

市販野菜中の元素分析

—山菜中元素濃度との比較—

伊藤じゅん¹⁾, 齋藤義弘¹⁾, ニツ川章二²⁾, 世良耕一郎³⁾

¹⁾ (社) 日本アイソトープ協会滝沢研究所
〒020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字留が森 348-58

²⁾ (社) 日本アイソトープ協会アイソトープ部
〒113-8941 東京都文京区本駒込 2-28-45

³⁾ 岩手医科大学サイクロトロンセンター
〒020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字留が森 348-58

1 はじめに

一般に野菜を摂取することは体によいとされ、種類によって成分含量に違いはあるが、いずれも栄養素の供給源として重要な役割を担っている。しかし昨今、農作物中のミネラルが不足し、野菜本来の味も失われつつあるという問題が指摘されている。管理された畑では、農作物が土壌中の栄養分を吸収するため、収穫を繰り返すにつれ畑の土壌中ミネラル分は不足する結果となる。化学肥料中に配合されているものは問題ないと思われるが、それ以外のミネラルに関しては失われた分を補給しないと土壌中濃度が減少し、結果として農作物中のミネラルも不足しそれが味や糖度、風味に影響を与える要因となる。しかし、土壌中にミネラル成分を補給し、自然の状態に戻してあげると農作物の収穫量・糖度などが改善されることが我々の参加した研究で明らかになっている。詳細については後日報告を行う予定である。

農作物中の有害元素に関しては、基準値を設けるなど徹底して管理されているため危険性は少ないと思われるが、全ての野菜が調べられているわけではない。個々の食品として考えると特定の有害元素を高濃度で蓄積しているような危険性は本当はないのか、確認する必要がある。

一方、管理された環境ではなく、自然環境に植物本来の姿で生育している植物は実や葉が落ち、それらが腐ってまた土に戻り、土に戻らない成分は雨水より補給される、といった循環で成り立っているため、必要な元素濃度は長期間平衡状態にあるものと思われる。また元素によっては植物体内中の大部分が土壌に由来すると言われ、生育過程、季節によって吸収速度が影響されるとの報告もある¹⁾。このことから植物中の元

素濃度は生育環境，主に土壌成分の影響を受けることが予想され，管理された土壌と農作物中の微量元素の関係，管理されない自然のままの土壌と山菜中微量元素の関係を調べることには，意味があると思われる。

本研究において必須元素および有害元素摂取の観点から，市販されている野菜 15 種類の元素濃度分析を行った。そのうち 1 種類は同種の天然ものと比較を行ったので，結果を報告する。

2 試料

2.1 採取

試料として，岩手県内で市販されている野菜 15 種類，ミネラル水を定期的に与えながら育てた野菜 1 種類（ねぎ），NMCC の敷地周辺で採取した山菜 1 種類（セリ）を用いた。野菜のリストを表 1 に示す。また白菜に関しては，農家の方に協力していただき野菜の他に生育土壌も採取した。山菜は市販品（SR-1）と同種のセリを，2005 年 5 月（春セリ：SR-2）と 12 月（冬セリ）に採取した。またセリは異なる 2 ヶ所の場所で採取された。1 ヶ所目はいくつかの湧水が合流して一つの流れを作っている本流の水辺（冬セリ 1：SR-3），2 ヶ所目は支流となる湧水の口であるが，量が少ないため溜まり口となっている水辺（冬セリ 2：SR-4）である。

表 1：市販野菜のリスト

Number and abbreviation	Name	Botanical name
1.YK	ゆき菜	<i>Brassica campestris</i>
2.MT	みつば	<i>Cryptotaenia japonica</i> Hassk
3.CG	ちんげん菜	<i>Brassica chinensis</i>
4.HK	白菜	<i>Brassica campestris</i> var. <i>amplexicaulis</i>
5.MZ	みず菜	<i>Brassica campestris</i> var. <i>laciniifolia</i>
6.CB	キャベツ	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>
7.OB	大葉	<i>Perilla frutescens</i> var. <i>crispa</i>
8.LT	レタス	<i>Lactuca sativa</i> L. var. <i>capiata</i>
9.SD	サラダ菜	<i>Lactuca sativa</i>
10.SR	セリ	<i>Oenanthe javanica</i>
11.DK	大根(葉)	<i>Raphanus sativus</i> var. <i>logipinnatus</i>
12.NG	ねぎ	<i>Allium fistulosum</i>
13.TM	トマト	<i>Lycopersicon esculentum</i>
14.PP	パプリカ	<i>Capsium annuum</i> cv.
15.MY	もやし	unknown

