「ねばり」を有しており、「コシヒカリ」の良食味性を受け継いでいた(表3,4)。これまでに育成された粳の赤米品種では、食味は選抜対象となっていないことから、新規性の高い品種の育成に成功したと考えている。また、「赤むすび」の玄米の抗酸化性は、従来の赤米品種と同程度に高かった。これらの結果から、今後、「赤むすび」が「くすりの富山」をイメージさせる新品種として、普及拡大していくことを望む。また、粘りがあり食味に優れるという特性を生かし、おにぎりや弁当に使用したり、天然色素を使った加工食品に使ったりするなど、富山オリジナルの特産品への活用が期待できる。

「赤むすび」の育成にあたっては、連続戻し交配とMASの組み合わせによってNILを育成した後、NIL同士の交配によってPYLを育成するという手法を採用した。耐病性や稈長、出穂期など、栽培特性を改良したNILおよびPYLにおいて、

表10 全ゲノム解析に使用したIndelマーカーのプライマー配列

Chr.	マーカー名	Primer-U	Primer-L
3	mt03006	CCAATTCCAAGCAACTTTTCG	AACCGAAAACGAGAGGTTCA
	TKC0307	GTGGTCGCATCACTGGTAAA	TCAACCAGCTGCCAGGTTAT
4	mt04029	TCCTCTTGTTGTTGTCTGGTTG	GCGTGCATGTAGCCAGATTA
5	mt05039	ATCACCACGAATGCGTCATA	GATATGCTGCTGCCATTCAA
6	mt06011	CGAGTGCAGACACAATCACA	AGACTAATGCGGAAGACCACA
7	mt07050	GCTACTTAGAGCGGCAATTCA	CTGGTACCGCACCTGAAAAT
10	Ka021	ATCCTGAAACAAAAATCAGGATG	GTTTCGCAGGCAAGTGATGTAAAG
	mt10053	TCAGTTAGGACCATCGTAAAAACA	TTGATGGTATGTTTGTTCAGTGAAA
12	mt12019	ACACGAGTTGCATGCACAAA	TGGTTTCAGAGCATTAAATTTGG
	mt12070	AAGTGCAACAGGATGACTGCT	ATACGCGGAAAGCGATAAGA

「コシヒカリ」の良食味が保持できるという報告はこれまでもあった (Wan *et al.*, 2005、Takeuchi *et al.*, 2006、表野ら, 2013)。今回は、玄米果皮の着色という炊飯米の風味に直接関与する農業形質の改良であるため、「コシヒカリ」との直接の食味比較はできないが、RVAの測定結果から判断すると、デンプンの性質は「コシヒカリ」に近似していた (図2、表5)。すなわち、本研究は有色米の良食味育種に関しても、この手法が応用できることを示したものである。また、今回は、育成した「富山赤71号」に「コシヒカリ」との圃場での識別性がなかったことから、急ぎよ、「ふ先色」を用いた識別性の付与を育種目標に追加した。このような育種プログラムの変更に対しても、遺伝的背景が「コシヒカリ」に統一されたNILを交配親に用いることによって、交配からわずか4年という短期間で、「富山赤78号」を品種登録申請することができた。

これらの結果は、MASによる「コシヒカリ」背景のNIL化という育種法が、良食味の保持と、現場ニーズに合わせた臨機応変な対応の2点について、非常に有効な手段であることを示している。

さらに、育成過程において、いくつかの新しい知見を得ることができた。

第一に、玄米着色と抗酸化性の対応関係に関して、「富山赤71号」の育成模式図を図7に示す。これまで、Furukawa *et al.* (2006) は、「台中65号」の遺伝的背景で、*Rc*および*Rd*をもつNIL (玄米色が赤色) と*Rc*のみをもつNIL (玄米色が茶色) のF₂解析によって、*Rd*がDihydroflavonol 4-Reductase (DFR) であり、玄米色を赤くするための必須因子であると結論している。また、前田ら (2007) は、「台中65号」の遺伝背景で、*Rc*のみをもつNILと、「台中65号」のラジカル消去活性の比較を行い、*Rc*のみをもつNILでは抗酸化性が高くないことを報告している。本研究において、共通の遺伝的背景をもつ材料、*Rc*単独 (と系赤1284)、*Rd*単独 (SL-202)、*RcRd*集積 (富山赤71号) を用いて、玄米色と抗酸化性の対応関係をみたところ、*Rd*単独では果皮への着色がなく、抗酸化性が「コシヒカリ」と変わらないこと、*Rc*および*Rd*を集積することで初めて抗酸化性が高まることを明らかにした。「と系赤1284」では、プロアントシアニジンの前駆物質の状態

