ブンタン果汁を用いた懸濁結晶法による凍結濃縮装置の検証

松本泰典^{1*}, 森山洋憲²

¹ 高知工科大学地域連携機構

² 高知県工業技術センター食品開発課

Verification of a Freeze Concentration Apparatus for Suspension Crystallization with Pomelo Juice

Yasunori Matsumoto^{1*} and Hironori Moriyama²

¹ Research Organization for Regional Alliances Center for Regional Collaboration, Kochi University of Technology, 185 Miyakouchi, Tosayamada, Kami, Kochi 782-0003

² Kochi Prefectural Industrial Technology Center, 3992-3 Nunoshida, Kochi, Kochi 781-5101

Here we report our development of a novel freeze concentration apparatus for suspension crystallization. The apparatus was evaluated after freeze concentration of Pomelo (*Citrus grandis* Osbeck) juice produced in Kochi prefecture. The stock juice before the concentration process was 11.0°Brix. The consistency of the resulting juice concentrate ranged from 13.2 to 38.7°Brix. Levels of fructose, glucose, sucrose, citric acid, malic acid, ascorbic acid, limonin, naringin, hesperidin and amino acids were higher in the juice concentrate than in the stock juice, when analyzed by the HPLC method. Brix degree was linearly correlated with the levels of each component. After freeze concentration processes ($n=7$) ranging from 29.7~42.0°Brix, the average recovery rate was 87.9%. These results suggest that our apparatus is effective for stable concentration of Pomelo juice and has the capability to recover over 90% of juice concentrate. (Received Jan. 19, 2012; Accepted Jun. 27, 2012)

Keywords : freeze concentration apparatus, suspension crystallization, *Citrus grandis* Osbeck, component, recovery rate

キーワード : 凍結濃縮装置, 懸濁結晶法, ブンタン, 成分, 回収率

ブンタン (*Citrus grandis* Osbeck) は高知県が全国 1 位の産地であり, 主に生食用として年間約 9000 トンが出荷されている¹⁾²⁾。果実全体の消費はわずかずつであるが, 生鮮果実から果実加工品へと変化していくことが予想される³⁾ 中で, ブンタンについても加工原料としての需要を拡大することが求められている。ブンタンの加工を目的とした研究例として, 蔡らによるアルペドに含まれるリモネングルコシド合成活性の報告⁴⁾ と, 果皮煮沸中の苦味成分回収の報告⁵⁾ とが挙げられる。ブンタンについては積極的な加工利用に向けた研究例が他に見あたらない。出荷量の 0.6% に相当する約 50 トンのみが加工に仕向けられているのが現状である²⁾。

果汁の加工手段のひとつに濃縮操作がある。濃縮操作は加熱蒸発法, 膜濃縮法および凍結濃縮法に分類できる。その中で最も低温で濃縮が行える凍結濃縮法は品質の安定した濃縮液が生産できる方法とされている^{6)~8)}。凍結濃縮法はさらに前進凍結法と懸濁結晶法に分類できる。前進凍結

法は冷却面から氷結晶を成長させ濃縮を行う方式である。この方法は新しい凍結濃縮法として, 純度の高い氷を生成させるための凍結速度と凍結界面の挙動の影響についてさまざまな研究がなされている^{9)~17)}。一方, 懸濁結晶法は製氷装置に Ostwald ripening 現象を利用した再結晶缶と, Thijssen らの研究成果であるピストンヘッド型洗浄塔を組み合わせたシステムが実用化されている¹⁸⁾。このシステムは連続濃縮により濃縮果汁などを高回収率で生産可能とされているものの, 製氷装置, 再結晶缶およびピストンヘッド型洗浄塔に至る装置内の多くの部分で, 氷粒子と液体が混合したスラリー状であることが必要な濃縮方法である。このことから, 装置が大型かつプロセスが複雑で高コストなどの課題があり¹³⁾¹⁵⁾, コーヒーなど年間を通じ安定的に入手可能な液状食品の濃縮に用いられている。したがって, 四季を有する国内では, 果物などの収穫期に限られるため, 短期間の濃縮運転でも濃縮液の高回収率が可能な新たな凍結濃縮装置が求められている。

