

食品の酸化還元電位に関する研究

小嶋 文博・刈谷

円・細川 知子

緒 言

私達人間は生活活動に酸素を必要とする好氣的生物であり、体内では数多くの酸化反応が起こり、酸化物や活性酸素種などが常に生成している。反応性の高い活性酸素は、白血球の殺菌作用に見られるように生体防御機構に関与する一方で、解毒されなかった場合には、生体自身に何らかの障害を及ぼし、種々の疾病の原因となっている。このために人間を含む好氣的生物の生命維持には、過剰となった酸化物や活性酸素種を還元する機構が必要であり、多くの生物はこのような活性酸素種に対する生体防御機構を備えているのである。

ここで人間の「健康状態とはどんな状態か」を科学的に定義しようとする場合、「健康状態とは体内での酸化力と還元力とがバランスよく保たれている状態である」ということができるのではないかと考えられる。体内での酸化反応と還元反応は、通常は対になって起こっている場合が多いが、ストレスが作り出す酸化促進状態や、酸化物の多い食品や酸化されやすい食品の摂取、汚染された大気の吸入や過剰に消毒された水道水の摂取などが徐々に体内の酸化と還元バランスを酸化状態のほうに偏らせていくものと考えられる。このような体内の酸化力と還元力とのバランスが崩れた状態(多くの場合、強い酸化状態となっている)が老化を促進し、生活習慣病を誘発するものと考えられる。

そこで、各人の体内での酸化力と還元力とのバランスがどうなっているのかを示す健康状態の指標となるものが必要となるが、痛みを伴わず簡便に測定できるという点で、尿の酸化還元電位(ORP)というものが用いられることがある。酸化還元電位とは還元体の活量と酸化体の

活量の比を扱ったもので、次式¹⁾で表すことができる。酸化還元電位は魚の鮮度判定への活用

$$E = E_s - (RT/nF)\ln(A_{red}/A_{ox}) \dots \dots \text{式(1)}$$

E 酸化還元電位

E_s 標準酸化還元電位

R 気体定数

T 絶対温度

A_{red} 還元体の活量

A_{ox} 酸化体の活量

も試みられている²⁾。尿の酸化還元電位のように、生体中の希薄な水溶液の酸化還元電位を測定する場合、水素の ORP 値が-420mV、酸素の ORP 値が+815mVであることから、測定される酸化還元電位の範囲はおおよそ-400mV ~ +800mV の間に入る。通常、酸化還元電位を測定する際の参照電極には銀・塩化銀 (Ag/Ag⁺) 電極が使用されることが多く、この参照電極での人間の健康状態を示す一般的な酸化還元電位の範囲は 0 ~ +200mV の間で、+200mV を超えると、酸化し易い状態であると判断される³⁾。

このような指標で健康状態を評価する場合、もしこの指標による評価が悪かった場合にはそれを改善するための方法も十分に検討されていなければならないと考えられる。人体の酸化還元電位は種々の要因で変化するものと考えられるが、私達が日常摂取している食品の影響は特に大きいものと考えられる。このことを調べる上で、種々の食品の酸化還元電位を測定し、人体の酸化還元電位との比較を行い、特定の食品を連続摂取した際にどのように人体の酸化還元電位に影響するのかを調べてみる必要があると考えられる。酸化還元電位は種々の食品

や飲料水などについてすでに測定されているものもあるが、食品の加熱・非加熱での違いや、剥皮する場合としない場合での違いなど、摂取方法の違いについて調べられたデータはほとんどなく、特定食品の摂取と生体の酸化還元電位の変化に関する研究もほとんど見当たらない。そこで本研究では抗酸化成分を多く含む野菜類・果実類に着目し、食品の加熱の有無や剥皮の有無など、摂取前の調理・加工方法をも考慮した酸化還元電位の測定と、加熱の有無による特定食品の連続摂取が人体の酸化還元電位に及ぼす影響について調べてみたので報告する。

実験方法

1. 食品の酸化還元電位の測定

非加熱の食品の場合には、食品50gに対して、MILLI-Q（日本ミリポア社製）を通した水道水（ここでは精製水とよぶ）100mlを加え、ミキサーで30秒攪拌後、200ml容のビーカーに移し、マグネチックスターラーで攪拌しながら酸化還元電位の測定を行った。酸化還元電位の測定には堀場製作所製のカスタニー ACTpHメーター D-25(電極9300-10Dを接続)を用いた。

一方、加熱した食品の ORP 測定の場合には、加熱前の食品50gに対して、茹で時間を1～5分間取り、茹で上がった食品に非加熱の場合と同様に MILLI-Q（日本ミリポア社製）を通して得られた精製水100mlを加え、ミキサーで30秒攪拌後、200ml容のビーカーに移し、マグネチックスターラーで攪拌しながら酸化還元電位の測定を行った。また「茹でる」以外の加熱にはレンジを用いて短時間加熱した場合もあった。非加熱・加熱いずれの場合も試料温度は 25 ± 1 ℃の範囲で測定を行った。

