

報 文

米粒中ナトリウム含量の変動要因としての生育期の塩ストレスの可能性

進藤久美子[§], 安井 明美

Possibilities of salinity stress as a variation factor of sodium content in rice

Kumiko SHINDOH[§], Akemi YASUI

National Food Research Institute, 2-1-12 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8642 Japan

Abstract

We have received many inquiries about the differences between their own analytical values of food components and the representative values described in Standard Table of Food Composition in Japan. Food components are fluctuated by various factors. We focused on the high-sodium rice grain production in this study to show one of the background information about the variation in content of food components. We analyzed sodium content in brown rice from rice plants hydroponically-cultivated under the salinity stress condition at the booting stage. Comparing with the control group, sodium contents in brown rice from the stressed plants were from 1 to 234 times higher with variety- or line-dependent differences. This result indicates that, rice plants grown under salinity environments have potential to produce rice with sodium content much higher than the representative sodium value for paddy rice grain described in Standard Table of Food Composition in Japan.

keywords : 米 , ナトリウム含量 , 塩ストレス , 日本食品標準成分表

緒 言

(独)農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所(以下,食品総合研究所)は,農林水産省食品総合研究所であった時代から,公的な機関として,さまざまな技術相談や問い合わせを受けており,その中で,食品成分含有量に関する質問では,「日本食品標準成分表に記載されている含有量と実際の分析値が異なったのはなぜか」という類のものが目立つ。

このような「日本食品標準成分表の値と異なった」

場合の理由として,まず不適切な分析方法や分析技能の問題によって,分析値が本来の成分値(真値)とかけ離れてしまったケースが考えられる。このような場合の対策として,分析方法の妥当性を確認するための認証標準物質の整備や,プロフィシエンシーテスト(技能試験)への参加の必要性について,さらに理解を広げる努力がなされなければならないところである¹⁾。しかし,もちろん分析方法や分析技能に問題がない場合でも,「日本食品標準成分表」に記載されている成分値と分析値が必ず一致するわけではない。食品総合研究所では,遺伝子組換え農作物の開発が予

[§]連絡先, shindoh@affrc.go.jp

想される農作物について、主要品種に含まれる栄養成分等の系統的な分析・調査を行い、安全性評価の実施の際に比較値として利用できるデータベースの構築を行っている^{2,3)}。このデータを例にとっても、農産物の成分含有量は、品種や産地、収穫年等によって変動し、一定ではない。また、無機元素を中心とした成分含有量の変動を指標に、産地の推定ができることも示されている⁴⁾。「日本食品標準成分表」では、複数の場所からサンプリングした試料を測定するほか、文献値なども参考にし、また利用上の便宜を図るため原則一つの標準的な成分値を決定し、それを記載しており⁵⁾、記載されている成分値それぞれの背後には様々な要因により変動している分析値、文献値等がある。

本報告では、「日本食品標準成分表と含有量が異なったのはなぜか」との質問に対する情報の一つとして、「こめ [水稲穀粒]」に含まれるナトリウム (以下、Na) 含有量が高いケースに着目した。

農産物において、カドミウム (以下、Cd) や鉛 (以下、Pb) などの有害元素の含有量は、通常は ppt ($\mu\text{g}/\text{kg}$) と極めて微量なレベルのため、コメに通常の10倍、100倍の濃度が検出されるような場合でも、イネに明らかでない外見上の生育障害や収量低下は認められない。一方、Na は植物にとっては必須元素ではなく⁶⁾、この点においては Cd、Pb のような有害元素と同じであるが、イネは比較的耐塩性の低い作物で、塩害が出やすい⁷⁾。このため、「五訂増補日本食品標準成分表」の「こめ [水稲穀粒]」(以下、コメ) の「玄米」、「精白米」ともに、可食部100g あたりの成分値が 1 mg と記載されている Na は、換算すれば、通常で 10 ppm (mg/kg) レベルが含まれることになり、有害元素のように、何桁も高い濃度のコメが収穫されるかどうかは疑問の残るところである。

また、一般に調理損耗といわれる、加工調理過程での各種の成分含有量の減少が知られているが、Na は水道水など加工調理に使用する水にも数 ppm ~ 数十 ppm (mg/L) 含まれ⁸⁾、こうした水で炊いた炊飯米では、用いられた精白米より Na 含量が高くなり⁹⁾、また加工食品では味付けや保存のために食塩が使用されることから、原材料より加工調理後の Na 含量が高いことが多い。初めての試料や、由来がよくわからない食品では、分析目的の元素以外の無機元素も測定し、分析目的元素の測定に影響する多量の共存元素の有無を把握するようにしているが、このとき多量の Na が含まれることは、食品の場合珍しくない。このため、コメに多量の Na が含まれる場合には、その Na がす