2.2 調製

試料は水道水で洗浄後，食用とされる部分およそ 3g を磁製の乳鉢に入れ，液体窒素を注ぎながら乳棒で擦り合わせた²⁾。この動作を数回繰り返し均一なパウダーになった試料を，乾熱滅菌器に入れ 105℃で約 15 時間乾燥させた。その後，(1)粉末直接法，(2)粉末内部標準法³⁾の 2 つの方法によりターゲットを作成した。(1)は内部標準元素を加えず粉末試料をコロジオン溶液でバックギングフィルム上に固定させる方法，(2)は内部標準元素として乾燥重量で約 10,000ppm のパラジウムカーボン粉末を加え，均一化する方法で，ターゲットはそれぞれ 2 枚ずつ，計 4 枚ずつ作成された。

3 測定および解析

測定はNMCCのPIXE分析システムを用いて行った。小型サイクロトロンからの2.9MeVの陽子ビームをターゲットに照射し、発生した特性X線を2台のSi(Li)検出器により同時に測定した⁴⁾。検出器1側には低エネルギーX線を吸収するために、植物試料と河川水試料に対しては500 μ m厚のMylar filmが吸収体として装着され、K以上の元素の測定が行われた。土壌試料に対しては、高濃度で存在する鉄のピークを減弱させ他の元素の感度をあげる目的で開発された特殊吸収体⁵⁾が用いられた。一方、検出器2側にはX線を吸収するための吸収体を装着せず、計数率を調整するためのX線コリメータを取り付け、Na~Caまでの元素の測定が行われた。2台の検出器の橋渡しは、植物試料に対してはKで、土壌試料に対してはFeで行い、得られたスペクトルは、データ解析プログラムSAPIX⁶⁾により解析された。

測定時間は一試料あたり約5分、平均ビーム電流は約100nAであった。まず、内部標準法によるターゲットからKを定量し、その値を無標準のターゲットから得たスペクトルの内部標準とみなして定量値を求めた。2つの方法によりターゲットを用意した理由は、パラジウムカーボン粉末中には、Fe・Cu・Znなどの不純物が不均一に存在するので、生物試料に対してはこれらの元素濃度を正確に定量することが困難であるためである。なおKはパラジウムカーボン粉末中に含まれていないことが確認されている。

4 結果および考察

図1に3種類のねぎの結果を示す。濃度値は内部標準を加えない2枚のターゲットの平均値として得られ、定量に用いたK濃度は、内部標準を加えた2枚のターゲットの平均値が用いられている。誤差棒は実験誤差を示し、低濃度の元素に対してはピークフィッティングに伴うものが大半を占め、その他、検出効率、吸収体の透過率に伴う誤差が考慮されている。図中NG-1は一般に市販されているねぎ、NG-2はミネラル水を補給しながら育てられたが品種としては市販品と同じねぎ、NG-3はミネラル水を定期的に与えながら育てられた下仁田ねぎである。下仁田ねぎは他の品種のものとは比べて太く味がよいため、ねぎの高級ブランドとして扱われている。この図より、ミネラル野菜(NG-2と-3)には市販のものと比較してK, Ca, Fe, Cu, Znといった体内に必要な元素が豊富に含まれていることが明らかになった。特にCa, Fe濃度に関しては約2倍の差が認められる。このことから、ミネラルを補給することにより自然の状態に近づけた畑で育った野菜は、化学肥料のみで育った野菜と比較してミネラル分が豊富であることが確認され、それが味の良さや風味にも反映されているものと思われる。ミネラルを与えた下仁田ねぎに関しては、市販野菜と比較してFe, Cu濃度に顕著な差は見られなかったが、Mg, Ca, Znといった必須元素が豊富に含まれており、全体としてミネラルリッチであることがわかった。

表2にNG-2に与えられたミネラル水(原液)をPIXEにより分析した結果を示す。この水はNG-3に散布した水とまったく同じではないが、その成分はほとんど同じものである。この水を5,000倍に希釈し、定期的に散布し野菜を栽培した。

