家庭で作成可能な低カリウムオレンジジュースの開発 —味覚センサーを用いて改良—

原 和 弘¹ 名 和 俊 平² 三 宅 真 人²

¹医療法人道しるべ四日市道しるべ人工透析内科

²地域医療機能推進機構四日市羽津医療センター腎・透析科

キーワード：慢性腎不全，透析，カリウム，ポリスチレンスルホン酸，オレンジジュース

〈要旨〉

【背景】これまでも低カリウムジュースは販売されていたが，家庭で低カリウムジュースを作成する手段は普及していない．【方法】100%オレンジジュース 100 mL をポリスチレンスルホン酸ナトリウムとバッチ法で反応させ，各種電解質濃度の測定や味覚センサー TS-5000Z による解析を行い，その結果を基に改良を加えた．【結果】カリウム濃度は反応開始から 15 分以降はあまり変化せず，反応時間は 15 分とした．ポリスチレンスルホン酸ナトリウム 15 g に 15 分反応させた低カリウムジュースはカリウムを平均 85% 削減できたが，味覚センサーによる解析では酸味の値が低下し旨味の値が上昇していた．そこで，低カリウムジュース 100 mL 当たりクエン酸約 0.1 g，50% ブドウ糖 0.1 mL を加え再度味覚センサーで解析したところ，オレンジジュース原液に近い味覚分布の低カリウムジュースができあがった．【結論】上記は家庭でも再現可能な手段であり，他の種類の飲料やスープ等への応用も期待できる．

Successful preparation of low-potassium orange juice with an improved taste at home using a taste sensor

Kazuhiro Hara¹, Shunpei Nawa², Masato Miyake²

¹Artificial Dialysis, Yokkaichi-michishirube

²Division of Nephrology and Dialysis, Yokkaichi Hazu Medical Center

Keywords: chronic kidney disease, dialysis, potassium, polystyrene sulfonate, orange juice

〈Abstract〉

【Background】Although low-potassium juices are commercially available, there are few methods for preparing them at home. 【Method】Batch processing was used to conduct a reaction between 100% orange juice and polystyrene sulfonate sodium. The electrolyte content of the juice was measured, and its taste was analyzed using a TS-5000Z taste sensor, in order to produce a low-potassium orange juice with an improved taste. 【Results】After 15 min, which was set as the reaction time, polystyrene sulfonate sodium had not markedly decreased the potassium concentration of the orange juice. The mean potassium concentration of 100 mL of orange juice that was reacted with 15 g polystyrene sulfonate sodium for 15 min was reduced to 15% of that of the undiluted orange juice. However, the analysis with the taste sensor indicated the loss of the acidic taste with the consequent gain of a delicious taste in the orange juice obtained following the reaction; this was caused by the decrease of the acidic taste. Therefore, approximately 0.1 g citric acid and 0.1 mL 50% glucose solution were added to 100 mL of the orange juice produced by the reaction, and the juice was further analyzed with the taste sensor. The taste sensor analysis revealed that a low-potassium orange juice with a similar taste to that of the undiluted orange juice had been successfully prepared. 【Conclusion】The abovementioned method can be employed to conveniently prepare low-potassium orange juice at home. Furthermore, this method might be applicable to the preparation of other drinks or soups.

原 和弘 医療法人道しるべ四日市道しるべ人工透析内科 〒510-0001 三重県四日市市八田1-14-27 ベルサーヤ1階

Kazuhiro Hara Tel: 059-333-0340 Fax: 059-333-0340 E-mail: yokkaichialgorithm@ba2.so-net.ne.jp

〔受付日：2018年11月9日，受理日：2019年9月13日〕

I. 緒言と目的

高カリウム (K) 血症は透析患者の予後を悪化させる重要な因子であるため¹⁾, K 制限が必要となる透析患者が多い。また, 保存期慢性腎不全患者でも K 制限が必要となる CKD ステージ G3b 以降の患者は 150 万人以上と推計されている^{2,3)}。

これまでもイオン交換樹脂によって K を減らしたと考えられるジュースが販売されてきたが⁴⁾, どの店でも売っているわけではなく種類も限られていた。また, イオン交換樹脂を用いて K を減らしたジュースは K 以外の成分も樹脂に取られてしまうためか美味しくないといわれていた⁵⁾。このためもあってか, 家庭で低 K ジュースを作成する手段は普及していない。

