ハチミツ限外濾過プロセスの特性評価

伊藤新次*・寺川美加*・正木孝生**・山崎勝己**・小久保謙一**・渡辺敦夫**

Characterization of Honey Ultrafiltration Process

Shinji ITOH*, Mika TERAOKA*, Takao MASAKI**, Masaki YAMAZAKI**,
Ken-ichi KOKUBO** and Atsuo WATANABE**

*Kato Brothers Honey Co. Ltd., Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama-shi,
Kanagawa 236-0004, Japan

**Graduate school of Science and Technology, Niigata University, 2-8050, Ikarashi,
Niigata-shi, Niigata 950-2181, Japan

Ultrafiltration is a treatment used to transform raw honey into a material suitable for food processing. But the operating conditions required for the efficient ultrafiltration of honey have not been obtained. The effects of dilution of honey with water, molecular weight cut-off of ultrafiltration membrane, feed flow velocity and applied pressure on the performance of ultrafiltration were examined. At the same feed flow velocity and applied pressure, the permeation rate of sugar increased with temperature and dilution of honey. The water activity of honey increased with dilution, and when the sugar concentration of honey is greater than 35.5%, the water activity is less than 0.94; such conditions inhibit multiplication of microorganisms. The flux of the ultrafiltration membranes with a molecular weight cut-off below 30 000 slightly changed by alterations in the variety of honey and the pH of honey solutions, indicating that these membranes are suitable for industrial use. The optimum conditions needed for ultrafiltration were also examined in terms of energy efficiency. Less energy was needed at lower flux. The combination of feed flow velocity and applied pressure minimizing the required energy for ultrafiltration can be determined at each flux.

(Received Dec. 9, 1999; Accepted Feb. 18, 2000)

古くから健康的な甘味料として世界の様々な国で愛用されてきたハチミツはパンやホットケーキの甘味材として幅広く使用されている。現在、我が国のハチミツの消費量は約4万トンであるが、健康志向などから各種食品の原料としての用途が拡大している。

清涼飲料水やカステラなどの添加原料としてハチミツを使用すると、沈殿の発生や焼き上がり時の膨らみ不良などの問題が生じる。我々は、その原因がハチミツ中に含まれるタンパク質や酵素であることを明らかにし、限外濾過膜を用いてそれらの溶質を除去することによって、問題点が改善されることを報告した¹⁾。しかし、ハチミツの限外濾過プロセスの設計や操作条件の設定に必要な

な基礎データは明らかになっていない。

ハチミツは糖度が約80%の液糖であり、粘度が高いため、そのまま限外濾過すると膜、ポンプ、配管などにかかる負荷が大きく、濾過効率が悪い。ハチミツを効率良く濾過するためには、粘度が適正な値になるように希釈する必要がある。ハチミツを希釈すると、粘度が低下して透過流束が増加する一方で、透過液の糖度が低下する。糖の回収速度は希釈による透過流束の増加と透過液の糖度の減少のバランスで決まるので、糖の回収速度ができるだけ大きくなるように濾過原液の糖度を設定したい。そこで、始めに濾過原液の糖度と糖の回収速度の関係について検討した。

* (株) 加藤美峰園本舗 (〒236-0004 神奈川県横浜市金沢区福浦2-1-8)

** 新潟大学大学院自然科学研究科 (〒950-2181 新潟県新潟市五十嵐二の町8050)

ハチミツは本来腐敗しにくい食品であるが、希釈すると細菌が繁殖する恐れがある。水分活性値は細菌の繁殖条件に関わる物性値であり、一般的な細菌の栄養細胞では 0.9 以上で発育し、細菌胞子は 0.95 で発芽することが多い²⁾。そこで、ハチミツの糖度と水分活性値の関係を測定し、細菌の増殖抑制の観点から希釈の限界を検討した。

