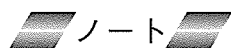


4品種の馬鈴薯澱粉から調製した酢酸化馬鈴薯澱粉の物理化学特性

誌名	応用糖質科学
ISSN	21856427
著者名	安田,久美 石橋,憲一 弘中,和憲 小あぜ,浩 山本,和夫
発行元	日本応用糖質科学会
巻/号	1巻1号
掲載ページ	p. 95-99
発行年月	2011年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat





4 品種の馬鈴薯澱粉から調製した酢酸化馬鈴薯澱粉の 物理化学特性

(2010年4月8日受付; 2010年10月16日採択)

安田久美^{1,2}, 石橋憲一², 弘中和憲^{2,*}, 小疇 浩², 山本和夫²

¹岩手大学大学院連合農学研究科 (020-8550 岩手県盛岡市上田 3-18-8)

²帯広畜産大学 (080-8555 北海道帯広市稲田町西 2線 11番地)

Physicochemical Properties of Acetylated Starches Prepared using Starches Separated from Four Potato Cultivars

Kumi Yasuda,^{1,2} Kenichi Ishibashi,² Kazunori Hironaka,^{2,*}
Hiroshi Koaze² and Kazuo Yamamoto²

¹The United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University (3-18-8 Ueda, Morioka, Iwate 020-8550, Japan)

²Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine (West 2-11 Inada-cho, Obihiro, Hokkaido 080-8555, Japan)

要旨: 4品種 (ホッカイコガネ, エニワ, メークインおよびベニマル) の馬鈴薯由来の澱粉を用い, 2.0, 3.5 および 5.0% の無水酢酸を添加して調製した酢酸化馬鈴薯澱粉の物理化学特性を調べた。

1. 無水酢酸添加量が増すほど, 酢酸化澱粉の物理化学特性は以下のように変化した。(1) アセチル基含量が増加した。(2) RVA 粘度上昇温度, 最高粘度, DSC ピーク温度および糊化エンタルピーは減少したが, 溶解度および膨潤度は増加した。

2. ホッカイコガネおよびエニワの酢酸化澱粉は, 蒸留水中で, メークインおよびベニマルよりも, 高い RVA 最高粘度, ブレークダウン, DSC 糊化ピーク温度および糊化エンタルピーを示した。

3. ベニマルの酢酸化澱粉は, 他の3品種に比べて, RVA 最高粘度が大きく低下し, 溶解度は大きく増加した。

4. 無水酢酸添加量 2.0% の場合, 0.1 M 食塩水中で調製した酢酸化澱粉の 4% 糊液はすべて離水を示した。離水率は, ホッカイコガネ > エニワ > メークイン > ベニマルの順であった。しかし, 無水酢酸添加量 3.5% 以上では, 離水やゲル化がみられなかった。

キーワード: 酢酸化馬鈴薯澱粉, 物理化学特性, 品種

わが国で年間約 270 万トン生産される馬鈴薯の約 80% は北海道産であり, その約 50% は澱粉用として利用されている¹⁾。国産澱粉は安価で利用特性に優れた輸入加工澱粉に押されつつあり, 澱粉原料用馬鈴薯の生産は, 買い上げ価格の低迷もあって減少傾向にある。

澱粉は, 古くから人間の生活に広く利用されてきた天然高分子であり, 近年はレトルト食品や冷蔵・冷凍食品のような, 利便性の高い調理済み加工食品への消費が増大してきた。

天然の馬鈴薯澱粉は, 粘度安定性の低さや食塩水中における糊化抑制, 糊液の老化促進など, 幾つかの大きな欠点を有するが, それらを補うために化学的処理を施した化工澱粉が用いられることが多い。酢酸化澱粉は, そのような化工澱粉の 1 つである。低置換度の酢酸化澱粉粒子は, 外観が元の澱粉と変わらないにもかかわらず, その性質は以

