主な食品中のリン酸化糖含量と1日推定摂取量

上 西 一 弘

女子栄養大学栄養生理学研究室

Contents of Sugar Phosphates in Major Foods and Estimated Daily Intake Level

Kazuhiro Uenishi

Laboratory of Physiological Nutrition, Kagawa Nutrition University

Phosphorus is an important component of phospholipids, ATP and other compounds. It has been suggested that a higher intake of phosphorus possibly inhibits calcium absorption in the gastrointestinal tract, while casein phosphopeptide and some sugar phosphates have a facilitating effect on calcium absorption. The effect of phosphorus may therefore differ by its form, organic or inorganic. We measured the contents of sugar phosphates in major foods and estimated their dietary intake.

Large amounts of glucose 1 phosphate, glucose 6 phosphate, and fructose 6 phosphate in the main glycolytic pathway and a small amount of galactose 1 phosphate were detected.

Gender, age, and region are the main factors for differing food intake, so we calculated the daily intake of sugar phosphates as 135mg a day based on data from the Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan.

Jpn. J. Nutr. Diet., 63 (6) 351～356 (2005)

Key words : sugar phosphate, glucose 1 phosphate, food content

緒 言

早い速度で進行するわが国の高齢社会の中で、疾病構造上の大きな特徴は、生命予後に直接関わる疾病よりも、日常生活動作 (ADL) や生活の質 (QOL) といわれる健全な生活能力を低下させてしまう疾病が主要な位置を占めていることにある。近年こうした疾病の中で大きくクローズアップされているもののひとつが「骨粗鬆症」である。骨粗鬆症は、長年の生活習慣に基づく多元的な要因によって発症する疾患として認識されているが¹⁾、そのひとつに、カルシウムの摂取不足が挙げられている²⁾。平成14年の国民栄養調査結果によると、日本人のカルシウム摂取量は平均で546mgであり、この値は1970年からほとんど増加していない³⁾。日本人のこれまでの食生活ではカルシウム摂取量を増やすのは困難であるともいえる。一方、カルシウムは吸収率が低いミネラルのひとつである。そこで摂取量が少ないのであれば、より効率よく吸収させるような条件を検討することも重要である。カルシウムの吸収には多くの因子が関与するが、リンもそのひとつと考えられており、過剰のリン摂取がカルシウム吸収を阻害する可能性も指摘されている⁴⁾。これは消化管内に存在するカルシウムと無機リン

が結合し、不溶性のリン酸カルシウムを形成するためであるといわれている。しかし、一方ではリンはその存在形式によってはカルシウムの吸収を促進することも知られている。例えば有機リンであるカゼインホスホペプチドはその分子内のリン酸基がカルシウムイオンと弱く結合することで、逆にカルシウムの可溶化を促進する⁵⁾。また、リン酸化糖の中にも、カルシウム可溶化促進作用が報告されているものもある^{6, 7)}。このようにリンおよびリン酸化糖類のカルシウム吸収に及ぼす影響については、いまだ解明されているとはいえず、さらなる研究が必要である。

平成14年の国民栄養調査結果によるとリンの摂取量は平均で1,040mgである³⁾。近年、加工食品には多くのリンが添加されているが、この国民栄養調査の結果には食品添加物としてのリンは加算されておらず、実際の摂取量はもう少し多い可能性もある。リンには前述のように有機リン、無機リンなどの形態があるが、生体への影響を考える上で、摂取するリンの形態も重要であると考えられる。そこで今回は食品中のリン酸化糖について検討した。

キーワード：糖リン酸、グルコース1リン酸、食品

(連絡先：上西一弘 〒350-0288 坂戸市千代田3-9-21 女子栄養大学栄養生理学研究室 電話・FAX 049-284-3895

E-mail uenishi@eiyo.ac.jp)

