研究ノート

色素米 8 品種中の 4 年間におけるミネラル含量の変動

鈴木雅博^{1,2*}, 片岡知守³, 大坪研一²

¹ 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター

² 新潟大学大学院自然科学研究科

³ 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 九州・沖縄農業研究センター

Variation in the Mineral Content of 8 Cultivars of Pigmented Brown Rice

Masahiro Suzuki^{1,2*}, Tomomori Kataoka³ and Ken'ichi Ohtsubo²

¹ National Agriculture Food Research Organization, Agriculture Research Center,
3-1-1 Kannondai, Tsubukuba, Ibaraki 305-8666

² Graduate School of Science and Technology, Niigata University, 8050 Ikarashi 2-no-cho, Nishi-ku, Niigata, Niigata 950-2181

³ National Agriculture Food Research Organization, Kyushu Okinawa Agriculture Research Center,
496 Izumi, Chikugo, Fukuoka 833-0041

We measured the concentrations of 7 minerals in 8 cultivars of pigmented brown rice grown between 2002-2005, then compared these concentrations with those in Koshihikari rice cultivated in the same field. The results showed that the calcium content of pigmented brown rice was higher than that of the Koshihikari cultivar. These results raise the possibility that the potassium, magnesium and phosphorus content of the pigmented rice may be higher than in the Koshihikari cultivar, whereas its zinc concentration might be lower than in the Koshihikari cultivar.
(Received Feb. 4, 2014; Accepted May 28, 2014)

Keywords : pigmented rice, mineral contents

キーワード : 色素米, ミネラル含量, 年次変動

色素米は糠に赤褐色や紫色, 緑色の色素を含み色だけではなく, 年次変動はあるものの代表的品種であるコシヒカリよりも著しく高い抗酸化能を有していることが伊藤らにより報告されている¹⁾。この様に色素米は抗酸化成分の供給源として注目されている。また別の面では色素米は高ミネラル含量であるともいわれており, 既にいくつかの報告がなされている^{2,3)}。我々は2002年(平成14年)産色素米(有色米)のミネラル含量を同じ産地で栽培したコシヒカリと比較した⁴⁾。一般では色素米はいわゆる「古代米」と称し, 高ミネラル含量であり健康に良いとして販売されている例が目立っている。しかし, 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構((独)農研機構)育成の8品種の2002年産色素米の測定結果においてはカルシウム(Ca)を除き高ミネラルとはいえなかった⁴⁾。そこで, その結果が安定したものであるかを調べるため, 2003~2005年産の色素米のミネラル含量を測定した。これまでの色素米中のミネラル含量の報告はミネラル含量の記載に終始しており, その測定結果の有意差に言及している報告は見あたらなかった。また, 農産物の品質は栽培年により変動するため複数年に

わたり調査する必要があるが, 色素米のミネラル含量の年次変動に関する報告も見あたらなかった。本報告では有意差検定を実施し, 色素米中のミネラル含量がコシヒカリに対して有意に多いか少ないか4年間の変動で明らかにした。

1. 実験方法

(1) 玄米試料

試料米は秋田県産朝紫, タやけもち(奥羽赤糯388号), おくのむらさき, 紅衣, コシヒカリ, 茨城県産関東198号(紫黒米), 関東赤211号, コシヒカリ, 福岡県産紅染めもち(西海糯243号), ペニロマン, コシヒカリを使用した。試料玄米はすべて(独)農研機構内にて調達した。秋田県産は東北農業研究センター水田作研究領域より, 茨城県産は作物研究所稲研究領域より, 福岡県産は九州沖縄農業研究センター水田作・園芸研究領域よりご恵与いただいた色素米とコシヒカリの玄米を分析に供した。イネは同一栽培条件ごとに刈り取り, 自然乾燥した後, 脱穀・粃すりし, 玄米として供給された。供給された玄米は実験に供するまで, 5℃にて保管した。

¹ 〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1, ² 〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050, ³ 〒833-0041 福岡県筑後市和泉496

