

「ハナエチゼン」及び「あきさかり」の カドミウム低吸収性準同質遺伝子系統の育成

渡辺脩斗*, 両角悠作**, 小林麻子*, 富田 桂***, 中岡史裕*, 茶谷弦輝*,
町田芳恵****, 佐藤有一****, 佐藤信仁*

Two Near Isogenic Lines of ‘Hanaechizen’ and ‘Akisakari’ with Low Cadmium Absorption

Syuto Watanabe*, Yusaku Morozumi**, Asako Kobayashi*, Katsura Tomita***,
Fumihiko Nakaoka*, Genki Chaya*, Yoshie Machida****, Yuichi Sato**** and Nobuhito Sato*

「ハナエチゼン」, 「あきさかり」を遺伝背景としたカドミウム低吸収性準同質遺伝子系統「越南 313 号」, 「越南 314 号」を育成した。「越南 313 号」は, カドミウム吸収性が「ハナエチゼン」に比べて少なく, 「コシヒカリ環 1 号」並みの“極低”であること以外の特性は「ハナエチゼン」と同等である。「越南 314 号」は, カドミウム吸収性が「あきさかり」より少なく, 「コシヒカリ環 1 号」並みの“極低”で, 「あきさかり」に比べてやや倒伏しやすい点を除き, 他の特性は「あきさかり」と同等である。

キーワード: あきさかり, 育種, カドミウム低吸収性, 準同質遺伝子系統, 水稻, ハナエチゼン
Key words: Akisakari, Breeding, Low cadmium absorption, Hanaechizen, Near isogenic lines, Paddy rice

I. 緒言

ヒトがカドミウム (Cd) を長年にわたって摂取すると健康被害をもたらすことが知られており, 出来る限り摂取量を少なくすることが望ましい。一方で, 日本においては土壤中の Cd 濃度が高い地域が存在しており, そこで圃場でイネを栽培すると Cd が吸収され玄米に蓄積するため, Cd 濃度の高いコメが生産される可能性がある。平成 22 年に一部改正された「食品, 添加物等の規格基準¹⁾」においては, 玄米及び精米中の Cd 濃度の規格基準がコーデックス委員会による国際基準値に準拠した 0.4 mg/kg 以下と定められている。さらに, 近年国産米の輸出量も増加傾向にある²⁾が, ヨーロッパや香港, シンガポールなどの海外の一部地域では, 国際基準値より厳しい基準値を定めている国もあり²⁾, Cd 濃度の高い米を生産しないための対策が必須である。

耕種的な対策として, 土壤の酸化還元電位を還元側に保つことで Cd の吸収を抑制する³⁾湛水管理がある。しかし, 用水量の問題により実施することが出来ない場合がある。また, 水稻における Cd とヒ素 (As) の吸収性には土壤の酸化還元電位の状態によって, トレードオフがある

ことが知られており⁴⁾, Cd を吸収しない湛水管理により As の吸収量が増加してしまうことも懸念される。そこで, 湛水管理と落水管理を繰り返すことにより同時低減が可能となる管理技術も開発されている⁵⁾。しかしこの方法でも, 用水量の確保, 水管理の手間が増加することによる生産コストの増大といった課題があり, より抜本的な対策が必要である。

こうした現状の中, 農研機構は, 「コシヒカリ」を原品種として重イオンビームを用いた突然変異処理により, Cd 吸収機能を欠損させた Cd 低吸収性品種「コシヒカリ環 1 号」を育成した⁶⁾。この Cd 低吸収性品種と落水管理を組み合わせることにより, Cd と As の同時低減が可能となった⁷⁾。

福井県農業試験場では, この「コシヒカリ環 1 号」を 1 回親とし, 「ハナエチゼン」「あきさかり」の Cd 低吸収性準同質遺伝子系統を育成したので, 本論文ではその育成経過および特性について報告する。

「ハナエチゼン」は, 1991 年に福井県で育成され, 育成地の熟期では早生に属する。「あきさかり」は, 2008 年に福井県で育成され, 育成地の熟期では晩生の早に属する。それぞれ福井県の水稲栽培面積の 25%, 9%を占める主要品種である⁸⁾。