水道水や精製水、お茶などの飲料水などの酸化還元電位を測定する場合は、そのまま試料中に電極を挿入し測定を行った。このような試料に対しては容存酸素(DO)濃度、pHなども測定を行った。この際 DO 濃度測定には ORP 測定同様、堀場製作所製のカスタニー ACTpHメーター D-25(電極9520-10D 接続)を用い、pH測定

には井内盛栄堂製の pH メーター (pHScan2) を用いた (図 1)。

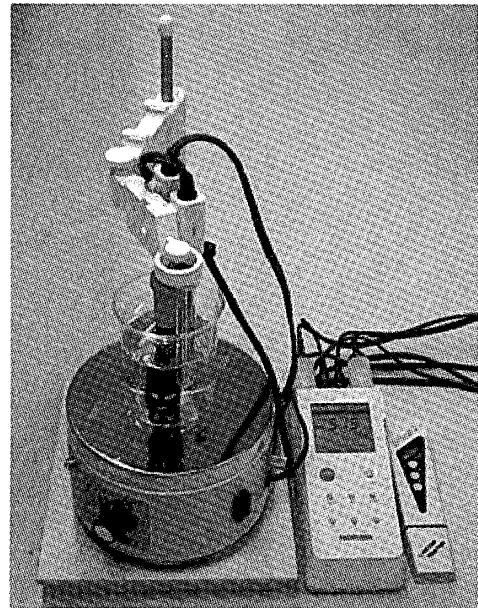


図1 ORP・DO・pH測定装置

2. 非加熱食品・加熱食品の摂取試験

本研究の主旨を理解し同意を得た学生被験者10名を5名ずつの2グループに分け、一方を非加熱食品摂取グループ、もう一方を加熱食品摂取グループとした。非加熱食品摂取グループには生トマト400gを、加熱食品摂取グループには製造工程で加熱されたトマトジュース380gを、朝食時と夕食時の1日2回に分けて摂取してもらった。両グループとも朝食・昼食・夕食は同一食事として、3日間それぞれの食品を摂取し続け、摂取前と摂取後の尿の ORP 値、DO 濃度、pH の比較を行った。検査する尿は朝起きてから2回目の尿とした。試験用摂取食品以外で両グループが共通して摂取した3日間の食事内容を表1に示す。

なお酸化還元電位、溶存酸素濃度、pHの測定には、食品の場合と同様、堀場製作所製のカスタニー ACTpHメーター D-25(ORP 値、DO 濃度測定)、井内盛栄堂製の pHScan2 (pH 測定) を用いた。

表1 摂取試験における3日間の食事内容

1日目 (1665kcal)	朝食 (552kcal)	ごはん 味噌汁 ハムエッグ なめ茸和え	豆腐 わかめ 味噌 ハム 卵 青菜 なめ茸 人参	220 g 20 g 0.5 g 10 g 1 枚 1 個 40 g 8 g 5 g
	昼食 (400kcal)	カロリーメイト (大塚製薬)		4 本
	夕食 (713kcal)	ごはん 味噌汁 ハンバーグ 付け合せ ツナサラダ ぜんまい煮物	キャベツ 油揚げ 味噌 ブロッコリー 人参グラッセ キャベツ ツナ缶 タマネギ キュウリ ぜんまい つきこん 人参 シイタケ	220 g 10 g 5 g 10 g 70 g 20 g 25 g 40 g 5 g 15 g 10 g 25 g 10 g 10 g 5 g
2日目 (1774kcal)	朝食 (551kcal)	ごはん 味噌汁 塩鮭 きんぴら 味付け海苔 浅漬け	大根 油揚げ ごぼう インゲン 人参 白菜	220 g 20 g 5 g 50 g 40 g 5 g 20 g 1 パック 25 g
	昼食 (400kcal)	カロリーメイト (大塚製薬)		4 本
	夕食 (793kcal)	ごはん かき玉汁 すき焼き風煮物 イカフライ 付け合せ	卵 ニラ 牛バラ肉 焼き豆腐 長ねぎ しらたき キャベツ レモン	220 g 10 g 5 g 50 g 1/6 丁 10 g 20 g 40 g 20 g 10 g
3日目 (1714kcal)	朝食 (563kcal)	ごはん 味噌汁 厚焼き玉子 しらす和え ナスの炒め煮	タマネギ わかめ 味噌 しらす干し 大根おろし ナス 人参 タマネギ 鶏ひき肉	220 g 20 g 0.5 g 10 g 40 g 5 g 70 g 70 g 20 g 20 g 10 g
	昼食 (400kcal)	カロリーメイト (大塚製薬)		4 本
	夕食 (751kcal)	ごはん 味噌汁 酢豚 冷奴 もろきゅう 果物	青菜 じゃがいも 豚角切り肉 たけのこ 人参 シイタケ ピーマン タマネギ うずら卵 豆腐 キュウリ 味噌 ナシ	220 g 10 g 20 g 50 g 30 g 20 g 10 g 10 g 30 g 1 個 1/4 丁 30 g 8 g 30 g