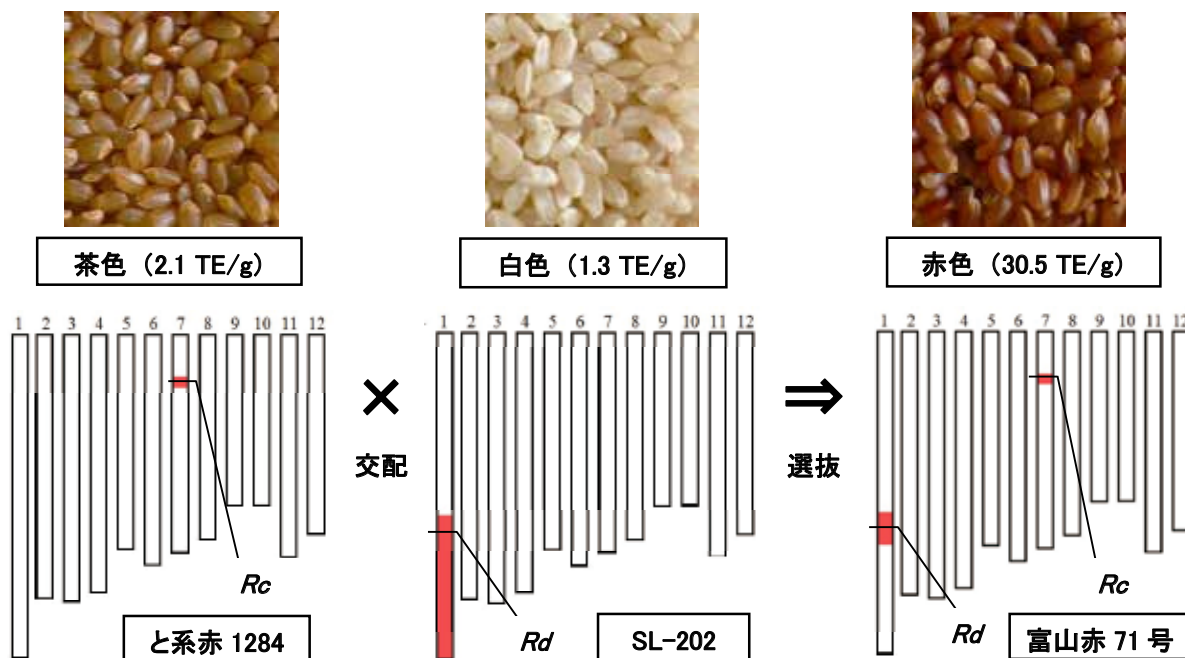


図7 「富山赤71号」の育成模式図および玄米着色と抗酸化性の関係

注1) 玄米色は成熟期後に撮影したものであり、カッコ内の数値は図5-bに示した玄米のラジカル消去活性の分析結果。

注2) 1~12の番号は染色体番号を示し、白色部分が「コシヒカリ」型、赤色部分が「Kasalath」型の染色体領域を示す。

注3) 模式図内の *Rc*、*Rd* は、各遺伝子の染色体上の位置を示す。

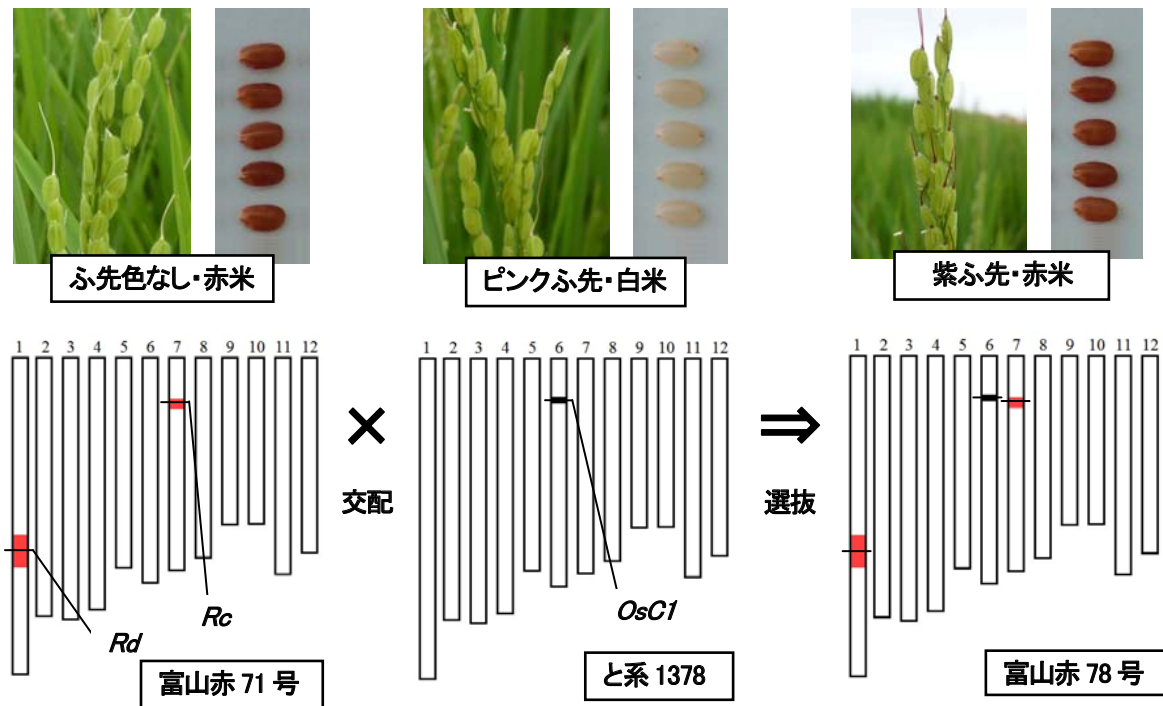


図8 「富山赤78号」の育成模式図および着色部位との関係

- 注1) 稲穂の識別性(ふ先色)は穂前期、玄米は成熟期後に撮影。
- 注2) 1~12の番号は染色体番号を示し、白色部分が「コシヒカリ」型、赤色部分が「Kasalath」型、黒色部分が「阿波赤米」型の染色体領域を示す。
- 注3) 模式図内の *Rc*、*Rd*、*OsC1* は、各遺伝子の染色体上の位置を示す。

色素の合成が止まっているため、抗酸化能を有しない茶色の色素が蓄積されたのではないかと推察される。

第二に、ふ先色の遺伝様式について述べる。

「富山赤78号」の育成模式図を図8に示す。「富山赤78号」を育成する過程では、「ふ先色」の着色に関する発見があり、山口ら(2011)は「と系1378」のピンク色の「ふ先色」が、「富山赤78号」では、機能型*Rd*との共存によって濃い紫色になることを報告した。