糖の回収速度および細菌の増殖抑制の両面から、適正な濾過原液の糖度を明らかにした。

ハチミツに含有されているタンパク質や酵素はミツバチの蜜胃および花粉由来すると考えられる。これは、ハチミツの品質を調べる手法の一つとしてジアスターゼ活性³⁾⁴⁾や glucose-oxidase 活性⁵⁾が分析されていることや、ハチミツから sucrose や maltose の glucose 末端を加水分解する α -glucosidase が単離されている⁶⁾ことなどからも推測できる。そこで、最適膜種の選定を目的として、4 種類のハチミツに含まれるタンパク質の分子量分布を高速液体クロマトグラフィー（以下、HPLC と表記）およびポリアクリルアミドゲル電気泳動（以下、PAGE と表記）によって測定した。また、分画分子量の異なる膜を用いてハチミツ種や pH を変化させたときの濾過性能を測定し、工業的にハチミツを限外濾過する場合の適正膜種について検討した。

ハチミツを濾過すると、同一の透過流束になる操作圧力と保持液のモジュール内平均線速の組み合わせが多数できる。そこで、操作圧力と平均線速を変化させて透過流束を測定し、同一透過流束になるときの操作圧力と平均線速の関係を明らかにした。さらに、一定量の透過液を得るのに必要なエネルギーを計算し、適正な操作条件の決定法について検討した。

実 験 方 法

1. 供試材料

ハチミツは平成 9 年に輸入された中国産アカシア、中国産ホワイト、アルゼンチン産クローバー、アメリカ産

オレンジハチミツを使用した。各ハチミツを濾過試料とする場合には、純水を用いてハチミツを所定の糖度に調整し、150 メッシュのナイロンフィルターで夾雑物を除去した後、濾過試料とした。

2. 希釈条件の検討

(1) 粘度の測定

中国産ホワイトハチミツを糖度 30, 40, 50, 60% に調整し、温度 20~70℃ における各粘度を測定した。粘度計は BL 型（東京計器）を使用し、ローターは BL アダプターを使用した。

(2) 温度および糖度を変化させたときの糖の回収速度

既報¹⁾に示した装置と同様の膜装置を用いて、中国産ホワイトハチミツを限外濾過した。ただし、本実験では、ロータリーポンプ 1.5 kw（中村金属(株)）を用いた。また、ポンプの出力は変速機（椿(株)）を用いて調節した。分画分子量 10 000 の限外濾過膜（表 1）を用いて、操作圧力 0.15 MPa、平均線速 1.5 m/s で、ハチミツの温度あるいは糖度を変化させて透過流束の定常値 J_v (m/s) を測定した。

このときの単位膜面積当たりの糖の回収速度 (kg/(m²s)) を、 C を糖濃度 (kg/m³) とし、 $J_v C$ より求めた。また、その時の粘度 μ (Pas) および操作圧力 ΔP (Pa) から、D'Arcy の式¹⁰⁾、

$$J_v = \frac{\Delta P}{\mu R_t} \quad (1)$$

を用いて、透過抵抗 R_t (m⁻¹) を求めた。

(3) 水分活性値の測定

中国産アカシア、中国産ホワイト、アルゼンチン産クローバー、アメリカ産オレンジハチミツの糖度を 30~40% に調整した。それぞれの糖度の試料を平衡湿度測定器 (ROTRONIC HYGROSKOP BT) の専用セルに 1 g ずつ入れ、平衡湿度を測定した。得られた平衡湿度を 100 で除して水分活性値を得た。

3. 適正膜種の検討

(1) ハチミツ中のタンパク質分子量分布の測定

表 1 使用した膜種

分画分子量	材 質	有効膜面積 (m ²)	サイズ (mm)	製 造 会 社
10 000	PS	1.4	φ 42×347	旭化成(株)
30 000	PES	1.4	φ 59×331	ダイセンメンブレン(株)
150 000	PES	0.8	φ 59×331	ダイセンメンブレン(株)
500 000	PES	0.8	φ 59×331	ダイセンメンブレン(株)