べてコメそのものに由来するのではなく、何らかの Na を含むもので処理をしたのではないかとの疑問も生じる。

収穫後に加工処理をしなくとも、コメに高濃度の Na が含まれるとすれば、原因は塩分の高い水田で生育したケース、すなわち塩害が起こる地域において生産されたことが考えられる。塩害のメカニズムの解明のための研究は、生育初期を中心に根や茎葉を対象として行われているものの、収穫までに時間のかかる穀粒のコメについては、塩ストレスによりイネが確実に生育しないこともあり、塩ストレス下で栽培されたイネから収穫されたコメ中の Na をはじめとした成分含有量までが研究対象になることは稀である¹⁰⁾。しかし (独) 国際農林水産業研究センターにおいて、ともにイネの穂ばらみ期に最も感受性が高くなる、塩ストレスと低温ストレスの関係を明らかにする研究が行われ、その一環として、耐冷性の程度が明らかな品種・系統を中心に、穂ばらみ期に塩ストレス条件下で水耕栽培され、収穫された玄米の無機元素を食品総合研究所で分析する機会があった。そこで本報告では、このときの未発表データを国際農林水産業研究センターより提供いただき、塩ストレスにより Na 含量が高いコメが生産される可能性を検証した。

実験材料及び方法

1. 試料

耐塩性が高いことで知られるスリランカのインディカ米「Pokkali」と、塩ストレス処理区および無処理区それぞれでコメが収穫できた24品種・系統、計25種類の玄米を試料とした。インディカ米は「Pokkali」と、国際稲研究所 (IRRI) で育成された「IR28」および中国原産の「Ajjiao nante」の計3種類であり、そのほかの中国原産15種類および日本原産の7種類はジャポニカ米である。複数個の穴が貫通した厚さ20mmの発泡スチロール板に、片面ナイロンメッシュを貼った育苗容器を脱イオン水に浮かべ、各穴に種籾を1粒ずつ入れて脱イオン水に浸し発芽させた。発芽後の苗は、一週ごとに、脱イオン水、吉田氏水耕液¹¹⁾ (pH5.8) の1/4倍、1/2倍、1倍と希釈率を順次替え、以降収穫まで吉田氏1倍液を用いて栽培した。塩ストレス処理区では、穂ばらみ期から収穫に至るまでの間、塩化ナトリウム (以下、NaCl) を加えて電気伝導度が6dS/mになるように調整した水耕液 (約60mmol/LのNaCl溶液に相当) で栽培した。収穫された処理区と無処理

区の玄米については、Naをはじめとした無機元素の分析のため、1品種・系統につき16~114粒を入手した。各玄米試料は、全量を2等分して水分を測定後、2等分したそれぞれを1点として、2点併行による無機元素分析に供した。

2. 水分の測定

常圧135 20時間の通風加熱乾燥法により、乾燥減量分を玄米試料の水分とした¹²⁾。この水分値をもとに、無機元素含有量は、「五訂増補日本食品標準成分表」に収載の「玄米」の水分値と同じ15.5%の時の値に換算して示した。

3. 無機元素含有量の分析

ホウケイ酸ガラス製のコニカルビーカーを使用する一般的な開放系の湿式分解法¹³⁾を一部変更し、Naが溶出するガラス製品をすべてテフロン製やプラスチック製に替えた。また、分析に使用できる試料が少量であることや、操作ブランクを抑えるため、分解に使用する酸などは相応にスケールダウンして測定用試料溶液を調製した。すなわち、容量50mLのテフロンPFA製ヒータブルビーカーに水分値を測定後のコメを移し、60%硝酸（原子吸光分析用、和光純薬製）5mLを加え、テフロンPTFE製時計皿をかぶせて、ホットプレートにより、最初に100 で加熱した。激しく泡立つ反応がおさまったら、ホットプレートから降ろして、60%過塩素酸（原子吸光分析用、和光純薬製）1mLを加え、加熱温度を150 に上げて分解を続けた。硝酸がなくなる際に液が褐色になり始めたら、ホットプレートから降ろし、硝酸1mLを加えて分解を続けた。液が褐色にならず、透明あるいは淡黄色になったら、時計皿をはずして乾固寸前まで濃縮した。残留物を1%塩酸（和光純薬製、精密分析用20%塩酸を20倍に希釈したもの）で加温溶解して、容量50mLのポリメチルペンテン（PMP）製の全量フラスコに洗い込み、50mL定容として測定用試料溶液を調製した。なお、試料量の少ない一部のコメは、30mL定容とした。