図2に天然のセリ(SR-2,3)と市販のセリ(SR-1)の濃度を比較したものを表す。天然のセリは季節による濃縮度合の違いを見るため、春(5月:SR-2)と冬(12月:SR-3)の二つの時季に同じ場所で採取した。天然ものと市販ものを比較してCa, Cu, Znといった必須元素の濃度に顕著な差は見られなかったが、有害性も指摘されているCr, Pb濃度に関しては天然ものの方が高い値を示していることが明らかになった。これは市販野菜を栽培している畑では有害元素も管理されているが、自然の土壌はまったくコントロールされない環境であるため、生育する土壌に依存し有害元素濃度が高くなる場合もあると予想される。また、春に採取したもの(SR-2)と冬に同一場所で採取したもの(SR-3)を比較すると、後者のV, Fe濃度が一桁以上高い値であった。この理由としては、冬のセリは春から生き続けているものであることから、生育期間中特定の元素を濃縮し続ける性質があり、時と共に積分値として濃度が増大する可能性が考えられる。

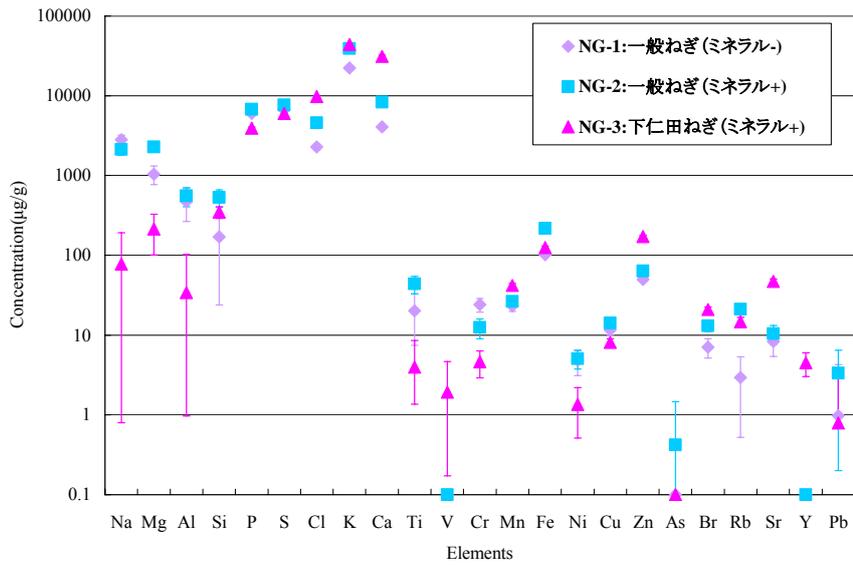


図1：3種類のねぎ中の元素濃度(乾燥重量)。誤差棒は実験誤差を示す。

表2：野菜に散布したミネラル水中(原液)の主要元素濃度

Element	Concentration($\mu\text{g/g}$)
Mg	195±6
S	1590±50
K	193±6
Ca	47.7±1.6
Fe	381±17
Cu	0.19±0.03
Zn	1.13±0.06