PS : Polysulfone, PES : Polyether sulfone

タンパク質分子量分布は HPLC および PAGE により測定した。HPLC による測定は、既報¹⁾と同様の方法で行った。

PAGE はウェッジタイプ恒温式ミニゲルスラブ泳動装置 (日本エイダー (株)) を用いて測定した。サンプルはハチミツ 1 g を 0.5 M リン酸ナトリウム緩衝液 (pH 7) 30 μ l と水 1.5 ml に溶解して調製した。ポリアクリルアミドゲルの濃度は 5% として作成した。泳動用緩衝液は 0.1% のドデシル硫酸ナトリウムを添加した 0.05 M リン酸ナトリウム緩衝液 (pH 7) を使用し、30 mA の電流値で泳動を行った。染色は、Quick-CBB (和光純薬工業 (株)) を使用し、30 分間の染色の後、純水中でバックグラウンドを脱色した。分子量マーカーは、SIGMA MARKER High (M3788) (シグマ社) を使用し、指標とした。

(2) 透過流束およびタンパク質の阻止率の測定

分画分子量が 10 000, 30 000, 150 000, 500 000 の 4 種の膜 (表 1) を使用し、4 種類のハチミツの限外濾過を行った。限外濾過は操作圧力 0.15 MPa、濾過温度 35°C、平均線速 1.5 m/s で行い、透過流束の定常値を測定した。また、定常値の透過液および保持液の水溶性タンパク質濃度を既報¹⁾に従って測定した。

次に、中国産ホワイトハチミツの pH を 2.7~8.3 まで変化させ分画分子量 500 000 の膜を用いて限外濾過処理を行い、透過流束の定常値および透過液の水溶性タンパク質濃度を測定した。それらの結果から、ハチミツを限外濾過する際の適正膜種について検討した。

4. 操作条件の検討

分画分子量 10 000 の限外濾過膜 (表 1) および中国産ホワイトハチミツを使用した。濾過温度 35°C で、操作圧力を 0.1 MPa~0.25 MPa、平均線速を 1.0~2.5 m/s に変化した。得られた透過流束の定常値から濾過に必要なエネルギーを最小にする操作条件を検討した。

エネルギー量は通常、ポンプにかかる電力量から計算するが、試験機においては電流量が小さく正確な電力量を積算することは困難である。そこで、ベルヌーイの式を用いて、流体 1 kg を流すのに必要なポンプの所要エネルギー W (J/kg) を計算した。

$$W = \frac{p_o - p_i}{\rho} \quad (2)$$

ここで、 p_i はポンプ入口圧力 (大気圧) (Pa)、 p_o はポンプ出口圧力 (モジュール入口圧力) (Pa)、 ρ は密度 (kg/m³) である。したがって、単位時間当たりの所要エネルギー E (J/s) は、

$$E = W\rho (AJ_v + Q_o) \quad (3)$$

となる。ここで、 A は膜面積 (m²)、 J_v は透過流束 (m/s)、 Q_o は保持液流量 (出口) (m³/s) である。これより、透過液 1 m³ を得るのに必要なエネルギーは $E/(AJ_v)$ (J/m³) で表すことができる。

本実験で使用了したモジュールでは、モジュール入口圧力 (ポンプ出口圧力) p_o と操作圧力 p_{avg} および保持液流量 (出口) Q_o の間に、

$$p_o = p_{avg} + 9.23 \times 10^7 Q_o \quad (4)$$

という関係があった。操作圧力からモジュール入口圧力を計算する際には、(4)式を用いた。

結果および考察

1. 希釈条件の検討

糖度が異なるときのハチミツの粘度と温度の関係を図 1 に示す。粘度の対数値と温度の逆数の間には直線関係が得られた。すなわち、各糖度において Andrade の式⁸⁾

$$\mu = a \exp\left(\frac{b}{T}\right) \quad (5)$$

が成り立っている。ここで、 T は絶対温度、 a 、 b は定数である。牛乳、コーヒー、果汁などでは、定数 a 、 b は濃度の二次関数で表される⁹⁾。ハチミツの場合も同様の傾向を示している。

