

琉球大学学術リポジトリ

[報文]膜利用によるケーンジュースの濃縮

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 南方資源利用技術研究会 公開日: 2014-10-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 岸原, 士郎, 玉城, 一, 藤井, 聡, 國府田, 佳弘, KISHIHARA, Shiro, TAMAKI, Hajime, FUJII, Satoshi, KOHDA, Yoshihiro メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002016517

報 文

膜利用によるケーンジュースの濃縮

岸原士郎, 玉城 一*, 藤井 聡
(神戸大学農学部, *自然科学研究科)

國府田佳弘
(琉球大学農学部)

Concentration of Cane Juice by Means of Membrane Process

Shiro KISHIHARA, Hajime TAMAKI*, Satoshi FUJII and Yoshihiro KOHDA**

*Faculty of Agriculture and *The Graduate School of Science and Technology, Kobe University, Rokkodai, Nada, Kobe 657*

***College of Agriculture, University of the Ryukyus, Nishihara, Okinawa 903-01*

In the present cane sugar factory cane juice is concentrated by vaporization through application of heat in a vacuum pan. This process expends a great deal of energy. Some experiments for concentration of cane juice using reverse osmosis technique which has an advantage for energy balance have been tried. The present study was carried out to obtain additional information for application of reverse osmosis process to concentration of cane juice. Direct application of the technique to cane juice was infeasible. After several pretreatments cane juice was concentrated under different operating conditions by the reverse osmosis technique. The permeation flux was increased with lowering sugar concentration, rising operating pressure, elevating temperature and rising stirring speed. So-called "hot liming" was undesirable for the pretreatment of the reverse osmosis technique. Ultrafiltration through PM-10 membrane (cut-off molecular weight of 10,000) resulted in improvement of the flux of the reverse osmosis process.

Ultrafiltration through a self-rejecting membrane formed on a porous ceramic tube was more recommendable for the pretreatment because the flux through the self-rejecting membrane was larger than that through PM-10 membrane and when the permeate resulted through each ultrafiltration technique was concentrated by the reverse osmosis process, the flux of permeate through the self-rejecting membrane was practically the same as that through PM-10 membrane.

緒 論

製糖工場(甘蔗糖工場またはビート糖工場)において糖汁(ケーンジュースまたはビートジュース)の濃縮は現在加熱蒸発法によって行われており、この蒸発濃縮工程におけるエネルギー消

費量は莫大なものである。しかるに、近年エネルギー消費の極めて少ない濃縮法として逆浸透法が注目されている。逆浸透法の所要エネルギーは、海水の淡水化を例にとると、蒸発法のそれの1/10以下である¹⁾。この逆浸透法が製糖工程に

応用できれば、糖汁濃縮の経費が大幅に節減できると思われる。Baloh²⁾の試算によると、逆浸透をビートジュースの濃縮に応用した場合、工場全体の熱エネルギーの29%が節約できるとのことである。Madsen³⁾はケーンジュースの逆浸透法による濃縮試験を行い、この方法がケーンジュースの濃縮法として有望であると結論づけている。Nielsens⁴⁾や今福ら⁵⁾はビートジュースについて試験を行い、逆浸透法による濃縮の運転費は蒸発法による運転費よりはるかに少ないことを示している。しかしながら、この運転費の低減が逆浸透法の設備費を十分に補い得るかということに対する不安等のため、いまだ実用化に到っていない。

一方、限外濾過法を製糖工場の糖汁清浄に利用すると^{3,6-11)}、その透過液は懸濁物質を全く含まず、着色度が小さく、純糖率が高い。この清浄効果の良い限外濾過法を逆浸透法の前処理に用いれば、逆浸透濃縮の透過流束の改善が期待でき、運転費がさらに減少し、実用化に大きく近づくものと予想できる。

このような観点から、本研究においてはケ-

ンジュースを種々の操作条件下で逆浸透濃縮し、操作条件と透過流束との関係を調べるとともに、前処理として限外濾過を行い、限外濾過が逆浸透の透過流束に及ぼす影響について調べた。また、廃糖蜜の清浄に有効であった自己排除膜法¹²⁾を、糖汁の逆浸透濃縮の前処理として利用することについても検討した。

