

カドミウムを吸収しない水稻品種「コシヒカリ環1号」の開発と普及に向けた技術的課題

誌名	農業および園芸 = Agriculture and horticulture
ISSN	03695247
著者名	石川, 覚
発行元	養賢堂
巻/号	95巻8号
巻号補足	
掲載ページ	p. 675-678
発行年月	2020年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



カドミウムを吸収しない水稻品種「コシヒカリ環1号」の開発と普及に向けた技術的課題

石川 覚*

〔キーワード〕: カドミウム, ヒ素, マンガン, イオンビーム, OsNramp5, 突然変異

1. はじめに

カドミウムは一昔前まで、ニッケル・カドミウム蓄電池の材料として使われていた。今はリチウムイオン電池が主流であり、その開発を行った吉野彰氏が昨年ノーベル化学賞を受賞したことは記憶に新しい。カドミウム(Cd)は生物に有害な元素であり、自然環境に悪影響を与える恐れがあることから、工業原料として使用は国際的に規制されている。Cdは鉱物や土壌など自然界に広く存在し、多くの食品には天然由来の微量なCdが含まれている。しかし一部の地域では、鉱山開発による河川や農地のCd汚染が深刻化し、高濃度のCdを含む飲料水やコメ等の農作物を摂取したことにより、住民への健康被害が認められた。その代表例が富山県神通川流域で発生した「イタイイタイ病」であり、認定患者数は200人にものぼる。

このような公害病が二度と起こらないように、国内では1970年に食品衛生法によって、飲料水とコメに対してCd濃度の基準値を設けた。さらにコメ

のCd基準値は2010年に改正され、現在は玄米・精米で0.4mg/kg以下となっている。コメのCd汚染を防止する有効な対策として、客土による水田の復元やアルカリ資材の施用、湛水管理による水稻の吸収抑制がこれまで実施されてきた。このような対策が功を奏し、日本ではコメのCd汚染が大きく取り上げられることはなくなった。しかしながら日本人の場合、農作物から摂取するCd量の約46%はコメに由来する。Cdの慢性的な摂取は腎機能障害など健康に悪影響を及ぼす恐れがあるため、Cd摂取量を大幅に低減するにはコメのCd濃度を今まで以上に減らす画期的な技術の開発が必要である。

我々の研究グループは、コシヒカリの突然変異処理によって、世界で初めてCdをほとんど吸収しない水稻品種を育成することに成功し、「コシヒカリ環1号」と名付けた。親品種であるコシヒカリの玄米Cd濃度が基準値を大きく超過するような水田圃場でコシヒカリ環1号を栽培しても、玄米にはほとんどCdが蓄積されない(図1)。本稿ではコシヒカリ環1号の育成法やCdを吸収しない仕組み、および栽培特性等を紹介し、普及に向けた技術的課題について述べる。