簡易な低 K ジュースの作成方法が確立できれば, 透析患者や末期腎不全患者の食生活改善につながり, 食事制限からのストレスを軽減させることが可能となる。今回, 家庭で再現可能な手段を用いて低 K オレンジジュースの作成を試み, 作成した低 K ジュースの味を味覚センサー TS-5000Z で検証し, 改良を加えた。

II. 方 法

1. 低カリウムジュース作成手順

陽イオン交換樹脂であるゲル型・ナトリウム (Na) 形のポリスチレンスルホン酸 Na (アンバーライト IR120BTM) をお茶パックの袋に入れ, 市販の 100% オレンジジュース 100 mL の中に紅茶を入れる際のティーバッグのように手で揺らしながら浸した (図 1)。反応終了後はポリスチレンスルホン酸 Na を入れたお茶パックをオレンジジュースから除去した。お茶パックに入れるポリスチレンスルホン酸 Na は 5 g, 10

g, 15 g とし, 反応時間は 3 分, 6 分, 9 分, 15 分, 30 分として各条件 4 検体ずつ解析した。反応は室温下で行った。

また, K 除去能力の比較のため 100% オレンジジュース 100 mL とポリスチレンスルホン酸カルシウム (Ca) (アンバーライト CR1310CaTM) 15 g を上記と同様に 15 分反応させたジュースの解析を行った (N=4)。

2. 評価項目

オレンジジュース原液およびポリスチレンスルホン酸 Na と反応させたオレンジジュースの Na, K, マグネシウム (Mg), Ca, 無機リン (P), グルコース濃度および pH を評価した。オレンジジュース原液およびポリスチレンスルホン酸 Na 15 g に 15 分反応させた低 K ジュースは三重県工業研究所に依頼し味覚センサーによる解析を行った。また, ポリスチレンスルホン酸 Ca と反応させたオレンジジュースの Na, K, Ca を測定した。

3. 味覚センサー

味覚センサー「味認識装置 TS-5000ZTM (株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー)」を用いて酸味, 苦味雑味, 渋味刺激, 旨味, 塩味, 苦味, 渋味, 旨味コク, 甘味の 9 項目を評価した。このうち旨味コク, 苦味, 渋味は食品を飲み込んだ後の後味に分類され, それ以外の 6 項目は食品を口に含んだ瞬間の先味に分類される⁶⁾。ヒトが「味が違う」と認識できるのは, その味が 1.2 倍濃く (または薄く) なった場合とされており, 味覚センサーではこの 1.2 倍の変化を 1 目盛りとして表している^{6,7)}。人の唾液に相当し無味に近い基準液 (30 mM 塩化 K と 0.3 mM 酒石酸からなる水溶液) を基準 (味覚評価値をすべて 0) として評価した際, 酸味は -13 以下, 苦味雑味, 渋味刺激, 旨味, 苦味, 渋味および旨味コクは 0 以下, 塩味は -6 以下であると「味が無い」と判断する⁸⁾。なお, 甘味

図 1 実験手順

は無味範囲が設定されていない。

4. 低カリウムジュースの改良

上記の結果を受け，ポリスチレンスルホン酸 Na 15 g に 15 分反応させた低 K ジュース 100 mL 当たりクエン酸を約 0.1 g 加えて pH を 0.2 低下させ，さらに 100 mL 当たり 50% ブドウ糖 0.1 mL を加え，酸味と甘味に改良を加えたものを再度味覚センサーで解析した。

5. 各種データの測定方法

Na, K の測定は電極法，Mg の測定はキシリジルブルー法，Ca の測定はアルセナゾⅢ法，P の測定はモリブデン酸直接法，グルコースは酵素法によって測定した。pH はデジタル pH メーター NISA-008™ で測定した。

6. 統計解析方法

オレンジジュース原液とポリスチレンスルホン酸 Na 15 g に 15 分反応させた低 K ジュースの比較には対応のある t 検定を用いた。

図 2 ポリスチレンスルホン酸ナトリウム 5 g, 10 g, 15 g と反応させたオレンジジュース 100 mL のカリウム濃度の推移
カリウム濃度は平均値±標準偏差で示す。

Ⅲ. 結 果

実験中，室温は 23.3～26.3℃，オレンジジュースの温度は 20.1～24.9℃であった。ポリスチレンスルホン酸 Na 5 g, 10 g, 15 g と反応させたオレンジジュースの K 濃度の推移を図 2 に示す。いずれのポリスチレンスルホン酸 Na 量でも K 濃度は 15 分以降はあまり変化しなかった。