表1 主な食品の各種糖リン酸含量

食品番号	食品名	G1P	G6P	F6P	F1,6P	Gal1P	Gal6P	F1P	G1,6P	M1P	合計	総リン量
01015	薄力粉	1.0	1.4			2.1		4.3		5.4	14.2	70
01020	強力粉	0.8	1.4			2.1		1.2		2.1	7.6	75
01026	食パン	0.8	5.9			1.1	1.4			5.8	15.0	83
01038	うどん	0.8	0.6			0.5					1.9	49
01057	即席めん	0.7	0.5								1.2	110
01063	スパゲティ	0.6	0.1			1.3	0.2			0.6	2.8	130
01080	玄米	2.1	1.8		12.0		0.5		0.8		17.2	290
01083	精白米	2.1	1.4						0.7	0.8	5.0	94
01122	そば粉	0.6	2.6	6.1	7.7	6.4	3.4		1.6		28.4	400
02003	こんにゃく	0.3	2.1			0.2	0.5				3.1	5
02006	さつまいも	1.2	5.1	5.1		0.3			4.0		15.7	46
02009	干しいも	4.2	3.1			1.0	0.7	3.6		2.1	14.7	93
02010	さといも	1.0	1.3			0.9					3.2	55
02017	じゃがいも	0.5	8.9	0.1					2.6		12.1	40
03001	黒砂糖	0.1	1.3			2.2	9.7		1.5		14.8	31
03022	はちみつ		0.5	1.0		1.4	0.4				3.3	4
04001	小豆	0.8	2.4						3.0		6.2	350
04032	木綿豆腐	0.6	0.6	0.5		0.2		1.3			3.2	110
04040	油揚げ		0.8	0.9	12.3						14.0	230
04046	納豆	0.1	0.9	13.3		2.1	0.4			1.5	18.3	190
04053	豆乳	2.1	0.5	2.9				4.3			9.8	44
05002	アーモンド	0.7	0.7			1.1		10.2			12.7	480
05010	くり	3.1	3.5	0.4		2.3		0.5	8.1		17.9	70
05018	ごま	1.1	0.8			1.5	1.6	0.7		0.8	6.5	560
05035	落花生	0.8	2.2								3.0	390
06005	あしたば	2.8	1.4			0.4	0.8				5.4	65
06015	えだ豆	2.1	2.3	0.9		1.1		2.2		0.3	8.9	170
06032	オクラ	2.4	1.1			1.0					4.5	58
06048	かぼちゃ	1.3	3.8								5.1	43
06061	キャベツ	1.8		0.5		0.2					2.5	27
06065	きゅうり	1.5	4.0	0.7	7.7	0.8					14.7	36
06084	ごぼう	2.2	2.4	44.7		1.9					51.2	62
06095	しそ	5.8	1.2			1.2			2.0		10.2	70
06099	しゅんぎく	5.4	8.3	5.6		0.3	0.5	0.1	8.2		28.4	44
06117	せり	3.5									3.5	51
06132	大根	0.3		0.3				0.4			1.0	18
06153	たまねぎ	0.3	0.6	4.4		0.5					5.8	33
06160	チンゲンサイ	5.4	1.4		2.2	1.0					10.0	27
06182	トマト	0.3	1.9	1.5				1.4	1.5		6.6	26
06191	なす	1.0	0.4								1.4	30
06207	にら	4.8	1.0			0.2	0.6		0.5		7.1	31
06212	にんじん	1.6	2.0			0.4			2.4		6.4	25
06223	にんにく	0.4	5.3								5.7	150
06226	ねぎ(白)	0.8	0.6								1.4	26
06227	ねぎ(青)	2.4	4.1			1.3					7.8	31
06233	はくさい	1.4	2.9	2.5	2.1	1.1				1.9	11.9	33
06239	パセリ	3.7	4.1	10.0		1.1	1.2		5.8		25.9	61
06245	ピーマン	1.2	2.4			0.3			2.9		6.8	22
06263	ブロッコリー	2.3	1.9	2.2		0.6					7.0	89
06267	ほうれん草	13.4	13.6			2.0			2.3		31.3	47
06291	もやし	0.1	0.5								0.6	25
07012	いちご	0.2	2.6	2.3	2.6	1.2		1.7			10.6	31
07027	みかん		0.6			0.6			3.1		4.3	15
07049	かき	0.4	0.7	3.6		0.9	0.7				6.3	14
07062	グレープフルーツ	0.2	0.8	6.1		0.9					8.0	17
07077	すいか	0.3	0.7	3.1		1.0		0.8			5.9	8
07079	すだち		0.4			1.7	3.7	1.0			6.8	11
07088	なし	0.2	0.7	0.3							1.2	11
07107	バナナ	0.3		2.2							2.5	27
07136	もも		1.2				1.0	1.4			3.6	18
07140	ネクタリン	0.2	0.4								0.6	16
07148	りんご	0.1		0.7							0.8	10
07155	レモン		0.7							0.3	1.0	15
08001	えのきたけ	0.5	5.6	3.4	2.3	1.6		1.3	0.9	3.8	19.4	110
08011	しいたけ	0.1	1.9	0.3		7.4				1.5	11.2	73