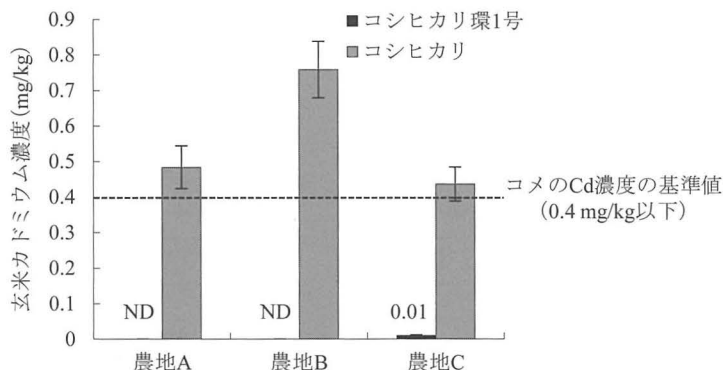


図1 玄米カドミウム濃度の比較
NDは0.01mg/kg未満。

2. コシヒカリ環1号の育成

コシヒカリ環1号は、コシヒカリの種子にイオンビーム照射し、変異を与えた約3,000個体の中から選抜した1個体がもとなっている。イオンビームは放射線の一種で、炭素イオンなどをサイクロトロンを使って高速に加速させたイオン粒子である。生物試料へのイオンビーム照射は多様な変異を引き起こす特徴を持つことから、農業現場では花卉園芸植物や作物などの品種改良に利用されている。今ではCd吸収を制御する遺伝子がわかっていれば、ゲノム編集によってCd低吸収イネを作ることは比較的容易になったが、当時は遺伝子も全くわかっていなかったため、Cd汚染土壌でポット栽培した3,000個体を1個体ずつCd分析するといった非常に手間と時間のかかる方法で選抜を行った。コシヒカリの玄米Cd濃度が基準値の0.4mg/kgを大幅に超過する栽培条件において、分析機器の定量限界レベル付近(0.01mg/kg未満)まで低下した3つの変異体を見つけ、その中の1個体が「コシヒカリ環1号」になった。

3. コシヒカリ環1号のCd吸収抑制の仕組み

コシヒカリ環1号は根のCd吸収が大きく減少していた。植物根による無機養分の取り込みは、細胞膜上に局在するチャンネルやトランスポーター等

と呼ばれる膜タンパク質を介した行われ、その制御には特定の遺伝子が関与する。コシヒカリ環1号の遺伝解析から、イネの第7染色体上に位置する*OsNramp5*と呼ばれる遺伝子に変異が生じていることがわかった。具体的には1つの塩基が欠損したことでコドン(連続した3塩基の組)の読み枠にずれが生じていた。*OsNramp5*の遺伝子発現は根で強く、またアミノ酸配列からイネの金属イオン輸送体であるNrampファミリーに属し、そのタンパク質は細胞膜上に局在する。コシヒカリとコシヒカリ環1号から*Nramp5*遺伝子を単離し、各々の遺伝子を酵母に組み換えてCdの輸送活性を調べたところ、コシヒカリの*Nramp5*はCdを吸収したが、コシヒカリ環1号の*Nramp5*はCdを輸送しなかった。このことから、*Nramp5*はCdを輸送するトランスポーターであるが、コシヒカリ環1号はその機能が失われているため、根のCd吸収が抑制され、玄米Cd濃度が著しく低下することがわかった(図2)

(Ishikawa et al. 2012)。イネの*Nramp5*が持つ本来の機能は、植物にとって必須元素であるマンガン(Mn)イオンを細胞内に取り込むためである。よって*Nramp5*の機能欠損はCdだけでなく、Mn濃度も著しく低下させる。実際、コシヒカリ環1号のMn濃度は低く、栽培環境によってはMn不足が原因でコシヒカリ並の玄米収量が得られない場合があるが、これに関しては後半の技術的な課題で述べる。

