ジャガイモの加工特性に及ぼす 細胞分離性に関する研究

平成16年度日本食品保蔵科学会奨励賞

佐藤 広 顕^{*1}

Affection of cell separation on the Processing Characteristics of Potatoes

SATO Hiroaki^{*1}

^{*1} Department of Applied Biology and Chemistry, Faculty of Applied Bio-science, Tokyo University of Agriculture
1-1-1, Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156-8502

ジャガイモは南米のアンデス山地原産の作物で、大航海時代以降ヨーロッパを経て世界各地へ伝搬した。冷涼な気候を好み、熱帯地域でも高地での栽培が可能であり、赤道直下から高緯度の亜寒帯にわたって広く栽培される唯一の作物である。また、ジャガイモはやせた土地でも育ち、収量が1 haあたり12トンと全作物中でもっとも多く、救荒作物としても人類の生存に大きく貢献してきた¹⁾。

しかし、伝搬当初は含有するソラニン^{2),3)}の毒性などからすぐには普及せず、フランスではルイ16世が花の鑑賞用に留めた。プロシアのフリードリヒ大王は、食糧として積極的な導入を図り、その後の食料の自給に大きく貢献した⁴⁾。現在では世界で年間約3億トンが生産され、トウモロコシ、小麦、米について生産量の多い重要な作物として、生食の他、デンプン原料やマッシュポテト、ポテトチップなどの各種加工食品原料としてさまざまな用途に利用されている⁵⁾。日本のジャガイモ生産量は年間約300万トンで、デンプン原料に約120万トン、生食・加工食品およびその素材として約140万トンが使用されている。

ジャガイモは、一般に加熱時の挙動から経験的にマッシュポテト原料に適している粉質系と、煮物用に適している粘質系に大別される(図1)。また、欧米では品種とともに比重によっても加工用途を区別⁶⁾し、低比重ジャガイモはベイクド向け、高比重ジャガイモはマッシュポテト向けと用途を分けている。しかし、このようなジャガイモの加工利用については現象論的な解析に留まっており、理論的な解明が待たれていた。

ジャガイモに関する研究は、病虫害耐性⁷⁾や育種・栽培関連^{8),9)}、さらに各種加工原料として利用されることが多いデンプンに関して^{10),11)}、多くの報告がある。しか

図1 粉質系と粘質系ジャガイモの加熱処理後の性状

し、品種によって異なる加工特性の相違など、加熱処理による物性の変化やそのメカニズムに関する詳細な報告は少ない^{12)~17)}。

筆者は、ジャガイモの加熱による軟化、煮崩れなど、その加工性にかかわるテクスチャー変化が細胞の分離性に起因するとの推論に立ち、ジャガイモの品種および比重と加工特性の相関を細胞の分離性の視点から解明することを目的に一連の研究^{18)~24)}を行っている。すでに、品種や比重によって加工特性が異なることを明らかにした^{18),19),24)}。また、細胞壁成分であるペクチン、ヘミセルロースおよびセルロースなどの性状や熱的挙動などがジャガイモの加熱処理時の物性変化や加工性に影響する細胞の分離性に大きく関与することを明らかにしている^{20),21),23)}。

本稿では、筆者の一連の研究成果を中心に、ジャガイモの加工特性とそれに関する要因についてまとめた。

^{*1} 東京農業大学応用生物科学部生物応用化学科 (〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1)
E-mail: hsato@nodai.ac.jp

1. 生鮮および加熱処理したジャガイモの物性と比重との相関

(1) 比重とテクスチャー²⁴⁾

種々の比重の男爵薯およびメークインの生鮮時ならびに加熱処理後における硬さ、凝集性およびガム性を比較した結果を図2に示した。生鮮時、加熱処理時のテクスチャー値はともに比重によって異なっていた。すなわち、生鮮時では両品種とも比重が大きくなるほど硬さ、凝集性およびガム性の値が増大した。また、同一の比重ではメークインが硬く、粘弾性の大きなテクスチャーであった。

一方、加熱後では両品種とも比重が大きくなるほど、やわらかく崩れやすいテクスチャーを示し、生鮮時とその傾向は全く逆であった。なお、同一比重ではメークインが結着力が強く、粘弾性に富んだ崩れにくいテクスチャーであった。

また、粉質系の男爵薯でも低比重のものは粘質系の特徴を、粘質系のメークインでも高比重のものは粉質系の特徴を示し、両品種ともに高比重ではテクスチャーは非常に近似していた。