下のように劇的に変化する。(1) 糊化開始温度が低下する, (2) 糊液透明度が増加する, (3) 離水などの経時的変化が小さい, (4) 凍結解凍安定性をもつ²⁾。

一方, 同一植物起源の澱粉特性は品種によって異なることが知られており³⁻⁵⁾, 品種の異なる馬鈴薯澱粉については国内外において報告されているが⁶⁻¹⁸⁾, 異なった品種を用いた化工澱粉特性についての報告は見当たらない。平成 20 年 10 月 1 日, 日本で 11 品目の化工澱粉が食品添加物指定された¹⁹⁾。このことから, 化学的処理をすることによって, 天然澱粉特性の品種間差異がどのように変化するかを知ることは, 馬鈴薯澱粉の用途を拡大するうえで, 非常に重要であると考えられる。

本研究では北海道の主要な 4 種の馬鈴薯品種から製造された澱粉に無水酢酸を反応させて酢酸化馬鈴薯澱粉を調製した。馬鈴薯澱粉は食塩存在下で性質を変えることから²⁾,

* 連絡先 (Tel. 0155-49-5572, Fax. 0155-49-5575, E-mail: kazunori@obihiro.ac.jp)

** Key words: acetylated potato starch, physicochemical properties, cultivar

蒸留水および食塩水中で物理化学的諸性質 (アセチル基含量, リン含量, RVA 粘度特性, DSC 糊化特性, 溶解度・膨潤度, 離水率) を調べ, 馬鈴薯澱粉の物理化学特性に対する酢酸化の影響および食塩の影響を調べた。

1. 実験材料と方法

供試材料は, 神野でんぷん工場(株)から供与されたホッカイコガネ, エニワ, メークインおよびベニマルの4品種の馬鈴薯澱粉を用い, 酢酸化澱粉の調製は, 前報²⁰⁾と同様の方法で行った。

含水率は, 澱粉約2gを用い, 常圧135°Cで2時間乾燥することによって求めた²¹⁾。平均粒径および比表面積は, レーザー散乱式粒度分布測定装置 (LA-30, (株)堀場製作所, 京都)を用い, イソプロピルアルコールを溶媒として測定した。

リン含量 (澱粉乾物当たり) は, リン・バナド・モリブデン酸法²²⁾で測定した。アセチル基含量 (澱粉乾物当たり) は, 前報²⁰⁾と同様に求めた²³⁾。

粘度特性はラピッド・ビスコ・アナライザー (RVA; RVA-4, Newport Scientific Inc., Jessup, USA) またはB型粘度計 (B8M, 東京計器(株), 東京) を使用し, 澱粉濃度4% (無水換算) で測定した²⁰⁾。B型粘度計で測定する澱粉糊液は, ブラベンダーアミログラフを用いて30°Cから95°Cまで昇温して調製した4%糊液を, 200 mL容ビーカーに移し, 室温で1時間放置して調製した。粘度測定時の回転数は6 rpmである。さらに, この4%澱粉糊液が入ったビーカーに, サランラップで覆いをして, 4°Cで1週間貯蔵し, 室温で1時間放置後, 粘度を測定した。糊化過程における熱的特性は, 示差走査熱量計 (DSC, Micro DSC II; SETARAM Instrumentation, Caluire, France) を使用して測定し, 糊化ピーク温度 (T_p) および糊化エンタルピー (ΔH) を求めた²⁰⁾。溶解度および膨潤度の測定は, 貝沼らの方法²⁴⁾に従い, 加熱条件は70°C, 30分間とした。離水率は前報²⁰⁾同様に測定した。

含水率の測定は3回, 平均粒径および比表面積の測定は10回行い, それ以外の測定項目は, 2回繰り返して行うとともに, 結果は平均値で表した。

2. 結果と考察

各澱粉のメディアン粒径の平均値±標準偏差は, ベニマル > エニワ > ホッカイコガネ > メークインの順に大きく, それぞれ 46.37 ± 0.58 , 44.09 ± 0.65 , 43.13 ± 0.24 , $41.24 \pm 0.06 \mu\text{m}$ ($n = 10$) であった。また, 比表面積は, メークイン > ホッカイコガネ > エニワ > ベニマルの順に, それぞれ $1,662 \pm 23$, $1,614 \pm 29$, $1,579 \pm 49$, $1,486 \pm 43 \text{ cm}^2/\text{g}$ ($n = 10$) であった。