実験結果

1. 食品の酸化還元電位

野菜・果実類の酸化還元電位を測定した結果を表2に示す。これらの中から生の状態で酸化還元電位を測定した野菜・果実類だけの測定値をグラフに示したのが図2である。図2から、野菜類においてはオクラやトマト、なすなどの果実よりも、アスパラガスやキャベツ、にらなどの茎や葉のほうが酸化還元電位が低い傾向があった。果実類においてはアボガドやバナナに見られるように、同一果実でも熟度が増すと酸

化還元電位が低くなる傾向があった。また、かきやりんごに見られるように、同一果実でも外皮を剥かずに測定したほうが、酸化還元電位が低くなる傾向があった。

図3は野菜類の酸化還元電位を非加熱(生)で測定した場合と加熱後に測定した場合の違いを表したものである。アスパラガスやキャベツ、たまねぎなど、いずれの野菜においても酸化還元電位は非加熱よりも加熱した場合のほうが低かった。トマトについては摂取試験に用いることを考慮し、非加熱トマトには生の桃太郎を用い、加熱トマトには製造工程で加熱工程のある

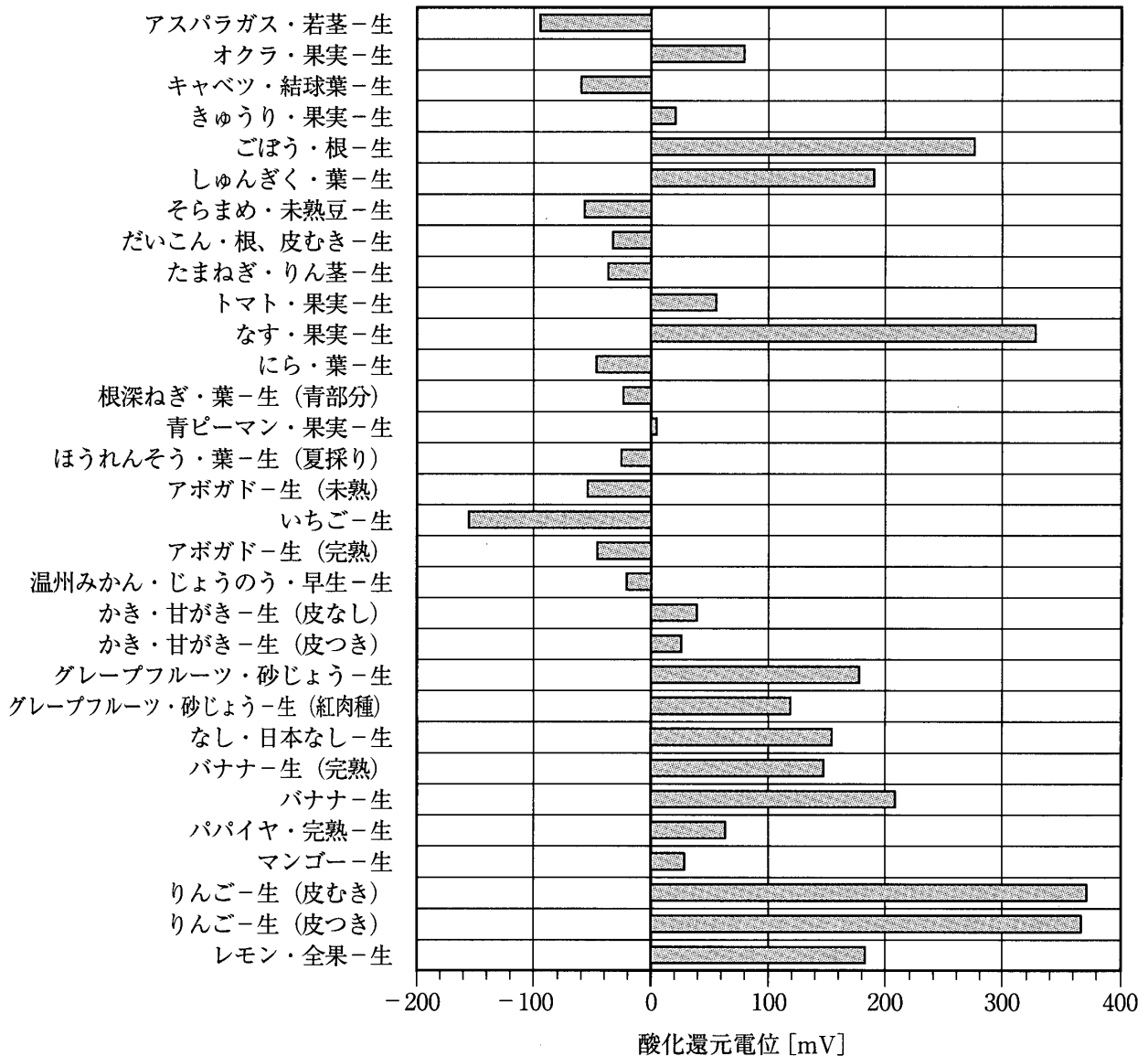


図2 生の野菜・果実類の酸化還元電位

表2 野菜・果実類の酸化還元電位 [ORP/mV]

食 品 名	ORP	食 品 名	ORP
アスパラガス・若茎-生	-93	根深ねぎ・葉-生 (青部分)	-21
アスパラガス・若茎-ゆで3分	-142	青ピーマン・果実-生	3