* 福井県農業試験場品種開発研究部

** 現福井県嶺南振興局農業経営支援部

*** 退職

**** 現福井県農林水産部園芸振興課

***** 現福井県坂井農林総合事務所農業経営支援部

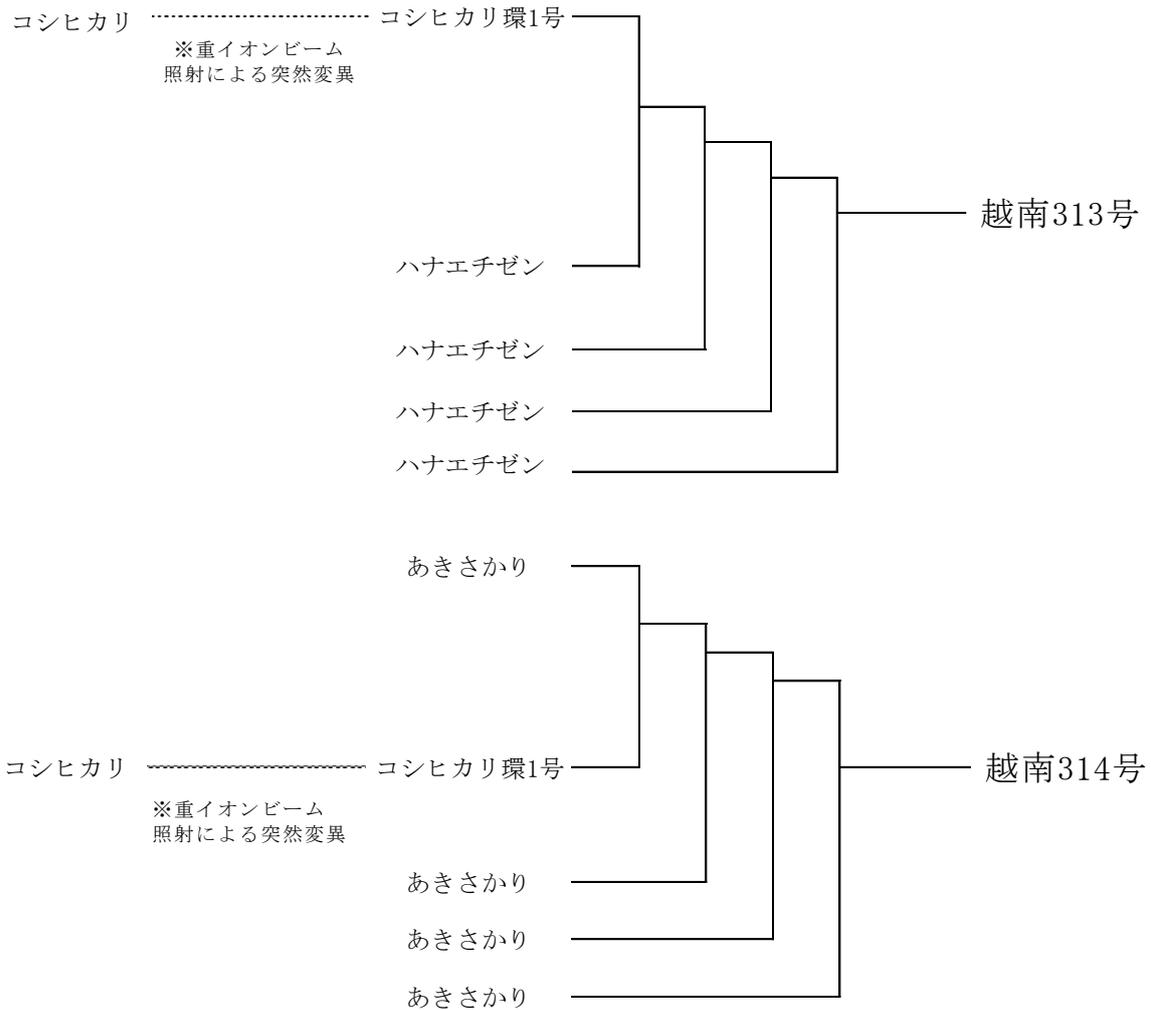
II. 育成経過

「越南 313 号」「越南 314 号」の系譜を第 1 図, 育成系統図および選抜経過を第 2 図に示した。「越南 313 号」は「ハナエチゼン」を反復親, 「越南 314 号」は「あきさかり」を反復親とした。

2018年に福井県農業試験場で「コシヒカリ環1号」と「ハナエチゼン」および「あきさかり」の人工交配を行った。同年秋に、温室でF₁を栽培し、そのF₁を母とし、反復親を父として、1回目の戻し交配を行った。2019年、BC₁F₁を圃場にて栽培し、Cd低吸収性遺伝子 *osnramp5-2* の有無と背景の遺伝子型を調査し、*osnramp5-2* がヘテロ型で、背景が反復親に最も置換した各1個体を選抜し、夏に2回目の戻し交配を行った。さらに、得られたBC₂F₁を同年秋に温室で栽培し、同様に *osnramp5-2* と背景の遺伝子型により選抜を行い、3回目の戻し交配を行った。その

後、2020年の春に温室で、さらに夏には圃場で、Cd低吸収性遺伝子の原因多型がホモ型に固定しており、背景がより反復親型に置換された個体を選抜して固定化を進めた。背景選抜に使用したマーカー数は第3図に示した通りであり、ゲノムの置換過程は第4図、第5図に示した。

2021年BC₃F₃より「ハナエチゼン」背景の系統をFn2177、「あきさかり」背景の系統をFn2181として生産力検定に供試し、2022年には系統適応性検定、特性検定試験に供試し、Fn2177及びFn2181に対して、「越南313号」、「越南314号」の地方系統番号を付与した。



第1図 「越南313号」「越南314号」の系譜

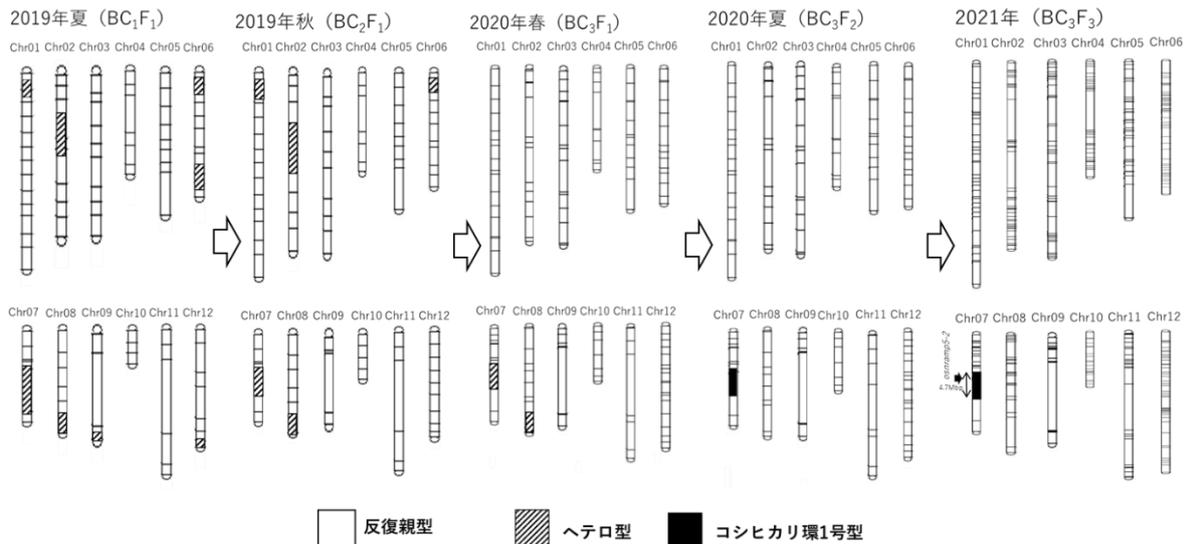
年 次		'18	'19	'20	'21	'22	'23			
		夏	秋	夏	秋	春	夏			
世 代		F ₁	BC ₁ F ₁	BC ₂ F ₁	BC ₃ F ₁	BC ₃ F ₂	BC ₃ F ₃	BC ₃ F ₄	BC ₃ F ₅	
越南 3 1 3 号	栽 植	系統群数					1	1	1	
		系統数					1	10	5	5
		個体数	10	4	6	13	10	*55	*55	*55
	選 抜	系統群数						1	1	1
		系統数					1	1	1	1
		個体数	1	1	1	1	10	5	5	5
	育成系統図	福交18	福交18	福交19	福交19	番号	196-1	567	33	13
		-112	-136	-115	-127	196	2	568	34	14
							3	569	<u>35</u>	<u>15</u>
							4	570	36	16
							5	571	37	17
							6	572		
							7	573		
						8	574			
						9	<u>575</u>			
						10	576			
備 考	固定化					系統	越南313号 命名			
						Fn2177				
越南 3 1 4 号	栽 植	系統群数					1	1	1	
		系統数					1	10	5	5
		個体数	17	41	69	12	10	*55	*55	*55
	選 抜	系統群数						1	1	1
		系統数					1	1	1	1
		個体数	1	1	1	1	10	5	5	5
	育成系統図	福交18	福交18	福交19	福交19	番号	550-1	615	207	249
		-118	-144	-118	-129	550	2	616	208	250
							3	617	<u>209</u>	251
							4	618	210	<u>252</u>
							5	619	211	253
							6	620		
							7	621		
						8	622			
						9	623			
						10	<u>624</u>			
備 考	固定化					系統	越南314号 命名			
						Fn2181				

第 2 図 育成系統図及び選抜経過

__は選抜系統.

2018 年秋～2020 年春までの栽植個体数は交配の結果得られた個体数.