リン含量は, Table 1 のように, ホッカイコガネおよびエニワが高い値, メークインおよびベニマルは比較的低い

Table 1. Phosphorus content (ppm) and acetyl content (%) of acetylated potato starches from different cultivars.

Cultivar	Phosphorus content (ppm)				Acetic content (%)			
	0	2.0	3.5	5.0	0	2.0	3.5	5.0
Hokkaikogane	927	913	897	885	0	0.64	1.17	1.66
Eniwa	868	866	851	849	0	0.67	1.13	1.57
May Queen	664	665	657	651	0	0.71	1.21	1.63
Benimaru	562	562	549	548	0	0.61	1.16	1.50

Each value is presented on the dry starch weight.

値を示した。また, 各品種とも無水酢酸添加量の増加とともにわずかにリン含量が低下する傾向にあった。Absarら¹⁷⁾は, 2005年および2006年に栽培された19品種の馬鈴薯澱粉を用いた研究で, ホッカイコガネとエニワをHPS (high-phosphorus starch), メークインとベニマルをMPS (medium-phosphorus starch) と位置づけた。また, Zaidulら¹⁶⁾は105の馬鈴薯澱粉を用いた研究で, ホッカイコガネ, エニワ, メークインおよびベニマルのリン含量をそれぞれ, 797~1,193, 790~1,090, 683~768 および 510~659 ppm と報告している。本研究の結果は, これらの報告と一致した。

また, アセチル基含量は, Table 1 に示すように, 無水酢酸添加量の増加にともない, 各品種ともに, アセチル基含量が高くなった。無水酢酸添加量2.0, 3.0および5.0%の試料について, 1,000 Glc 残基当たりのアセチル基残基数では, それぞれ23~27, 43~46 および57~64 残基が導入された。この結果は, 分級馬鈴薯澱粉を用いた前報²⁰⁾と一致した。また, 同一酢酸条件下の試料を比較すると, 品種間の差異はほとんど認められなかった。

RVA 粘度特性は, Table 2 のように, 蒸留水中の測定では, いずれの品種においても, 無水酢酸添加量の増加に伴って澱粉の粘度上昇温度が低下し, 最高粘度とブレイクダウンが減少した。この粘度上昇温度の低下は, 酢酸化分級馬鈴薯澱粉を用いた前報の結果²⁰⁾と一致した。また, いずれの酢酸添加量においても, ホッカイコガネとエニワの最高粘度とブレイクダウンが高い値を示した。これはTable 1 でみられたように, 両澱粉のリン含量の高さによるものと考えられる^{6,10)}。また, 各品種について, 酢酸化澱粉と天然澱粉の比較では, いずれの無水酢酸添加量においても, ベニマルの糊化最高粘度が酢酸化によって大きく低下していることがわかり, ベニマルは酢酸化の影響が大きいと考えられた。

馬鈴薯澱粉の加熱過程におけるブラベンダー粘度曲線は, 食塩濃度の増加にともなって低下し, 0.1 M の食塩水中ではほぼ一定となることが知られている²⁵⁾。RVAを用いた場合も同様の結果が得られる(未発表)。0.1 M 食塩水中の酢酸化馬鈴薯澱粉の粘度特性は, いずれの品種においても, 蒸留水中に比べて, 粘度上昇温度の上昇, 最高粘度とブレイクダウンの著しい減少を示した。これらの変化は, 前報²⁰⁾と一致しており, 食塩水中の粘度低下は, 澱粉分子にエステル結合したリン酸基に対して, 対イオンであるナ

Table 2. RVA pasting properties of acetylated potato starches from different cultivars.