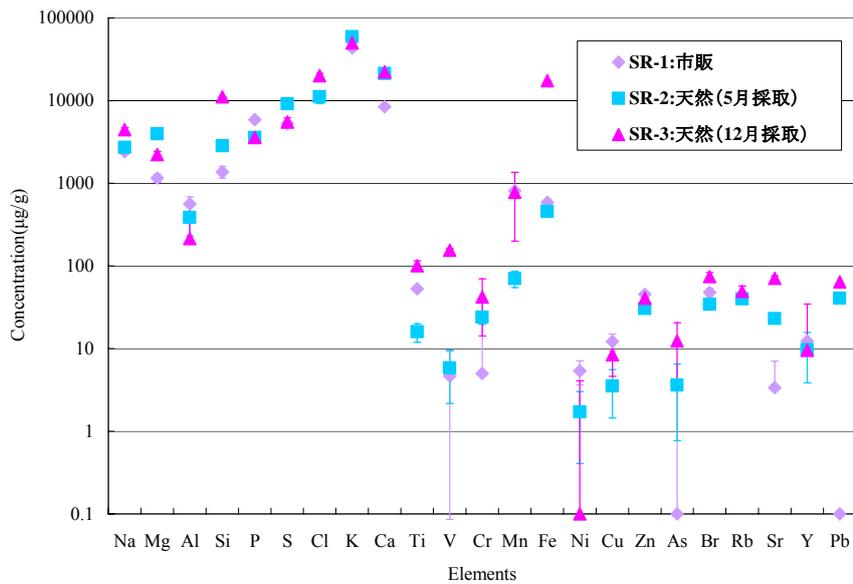


図2：3種類のセリ中の元素濃度(乾燥重量)と実験誤差

また表3に同時期(12月)に異なる2ヶ所で採取したセリの結果およびそれぞれの生育土壌、河川水濃度を示す。両者を比較すると本流において採取されたSR-3の方がAl, Si, Ca, V, Mn, Fe, Cuなどの濃度が高くなっていることが分かる。SR-3の結果を基準とし、SR-3, SR-4それぞれの生育環境である土壌および水の結果と照らし合わせると、土壌はAl, Si, Cu, Zn濃度が高く、河川水はV, Mn, Fe, Cu濃度が高くなっている。SR-3の特徴であるV, Fe濃度から、天然のセリは土壌よりも河川水中の成分を反映していると推測できる。天然セリの生育環境としては流れる水の中で生育しており、土壌は根が川に流されないようにつかまっているだけで、土からの栄養分吸収は少なく、大部分の元素は水から吸収されていることがこの結果から推測される。

表3：冬に採取されたセリおよび周辺の河川水、土壌中の元素濃度と実験誤差 (NDは未検出)

	plants (μ g/g)		soil (μ g/g)		water (ng/g)	
	SR-3	SR-4	SR-3	SR-4	SR-3	SR-4
Na	4430±410	1510±260	6520±460	6670±420	1130±280	2680±200
Mg	2220±280	1950±190	13600±570	11900±500	2240±210	4880±200
Al	216±210	ND	108000±3400	51000±1700	ND	ND
Si	11100±390	7320±260	210000±6600	118000±3800	15300±530	22600±710
P	3600±180	3650±160	ND	ND	ND	ND
S	5510±240	4340±180	660±98	348±90	1150±92	1930±80
Cl	20000±700	12700±460	1050±120	1690±130	3790±170	5090±180
K	50300±1600	44100±1400	2350±160	663±120	3450±180	4300±160
Ca	22200±770	14200±490	40200±1300	35900±1200	24000±830	30700±970
Ti	101±19	10±13	4980±220	3380±180	13±17	3.2±8.0
V	155±15	0.5±3.4	ND	ND	30.5±8.0	14.5±4.0
Cr	42.0±7.5	10.9±4.6	302±95	302±79	4.2±5.0	6.4±2.0
Mn	778±28	26.9±3.4	1100±190	1000±160	30.5±8.0	14.5±4.0
Fe	17500±580	142±6	92500±3000	72000±2400	33.3±3.0	17.9±2.0
Ni	ND	0.27±0.75	ND	ND	4.8±2.0	ND
Cu	8.4±4.0	3.6±1.8	38±10	7.1±4.8	5.1±2.0	2.3±1.0
Zn	40.7±3.8	34.9±2.5	83±10	23.6±3.9	9.2±2.0	9.0±1.0
As	ND	ND	ND	ND	ND	2.0±1.0
Br	74.4±8.2	46.3±4.1	27.8±5.6	8.3±2.4	22.6±4.0	28.0±2.0
Rb	49.1±9.1	35.6±5.2	12.7±6.6	3.8±2.4	ND	4.2±2.0
Sr	70.9±8.3	33.5±5.1	203±16	61.8±6.0	59.0±8.0	53.4±5.0
Y	9.6±4.9	4.8±3.2	18.0±6.5	ND	ND	ND
Pb	93±25	ND	56.8±7.9	1.9±7.3	1.6±4.0	8.5±3.0

表4に、異なる2ヶ所で栽培された白菜中の元素濃度とそれぞれの畑の土壌中濃度を比較したものを表す。farm-1はNMCC周辺であり、farm-2は約15km北方に位置している。Ca, Fe, Cu, Znの4つの必須元素に注目すると、1の畑の方が4元素とも高い値を示しているが、野菜で比較するとFe, Zn濃度はfarm-1の方が高く、Ca濃度は2の方が高い値を示した。Cu濃度は両者ともほぼ同程度であった。一方、有害性の指摘されるCr, Mn, Pbの3元素に注目すると、farm-1の土壌はCr, Mn濃度が高く、farm-2はPb濃度が高かった。野菜を比較すると土壌中元素濃度と同様の結果を示した。これらの結果より、野菜は元素によっては土壌中の成分の影響を受けるが、すべてを反映するわけではなく雨水や散布水、肥料等の影響も受けているということが示唆された。