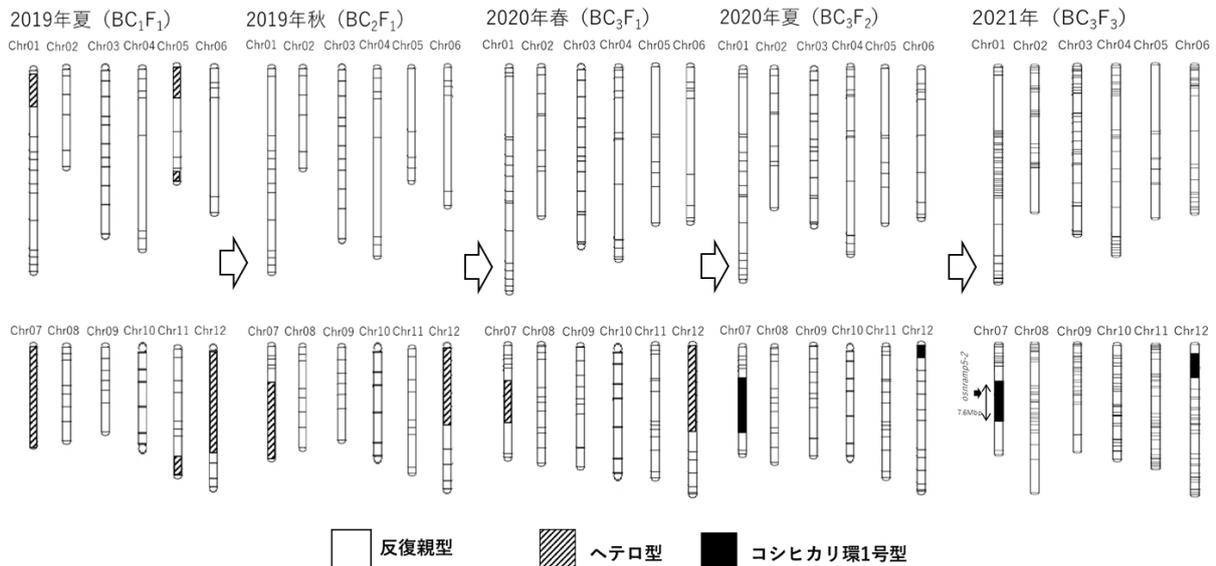
*は 1 系統当りの個体数.



第4図 「越南313号」の選抜経過のグラフ遺伝子型

調査マーカー間の中央で組み換えが起きているとして示した。

各染色体ごとの調査マーカーの物理位置に線を引いており、染色体の長さには比例していない。



第5図 「越南314号」の選抜経過のグラフ遺伝子型

調査マーカー間の中央で組み換えが起きているとして示した。

各染色体ごとの調査マーカーの物理位置に線を引いており、染色体の長さには比例していない。

Ⅲ. 特性の概要

本報告では、「越南313号」および「越南314号」とそれぞれに対する反復親を比較するように反復を設けた。そのため統計処理は、それぞれの試験区どうしを対応のある反復としてt検定を行った。

1. 一般特性

育成地における「越南313号」「越南314号」について、「稲種審査基準⁹⁾」に基づいた出穂期、成熟期、稈の長さ、稈の太さ、穂の長さ、穂数、芒の長さ、多少、止葉の姿勢、粒着密度、玄米の千粒重、長さ、幅、脱粒性の階級は反復親

と同等である(第1表)。また、成熟期後期の立毛写真を第6,7図、穂、籾、玄米の写真をそれぞれ第8,9図に示した。なお、立毛写真は2022年に撮影したものであり、候補系統とはCd低吸収性系統の候補として育成していた系統である。

2. 収量性

2021年から2023年の3年の収量の平均値は、「越南313号」「越南314号」のどちらも反復親と同程度であった(第2表)。耐倒伏性は、「越南313号」は「ハナエチゼン」と同程度であったが、「越南314号」は「あきさかり」に比べ、有意に倒伏しやすかったが、平均値で0.3の差であり実生産上の問題はないと考えられる(第2表)。その

他、出穂期、成熟期、稈長、穂長、穂数、千粒重、整粒率は、2系統とも反復親と有意な差は認められなかった(第2表)。また、移植時期を4月に行った試験結果は、第3表に示した通りであり、単年度の試験ではあるが栽培特性はそれぞれの反復親とほぼ同程度であった。

3. 玄米品質

「越南313号」「越南314号」とも、反復親と比べて、玄米の長さ、幅、厚さに有意な差は認められなかった(第4表)。また、粒厚分布も反復親とほぼ同程度であり、玄米外観品質にも有意な差は認められなかった。(第5表、第6表)。

4. 食味

2021年から2023年の生産力検定試験で得られた試料を用いて、6回の食味官能試験を行った。その結果、「越南313号」「越南314号」の食味はそれぞれの反復親と同程度であった(第7表)。

また白米のアミロース含有率および玄米のタンパク質含有率は、「越南313号」「越南314号」ともに反復親との間に有意な差は認められなかった(第8表)。

5. いもち圃場抵抗性

「越南313号」を育成地、東北農業研究センター、「越南314号」を育成地、東北農業研究センター、青森県産業技術センター農林総合研究所にて畑晩播試験を実施した結果、「越南313号」は真性抵抗性遺伝子として「ハナエチゼン」と同じく *Piz* を保有すると推定され、葉いもち圃場抵抗性は「ハナエチゼン」と同程度の“中”、「越南314号」は真性抵抗性遺伝子として「あきさかり」と同じく *Pia* および *Pii* を保有すると推定され、葉いもち圃場抵抗性は「あきさかり」と同程度の“やや弱”と総合的に判断した(第9表、第10表)。

穂いもち圃場抵抗性は、「越南314号」のみ愛知県農業総合試験場山間農業研究所での検定を行い、「あきさかり」と同程度の“中”と判定した(第11表)。

6. 穂発芽性

穂発芽性は、反復親との間に有意な差は認められず、「越南313号」は“難”、「越南314号」は“やや難”であった(第12表)。

7. 障害型耐冷性

「越南313号」の障害型耐冷性は、青森県産業技術センター農林総合研究所、宮城県古川農業試験場での検定を行い、「ハナエチゼン」と同程度の“中”と判定した(第13表)。

8. 高温登熟性

「越南313号」「越南314号」の高温登熟性は、育成地、鹿児島県農業開発総合センター、愛知県農業総合試験場での検定を行い、両系統ともそれぞれの反復親と同程度の“やや強”と判定した(第14表、第15表)。

9. Cd 吸収性

「越南313号」「越南314号」のCd吸収性は、2022年に農研機構農業環境研究部門におけるCd汚染土壌を用いたポット栽培、およびA県、B県のCd汚染圃場における栽培試験を行い、どちらも「コシヒカリ環1号」並みの“極

低”であった(第16表)。加えて、2023年に福井県農業試験場で系統栽培した「越南313号」「越南314号」の稲わらと玄米中のCd、As、Mn濃度を公益財団法人若狭湾エネルギー研究センターにて分析した。その結果、両系統は反復親と比べて、Cd濃度とMn濃度が低下していた。これは、これまで報告されている *OsrAMP5* の機能と同様であった¹⁰⁾。

10. 系統適応性試験

「越南313号」は、農研機構作物研究部門、農研機構九州沖縄農業研究センター、「越南314号」は、農研機構西日本農業研究センター、鹿児島県農業開発総合センターで試験を行い、結果を第17表に示した。試験では、「越南313号」は育成地同様に「ハナエチゼン」と同質性が高く、育成地の結果と同じ傾向であった。「越南314号」の耐倒伏性は「あきさかり」と同程度、収量は「あきさかり」より多収であり、単年度の結果ではあるが育成地の栽培結果とは異なった。