調製した試料溶液の測定には、測光方向がラジアル型の誘導結合プラズマ発光分析装置（ICP-AES）、Leeman Lab社製JICP-PS3000UVを用いた。測定した元素と用いた波長は、Na：589.582nm、カリウム（以下、K）：766.490nm、カルシウム（以下、Ca）：393.366nm、マグネシウム（以下、Mg）：279.533nm、リン（以下、P）：214.910nm、鉄（以下、Fe）：238.204nm、亜鉛（以下、Zn）：213.856nm、銅（以下、Cu）：324.754

nmおよびマンガン（以下、Mn）：257.610nmである。プラズマ条件は、RFパワー1.0kw、プラズマガスは13L/min、補助ガスなし、ネブライザーガス圧40psiである。検量線の作成には、関東化学製の原子吸光測定用標準液を適宜希釈して用いた。

なお、試料溶液調製等に用いた水はミリポア製 Milli-RO および Super-Q システムを順次通過したものをを用いた。

実験結果

表1に、無処理区の水耕栽培において収穫された玄米の無機元素含有量等を示す。「五訂増補日本食品標準成分表」に収載の玄米の無機質と比較すると、水耕栽培による玄米の平均は、Na、K、Ca、Mg、P、Zn、Cuが高く、中でもZnとCuは2倍以上高い値となった。一方、FeとMnは「五訂増補日本食品標準成分表」に収載の成分値より低くなった。

表2に、穂ばらみ期に塩ストレス処理が行われた玄米の無機元素含有量等を示す。また、表3にはこれらの処理区/無処理区の比を示す。品種・系統によって大きな違いが認められるが、穂ばらみ期の塩ストレス処理により、玄米のNa含量は無処理区の1倍~234倍となった。1粒の重量を比較すると、無処理区の0.68~0.98と、塩ストレス処理区ではいずれも1粒あたりの玄米重量が減少していた。また、処理区/無処理区の粒重比が小さいほどNa含量比は大きい傾向があり（図1）、25品種・系統で $r = -0.567$ 、Na含有比が234と大きく離れた1種類を除く24品種・系統では -0.625 と、いずれも有意な相関（ $p < 0.05$ ）が認められた。ほかの無機元素のコメ中含含有量については、元素によっても、品種・系統によっても異なり、塩ストレスによる吸収障害があったと推察されるものと、逆にコメ中の含有量が増えたものの両者が認められた。無機元素ごとに平均すると、処理区ではFe、Cu、Zn含量が10%以上の減少、KとMn含量が10%を越える増加、ほかは無処理区と大きく変わらない値となった。

考 察

塩ストレス処理における1粒あたりの平均重量（粒重）の減少度合から、「トドロキワセ」など一部を除いて、生育障害が認められる塩ストレス条件であった

表1. 水耕栽培（無処理区）で収穫された玄米の無機元素含有量等*

試料名	入手	粒重**	Na	K	Ca	Mg	P	Fe	Zn	Cu	Mn
	粒計	mg									
mg (100g あたり)											
Pokkali	30	27.7	1.1	297	10.1	126	321	1.2	4.4	0.73	1.14
IR 28	26	17.5	0.8	359	11.6	185	422	2.0	6.5	1.09	1.28
Aijiao nante	25	25.5	1.2	364	8.7	152	363	1.5	2.7	1.02	1.14
He 16	28	23.0	1.2	343	8.9	145	376	1.8	5.4	1.25	0.79
Banjiemang	31	21.0	1.7	323	9.3	165	414	2.1	5.5	1.64	0.86
Jinning 78-102	29	35.3	1.2	315	8.1	126	330	1.4	3.8	0.83	1.19
Lijing 2	16	23.9	0.4	355	11.3	157	380	2.0	5.6	0.94	1.79
Zhaotong maxiang	27	20.1	0.8	312	11.2	159	398	2.0	5.6	1.38	0.90
Kunming 217	26	31.1	1.4	338	7.9	139	340	1.6	4.2	0.78	1.19
Yunleng 25	25	24.4	2.1	374	11.7	150	387	1.7	4.9	1.00	1.41
Yunjing 79-635	35	24.0	1.5	311	8.3	124	295	1.2	3.8	0.74	1.29
Hexi 15	38	24.9	2.3	313	10.1	127	337	1.6	4.3	0.79	1.51
Yunxi 37	30	27.1	2.5	367	10.6	126	340	1.5	4.6	0.79	1.59
Dianjing 8	32	20.8	1.5	341	9.3	114	283	1.1	3.6	0.58	1.14
Kunming xiaobaigu	34	23.3	0.6	338	12.2	153	383	1.7	5.2	1.39	1.00
Kunjing 4	36	29.6	2.1	332	9.3	130	328	1.7	4.8	0.75	1.68
Hexi 24	29	25.3	0.7	324	10.4	166	432	2.1	6.1	1.26	2.32
Chongtui	33	28.1	1.6	377	11.2	149	409	1.9	7.5	1.22	1.14
トドロキワセ	32	22.4	1.3	323	9.9	161	403	1.9	5.6	1.32	1.97
フジミノリ	40	24.0	1.0	342	9.5	154	357	1.7	4.7	1.26	1.81
ヨネシロ	27	25.7	1.5	312	8.3	167	383	1.7	5.0	1.38	1.71
ヒデコモチ	43	24.5	1.6	418	11.7	154	360	1.5	4.4	1.45	1.62
日本晴	24	20.4	0.9	402	11.5	175	420	2.3	5.3	1.49	1.63
染分	38	26.4	1.3	311	9.4	144	376	2.0	5.8	1.36	1.41
ひとめぼれ	38	21.9	1.7	326	8.5	142	321	1.6	4.3	0.95	1.26
平均	31	24.7	1.4	341	10	148	366	1.7	4.9	1.10	1.39
最大値	43	35.3	2.5	418	12	185	432	2.3	7.5	1.64	2.32
最小値	16	17.5	0.4	297	8	114	283	1.1	2.7	0.58	0.79
中央値	30	24.4	1.3	338	10	150	376	1.7	4.9	1.09	1.29
五訂増補日本食品標準成分表（参考）			1	230	9	110	290	2.1	1.8	0.27	2.05