(2) 加熱後の品温低下とテクスチャー¹⁸⁾

図3に、比重が大きく異なる男爵薯の加熱後のテクスチャーに対する品温の影響を示した。加熱直後に比べ、品温が低下すると硬く、崩れにくい、粘りの大きなテク

スチャーに変化し、低比重はその程度が大きい。低比重の男爵薯はマッシュすると、粘り気の強いマッシュポテトになる。これは、加熱による組織の軟化が小さく、さらに品温が低下すると組織が大きく硬化するため、マッシュ処理が困難になるためと考えられた。

(3) 細胞の分離性とペクチンおよび細胞壁¹⁹⁾

ジャガイモのペクチンを酸・アルカリ溶液で可溶化すると、高比重はほぼ完全に細胞単位に分離することができたが、低比重ではその分離度は約70%であった。

また、マッシュした際の細胞の状態を顕微鏡で観察すると、図4のように高比重ではいずれの温度でも細胞が個々に分離していたが、低比重ではマッシュ温度が低下すると分離が不十分な細胞および損傷した細胞がみられた。また、同分離細胞試料中の水溶性ペクチン量(表1)は、細胞の分離が不十分な低比重で少なく、マッシュ温度が低下するとさらに減少した。その傾向は高比重に比べて大きく、ペクチンの溶解性が、細胞の分離性に影響を与えていることが示唆された。

図5にデンプンおよび分離細胞の膨潤開始温度をフォトペーストグラフィーにて比較した結果を示した。高比重ではほぼ60℃で両者の膨潤が始まるのに対し、低比重では分離細胞の膨潤開始温度がデンプンに比べ約4℃高く、比重差によって細胞すなわち細胞壁の熱挙動に差異があった。

図2 男爵薯およびメークインの生鮮ならびに加熱試料における比重と各物性値との相関

図3 比重の異なる男爵薯の加熱処理後の各物性値に対する品温の影響

○—○：比重1.050 △—△：比重1.052 □—□：比重1.054
●—●：比重1.092 ▲—▲：比重1.094 ■—■：比重1.095

図4 加熱処理後、各温度でマッシュした比重の異なる男爵薯の顕微鏡写真

A：低比重試料（比重1.052：マッシュ温度80℃）
B：低比重試料（比重1.052：マッシュ温度25℃）
C：高比重試料（比重1.094：マッシュ温度80℃）
D：高比重試料（比重1.094：マッシュ温度25℃）

表1 比重の異なる男爵薯の品温の低下に伴う水溶性ペクチン量の変化

男爵薯	品 温 (℃)			
	80	60	40	25
低比重試料 (比重1.052)	0.31	0.18	0.15	0.12
高比重試料 (比重1.094)	0.34	0.33	0.32	0.31

(mg/100 g)

図5 比重の異なる男爵薯から調製したデンプンならびに分離細胞のフォトバーストグラム

2. 加熱処理によるテクスチャー変化の要因

果実の硬さは、主に細胞壁の強度に関与するセルロース、ヘミセルロースや細胞同士の結着力に影響するペクチンに支配されている²⁵⁾。また、果肉の軟化は、ペクチンの水溶化が大きく影響する^{25)~27)}。

以下、ジャガイモの加熱処理による軟化について、細胞間結着物質のペクチンおよび細胞壁の主成分であるセルロース、ヘミセルロースの関与について述べる。

(1) 加熱によるペクチンの変化

低比重および高比重のジャガイモについて、ペクチンの加熱による溶解性を比較した(表2)²⁰⁾。高比重ジャガイモのペクチン量は低比重ジャガイモに比べ約1.4倍多かった。また、加熱によって不溶性ペクチンが減少し、水溶性ペクチンが増加した。その傾向は、高比重ジャガイモで顕著であった。高瀬ら²⁸⁾は、ニンジン加熱による軟化が、ペクチンが加熱によって水溶化することによって進行することを報告している。

これらのことは、ジャガイモの加熱による軟化に対して、ペクチンの水溶化が大きな影響を及ぼすことを示している。生鮮ジャガイモの不溶性ペクチンについてDSC分析による吸熱量を比較すると、低比重は高比重の約1.3倍大きな値で、ジャガイモでは比重の大きなものほど少ない熱量でペクチンの構造が変化することがわかった。