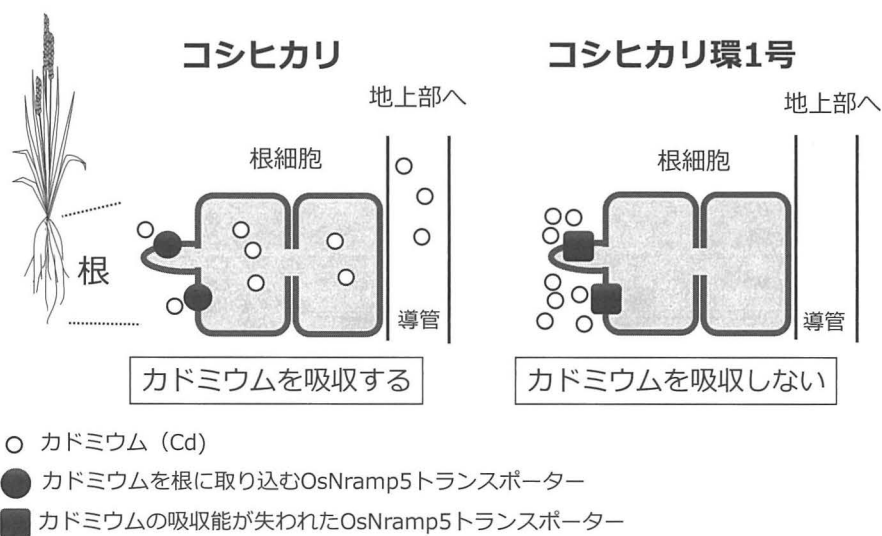


図2 コシヒカリ環1号のカドミウム吸収抑制の仕組み

4. コシヒカリ環1号の生育特性

育成地（つくば市）において、5年間栽培したときの生育特性を表1に示した（安部ら 2017）。コシヒカリと比較して、出穂は1日程度遅くなる傾向だが、成熟期は同等である。穂長は同程度だが、穂数がやや多い傾向にある。コシヒカリに比べて粒長、粒幅、粒厚がやや小さいことで、玄米千粒重や精玄米収量がやや少ない評価だが、統計上有意な差ではない。いもち病抵抗性はコシヒカリと同等の弱に分類される。成熟期の草姿を図3に示した。草姿はコシヒカリとほぼ変わりなく、粳や玄米も見た目でコシヒカリと区別することは難しい。外部機関でコシヒカリ環1号の食味を評価したところ、コシヒカリ同等だった。よって育成地において、コシヒカリ環1号がコシヒカリと明らかに違う部分はCd吸収性のみであった。コシヒカリ環1号の品種登録出願（2013年8月）は、新たに“Cd吸収性”という項目を審査基準に追加してもらうことで可能になった。2015年5月に種苗登録（登録番号：第24338号）された。

5. 新たな低吸収イネ品種の開発

コシヒカリ環1号はコシヒカリとほぼ同等の栽培特性を示すため、コシヒカリの栽培地域をカバーできるが、それ以外の地域でCd低吸収性品種を導入するためには新たに育成する必要がある。*OsNramp5* 遺伝子をゲノム編集による改変によって既存品種の低Cd化は可能だが、ゲノム編集イネに対する社会的な受容がどの程度なのか実際のところ不明である。よって、現段階ではDNAマーカー育種が有効な手段と言える。コシヒカリ環1号は他のイネ品種とは異なり、*OsNramp5* のDNA配列の特定部位に1つだけ塩基が欠失している。このようにある特定のDNA配列の違いを目印（マーカー）に、従来の交配を組み合わせる新しい形質を持つ品種を効率良く作る方法がDNAマーカー育種である。昨年農研機構は、この方法を用いてCd低吸収性の新たな4品種（あきだわら環1号、ほしじるし環1号、にこまる環1号、たちはるか環1号）を品種登録出願した。さらに、現在農研機構を中心に県の農業試験場と協力して、100以上の品種や有望系統をベースに新たなCd低吸収性品種の開発に取り組んでおり、着々と品種の低Cd化が進んでいる。

表1 育成地（つくば市）における生育特性の比較

品種	出穂期 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	精玄米重 (kg/a)	千粒重 (g)	粒長 (mm)	粒幅 (mm)	粒厚 (mm)
コシヒカリ環1号	8月5日	89.9	18.8	338	51.3	21.9	5.06	2.82	1.96
コシヒカリ	8月4日	89.9	18.9	323	52.5	22.1	5.07	2.83	1.97

2012年～2016年までの5年間の平均。栽植密度は、22.2株/m² (30cm×15cm)。施肥量は窒素、リン酸およびカリウムともに同量で、2012年～2015年は0.5kg/a、2016年は0.7kg/a施用。玄米調整篩目は1.8mm。