表 4 : 二つの畑で収穫した白菜および土壌中の元素濃度と実験誤差

	vegetable (μ g/g)		soil (μ g/g)	
	farm-1	farm-2	farm-1	farm-2
Na	1600±280	1060±360	7910±470	8240±500
Mg	1050±200	1320±260	8010±420	2610±360
Al	216±200	326±200	116000±3700	126000±4100
Si	8±51	ND	220000±6900	233000±7500
P	6530±250	7760±300	1940±200	1750±210
S	10900±370	7710±300	1480±120	1420±130
Cl	10800±420	8190±370	401±130	1300±160
K	85000±2600	76200±2400	1710±140	5640±250
Ca	19200±640	29200±980	47400±1500	21300±740
Ti	29.5±14	20±13	5540±230	5870±260
V	1.0±3.6	ND	ND	ND
Cr	6.0±4.6	0.7±5.2	407±87	217±91
Mn	32.7±4.1	29.9±4.8	1440±170	1230±190
Fe	158±7	121±6	99900±3200	83100±2800
Ni	1.2±1.8	1.3±1.2	ND	ND
Cu	4.5±2.2	4.5±1.6	77±12	45±11
Zn	98.6±4.7	40.9±2.8	123±11	88±11
As	ND	ND	16.0±5.2	10.7±5.9
Br	61.4±4.9	35.2±3.8	24.5±5.2	65.5±7.6
Rb	88.6±7.8	27.5±5.7	3.9±5.0	24.2±7.3
Sr	61.9±6.9	116±9	220±15	125±13
Y	14.0±4.1	6.0±3.4	14.9±6.2	34.0±8.2
Pb	4.5±1.5	ND	46.2±6.7	95±14

最後に、表 5 に 15 種類の野菜中元素濃度を示す。葉ものとそれ以外のもの(トマト、パプリカ、もやし)を比較すると、後者は Ca の含有量が少ないという特徴が見られた。また特にトマトが他とは少し違う挙動を示していることから、植物は葉や実などの部位により集積する元素にも違いが見られると思われる。また、比較のために生育環境は大きく異なるが同じ植物として藻類(わかめ、昆布)の結果を紹介すると、P は 1,000ppm 前後、K は 30,000ppm~70,000ppm、Cu は 5ppm 前後、Zn は 40ppm 前後となっている²⁾。P, K は市販野菜にも化学肥料として積極的に与えられているため同程度含まれている。また、Cu, Zn は海水中のミネラルを吸収している海産物よりも土壌中のミネラルを栄養分として育った市販野菜の方がより多く含まれていることが分かった。一方有害元素に関しては、Cr は海産物中の濃度が 4.5ppm 以下であったのに対し野菜中の濃度は明らかに高い値を示している。As に関しては、海産物中の濃度が 30ppm~60ppm であったのに対し、野菜中の濃度は 3ppm 以下であった。

Pb に関しては、野菜の可食部中の濃度は 1~2ppm であるという報告があり⁷⁾、今回の結果の多くがそれと一致する結果となったが、ミツバと大葉中 Pb 濃度は他の野菜の濃度と比較して一桁以上高い値を示した。しかしこれらは大量に摂取するものではなく、香り付けに少量使用される野菜であるため、人体への影響は特に問題にはならないと思われる。また白菜中の Pb 濃度が高いことも明らかとなったが、白菜は漬物やキムチ、鍋物など日本人にとってはなじみの深い野菜であり多量に摂取するため注意が必要である。しかし farm-2 の土壌中の Pb 濃度が高かったにも関わらず、farm-2 から収穫された白菜中からは Pb が検出されなかったことを考えると、白菜が Pb を濃縮すると結論付けることは難しいと思われる。1960 年代前半までは人体に対する鉛の脅威のうち食品(特に農作物)に由来する部分は少ないとされ、特に深刻な問題ではないと考えられていたが、その後交通量の増加等に伴い農作物中の Pb 濃度も増加していることも予想される。植物中の元素濃度は生育環境である水や土壌に強く影響を受けることが分かった。それゆえに有害元素の人体への影響という観点から、周辺の河川水や土壌の分析は重要である。