*連絡先 (Corresponding author), suzukim@affrc.go.jp

イネの栽培条件は以下の通りで行った。施肥量は窒素、リン酸、カリウムについて、秋田県産は0.7kg/aずつ、茨城県産は0.8kg/aずつ、福岡県産はコシヒカリに関しては0.7kg/aずつ、色素米は0.8kg/aずつ施用した。収穫は、成熟期に達した品種より随時行った。

玄米の乾重は、常圧135℃、20時間の通風乾燥法⁵⁾で測定した。これらの水分量から、湿式分解した試料の乾燥重量を換算し、無機元素の含量は乾燥重量当たりで示した。

測定法の検討には、National Institute of Standards & Technologyの米粉標準試料 Standard Reference Material 1568aを用い、問題がないことを確認した。

(2) 試薬および測定手法

試料の分解に用いた硝酸、過塩素酸水溶液(60%)はいずれも精密分析用(和光純薬製)を、その後の試料溶液調製用には精密分析用35%塩酸(和光純薬製)を1%に希釈して用いた。希釈には、電気浸透にて脱イオンした逆浸透水(ミリポア製, Elix10)をさらに、活性炭-イオン交換樹脂に通し、紫外線により有機物分解(ミリポア製, milli-Q gradient A10)したものを用いた。測定は誘導結合プラズマ発光分析(ICP-AES)装置(Varian Instruments社製 VISTA-MPX)を用いた。ICP-AESによる測定のための検量線作成用の標準溶液は、和光純薬製塩化カルシウム二水和物99.9%、塩化銅(Ⅱ)二水和物99.9%、塩化鉄(Ⅲ)六水和物99.9%、塩化カリウム99.5+%, 塩化マグネシウム六水和物99.9%、特級リン酸、塩化亜鉛99.9%を用いて、6元素の混合標準液を調製した。測定に用いた波長はカルシウム(422.673nm)、銅(324.754nm)、鉄(238.204nm)、カリウム(769.897nm)、マグネシウム(285.213nm)、リン(213.857nm)、亜鉛(213.618nm)である。

(3) 試料の灰化法

玄米試料より無作為に1gを抽出秤量し、ハウケイ酸ガラス製100mLビーカー中にて硝酸(和光純薬製精密分析用)を5mL加え、家庭用ホットプレート(松下電器産業社製 NF-HG59)上、約100℃にて一次分解した。激しい二酸化窒素の発泡が終了した後、ホットプレートを指示温度150℃まで上げ、分解を継続した。その後、過塩素酸水溶液(60%)(和光純薬製精密分析用)2mLを添加し、指示温度210℃でさらに分解した。溶液が無色になった後、230℃にて乾固した。乾燥後1%塩酸を5mL加え、再度乾固した。これを1%塩酸にて溶解し50mLとした。塩酸溶液をICP-AES測定に供した。各試料について1gの分析を6反復し、乾燥重量あたりの平均含量およびその標準偏差を求めた。

2. 実験結果および考察

表1に色素米およびコシヒカリの玄米中のミネラル含量を記載した。前報⁴⁾で記載したように、ミネラル含量は産地間、年次間差異が大きく品種間差異を見出しにくい。そのため、産地の異なる玄米のミネラルの絶対量を比較して

品種の特性は議論できない。そこで前報⁴⁾同様に、色素米と同じ産地・産年のコシヒカリに対するミネラルの相対量を比較することとした。

カルシウム含量そのものでは2004年度産朝紫は最も高い値を示しているが、図1の対コシヒカリ比で見ると2003年度産関東赤211号も同様に高い値を示している。このように含量そのものではなく、同じ年に同じ場所で栽培されたコシヒカリの含量と比較すると、その品種の特徴を表わせるのではないかと考えられた。

図2にカルシウムの4年間の平均対コシヒカリ比を示した。有意差は非等分散の2標本を対象とするt検定で行った。紅衣は同一産年・同一産地のコシヒカリと有意差(危険率5%, 以下略)がなかったが、残りの7品種はコシヒカリよりも有意に高カルシウムであった。前報の2002年産においてもカルシウムはコシヒカリに対して高含量であることが示唆されており、更に4年間の平均においても同様の傾向であったことから、色素米の大部分はコシヒカリに対して高カルシウムである可能性が高いと考えられた。