* 粒重，無機元素含有量とも，五訂増補日本食品標準成分表に収載の玄米の水分値15.5%に換算

** 1粒あたりの平均値

表2. 穂ばらみ期に塩ストレス処理が行われた玄米の無機元素含有量等*

試料名	入手	粒重**	Na	K	Ca	Mg	P	Fe	Zn	Cu	Mn
	粒計	mg									
mg (100g あたり)											
Pokkali	70	24.7	1.1	260	6.7	113	296	0.9	3.5	0.44	1.17
IR 28	99	15.7	21.3	319	11.4	139	351	1.4	4.0	0.56	1.42
Aijiao nante	91	17.6	65.7	429	8.3	145	421	1.1	3.0	0.73	1.11
He 16	59	17.5	96.2	424	12.3	159	419	1.6	5.7	0.93	2.43
Banjiemang	54	19.5	4.8	375	7.4	162	412	1.8	5.5	0.91	1.62
Jinning 78-102	69	28.5	79.5	388	9.8	133	372	1.1	3.4	0.61	1.30
Lijing 2	40	17.4	91.8	396	9.8	147	412	1.8	5.4	0.84	1.67
Zhaotong maxiang	64	18.0	1.0	377	10.3	165	412	2.3	5.6	0.92	1.91
Kunming 217	37	23.9	38.2	415	10.4	160	392	1.8	5.9	0.96	1.91
Yunleng 25	53	16.6	104.2	427	10.8	159	437	1.5	4.9	0.95	1.86
Yunjing 79-635	68	20.6	51.9	369	9.5	126	347	1.1	3.1	0.64	1.07
Hexi 15	101	21.4	65.8	345	11.6	137	378	1.5	3.5	0.69	1.39
Yunxi 37	80	24.9	44.0	382	16.3	129	359	1.4	3.5	0.60	1.25
Dianjing 8	50	18.4	21.2	430	11.1	145	400	1.5	4.5	0.67	1.38
Kunming xiaobaigu	57	18.6	69.0	387	10.3	148	377	1.1	4.5	0.81	1.68
Kunjing 4	52	23.7	44.3	382	9.9	126	333	1.5	3.9	0.72	1.77
Hexi 24	114	22.2	7.2	346	12.1	148	405	2.1	5.0	1.23	2.63
Chongtui	52	21.5	53.0	419	11.9	137	447	1.8	3.6	0.71	1.33
トドロキワセ	62	22.0	2.2	319	10.0	149	391	2.0	4.2	1.19	2.38
フジミノリ	70	19.2	48.6	350	9.3	128	362	1.3	2.9	0.71	1.67
ヨネシロ	73	21.7	33.2	340	9.2	139	367	1.4	3.3	0.84	1.76
ヒデコモチ	53	18.5	57.2	412	11.2	157	392	1.8	3.6	1.10	1.96
日本晴	37	16.4	63.9	399	11.0	148	391	1.6	3.5	0.93	1.69
染分	54	22.0	9.3	340	9.5	126	351	1.4	5.8	0.96	1.61
ひとめぼれ	69	19.2	9.6	312	8.8	131	338	1.4	3.3	0.69	1.51
平均	65	20.4	43.4	374	10	142	382	1.5	4.2	0.81	1.66
最大値	114	28.5	104.2	430	16	165	447	2.3	5.9	1.23	2.63
最小値	37	15.7	1.0	260	7	113	296	0.9	2.9	0.44	1.07
中央値	62	19.5	44.3	382	10	145	391	1.5	3.9	0.81	1.67