そこで, 著者らはこれまでに研究開発を進めてきたスラリーアイス製造装置^{19)~21)} と遠心分離機を組み合わせ, バッチ生産でも濃縮液の高回収率が可能となる簡易な凍結濃縮

¹ 〒782-0003 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185

² 〒781-5101 高知県高知市布師田 3992-3

* 連絡先 (Corresponding author), matsumoto.yasunori@kochi-tech.ac.jp

図1 濃縮装置

システムの確立を目指している。本報では、スラリーアイス製造装置で液中に氷粒子をつくり、遠心分離機にて氷粒子を除いて得られた濃縮液の成分とその回収率を調べるため、プンタン果汁を用いた実験を行ったので報告する。

実験方法

1. 試料

ベルト式搾汁機で搾汁された土佐プンタンの果汁（平成21年産、固形分量13%、不溶性固形分量2.0%）の冷凍品を岡林農園（高知県越知町）から入手し、 -30°C の冷凍庫で保管後、実験直前に解凍して使用した。

2. 濃縮試験装置

濃縮試験には図1に示す試作した濃縮装置との遠心分離機（岩月機械製作所製、OKS-18）を用いた。濃縮装置は、下方から上方にかけて氷粒子を生成する製氷部、製氷部から氷粒子をタンク部に送り出すオーガー、氷粒子を貯蔵するタンク部で構成されている。濃縮運転は冷凍能力0.73kW（ $\text{AT}=32^{\circ}\text{C}$ ）のコンデンシングユニット（三菱電機製、M9A-04LA（T）A）から製氷部の二重円筒の間にHFC系混合冷媒R404Aを送り込み、伝熱面となる内筒内壁面を -20°C に冷却することで厚さ $500\mu\text{m}$ の水膜を生成させる。そして、内部の掻き取り刃を300rpmで回転させることで水膜上の氷粒子を掻き取る。なお、製氷部、オーガーの接液箇所の材質はSUS316である。掻き取られた氷粒子は300rpmで回転するオーガーによりタンク部に押し上げられ、それと同時に押し上げられた液体はオーガーの内筒部から製氷部に戻される。オーガーおよびタンク部の円筒の材質は装置内に貯蔵された氷粒子量が確認できるように、透明アクリル樹脂製とした。濃縮運転中の試料の濃度

変化は、製氷部のドレンからサンプリングし、可溶性固形分を調べることによって確認した。濃縮運転後には、製氷部のドレンを開放することで下部に蓄積した濃縮果汁を回収した。氷粒子に残存している濃縮果汁の回収については遠心分離機を用いた。遠心分離機での氷粒子の除去法は、バスケット内に80メッシュの袋状のフィルター（岩月製作所製、TN84151）を取り付け、この中に濃縮装置内のスラリーアイスより遠心分離（1260rpm、15分間）で濃縮果汁を分離した。

3. 凍結濃縮試験

一度の濃縮試験に用いるプンタン果汁を7kgとし、冷凍保存しておいた果汁を融解後に濃縮装置に投入した。濃縮中はシース熱電対（日本電測製、TYPE T）にて果汁の温度をサンプリング時間10秒で計測した。目標の濃度に達すると濃縮運転を停止させ、製氷部のドレンから濃縮果汁を回収した。そして濃縮装置に残存するスラリーアイスより遠心分離で果汁を回収し、先に採取した果汁と合わせて濃縮果汁試料とした。また、遠心分離機にて脱水後の氷粒子に残存している果汁の成分を調べるため、別途回収した。本試験を同様の方法で5回行い 11°Brix の果汁から $13.2\sim 38.7^{\circ}\text{Brix}$ 間の濃度の異なる試料を得た。得られた試料は次段階のHPLC分析まで冷凍保管した。