図3に銅含量の対コシヒカリ比の平均値を示した。有意に高かった品種はおくのむらさきと関東赤211号のみであった。このことから色素米の銅含量はコシヒカリに対して特段に高いとはいえないことが示唆された。

図4に鉄含量の対コシヒカリ比の平均値を示した。色素米の鉄含量に関してはコシヒカリに対して有意に高い品種はタヤけもちだけであり、有意に低い品種は関東198号のみであった。他の6品種のコシヒカリとの差は有意ではなかった。よって、色素米の鉄含量もコシヒカリに対して特段に高いとはいえないと考えられた。

図5にカリウム含量の対コシヒカリ比の平均値を示した。ベニロマンのみが有意に低く、他の7品種は有意に高かった。

図6にマグネシウム含量の対コシヒカリ比の平均値を示した。朝紫、タヤけもち、関東赤211号がコシヒカリよりも有意に高含量であり、コシヒカリよりも有意に低含量である色素米はなかった。

図7にリン含量の対コシヒカリの平均値を示した。朝紫、紅衣、関東赤211号、紅染めもち、ベニロマンはコシヒカリよりも有意に高く、タヤけもち、おくのむらさき、関東198号は有意差が見られなかった。

図8に亜鉛含量の対コシヒカリ比の平均値を示した。関東赤211号のみが有意に高く、朝紫、タヤけもち、紅衣、ベニロマンは有意に低かった。

ここまでは個別品種毎にコシヒカリとミネラル成分の含量を比較してきた。しかし、消費者は色素米を品種で区別せず、ただ単に「赤米」、「黒米」あるいは「古代米」としか区別していない場合がある。そのため、全ての色素米を1つの集団として対コシヒカリ比を求め、コシヒカリとの間に有意差が認められるか検討した。その結果を図9に示

表 1 2002～2005 年度の色素米とコシヒカリのミネラル含量 (μg/g)