Nagao and Takahashi(1963)は、「ふ先色」の発現にC(Chromogen)とA(Activator)の両方が必要としており、その後の研究で、AはDFR(Furukawa *et al.*, 2006)、Cは*OsC1*であるとされている(Reddy *et al.*, 1998、Saito *et al.*, 2004)。また、Saito *et al.*(2004)は、さまざまなイネ属の遺伝資源を用いて、*OsC1*のハプロタイプと「ふ先色」の色彩の関係を考察しているが、これらの報告では*Rd*の機能欠損の有無と「ふ先色」の濃淡については明らかになっていなかった。

我々はこれまで、「阿波赤米」と「コシヒカリ」

を用いたQTL解析により、「阿波赤米」の「ふ先色」の有無がRM2615近傍の遺伝子型により決定されることを明らかにしてきた(山口ら, 2011)。「と系1378」の「阿波赤米」に由来する染色体断片(1.1Mbp)内には、*OSCI*の座乗領域が含まれることから、ピンク色の着色の原因遺伝子は、*OsC1*の可能性が高く、「コシヒカリ」では*OsC1*の機能が何らかの変異によって欠損していると考えられる。ふ先色はアントシアニン系色素で、赤米に含まれるタンニン系色素とは異なるが、生合成の途中段階までは合成経路が共通である(Koes *et al.*, 2005)ので、機能型の*OsC1*と*Rd*が組み合わせることで着色が濃くなるという本研究の結果は合理的である。