なお、各試料の可溶性固形分濃度の計測については次の手順とした。デジタル示差屈折計（ATAGO製、RX-5000 α -Plus）に試料を直接滴下することによって屈折度を測定した。繰り返し3回測定によって得られた値の平均値を $^{\circ}\text{Brix}$ として表示した。また、不溶性固形分量の測定については日本農林規格の検査法²²⁾に従った。

表 1 HPLC 条件 (糖類, 有機酸, アスコルビン酸, リモノイド)

	糖類	有機酸	アスコルビン酸	リモノイド
カラム	NH2P-50 4E φ 4.6×250 mm, 5 mm (昭和電工製)	KC-811 φ 8.0×300 mm, 6 mm (昭和電工製)	LUNA NH2 φ 3.0×50 mm, 3 mm (フェノメネクス製)	Zorbax Eclipse Plus C18 φ 3.0×50 mm, 1.8 mm (アジレント製)
カラム温度	30℃	50℃	40℃	30℃
移動相	水 / アセトニトリル (25 : 75, v/v)	1.0 mM 過塩素酸	50 mM トリエタノールアミン・ リン酸塩緩衝液 (pH 2.2) / アセトニトリル (15 : 85, v/v)	水 / アセトニトリル (40 : 60, v/v)
流速	1.0 mL/min	1.0 mL/min	0.8 mL/min	0.4 mL/min
反応試薬	—	ST3-R (昭和電工製) の 10 倍希釈液	—	—
反応試薬流速	—	流速 0.5 mL/min	—	—
検出	示差屈折率	430 nm	240 nm	210 nm
注入量	10 μL	10 μL	10 μL	10 μL

4. 濃縮果汁回収試験

濃縮操作により氷粒子に残存する溶質, および実際に回収した濃縮果汁の割合を調べた。試験では 11.9~12.2 °Brix のブタン果汁 7 kg を濃縮装置に入れ, 前述の凍結濃縮試験と同じ操作を行うことにより 30 °Brix 以上を目標に濃縮した。濃縮後も同様に遠心分離機にて濃縮果汁と氷粒子を分離し, 回収した。得られた濃縮果汁の可溶性固形濃度を測定することにより回収率を調べた。

本試験を同様の方法で 7 回行い試料を得た。

5. HPLC 分析

糖類分析：フルクトース, グルコース, スクロースの分析は次の手順で行った。試料をろ紙 (No. 2, アドバンテック東洋製) でろ過し, ミリ Q 水によって任意の割合で希釈した。この希釈試料を孔径 0.45 μm のメンブレンフィルター (ミリポア製) に通過させた後, HPLC 装置に注入した。装置構成はウォーターズ製の 600E マルチソルベント送液システムと 2414 示差屈折計検出器である。HPLC 条件は表 1 の通りである。

有機酸分析：クエン酸とリンゴ酸の分析は次の手順により, ポストカラム法で HPLC 分析した。試料をろ紙 (No. 2, アドバンテック東洋製) でろ過し, ミリ Q 水によって任意の割合で希釈した。この希釈試料を孔径 0.45 μm のメンブレンフィルター (ミリポア製) に通過させた後, HPLC 装置に注入した。装置構成は日本分光製のポンプ PU-980 と検出器 870-UV である。HPLC 条件は表 1 の通りである。

アスコルビン酸分析：次の手順により, 試料中の総アスコルビン酸量を分析した。試料 10 g に 4 % メタリン酸を 10 mL 添加後, 2 % メタリン酸で 50 mL に定容した。定容後の試料 2 mL に 0.1 % ホモシステイン 1 mL, 10 % のリン酸水素 2 ナトリウム 1 mL を順次添加した。続いて 40℃ の水浴中で 20 分間放置し, 0.2 μm のメンブレンフィルター (ミリポア製) に通過させたものを HPLC 試料とした。分析装置は日本分光製の X-LC システムである。HPLC 条件