表 5-1 : 7 種類の野菜中元素濃度と実験誤差

	Concentration(μ g/g)						
	1.YK	2.MT	3.CG	4.HK	5.MZ	6.CB	7.OB
Mg	3470 \pm 170	3350 \pm 280	4620 \pm 310	3050 \pm 310	3710 \pm 290	726 \pm 150	2700 \pm 200
Al	172 \pm 100	361 \pm 240	228 \pm 200	1030 \pm 240	140 \pm 96	211 \pm 130	173 \pm 140
Si	220 \pm 82	46 \pm 73	20 \pm 88	127 \pm 190	ND	45 \pm 41	433 \pm 110
P	7560 \pm 250	14000 \pm 460	5700 \pm 230	13200 \pm 460	5640 \pm 230	3420 \pm 150	3750 \pm 160
S	6630 \pm 220	2740 \pm 160	9220 \pm 340	14600 \pm 500	5450 \pm 230	9940 \pm 340	2600 \pm 130
Cl	10600 \pm 340	6120 \pm 270	13700 \pm 470	7420 \pm 300	4860 \pm 280	2030 \pm 110	327 \pm 78
K	104000 \pm 3100	139000 \pm 4200	129000 \pm 4000	75400 \pm 2400	105000 \pm 320	43000 \pm 1400	51500 \pm 1600
Ca	16700 \pm 530	6740 \pm 290	42500 \pm 1400	27300 \pm 910	20300 \pm 680	9900 \pm 350	16800 \pm 570
Ti	18.2 \pm 8.1	29 \pm 14	35.0 \pm 8.8	22 \pm 19	4.60 \pm 7.7	52.7 \pm 11	12.0 \pm 6.0
V	ND	ND	ND	1.4 \pm 4.0	3.5 \pm 4.7	0.9 \pm 3.6	ND
Cr	7.3 \pm 2.7	13.4 \pm 5.4	10.8 \pm 5.5	6.0 \pm 5.9	8.5 \pm 6.0	6.9 \pm 3.5	12.9 \pm 4.2
Mn	37.1 \pm 2.8	120 \pm 7	51.3 \pm 5.4	39.9 \pm 5.3	22.6 \pm 4.4	21.4 \pm 3.2	239 \pm 10
Fe	209 \pm 7	260 \pm 11	149 \pm 7	155 \pm 7	80.8 \pm 4.7	69.1 \pm 3.8	228 \pm 9
Ni	2.7 \pm 1.3	ND	0.6 \pm 1.3	1.6 \pm 2.2	3.4 \pm 2.1	0.05 \pm 0.79	14.2 \pm 1.9
Cu	5.9 \pm 1.3	6.7 \pm 2.1	2.7 \pm 2.2	5.5 \pm 2.1	4.5 \pm 1.9	4.5 \pm 1.5	20.2 \pm 2.2
Zn	62.2 \pm 2.8	59.8 \pm 3.8	73.0 \pm 4.3	87.6 \pm 4.8	48.5 \pm 3.4	28.6 \pm 2.1	132 \pm 6
As	1.6 \pm 1.2	1.8 \pm 0.8	2.4 \pm 1.2	1.09 \pm 0.81	ND	ND	ND
Br	29.7 \pm 2.5	71.3 \pm 5.7	27.0 \pm 4.0	23.6 \pm 3.7	2.3 \pm 2.2	14.7 \pm 2.2	4.0 \pm 1.8
Rb	22.7 \pm 3.2	4.4 \pm 2.5	24.1 \pm 5.3	42.6 \pm 6.4	12.1 \pm 3.8	23.7 \pm 3.8	1.4 \pm 1.1
Sr	17.6 \pm 2.8	8.1 \pm 4.0	50.6 \pm 7.1	112 \pm 11	20.4 \pm 4.9	10.1 \pm 3.2	37.6 \pm 5.4
Y	8.0 \pm 2.3	1.1 \pm 2.0	4.6 \pm 3.9	10.5 \pm 4.5	2.0 \pm 3.3	9.5 \pm 3.3	3.0 \pm 1.5
Pb	5.3 \pm 4.7	13.9 \pm 5.2	1.7 \pm 4.4	7.0 \pm 3.3	0.1 \pm 2.9	2.6 \pm 1.4	20.2 \pm 2.6