分画分子量 10 000 の限外濾過膜を用いて操作圧力 0.15 MPa、平均線速 1.5 m/s で糖度 40% のハチミツを濾

図 1 糖度による粘度と温度の相関

- 糖度 30
- 糖度 40
- ×— 糖度 50
- △— 糖度 60

過したときの透過流束の定常値、糖の回収速度、透過流束と粘度の値から(1)式により計算した透過抵抗、および糖度の値を表2に示す。温度を変化させた場合には、透過液の糖度は変化しないので、透過流束が大きいほど糖の回収速度が大きい。表より温度が高いほど透過流束が大きく、糖の回収速度が大きいことがわかる。このとき、温度が高くなるにつれて透過抵抗は若干大きくなるが、糖度は小さくなる。(1)式に示したように、透過流束は粘度と透過抵抗によって変化する。温度を変化させた場合、透過抵抗の変化は少なく、粘度変化の影響を大きく受けて透過流束が変化していることがわかる。したがって、同一濾過条件でハチミツを濾過した場合には、温度が高いほど糖の回収速度が大きくなると考えられる。

糖度の異なるハチミツを温度35℃で濾過したときの透過流束の定常値、糖の回収速度、透過抵抗、および粘度の値を表3に示す。糖度を変化させた場合、透過流束の変化と糖度の変化のバランスにより糖の回収速度が決まる。表より糖度が低いほど、透過流束および糖の回収速度が大きくなっている。糖度を低くしたときに、糖度の減少分を上回る透過流束の増加が得られたためである。このとき、糖度が低くなるにつれて透過抵抗が大きくなっているが、粘度は小さくなっている。透過流束は、温度変化のときと同様に、透過抵抗の変化より粘度の変化の影響を主に受けていることがわかる。したがって、同一濾過条件でハチミツを濾過した場合には、糖度が低いほど糖の回収速度は大きくなると考えられる。

表 2 温度の変化による透過抵抗と糖回収速度

温度 (℃)	粘度 (Pa・s)	透過流束 ($l/(m^2 \cdot h)$)	透過抵抗 (m^{-1})	回収速度 ($kg/(m^2 \cdot s)$)
20	5.55×10^{-3}	10.4	9.40×10^{12}	1.39×10^{-3}
30	4.12×10^{-3}	12.9	10.2×10^{12}	1.72×10^{-3}
35	3.77×10^{-3}	13.5	10.6×10^{12}	1.80×10^{-3}
40	3.36×10^{-3}	14.7	10.9×10^{12}	1.96×10^{-3}
50	2.53×10^{-3}	18.8	11.4×10^{12}	2.51×10^{-3}

表 3 糖度の変化による透過抵抗と糖回収速度

糖度 (%)	粘度 (Pa・s)	透過流束 ($l/(m^2 \cdot h)$)	透過抵抗 (m^{-1})	回収速度 ($kg/(m^2 \cdot s)$)
30	2.22×10^{-3}	19.8	12.3×10^{12}	1.90×10^{-3}
40	3.77×10^{-3}	13.5	10.6×10^{12}	1.80×10^{-3}
50	7.56×10^{-3}	10.2	7.00×10^{12}	1.77×10^{-3}

表2、表3に示した結果から、温度、糖度のいずれを変化させた場合も、回収速度は主に粘度の変化の影響を受けていることがわかった。したがって、粘度が低くなるように温度をできるだけ高く、また、糖度をできるだけ低くすることにより、回収速度を大きくできると考えられる。

表2、3では、同一のハチミツを用い、同一の操作条件で実験したにも関わらず、透過抵抗が温度や糖度によって若干変化した。透過抵抗はファウリングの状態を表すことから、同一操作条件であっても温度や糖度を変化させると、ファウリングが異なることがわかる。この原因としては、温度変化や糖度変化によってハチミツの性状、特にファウリング物質の性質が変化したこと、粘度が異なることでモジュール内の圧力勾配が変化するため局所におけるファウリングが異なったことなどが挙げられる。

図2に希釈したハチミツの糖度と水分活性値の関係を示す。希釈することによりハチミツの糖度を低下させると、水分活性値が大きくなることがわかる。食品衛生法では、常温流通品である水産ねり製品の水分活性値を0.94以下と定めている⁷⁾。また、清涼飲料水の製造基準では、水分活性値0.94を境として殺菌方法が分けられている⁷⁾。したがって、ハチミツの場合、希釈時の水分活性値が0.94以下であれば、細菌の繁殖に対する増殖抑制効果があると考えた。水分活性値が0.94になるハチミツの