実験材料及び方法

1. 試料ケーンジュース

神戸大学農学部で温室で生育した甘蔗(N:Co 310)をテストミルで圧搾して得た糖汁を -20°C で凍結保存し、使用直前に解凍した。

2. 逆浸透法

逆浸透テストセル(アルバックサービス社, RO-3型)に試料ケーンジュースまたは前処理をしたケーンジュース200mlを入れ、種々の操作圧力(窒素ガスで20~40atmに加圧)、温度(20~40 $^{\circ}\text{C}$)、攪拌速度(100~700rpm)で操作した(Fig. 1)。膜としてAS-194膜(アルバックサービス社、有効膜面積36.3 cm^2 、公称食塩阻止率92~96%)を用いた。

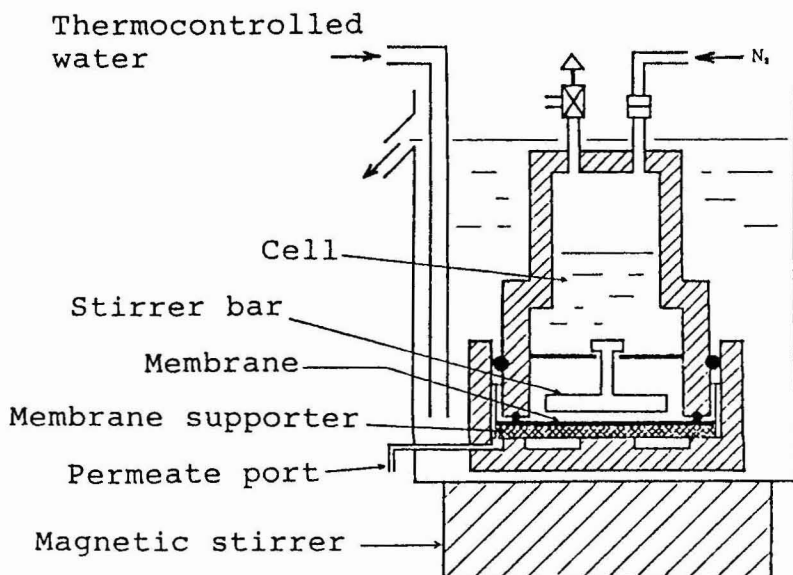


Fig. 1 Apparatus for reverse osmosis

3. 前処理法

3・1 石灰清浄

試料ケーンジュース(粗汁, Raw juice)に石灰(CaO)を加えてpHを7.8とし(石灰添加汁, Limed juice), 煮沸後静置し, その上澄液(石灰清浄汁, Clarified juice)を逆浸透に供した。

3・2 有機高分子膜による限外濾過

限外濾過テストセル(アルバックサービス社, MC-4型)に石灰添加汁400mlを入れ, 60°C, 2 atmで限外濾過し, その透過液(Permeate through PM-10)を逆浸透に供した。膜としてPM-10膜(アミコン社, 分画分子量1万)を用いた。

3・3 自己排除膜による限外濾過

多孔質の外圧型セラミック管(外径5mm, 内径2mm, 長さ50mm)を備えた実験モジュール(TDK社, ダイナセラム DC-0005型)を循環装置に取り付け(Fig. 2)石灰添加汁を60°C, 5.5m/sの循環流速, 2 atmで透過させた。最初の60分間にセラミック管上に分画性能をもつゲル層(自己排除膜)が形成される。それ以後の透過液(Parmeate through Dynaceram)を逆浸透に供した。なお, ここで用いたセラミック管は2層構造であり, 表面層の孔径は平均0.05 μ m, 厚さは約30 μ mであり, 支持層の孔径は0.5~1.5 μ mである。