(mg/100g)											
食品番号	食品名	G1P	G6P	F6P	F1,6P	Gal1P	Gal6P	F1P	G1,6P	M1P	合計 総リン量
08016	ぶなしめじ	0.1	1.8	1.4		1.2					4.5 100
08020	なめこ	0.6	1.3					0.5		1.9	4.3 66
08031	マッシュルーム		2.4	0.5		0.5		0.5	0.3		4.2 100
08034	まつたけ	0.2	1.5	0.1		3.3		0.9		2.1	8.1 40
09004	のり	1.1	0.3			2.1					3.5 700
09017	こんぶ	2.0	0.5								2.5 200
09031	ひじき	1.4	0.7				0.4				2.5 100
09039	わかめ	1.6	0.3			0.2	0.6				2.7 36
10003	まあじ	2.3	7.5			1.2					11.0 230
10006	干しあじ	4.8	0.7	0.4		1.4			2.8		10.1 220
10047	まいわし	2.5	7.9	0.6		5.2					16.2 230
10091	かつおぶし	2.5	3.5			7.0			2.7		15.7 790
10100	かれい	1.9				1.4					3.3 200
10126	さけ	3.8	5.6	0.2		3.2					12.8 260
10167	さめ	0.9	0.3						3.0		4.2 200
10173	さんま	3.9	8.6	6.4		2.1			0.4		21.4 180
10193	まだい	4.1	6.7	5.1	0.6	4.7					21.2 240
10253	まぐろ	4.6	12.8	12.5		7.2		2.2	3.6		42.9 270
10281	あさり								3.2		3.2 85
10285	あわび	16.8	8.4	8.9		1.4	0.6	0.3		0.2	36.6 100
10292	かき	12.2	16.4			0.5	0.6				29.7 100
10306	はまぐり								2.8		2.8 96
10313	ほたて	18.9	12.2								31.1 260
10327	えび	0.8	4.9			1.3					7.0 300
10345	するめいか	0.9	4.5	2.0		2.3		1.0			10.7 250
10361	たこ	0.4	8.4			4.7					13.5 160
10365	うに	0.6	1.2			1.6		0.3			3.7 390
10385	はんぺん	1.5								0.7	2.2 110
11005	牛かた	1.9	6.1	8.3		0.2					16.5 160
11150	豚ロース	1.2	3.2	17.2		0.3					21.9 190
11166	豚肝臓	2.8	2.9			3.4	0.7		0.5	2.0	12.3 340
11186	ウィンナー	1.1	3.4	3.2	8.8			4.4	1.6	0.5	23.0 190
11220	若鶏肉むね	1.4	1.9	0.6		1.3					5.2 200
11232	にわとり肝臓	1.8	1.8	3.7		1.2					8.5 300
12002	うずら卵	1.7	0.1			1.6					3.4 220
12004	鶏卵	1.3	0.5	0.8		1.6		0.5			4.7 180
13003	牛乳	0.4	1.6	0.9	2.2	4.2		1.2	1.1	2.0	13.6 93
13025	ヨーグルト	0.3	1.7	0.9		4.5		1.4	2.1	1.9	12.8 100
13040	チーズ	0.1	1.2	0.9	2.3	1.2	1.4	1.2	1.7	2.3	12.3 730
16003	日本酒										0.0 8
16006	ビール										0.0 15
17042	マヨネーズ			2.0		1.3					3.3 33
17045	味噌		0.9	3.5					1.5		5.9 170
17051	カレールー	2.8	0.5	4.3		1.7			6.9		16.2 110
17053	酒粕	1.6									1.6 8

注) G1P : glucose 1 phosphate

G6P : glucose 6 phosphate

F6P : fructose 6 phosphate

F1,6P : fructose 1,6 diphosphate

Gal1P : galactose 1 phosphate

Gal6P : galactose 6 phosphate

F1P : fructose 1 phosphate

G1,6P : glucose 1,6 diphosphate

M1P : maltose 1 phosphate

合計 : G1P から M1P までの合計 (リン酸化糖の総量)

総リン量 : 五訂日本食品標準成分表記載のリンの値

G1P, G6P は酵素法と HPLC 法の値が同水準のため酵素法の値を示した。

それ以外のリン酸化糖の値は HPLC 法で測定したもの。

空欄は検出されず。

方 法

国民栄養調査における「国民栄養調査食品群別表」³⁾を参考に、代表的な食品素材を市中より購入し、HPLC法および酵素法でリン酸化糖の定量を行った後、平成14年の厚生労働省国民栄養調査結果における「食品群別栄養素等摂取量」³⁾に基づいて国民一人一日当たりのリン酸化糖の摂取量を推定した。