表2 比重の異なる男爵薯の加熱ならびに品温低下によるペクチン組成の変化

男爵薯	総ペクチン量 (mg/100 g)	ペクチンの構成比 (%)	
		水溶性	不溶性
低比重試料 生 鮮	880	12	88
(比重1.053) 加熱直後	880	16	84
放 冷 後	880	13	87
高比重試料 生 鮮	1,200	21	79
(比重1.093) 加熱直後	1,200	28	72
放 冷 後	1,200	26	74

加熱直後（品温80℃）、放冷後（品温25℃）

(2) ペクチンの溶解性と多価陽イオンの影響

桑原ら²⁹⁾はキュウリのピクルス製造に際し、CaおよびMgを添加することによりペクチン組成ならびに硬度が変化することを報告している。Ca、Mgなどの多価陽イオンによってペクチンが架橋し、細胞壁を硬化するので、カリカリ梅の製造など^{30)~33)}に広く用いられている。ジャガイモのアルコール不溶固形物 (AIS) 中のCaおよびMg (表3)²⁰⁾は、低比重では高比重に比べCaが約6倍、Mgが約1.6倍多く含有されていた。ジャガイモ中の総CaおよびMg量は両者が同様であったことから、低比重のジャガイモではペクチンなどの細胞壁中の多糖と結合しているものが多いと推察される。低比重ジャガイモでは細胞間の結合力が大きく、ペクチン間の架橋の切断や水溶化などに多量の熱量を必要とするため、加熱による組織の軟化が小さいものと考えられた。

Ca、Mg処理によってジャガイモの水溶性ペクチンが減少し、不溶性ペクチンが増加した。一方、EDTA処理では不溶性ペクチンが減少し、水溶性ペクチンが増加した (表4)。

このように、これらの処理によりジャガイモの加熱後におけるペクチンの溶解性およびテクスチャーが変化した (表4) ことから、ペクチンによる細胞間の結着力の強弱がジャガイモの加工性、すなわち細胞分離性に対し大きく影響することが示唆された。また、ジャガイモの

加工性を改善する方法としてペクチンの結着力、すなわちペクチンの分子間架橋を調整することが有効であると考えられた。

(3) 加熱後の品温低下によるペクチンの変化²¹⁾

加熱処理したジャガイモのテクスチャーは、その後の品温によって変化する。この変化を、ペクチンの挙動から考察を試みた。前述のようにジャガイモの水溶性ペクチン量は加熱処理によって増加したが、品温の低下によって水溶性ペクチンは減少し、細胞間の結着力を強める不溶性ペクチンが増加した。ジャガイモの品温低下による硬化、すなわち細胞の分離性低下は、加熱によって水溶化したペクチンが再び不溶化して細胞間の結着力が大きくなることによって生じるものと考えられた。

(4) ペクチンの加熱による性状変化

果実の熟成・追熟による軟化は、ポリガラクトナーゼやペクチナーゼの作用でペクチンが水溶化、低分子量化することによって進行する³⁴⁾。ジャガイモの生鮮、加熱処理直後ならびに放冷後の水溶性ペクチンの分子量分布を表5²¹⁾にまとめた。

水溶性ペクチンは、高比重、低比重ともに加熱処理によって低分子量画分が増加した。一方、品温の低下によって低分子量画分が減少し、高分子量画分が増加した。加熱処理により細胞の結着性に関与する水溶性ペクチンが増加するのみでなく、その分子構造も変化し、低分子量化していた。このように水溶性ペクチンが品温の低下によって減少するとともに、その高分子量画分が多くなるなど、ペクチンの会合状態が変化した。加熱処理によって低分子量化したペクチンが、品温が低下すると水素結合などによって再度高分子量化した。

以上のようにジャガイモの加熱処理による軟化や温度低下による硬化に対し、細胞間結着物質であるペクチンの水溶化や不溶化ならびに水溶性ペクチンの分子量変化が大きく影響することが明らかになった。また、これらの挙動は比重差によって差異がみられたことから、比重の異なるジャガイモの加工特性の相違を明らかにするうえで、細胞の分離性に関与するペクチン量やその熱挙動を詳細に解析することが必要と考えられる。

表3 比重の異なる男爵薯から調製したアルコール不溶固形物 (AIS) 中のCaおよびMg含量

男爵薯	AIS中の含有量 (mg/AIS 1 g)		塊茎中の含有量 (mg/100 g)	
	Ca	Mg	Ca	Mg
低比重試料 (比重1.053)	1.31	0.70	5.47	17.12
高比重試料 (比重1.093)	0.22	0.43	5.58	16.89