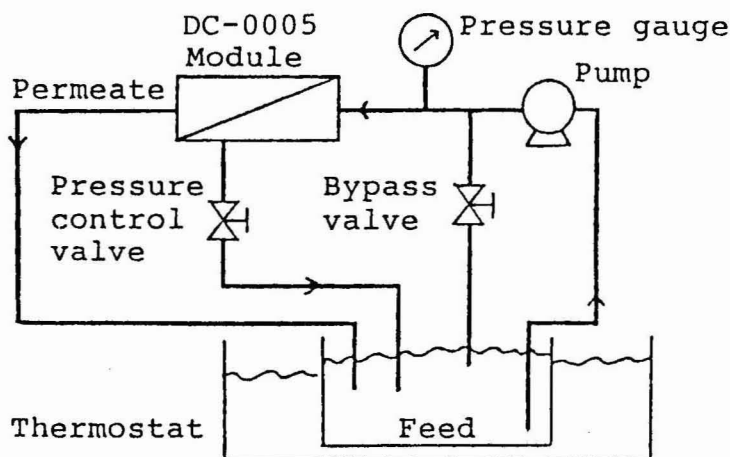


Fig. 2 Apparatus for ultrafiltration through self-rejecting membrane on Dynaceram

4. 糖汁の分析

固形分濃度(Bx)をレフラクトメーターで測定し, 着色度を500nmにおける吸光度(粗汁及び石灰添加汁の場合は遠沈後の上澄液の吸光度)で, 混濁度を糖汁の遠沈前後の720nmにおける吸光度差で表わした。

結果及び考察

1. PM-10膜透過による清浄の逆浸透濃縮の透

過流束に及ぼす影響

粗汁, 石灰清浄汁及びPM-10膜透過液を逆浸透法で濃縮した際の透過流束と糖濃度との関係をFig. 3に示した。また, 透過流束に及ぼす操作圧力, 温度及び攪拌速度の影響をおのおのFig. 4~6に示した。参考までに, 蔗糖溶液についての測定値もおのおのグラフに併せて示した。なお, この逆浸透濃縮の際, 透過液への糖の損失は, レフラクトメーターで検出されない程度

であったので1%以下と考えることができた。

粗汁の透過流束は蔗糖溶液の値の約2/3の大きさであり (Fig. 3～6), 粗汁中の不純物が透過流束に悪影響を及ぼしていることがわかる。石灰清浄汁の透過流束は粗汁のそれより僅かに大きいのみであり (Fig. 3, 5), 石灰清浄法によっては逆浸透濃縮の妨害物質をあまり除法するこ

とができないといえる。これに対し, PM-10 膜透過液の透過流束はかなり改善された。限外濾過法は石灰清浄法より粗汁の清浄に効果があり (文献 6 または Table 3 参照), 逆浸透法による濃縮の前処理として有効であると考えられることができる。

Table 2 Relationship between flux and viscosity in concentration of PM-10 membrane-permeate by reverse osmosis

Temp. (°C)	Viscosity (c.p.)	Relative viscosity (at T°C/at 20°C)	Flux (l/m ² h)	Relative flux (at T°C/at 20°C)
20	1.64	$1.00 = \frac{1}{1.00}$	13.5	1.00
30	1.25	$0.75 = \frac{1}{1.31}$	18.0	1.33
40	0.98	$0.60 = \frac{1}{1.67}$	22.0	1.63

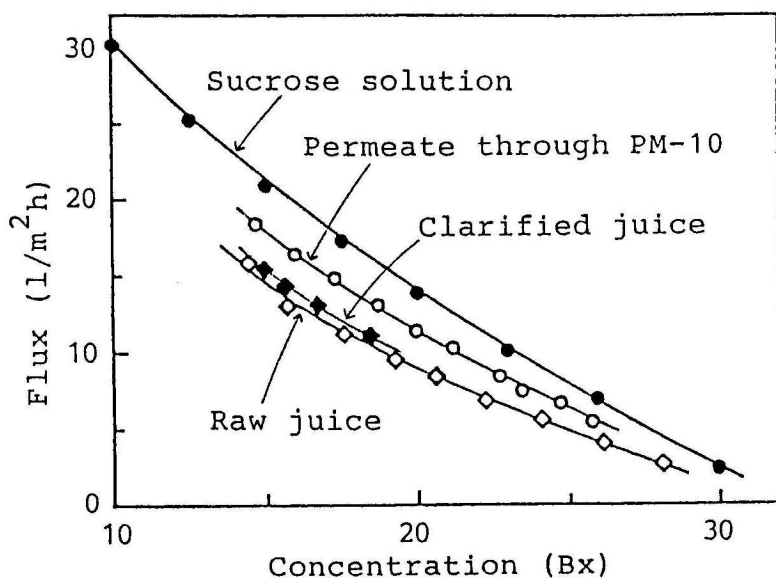


Fig. 3 Relationship between flux and sugar concentration (AS-194, 30°C, 40 atm, 500 rpm)