* 粒重，無機元素含有量とも，五訂増補日本食品標準成分表に収載の玄米の水分値15.5%に換算

** 1粒あたりの平均値

表3．穂ばらみ期における塩ストレス処理の玄米へ及ぼす影響 [処理区 / 無処理区]

試料名	粒重	Na	K	Ca	Mg	P	Fe	Zn	Cu	Mn
Pokkali	0.89	1.0	0.88	0.66	0.90	0.92	0.73	0.79	0.60	1.02
IR 28	0.90	25.5	0.89	0.98	0.75	0.83	0.71	0.61	0.51	1.10
Aijiao nante	0.69	54.7	1.18	0.95	0.95	1.16	0.74	1.08	0.71	0.98
He 16	0.76	79.1	1.23	1.39	1.10	1.12	0.90	1.04	0.74	3.06
Banjiemang	0.93	2.8	1.16	0.79	0.98	0.99	0.83	1.00	0.56	1.88
Jinning 78-102	0.81	66.0	1.23	1.22	1.05	1.13	0.79	0.91	0.73	1.09
Lijing 2	0.73	233.6	1.11	0.86	0.94	1.09	0.94	0.97	0.89	0.93
Zhaotong maxiang	0.90	1.3	1.21	0.92	1.04	1.04	1.15	0.99	0.67	2.12
Kunming 217	0.77	28.2	1.23	1.33	1.15	1.15	1.12	1.41	1.23	1.61
Yunleng 25	0.68	50.4	1.14	0.92	1.06	1.13	0.88	1.00	0.95	1.32
Yunjing 79-635	0.86	33.5	1.19	1.14	1.02	1.18	0.89	0.82	0.87	0.83
Hexi 15	0.86	29.2	1.10	1.16	1.08	1.12	0.93	0.81	0.87	0.92
Yunxi 37	0.92	17.5	1.04	1.53	1.02	1.05	0.94	0.77	0.76	0.79
Dianjing 8	0.88	14.3	1.26	1.19	1.28	1.42	1.28	1.24	1.15	1.21
Kunming xiaobaigu	0.80	111.9	1.14	0.85	0.97	0.98	0.64	0.87	0.59	1.68
Kunjing 4	0.80	20.7	1.15	1.06	0.97	1.02	0.89	0.81	0.96	1.06
Hexi 24	0.88	9.8	1.07	1.16	0.89	0.94	1.00	0.82	0.98	1.13
Chongtui	0.76	33.2	1.11	1.06	0.92	1.09	0.94	0.47	0.58	1.16
トドロキワセ	0.98	1.7	0.99	1.01	0.92	0.97	1.05	0.74	0.90	1.21
フジミノリ	0.80	47.9	1.02	0.97	0.83	1.02	0.79	0.63	0.56	0.92
ヨネシロ	0.84	22.1	1.09	1.11	0.83	0.96	0.80	0.65	0.61	1.03
ヒデコモチ	0.76	35.2	0.99	0.96	1.02	1.09	1.18	0.83	0.76	1.21
日本晴	0.80	73.8	0.99	0.95	0.84	0.93	0.71	0.65	0.63	1.04
染分	0.83	7.3	1.09	1.01	0.88	0.93	0.69	1.00	0.70	1.14
ひとめぼれ	0.88	5.6	0.96	1.03	0.92	1.06	0.90	0.77	0.72	1.19
平均	0.83	40.3	1.10	1.05	0.97	1.05	0.90	0.87	0.77	1.27
最大値	0.98	233.6	1.26	1.53	1.28	1.42	1.28	1.41	1.23	3.06
最小値	0.68	1.0	0.88	0.66	0.75	0.83	0.64	0.47	0.51	0.79
中央値	0.83	28.2	1.11	1.01	0.97	1.05	0.89	0.82	0.73	1.13