表4 比重の異なる男爵薯のCa塩、Mg塩およびEDTA処理によるペクチン組成ならびにテクスチャーの変化

男爵薯		ペクチンの構		硬 さ (10 ⁴ N/m ²)	凝集性
		成比 (%)			
		水溶性	不溶性		
低比重試料 (比重1.053)	対照	12	88	13.3	0.772
	CaCl ₂	9	91	17.8	0.810
	MgCl ₂	10	90	17.1	0.799
	EDTA・2Na	14	86	13.0	0.761
高比重試料 (比重1.093)	対照	21	79	21.7	0.934
	CaCl ₂	18	82	24.2	0.958
	MgCl ₂	19	81	23.7	0.951
	EDTA・2Na	25	75	19.2	0.919

表5 比重の異なる男爵薯の加熱ならびに品温低下による水溶性ペクチンの分子量の変化

男爵薯		各分子量画分の構成比 (%)		
		高分子量	中間分子量	低分子量
低比重試料 (比重1.053)	生 鮮	78.3	8.0	13.7
	加熱直後	51.2	6.3	42.5
	放 冷 後	62.6	7.1	30.3
高比重試料 (比重1.093)	生 鮮	52.4	23.5	24.4
	加熱直後	26.1	22.1	51.8
	放 冷 後	37.0	23.9	39.1

加熱直後 (品温80℃), 放冷後 (品温25℃)

(5) 細胞壁の影響²³⁾

メークインと男爵薯の細胞壁多糖の量比および熱的挙動を比較した。大谷ら^{35)~37)}は、煮崩れしにくいメークインのほうが各細胞壁多糖量が多いと報告しており、ジャガイモの加熱後のテクスチャーには、細胞壁多糖量およびその主体であるセルロース量も大きく影響すると推察される^{38), 39)}。細胞壁およびその主成分であるセルロースは、高比重ジャガイモに比べてかたく、低比重ジャガイモのほうが高い値を示した(表6)。

また、煮熟によるダイコンの軟化は細胞壁骨格の脆弱化や細胞間の分離性が関与する⁴⁰⁾。ジャガイモではセルロースの吸熱量(表6)は、低比重が高比重の約5.4倍高く、低比重のほうがセルロースの状態変化に多くの熱量が必要であった。このことから、同一の熱量では低比重ジャガイモは高比重ジャガイモに比べ細胞壁組織の脆弱化が小さく、このためかたいテクスチャーを示すものと考えられた。

以上、比重差によりジャガイモの加工特性が異なる要因の一つとして、細胞の骨格を成す細胞壁多糖量およびその組成、ならびにそれらの熱的挙動が大きく関与していた。

表6 比重の異なる男爵薯のヘミセルロースおよびセルロースの含量ならびに吸熱量

男爵薯	ヘミセルロース		セルロース	
	含有量 (mg/100)	吸熱量 (J/100 g)	含有量 (mg/100)	吸熱量 (J/100 g)
低比重試料 (比重1.053)	55.5	1.31	333.2	10.05
高比重試料 (比重1.093)	51.2	2.05	233.5	1.86

3. デンプンの性状比較

主成分であるデンプンの含量は、ジャガイモの比重に大きな影響を与える。比重からデンプン含量を推定する永田ら⁴¹⁾の方法は広く実用面で用いられている。先にも述べたが、欧米では比重によって用途を区別している。従来、加熱におけるジャガイモの軟化は、加熱によりデンプンが糊化・膨潤し細胞を膨化させるため、細胞間隙が生じ、細胞間の結着力が低下するといわれてきた。

比重によって加工特性、すなわち細胞分離性が異なることから、デンプン含量とその性状について検討した。低比重および高比重ジャガイモのデンプンの性状を表7にまとめた。デンプンの平均粒径は、低比重で41.7 μ m、高比重で50.3 μ mと高比重が約20%大きな値であった。一般に、ジャガイモデンプンの平均粒径は40~50 μ mであり、両者もその範囲であった。糊化開始温度は低比重が62.5 $^{\circ}$ C、高比重が60.0 $^{\circ}$ Cであり、最高、最低ならびに最終粘度でも高比重が高い値を示したが、これらの数値も特に一般的データ⁴²⁾を超えるものではなかった。