IV. 考察

今回育成した「越南313号」「越南314号」は、戻し交配3回でそれぞれ419個、364個のSNPのうち99.5%以上が反復親と同じ多型を持つ系統を育成することが出来た(第3図)。1回の戻し交配によってゲノムの半分が反復親型に固定していくと仮定すると、遺伝背景のうち99%以上が反復親と同じ遺伝子型に置換されるためには戻し交配を6回行う必要がある。それを考えると3回という戻し交配の回数は少ないと言える。この要因として、戻し交配および固定化に際し背景選抜により置換率のより高い個体を選抜したことに加えて、「ハナエチゼン」「あきさかり」のゲノムが「コシヒカリ」のゲノムと相同性が高いことが考えられる。これを可視化するために、「ハナエチゼン」「あきさかり」と「コシヒカリ」の“ゲノム塗り絵”を作成した(第10図)。この図のうち、色の塗られていない白い領域は両者のゲノムが同じであることを示しており、どちらもゲノムの半分以上が「コシヒカリ」と同じであることが読み取れる。

また第7染色体の *osnramp5-2* 近傍の領域は、「越南313号」で4.7Mbp、「越南314号」で7.6Mbpが「コシヒカリ環1号型」であった(第4図、第5図)。この残存領域は調査したマーカー間の中央で組み換えが起きているとして計算しているが、第3図を見ると第7染色体の *osnramp5-2* の残存領域のうち下流部分には反復親と「コシヒカリ」との間に多型が少ないため、残存領域にある遺伝子による同質性への影響はほとんどないと考えられた。また、「越南314号」では第12染色体の2マーカー(約4.1Mbp)が「コシヒカリ環1号」型として残存していた(第5図)。「越南314号」の耐倒伏性が「あきさかり」より弱い(第2表)ことは、この第12番染色体の残存領域にある遺伝子が影響している可能性が考えられるが、rap-db¹¹⁾で調べたところその領域に倒伏に関わる既知の遺伝子は存在しなかった。

V. 今後の展望

Cd 低吸収性品種「あきたこまちR」は、令和7年度より秋田県で一般作付けが開始される計画となっている¹²⁾。さらに、「コシヒカリ環1号」は石川県で産地品種銘柄に登録されている¹³⁾。今後、Cd 低吸収性品種の作付けが増加することも想定される。

「ハナエチゼン」は福井県以外に、富山、石川、滋賀、兵庫、和歌山、鳥取、島根、徳島の8県、「あきさかり」は福井県以外に富山、岐阜、広島、徳島、香川の5県で産地品種銘柄に登録されており¹³⁾、これらの地域でCd 低吸収性品種が求められた際には、今回育成した2系統を品種化することによって、迅速な対応が可能となる。

VI. 謝辞

本研究は、生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」の委託プロジェクト「先端ゲノム育種によるカドミウム低吸収性イネ品種の早期拡大と対応する土壌管理技術の確立」(JP007097)の支援を受けて行った。「コシヒカリ環1号」の提供、準同質遺伝子系統育成全般への助言、Cd 吸収性に関する試験においては、農研機構農業環境研究部門の石川覚博士、阿部匡博士、公益財団法人若狭湾エネルギー研究センターの遠藤伸之博士に深く感謝申し上げる。遺伝背景調査は農研機構作物研究部門ゲノム育種支援室の育種支援を受けた。特性検定試験、系統適応性検定試験で協力を頂いた関係各位に対し感謝の意を表する。

VII. 引用文献

- 厚生省(1959). 食品、添加物等の規格基準. 厚生省告示第370号.
- 農林水産省. 各国におけるコメの重金属及び汚染物質の主な規制等, 商業用米の輸出実績.
https://www.maff.go.jp/j/syouan/keikaku/soukatu/kome_yusyutu/kome_yusyutu.html#jissemi (閲覧日 2023年1月5日).
- 稲原誠・雄川洋子・東英男(2007). 生育後期の湛水管理による水稻のカドミウム吸収抑制. 土肥誌 78. 2. 149~155.
- Arao, T. ・ Kawasaki, A. ・ Baba, K. ・ Mori, S. ・ Matsumoto, S. (2009). Effects of water management on cadmium and arsenic accumulation and dimethylarsinic acid concentrations in Japanese rice. Environ. Sci. Tech. 43. 9361~9367.
- 農研機構(2021). コメのヒ素低減のための栽培管理技術導入マニュアル~コメの収量・品質への影響を抑えつつ、ヒ素を低減するために~.
https://www.naro.go.jp/PUBLICITY_REPORT/publication/files/rice_As_reduction_v2.pdf (閲覧日 2023年1月5日).
- 安部匡・倉俣正人・井倉将人・荒尾知人・牧野知之・春原嘉弘・黒木慎・石川覚(2017). カドミウム極低吸収品種「コシヒカリ環1号」の育成. 育種学研究 19. 109~115.
- Ishikawa, S. ・ Makino, T. ・ Ito, M. ・ Harada, K. ・ Nakada, H. ・ Nishida, I. ・ Nishimura, M. ・ Tokunaga, T. ・ Shirao, K. ・ Yoshizawa, C. ・ Matsuyama, M. ・ Abe, T. ・ Arao, T. (2016). Low-cadmium rice cultivar can simultaneously reduce arsenic and cadmium concentrations in rice grains. Soil Sci. Plant Nutr 62. 327~339.
- 福井県経済農業協同組合連合会(2022). 令和4年産米銘柄別作付面積一覧表.
- 農林水産省(2023). 稲種審査基準.
- Ishimaru, Y ・ Takahashi, R ・ Bashir, K ・ Shimo, H ・ Senoura, T ・ Sugimoto, K ・ Ono, K ・ Yano, M ・ Ishikawa, S ・ Arao, T ・ Nakanishi, H ・ Nishizawa, N (2012). Characterizing the role of rice NRAMP5 in Manganese, Iron and Cadmium transport. Sci Rep 2. 286.
- rap-db. <https://rapdb.dna.affrc.go.jp/> (閲覧日 2023年1月5日).
- 秋田県. 「あきたこまちR」への切り替えについて.
<https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/73119> (閲覧日 2023年1月5日).
- 農林水産省農産局穀物課. 令和5年度産産地品種銘柄一覧.
<https://www.maff.go.jp/j/seisan/syoryu/kensa/sentakaku/> (閲覧日 2023年1月5日).
- 山本隆一・堀末登・池田良一(1996). イネ育種マニュアル. 養賢堂.