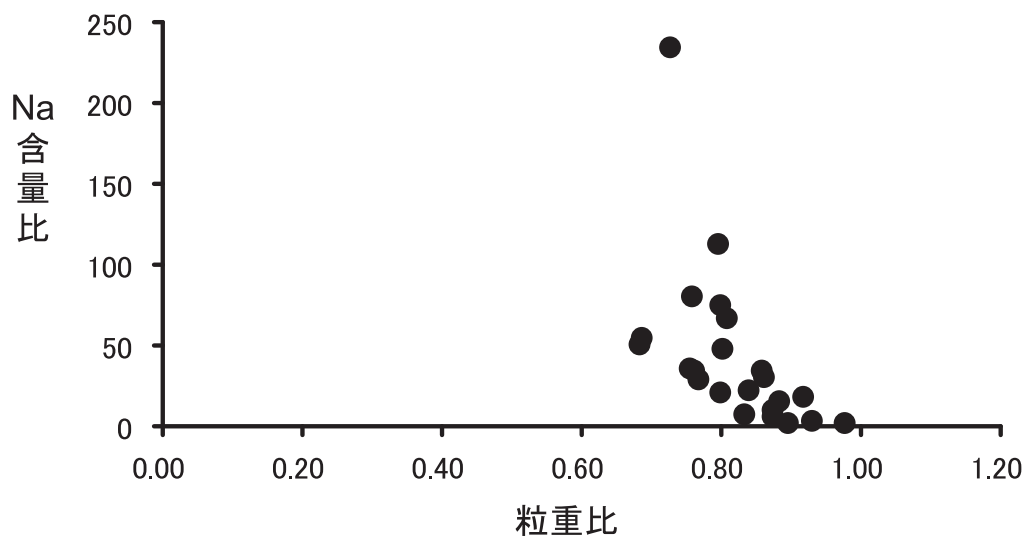


図1．粒重比と Na 含量比 [処理区 / 無処理区] の関係

と推察される。しかし、少なくともコメが収穫できる範囲の塩ストレス処理で、玄米の Na 含量は、高耐塩性の品種「Pokkali」では無処理区と同じであったが、高いものでは「Lijing 2」のように234倍までにもなることが明らかとなった。

耐塩性品種は、感受性品種に比較して、地上部における Na 含量が抑えられていることから、根における

Na イオン排除能が耐塩性の品種間差に大きく寄与していると考えられている¹⁴⁾。生育障害が起こりやすい塩に感受性が高い品種・系統では、塩ストレス下の登熟により粒重が小さくなるとともに、地上部の茎葉ばかりでなくコメの Na 含量も高くなるため、図1のように、処理区 / 無処理区の粒重比が小さい品種・系統で、Na 含量比が大きい傾向になったと考えられる。

今回の試料は、ともに穂ばらみ期に最も感受性が高くなる塩ストレスと低温ストレスの関係性を調べる研究の中で得られた玄米を用いているので、供試されたのは耐冷性の程度の明らかな中国原産の品種・系統が中心であった。しかし、今回の結果を見る限りでは、インディカ米がジャポニカ米であるかにかかわらず、また中国原産か日本原産であるかにかかわらず、コメのNa含量は品種・系統により大きな変動が認められた。よって、水田の塩濃度が何らかの原因によって通常より高ければ、品種・系統によって、「日本食品標準成分表」に収載の可食部100gあたりのNa含量1mgより10倍高いコメが国内で収穫される可能性も十分ありうると判断される。

ほかの無機元素のコメ中含量についても、品種・系統によって塩ストレスの影響は異なったが、無機元素ごとに平均すると、処理区ではFe, Cu, Zn含量が10%以上の減少, KとMn含量が10%を越える増加, ほかは無処理区と大きく変わらなかった。本報告とは塩ストレスの程度や品種は異なるものの、基本培養液に50meq/LのNaClを加えて試験をした品種「朝日」の穂におけるNa, P, K, Ca, Mg, MnおよびFeの乾物あたりの含有率では、対照区の0.07%から処理区の0.40%への増加があったNa以外の元素については、あまり大きな変動は認められないとの報告¹⁵⁾と、今回の結果は全体としては類似している。なお、穂とイネの根および茎・葉のNa含有率を比較すると、上述の「朝日」を用いた研究では、対照区とNaCl処理区について、根ではそれぞれ0.19%と1.26%、茎・葉では0.19%と1.75%であり、NaCl処理した試料のNa含有率の増加割合が、根および茎・葉はともに穂と比較して高いものとなっている¹⁵⁾。