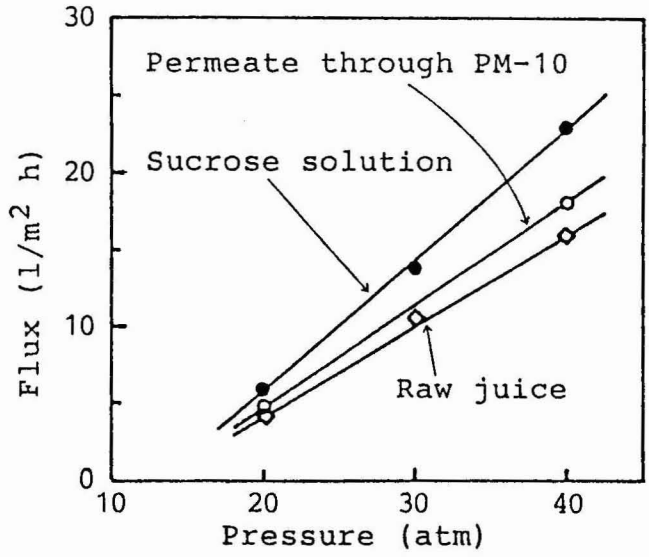


Fig. 4 Relationship between flux and operating pressure
(AS-194, 30°C, 14.4°Bx., 500 rpm)

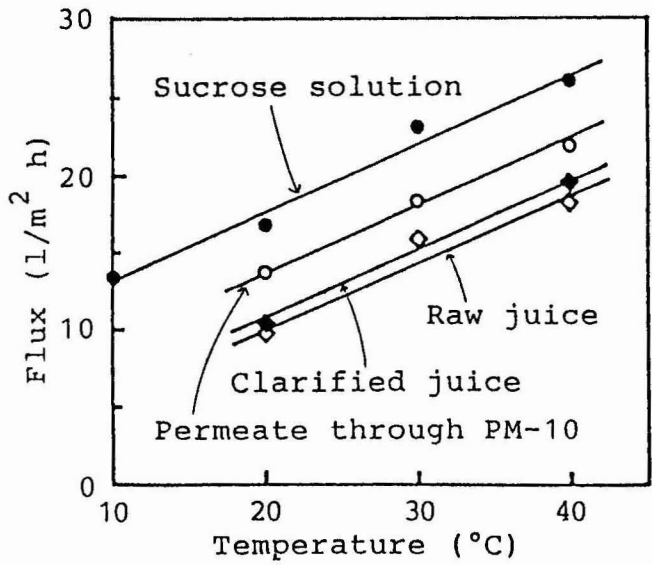


Fig. 5 Relationship between flux and temperature
(AS-194, 14.4°Bx, 40 atm, 500 rpm)