このことは、赤米色素と同様、ふ先で蓄積されるアントシアニン系色素の場合も、機能欠損したDFR(赤米では*rd*)では色素の合成がピンク色の中間生成物で止まっている可能性を示しており、機能型DFR(*Rd*)によって初めて、紫色の最終生成物が蓄積されるのではないかと考えられる。育種の企画段階では、「ふ先色」の付与は「と

系1378」のピンク色を用いる予定であったが、ピラミディングにより濃い紫色になり、識別性がより高まったことは、計画外の好ましい誤算であった。「ふ先色」の付与は有色米品種以外の改良にも用いられるが、今後、糯品種の改良などで濃い「ふ先色」を保持したい場合には、*Rd*が機能型かどうかをマーカー分析することによって、発色がよい「ふ先色」を効率的に付与できる可能性がある。

「赤むすび」は、健康機能性についても研究が行われている。「富山赤71号」の米ぬか抽出液が脂肪培養細胞の脂肪滴蓄積へ与える影響を評価したところ、「富山赤71号」を投与した脂肪細胞は、濃度依存的な脂肪滴の蓄積抑制効果が認められたのに対し、「コシヒカリ」では蓄積抑制効果はなかった(永井ら, 2011)。さらに、2型糖尿病モデルマウスを用いて米ぬかの摂食試験を行ったところ、「富山赤71号」の米ぬかは、「コシヒカリ」の米ぬかと比べ、血糖値の上昇を有意に抑制する効果が確認された。また、血中のトリグリセライド量の抑制が確認され、脂肪組織の摘出調査でも、「コシヒカリ」と比べて有意に内臓脂肪の蓄積が抑制されていた。そのうえ、糖尿病態の特徴のひとつである頻尿が改善されており、糖尿病の進展が抑制される可能性が示された。今後、ヒトに対する健康機能性や薬理効果が、さらなる研究により明らかにされることが望まれる。

VI 命名由来および育成従事者

「赤むすび」の名称は、流通のための商標を一般公募によって募集し、1,903点の候補名から選定したものである。「赤むすび」と同時期に育成した「コシヒカリ」を遺伝的背景とする黒米「富山黒75号」(登録番号:20819号)は「黒むすび」と命名している。これらの名称は、見た目を想像しやすく、赤、白、黒の3色のおむすび(写真5)を連想させることから選定されたものである。また、「むすび」は、「縁結び」「結果が実る」「仲良くする」に通じ、縁起が良く、めでたいイメージがあることから、お祝い事などの行事に活用してほしいという願いが込められている。

なお、本品種の育成従事者は表11のとおりである。



写真5 「赤むすび」「黒むすび」を使用した3色おむすび

注) 左: コシヒカリ (90%搗精)、中央: 富山赤78号 (95%搗精)
右: 富山黒75号 (95%搗精)

VII 栽培上の留意点

- 1) 「富山赤78号」は、富山県産「赤むすび」の産地品種銘柄によって流通する。「富山赤71号」は圃場における「コシヒカリ」との識別性がないため、作付を行わない。
- 2) 「赤むすび」は、「コシヒカリ」より稈長がやや長くなりやすいことから、基肥施肥量は「コシヒカリ」よりも1~2割程度控えめとする。また、的確な中干しにより、無効分げつの発生を抑制し、細稈化を防止する。穂肥の時期や量は、幼穂形成時期の生育量および葉色を診断し、「コシヒカリ」に準じて行う。
- 3) 玄米のタンニン系色素は、成熟期の約1週間前から着色を開始するため、極端な早刈りは避ける。過剰着粒数や倒伏も着色不良の原因になり、商品価値の低下要因になるので、過剰な穂肥施用は避ける。
- 4) 異品種混入防止のため、作業場、作業機械および乾燥調製施設の清掃を徹底する。特に、「コシヒカリ」への赤米の混入は、被害粒として扱われ、大幅に検査等級を落とす可能性がある。「赤むすび」の作付圃場は毎年固定することが望ましい。