Cultivar	Acetic anhydride (%)	Pasting temperature (°C)		Peak viscosity (mPa·s)		Breakdown (mPa·s)		Setback (mPa·s)	
		in water	in 0.1 M NaCl	in water	in 0.1 M NaCl	in water	in 0.1 M NaCl	in water	in 0.1 M NaCl
Hokkaikogane	0	68.5	71.8	3583	590	2266	98	161	239
	2.0	66.5	69.8	3340	493	2101	16	192	258
	3.5	66.1	68.5	3217	484	2058	12	204	270
	5.0	65.3	68.6	3230	502	2066	22	259	252
Eniwa	0	67.8	71.0	3508	632	2270	127	175	254
	2.0	66.2	69.4	3500	529	2344	34	229	279
	3.5	65.3	68.2	3262	529	2141	26	233	277
	5.0	63.7	67.4	3323	517	2160	30	258	269
May Queen	0	67.7	70.2	2545	612	1420	79	183	264
	2.0	66.1	68.2	2369	503	1343	22	158	253
	3.5	64.5	67.0	2374	466	1354	41	190	255
	5.0	63.8	66.6	2123	505	1279	33	224	263
Benimaru	0	67.7	70.2	2661	525	1534	41	159	260
	2.0	66.2	68.6	2390	483	1353	25	180	261
	3.5	64.9	67.0	2165	465	1243	41	177	231
	5.0	63.8	66.2	2056	468	1152	31	205	242

Table 3. Changes in viscosity of acetylated potato starch pastes during storage at 4°C.

Cultivar	Acetic anhydride (%)	0 day (mPa·s)		7 days (mPa·s)	
		in water	in 0.1 M NaCl	in water	in 0.1 M NaCl
Hokkaikogane	0	64850	16400	-(gel)	-(gel)*
	2.0	49900	15350	-(gel)	-(gel)
	3.5	47100	17000	93000	20750
	5.0	45000	16150	78550	20000
Eniwa	0	60500	20800	-(gel)	-(gel)
	2.0	46850	17800	-(gel)	-(gel)
	3.5	45850	16900	82450	18300
	5.0	44250	16500	77000	22150
May Queen	0	52050	16300	-(gel)	-(gel)
	2.0	44800	16900	95000	17700
	3.5	40650	16150	74650	28300
	5.0	38750	16400	71300	26100
Benimaru	0	54300	20150	-(gel)	-(gel)
	2.0	45200	17300	89900	17600
	3.5	37350	15350	67400	26150
	5.0	37000	16500	63250	25250

*Viscosity could not be measured using the B-type viscometer because of gelatinization of the paste.

トリウムイオンが遮蔽効果を及ぼすためと考えられている²⁶⁾。また、0.1 M 食塩水中で行った測定において、天然澱粉と酢酸化澱粉の差を比較すると、蒸留水中に比べて品種間差が小さくなった。0.1 M 食塩水中で行った測定において、酢酸化による最高粘度の減少の程度は、ベニマルが最も小さかった。

B型粘度計による粘度特性を Table 3 に示した。蒸留水中では、いずれの品種も、無水酢酸添加量にともなって粘度が低下した。また、ホッカイコガネとエニワは高い粘度を示し、メークインとベニマルが低い粘度を示した。これは前述の RVA の最高粘度の測定結果と一致した。これらの澱粉糊液を 4°C で 1 週間貯蔵すると、蒸留水中および食塩水中ともにすべての試料で糊液の粘度が上昇した。特に

Table 4. Thermal properties of acetylated potato starches from different cultivars.