オクラ・果実-生	80	ほうれんそう・葉-生 (夏採り)	-24
かぼちゃ (西洋) 果実-ゆで5分	-53	アボガド-生 (未熟)	-55
キャベツ・結球葉-生	-58	アボガド-生 (完熟)	-155
キャベツ・結球葉-レンジ1分	-86	いちご-生	-46
きゅうり・果実-生	20	温州みかん・じょうのう・早生-生	-21
ごぼう・根-生	278	かき・甘がき-生 (皮なし)	39
しゅんぎく・葉-生	190	かき・甘がき-生 (皮つき)	26
そらまめ・未熟豆-生	-56	グレープフルーツ・砂じょう-生	176
そらまめ・未熟豆-ゆで2分	-84	グレープフルーツ・砂じょう-生 (紅肉種)	118
だいこん・根、皮むき-生	-31	なし・日本なし-生	152
だいこん・根、皮むき-ゆで3分	-65	バナナ-生	206
たまねぎ・りん茎-生	-35	バナナ-生 (完熟)	146
たまねぎ・りん茎-レンジ1分	-41	パパイヤ・完熟-生	62
トマト・果実-生	57	マンゴー-生	26
トマト・缶詰・ジュース	-15	りんご-生 (皮つき)	365
なす・果実-生	329	りんご-生 (皮つき) レンジ1分	175
にら・葉-生	-45	りんご-生 (皮むき)	370
にら・葉-ゆで1分	-64	りんご-生 (皮むき) レンジ1分	306
にんじん・根、皮むき-ゆで3分	2	レモン・全果-生	178