図 2 糖度による水分活性値の変化

- 中国産ホワイト
- 中国産アカシア
- ×— アルゼンチン産クローバー
- △— アメリカ産オレンジ

糖度は33～35.5%であった。ロット差などもあることから、安全率を考慮して糖度40%程度になるような希釈が適当であると考える。

以上の結果から、糖度が低いほど、また、温度が高いほど、糖の回収速度が大きいことがわかった。したがって、糖の回収速度を増加させるには、糖度はできるだけ低い方が良く、また温度はできるだけ高い方が良く考えられる。ただし、糖度が低くなると、水分活性値が大きくなり、細菌に対する増殖抑制効果がなくなるので、糖度は40%程度が好ましいと考えられる。また、温度が高くなると褐変や品質の低下が起こるので、操作温度は、30～40℃程度が好ましいと考えられる。

2. 適正膜種の検討

(1) ハチミツ中のタンパク質分子量分布

図3にHPLCを使用して測定した各種ハチミツのタンパク質の分子量分布を示す。また、図4にPAGEを使用して測定した各種ハチミツのタンパク質の分子量分布を示す。

分子量マーカーを基準にハチミツ中のタンパク質の分子量を推測したところ、大きく分けて5つの画分の存在が確認でき、HPLC、PAGEのいずれにおいてもほぼ同様の結果を得た。PAGEの結果から、タンパク質の分子量は10 000、40 000、65 000、90 000、110 000 Daの5画分が存在することがわかったが、分子量10 000 Daの画分については、非常に微量であったため、撮影が困難であった。また、ハチミツの種類によりタンパク質の組成は異なっているが、含まれるタンパク質の分子量分布はほぼ等しいと考えられた。

(2) 透過流束およびタンパク質の阻止率

4種類のハチミツを分画分子量10 000、30 000、500 000の膜を用いて限外濾過した。このときの保持液および透過液中の水溶性タンパク質濃度を表4に示す。すべての膜においてタンパク質は除去され、透過液中には水溶性タンパク質は検出されなかった。この結果はハチミツ中のタンパク質によって自己阻止型のダイナミック膜が形成され、膜の種類に依存しない阻止率が得られたことを示している。このような膜の阻止性能を越えた現象はダイナミック膜⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾として知られており、サトウキビ糖液の清澄化⁽¹⁾、すり身廃液の処理⁽⁴⁾などに応用された。ハチミツでも同様にハチミツ中に含まれているタンパク質によりダイナミック膜が形成され、分画分子量の大きい膜においてもタンパク質が阻止されたと考えられる。

pHを変化させたときの透過流束と透過液中の水溶性タンパク質濃度の変化を図5に示す(分画分子量500

図3 HPLCによるハチミツのタンパク質分子量分布

----- アルゼンチン産クローバー
 ———— アメリカ産オレンジ
 中国産アカシア
 ————— 中国産ホワイト

図4 PAGEによるハチミツのタンパク質分子量分布

1, Marker; 2, アメリカ産オレンジ; 3, アルゼンチン産クローバー; 4, 中国産ホワイト; 5, 中国産アカシア。

表 4 保持液および透過液中の水溶性タンパク質濃度

ハチミツ種	水溶性タンパク質濃度 ($\mu\text{g/ml}$)			
	保持液	透過液		
		膜の分画分子量		
		10 000	30 000	500 000
アカシア	222	ND	ND	ND
ホワイト	432	ND	ND	ND
クローバー	386	ND	ND	ND
オレンジ	426	ND	ND	ND

図 5 pH による透過液中のタンパク質濃度と透過流束の変化

□ 透過流束
■ タンパク質溶出濃度

000 の膜を使用). タンパク質は, 低 pH および高 pH で膜を透過している. また, タンパク質の透過が見られた pH においては透過流束の増加が見られた. このことからハチミツ濾過時に形成されるダイナミック膜の構造はハチミツの pH によって変化すると考えられる.

pH 8.3 において測定した各膜の透過流束と透過液中の水溶性タンパク質濃度を図 6 に示す. 分画分子量が 30 000 の膜ではタンパク質が透過していないが, 分画分子量がそれより大きい膜では, タンパク質が透過している.