1. サンプルの調製

食品素材3～5gを秤量した後に細切し、液体窒素で凍結させた。次いで、乳鉢中で乳棒を用いて十分に粉碎し、6%過塩素酸5mlを添加し攪拌後、室温で1時間以上放置した。用いた食品素材が乾物類などで過塩素酸5mlでは十分に攪拌できない場合は、適宜過塩素酸量を増加した。3,000回転/分、15分間の遠心分離処理で得られた上清を、デカンテーションにより新たなチューブに移し、5N水酸化カリウムでpH6～8に調整し、サンプルとした。なお、以下のグルコース1リン酸定量試験を行う前には、サンプルを1,000回転/分、5分間の遠心分離処理し、中和反応により生じた沈殿（塩）を取り除いた。

2. リン酸化糖の定量（HPLC法）

各種リン酸化糖の定量は、HPLCシステムとしてDIONEX社のDX500クロマトグラフィシステムを用い、HPAE-PAD法にて行った。すなわち、カラムはCarboPac PA1（4×250mm）、検出器はパルスドアンペロメトリ検出器ED40を用い、流速は1ml/minで行った。溶離液は、A液として100mM水酸化ナトリウム溶液、B液として1M酢酸ナトリウムを含む100mM水酸化ナトリウムを用い、初期濃度 A液90%：B液10%→20分、A液80%：B液20%→30分、A液50%：B液50%の二液グラジエントの条件で分析した。標準として100μM、50μMの各種リン酸化糖を用いた。今回HPLC法で測定したリン酸化糖はグルコース1リン酸（以下G1P）、グルコース6リン酸（G6P）、フルクトース6リン酸（F6P）、フルクトース1,6二リン酸（F1,6P）、ガラクトース1リン酸（Gal1P）、ガラクトース6リン酸（Gal6P）、フルクトース1リン酸（F1P）、グルコース1,6二リン酸（G1,6P）、マルトース1リン酸（M1P）である。なお、本法は一般的なHPLC法の応用である。

3. グルコース1リン酸（G1P）およびグルコース6リン酸（G6P）の定量（酵素法）

HPLC法により得られる値の信頼性を検討するために、現在、酵素法による測定方法が確立しているG1PとG6Pについて、測定を行った。

サンプル中のG1PおよびG6Pの定量は、Weinhäuselらの方法⁸⁾を一部改変して行った。すなわち、サンプル100μlに酵素反応液（100mM Tris-酢酸緩衝液

（pH6.8）、2mM EDTA、10mM 硫酸マグネシウム、2mM NAD、10μMグルコース1,6二リン酸、0.12 unit ホスホグルコムターゼ（ウサギ筋肉由来）、0.12 unit グルコース6リン酸脱水素酵素（*Leuconostoc mesenteroides* 由来）を100μl加え、37℃で30分間保温した後、340nmの吸光度を測定した。

結果および考察

測定した食品素材および各種リン酸化糖含量を表1に示した。さらに、平成14年の厚生労働省国民栄養調査結果における「食品群別栄養素等摂取量」に基づいて、国民一人一日当たりのリン酸化糖の摂取量を表2に示した。

リンは生体の基本的構成成分のひとつであり、特に細胞膜のリン脂質やATPなどのような重要な物質の成分である。しかし、その摂取量が多いとカルシウムの吸収を阻害する可能性も示唆されている⁴⁾。平成13年の国民栄養調査からはリンの摂取量が調査されている。リンには有機と無機があり、その化学形態の違いにより、カルシウム吸収をはじめ生体に対する影響が異なる可能性も考えられる。そこで、今回はリンの中でもリン酸化糖に注目し、代表的な食品のリン酸化糖を測定し、その摂取量を推定した。

リン酸化糖は比較的安定な化合物であるが、食品素材中に共存する酵素によって容易に代謝を受け、他の化合物に変換されるため、鮮度^{9, 10)}や季節¹¹⁾、時刻¹²⁾によって含有量が変動することが報告されている。したがって、今回示した含有量がそれぞれの食品素材での固有の値とはいえないものの、これらはいずれも一般小売店から買い求めたものなので、「普段の食生活からの摂取量」を求めるという観点では、ほぼ現実を反映しているものと思われる。