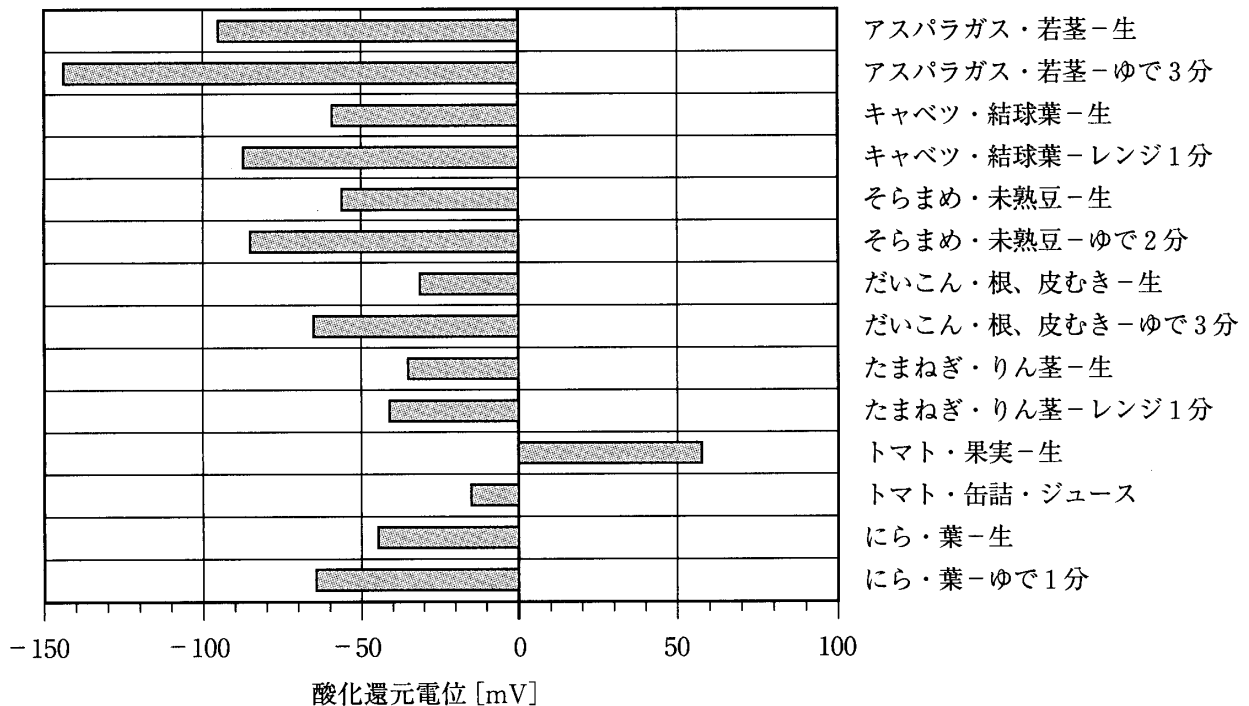


図3 非加熱・加熱の違いによる野菜類の酸化還元電位

市販のトマトジュースを用いて測定を行った。トマトジュースの果汁は濃縮還元果汁ではないものとした。

2. 摂取試験前の予備試験

被験者による非加熱食品・加熱食品の摂取試験を行う前に、健常人の尿における酸化還元電位、溶存酸素濃度、pH などの変化の特徴を明らかにしておく目的で、著者が数日間採尿を行い、ORP 値、DO 濃度、pH などの測定を行って見た。

1日の尿におけるORP 値、DO 濃度、pH の変化を図4に示す。図4には代表的な1日分の

変化のみを示したが、毎日の測定においても、図4に示されるように、その日で最初の尿はORP 値、DO 濃度とも最も高くなる傾向が見られた。このことから1日で最初の尿は避けることとし、また被験者によっては尿の回数の少ない者もいることを考慮し、被験者全員が採尿できるように1日のうちで2回目の尿を採尿することとした。

図5は10日間のORP 値、DO 濃度、pH の経日的変化を示す。これは1日で2回目の尿における測定値を10日間分に渡りグラフ化したものである。ORP 値とDO 濃度の変化には統計的な相関性は見られないものの、ORP 値の高低とDO 濃度の増減は同様な動きとなっている。すなわち、DO 濃度が減少するとORP 値も低下する傾向がある。著者の尿のORP 値は-1~46mV の範囲で変動しているが、これは採尿時間がちょうど昼食時の前後となったことが影響しているものと考えられる。同じ2回目の尿を採尿して測定しているにも関わらず、日によっては採尿が昼食後となることもあり、昼食後に採尿した場合の尿ではORP 値が高くなる傾向があった。