両デンプンのアミロース含量は約22%であり、ゲル濾過では分子量は100~50万の間に溶出されたが、高比重のほうがやや大きな分子量を示した。アミロペクチンの分岐⁴³⁾では表7のように重合度28~38、13~27および12以下の3画分が得られ、高比重のほうが長鎖の比率が大きかった。

なお、デンプンのゲル化性を示すセットバック値には、違いがみられなかった。これは、ゲル化に大きく寄与するアミロース含量が両デンプンとも同様であったためであり、ジャガイモデンプンのゲル化性に対しアミロースの分子量の差異は影響が小さいことが示唆された。

以上のことから、細胞間の細胞分離性に対し、デンプンの糊化・膨潤が直接的に影響することは少ないものと

表7 比重の異なる男爵薯から調製したデンプンの平均粒径、X線回折図、粘度特性およびブルナーゼにて処理したアミロペクチンの構造の比較

男爵薯	低比重試料 (比重1.053)	高比重試料 (比重1.093)	ジャガイモの 一般的データ
アミロース含量 (%)	21.9	21.8	20
X線回折図	B型	B型	B型
平均粒径 (μ m)	41.7	50.3	40~50
アミログラフによる 各粘度特性値	転移温度 ($^{\circ}$ C)	62.3	60.2
	最高粘度 (B.U.)	960	1085
	ピーク温度 ($^{\circ}$ C)	69.3	69.0
	保持粘度 (B.U.)	130	290
	冷却時粘度 (B.U.)	335	495
アミロペクチンの 各鎖長の構成比 (mol%)	ブレークダウン (B.U.)	830	795
	38~28	55.9	63.8
	重合度 27~13	39.0	33.5
	12以下	5.1	2.7

考えられた。

デンプン粒は青果物の生育に従って肥大し、糊化開始温度は生育に従って低下するが、X線回折図には変化がみられない^{44)~47)}。このことから、生育初期からデンプンの基本構造が確立され、結晶部ならびに非結晶部の比率、デンプン粒の基本構造とその性状に大きな相違はないと考えられる。

高比重および低比重ジャガイモのデンプンの性状の差異は、未熟および成熟した青果物のデンプンの性状の差異^{45)~47)}と類似していた。生育時の環境が適していると比重の高いジャガイモの比率が大きくなること、最適な栽培でない関東以西で低比重のジャガイモの比率が高い¹⁾ことから、ジャガイモでは生長によるデンプンの蓄積によって比重が大きく異なるものと推察された。

ジャガイモの生育に伴う細胞壁の性状変化とその程度が加工特性に影響を与えることから、ジャガイモ塊茎の生育中における細胞壁の性状変化の要因は興味深い。

3. 生鮮試料による加工特性解析の試み²⁴⁾

ジャガイモの品質評価は、従来デンプン含量に基づく比重のみであった。しかし、前述のようにその加工特性には細胞の分離性が大きく関与し、その性状の相違には細胞壁成分の熱挙動が影響する。そこで、生鮮ジャガイモの熱挙動を解析することによる、加工特性の把握を試みた。比重の異なる男爵薯およびメークインのDSCによる熱分析の結果を図6に示した。両品種とも60~70℃および70~100℃に吸熱ピークを検出した。ジャガイモ1gあたりの両吸熱ピークにおける吸熱量の合計は男爵薯2.9 J、メークイン3.2~3.3 Jであり、両品種とも比重間では吸熱量に差はなかった。しかし、同様な比重にもかかわらず、低および高比重ともに男爵薯はメークインに比べ吸熱量が約10%小さかった。

60~70℃はデンプンの吸熱ピークで、両品種とも高比重試料が大きな吸熱量を示し、デンプン含量の差異を反映していた。一方、細胞壁成分に由来する70~100℃の

吸熱量は、総吸熱量に対し、高比重試料で45~58%、低比重試料で66~75%を占め、その割合は低比重ジャガイモが大きな値であった。固形分に占める細胞壁成分は約7%にもかかわらず、これらの成分の熱的变化に多くの熱量を要した。

また、粘質系のメークインが粉質系の男爵薯に比べて70~100℃において大きな吸熱量を示した。これらのことから、生鮮試料の熱挙動を調べることにより、ジャガイモのデンプン含量だけでなく、ジャガイモの加工特性、すなわち細胞分離性に関与する細胞壁成分の差異を推測することが可能と考えられる。