田植えや刈取りは「コシヒカリ」の後の作業とするなど、混入リスクを極力排除した作付計画を立てる。また、他圃場への籾の持ち込みを避けるため、トラクタなどが他品種の圃場に移動する場合は、タイヤやクローラなどの清掃を行う。田植後は、水尻にネットなどを装着し、浮苗の用水への流出防止を図る。

- 6) 他家受粉を避けるため、「コシヒカリ」圃場と

表11 「赤むすび」育成に従事した職員と関係世代

氏名 (所属)	年度	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
		H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
	富山赤71号	交配	-	F1	F3	F5				
	富山赤78号					交配	F2	F3	F4	F5
蛭谷武志 *										
		○	○	○	○					
向野尚幸 (現、砺波農林振興センター)										
宝田研 (現、新川農林振興センター)										
山口琢也 *										
							○	○	○	○
表野元保 (現、農林水産省)										
		○	○	○	○	○				
小島洋一朗 (現、広域普及指導センター)										
森川真紀子 (現、農産食品課)							○	○		
木谷吉則 (現、富山農林振興センター)										
尾崎秀宣 (現、農産食品課)										
伊山幸秀 *										
村田和優 *										
前田寛明 * (現、高岡農林振興センター)									○	○
									○	○

の作付配置に充分考慮し、品質低下を防ぐため、漏生稲などの抜き取りを徹底する。

VIII 謝 辞

MASに使用するマーカー情報や、*OsCI*の遺伝的解析に関して、(独)農業生物資源研究所 井澤毅 上席研究員には有用なご助言をいただいた。また、富山県薬事研究所の永井秀昌 主任研究員には、脂肪蓄積抑制作用に関する共同研究を行っていただいた。厚く御礼申し上げます。

IX 摘 要

「赤むすび」は富山県農林水産総合技術センターにおいて2011年に育成された、粳の赤米新品種である。消費者の健康志向のニーズに対応し、「コシヒカリ」の良食味性を受け継いだ、「コシヒカリ」を遺伝背景とする準同質遺伝子系統である。「赤むすび」の特性は次のとおりである。

1. 食味特性

「赤むすび」は既存の赤米品種と比べ、「うまみ」、「ねばり」に優れ、食味の「総合評価」が高い。物性面でも「コシヒカリ」の特長を受け継ぎ、既存の赤米品種と比べ、「ねばり」が強く、冷めても硬くなりにくいという特長がある。

2. 栽培特性

「赤むすび」は、熟期、穂数、穂長、玄米重および粒形など、収量構成に関する項目について、「コシヒカリ」と同質性が非常に高い。ただし、稈長に関しては、「コシヒカリ」より2~3cm長くなるため、やや倒伏しやすい傾向がある。