は表 1 の通りである。

リモノイド分析：リモニン量は次の手順で行った。ろ紙 (No. 2, アドバンテック東洋製) でろ過した試料をアジレント製固相抽出カートリッジ (Excepak SPE-ENV/124, 8 mL, 250 mg) にアプライし, 60 % メタノールで洗浄後, 90 % メタノールで溶出した。この溶出液を 0.2 μm のメンブレンフィルター (ミリポア製) に通過させた後, HPLC 装置 (日本分光製 X-LC システム) に注入した。HPLC 条件は表 1 の通りである。

フラバノン類分析：ナリンギンとヘスペリジンの分析は次の手順で行った。試料を 60 % アセトニトリルによって任意の割合で希釈し, 0.2 μm のメンブレンフィルター (ミリポア製) に通過させた後, HPLC 装置 (日本分光製 X-LC システム) に注入した。HPLC 条件は表 2 の通りである。

アミノ酸分析：アミノ酸分析は次の手順で行った。試料をミリ Q 水で 50 倍希釈し, 0.2 μm のメンブレンフィルター (ミリポア製) に通過させた。このろ過試料をウォーターズ製 AccQ・Tag Ultra 誘導体化試薬キットでラベル化した後, HPLC 装置 (ウォーターズ製 UPLC システム) に注入した。HPLC 条件は表 2 の通りである。

HPLC 分析の標準品として用いたナリンギン, ヘスペリジン, リモニンはシグマ社から入手した。その他の試薬は市販の特級もしくは HPLC グレードのものを用了。

それぞれの HPLC 分析の値は, 繰り返し測定 3 回分の平均値で示した。

実験結果および考察

1. 濃縮実験での製氷速度の推算と氷粒子

濃縮装置にてブタン果汁を濃縮したときの果汁の温度の時系列を図 2 に示す。ブタン果汁を約 12℃ から濃縮を始め, 氷粒子が発生する -1.1℃ まではほぼ直線的に温度が低下している。この傾向から氷粒子の発生量を推算する。ブタン果汁の比熱が水 (H₂O) と同等であると仮定し,

表 2 HPLC 条件 (フラバノン類, アミノ酸)

	フラバノン類	アミノ酸
カラム	2.5C18-MS-II φ 3.0×75mm, 2.5mm (ナカライ製)	AccQ・Tag Ultra φ 2.1×100mm, 1.7mm (ウォータース製)
カラム温度	35℃	60℃
移動相 A	10mM ギ酸アンモニウム緩衝液 (pH 3.7) / アセトニトリル (90:10, v/v)	AccQ・Tag Ultra 溶離液 A (ウォータース製) の 10 倍希釈液
移動相 B	・ 移動相 B: 10mM ギ酸アンモニウム緩衝液 (pH 3.7) / アセトニトリル (20:80, v/v)	AccQ・Tag Ultra 溶離液 B (ウォータース製)
グラジエント条件	0%B (0min) → 50%B (7.0min) → 100%B (7.55min) → 100%B (8.0min)	0.1%B (0min) → 0.1%B (0.54min) → 9.1%B (5.74min) → 21.2%B (7.74min) → 59.6%B (8.04min) → 90%B (8.05min)
流速	0.7 mL/min	0.7 mL/min
検出	285 nm	260 nm
注入量	1.0 μL	1.0 μL

図 2 濃縮運転時の温度の時系列

図中の実験式およびブンタン果汁の質量 7kg より、ブンタン果汁から除かれる熱量は 33.29 kJ/min となる。この熱量がすべて氷粒子の発生に用いられるとし、氷の融解凝固潜熱 333.5 kJ/kg から、濃縮実験での製氷量は約 0.1 kg/min であると推算できる。このときに発生した氷粒子を顕微鏡で撮影したものを図 3 に示す。氷粒子は図中の 200 μm/div のメッシュとほぼ同等の氷粒子である。