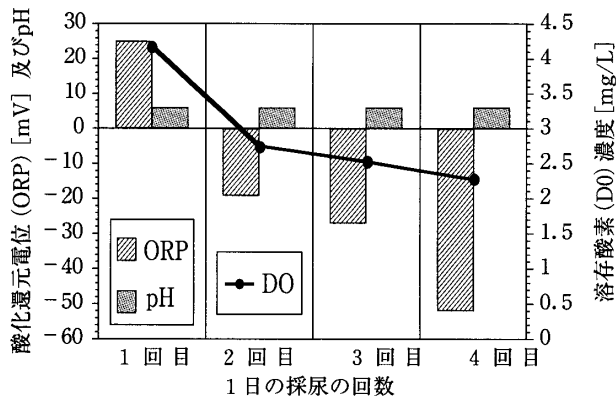


図4 健常人における1日の尿のORP・DO濃度・pHの変化

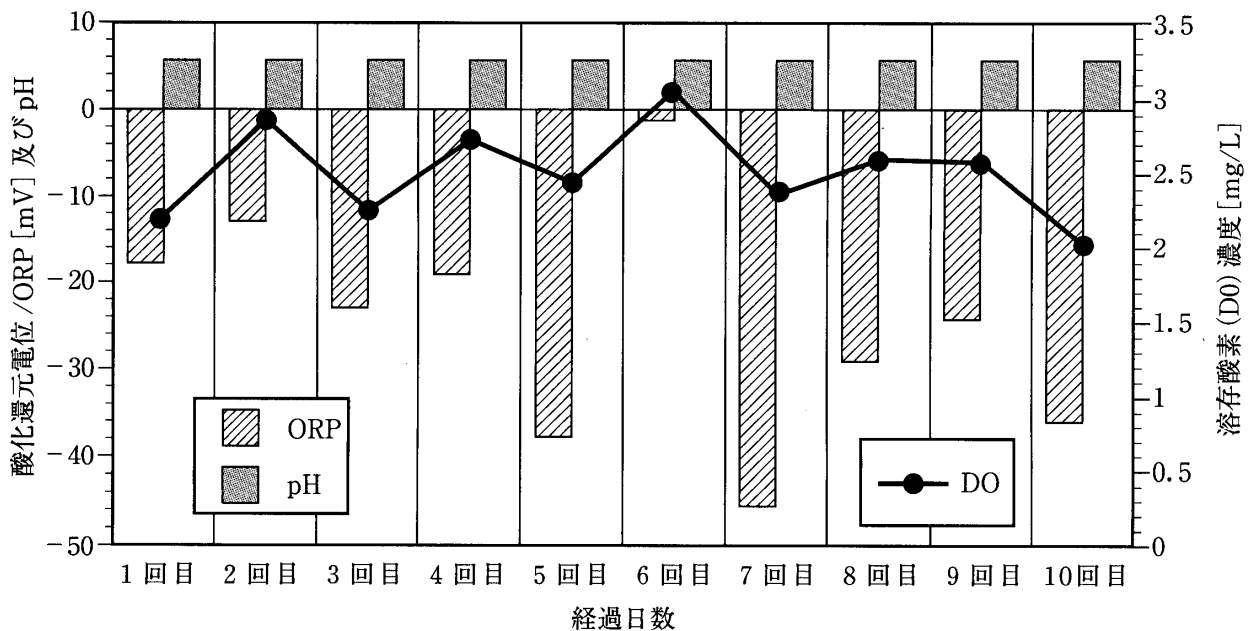


図5 健常人における10日間の尿のORP・DO濃度・pHの変化

3. 非加熱食品・加熱食品の摂取試験

被験者10名による非加熱食品・加熱食品の摂取試験の結果を表3に示す。表3の結果の中で、危険率5%で有意差の見られたものは加熱食品摂取前後のORP値だけであった。被験者全員が女性であったことから、採尿が途中で不可能となる場合があり観測数が減ってしまっているが、それでも加熱（ORP値低い）食品摂取によって、ORP値が摂取前に比べて摂取後に低下した。

考 察

1. 食品の酸化還元電位について

今回の実験で測定を行った野菜・果実類のORP値は-155mV～+370mVの範囲であり、野菜類は果実類よりもORP値が低い傾向であった。野菜類の中でも葉や茎部分の野菜のほうが果実部分の野菜よりもORP値が低い傾向があった。これは植物体の葉や茎の部分のほうが酸化ストレスに対する抗酸化成分を多量に含有しているためであると考えられる。

実験に用いた試料食品の五訂日本食品標準成分表記載のビタミンCやビタミンEなどの抗酸化ビタミンの含有量と同食品のORP値との間には相関性は認められないが、これらの抗酸化ビタミンも食品のORP値に影響を及ぼしていることは間違いない。なぜならば、ORP値測定中にビタミンCを試料中に添加してやると

ORP値は低下するからである。また果実類においては、一般に未熟のものから完熟に向かって熟度が増すにつれ、ビタミンC含量が増加することが知られており、本実験でも果実類では完熟したもののほうがORP値は低下していた。

しかしながら、プラス側のORP値をもった食品の場合、ビタミンCの添加だけではORP値を故意にマイナス側まで変動させることは困難であった。このことから野菜類の多くに見られたマイナス側のORP値に大きく影響しているのはビタミンCというよりもポリフェノール類など他の抗酸化成分の寄与のほうが大きいものと考えられる。かきやりんごなどの果実類で外皮を剥いた場合にORP値が上昇しているのは、外皮に含まれるポリフェノール類が除かれてしまうためであると考えられる。またりんごの場合、「皮つき」と「皮むき」とで電子レンジによる1分間の加熱でブランピングを行った場合に「生」よりもORP値が低下しているのは、酵素ポリフェノラーゼが失活したため、抗酸化的に作用できる有効なポリフェノール類が多く残存できるようになるためであると考えられる。

このことは野菜類にも同様にいえることであり、加熱することによって種々の酵素が失活化され、組織が柔軟化し細胞内容物が水溶液中へ放出しやすくなるためであると考えられる。このとき、抗酸化成分は水溶性のものだけに限らず、脂溶性のものでもORP値の低下に寄与しているものと考えられる。