3. 「コシヒカリ」との区別性

玄米色が赤いことで「コシヒカリ」と区別され、「富山赤78号」は外穎先端の色(ふ先色)、および出穂期の柱頭が紫色である点において、「コシヒカリ」との区別性がある。

4. 抗酸化性

「赤むすび」の玄米は、「コシヒカリ」と比べ、優れた抗酸化能を有している。抗酸化性は、プロアントシアニジンなどのタンニン系色素が、

ぬか層に豊富に含まれているためと推察される。

X 参考文献

- Ames, B. N. (1983) Dietary carcinogens and anticarcinogens., *Science*, 221:1256-1263
- Ashikari, M., Sakakibara H., Lin S., Yamamoto T., Takashi T., Nishimura A, Angeles., Qian Q., Kitano H, Matsuoka M. (2005) Cytokinin oxidase regulates rice grain production. *Science*, 309: 741-745
- Blois M.S. (1958) Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature*, 181:1199-1200
- Cao G., H. M. Alessio, R. G. Cutler (1993) Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants. *Free Radic. Biol. Med.*, 14 (3):303-311
- Ebitani T., Y. Takeuchi, Y. Nonoue, T. Yamamoto, K. Takeuchi and M. Yano (2005) Construction and evaluation of chromosome segment substitution lines carrying overlapping chromosome segments of indica rice cultivar 'Kasalath' in a background of japonica elite cultivar 'Koshihikari'. *Breed. Sci.* 55: 65-73
- Furukawa T., M. Maekawa, T. Oki, I. Suda, S. Iida, H. Shimada, I. Takamura, K. Kadowaki (2006) The Rc and Rd genes are involved in proanthocyanidin synthesis in rice pericarp. *Plant J*, 49, 91-102
- International Rice Genome Sequencing Project (2005) The map-based sequence of the rice genome. *Nature* 436: 793-800
- 岩科司 (1994) 食品に含まれるフラボノイドとその機能, *食品工業*, 6/30, 7/30, 8/30, 9/30号
- 石井俊雄 (2001) 岡山県の水稲乾田直播栽培圃場に発生した雑草イネ, *農業技術*, 56: 257-261
- 石崎和彦(2002) 紅更紗-倒れにくい早生赤米, *現代農業*, 81(2): 188-189
- 木村俊之, 山岸賢治, 鈴木雅博, 新本洋士 (2002) 農産物のラジカル消去能の検索, *日本食品化学工学会誌*, 49(4) : 257-266
- Koes R., W. Verweiji, F. Quattrocchio (2005) Flavonoids: a colorful model for the regulation and evolution of biochemical pathways. *Trends in Plant Science*, 10 (5):236-242
- Kojima, Y., T. Ebitani, Y. Yamamoto and T. Nagamine (2004) Rice Blast: Interaction with Rice and Control. In: Kawasaki, S. (ed.) Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 209-214
- 松江勇次, 浜地勇次, 尾形武文, 西山壽, 原田皓二, 住吉強, 今林惣一郎, 吉野稔 (1998) 水稲新品種'つくし赤もち'の育成, *福岡農総試研報*, 17: 9-14
- 永井秀昌, 出町幸男, 村田和優, 前田寛明, 鹿島真樹 (2011) 赤むすび米ぬかの脂肪蓄積抑制作用の評価, *平成22年度富山県薬事研究所年報*, 28-34
- Nakai K., Y. Inagaki, H. Nagata, C. Miyazaki, S. Iida (1998) Molecular characterization of the gene for dihydroflavonol 4-reductase of japonica rice varieties. *Plant Biotechnol.* 15(4):221-225
- Nagao S., M. Takahashi (1963) Trial construction of twelve linkage groups in Japanese rice. *J. Fac. Agr., Hokkaido Univ.* 53, 76-131
- Reddy, V.S., B. E. Scheffler, U. Wienand, S. R. Wessler, A. R. Reddy (1998) Cloning and characterization of the rice homologue of maize C1 anthocyanin regulatory gene. *Plant Mol. Biol.* 36, 497-498
- Saito K., K. Onishi, I. Mikami, K. Thidar, Y. Sano (2004) Allelic diversification at the C (OsC1) locus of wild and cultivated Rice: Nucleotide Changes Associated With Phenotypes, *Genetics*, 168: 997-1007
- 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, *研究ジャーナル*, 25(7): 30-35
- Sweeney M.T., M. j. Thomson, Y. G. Cho, Y. J. Park, S. H. Williamson, C. D. Bustamante, S. R. McCouch (2007) Global dissemination of a single mutation conferring white pericarp in rice. *PLoS Genetics*, 3: 1418-1424
- Takeuchi, Y., T. Ebitani, T. Yamamoto, H. Sato, H. Ohta, H. Hirabayashi, H. Kato, I. Ando, H. Nemoto, T. Imbe et al. (2006) Development

of isogenic lines of rice cultivar Koshihikari with early and late heading by marker-assisted selection. Breed. Sci. 56: 405-413

表野元保, 山崎明彦, 王子軒, 美濃部侑三, 尾崎秀宣, 森川真紀子, 小島洋一郎, 木谷吉則, 宝田研, 山口琢也, 伊山幸秀, 蛭谷武志 (2013) 短稈性といもち病抵抗性を有する9種類のコシヒカリ同質遺伝子系統「コシヒカリ富筑SDBL」の育成, 育種学研究, 15: 98-104

八木忠之, 西山壽, 平林秀介, 山下浩, 滝田正, 本村弘美, 齊藤薫, 溝渕律子 (1998) 水稻新品種「ベニロマン」について, 九州農業研究, 60: 4