産年	産地	品種	カルシウム	銅	鉄	カリウム	マグネシウム	リン	亜鉛
2005	秋田	朝紫	124±6	2.8±0.1	11.5±1.7	2470±70	1290±60	3440±140	19.3±0.9
2004			227±7	2.8±0.1	9.0±0.6	2400±60	1430±20	2920±80	16.2±0.4
2003			164±8	2.1±0.1	7.1±0.2	2240±110	1040±40	2870±90	13.9±0.5
2002			171±4	2.8±0.3	9.1±0.3	2170±90	1000±60	2930±170	15.1±1.5
2005	秋田	夕やけもち (奥羽赤糯 388)	72±3	2.5±0.1	9.9±0.2	2230±100	1080±100	2920±80	18.3±0.5
2004			105±2	2.7±0.1	11.1±0.3	2080±30	990±10	2780±50	20.9±0.5
2003			108±4	2.4±0.1	9.1±0.4	2330±70	1180±30	3120±80	16.1±0.5
2002			117±2	2.8±0.1	15.4±1.0	2080±30	1030±10	2800±50	16.7±0.9
2005	秋田	おくのむらさき	92±4	2.7±0.1	11.2±1.3	2260±80	1060±40	2870±120	21.6±1.1
2004			132±4	3.3±0.1	9.1±1.7	2050±70	1110±30	2870±90	20.9±1.1
2003			141±7	2.8±0.1	12.7±2.6	2210±40	1350±20	2930±40	17.7±0.3
2002			115±7	3.1±0.3	7.7±0.6	2000±60	880±20	2680±50	16.2±0.6
2005	秋田	紅衣	68±3	2.8±0.1	10.7±0.4	2160±80	1170±20	3240±60	19.3±0.4
2004			99±5	2.6±0.1	13.6±1.6	2340±50	1110±10	2930±20	17.0±0.4
2003			86±3	2.2±0.1	7.6±0.2	2250±50	950±20	2850±50	14.4±0.4
2002			92±6	3.7±0.2	11.5±1.0	2300±120	1200±60	3160±120	18.5±1.2
2005	秋田	コシヒカリ	74±2	2.7±0.1	12.5±0.9	1890±90	990±30	2660±90	19.9±0.6
2004			106±2	3.0±0.1	12.0±1.7	1750±30	1270±20	2960±60	21.4±0.8
2003			87±3	1.8±0.1	7.4±0.3	1910±50	980±30	2810±70	14.5±0.3
2002			95±10	2.9±0.4	8.9±0.9	1820±120	1070±50	3070±200	19.9±1.3
2005	茨城	関東赤 211	128±5	2.8±0.1	14.4±0.7	2180±80	1360±40	3290±120	30.4±1.4
2004			171±7	3.8±0.1	15.7±2.7	2200±40	1560±10	2890±20	32.9±0.6
2003			185±4	3.2±0.1	14.8±0.4	2280±30	1660±30	3850±70	20.6±1.1
2002			146±5	2.6±0.2	13.6±0.7	1980±70	1240±40	3280±120	24.9±1.0
2005	茨城	関東 198	109±4	2.5±0.1	10.7±0.2	2570±70	1180±20	3040±70	22.4±0.5
2004			170±7	3.8±0.1	15.6±5.0	2370±70	1360±20	2900±80	24.2±0.4
2003			124±6	2.1±0.1	10.3±0.5	2300±50	1140±30	3250±90	22.4±3.1
2002			112±9	2.5±0.3	10.6±0.6	2080±80	1060±20	2960±70	19.7±0.9
2005	茨城	コシヒカリ	69±1	2.6±0.2	12.4±1.0	1490±110	1150±70	2840±170	22.8±1.3
2004			90±3	3.4±0.1	21.2±2.1	1850±70	1110±20	2870±80	22.7±0.6
2003			83±2	3.1±0.1	9.3±0.3	1870±30	1200±20	3240±50	20.7±0.5
2002			92±5	1.5±0.3	16.2±0.1	1870±80	1300±40	3380±140	23.0±1.2
2005	福岡	紅染めもち (西海糯 243)	122±8	3.4±0.1	12.5±1.2	2840±140	1290±60	3800±160	23.4±1.0
2004			170±5	3.4±0.1	15.3±2.9	2700±80	1530±20	3580±50	25.3±0.5
2003			120±3	4.7±0.2	13.6±0.3	2610±60	1560±40	3600±70	24.8±0.6
2002			127±6	2.3±0.4	8.8±0.7	2300±120	1060±40	3080±140	20.5±1.3
2005	福岡	ベニロマン	103±3	3.2±0.1	11.2±0.7	1830±40	1250±20	3490±100	20.0±0.9
2004			134±4	3.6±0.2	13.5±1.2	1840±50	1520±30	3630±90	22.1±1.1
2003			146±6	4.4±0.1	11.3±0.4	1890±70	1600±40	3630±130	20.9±0.7
2002			132±7	2.6±0.3	9.0±0.6	1810±70	1130±30	3190±90	18.4±0.8
2005	福岡	コシヒカリ	65±3	3.4±0.2	13.2±0.7	1860±40	1270±60	3190±210	22.7±1.2
2004			99±4	3.8±0.1	15.7±0.3	2060±60	1410±20	3310±60	23.0±0.2
2003			79±8	2.3±0.2	9.9±0.9	2010±170	1260±80	3220±240	21.4±1.8
2002			90±8	3.1±0.2	10.4±0.5	2000±70	1240±30	3300±100	26.2±0.8

した。カルシウム、カリウム、マグネシウム、リンはコシヒカリよりも有意に高含量であり、逆に亜鉛は有意に低含量であった。銅と鉄の含量はコシヒカリに対して有意差はなかった。

Kang らは韓国で栽培した緑米、赤米、紫黒米、無色素米の 4 品種のカリウム、マグネシウム、カルシウム含量を測

定している⁶⁾。その中で色素米はカルシウム、マグネシウムは多く、カリウムは少ないと報告している。Sharma らはインド北部で栽培されている在来種の赤米 6 品種と無色素米 1 品種を比較して、銅含量は差がなかったが、鉄と亜鉛含量は色素米が高かったと報告している²⁾。Zeng らは雲南省で栽培されている 653 品種の玄米中のミネラル含量を測