表3 非加熱食品・加熱食品の摂取前後におけるORP・DO濃度・pHの変化

	非加熱食品摂取グループ						加熱食品摂取グループ					
	ORP[mV]		DO濃度[mg/L]		pH		ORP[mV]		DO濃度[mg/L]		pH	
	摂取前	摂取後	摂取前	摂取後	摂取前	摂取後	摂取前	摂取後	摂取前	摂取後	摂取前	摂取後
被験者1	-21	-25	3.52	2.82	6.3	6.7	26	-54	3.96	2.52	6.3	7.2
被験者2	-11	23	3.72	2.73	6.1	5.8	-3	-53	3.61	2.84	6.5	7.3
被験者3	-7	14	2.76	2.87	5.5	5.5	8	-3	3.15	2.75	6.1	5.8
被験者4	7	28	2.64	2.60	5.4	5.3	-37	42	2.83	2.25	7.1	6.7
被験者5	21	24	3.91	3.76	5.4	5.7	—	—	—	—	—	—
平均	-2	13	3.31	2.96	5.7	5.8	-2	-17*	3.39	2.59	6.5	6.8
標準偏差	16.41	21.74	0.58	0.46	0.43	0.54	26.51	45.98	0.50	0.26	0.43	0.69

注) —：測定不可能、*：危険率5%で有意差が認められたもの。

以上のことから、果実類においてはできるだけ完熟させてから食べる（加熱できればさらによい）、また野菜類においては生で食べるよりも、食べる前に短時間加熱して食べるようにすることが、食材のもつ抗酸化成分を有効に活用でき、ORP 値を低下させた状態で摂取できる方法につながるものと考えられる。

2. 非加熱食品・加熱食品の摂取試験

今回の摂取試験は、ORP 値が+57mV の生トマト（非加熱食品）と ORP 値が-15mV のトマトジュース（加熱食品）というように、加熱によって ORP 値が異なった食品を連続摂取した場合に、摂取した被験者の尿の ORP 値や DO 濃度、pH などによどのような差が現れるのか（あるいは差はないのか）について明らかにしようとしたものである。表 3 に示した結果から、非加熱食品摂取グループ、加熱食品摂取グループとも、試験食摂取前後において統計学的有意差はないものの尿の pH は上昇し、DO 濃度は減少していた。しかしながら、非加熱食品摂取グループでは ORP 値が 1 名を除いて上昇しており、結果として摂取前よりも摂取後のほうが ORP 値の平均値が大きくなってしまった。これは非加熱食品摂取グループの摂取前の尿の ORP 値の平均値が-2.2mV であるのに対して、摂取した食品（生トマト）が+57mV と被験者の尿の ORP 値よりも相対的にプラス側の食品を摂取したためであると考えられる。加熱食品摂取グループで摂取前後において、尿の ORP 値

が摂取前よりも摂取後のほうが低下しているのは摂取した食品（トマトジュース）のほうが-15mV と被験者の尿の ORP 値（-1.5mV）よりも相対的にマイナス側にあったためであると考えられる。

このように今回の摂取試験では、被験者の尿の ORP 値に対して、摂取する食品の ORP 値が相対的にプラス側にあるのか、マイナス側にあるのかの違いで、摂取前に対する摂取後の ORP 値の変化に影響があったものと考えられる。両グループとも摂取前の尿の ORP 値に大きな差はなかった。しかも両グループとも通常健康といわれる一般的な ORP 値の範囲（+200mV 以下）の中でも、特に健康な状態にあると考えられるマイナス領域の人達ばかりであった。そのため特定食品の摂取による尿の ORP 値への影響は ORP 値が高い人を被験者とした場合よりも小さく出てしまう可能性のあったことも示唆される。尿の ORP 値や DO 濃度の値から人の健康状態を評価すると図 6³⁾ のようになる。これを見ても分かるように、今回の被験者は ORP 値、DO 濃度とも優れた健康状態であると評価でき、積極的に ORP 値の低い食品摂取を行ってまで人体の ORP 値を低下させる必要はないという人達であったと考えられる。このような点から、健康指標を ORP 値とした場合には、今回ご協力頂いた被験者は真の被験者としては適切ではなかったとも考えられる。

しかしながら、食品の ORP 値の人体への影響はどうかという疑問に対しては、今回行った非加熱（ORP 値高い）と加熱（ORP 値低い）の違いによる摂取試験から、ORP 値の低い食品の摂取は人体の ORP 値を低下させる可能性の高いことを示唆する結果が得られたものと考えられ、摂取する食品の ORP 値は人体に少なからず影響を及ぼしているものと考えられる。

3. ORP と日常の食品摂取

私達が日常摂取している飲料水（水道水）の ORP 値は一般的に+400~+700mV とかなり高く、私達の体にとっては決してよいものとはいえない。今回、実験室で用いた水道水や精製水、それに加えて、種々の飲料の ORP 値、DO 濃