4. 今後の研究課題

ジャガイモの加工特性に対し、細胞分離性が大きな影響を及ぼし、また細胞分離性がペクチンやセルロースなどの性状やそれらの成分変化ならびに熱挙動によって異なっていた。

なお、ジャガイモの加熱調理中に還元糖の増加やペクチンの分解が観察される。それらの変化は単に熱的なものでなく、加熱過程におけるペクチナーゼ、セルラーゼおよびアミラーゼなどの各種酵素作用の影響を示唆している。また、比重の相違はジャガイモ中に含まれる固形分量に依存するが、これは言い換えられると水分含量の違いを意味する。したがって、加熱時におけるジャガイモの品温上昇が比重によって異なることが推察され、この昇温速度の差が各種酵素の作用量に影響することが考えられる。現在、筆者らはジャガイモの加工特性の基盤となる細胞分離性に関与する成分に対する酵素作用の観点からも、ジャガイモの加工特性解明のアプローチを試みている。このような試みは、今後ジャガイモの効率的な利用を図るうえで重要と考えられる。

一方、食料不足が深刻な発展途上国においては種芋の供給システムの不備から、十分な収量を得るには至っておらず、今後は種子からの栽培システムの確立が生産増の決め手として期待されている。先進国においてもさまざまな特性の品種が開発・導入されている¹⁾。また、加工や貯蔵面では萌芽抑制剤であるマレイン酸ヒドラジド⁴⁸⁾が発ガン性問題^{49), 50)}により使用禁止にされるなど、より安全な休眠後の萌芽抑制や低温貯蔵による低温スウィートニング現象^{51)~57)}の抑制など解決すべき課題も多い。

今後は、さまざまな特性の品種が栽培されると思われるが、それらの特性を簡便に解析し、効率的に利用できるシステムの開発が期待される。

謝 辞 本研究遂行にあたり、多大なるご指導を賜りました高野克己東京農業大学教授に心から感謝申し上げます。さらに、長年ご懇篤なるご指導を賜りました故鴨居郁三東京農業大学名誉教授ならびに故小原哲二郎東京教育大学名誉教授に深謝申し上げます。貴重なご助言をいただきました東京農業大学応用生物科学部生物応用化