表 5-2 : 8 種類の野菜中元素濃度と実験誤差

	Concentration(μ g/g)							
	8.LT	9.SD	10.SR	11.DK	12.NG	13.TM	14.PP	15.MY
Mg	1260 \pm 220	1990 \pm 220	1160 \pm 180	3720 \pm 670	1040 \pm 270	1540 \pm 140	786 \pm 230	1070 \pm 250
Al	143 \pm 170	353 \pm 170	563 \pm 130	317 \pm 500	476 \pm 210	213 \pm 110	377 \pm 180	558 \pm 200
Si	134 \pm 66	ND	1380 \pm 120	802 \pm 320	170 \pm 150	15 \pm 53	ND	548 \pm 140
P	5680 \pm 230	5510 \pm 220	5870 \pm 220	2290 \pm 310	6010 \pm 260	6580 \pm 220	3590 \pm 170	5520 \pm 230
S	2270 \pm 140	2980 \pm 160	5290 \pm 210	4570 \pm 320	6730 \pm 280	2420 \pm 110	1800 \pm 130	3980 \pm 180
Cl	5590 \pm 230	4490 \pm 260	11200 \pm 400	31600 \pm 1400	2290 \pm 190	3500 \pm 140	678 \pm 160	745 \pm 170
K	41800 \pm 1300	120000 \pm 3700	43500 \pm 1400	25700 \pm 1100	22200 \pm 870	70700 \pm 2200	37000 \pm 1200	20500 \pm 700
Ca	7880 \pm 300	12000 \pm 410	8470 \pm 300	47700 \pm 2300	4060 \pm 160	2350 \pm 110	1110 \pm 110	4720 \pm 220
Ti	41 \pm 15	10 \pm 14	53 \pm 12	37 \pm 33	20 \pm 13	39.1 \pm 9.2	14 \pm 16	38 \pm 16
V	4.0 \pm 3.6	3.3 \pm 4.4	4.7 \pm 3.8	ND	ND	ND	ND	4.2 \pm 9.1
Cr	4.4 \pm 5.7	57.5 \pm 6.3	5.0 \pm 4.6	6.4 \pm 4.5	24.2 \pm 4.7	8.1 \pm 3.1	5.9 \pm 6.0	6.4 \pm 5.2
Mn	78.2 \pm 5.6	201 \pm 9	1080 \pm 36	8.2 \pm 7.8	23.4 \pm 3.6	26.5 \pm 2.8	28.4 \pm 4.5	26.0 \pm 4.2
Fe	157 \pm 7	476 \pm 16	589 \pm 20	147 \pm 11	102 \pm 5	101 \pm 4	99.5 \pm 5.4	115 \pm 6
Ni	0.7 \pm 0.8	2.9 \pm 2.1	5.4 \pm 2.1	1.6 \pm 1.5	4.8 \pm 1.7	2.6 \pm 1.2	5.0 \pm 2.0	5.6 \pm 1.9
Cu	5.4 \pm 1.7	4.0 \pm 1.9	12.2 \pm 1.7	7.2 \pm 4.0	11.6 \pm 1.7	9.7 \pm 1.4	4.4 \pm 1.6	20.9 \pm 2.6
Zn	84.1 \pm 4.6	52.7 \pm 3.4	45.3 \pm 2.8	29.4 \pm 4.2	49.9 \pm 2.9	41.0 \pm 2.2	46.9 \pm 3.3	52.5 \pm 3.5
As	0.9 \pm 1.1	0.9 \pm 1.0	ND	ND	ND	0.84 \pm 0.40	ND	1.3 \pm 1.6
Br	1.9 \pm 1.9	39.7 \pm 4.4	48.0 \pm 4.1	86.2 \pm 9.8	7.1 \pm 1.9	12.1 \pm 1.9	2.0 \pm 1.9	3.2 \pm 1.8
Rb	4.5 \pm 2.0	5.4 \pm 3.9	42.6 \pm 5.4	3.7 \pm 3.5	2.9 \pm 2.4	4.4 \pm 2.0	3.9 \pm 3.1	7.1 \pm 3.4
Sr	126 \pm 4	10.7 \pm 4.0	3.4 \pm 2.8	78 \pm 14	8.3 \pm 3.0	2.2 \pm 2.0	6.1 \pm 3.6	15.3 \pm 4.7
Y	ND	1.0 \pm 1.5	12.3 \pm 3.7	4.6 \pm 3.4	ND	3.0 \pm 2.1	2.6 \pm 2.2	4.9 \pm 2.0
Pb	0.8 \pm 2.4	0.7 \pm 2.4	ND	ND	1.0 \pm 3.3	0.4 \pm 1.4	2.82 \pm 0.99	5.0 \pm 2.1