対コシヒカリ比

図 1 栽培年毎の色素米のカルシウム含量の対コシヒカリ比

対コシヒカリ比

図 2 色素米 4 年間のカルシウム含量の平均対コシヒカリ比

* コシヒカリに対して危険率 5% で有意差あり

対コシヒカリ比

図 3 色素米 4 年間の銅含量の平均対コシヒカリ比

* コシヒカリに対して危険率 5% で有意差あり

定した³⁾。その 653 品種の中には 233 品種の赤米, 18 品種の紫黒米が含まれている。その結果は, 紫黒米のカルシウム含量は若干高く, 鉄含量は赤米では高いが紫黒米は低い。リン・マグネシウム含量は色素との関係はないというもの

であった。すなわち Kang らと Zeng らは統計処理をしていないものの色素米のカルシウムは高いと報告しており, Sharm らはカルシウム含量の測定はしていない。そのため今回の色素米のカルシウムが多いという結果は既報と矛

対コシヒカリ比

図 4 色素米 4 年間の鉄含量の平均対コシヒカリ比

* コシヒカリに対して危険率 5% で有意差あり

対コシヒカリ比

図 5 色素米 4 年間のカリウム含量の平均対コシヒカリ比

* コシヒカリに対して危険率 5% で有意差あり

対コシヒカリ比

図 6 色素米 4 年間のマグネシウム含量の平均対コシヒカリ比

* コシヒカリに対して危険率 5% で有意差あり

対コシヒカリ比

図 7 色素米 4 年間のリン含量の平均対コシヒカリ比

* コシヒカリに対して危険率 5% で有意差あり

対コシヒカリ比

図 8 色素米 4 年間の亜鉛含量の平均対コシヒカリ比

* コシヒカリに対して危険率 5% で有意差あり

対コシヒカリ比

図 9 全色素米のミネラル含量の対コシヒカリ比

* コシヒカリに対して危険率 5% で有意差あり

盾していなかった。カリウムはコシヒカリよりも色素米が多いという結果は、Kang らの結果と一致しなかった。マグネシウムが多いという結果は、Kang らと一致しているものの、Zeng らとは一致しなかった。リンが多いという結果は、Zeng らと一致していなかった。亜鉛が少ないと

いう結果は、Sharma らと一致しなかった。カリウム、マグネシウム、リン、亜鉛の結果が既報と一致しなかった原因が比較品種として使用したコシヒカリに起因しているの

か、今回調査した色素米に起因しているのかは明らかにできなかった。

今回の測定では色素米8品種4年間の分析しか行っていないが、カルシウムにおいて色素米はコシヒカリよりも一般に高含量であることが推察される。カリウム、マグネシウム、リンはわずかに高い可能性が、逆に亜鉛はわずかに低い可能性があるが、品種や栽培条件により傾向が異なり、一概に論じることは難しいと考えられた。

伊田らはリンとマグネシウム含量の間には $r=0.689$ の相関関係がある事を報告している⁷⁾。このリンとマグネシウム含量の間の相関関係を久保は $r=0.93\sim0.89^{(8)\sim(10)}$ 、堀野は $r=0.877^{(11)}$ と報告している。久保の $0.93\sim0.89$ と堀野らの 0.877 はそれほど差がないのに対して、伊田の値 0.689 は大きく異なっている。その原因は、久保と堀野らは標準栽培した多品種の玄米を測定しているのに対して、伊田らは施肥条件を変えて栽培したコシヒカリ玄米を測定しているからではないかと考えられた。今回測定した色素米のリンとマグネシウムの含量の相関関係は $r=0.70$ と伊田らの報告に近い値を示した。それに対して3産地4年間分のコシヒカリでは $r=0.81$ と標準栽培した玄米の報告とはほぼ一致する値を示した。それに対して標準栽培した色素米の相関係数は施肥条件を大きく振った場合に近かった。色素米品種に大きな形質の差があることを示していると考えられた。