2. 原液果汁と濃縮果汁の成分

11.0°Brix の試験用ブンタン果汁を分析したところ、有機酸量 1.2 g/100 mL (クエン酸量とリンゴ酸量の和)、糖類 9.2 g/100 mL (フルクトース、グルコース、スクロースの各濃度の合計値)、アスコルビン酸濃度 40 mg/100 mL、フラバノン類 59 mg/100 mL (ナリンギン濃度とヘスペリジン

図 3 11.0°Brix から製氷したときの氷粒子

濃度の和)、リモニン量 0.07 mg/100 mL の各値が得られた (表 3)。アミノ酸分析では、アスパラギン、セリン、グルタミン、アルギニン、グリシン、アスパラギン酸、グルタミン酸、スレオニン、アラニン、γ-アミノ酪酸、プロリン、バリン、フェニルアラニンが検出された。これら 13 種類の遊離アミノ酸の合計量は 188 mg/100 mL であった (表 4)。

濃縮装置を用いてブンタン果汁を濃縮した結果、13.2%, 19.0%, 23.2%, 34.9%, 38.7% の Brix 値を示す 5 つの果汁が得られた。これら 5 つの濃縮果汁の各 Brix 値は原液果汁を 1.2~3.5 倍に濃縮した値である。5 つの濃縮果汁の各種成分は表 3 に示すように原液果汁から得られた値よりもいずれも高い値を示した。原液果汁と 5 つの濃縮果汁とを合わせた 6 試料について、Brix 値と各種成分値との関係を考察する。汎用表計算ソフト (Microsoft Excel 2010) に付随する近似式機能にて 1 次関数での相関係数 ($0 \leq r \leq 1$, $n = 6$) を求めた (表 5)。すると糖類は、 $r = 0.999$ という非常

表 3 プンタンの原液果汁、濃縮果汁、氷融解液の各種成分

試料	可溶性固形分濃度 (°Brix)	糖類 (g/100 mL)				有機酸 (g/100 mL)			アスコルビン酸 (mg/100 mL)	フラバノン類 (mg/100 mL)			リモノイド (mg/100 mL)
		フルクトース	グルコース	スクロース	合計	クエン酸	リンゴ酸	合計		ナリンギン	ヘスペリジン	合計	リモニン
原液果汁	11.0	2.2	2.0	5.0	9.2	1.1	0.1	1.2	40	54	5.2	59	0.70
濃縮果汁	13.2	2.6	2.4	6.1	11.1	1.4	0.2	1.6	58	81	7.4	88	0.97
濃縮果汁	19.0	4.0	3.5	9.3	16.8	2.0	0.2	2.2	68	108	9.8	118	1.31
濃縮果汁	23.2	4.8	4.4	11.5	20.7	2.6	0.3	2.9	96	120	14.1	134	1.61
濃縮果汁	34.9	7.6	7.0	17.8	32.5	3.6	0.3	3.9	137	141	16.9	158	2.03
濃縮果汁	38.7	8.8	8.2	20.2	37.2	4.1	0.4	4.5	143	200	19.9	220	2.15
氷融解液	0.9	0.1	0.1	0.3	0.5	0.1	—	0.1	3.2	0.1	—	0.1	0.01

表 4 プンタン果汁のアミノ酸量

試料	アミノ酸 (mg/100 mL)													
	Asn	Ser	Gln	Arg	Gly	Asp	Glu	Thr	Ala	GABA	Pro	Val	Phe	合計
原液果汁	16	10	5	23	1	17	23	2	15	4	67	1	3	188
濃縮果汁	18	11	5	26	2	18	24	3	16	4	73	1	4	204
濃縮果汁	27	20	8	43	3	28	35	6	25	6	114	2	2	319
濃縮果汁	28	22	8	53	3	36	47	7	33	8	148	2	3	397
濃縮果汁	36	34	8	84	5	55	71	11	50	11	226	3	4	597
濃縮果汁	36	40	10	96	6	63	81	12	57	13	260	4	5	683