北海道から九州までの慣行栽培で得られた国産米14品種の無機元素を筆者らが分析した結果では、玄米に含まれるNaは乾重量あたりで8.0~41.3mg/kg(水分15.5%の玄米の100gあたりに換算すると0.7mg~3.5mg)であり、平均は16.4mg/kg、標準偏差10.2mg/kg、相対標準偏差62.2%であった⁹⁾。K, Ca, Mg, P, Fe, Cu, ZnおよびMnについて、同様にこれら14品種の無機元素含有量の相対標準偏差を算出すると、それぞれ9.3, 17.6, 8.7, 8.8, 18.1, 20.0, 17.2および30.8%であった。また、国内の27産地34点のコシヒカリ玄米の無機元素組成を分析した結果では、Naは測定されていないが、K, Ca, Mg, P, Fe, Cu, ZnおよびMnでは、相対標準偏差がそれぞれ6.2, 10.1, 6.5, 6.0, 13.2, 35.6, 11.2および19.4%であった⁴⁾。これらの

結果から、Naは産地による変動が大きい無機元素と言える。植物では、水素(H)、炭素(C)、酸素(O)、窒素(N)、K, Ca, Mg, P, イオウ(S)、モリブデン(Mo)、Cu, Zn, Mn, Fe、ホウ素(B)および塩素(Cl)の計16元素が必須である⁶⁾。すなわち、K, Ca, Mg, P, Fe, Cu, ZnおよびMnは、植物にとっての必須元素であり、生理学的に濃度を一定の範囲に保つ調節機能が働くとは推定されるのに対し、Na含量の変動が大きいのは、有害元素等と同様に非必須元素であるためと考えられる。

実際の水田で塩ストレスがかかる状況としては、地形的に海水が侵入する沿岸性のもの¹⁶⁾、および台風や強風による潮風害¹⁷⁾がある。今回は穂ばらみ期に塩ストレス処理を行った水耕栽培によるイネから収穫されたコメのNa含量を分析したが、こうした塩害の起こる地域では、同様に穂ばらみ期に塩ストレスがかかることがあり得る。また、冠潮田では除塩が必要とされるケースもあることから¹⁸⁾、時期によらず潜在的に塩ストレスがかかる水田で、Na含量の高いコメが生産されることも想定される。

加えて、「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律(食品リサイクル法)」が平成13年5月より施行されており、食品循環資源の飼料や堆肥への再生利用促進のため、食品関連事業者に対し、業種別に目標が設定されている。食品には食塩が含まれるため、食品の処理物の堆肥の施用で、Naの土壌への集積が懸念されることがあり、生ごみを処理した堆肥のNa含有率や、それが作物生育に影響を与える可能性について検討がなされており、2%程度(NaCl換算で5%)までならば利用可能と報告されている¹⁹⁾。日本の水田では、乾燥地帯の畑作のような急激な塩の集積は起こらず¹⁴⁾、またこうした堆肥の有効利用による生育障害はまずないと考えられるが、施肥の内容によっては通常より塩濃度が高くなり、これに伴ってコメのNa含量が高くなるケースもあると推察される。

なお、本研究ではNaを中心に、「五訂増補日本食品標準成分表」⁵⁾の無機質9元素を対象に分析したが、「日本食品標準成分表2010」²⁰⁾では、「日本人の食事摂取基準」で策定した栄養素²¹⁾にあわせ、無機質ではこれら9元素に加えて、ヨウ素(I)、セレン(Se)、クロム(Cr)、Moの4元素が追加される。27産地34試料の玄米の無機元素組成を調べた結果、CdやPbに限らず、セシウム(Cs)やニッケル(Ni)など極微量な元素では、その濃度分布は低濃度側に集中し、高濃度側に裾をひく形となり、相対標準偏差もそれぞれ

118% (Cd), 94% (Pb), 258% (Cs), 111% (Ni) と高かった⁴⁾。「日本食品標準成分表」に新たに追加される4元素についても、Moを除くと植物にとって必須性の確認されていない元素であり、また陸上の植物ではいずれも極微量で、含有量の変動が大きいと考えられる。

本研究で調べたコメに限らず、農産物の成分の含有量は、土壌、施肥、栽培法、天候などの環境条件の変化や、品種・系統の違いのような遺伝子の変異に影響されて変動する。本研究では、水耕栽培のイネにおける穂ばらみ期の塩ストレス処理により、収穫されたコメのNa含量が無処理区の1倍から234倍にもなったことから、塩ストレスがかかる環境条件に加えて品種・系統の塩ストレス感受性によっては、「日本食品標準成分表」に収載の成分値に比較して、Na含量がかなり高いコメが生産されることは十分あり得ることが示された。

要約

「日本食品標準成分表」に収載されている含有量と実際の分析値が異なる理由に関する問い合わせに答えを与える一つの情報となるよう、コメのNa含量が高いケースに着目し、穂ばらみ期に塩ストレス処理を与えて水耕栽培したイネから収穫した玄米のNa含量を無処理区と比較した。その結果、処理区の玄米のNa含量の増加の度合いは品種・系統によって差があり、無処理区の1倍から234倍となった。このことから、品種・系統によっては、イネが生育した環境条件で、「日本食品標準成分表」に収載の標準的な成分値に比較してNa含量がかなり高いコメが生産されることが十分あり得ることが示された。