分画分子量 500 000 の限外濾過膜で処理した透過液に含まれるタンパク質の分子量分布を HPLC により測定した (図 7). 透過したタンパク質は分子量 50 000 Da から 100 000 Da 程度であることがわかる. ハチミツ水溶液

図 6 膜の分画分子量による透過液中のタンパク質濃度と透過流束の変化

□ 透過流束
■ タンパク質溶出濃度

図 7 PES 500 000 の膜で濾過した透過液中のタンパク質分子量分布 (HPLC)

— 透過液 (pH 8.3)
- - - 透過液 (pH 3)
..... 中国産ホワイトハチミツ

を pH 8.3 に調整した場合, ダイナミック膜による阻止効果はほとんど期待できない.

各種ハチミツの分画分子量と透過流束の定常値の関係を図 8 に示す. 中国産アカシア, ホワイトハチミツでは, 分画分子量による透過流束の差は少なく, アルゼンチン

図 8 ハチミツの分画分子量と透過流束の相関

- 中国産アカシア
- 中国産ホワイト
- × アメリカ産オレンジ
- △ アルゼンチン産クローバー

産クローバー、アメリカ産オレンジハチミツでは、分画分子量が大きい膜ほど、透過流束の定常値が大きい。ハチミツの種類による透過流束の変化は、分画分子量 10 000 の膜で 3 倍であるのに対し、分画分子量 500 000 の膜では約 5 倍であった。

(3) 工業的にハチミツを限外濾過する場合の適正膜種

ハチミツのみを限外濾過する場合には、分画分子量の大きい膜を使用しても、ダイナミック膜が形成されるので、タンパク質の除去は可能である。また、分画分子量が大きい膜ほど透過流束が大きいので、ハチミツの限外濾過に適している。ただし、日本で輸入されるハチミツの 90% 以上¹⁵⁾ を占める中国産ハチミツでは、分画分子量の大きい膜を使用する効果は少ない。また、分画分子量の大きい膜はハチミツの種類による透過流束の差が大きいので、工業的には勤務時間のシフトに合せたスケジューリングの設定が煩雑になる点で注意が必要である。

ハチミツはレモン、梅、カリンなど酸度の高い果実の抽出糖液としても利用される。これらの抽出液は、限外濾過することで清涼飲料水や他の食品の原料として使用することができるが、pH が低いという特徴がある。図 5 に示したように、pH が低くなると分画分子量の大きい膜では、ダイナミック膜によるタンパク質の阻止効果は期待できない。したがって、酸度の高い果実の抽出糖液を限外濾過する場合、分画分子量 30 000 以下の膜を選定する必要がある。

3. 操作条件の検討

操作圧力と平均線速を変化させて得られた透過流束の値を基にして、同一の透過流束を得るのに必要な操作圧力と平均線速を求めた。図 9 に同一の透過流束を得ることができる操作圧力と平均線速の関係を示す。このようなプロットを取ることで任意の透過流束を得るのに必要な操作条件の設定が容易になる。

透過液 1 m³ を得るのに必要なエネルギー $E/(AJ_v)$ を平均線速ごとにプロットしたところ、図 10 を得た。透過流束が低いほど透過液 1 m³ を得るのに必要なエネルギーが少なくなることがわかる。また、同じ透過流束において、必要エネルギーが最小になる操作圧力と平均線速の組み合わせがある。例えば、透過流束 13 l/(m²·h) の場合、必要エネルギーを最小にする操作条件は、図 10 より平均線速が 1.5 m/s、図 9 より操作圧力が 0.15 MPa であることがわかる。

このように透過流束が決まれば、その透過流束を得るのに必要なエネルギーが最小になる操作条件を決定することができる。また、透過流束が小さいほど、運転に必要なエネルギーが少なくなる。工業的にハチミツを限外濾過する場合、透過流束を小さい値に設定するために

図 9 ハチミツ処理時の圧力と線速の相関

- $J_v=10$ (l/(m²·h))
- $J_v=11$ (l/(m²·h))
- × $J_v=12$ (l/(m²·h))
- △ $J_v=13$ (l/(m²·h))
- ◇ $J_v=14$ (l/(m²·h))
- $J_v=15$ (l/(m²·h))
- $J_v=16$ (l/(m²·h))
- ▲ $J_v=17$ (l/(m²·h))

