スラリーアイスの遠心分離における溶質回収率の定量的評価

システム工学群

ものづくり先端技術研究室 1200181 渡邊 耀丈

1. 序論

1.1 凍結濃縮

濃縮操作は,食品分野で広く用いられている加工技術であ る.本研究の凍結濃縮システムを図1に示す.製氷部で溶液 中に微小な氷粒子を生成し,溶液と氷粒子を遠心分離機によ り分離する工程を繰り返すことで濃縮を行う.ここで,溶液 中に氷粒子が混在した懸濁液をスラリーアイスという.凍結 濃縮は,低温下での操作であるため,機能性成分の劣化,微 生物の繁殖を抑制し,保蔵安定性の向上が可能である⁽¹⁾.





1.2 研究目的

凍結濃縮において、効率よく濃縮を行うためには、スラリ ーアイスと濃縮液の分離工程が非常に重要となる.本研究で 対象としている遠心分離機を用いた方式では、毛管力、粘性 力の影響により、空隙間に濃縮液が保持されるため、溶質回 収率が低下してしまう.これを向上させるためには、遠心加 速度を上げればよいが、氷粒子の融解を促進させてしまうた め、濃縮効率の低下につながる.したがって、相変化が存在 するスラリーアイスに適した遠心分離機の構築が必要であ る.そこで、本研究では塩化ナトリウムを溶質(以下「塩」と 表記)とするスラリーアイスを、既存の遠心分離機を用いて 分離する実験を行い、融解現象が溶質回収率に与える影響を 調べた.

2. スラリーアイスを用いた分離実験

2.1 実験目的

既存の遠心分離機を用い,溶質回収率を塩分濃度および吸 光度より算出し,氷充填層の厚みと溶質回収率の関係を明ら かにすることを目的とした.

2.2 実験方法

実験フローを図2に、実験条件を表1に示す.製氷機(泉 井鐵工所製,シャキットミニ)と100Lのタンクを循環させな がら製氷した*IPF*≥10%のスラリーアイスを一定量取り出 し、遠心分離機(コクサン社製,H-122)にて分離を行った.① 投入前のスラリーアイス、②氷充填層,③透過液の質量を台 はかり(Kubota 社製, KL-100NX)にて測定した.また、①~③ のサンプリングを行い、塩分濃度計(ATAGO 社製, PAL-SALT)により、濃度計測を行った.投入前のスラリーアイス 中の含塩量 S_0 [kg]は、氷充填層中の含塩量 S_l [kg],濾布中の含 塩量 S_f [kg],透過液中の含塩量 S_p [kg]から、

 $S_o = S_l + S_f + S_p$ (1) となる. 濾布中の含塩量 S_f は,投入前のスラリーアイスの塩 分濃度 X_0 [wt%]の試算式

 $S_f = (0.4807X_0 + 0.1139) \times 10^{-3}$ (2) を用いて求めた.なお試算式は、氷粒子の存在しない塩水を 用いた実験より予め得たものである.氷充填層、透過液中の 含塩量については、質量と塩分濃度から算出した.また投入 前のスラリーアイス中の含塩量 $S_l[kg]$,氷充填層中の含塩量 $S_0[kg]$ から

$$\eta_S = 100 \left(1 - \frac{S_l}{S_0} \right) \tag{3}$$

を用いて溶質回収率 η_s [%]を算出した.



Fig. 2 Flow of experiments

吸光度計測による実験のフローは図2と同様であるが、遠 心分離機にスラリーアイスを投入する前に食紅(大黒色素社 製)を均一混合させ、遠心分離を行った.サンプリングした溶 液の吸光度は、分光光度計(日本分光社製、V-630)にて計測し、 図3に示す検量線より色素濃度c₀[wt%]を得た.投入前の水 の質量w₀[kg]を

$$w_0 = \frac{r_0(100 - c_0)}{c_0} \tag{4}$$

より算出し,投入前の含塩量 $S_0[kg]$ は本式と塩分濃度 $X_0[wt%]$ を用いて,

$$S_0 = \frac{w_0 X_0}{100 - X_0} \tag{5}$$

より求めた.得られた値を式(3)に代入し,溶質回収率η_s[%] を得た.



3. 実験結果

氷充填層の厚みと溶質回収率の関係を図4に示す.溶質回 収率は、97.9~99.7%という結果となり、氷充填層の厚みが上 昇するとともに溶質回収率が減少する傾向を示した.また、 遠心加速度の上昇に伴い減少割合が小さくなった.