図6 比重の異なる男爵薯およびメークインの熱挙動の相違

学科ならびに生物産業学部食品科学科の先生方、また実験にご協力いただきました卒業生の皆様に心から感謝いたします。

文 献

- 1) 梅村芳樹：ジャガイモ—その人とのかわり—（古今書院，東京），p.47, 108, 243（1988）
- 2) 知識敬道：馬鈴薯概説（全国農村教育協会，東京），pp.82～84（1999）
- 3) 新藤哲也・牛山博文・舘 公子・安田和男・斉藤和夫：ジャガイモ中の α -ソラニン， α -チャコニンの含有量および貯蔵中の経時変化，食品衛生学雑誌，**45**，277～282（2004）
- 4) 筑波常治：サツマイモ・ジャガイモ比較文化，食の科学，**53**，18～24（1980）
- 5) 池部 誠：現代ジャガイモ考，食の科学，**159**，16～22（1991）
- 6) 日本いも類研究会：じゃがいもMiNi白書Ver.2.3（日本いも類研究会，茨城），p.21（2003）
- 7) 眞鍋佳世・田代楊哉・根岸寛光・陶山一雄・松山宣明：二次代謝産物を指標にした3種ジャガイモそうか病菌のTLC法による簡易識別，日植病理誌，**71**，6～10（2005）
- 8) 岡澤養三：馬鈴薯の生育とその調節，日作紀，**44**，123～139（1975）
- 9) 柏木純一・岩間和人・長谷川利弘：バレイショの実生世代における根長の表現型変異の環境条件に対する安定性，日作物誌，**69**，332～336（2000）
- 10) 二國二郎：澱粉科学ハンドブック（朝倉書店，東京），pp.316～349（1991）
- 11) NODA, T., TSUDA, S., MORI, M., TAKIGAWA, S., ENDO, M. C., HASHIMOTO, N. and YAMAUCHI, H.: Properties of starches from potato varieties grown in Hokkaido, *J. Appl. Glycosci.*, **51**，241～246（2004）
- 12) 松元文子・橋谷淳子：マッシュポテトに関する実験（第1報），家政誌，**14**，341～344（1963）
- 13) 橋谷淳子・松元文子：マッシュポテトに関する実験（第2報），家政学，**20**，95～99（1969）
- 14) 橋谷淳子・平野雅子・比企みよ子・松元文子：マッシュポテトに関する実験（第3報），家政誌，**23**，116～120（1972）
- 15) 松本伸子・上田フサ：冷凍馬鈴薯の調理性について，家政学，**29**，351～355（1978）
- 16) 今泉雅子：じゃがいもの調理，調理科学，**18**，114～116（1985）
- 17) 香西みどり・島田淳子：煮熟によるジャガイモの軟化度と最適加熱時間の予測，日食工誌，**32**，360～364（1985）
- 18) 佐藤広顕・高野克己・光浦暢洋・谷村和八郎・鴨居郁三：比重の異なるバレイショの物性について，日食工誌，**38**，1134～1136（1991）
- 19) 佐藤広顕・高野克己・光浦暢洋・谷村和八郎・鴨居郁三：比重の異なるバレイショより調製したマッシュ試料の物理的性状について，日食工誌，**38**，1071～1075（1991）
- 20) 佐藤広顕・高野克己・小嶋秩夫・谷村和八郎・鴨居郁三：比重の異なるバレイショの物性に及ぼすペクチン質の影響，日食保蔵誌，**24**，355～359（1998）
- 21) 佐藤広顕・高野克己：比重の異なるバレイショの蒸熱による物性およびペクチンの性状変化の比較，日食保蔵誌，**26**，17～21（2000）
- 22) 佐藤広顕・永島俊夫・高野克己：比重の異なるバレイショから調製したデンプンの性状，食科工誌，**48**，475～481（2001）
- 23) 佐藤広顕・山崎雅夫・高野克己：低比重および高比重バレイショにおける細胞壁多糖の組成および熱挙動の比較解析，日食保蔵誌，**31**，151～154（2005）
- 24) 佐藤広顕・山崎雅夫・高野克己：バレイショの加工特性と品種および比重との関係，日食保蔵誌，**31**，155～160（2005）
- 25) 伊藤三郎：果実の科学（朝倉書店，東京），pp.34～36（1993）
- 26) 高木幸子：植物性食品の冷凍・加熱における組織とペクチン質の挙動，調理科学，**24**，150～156（1991）
- 27) 淵上倫子：冷凍処理による野菜の物性，ペクチン組成，組織の変化，*New Food Industry*，**37**（6），7～14（1995）
- 28) 高瀬光枝・寺元芳子：加熱によるにんじんペクチンの変化，調理科学，**22**，283～289（1989）
- 29) 桑原祐二・大塚暢幸・真部正敏：キュウリピクルスのテクスチャーとペクチン組成に及ぼす無機成分の影響，日食工誌，**32**，710～717（1985）
- 30) 金子憲太郎・黒坂光江・前田安彦：塩蔵大根のペクチン質とクリスプ性に及ぼすCa塩の影響，日食工誌，**30**，111～113（1983）
- 31) 金子憲太郎・黒坂光江・前田安彦：塩蔵ウメの硬度とペクチン質の関係について，日食工誌，**30**，605～609（1983）
- 32) 金子憲太郎・黒坂光江・前田安彦：Ca塩によるウメ漬のテクスチャー軟化阻止の影響について，日食工誌，**30**，675～680（1983）
- 33) 乙黒親男・金子憲太郎・小竹佐知子：小ウメ漬の硬度と組織構造に及ぼすカルシウム化合物の影響，日食工誌，**40**，552～557（1993）
- 34) 伊庭慶昭・垣内典夫・福田博之・荒木忠治：果実の成熟と貯蔵（養賢堂，東京），pp.31～33（1993）
- 35) 大谷貴美子：調理特性の異なるじゃがいも（*Solanum tuberosum*）の非澱粉性多糖の構造（第1報）水可溶性多糖について，日家政誌，**40**，593～601（1989）