オレンジジュース原液とポリスチレンスルホン酸 Na 15 g に 15 分反応させた低 K ジュースの比較を表 1 に示す。K, Mg, Ca は大きく濃度を下げ，Na 濃度は大きく上昇した。pH は約 0.2 上昇していた。P, グルコース濃度には変化はみられなかった。

基準液を基準（味覚評価値をすべて 0）とした場合のオレンジジュース原液の味覚センサーによる味覚評価値を図 3 に示す。オレンジジュース原液の苦味雑味，渋味，苦味は味を感じないレベルの値であった。

オレンジジュース原液とポリスチレンスルホン酸 Na 15 g に 15 分反応させた低 K ジュースの味覚センサーによる比較値を図 4 に示す。ポリスチレンスルホン酸 Na と反応させた低 K ジュースは酸味が低下し，旨味の値が上昇していた。また，苦味雑味，苦味の値も上昇した。

上記の結果を受け，ポリスチレンスルホン酸 Na 15 g に 15 分反応させた低 K ジュースにクエン酸を少しずつ加えて pH を 0.2 下げたところ，結果として低 K ジュース 100 mL 当たりクエン酸約 0.1 g を必要とした。さらに，酸味が増すと甘味が低下することが知られているため⁹⁾，100 mL 当たり 50% ブドウ糖 0.1 mL を加えた。この改良を加えた低 K ジュースとオレンジジュース原液を味覚センサーで比較したものを図 5 に示す。改良前（図 4）と比べ，酸味・旨味は原液の値に大きく近づいた。甘味は改良前（図 4）と同程度であり，酸味，渋味刺激，塩味，渋味，旨味コク，甘味

表 1 オレンジジュース原液と低カリウムジュースの比較

	オレンジジュース原液 (n=4)	低カリウムジュース* (n=4)	p 値†
ナトリウム (mEq/L)	10.5±1.3	84.0±0.8	p<0.01
カリウム (mEq/L)	61.0±2.6	9.2±1.3	p<0.01
カルシウム (mg/dL)	8.7±0.1	0.6±0.1	p<0.01
無機リン (mg/dL)	13.1±0.2	13.2±0.1	0.5
マグネシウム (mg/dL)	9.9±1.0	0.8±0.3	p<0.01
グルコース (mg/dL)	2,273±282	2,363±202	0.4
pH	3.56±0.03	3.74±0.03	p<0.01

値は平均±標準偏差で示す。

*：100% オレンジジュース 100 mL をポリスチレンスルホン酸ナトリウム 15 g に 15 分反応させて作成

†：両群の比較には対応のある t 検定を用いた。

図3 基準液を基準(味覚評価値をすべて0)とした場合のオレンジジュース原液の味覚センサーによる味覚評価値

基準液は30 mM 塩化カリウムと0.3 mM 酒石酸でできており、無味に近く人の唾液に相当するとされている。基準液を基準(味覚評価値をすべて0)として比較した際、酸味は-13以下、苦味雑味、渋味刺激、旨味、苦味、渋味および旨味コクは0以下、塩味は-6以下であると、「味が無い」と判断する。甘味は無味範囲が設定されていない。オレンジジュース原液の苦味雑味、渋味、苦味は無味範囲内であった。

は原液からおよそ ± 1 の範囲に収まった。苦味雑味、苦味は原液と比べると1.4目盛程度の差が出た。

また、K除去能力の比較のため100%オレンジジュース100 mLとポリスチレンスルホン酸Ca 15 gを15分反応させたところ、K濃度は 27.8 ± 4.3 mg/dLとポリスチレンスルホン酸Naと反応させたジュースと比べ約3倍となった(図6)。

IV. 考 察

100%オレンジジュース100 mLとポリスチレンスルホン酸Na 15 gを15分反応させ、さらに低Kジュース100 mL当たりクエン酸約0.1 g、50%ブドウ糖0.1 mLを加えると、Kは平均85%削減され、味覚センサー上でオレンジジュース原液に近い味覚分布の低Kジュースができあがった。味覚センサーの解析を参考に酸味と甘味の補正を行ったことが功を奏したのと考えられる。

ポリスチレンスルホン酸Na 15 gに15分反応させた低Kジュースは味覚センサー上、酸味と旨味がオレンジジュース原液と比べ大きく変化していた(図4)。pHが約0.2上昇しており、これを元々オレンジジュースに豊富に含まれるクエン酸で補正した¹⁰⁾。さらに、酸味が増すと甘味が低下することが知られているた