5 まとめ

以上の実験や考察により得られた知見は、次のようにまとめられる。

1. 定期的にミネラル水を与えながら栽培した野菜中には、化学肥料と散布水のみで栽培した野菜と比較して、必須元素が豊富に含まれていることが確認された。特に下仁田ネギはCaやZnといった必須元素を豊富に含んでいることが明らかになった。
2. 天然の山菜中の元素濃度は、市販野菜と比較してCa, Cu, Znといった必須元素に関しては明確な差が見られなかったが、Cr, Pb等の有害性の指摘されている元素に関しては高いことが示された。
3. セリはその生育期間により特定の元素、特にV, Fe, Pbを濃縮する性質のあることが示唆された。また、V, Feの濃度は土壌よりも生育環境である水の影響を多く受けると思われる。
4. 野菜は、元素によって土壌だけでなく散布水や化学肥料の成分を反映することが示唆された。
5. 各々の野菜は特定の元素を蓄積する性質のあることが明らかになった。例えば、葉ものはCaを、またミツバと大葉はPbを濃縮することが明らかになった。
6. Pbに関しては、過去の報告どおり濃度はほとんどが2ppm以下であった。

謝辞

本研究を行うにあたり、日本アイソトープ協会茅記念滝沢研究所の角掛雅裕氏と岩手医科大学サイクロtronセンターの佐々木敏秋氏に野菜および土壌試料を提供していただきました。深く感謝致します。また、松本義雄氏と清水正行氏には、ミネラル水およびミネラル野菜を提供していただきました。この場を借りて厚くお礼申し上げます。

参考文献

1. “植物の金属元素含量に関するデータ集録”，独立行政法人農業環境技術研究所
2. J.Itoh, S.Futatsugawa, Y.Saitoh and K.Sera, “Application of a Powdered-Internal-Standard Method to Plant and Seaweed Samples”, *Int'l Journal of PIXE*, Vol.15, No.1,2 27-39 (2005)
3. K. Sera and S. Futatsugawa, "Quantitative Analysis of Powdered Samples Composed of High-Z Elements. "*Int'l Journal of PIXE*, Vol. 8-2,3, 185-202 (1998)
4. K. Sera, T. Yanagisawa, H. Tsunoda, S. Futatsugawa, S. Hatakeyama, Y. Saitoh, S. Suzuki and H. Orihara., "Bio-PIXE at the Takizawa facility (Bio-PIXE with a baby cyclotron)",*Int'l Journal of PIXE*, Vol. 2, No.3 325-330 (1992)
5. K.Sera and S.Futatsugawa, “Effects of X-ray absorbers designed for some samples in PIXE analyses”, *Int'l Journal of PIXE*, Vol.5, No.2,3 181-193 (1995)
6. K. Sera and S. Futatsugawa, "Spectrum Analysis Taking Account of the Tail, Escape Functions and Sub-lines. (SAPIX version 4) "*Int'l Journal of PIXE*, Vol.10, No.3,4 101-114 (2000)
7. W.H.Allaway, “Agronomic control over the environmental cycling of trace elements”, *Advan.Agron*, 235-274 (1968)

Elemental analysis of the vegetables on the market -Comparison with wild plants-

J.Itoh, Y.Saitoh, S.Futatsugawa^{*1} and K.Sera^{*2}

Takizawa Laboratory, Japan Radioisotope Association
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0173, Japan

^{*1}Radioisotope section, Japan Radioisotope Association
2-28-45 Komagome, Bunkyo, Tokyo 113-8941, Japan

^{*2}Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0173, Japan

Abstract

We have measured concentration of multi elements in vegetables on the market and a wild plant gathered around Nishina Memorial Cyclotron Center in Iwate prefecture by means of PIXE. Elemental concentration in vegetables cultivated by spraying mineral-rich waters was also analyzed. As a result, it is found that the mineral-supplying vegetables abundantly contain essential elements for body such as K, Ca, Fe, Cu, Zn and Zn in comparison with ordinary ones. With regard to a wild plant, concentration of essential elements such as Ca, Cu and Zn shows no clear difference in comparison with that in commercially available one of the same kind, while that of toxic elements such as Cr and Pb is relatively higher. Moreover, it is suggested that the wild plant has a certain property of concentrating a specific element depending on its growing period. The relation between elemental concentration in the plants and that in their growing environment, such as water and soil, was also examined. It is also suggested that elemental concentration in vegetables reflects elemental constituent not only of the soil but also of the sprayed water as well as of the fertilizer.