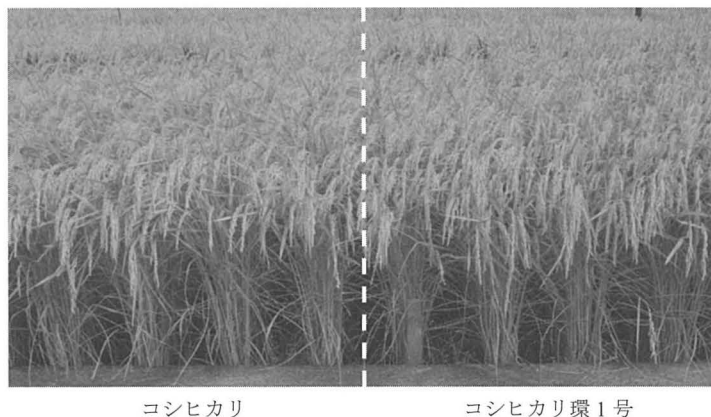


図3 育成地（つくば市）における草姿（2016年撮影）

6. 技術的な課題

育成地（つくば市）において、コシヒカリ環1号はコシヒカリとほぼ同等の形質を持つと述べたが、各地域での栽培試験を通して、栽培上の課題が見つかった。その一つがごま葉枯病に罹病しやすい点である。ごま葉枯病は *Cochliobolus miyabeanus* という糸状菌の感染によって葉身や穂にごま粒状の斑点が現れる病気であり、感染するとイネの収量や品質が低下する。ごま葉枯病は秋落ち水田などの栄養凋落が起こりやすい地力の低い土壌で発生が助長される。特に土壌の有効態ケイ酸や易還元性 Mn 濃度が低い土壌では、ごま葉枯病が多発しやすい。コシヒカリ環1号は Cd 以外に Mn 吸収も抑制された品種であることを先に述べた。そのため、ごま葉枯病に罹病しやすい主な原因は Mn 吸収の低下によるものと推察される。一例になるが、ごま葉枯病が発生しやすい低 Mn 土壌に Mn 含有資材を施用することで、コシヒカリ環1号の罹病率が大きく低下し、玄米収量もコシヒカリ並に改善した（本間ら 2016）。よって、地力が低く、ごま葉枯病の発生が懸念される土壌でコシヒカリ環1号を栽培する場合は、Mn 含有資材の施用が今のところ有効と思われる。現在、Mn 資材や水管理の工夫によってコシヒカリ環1号の Mn 吸収を上昇させ、ごま葉枯病発生を防ぐ土壌管理技術の確立を目指しているところである。さらにコシヒカリ環1号は鉄の吸収が高まっており、長期の湛水管理は葉身に鉄過剰症による斑点と早期の枯れ上がりを引き起こす可能性があることもわかってきた。中干しの徹底と落水による土壌の酸化はイネの鉄過剰症を緩和する方法として有効である。環1号シリーズを栽培するだけで Cd はほぼ吸収しないので、鉄過剰症を防ぐ上で従来 Cd 対策用に行ってきた長期間の湛水管理は避けることを推奨する。

7. おわりに

2018年1月、農林水産省は「コメ中のカドミウム濃度低減のための実施指針」の改訂版を公表した。その中で Cd 低吸収性イネ品種の利用が主要な対策に位置づけられた。農研機構は県の公設試験研究機関等と連携して Cd 低吸収性イネ品種の育成を加速化している。このような取り組みを通して、栽培上の問題を克服しつつ、コシヒカリ環1号などの Cd 低吸収性品種が全国に普及することを期待する。さらに新たな課題として、コメのヒ素が浮上している。コメは発がん性が高い無機ヒ素の主要な摂取源であるため、国際的な基準値（精米で 0.2mg/kg、玄米で 0.35mg/kg）が設定されている。コメのヒ素濃度を下げる最も効果的な対策は落水による土壌の酸化的な水管理であるが、これは同時にコメの Cd 濃度を上昇させてしまう水管理でもある。一方、Cd 低吸収品種はどのような水管理でも Cd を吸収しないので、土壌を酸化的に保ちながら、Cd 低吸収品種を栽培すればコメ中のヒ素と Cd の同時低減が可能になる（Ishikawa et al. 2016）。このようにヒ素対策においても Cd 低吸収品種は貢献するため、今後益々需要が高まるとと思われる。

引用文献

- 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.
- 本間利光・白鳥豊・大峽広智・土田 徹・牧野知之・安部 匡・石川 覚 2017. 異なる水田土壌におけるコシヒカリ環1号の無機成分含有率とごま葉枯病罹病リスクの評価. 土肥誌 88: 213-220.
- Ishikawa, S., Ishimaru, Y., Igura, M., Kuramata, M., Abe, T., Senoura, T., Hase, Y., Arao, T., Nishizawa, N.K., and Nakanishi, H. 2012. Ion-beam irradiation, gene identification, and marker-assisted breeding in the development of low-cadmium rice. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 109, 19166-19171.
- Ishikawa, S., Makino, T., Ito, M., Harada, K., Nakada, H., Nishida, I., Nishimura, M., Tokunaga, T., Shirao, K., Yoshizawa, C., Matsuyama, M., Abe, T., and Arao, T. 2016. Low-cadmium rice cultivar can simultaneously reduce arsenic and cadmium concentrations in rice grains. Soil Sci. Plant Nutr., 62, 327-339.