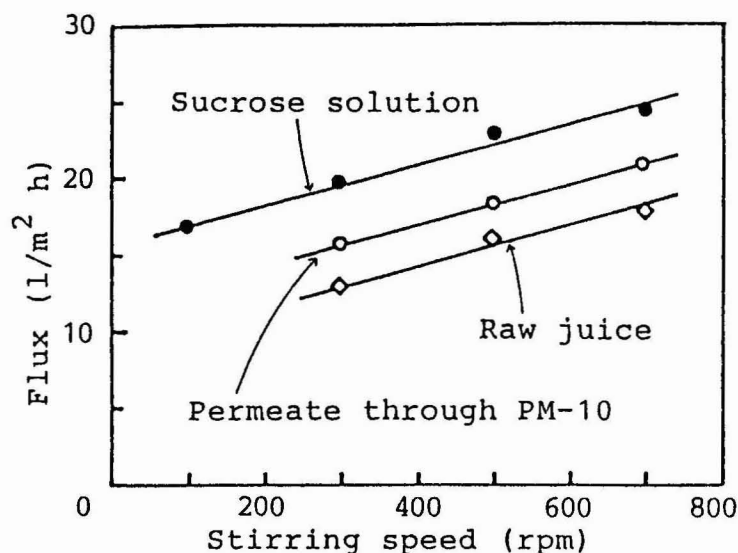


Fig. 6 Relationship between flux and stirring speed
(AS-194, 30°C, 14.4°Bx, 40 atm)

2. 操作条件の透過流束に及ぼす影響

逆浸透濃縮の透過流束は糖濃度が高くなるにしたがって小さくなり (Fig. 3), その曲線を外挿して横軸 (濃度) との交点を求めると, 粗汁, 蔗糖溶液の両者とも約33°Bx となった. 33°Bx 蔗糖溶液の浸透圧は約40atm であり²⁾, この圧力は本試験の操作圧力に等しい. また, 操作圧力が高い程, 透過流束は大きく (Fig. 4), 両者にほぼ直線関係が成立した. この直線を横軸に外挿すると, 約13atm となった. この圧力は本試験に用いた糖液 (14.4°Bx) の浸透圧にほぼ等しい. これらの関係は逆浸透の理論と一致する.

例えば14°Bx 蔗糖溶液を濃縮する場合, 濃縮によって除去された水の量 (%) とその時の蔗糖濃度 (Bx) との関係は Table 1 のようになる. ここで, 14, 20, 25, 60°Bx 蔗糖溶液の浸透圧はおおの約13, 20, 25, 140atm である²⁾. 逆浸透法による濃縮には溶液の浸透圧以上の操作圧力が必要であるで, 糖汁の濃縮 (現行の製糖工場では14~16°Bx の糖汁が57~77°Bx まで蒸発法で濃縮されている) を逆浸透法のみで行うこ

とは不可能と思われる. そこで比較的濃度が低いときに逆浸透法で, 濃度が高くなると蒸発法で濃縮するという両者の組合せが必要となろう. 本試験の場合, 14.4°Bx の濃度から25°Bx まで逆浸透法で濃縮するときの平均透過流束は, 粗汁については10.6l/m² h, PM-10 膜透過液については13.6l/m² h であった.

Table 1 Relationship between sucrose concentration and water removal in concentration of 14°Bx sucrose solution

Water removal (%)	Sucrose concentration (Bx)
0	14.0
35	20.0
50	24.5
60	28.9
70	35.2
80	44.9
85	52.0
90	61.9

透過流束は温度上昇にしたがって直線的に増大した(Fig. 5)。PM-10 膜透過液について、各温度における透過流束と粘度との関係を Table 2 に示した。20°C を基準にした相対透過流束はと相対粘度の逆数にほぼ等しい。この透過流束と粘度との関係がより高温においても成立すると仮定すると、60°C 或いは 80°C における透過流束はおのおの 33.1 或いは 44.3 l/m² h (相対透過流束はおのおの 2.4 或いは 3.3) になるはずである。このように高温で操作することによって大幅な透過流束の改善を見込むことができる。しかしながら、このような高温で性能が劣化しない逆浸透膜は現在市販されていないように思われる。高温で使用可能な膜の開発が望まれる。

攪拌速度も透過流束にかなり大きな影響を及ぼした(Fig. 6)。逆浸透法を実際に応用する場合、攪拌速度(或いは循環流速)の増大による透過流束の改善効果と、それに必要なエネルギー(経費)の上昇とを勘案して運転条件を定める必要があろう。

3. 前処理としての自己排除膜法の清浄効果

自己排除膜法による限外濾過を廃糖蜜の清浄に応用したとき、PM-10 膜を用いる場合と比べて、ほぼ同等の清浄効果(色素の除去の点では少々劣るが)で、透過流束は約 4 倍の大きさであった¹²⁾。また、その自己排除膜の分画分子量は数万と推定できた。