G1PおよびG6Pで用いた酵素法による定量法は、他

表2 主要糖リン酸の推定1日摂取量

測定法	化合物	1日摂取量 (mg)
HPLC法	グルコース1リン酸	18.2
	グルコース6リン酸	21.2
	フルクトース6リン酸	30.1
	フルクトース1,6二リン酸	25.6
	ガラクトース1リン酸	13.4
	ガラクトース6リン酸	3.8
	フルクトース1リン酸	6.1
	グルコース1,6二リン酸	9.8
	マルトース1リン酸	8.2
酵素法	グルコース1リン酸	16.2
	グルコース6リン酸	25.4

のリン酸化糖では知られていない。そこで、G1PおよびG6P以外については、簡便なHPLC分析の保持時間より帰属することによって食品素材中の含有量を推定することとした。なお、この方法は酵素法と異なり、直接的に当該リン酸化糖を測定するものではない。したがって、同じピークに他の物質が検出されている可能性が完全に否定できていないので、値が高めに出ている可能性も考えられる。ただし、G1P、G6Pに関しては表2に示した様に、酵素法での値とHPLC法での値がほぼ同じである事から、誤差は殆どないものと考えられた。

HPLC法の回収率については、示野らはブリの肝臓をサンプルとして回収率を検討しており、リン酸化単糖の回収率はほぼ100%であると報告している¹³⁾。なお、本法では、リン酸化オリゴ糖は測定できるが、リン酸化多糖類の測定は難しい。

こうして求めた結果をみると、G1PやG6P、F6Pなど、解糖系の主経路に位置するリン酸化糖の含有量が比較的多く、Gal1Pなど、それ以外のリン酸化糖の含有量は少ないことが窺えた。

個々のリン酸化糖についてみると、G1Pは貝類や葉もの野菜に比較的多く含まれる。G1Pはグリコーゲンやデンプンがホスホリラーゼによって加リン酸分解を受けて生成する糖代謝の中間体であり、ホスホグルコムターゼによりG6Pになり、解糖系やペントースリン酸回路で代謝される。したがって、G1P、G6Pは生体内のどこにでも存在する。実際、我々が今回測定した殆ど全ての食品素材中にG1P、G6Pの存在が確認された。なかでもG6Pは魚貝類、肉類に多く含まれていた。

F6Pも多くの食品に含まれていたが、特にごぼうに多く含まれていた。ごぼう中の総リン量は62mg/100gであるから¹⁴⁾、その大部分がF6Pの形で存在していると考えられる。

今回測定したリン酸化糖の総量をみると、ごぼうが最も多く、次いでまぐろ、あわび、ほうれん草、ほたてなどの含量が多かった。ごぼう、ほうれん草を除きこれらの食品には比較的多くのリンが含まれていることから、総リン量とリン酸化糖は相関することも考えられる。そこで今回測定したリン酸化糖の総量と、五訂日本食品標準成分表のリン量との相関をみた。その結果、全体（食品数110）では相関係数は0.191であり、明確な相関関係はみられなかった。食品群ごとに検討しても、特に傾向はみられず、総リン量と総リン酸化糖には今回は特に関係は見出せなかった。

平成14年の厚生労働省国民栄養調査結果における「食品群別栄養素等摂取量」を参考に、それぞれの食品素材中のリン酸化糖含有量から食品群別の平均含有量を算出し、その値に「食品群別摂取量」を乗じ、主要リン

酸化糖の一人一日当たりの摂取量を推定した。同じ食品群中においてもG1P含有量が大きく異なる場合もみられたが、現在はそれ以上詳細な摂取量のデータが開示されていないので、便宜的に単純平均値を計算に用いた。その結果を表2に示した。主要リン酸化糖の一人一日当たりの摂取量総計は136.4mgであった。

G1Pについてみると、国民一人一日当たりおよそ16～18mgを食品中から摂取していることが推定された。なお、この値は男女を含めた1歳以上の全年齢の平均値であり、男女別または年齢階層別に再計算すれば結果も異なってくる。例えば、G1P含有量が比較的多い野菜類や魚介類の摂取量の平均値はそれぞれ269.7g、88.2gであるが50歳代の女性ではそれぞれ303.2g、96.2gとなっており、全平均の112%、109%に相当する。このため、この階層ではより多くのG1Pを摂取していることが推察されるが、男女別または年齢階層別の食品摂取量は「野菜類」、「魚介類」といった大分類のみしかデータが開示されていないため、詳細について計算することは不可能であった。