山口琢也, 前田寛明, 森川真紀子, 伊山幸秀, 表野元保, 蛭谷武志 (2011) 「コシヒカリ」を遺伝背景とした赤米品種「富山赤78号」の育成とふ先色に関する遺伝分析, 育種学研究, 13(1): 80

山口誠之, 横上晴郁, 片岡知守, 滝田正, 東正昭, 加藤浩, 田村泰章, 小錦寿志 (2005) 赤米粳品種「紅衣」の育成, 東北農研研報, 103: 13-26

山口誠之, 片岡知守, 遠藤貴司, 中込弘二, 滝田正, 横上晴郁, 加藤浩 (2007) 赤米糯品種「夕やけもち」の育成, 東北農研研報, 107: 1-13

Development of a New Rice Cultivar Named “AKA-MUSUBI”

Takuya Yamaguchi, Motoyasu Omoteno¹⁾, Hiroaki Maeda²⁾, Makiko Morikawa³⁾,
Yoshinori Kidani⁴⁾, Hidenobu Ozaki³⁾, Kazumasa Murata, Yukihide Iyama,
Yoichiro Kojima⁵⁾, Takeshi Takarada⁶⁾, Naoyuki Mukaino⁷⁾, Takeshi Ebitani

Summary

A new rice cultivar named “AKA-MUSUBI” was developed at Toyama Prefectural Agricultural, Forestry & Fisheries Research Center in 2011. “AKA-MUSUBI” is a non-glutinous rice with a red pericarp, which has high antioxidant activity. It is a near isogenic line in the genetic background of “Koshihikari” and has superior eating quality. “AKA-MUSUBI” has the following traits.

The eating qualities, in particular the overall evaluation, the taste, and the stickiness, are excellent and superior to those of existing non-glutinous red rice cultivars. The pasting properties and most agronomic traits are similar to those of “Koshihikari”. Its lodging resistance is slightly weaker, because the culm length is 2–3 cm higher than that of “Koshihikari.” “AKA-MUSUBI” differs from “Koshihikari” in having a red pericarp, a purple apiculus, and a purple stigma. Because of the higher levels of proanthocyanidins in the pericarp, “AKA-MUSUBI” grains have higher antioxidant activity than those of “Koshihikari.”

- 1) Present Address: Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Chiyoda-ku, 100–8950
- 2) Present Address: Toyama Prefectural Takaoka Agriculture and Forestry Promotion Center, Toyama, 933–0806
- 3) Present Address: Toyama Prefectural agricultural food product division, Toyama, 930–8501
- 4) Present Address: Toyama Prefectural Toyama Agriculture and Forestry Promotion Center, Toyama, 930–0088
- 5) Present Address: Toyama Prefectural agricultural technology division, Toyama, 930–8501
- 6) Present Address: Toyama Prefectural Niikawa Agriculture and Forestry Promotion Center, Toyama, 938–0801
- 7) Present Address: Toyama Prefectural Tonami Agriculture and Forestry Promotion Center, Toyama, 939–1386

富山県農林水産総合技術センター農業研究所研究報告 第6号

富山県農林水産総合技術センター農業研究所研究報告 第6号

平成27年3月

編集 富山県農林水産総合技術センター 農業研究所

発行 富山県農林水産総合技術センター所長

作井 英人

富山市吉岡1124-1 〒939-8153

電話 076-429-2111

印刷所 いおぎ印刷

**Bulletin of The Agricultural Research Institute, Toyama Prefectural
Agricultural, Forestry and Fisheries Research Center**

Contents

Masayoshi AOYAMA, Hiroe NISHIJIMA and Masao KATAYAMA : Study of *Apolygus* species
on chrysanthemum fields in Toyama Prefecture.
..... 1

Takuya YAMAGUCHI, Motoyasu OMOTENO, Hiroaki MAEDA, Makiko MORIKAWA, Yoshinori KIDANI,
Hidenobu OZAKI, Kazumasa MURATA, Yukihide IYAMA, Yoichiro KOJIMA,
Takeshi TAKARADA, Naoyuki MUKAINO, Takeshi EBITANI : Development of a New Rice Cultivar
Named “AKA-MUSUBI”
..... 9