Fig. 4 Changes in solute recovery with increasing thickness

次に、氷充填層の厚みと氷充填層中の含塩量の関係を図5 に示す.すべての遠心加速度で含塩量は曲線的に増加していた.また、低い遠心加速度であるほど、氷充填層中の含塩量 が多くなった.605G、812Gでは、増加割合がほぼ一致し、 1048Gの遠心加速度において、含塩量の増加割合が最も低く なった.



4. 考察

塩分濃度3.5wt%における海水の粘度は1.075mPa·s(20°C)で あり、純水の粘度1.002mPa·s (20°C)と同程度である⁽²⁾.本研 究では1.0wt%の塩水を用いて実験を行ったため、粘性の影 響を受けず、高い溶質回収率が得られたと考えられる.また、 氷充填層の厚みの上昇に伴い溶質回収率が減少した要因は その厚さと相関関係にある液架橋の存在数であると考えら れる.

次に、氷充填層の厚みと含塩量の関係について着目する. 遠心加速度の上昇とともに増加割合が低下した要因として、 水洗効果が関係していると考えられる.水洗効果は、一部の 融解水が溶質を伴って透過する現象である.既存の遠心分離 機では、遠心加速度の上昇に伴い、装置内部の気流や圧力の 影響により融解量が増加し、水洗効果がより促進されたと推 測される.その影響により、最も遠心加速度が高い1048Gに おいて、含塩量がより低い増加傾向を示したと考えられる. しかし、水洗効果は透過液を希釈してしまうため、氷粒子の 融解水は、充填層中に留まることが望ましい.以上を踏まえ ると、融解による水洗効果が濃縮に影響を与えると考えられ、 これを抑制できるパラメータ条件および機構の検討が必要 となる.

また、それぞれの遠心加速度での氷充填層の厚みを、 δ_{429} 、 δ_{605} 、 δ_{812} 、 δ_{1048} (単位 m)とし、氷充填層中の含塩量を、 S_{429} 、 S_{605} 、 S_{812} 、 S_{1048} (単位 kg)とすると、各遠心加速度での氷充 填層の含塩量は、

S ₄₂₉	$= 2506 e^{70.3\delta_{429}}$	$\times 10^{-4}$,	(6)
S_{605}	$= 1796 e^{80.5\delta_{605}}$	$\times 10^{-4}$,	(7)

- $S_{812} = 1834e^{77.7\delta_{812}} \times 10^{-4} , \qquad (8)$
- $S_{1048} = 1973 e^{66.3\delta_{1048}} \times 10^{-4} \quad , \tag{9}$

となる.したがって,各遠心加速度における氷充填層の厚み より,氷充填層中の含塩量が本式を用いて算出できる.これ により,各遠心加速度に対応する氷充填層中の含塩量を $S_{\alpha}(\alpha = 429, 605, 812, 1048)$ とすると,投入前のスラリー アイス中の含塩量 S_{0} から,溶質回収率 η_{s} は,

$$\eta_S = 100 \left(1 - \frac{S_\alpha}{S_0} \right) \tag{10}$$

より算出することが可能である.

5. 結論

本実験では溶質が塩化ナトリウムのスラリーアイスを用 いて分離実験を行い、遠心加速度、氷充填層の厚みと溶質回 収率の関係を調べた.その結果、溶質回収率は氷充填層の厚 み上昇とともに減少した.さらに、遠心加速度を上昇させる と、水洗効果により、溶質回収率は向上するものの、濃縮液 の希釈が生じる.そのため、融解した氷粒子を透過させない 操作および機構の検討が重要であるという見通しが得られ た.また、溶質回収率は、氷充填層の厚みと投入前のスラリ ーアイス中の含塩量より算出が可能である.

本研究で用いた塩水の粘度は水と同程度であり,粘度の影響はほぼなかったと考えられる.したがって,粘度が溶質回 収率に与える影響を調べることが今後の課題である.更に, 水洗効果の影響を調べるため,融解量の算出法の検討が必要 である.

参考文献

- 松野隆一,濃縮と乾燥,第一版(光琳,東京), pp.2-5, 1989
- (2) 鈴木博, 高圧力下における海水の粘性係数, 日本機械学 会論文集(B編) 46 巻 408 号, pp.1574-1582, 1980