食品の摂取量は男女別、年齢階層別、さらには地域別などによって大きく異なるが、今回、厚生労働省のデータに基づき、主要リン酸化糖の一人一日当たりの摂取量を求め、約135mgという値を得ることができた。

今後は他の形態のリンについての解析を進め、有機リン、無機リンの生体に対する影響についても検討を進めたい。

ま と め

リンは生体の基本的構成成分のひとつであり、特に細胞膜のリン脂質やATPなどのような重要な物質の成分である。しかしその摂取量が多いとカルシウムの吸収を阻害する可能性も示唆されている。一方、リンはCPPやある種の糖リン酸のようにカルシウム吸収を促進することも報告されている。リンには有機と無機があり、その化学形態の違いにより、カルシウム吸収をはじめ、生体に対する影響が異なる可能性も考えられる。そこで今回はリンの中でも糖リン酸に注目し、代表的な食品の糖リン酸を測定し、その摂取量を推定した。

その結果、G1PやG6P、フルクトース6リン酸など、解糖系の主経路に位置する糖リン酸の含有量が比較的多く、ガラクトース1リン酸など、それ以外の糖リン酸の含有量は少ないことが窺えた。

食品の摂取量は男女別、年齢階層別、さらには地域別などによって大きく異なるが、今回、厚生労働省のデータに基づき、主要リン酸化糖の一人一日当たりの摂取量を求め、135mgという値を得ることができた。

文 献

- 1) 中塚喜義：骨粗鬆症，カルシウムと骨／西井易穂，森井浩世，江澤郁子，小島 至編，pp.354-362 (2001) 朝倉書店，東京
- 2) 上西一弘：骨粗鬆症の人の食事の基本，骨粗鬆症の人の食事／白木正孝，上西一弘，石田裕美，高橋敦子，pp.36-46 (2003) 女子栄養大学出版部，東京
- 3) 健康・栄養情報研究会編：国民栄養の現状 平成14年厚生労働省国民栄養調査結果 (2004) 第一出版，東京
- 4) 上西一弘：カルシウム・リンの吸収に関連する因子，*THE BONE*，**14**，425-428 (2000)
- 5) 内藤 博：カゼインの消化時生成するホスホペプチドのカルシウム吸収促進機構，日本栄養・食糧学会誌，**39**，433-439 (1986)
- 6) Watanabe, O., Hara, H. and Kasai, T. : Effect of a phosphorylated guar gum hydrolysate on increased calcium solubilization and the promotion of calcium absorption in rats, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **64**, 160-166 (2000)
- 7) Kamasaka, H., Uchida, M., Kusaka, K., Yoshikawa, K., Yamamoto, K., Okada, S. and Ichikawa, T. : Inhibitory effect of phosphorylated oligosaccharides prepared from potato starch on the formation of calcium phosphate, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **59**, 1412-1416 (1995)
- 8) Weinhäusel, A., Nidetzky, B., Kysela, C. and Kulbe, K. D. : Application of *Escherichia coli* maltodextrin-phosphorylase for the continuous production of glucose-1-phosphate, *Enzyme Microb. Technol.*, **17**, 140-146 (1995)
- 9) Wongso, S. and Yamanaka, H. : Post-mortem changes in contents of glycolytic intermediates in the adductor muscle of noble scallop during strage, *Fisheries Science*, **64**, 125-130 (1998)
- 10) Nonratip, A., Wada, S. and Yamanaka, H. : Post-mortem glycolysis and ATP degradation in the muscle of ascidian *Halocynthia roretzi*, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 761-766 (1991)
- 11) Kuroda, H., Sagisaka, S. and Chiba, K. : Seasonal changes in peroxide scavenging systems of apple trees in relation to cold hardiness, *J. Japan Soc. Hort. Sci.*, **59**, 399-408 (1990)
- 12) Servaites, J.C., Geiger, D.R., Tucci, M.A. and Fondy, B.R. : Leaf carbon metabolism and metabolite levels during a period of sinusoidal light, *Plant Physiol.*, **89**, 403-408 (1989)
- 13) 示野貞夫，四方崇文，岩永俊介：プリ肝臓における解糖中間体およびヌクレオチド含量の動態ならびに phosphofructokinase 活性への関与，*SUISAN-ZOUSHOKU* (水産増殖)，**41**，535-539 (1993)
- 14) 科学技術庁資源調査会編：五訂日本食品標準成分表 (2000) 大蔵省印刷局，東京
(受付：平成16年10月28日，受理：平成17年4月16日)