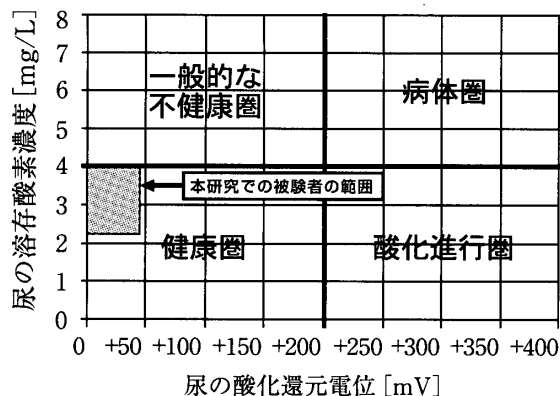


図 6 尿の酸化還元電位・溶存酸素濃度による健康状態尺度

度、pHなどを測定してみた結果を表4に示す。水道水のORP値は測定時によって大きく変動し、ORP値の高い水道水より得られた精製水はORP値が高めになるという関連性があった。ジュースの場合、同一原料を使用したものではないものの、濃縮還元果汁を用いた場合と非濃縮果汁を用いた場合とでORP値を比較すると、濃縮還元果汁ではORP値は非加熱で生の果汁のORP値に比べて相対的に高くなり、非濃縮果汁ではORP値は相対的に低くなるという傾向があるといえる。

水道水のORP値は、私達は摂取しないほうがよいというくらいに高い。また私達がよく飲む茶・発酵茶・コーヒーなどでもORP値は決

して低くはなく、+100~200mVの範囲のものが多い。本摂取試験の結果を考慮すると、私達が自らのORP値を積極的に低くするためには、やはりORP値の低い野菜類の摂取を多くし、しかも短時間加熱するような調理を行ってから摂取することが最も有効であると考えられる。

今回の摂取試験では試験食以外は同一食事内容であったが、今後は試験食以外の食事のORP値の調整も行った摂取試験を行ってみる必要があるものと考えられる。またもっと多くの食品について系統的にORP値、DO濃度、pHなどの測定を行ってみる必要があるものと考えられる。そして、ORP値の低い食品の摂取が、結果的に尿のORP値を低下させるとすると、どのよ

表4 飲料水・市販ジュースなどのORP・DO濃度・pH

試料名	ORP [mV]	DO濃度 [mg/L]	pH
水道水1	683		7.4
水道水2	393	4.82	7.4
脱塩水1	307		8.2
脱塩水2	226	4.10	6.3
コーラ(市販)	320	3.19	2.6
リンゴジュース(加熱工程あり・自家製)	75	2.48	3.6
リンゴジュース(混濁・市販)	171		3.7
(りんご・生・皮剥き)	370		
リンゴジュース(濃縮還元・透明・市販)	403		3.7
グレープフルーツジュース(濃縮還元・市販)	257		3.5
グレープジュース(市販)	135	3.03	3.3
キャロットジュース(市販)	123	3.41	4.3
オレンジジュース(市販)	35	1.73	3.9
トマトジュース(市販)	-15	0.90	4.1
(トマト・生)	57		4.5
トマトジュース(濃縮還元・市販)	116		4.3
緑茶(茶葉)	-1	1.79	7.4
紅茶(茶葉)	110	3.34	6.1
紅茶(ティーパック)	215		6.5
烏龍茶(市販)	150	2.78	6.0
コーヒー(インスタント)	96	2.74	5.0
爽健美茶(市販)	170		6.2
十六茶(市販)	142		6.2
お〜いお茶(市販)	114		6.2
野菜生活(市販)	163		4.1

注)「茶葉」は自分で抽出したもの、「市販」以外は実験室で調整したもの、「自家製」は注文生産品である。

うなメカニズムでそのことが起きているのかについて明らかにしていかなければならない。

要 約

野菜・果実類の酸化還元電位を測定し、加熱したほうが食品の酸化還元電位が低下することが判った。これは①食品中のポリフェノラーゼなどが加熱により失活するため、抗酸化成分の酸化・分解が抑制されること、②加熱より細胞組織が柔軟化し、細胞内容物が細胞外に浸出しやすくなることなどが主な理由であると考えられた。また酸化還元電位の異なる食品の摂取試験から、人体の酸化還元電位よりも相対的に低い酸化還元電位を有する食品の摂取が人体(尿)の酸化還元電位を低くすることが示唆された。

特に野菜・果実類を加熱して摂取することが、生で摂取するよりも、人体の酸化還元電位という指標から体内の酸化還元電位の改善に有効であることが示唆された。

文 献

- 1) 逢坂哲彌ら：電気化学法—基礎測定マニュアル, 93-96, 講談社, 1989
- 2) Agustini, T. W. et al. : The possibility of using oxidation - reduction potential to evaluate fish freshness, Fisheries Science, 2001, 67, 547-549
- 3) 中山栄基ら：生体の酸化還元電位に関する研究, 酸化還元電位 (ORP) と溶存酸素濃度 (DO) を用いた健康管理の試み, 医学と生物, 1994, 129(5), 251-254