謝辞

栽培試料および未発表データをご提供いただきました(独)国際農林水産業研究センターの飛田哲博士に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 「最新版食品分析法の妥当性確認ハンドブック」, 安井明美, 五十君静信, 後藤哲久, 丹野憲二, 湯川剛一郎編, (株式会社サイエンスフォーラム, 東京), pp i-ii (2010).
- 2) 橘田和美, 海老原光湖, 日野明寛, 一色賢司, 飯塚太由, 吉川礼次, 斉藤和夫, 牛尾房雄, 萩野周三, 井口正雄, 島村保洋, 金谷建一郎, 小川正, 森山達哉, 川本伸一, 組換え農作物の安全性評価のための食品成分データベースの作成, 日本食品化学学会誌, 12(1), 1-9 (2005).
- 3) 組換え農作物の安全性評価のための食品成分データベース, <http://afdb.dc.affrc.go.jp/afdb/index.asp> (2011年2月1日現在).
- 4) 安井明美, 進藤久美子, 玄米中の無機元素組成による産地判別, 分析化学, 49, 405-410 (2000).
- 5) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告, 平成17年1月24日, 「五訂増補日本食品標準成分表」, (独立行政法人国立印刷局, 東京), pp. 1-23 (2005).
- 6) 塚本崇志, 植物栄養編要素, 「新版土壌肥料用語事典第2版」, (社団法人農村漁村文化協会, 東京), pp. 102-107 (2010).
- 7) Maas, E. V. and Hoffman, G. J., Crop salt tolerance - current assessment. J. Irrig. Drain. Div. ASCE, **103**, 115-134 (1977).
- 8) 上脇雅代, 寺澤真実, 増田豊, 市販ミネラルウォーター製品, 水道水, 井戸水の無機成分組成, 日食工誌, 39, 432-438 (1992).
- 9) 進藤久美子, 安井明美, 「新形質米」の搗精および炊飯による無機元素および窒素含有量の変化(食品成分の加工・調理による変化, 第2報), 食品総合研究所研究報告, No. 60, 17-23 (1996).
- 10) 李成雲, 飛田哲, 八島茂夫, 林隆治, 柳原誠司, 豊島英親, 進藤久美子, 大坪研一, 安井明美, 伊勢一男, 穂ばらみ期におけるイネの耐塩性と玄米の品質に及ぼす塩ストレスの影響, 育種学雑誌, 48 (別冊2号), 253 (1998).
- 11) Yoshida S., Forno D. A., Cork J. H. and Gomez K. A., Laboratory manual for physiological studies of rice, 3rd ed., (The International Rice Research Institute. Los Banos, The Philippines), pp. 61-66 (1976).
- 12) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会食品成分委員会資料, 平成16年2月, 「五訂増補日本食品標準成分表分析マニュアル」, (独立行政法人国立印刷局, 東京), pp. 1-2 (2005).
- 13) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会食品成分委員会資料, 平成16年2月「五訂増補日本食品標準成分表分析マニュアル」, (独立行政法人国立印刷局, 東京), pp. 39 (2005).

- 14) 飛田哲, 庄野真理子, 稲における耐塩性研究の現状, 農林水産技術研究ジャーナル, 20(12), 29-34 (1997).
- 15) 下瀬昇, 作物の塩害生理に関する研究(第5報) 水稻の塩害とカリウム欠乏, カルシウム欠乏の関係, 日本土壌肥科学雑誌, 35, 148-151 (1964).
- 16) 池橋宏, 塩害地の実態, 「稲学大成第3巻遺伝編」, (社団法人農村漁村文化協会, 東京), pp 459-460 (1990).
- 17) 坪井八十二, 水稻の暴風被害に関する生態学的研究, 農業技術研究所報告, A 8, 1-156 (1961).
- 18) 知崎良雄, 宮崎公市, 伊達一郎, 伊藤俊雄, 冠潮被災地の水稻作における塩害の防除について II 灌漑による除塩の方法, 愛知県農業試験場彙報, 18, 201-213 (1963).
- 19) 竹本稔, 食品廃棄物の堆肥化とその農業利用に関する研究, 神奈川県農業技術センター研究報告, 148号, 1-121 (2006).
- 20) 文部科学省, 日本食品標準成分表等の改訂について(平成22年11月16日) http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/22/11/1299182.htm
- 21) 厚生労働省, 「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書, 平成21年5月, 「日本人の食事摂取基準(2010年版)」, pp 6.