- 36) 大谷貴美子：調理特性の異なるじゃがいも (*Solanum tuberosum*) の非澱粉性多糖の構造 (第2報) 熱水およびシュウ酸アンモニウム可溶性多糖について, 日家政誌, **42**, 313~320 (1991)
- 37) 大谷貴美子：調理特性の異なるじゃがいも (*Solanum tuberosum*) の非澱粉性多糖の構造 (第3報) アルカリ可溶およびアルカリ不溶性多糖について, 日家政誌, **42**, 321~325 (1991)
- 38) 桜井直樹・山本良一・加藤陽治：植物細胞壁と多糖類 (培風館, 東京), pp.129~159 (1991)
- 39) 山本良一：植物細胞の生長 (培風館, 東京), pp.165~171 (1999)
- 40) 田村咲江：食品・調理・加工の組織学 (学窓社, 東京), p.68 (1999)
- 41) 農文協：畑作全書—イモ類編— (農文協, 東京), p.127 (1981)
- 42) 高橋禮治：でん粉製品の知識 (幸書房, 東京), p.50, 63 (1996)
- 43) 鈴木綾子・竹田靖史・檜作 進：タピオカ, ジャガイモ, クズ段階の分子構造と老化性の関係, 澱粉科学, **32**, 205~212 (1985)
- 44) 杉本温美・山本美千子・阿部一博・不破英次：生育段階の異なるヤマノイモ澱粉の性質について, 澱粉科学, **34**, 11~20 (1987)
- 45) 杉本温美・山本美千子・阿部一博・不破英次：生育段階の異なるキウイフルーツ澱粉の性質について, 澱粉科学, **35**, 1~10 (1988)
- 46) 杉本温美・山本美千子・阿部一博・不破英次：生育段階の異なるクワイ澱粉の性質について, 澱粉科学, **35**, 11~18 (1988)
- 47) 杉本温美・山本美千子・阿部一博・不破英次：生育段階の異なる中国大根の澱粉の性質について, 澱粉科学, **35**, 19~27 (1988)
- 48) 長 律子：キャピラリー電気泳動による野菜・果実中のマレイン酸ヒドラジドの迅速分析法, 食衛誌, **41**, 74~78 (2000)
- 49) 農林水産省告知第1784号 (2003) “マレイン酸ヒドラジドに含まれるヒドラジンの含有量の検査方法を定める告示” 平成15年10月30日
- 50) 厚生労働省告知第33号 (2004) “食品添加物等の規格基準の一部を改正する件” 平成16年2月25日
- 51) 藤巻正生：ポストハーベットの科学と技術 (光琳, 東京), p.58 (1984)
- 52) YAPTENCO, F. K., SATO, H., SUZUKI, T., TAKANO, K. and KOZIMA, T. T.: Low-Temperature Sweetening and Membrane Degradation in Potato Tubers (*Solanum tuberosum* L.), *J. of Agricultural Science, Tokyo Nogyo Daigaku*, **44**, 96~113 (1999)
- 53) YAPTENCO, F. K., SUZUKI, T., KAWAKAMI, S., SATO, H., TAKANO, K. and KOZIMA, T. T.: Nondestructive Determination of Sugar Content in Danshaku Potato (*Solanum tuberosum* L.) by Near Infrared Spectroscopy, *J. of Agricultural Science, Tokyo Nogyo Daigaku*, **44**, 284~294 (2000)
- 54) YAPTENCO, F. K., SATO, H., SUZUKI, T., TAKANO, K. and KOZIMA, T. T.: Sugar Accumulation as a Mechanism for Freezing Tolerance in Cold-Stored ‘Danshaku’ Potato Tubers (*Solanum tuberosum* L.), *Food Preservation Science*, **26**, 103~107 (2000)
- 55) MURATA, Y., YAPTENCO, F. K., SUZUKI, T., SATO, H., MATSUMOTO, S. and TAKANO, K.: Property Changes Potato Tubers (*Solanum tuberosum* L.) During Cold Storage at 0 and 10 °C, *Food Preservation Science*, **26**, 153~160 (2000)
- 56) MURATA, Y., NOGUCHI, T., YAPTENCO, F. K., SATO, H., MATSUMOTO, S., TAKANO, K. and SUZUKI, T.: Amylase and Invertase Activity and Substrate Affinity in ‘Danshaku’ Potato Tubers (*Solanum tuberosum* L.) During ColdStorage at 0 and 10°C, *Food Preservation Science*, **26**, 281~287 (2000)
- 57) YAPTENCO, F. K., SATO, H., NOGUCHI, T., SUZUKI, T., TAKANO, K. and KOZIMA, T. T.: Starch Gelatinization Kinetics in Cold-Stored ‘Danshaku’ PotatoTubers (*Solanum tuberosum* L.), *Food Preservation Science*, **26**, 315~321 (2000)