表 5 Brix 値 (Y) の各種成分量 (X) に対する回帰直線式と相関係数

	回帰直線式	相関係数 (r)
糖類	$Y=0.995X+2.158$	0.999
有機酸	$Y=8.603X-0.007$	0.995
アスコルビン酸	$Y=0.263X-0.461$	0.991
フラバノン類	$Y=0.194X-1.795$	0.953
リモニン	$Y=19.335X-4.948$	0.983
総アミノ酸	$Y=0.055X+1.226$	0.995

に高い値が得られた。その他の成分についても、有機酸は $r=0.995$ 、アスコルビン酸は $r=0.991$ 、フラバノン類は $r=0.953$ 、リモニンは $r=0.983$ 、総アミノ酸量は $r=0.995$ という各値が得られた。このように Brix 値と各成分濃度との間に直線的な関係が認められたことから、プンタン果汁が安定して濃縮されたと考えられる。また、装置制御の観点から Brix 値を計測することで濃縮操作が十分に可能であるといえる。

続いて、最も高い °Brix を示した試料の各種成分値を原液果汁の各濃度で除することにより、成分別に濃縮倍率を算出した。すると有機酸量は 3.9 倍、糖類は 4.0 倍、アスコルビン酸量は 3.6 倍、フラバノン類は 3.9 倍、リモニンは 3.1 倍、アミノ酸総量は 3.6 倍であった。他の成分に比べて、リモニンが低い濃縮率を示す傾向であるということは、氷に残存した成分の比率も高いのではないかと予測した。こ

のことを確かめるために、濃縮果汁から取り除かれた氷についても調べることにした。氷を融解し、Brix 値を測定したところ 0.9% を示した。したがって原液成分の約 8% が果汁から氷と一緒に分離されたことが分かった。氷融解液についても果汁と同様に分析した結果、糖類はフルクトース 0.1 g/100 mL、グルコース 0.1 g/100 mL、スクロース 0.3 g/100 mL、有機酸はクエン酸 0.1 g/100 mL がそれぞれ検出された。またアスコルビン酸は 3.2 mg/100 mL、ナリンギンは 0.1 mg/100 mL、リモニンは 0.01 mg/100 mL が検出された。これら氷の成分量を用いて、原液の各成分量に対する百分率を算出し、果汁から氷に分離した割合、すなわち濃縮液に移行しなかった成分の割合を求めた。その結果、フルクトース 5.9%、グルコース 6.6%、スクロース 6.4%、クエン酸 7.5%、アスコルビン酸 8.0%、ナリンギン 0.3%、リモニン 19% の各割合である。このことから、リモニンのみが Brix 値換算の濃縮されなかった割合 (8%) よりも高い値を示すことが分かった。これは先述の予測と一致している。したがってリモニンは、他の成分に比べて、固液分離過程において液体 (果汁) よりも固体 (氷) の方に移る率が高いという傾向が認められた。

プンタン果汁の各成分について、僅かに傾向が異なるものの、Brix 値を調べることで濃縮状態を推測できることが明らかになった。特に果汁の中心的な品質指標である糖類、有機酸、アスコルビン酸、これらに加えてフラバノン類の各濃縮率は、Brix 値の濃縮率を調べるだけで十分に予