第1表 生育観察結果

品種・系統名	出穂期	成熟期	稈の長さ	稈の太さ	穂の長さ	穂数	芒		止葉の姿勢	粒着密度	玄米			脱粒性
							長さ	多少			千粒重	長さ	幅	
越南313号	早	早	中	やや太	やや短	やや多	極短	稀	半立	中密	中	中	中	難
ハナエチゼン	早	早	中	やや太	やや短	やや多	極短	稀	半立	中密	中	中	中	難
越南314号	やや晩	やや晩	やや短	中	やや短	やや多	短	稀	半立	中密	中	中	中	難
あきさかり	やや晩	やや晩	やや短	中	やや短	やや多	短	稀	半立	中密	中	中	中	難

稲種審査基準⁽⁹⁾に基づいた分類



第6図 「越南313号」の立毛写真
左からハナエチゼン, 候補系統①, 候補系統②, 越南313号, 候補系統③, 候補系統④, ハナエチゼン



第7図 「越南314号」の立毛写真
左からあきさかり, 候補系統①, 越南314号, 候補系統②, 候補系統③, あきさかり



第8図 「越南313号」「越南314号」の穂
左から越南313号, ハナエチゼン, 越南314号, あきさかり



第9図 「越南313号」「越南314号」の粳と玄米
左から越南313号, ハナエチゼン, 越南314号, あきさかり

第2表 出穂期, 成熟期及び生育特性調査結果 (5月移植)

品種・系統名	年次	移植日	出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/㎡)	精玄米重 ¹⁾ (kg/a)	比率 (%)	千粒重 (g)	整粒率 ²⁾ (%)	倒伏 ³⁾ (0-5)								
越南313号	2021	5.07	7.16	8.16	82	18.1	549	56.4	100	22.2	52	4.0								
	2022	5.02	7.14	8.13	84	18.5	571	64.1	103	21.9	63	2.5								
	2023	5.08	7.15	8.14	81	19.1	561	59.6	93	21.5	57	2.0								
	平均		7.15	ns	8.14	ns	82	ns	18.5	ns	560	ns	60.0	ns	99	21.9	ns	57	ns	2.8
ハナエチゼン	2021	5.07	7.16	8.16	80	18.5	539	56.4	100	22.2	53	3.8								
	2022	5.02	7.14	8.13	83	18.6	583	62.0	100	21.7	61	2.8								
	2023	5.08	7.14	8.13	84	18.8	596	64.5	100	21.5	62	2.0								
	平均		7.14		8.14		82		18.6		573		61.0		100	21.8		59		2.9
越南314号	2021	5.07	7.31	9.06	78	18.0	526	61.3	94	22.6	69	0.0								
	2022	5.06	7.29	9.05	77	17.3	612	65.1	96	22.0	59	0.7								
	2023	5.09	7.29	9.05	71	17.0	456	62.9	99	22.0	60	0.5								
	平均		7.29	ns	9.05	ns	75	ns	17.4	ns	531	ns	63.1	ns	96	22.2	ns	63	ns	0.4
あきさかり	2021	5.07	8.01	9.07	79	18.1	499	65.0	100	22.7	66	0.0								
	2022	5.06	7.29	9.05	78	17.2	561	67.8	100	22.0	62	0.3								
	2023	5.09	7.29	9.05	71	16.7	469	63.5	100	22.1	61	0.0								
	平均		7.30		9.05		76		17.3		510		65.4		100	22.3		63		0.1

播種期：2021年が4月16日, 2022年が4月8日, 2023年が4月14日。

施肥窒素量は「越南313号」「ハナエチゼン」は0.9kgN/a, 「越南314号」「あきさかり」は1.0kgN/a。

1) 篩目：1.9mm。

2) 整粒率は穀粒判別機 (サタケ, RGQI-100A)。

3) 倒伏は0 (無) ~5 (甚) で達観評価。

4) *はt検定により5%水準で原品種と有意に異なることを示し, nsは有意な差がないことを示す。

第3表 出穂期、成熟期及び生育特性調査結果（4月移植）

品種・系統名	移植日	出穂期	成熟期	稈長	穂長	穂数	精玄米重 ¹⁾	比率	千粒重	整粒率 ²⁾	倒伏 ³⁾
		(月.日)	(月.日)	(cm)	(cm)	(本/m ²)	(kg/a)	(%)	(g)	(%)	(0-5)
越南313号	4.25	7.11	8.10	85	18.5	605	62.3	104	22.1	71	2.7
ハナエチゼン	4.25	7.11	8.10	85	17.9	613	60.1	100	22.1	70	2.7
越南314号	4.25	7.28	9.03	75	18.2	574	67.7	98	21.8	43	1.5
あきさかり	4.25	7.28	9.03	75	18.1	538	69.5	100	21.4	46	1.2

播種期：2022年4月4日。

施肥窒素量は「越南313号」「ハナエチゼン」は0.9kgN/a、「越南314号」「あきさかり」は1.0kgN/a。

1) 篩目：1.9mm。

2) 整粒率は穀粒判別機（サタケ, RGQI-100A）。

3) 倒伏は0（無）～5（甚）で達観評価。

第4表 玄米の形状

品種・系統名	長さ ¹⁾		幅 ¹⁾		厚さ ¹⁾		長さ／幅
	(mm)		(mm)		(mm)		
越南313号	5.22	ns	2.78	ns	1.99	ns	1.88 ns
ハナエチゼン	5.24		2.79		2.00		1.87
越南314号	5.25	ns	2.84	ns	2.03	ns	1.84 ns
あきさかり	5.25		2.85		2.02		1.84

2021年～2023年の5月に移植した3回の試験の平均値。

nsは有意な差がないことを示す。

1) 1.9mmで篩った玄米を穀粒判別機（サタケ, RGQI-100A）で計測。

第5表 玄米の粒厚分布

品種・系統名	重 量 (%)						1.9mm mm以上	2.0mm 以上
	2.2 mm以上	～2.1	～2.0	～1.9	～1.8	～1.7 mm未満		
越南313号	0.3	4.4	<u>40.5</u>	29.2	10.3	15.4	74.4	45.1
ハナエチゼン	1.3	7.4	<u>43.7</u>	27.5	9.9	10.1	80.0	52.5
越南314号	3.0	24.2	<u>47.1</u>	15.8	4.9	5.1	90.1	74.3
あきさかり	3.5	19.9	<u>50.2</u>	19.2	4.8	2.4	92.9	73.7

系統栽培の玄米200gを5分間縦目篩振とう機（藤原製作所, SG-7W）によって分別した重量比。

2021～2022年の平均。

第6表 玄米の外観品質

品種・系統名	達観調査 (0-5) ¹⁾										品質 ²⁾ (1-9)	
	腹白		心白		乳白		背白		基白			
越南313号	0.5	ns	0.5	ns	0.7	ns	0.6	ns	0.5	ns	3.6	ns
ハナエチゼン	0.6		0.5		0.8		0.7		0.5		3.7	
越南314号	0.5	ns	1.1	ns	0.6	ns	1.3	ns	0.8	ns	3.8	ns
あきさかり	0.4		1.0		0.6		1.4		0.9		3.8	