Cultivar	Acetic anhydride (%)	T_p (°C)		ΔH (J/g)	
		in water	in 0.1 M NaCl	in water	in 0.1 M NaCl
Hokkaikogane	0	65.0	66.2	18.0	17.6
	2.0	62.5	63.9	17.2	16.8
	3.5	61.2	62.6	16.9	16.5
	5.0	59.6	61.0	16.6	16.3
Eniwa	0	64.0	65.3	17.8	17.5
	2.0	61.6	63.1	17.0	16.7
	3.5	60.1	61.6	16.5	16.3
	5.0	58.9	60.3	16.4	16.1
May Queen	0	62.1	63.1	17.2	17.0
	2.0	59.6	61.0	16.8	16.6
	3.5	58.1	59.3	16.5	16.3
	5.0	57.2	58.3	16.0	15.7
Benimaru	0	61.4	62.5	17.3	17.0
	2.0	59.5	60.6	16.5	16.3
	3.5	57.9	59.0	16.2	16.0
	5.0	57.0	58.1	16.1	15.7

天然澱粉糊液や、ホッカイコガネとエニワの無水酢酸 2.0% 添加試料の糊液は、ゲル化により粘度を測定することができなかった。しかし、無水酢酸 3.5% および 5.0% 添加試料では、いずれの品種の澱粉も蒸留水および食塩水中で調製した糊液とともに、酢酸化によりゲル化が抑制された。

DSC 熱特性は、Table 4 のように、蒸留水中の測定において、いずれの品種も無水酢酸添加量が増加するほど、 T_p が低温側に移行し、糊化が全体的に早まる傾向が認められた。さらに、 ΔH も同様に、無水酢酸添加量の増加にともない低下した。これらの結果は前報²⁰⁾と一致した。また、 T_p について品種間の比較を行うと、いずれの無水酢酸添加量においても、最も高い値を示したものがホッカイコガネ、次いでエニワであり、メークインとベニマルは低い値

Table 5. Solubility and swelling power of acetylated potato starches from different cultivars.

Cultivar	Acetic anhydride (%)	Solubility (%)		Swelling power	
		in water	in 0.1 M NaCl	in water	in 0.1 M NaCl
Hokkaikogane	0	33.2	7.9	122	22
	2.0	47.6	9.6	142	25
	3.5	48.2	12.3	186	28
	5.0	52.2	13.5	243	31
Eniwa	0	29.7	7.7	124	25
	2.0	42.0	9.8	162	27
	3.5	41.7	12.4	258	31
	5.0	46.8	13.1	266	33
May Queen	0	27.0	9.3	87	25
	2.0	39.7	13.3	144	29
	3.5	41.2	14.3	212	34
	5.0	48.0	14.3	253	37
Benimaru	0	23.3	9.8	96	27
	2.0	28.3	11.9	131	29
	3.5	39.5	14.8	165	33
	5.0	52.5	15.1	164	36

を示した。さらに、それぞれ天然澱粉と酢酸化澱粉の T_p の差異を調べたところ、いずれの酢酸添加量においても、その品種間差は小さなものであった。糊化エンタルピーについても、同様に酢酸化による影響を調べたところ、メイクインは他の3品種に比べて酢酸化の影響が少なかった。Table 4のように、0.1 M 食塩水中の熱特性では、いずれの品種においても、蒸留水中に比べて T_p が高温側に移行し、 ΔH が低下した。

溶解度および膨潤度は、Table 5に示したように、蒸留水中では、溶解度、膨潤度ともに、無水酢酸添加量が増すほど高い値を示した。無水酢酸添加量の増大にともなう溶解度および膨潤度の増加は、前報の結果²⁰⁾と一致した。品種間で溶解度を比較すると、無水酢酸の増加にともなって、ベニマルの溶解度の増加度合いが大きくなった。無水酢酸添加量3.5%までは、ホッカイコガネの溶解度が最も高く、エニワ、メイクイン、ベニマルの順に低くなったが、無水酢酸5.0%添加ではベニマルがホッカイコガネと並ぶ高い値を示した。このことから、無水酢酸添加量が増加するに従い、品種間の溶解度の差が小さくなることが示された。膨潤度も、無水酢酸添加量の増加とともに増加した。無水酢酸添加量にかかわらず、エニワがもっとも高い値を示し、次いで、ホッカイコガネ、ベニマル、メイクインの順に低くなった。エニワ、メイクイン、ホッカイコガネの3品種はほぼ同じ高い値を示したが、リン含量の低いベニマルは低い値を示した。澱粉とエステル結合をした陰電荷を帯びたリン酸基が、澱粉分子間の相互作用を弱体化させるために、高リン含量の馬鈴薯は高い膨潤度を示すということが報告されており²¹⁾、これらの品種間の差異は、リン含量の違いによるものと考えられる。