図 10 平均線速とエネルギー効率の相関

- $J_v = 11$ ($l/(m^2 h)$)
- × $J_v = 12$ ($l/(m^2 h)$)
- △ $J_v = 13$ ($l/(m^2 h)$)
- ◇ $J_v = 14$ ($l/(m^2 h)$)
- $J_v = 15$ ($l/(m^2 h)$)
- $J_v = 16$ ($l/(m^2 h)$)
- ▲ $J_v = 17$ ($l/(m^2 h)$)

は、膜面積を大きくするか、濾過時間を長くする必要がある。膜面積を大きくすると初期の設備投資が大きくなる。一方、濾過時間が長くなると人件費などのコストが増加する。したがって、透過流束の値は、それらを総合的に考慮して決定する必要がある。

要 約

高粘度であるハチミツの限外濾過処理をするときの希釈条件、膜種および操作条件が濾過性能に与える影響について検討し、ハチミツを効率的に濾過するために必要な操作条件を明らかにした。以下に得られた結果を要約する。

(1) 同一操作条件でハチミツを濾過すると、糖度が低いほど、また、温度が高いほど、回収速度が大きい。

(2) ハチミツを希釈すると糖度の低下に伴って水分活性値が増加する。この傾向はハチミツの種類によって若干異なる。今回用いた 4 種類のハチミツにおいて、細菌

の増殖抑制効果が期待できる水分活性値 0.94 以下を満足する糖度は 35.5% 以上である。

(3) 分画分子量 10 000 から 30 000 の限外濾過膜は、ハチミツ種による透過流束の変化および pH による透過流束の変化が少なく、工業的な使用に適している。

(4) 透過流束が低いほど一定量の透過液を得るのに必要なエネルギーは少ない。また、一定量の透過流束を得るのに必要なエネルギーを計算することで、必要エネルギーを最小にする操作圧力と平均線速の組み合わせを求めることができる。

文 献

- 1) 伊藤新次・吉岡 薫・寺川美加・関口陽子・小久保謙一・渡辺敦夫：食科工，**46**，293 (1999)。
- 2) 山口和夫・金子安之・好井久雄：食品微生物学，(技報堂出版，東京)，p. 75 (1980)。
- 3) 長谷 幸・大立真理子・紅林曉美・鈴木繁男：日食工誌，**20**，257 (1973)。
- 4) 長谷 幸・鈴木修武・大立真理子・鈴木繁男：食品総合研究所研究報告，**28**，63 (1974)。
- 5) 越後多嘉志・竹中哲夫・市村 眞：日食工誌，**21**，223 (1974)。
- 6) 越後多嘉志・竹中哲夫：農化，**47**，177 (1973)。
- 7) 日本食品衛生学会編：食品・食品添加物等規格基準 (抄)：食衛誌，**40**，J-35 (1999)。
- 8) Robert, John, Thomas：気体・液体の物性推算ハンドブック，第 3 版，平田光穂監訳 (マグローヒルブック，東京)，p. 434 (1985)。
- 9) 田川彰男・村松良樹・北村 豊・田中親紀：食科工，**44**，69 (1997)。
- 10) ZEMAN, L.J. and ZYDNEY, A.L.：Microfiltration and Ultrafiltration. Principles and Applications, (Marcel Dekker inc., New York), p. 414 (1996)。
- 11) KISHIHARA, S., TAMAKI, H., FUJI, S. and KOMOTO, M.：J. Membrane Sci., **41**，103 (1984)。
- 12) OHTANI, T., WATANABE, A., HOSHINO, C. and KIMURA, S.：Int Chemical Eng., **27**，295 (1987)。
- 13) 大谷敏郎・渡辺敦夫・木村尚史：膜，**13**，321 (1989)。
- 14) 昌子 有・中嶋光敏・鍋谷浩志・大谷敏郎・渡辺敦夫：農化，**62**，1055 (1988)。
- 15) 日本関税協会：日本貿易月表，**12**，(1998)。

(平成 11 年 12 月 9 日受付，平成 12 年 2 月 18 日受理)