堀野らは玄米の窒素、カリウム、マグネシウムは米飯の食味試験の総合値と統計的に強い関連性を有する成分であり、食味試験の総合値に対して窒素、カリウムは負、マグネシウムは正に寄与することを明らかにした¹¹⁾。更に伊田らはマグネシウム/カリウム比（以下Mg/Kと略記）は窒素施肥によって影響されにくい指標であり、品種固有の特性を示すものと認められたと報告している⁷⁾。そこで今回測定した色素米の各品種のMg/Kとコシヒカリのそれとを比較してみた。関東赤211号とベニロマンはコシヒカリに近いMg/K値を示した。今回測定対象にした色素米はすべて近年に育種された品種であり、当然優れた食味であることも必要条件であろう。色素米のMg/K比がコシヒカリに近くなったのは、良食味を目指した育種の結果が現れていると考えられた。もちろんMg/K値だけで食味を議論できないが、食味に関する一つの指標として意味があるのではないかとと思われる。

3. 要 約

2002～2005年度産の色素米8品種のミネラル7種を、同一条件で栽培されたコシヒカリとの相対値で比較した。カル

シウムに関しては、色素米はコシヒカリよりも高含量である可能性が示唆された。カリウム、マグネシウム、リンは高い可能性があるが、分析点数が少なく結論づけるまでには至らなかった。逆に亜鉛は含量の変動が大きいものの、コシヒカリよりも含量が低い可能性が考えられた。

本研究を行うにあたり、貴重な玄米試料をご提供頂きました独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構の東北農業研究センター水田作研究領域、作物研究所稲研究領域、九州沖縄農業研究センター水田作・園芸研究領域に感謝いたします。

文 献

- 1) 伊藤満敏, 大原絵里, 小林 篤, 山崎 彬, 梶 亮太, 山口 誠之, 石崎和彦, 奈良悦子, 大坪研一, 有色素米の抗酸化能とポリフェノール含量の測定, 日本食品科学工学会誌, **58**, 576-582 (2011).
- 2) Sharma, J.K., Sharma, T.R. and Sharma, S.K., Comparative study on macro and micro minerals composition of selective red rice landraces from Chamba district of Himachal Pradesh-India. *J. Agricultural Sciences*, **8**, 378-380 (2012).
- 3) Zeng, Y., Liu, J., Wang, L., Shen, S., Li, Z., Wang, X., Wen, G. and Yang, Z., Analysis on mineral element contents in associated with varietal type in core collection of Yunnan rice. *Rice Science*, **11**, 106-112 (2004).
- 4) 鈴木雅博, 木村俊之, 山岸賢治, 新本洋士, 八巻幸二, 色素米8品種のミネラル特性の比較, 日本食品科学工学会誌, **51**, 424-427 (2004).
- 5) 堤 忠一, 食品分析法第2版 (日本食品工学会食品分析法編集委員会編, (光琳)), p.32 (1984).
- 6) Kang, M., Rico, C.W. and Lee, S., Varietal difference in physicochemical properties of pigmented rice varieties. *J. Crop Sci. Biotech.*, **14**, 111-118 (2011).
- 7) 伊田黎之輔, 堀野俊郎, 窒素施肥条件を変えた場合のコシヒカリ玄米のMg含量, 化学的食味指標の変動, 日本土壤肥料科学雑誌, **67**, 425-429 (1996).
- 8) 久保彰治, 日本産米の無機成分含量の概観 (第2報) 無機成分含量の地域的偏差と成分間の相関, 食料研究所報告, **14**, 86-90 (1959).
- 9) 久保彰治, 日本産米の無機成分含量の概観 (第3報) 兵庫県産米の無機成分による考察, 食料研究所報告, **14**, 91-94 (1959).
- 10) 久保彰治, 米粒の無機成分含量にもとづく日本産米の類別 (第1報) 品種, 栽培地と無機成分含量, 食料研究所報告, **15**, 13-21 (1961).
- 11) 堀野俊郎, 岡本正弘, 玄米の窒素ならびにミネラル含量と米飯の食味との統計的関連, 中国農業試験場研究報告, **10**, 1-15 (1992).

(平成26年2月4日受付, 平成26年5月28日受理)