0.1 M 食塩水中では、いずれの品種も溶解度、膨潤度ともに蒸留水中に比べて著しく低い値を示した。品種間の比較を行うと、蒸留水中とは異なり、ベニマルとメイクイン

Table 6. Syneresis of acetylated potato starch pastes prepared in 0.1 M NaCl solution (stored at 4°C for 1 week).

Cultivar	Acetic anhydride (%)			
	0	2.0	3.5	5.0
Hokkaikogane	51.0	37.0	0	0
Eniwa	41.5	26.5	0	0
May Queen	26.3	9.0	0	0
Benimaru	19.0	4.5	0	0

がエニワやホッカイコガネよりも高い値を示した。前述のように、ナトリウムイオンはリン酸基に遮蔽効果を及ぼすため、リン含量の高いホッカイコガネとエニワ (Table 1) は、食塩の影響を大きく受けて膨潤度が低下し、低リン含量のメイクインとベニマルではその影響が比較的少なかったと考えられる。

離水率については、Table 6のように、無水酢酸添加量3.5% および5.0% では離水がみられなかった。この結果は、コナフブキの分級馬鈴薯澱粉を用いた前報の結果²⁰⁾と一致し、前述5)のB型粘度計による粘度測定でも、同様の傾向がみられた。無水酢酸添加量が増すと離水が見られなくなるのは、アセチル基による保水容量の増加が原因と考えられる^{20,28,29)}。また、未処理澱粉と無水酢酸2.0%添加試料で品種間の比較を行うと、ホッカイコガネ、次いでエニワが高い値を示し、ベニマルは最も低い値を示した。この違いは、Table 1でみられたリン含量の違いによるものと考えられる。

文献

- 1) 農林水産省：野菜生産出荷統計，平成20年産春植えばれいしょの作付面積，収穫量及び出荷量 (2009)。
- 2) 山本和夫，小倉徳重：「澱粉科学の事典」，不破英次，小巻利章，檜作進，貝沼圭二編，朝倉書店，東京，p. 366，p. 397 (2003)。
- 3) K.S. Sandhu and N. Singh: Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chem.*, **101**, 1499-1507 (2007)。
- 4) L. Wang, B. Xie, J. Shi, S. Xue, Q. Deng, Y. Wei and B. Tian: Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars. *Food Hydrocolloids*, **24**, 208-216 (2010)。
- 5) X. Kong, J. Bao and H. Corke: Physical properties of Amaranthus starch. *Food Chem.*, **113**, 371-376 (2009)。
- 6) A. Suzuki, K. Shibamura, Y. Takeda, J. Abe and S. Hizukuri: Structures and pasting properties of potato starches from Jaga Kids Purple '90 and Red '90. *J. Appl. Glycosci.*, **41**, 425-432 (1994)。
- 7) Z.N. Ganga and H. Corke: Physical properties of starch of Asian-adapted potato varieties. *J. Sci. Food Agric.*, **79**, 1642-1646 (1999)。
- 8) A. Kaur, N. Singh, R. Ezekiel and H.S. Guraya: Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chem.*, **101**, 643-651 (2007)。
- 9) S. Hopkins and R. Gormley: Rheological Properties of Pastes and Gels made from Starch Separated from Different Potato Cultivars. *Lebensm. Wiss. Technol.*, **33**, 388-396 (2000)。
- 10) T. Noda, N.S. Kottarachchi, S. Tsuda, M. Mori, S. Takigawa, C. Matsuura-Endo, S. Kima, N. Hashimoto and H. Yamauchi: Starch phosphorus content in potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars and its effect on other starch properties. *Carbohydr. Polym.*, **68**, 793-796 (2007)。
- 11) N. Singh, N. Isono, S. Srichuwong, T. Noda and K. Nishinari:

- Structural, thermal and viscoelastic properties of potato starches. *Food Hydrocolloids*, **22**, 979-988 (2008).
- 12) J. Singh and N. Singh: Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars. *Food Chem.*, **75**, 67-77 (2001).
- 13) T. Noda, S. Tsuda, M. Mori, S. Takigawa, C. Matsuura-Endo, K. Saito, W.H.A. Mangalika, A. Hanaoka, Y. Suzuki and H. Yamauchi: The effect of harvest dates on the starch properties of various potato cultivars. *Food Chem.*, **86**, 119-125 (2004).
- 14) J. Singh and N. Singh: Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars. *Food Chem.*, **75**, 67-77 (2001).
- 15) M. Yusuph, R.F. Tester, R. Ansell and C.E. Snape: Composition and properties of starches extracted from tubers of different potato varieties grown under the same environmental conditions. *Food Chem.*, **82**, 283-289 (2003).
- 16) I.S.M. Zaidul, H. Yamauchi, S. Takigawa, C. Matsuura-Endo, T. Suzuki and T. Noda: Correlation between the compositional and pasting properties of various potato starches. *Food Chem.*, **105**, 164-172 (2007).
- 17) N. Absar, I.S.M. Zaidul, S. Takigawa, N. Hashimoto, C. Matsuura-Endo, H. Yamauchi and T. Noda: Enzymatic hydrolysis of potato starches containing different amounts of phosphorus. *Food Chem.*, **112**, 57-62 (2009).
- 18) T. Noda, S. Takigawa, C. Matsuura-Endo, T. Suzuki, N. Hashimoto, N.S. Kottarachchi, H. Yamauchi and I.S.M. Zaidul: Factors affecting the digestibility of raw and gelatinized potato starches. *Food Chem.*, **110**, 465-470 (2008).
- 19) 厚生労働省：加工デンプンの添加物指定について (2009).
- 20) 安田久美, 石橋憲一, 弘中和憲, 小疇 浩, 山本和夫：酢酸化分級馬鈴薯澱粉の物理化学特性. *J. Appl. Glycosci.*, **56**, 229-234 (2009).
- 21) Association of Official Analytical Chemists: Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists 11 th^{ed}. Washington, DC, p. 34 (1970).
- 22) 山本和夫：「生物化学実験法 19 澱粉・関連糖質実験法」, 中村道徳, 貝沼圭二編, 学会出版センター, 東京, pp. 32-33 (1986).
- 23) 澱粉糖技術部会：「澱粉糖関連工業分析法」, 全日本糖化工業会, 日本糖化工業会, 澱粉糖技術部会編, 食品化学新聞社, 東京, pp. 164-165 (1991).
- 24) 貝沼圭二, 小田恒郎, 鈴木繁男：澱粉のリン酸誘導体に関する研究(第1報)無水リン酸による架橋型リン酸澱粉の合成. *澱粉工誌*, **14**, 24-28 (1967).
- 25) 山本和夫：馬鈴薯澱粉の利用特性に関する研究. 北海道大学学位論文 (1984).
- 26) G.C. Nutting: Effect of electrolytes on the viscosity of potato starch pastes. *J. Colloid Sci.*, **7**, 128-139 (1952).
- 27) J. Singh, L. Kaur and N. Singh: Effect of acetylation on some properties of corn and potato starch. *Starch*, **56**, 586-601 (2004).
- 28) A. Gunaratne, and H. Corke: Influence of prior acid treatment on acetylation of wheat, potato and maize starches. *Food Chem.*, **105**, 917-925 (2007).
- 29) N.S. Sodhi and N. Singh: Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars. *J. Food Eng.*, **70**, 117-127 (2005).