測可能であった。

3. 濃縮果汁の回収率

濃縮実験後に濃縮果汁の質量と Brix 値を計測し、初期濃度に換算したときの質量を求め、回収率を算出した。その結果を表 6 に示す。回収率の平均値は 87.9 % であり、これは前項の水の Brix 値から算出した回収率に比して 4 % 程度低い値となった。この原因は、濃縮装置から遠心分離機にサンプルを移すとき、また遠心分離機から濃縮果汁を回収するときに氷粒子や濃縮果汁を十分に回収できなかったためである。製氷構造は異なるものの、白土、手塚ら²³⁾が本研究と同様に製氷部と遠心分離機で構成された独自の凍結濃縮装置にてブドウ、焼酎発酵もろみをサンプルに濃縮実験を行っている。その結果でも目標の濃度までの濃縮は行えているものの、回収率が課題となっている。また、本研究開発の製氷部は氷膜を形成させ、その氷膜上に発生した氷粒子を掻き取る構造である。水溶液を冷却し伝熱面に発生した氷の性状により溶質が混在するなどの報告²⁴⁾があることから、氷膜の性状が濃縮成分の安定性、また装置的には製氷効率および回収率に影響することが考えられる。

本研究開発の装置の取り組みは、全自動にて液状食品を目標の濃度まで濃縮し、回収率が 90 % 以上となる装置システムを実用化することを目的としている。実験結果からスラリーアイス製造装置と遠心分離機を用いることで目標の回収率が得られることが示唆された。また、濃縮果汁の分析から、Brix 値と各主要な成分に線形的な関係が得られることから、濃縮運転の際の濃度管理は可溶性固形分を計測することが有効である見通しも得られた。今後、自動濃縮装置システムを達成するために、製氷部のモデル化、氷粒子と液体の特性による遠心分離効率の基礎的データをさらに蓄積し装置の基本構造を確立する。

要 約

スラリーアイス製造装置と遠心分離機を組み合わせた懸濁結晶法による凍結濃縮システムにて、ブタン果汁を用い濃縮を行ったときの成分分析、濃縮果汁の回収率から同システムの性能の有効性を調べた。

実験では 11.0 °Brix のブタン原液果汁を濃縮装置に投入し、13.2~38.7 °Brix の濃縮果汁を得た。HPLC 分析により、濃縮果汁のフルクトース、グルコース、スクロース、クエン酸、リンゴ酸、アスコルビン酸、ナリンギン、ヘスペリジン、リモニン、アミノ酸の各含量の分析を行った。その結果、すべての成分が原液果汁よりも濃縮され、各成分と Brix 値の濃縮倍率には相関があり、線形的な関係が見られた。濃縮果汁の回収率を調べる実験では、約 3 倍に濃縮したときの平均回収率が 87.9 % であった。これによりブタン果汁を用いた実験では本システムにて安定した濃縮が行え、しかも高い回収率が見込めることが示唆され

表 6 ブタン果汁を濃縮し回収した濃縮果汁から算出した回収率

No.	濃縮果汁の濃度 (° Brix)	回収率 (%)
1	36.4	90.7
2	35.3	87.4
3	35.8	87.9
4	37.5	86.3
5	42.0	84.0
6	40.7	91.9
7	29.7	87.2
平均	36.8	87.9