ダイナセラムに石灰添加汁を透過させ、自己排除膜形成(透過開始から 1 時間)以降の 1 時間の平均透過流束及び透過液の分析値を Table 3 に示した。比較のために PM-10 膜についての結果(透過開始から 1 時間の平均値)、及び粗汁、石灰清浄汁の分析値も一緒に示した。ダイナセラムの透過液は石灰清浄汁と比べ、着色度は小さく、混濁はなく、純糖率が高く、また、PM-10 膜透過液と比べ、着色度は僅かに大きい、純糖率は同じとみなすことができた。ダイナセラムを用いる清浄は PM-10 膜を用いる場合と比べて、大きな透過流束で、遜色のない清浄効果が得られたと考えることができる。

Table 3 Clarification of limed juice through Dynaceram or PM-10 membrane

	Flux (l/m ² h)	Solid (Bx)	Color Value	Turbidity	Purity
Dynaceram	105	14.0	0.360	0	90.2
PM-10 membrane	26	14.0	0.308	0	90.5
Clarified juice		14.4	0.514	0.174	88.6
Raw juice		14.4	0.393	3.46	87.8

4. 自己排除膜法清浄の逆浸透濃縮に及ぼす影響

ダイナセラム透過液(自己排除膜法による清浄液)を逆浸透法で濃縮し、その結果を Table 4 に示した。ダイナセラムと PM-10 膜の透過液は同等の透過流束で逆浸透濃縮することができた。それ故、ダイナセラムを用いる自己排除膜法は糖汁の逆浸透濃縮の前処理として、自己排除膜法処理の際の透過流束が大きいため、PM-10 膜透過法より優れているといえる。

Table 4 Concentration of pretreated cane juice by reverse osmosis

	Flux (l/m ² h)
Permeate through Dynaceram	17.6
Permeate through PM-10	18.0
Raw juice	14.5

要 約

ケーンジュースを種々の操作条件下で、また

種々の前処理を施して逆浸透濃縮し, 次の結果を得た。

1. 透過流束は濃度が低い程, 温度が高い程, 圧力が高い程, 攪拌速度が速い程大きかった。
2. 石灰清浄は逆浸透法の前処理としてあまり効果がなかった。
3. PM-10 膜による限外濾過は逆浸透法の前処理として有効であった。
4. ダイナセラムを用いる自己排除膜法は PM-10 膜を用いる方法より優れた前処理法とみなすことができた。

文 献

- 1) 大矢晴彦編：膜利用技術ハンドブック, p.13, 幸書房 (1978)
- 2) Baloh, T. : *Z. Zuckerind.*, **25**, 452 (1975)
- 3) Madsen, R.F. : *Intern. Sugar J.*, **75**, 163 (1973)
- 4) Nilsen, W.K., Kristensen, S. and Madsen, R.F. : *Sugar Technology Reviews*, **9**, 59 (1982)
- 5) 今福真作, 錦野 滋, 昔農英夫, 塚本輝喜：精糖技術研究会誌, **31**, 85 (1982)
- 6) Kishihara, S., Fujii, S. and Komoto, M. : *Intern. Sugar J.*, **83**, 35 (1981)
- 7) Kishihara, S., Fujii, S. and Komoto, M. : *Intern. Sugar J.*, **85**, 99 (1983)
- 8) 田幸正邦, 中山義勝, 仲村実久, 岸原士郎, 河本正彦：農化, **58**, 685 (1984)
- 9) 田幸正邦, 高良 満, 仲村実久, : 農化, **59**, 779 (1985)
- 10) Landi, S., Palla, G., Marignetti, N. and Mantovani, G. : *Z. Zuckerind.*, **24**, 585 (1974)
- 11) Hanssens, T.R., Van Nispen, J.G.M., Koerts, K. and De Nie, L.H. : *Intern. Sugar J.*, **86**, 227 (1984)
- 12) 岸原士郎, 藤井 聡, 河本正彦, 玉城 一, 若林章一：化学工学論文集, **12**, 199 (1986)