2021年～2023年の平均値。

nsは有意な差がないことを示す。

1) 達観調査は0（無）～5（甚）の6段階。

2) 品質は1（上上）～9（下下）の9段階。

第7表 食味官能試験

年産	系統名 ¹⁾ 品種名	移植時期	調査日	パネ ²⁾ 数	総合 ³⁾	香り ³⁾	白さ ³⁾	つや ³⁾	味 ³⁾	粘り ³⁾	硬さ ³⁾	基準 ¹⁾	
'21	越南313号	5月移植	21.11.19	18	0.06	-0.06	-0.06	0.06	0.17	0.00	-0.11	ハナエチゼン	
	産米	越南313号	5月移植	22.07.19	18	0.11	-0.06	0.17 * ³⁾	0.06 *	0.06	0.17	0.00	ハナエチゼン
'22	越南313号	4月移植	22.09.27	18	-0.11	0.00	0.11	-0.06	-0.11	-0.06	0.17	ハナエチゼン	
	産米	ハナエチゼン	4月移植			-0.11	0.06	0.28 *	-0.06	-0.06	0.00		
		越南313号	5月移植	22.09.29	18	-0.11	-0.17	0.22	0.00	-0.11	0.00	0.17	ハナエチゼン
		産米	ハナエチゼン	5月移植			0.00	-0.17	0.17	0.11	0.06	0.06	
		越南313号	5月移植	23.06.12	18	-0.39 *	-0.22 *	0.89 **	0.44 **	-0.11	-0.28	0.50 *	コシヒカリ
		産米	ハナエチゼン	5月移植			-0.33 *	0.00	0.22	0.06	-0.39 *	0.50 *	
'23	越南313号	4月移植				-0.50 **	-0.17	0.39 **	0.22	-0.06	-0.44 **	0.83 **	
	産米	ハナエチゼン	4月移植			-0.33 *	-0.11	0.44 **	-0.11	-0.11	-0.50 **	0.50 *	
		越南313号	5月移植	24.01.09	18	0.06	0.06	0.00	-0.06	0.06	-0.06	0.22	ハナエチゼン
		産米	越南313号	5月移植			0.00	0.06	0.00	-0.06	0.00	0.22	-0.22
'21	越南314号	5月移植	21.11.24	18	-0.06	-0.06	0.17	0.00	-0.06	0.00	-0.11	あきさかり	
	産米	越南314号	5月移植	22.07.20	18	-0.06	0.06	0.06	0.00	0.06	0.17	-0.11	あきさかり
		越南314号	4月移植	22.10.19	18	-0.06	-0.06	0.17	0.00	-0.06	0.06	-0.11	あきさかり
		産米	越南314号	5月移植	22.10.20	18	0.00	0.00	0.00	-0.06	-0.06	0.22	0.00
'22	越南314号	5月移植	23.06.13	18	-0.17	-0.11	0.00	0.00	0.11	-0.22	0.28	コシヒカリ	
	産米	あきさかり	5月移植			0.06	0.17	0.22	-0.22	0.11	0.00	0.11	
		越南314号	4月移植			0.00	-0.06	0.06	0.06	-0.06	0.22	0.00	
		産米	あきさかり	4月移植			0.00	0.11	0.56 **	0.11	-0.06	0.17	-0.17
		越南314号	5月移植	24.01.10	18	0.00	0.00	0.00	-0.17	-0.11	0.22	0.06	あきさかり
'23	産米	越南314号	5月移植			0.11	0.00	0.11	-0.06	-0.06	-0.06	-0.11	
		あきさかり	5月移植			-0.22	0.06	0.22 *	-0.06	-0.11	0.06	0.00	
		産米	あきさかり	5月移植			-0.11	-0.11	0.11	0.06	-0.11	0.22	0.06

イネ育種マニュアル¹⁴⁾の方法に従って実施した。

搗精はワンパス精米機（サタケ, CBS550BS）を用い、白度 40 を目安に行った。

白米水分が 14.1%のときに、白米重量の 1.38 倍となるよう計算して加水した。

炊飯器：IH 炊飯器（パナソニック, SR-HB188）。

1) 基準品種は食味試験用に栽培した試料である。

2) パネルは福井農試職員 18 名。

3) +3~-3 の 7 段階で評価し、硬さは硬いほうをプラスとして評価した。

4) *は5%, **は1%水準で有意差があることを示す。

第8表 成分分析結果

品種・系統名	白米のアミロース含有率 (%) ¹⁾				平均	
	2021	2022		2023		
		4月移植	5月移植			
越南313号	15.8	16.3	16.5	15.9	16.1	ns
ハナエチゼン	16.2	16.6	15.5	16.6	16.2	
越南314号	17.8	17.2	16.7	15.3	16.8	ns
あきさかり	17.6	16.4	15.7	14.9	16.1	

品種・系統名	玄米のタンパク質含有率 (%) ²⁾				平均	
	2021	2022		2023		
		4月移植	5月移植			
越南313号	5.3	6.6	6.6	6.2	6.2	ns
ハナエチゼン	5.7	6.6	6.5	6.1	6.2	
越南314号	5.6	5.9	6.1	5.3	5.7	ns
あきさかり	5.6	5.6	6.1	5.2	5.6	

ns は有意な差がないことを示す。

1) アミロース含有率はオートアナライザーⅢ型（ビーエルテック社）によって白米粉を測定した。

2) タンパク質含有率は食味分析計（静岡製機 TM-3500）によって玄米を測定した。

第9表 畑晩播法による葉いもち圃場抵抗性(育成地)

品種・系統名	推定 遺伝子型 ¹⁾ (<i>Pi</i>)	発病程度						平均	判定
		2022			2023				
		7/6	7/13	7/28	7/5	7/10	7/14		
越南313号	<i>z (i?)</i>	0.0	0.0	1.0	0.0	2.0	3.0	0.9	中
ハナエチゼン	<i>z, i</i>	0.0	0.0	1.0	1.0	2.0	3.0	1.0	中
フクヒカリ	<i>z</i>	0.0	0.0	1.0	0.0	2.0	4.0	1.0	中
コシヒカリ	+	1.0	7.0	8.5	1.0	4.0	7.0	4.9	弱
越南314号	<i>a, i</i>	2.0	5.0	8.0	2.0	4.0	6.0	4.6	やや弱
あきさかり	<i>a, i</i>	2.5	6.0	7.5	1.0	2.0	4.0	4.0	やや弱
日本晴	<i>a/+</i>	1.0	5.0	6.0	1.0	3.0	6.0	3.7	中
コシヒカリ	+	1.0	7.0	8.5	1.0	4.0	7.0	4.9	弱

調査方法：イネ育種マニュアル¹⁴⁾の方法に従って達観調査を行い、発病程度（0：無～10：全葉枯死）の平均を判定基準に従い5段階（弱～強）に分級評価した。

1) 推定遺伝子型は、発病程度と系譜より推定。

第10表 畑晩播法による葉いもち圃場抵抗性(依頼先)
東北農業研究センター

品種・系統名	推定 遺伝子型 (<i>Pi</i>)	2022	
		発病程度 ¹⁾	判定
		越南313号	<i>z (i?)</i>
ハナエチゼン	<i>z, i</i>	0.5	R (真性)
フクニシキ	<i>z</i>	1.0	-
越南314号	<i>a, i</i>	4.8	中
あきさかり	<i>a, i</i>	5.5	中
はたじるし	<i>a, i</i>	3.8	やや強
あきたこまち	<i>a, i</i>	4.4	中
奥羽320号	<i>a</i>	2.7	かなり強
ササニシキ	<i>a</i>	6.5	やや弱
中部45号	<i>i</i>	3.3	強
藤坂5号	<i>i</i>	5.4	中
ひとめぼれ	<i>i</i>	7.8	やや弱

1) 発病程度(0:無～10:前葉枯死).