た。

本研究は科学技術振興機構の研究成果最適展開支援事業 フィージビリティスタディステージ可能性発掘タイプ (シーズ顕在化) の助成を得て行った成果の一部である。

文 献

- 1) 西本年伸, 高知県の特産品一土佐文旦・水晶文旦, 果実日本, **57**, 26-29 (2002).
- 2) 農林水産省統計, 平成 21 年産特産果樹生産動態等調査, 種類別栽培状況 (都道府県), [http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan_kazyu] (2009).
- 3) 町口一彦, 我が国の果実加工を巡る状況, 日本食品科学工学会誌, **58**, 272-276 (2011).
- 4) 蔡 護華, 夏 曉明, 渡部由香, 橋永文男, ブタン果実 (*Citrus grandis* Osbeck) に存在するリモノイド配糖体合成活性, 園芸学会雑誌, **67**, 453-458 (1998).
- 5) 蔡 護華, 橋永文男, 上野博久, 渡部由香, ブタン果皮煮沸中の苦味成分の回収, 日本食品科学工学会誌, **42**, 802-807 (1995).
- 6) 白石義人, 食品製造における凍結濃縮技術の応用, 化学装置, **3**, 37-41 (1997).
- 7) 高島英也, 村上隆男, 氷結製法によるビール・ワイン (ビール), 冷凍, **71** (822), 2-9 (1996).
- 8) 松本信彦, 氷結製法によるビール・ワイン (ワイン), 冷凍, **71** (822), 10-12 (1996).
- 9) Matsuda, A., Kawasaki, K. and Kadota, H., Freeze concentration with supersonic radiation under constant freezing rate -Effect of kind and concentration of solutes-, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, **32** (5), 569-572 (1999).
- 10) Rolf, H., Concentration of impurities by progressive freezing, *Water Research*, **14**, 575-580 (1980).
- 11) 川崎健二, 松田 晃, 超音波照射を利用した凍結濃縮法, 超音波 TECHNO, **21** (3), 46-49 (2009).
- 12) 川崎健二, 太田浩行, 入谷英司, 片桐誠之, 松田 晃, 超音波照射を利用した凍結濃縮操作のペントナイト懸濁液の適正, 化学工学論文集, **35**, 133-137 (2009).
- 13) 早川喜郎, 界面前進凍結法によるジュース濃縮システムの開発, 農林水産技術研究ジャーナル, **33** (5), 39-42 (2010).
- 14) 早川喜郎, 分離・濃縮技術を活用したおいしさ・健康機能を有する野菜・果実加工品の開発, 食品と開発, **44** (4), 7-9 (2009).
- 15) 宮脇長人, 界面前進凍結濃縮一液状食品の新しい高品質濃縮法, *Foods & Food Ingredients Journal of Japan*, **214** (3), 125-130 (2009).
- 16) 宮脇長人, 界面前進凍結法による食品の高品質濃縮, 日本

- 食品科学工学会第 58 回大会講演集, p.22, 宮城 (2011).
- 17) Gu, X., Watanabe, M., Suzuki, T. and Miyawaki, O., Limiting partition Coefficient in a tubular ice system for freeze-concentration. *Food Sci. Thechnol. Res.*, **14**, 249-252 (2008).
- 18) 松野隆一, 凍結濃縮, 「濃縮と乾燥」, 第 1 版 (光琳, 東京), pp. 113-174 (1989).
- 19) 横川 明, 松本泰典, 岩川三和, 北村和之, 宇野光世, スラリーアイス的小型製造装置, 海洋システムエンジニアリング, **11**, 40-44 (2006).
- 20) 松本泰典, 横川 明, 宇野光世, 北村和之, 岩川三和, NaCl 水溶液を用いた氷スラリー製造装置による製氷能力に関する研究, *Journal of MMIJ*, **124** (4), 240-244 (2008).
- 21) 松本泰典, 黒原健朗, 下元道夫, 多田昭介, 山口 薫, 中越竜夫, 北村和之, マルソウダガツオ (メジカ) の鮮度保持法の検討, 高知工科大学紀要, **8**, 199-206 (2011).
- 22) 日本果汁協会, IV 管理編 B 試験法, 「最新果汁・果実飲料事典」, 第 1 版 (朝倉書店, 東京), pp.574-575 (2008).
- 23) 白土博康, 手塚正博, 松田 宏, 内藤彰彦, 中林 司, 永沼睦夫, 凍結濃縮法のアルコール飲料への適用, 北海道立工業試験場報告, **297**, 71-78 (1998).
- 24) Okawa, S., Ito, T. and Saito, A., Effect of crystal orientation on freeze concentration of solutions. *International Journal of Refrigeration*, **32**, 246-252 (2009).
- (平成 24 年 1 月 19 日受付, 平成 24 年 6 月 27 日受理)
-