青森県産業技術センター農林総合研究所

品種・系統名	推定 遺伝子型 (<i>Pi</i>)	2022	
		発病程度 ¹⁾	判定
		越南314号	<i>a, i</i>
あきさかり	<i>a, i</i>	4.9	中
まっしぐら	<i>a, i</i>	3.8	強
青天の霹靂	<i>a, i</i>	3.9	強
つがるロマン	<i>a, i</i>	4.5	やや強
むつほまれ	<i>a</i>	3.2	強
まいひめ	<i>a</i>	3.7	やや強
華吹雪	<i>a</i>	4.3	中～やや強
ヨネシロ	<i>i</i>	4.1	やや強～強
藤坂5号	<i>i</i>	5.1	中
イナバワセ	<i>i</i>	6.0	弱

1) 発病程度(0:無～10:前葉枯死).

第11表 穂いもち圃場抵抗性¹⁾

愛知県農業総合試験場山間農業研究所

品種・系統名	推定 遺伝子型 (<i>Pi</i>)	2022		判定
		出穂期 (月日)	発病 ¹⁾ 程度	
越南314号	<i>a, i</i>	8.14	4.4	中
中部22号	<i>a</i>	8.13	0.9	強
ニホンマサリ	<i>a</i>	8.15	2.9	中
中部55号	<i>i</i>	8.14	2.0	強
ハウレイ	<i>i</i>	8.13	1.9	やや強
ミネアサヒ	<i>i</i>	8.13	4.8	やや弱
若水	<i>i</i>	8.20	6.9	弱

試験方法:6月3日移植,2区制,出穂後20~40日に発病程度を調査.

1)発病程度は0(罹病を認めない)~10(全穂 穂首いもちに罹病する)の11段階で調査.

第12表 穂発芽性

熟期	品種・系統名	発芽程度 (2-8) ¹⁾						平均	判定
		2021		2022		2023			
		7日目	10日目	7日目	10日目	7日目	10日目		
早生	越南313号	3.0	3.5	2.5	2.5	4.0	4.5	3.3 ns	難
	ハナエチゼン	3.0	4.0	2.5	3.0	4.0	5.0	3.6	難
	フクヒカリ	3.5	4.0	5.0	6.5	6.0	6.5	5.3	やや易
中生	越南314号	3.5	4.0	4.0	4.5	4.5	5.5	4.3 ns	やや難
	あきさかり	3.5	4.0	4.5	4.5	4.5	6.0	4.5	やや難
	コシヒカリ	2.0	2.0	3.5	4.5	5.0	5.0	3.7	難
	キヌヒカリ	3.5	4.5	4.5	5.5	5.5	6.0	4.9	やや易

イネ育種マニュアル¹⁴⁾の方法に従って,成熟期に5穂サンプリングし,流水に浸して検定した.

nsは有意な差がないことを示す.

1)発芽程度は2(極難)~8(極易)の7段階で調査.

第13表 障害型耐冷性

青森県産業技術センター農林総合研究所¹⁾²⁾³⁾

品種・系統名	2022		判定
	出穂期 (月日)	不稔歩合(%)	
越南313号	8.09	61.9	やや強
ハナエチゼン	8.08	43.8	やや強
はたじるし	8.09	31.2	強
こころまち	8.07	54.0	やや強
あきたこまち	8.10	73.3	中
ヒメノモチ	8.08	74.2	中

1)かけ流し期間:7月1日~8月24日.

2)水深:開始直後は水位約15cm,7月12日より水位約30cm.

3)処理期間の平均水温:19.3°C(7月2日~8月23日の平均値).

第13表 障害型耐冷性（続き）

宮城県古川農業試験場¹⁾²⁾³⁾

品種・系統名	2022		判定
	出穂期 (月日)	不稔歩合(%)	
越南313号	8.07	82	中
ハナエチゼン	8.06	77	やや強～中
はなの舞	8.04	59	極強
中母35	8.01	47	極強
ムツニシキ	8.05	75	やや強
レイメイ	8.04	86	中
アキヒカリ	8.06	87	やや弱
はたじるし	8.07	48	極強
イブキワセ	8.11	63	強
ヒメノモチ	8.07	84	中
ササミノリ	8.11	83	やや弱

1) 循環灌漑期間：7月14日～9月9日.

2) 水深：7月4日～7月13日は水位約15cm、7月14日～9月9日は水位約25cm.

3) 処理期間の平均水温：19.3℃.

第14表 高温登熟性（育成地）

品種・系統名	2022				2023			
	出穂期 (月.日)	登熟気温 ¹⁾ (℃)	白未熟粒率 ²⁾ (%)	判定	出穂期 (月.日)	登熟気温 ¹⁾ (℃)	白未熟粒率 ²⁾ (%)	判定
越南313号	7.18	27.4	30	やや強	7.22	29.1	29	やや強
ハナエチゼン	7.18	27.4	32	やや強	7.21	28.9	27	やや強
ふさおとめ	7.19	27.5	24	強	7.23	29.3	26	強
あきたこまち	7.20	27.7	45	中	7.25	29.3	40	中
初星	7.23	28.3	61	弱	7.27	29.2	63	弱
越南314号	7.28	28.6	17	中	8.02	29.0	18	やや強
あきさかり	7.30	28.1	8	やや強	8.01	29.0	15	やや強
愛知123号	7.29	28.4	5	強	8.02	29.0	4	強
キヌヒカリ	7.27	28.7	21	中	7.30	29.0	42	中
コシヒカリ	7.27	28.7	33	やや弱	7.30	29.0	44	やや弱
ともほなみ	7.26	28.7	48	弱	7.30	29.0	67	弱

無施肥の圃場に1株2本植えて栽培し、成熟期にサンプリングした.

1) 登熟気温：出穂後20日間の平均気温.

2) 穀粒判別機(サタケ, RGQI-100A)を用いて測定した.

第15表 高温登熟性（依頼地）

鹿児島県農業開発総合センター

品種・系統名	2022							判定
	出穂期 (月.日)	登熟気温 ¹⁾ (°C)	背白	基白 乳白 心白 腹白				
				(達観:0~9) ²⁾				
越南313号	7.12	28.5	4	5	0	1	0	やや強
ハナエチゼン	7.13	28.5	3	4	0	0	1	やや強
越南314号	7.23	28.8	4	3	1	1	0	やや強
あきさかり	7.23	28.8	5	1	0	1	1	やや強
ふさおとめ	7.10	28.4	2	5	0	0	0	強
つや姫	7.19	28.8	4	4	0	3	0	やや強
あきたこまち	7.16	28.6	5	4	0	0	0	中
はえぬき	7.20	28.8	6	3	0	0	0	中
ミネアサヒ	7.23	28.9	9	1	0	0	0	弱

1) 登熟気温:出穂後20日間の平均気温.

2) 障害米の発生程度の基準は0(無)~9(甚)の10段階で調査.

愛知県農業総合試験場

品種・系統名	2022				判定
	圃場				
	出穂期 (月.日)	登熟気温 ¹⁾ (°C)	整粒率 ³⁾ (%)	白未熟粒率 ³⁾ (%)	
越南313号	7.25	28.4	78	12	やや強
ハナエチゼン	7.25	28.4	74	15	やや強
越南314号	8.05	27.8	77	4	強
あきさかり	8.05	27.8	73	7	強
愛知122号	8.04	27.8	71	8	強
コシヒカリ	8.03	27.8	60	18	やや弱

1) 登熟気温:出穂後20日間の平均気温.

2) 障害米の発生程度の基準は0(無)~9(甚)の10段階で調査.

3) 穀粒判別機(サタケ)を用いて調査.

第16表 Cd吸収性

農研機構農業環境研究部門

品種・系統名	2022	
	玄米	稲わら
	(mg/kg)	(mg/kg)
越南313号	0.010	0.025
ハナエチゼン	0.227	0.625
越南314号	0.008	0.022
あきさかり	0.452	1.132
コシヒカリ環1号	0.007	0.024
コシヒカリ	0.235	0.677

硝酸を用いた熱分解後, ICP-MSにより測定.

第16表 Cd吸収性（続き）

A県

品種・系統名	2022	
	玄米 (mg/kg)	稲わら (mg/kg)
越南313号	0.005	0.049
ハナエチゼン	0.088	0.345

硝酸を用いた熱分解後, ICP-MSにより測定.

B県

品種・系統名	2022	
	玄米 (mg/kg)	稲わら (mg/kg)
越南314号	0.017	0.051
あきさかり	0.234	0.711
コシヒカリ環1号	0.014	0.048
コシヒカリ	0.391	1.500

硝酸を用いた熱分解後, ICP-MSにより測定.

育成地(若狭湾エネルギー研究センター)

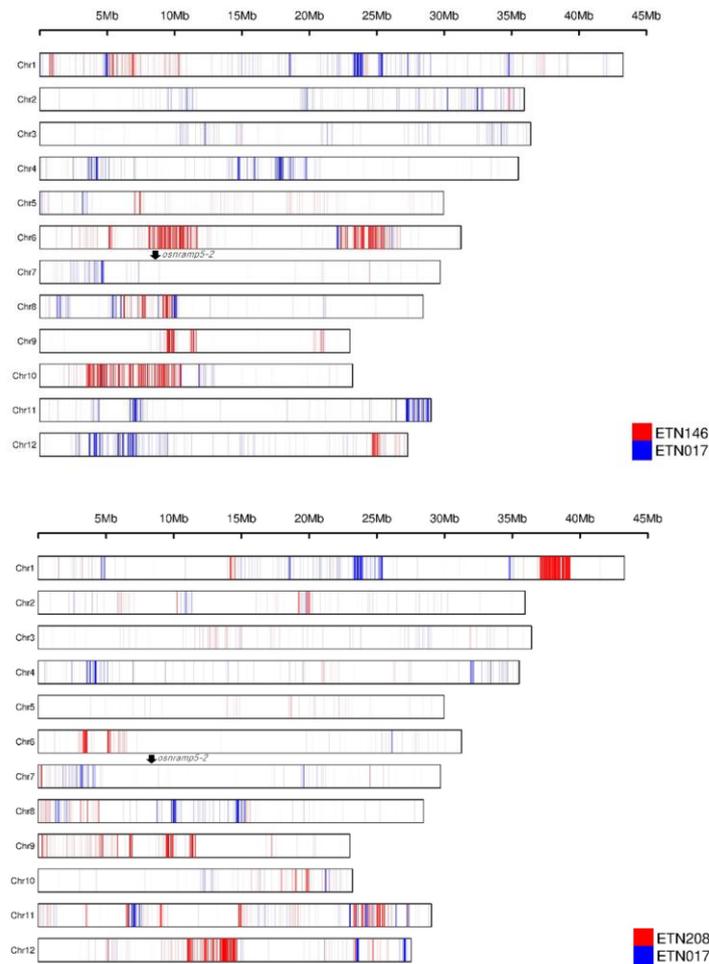
品種・系統名	2023					
	Cd		As		Mn	
	玄米 (mg/kg)	稲わら (mg/kg)	玄米 (mg/kg)	稲わら (mg/kg)	玄米 (mg/kg)	稲わら (mg/kg)
越南313号	0.001	0.004	0.170	1.662	18.3	230.5
ハナエチゼン	0.006	0.026	0.176	1.679	37.1	1500.4
越南314号	0.001	0.006	0.108	0.729	11.3	174.6
あきさかり	0.036	0.115	0.149	0.394	39.4	730.7

濃硫酸を用いた分解後, ICP-MSにより測定.

第17表 系統適応性試験結果

試験地	年度	品種・ 系統名	出穂	成熟	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏 (0-5)
			期 (月・日)	期 (月・日)				
農研機構 作物研究部門	'22	越南313号	7.15	8.26	74	17.5	470	1.5
		ハナエチゼン	7.15	8.26	79	16.7	441	1.0
農研機構 九州沖縄農業研究センター	'22	越南313号	7.19	8.24	81	19.1	503	0.0
		ハナエチゼン	7.19	8.24	80	18.4	511	0.0
農研機構 西日本農業研究センター	'22	越南314号	8.02	9.08	78	19.4	426	1.0
		あきさかり	8.02	9.09	76	19.8	428	1.0
鹿児島県農業開発総合センター	'22	越南314号	6.24	7.29	67	17.4	569	0.0
		あきさかり	6.23	7.28	64	16.7	619	0.0

試験地	年度	品種・ 系統名	精玄	同左	屑米 歩合 (%)	千粒 重 (g)	品質 (1-9)	概評
			米重 (kg/a)	標準比				
農研機構 作物研究部門	'22	越南313号	51.1	105	6.7	21.3	5.0	△
		ハナエチゼン	48.5	100	5.4	21.7	5.0	
農研機構 九州沖縄農業研究センター	'22	越南313号	71.9	106	2.5	22.9	6.0	△
		ハナエチゼン	67.6	100	3.8	23.1	5.5	
農研機構 西日本農業研究センター	'22	越南314号	75.0	101	2.6	23.3	6.0	△
		あきさかり	74.5	100	2.2	23.2	5.5	
鹿児島県農業開発総合センター	'22	越南314号	55.6	118	-	19.0	6.0	△
		あきさかり	47.0	100	-	18.8	6.0	



第10図 「ハナエチゼン (ETN146) 」 (上) 「あきさかり (ETN208) 」 (下) と「コシヒカリ (ETN017) 」のゲノム塗り絵

“ゲノム塗り絵”は「日本晴」のゲノムをベースに2品種のゲノムを比較し、2品種間でアリルが異なる物理位置に線を引く（論文投稿中）。

Two Near Isogenic Lines of ‘Hanaechizen’ and ‘Akisakari’ with Low Cd Absorption

Syuto Watanabe, Yusaku Morozumi, Asako Kobayashi, Katsura Tomita, Fumihiko Nakaoka, Genki Chaya, Yoshie Machida, Yuichi Sato and Nobuhito Sato

Summary

We bred two near isogenic lines with cadmium-free in grains in the genetic background of ‘Hanaechizen’ and ‘Akisakari’. The former was named as ‘Etsunan 313’ and the latter was ‘Etsunan 314’, and their cadmium absorption rates are “very low” that same as ‘Koshihikari Kan No.1’. The main agronomic characteristics of ‘Etsunan 313’ are almost same as its recurrent parent ‘Hanaechizen’, and those of ‘Etsunan 314’ are almost same as is recurrent parent ‘Akisakari’ except for its lodging resistance.