図4 オレンジジュース原液と低カリウムジュースの味覚センサーによる比較

原液の味覚評価値をすべて0とした場合のポリスチレンスルホン酸ナトリウム15 gに15分反応させた低カリウムジュースの相対値を示す。

原液の味覚評価値 ± 1 の範囲は人間が味覚の差を認識できない可能性がある。

め⁹⁾、ブドウ糖を追加した。この結果、酸味と旨味の両方がオレンジジュース原液の値に近づき、甘味は改良前と同程度であった(図5)。酸味、旨味はpHに左右されることが知られており、pHが下がると酸味値は増加し旨味値は減少する^{11,12)}。このため、クエン酸の添加によって酸味の値は上がり、pHと旨味の値は下がり、結果としてオレンジジュース原液の値に近づいたものと考えられた。酸味、渋味刺激、塩味、渋味、旨味コク、甘味はオレンジジュース原液の解析値からおよそ ± 1 程度の範囲に収まり(図5)、人間が味覚の差を認識できない可能性がある差の範囲に収まった⁶⁾。苦味雑味、苦味については原液と比べると1.4目盛程度の差が出たが(図5)、元々オレンジジュース原液の苦味雑味と苦味は味を感じないレベル(図3)、すなわち苦味雑味と苦味を呈する物質の濃度が低く、これらの味の成分の濃度上昇が全体の味に与える影響は少ないと考えられた。

今回の低Kジュース作成手順は特別な器具を使わずに家庭でも再現できる手段を重視した。使用したポリスチレンスルホン酸Na、クエン酸、ブドウ糖、お茶パックはいずれも一般人でも入手可能である。なお、イオン交換樹脂の使用方法には樹脂をつめたカラム内に液体を通すカラム法と、液体と樹脂を容器に一緒に入れて攪拌するバッチ法とがあるが¹³⁾、カラム法は樹脂を入れるカラムやそれにつながる回路を必要とするうえ、少量のジュース作成には適さないため、特別な器具を必要とせずに家庭でも簡単に行うことのできるバッチ法を選択した。バッチ法で15分反応させた場合

と 30 分反応させた場合でカリウム濃度に大きな差は認められなかったため（図 2），反応時間は手順がより簡便となる 15 分とした。

また，今回はイオン交換樹脂の再生時の材料入手が容易なポリスチレンスルホン酸 Na を使用した。ポリスチレンスルホン酸 Na は腎不全による高 K 血症の治療薬としても使用されている¹⁴⁾。一方で，ポリスチレンスルホン酸（H 形）を使用した低 K ジュースも報告

されているが，pH が低下し過度に酸味が強まったとも報告されている⁴⁾。イオン交換樹脂を再生して繰り返し使用することを想定すると，ポリスチレンスルホン酸 Na であれば入手が容易な塩化 Na で再生が可能であるが，H 形を再生する場合は塩酸等の強酸が必要となる¹³⁾。このため，家庭でイオン交換樹脂の再生を行うことまで想定し，イオン交換樹脂はポリスチレンスルホン酸 Na を採用した。なお，ポリスチレンスルホン酸 Na を使用したことによるジュースの Na 濃度増加が懸念されるが，ポリスチレンスルホン酸 Na 15 g に 15 分反応させた低 K オレンジジュースの Na は平均 84 mEq/L であり（表 1），100 mL 当たり塩化 Na 換算で 0.49 g の塩分負荷となる。このため厳格な塩分制限を行っている患者では摂取量に注意が必要である。なお，味覚センサー上の塩味には大きな変化は認められなかった（図 5）。

Pushkin ら¹⁵⁾は本研究同様にバッチ法で低 K ジュースを作る方法を報告しているが，80～90%の K 除去率を得るのにジュース 1 mL 当たりイオン交換樹脂 0.5～1 g と大量のイオン交換樹脂を必要としており，味に関する評価は行っていない。Pushkin ら¹⁵⁾はイオン交換樹脂としてポリスチレンスルホン酸 Ca を使用しており，イオン交換の際に Na ではなく Ca を放出するのが利点である。しかしながら，ポリスチレンスルホン酸 Na と比べて K 交換容量が少ないとされており^{14～16)}，今回の実験でも K 交換能力が大きく劣ることを確認した（図 6）。

図 5 オレンジジュース原液と改良低カリウムオレンジジュースの味覚センサーによる比較
原液の味覚評価値をすべて 0 とした場合の，ポリスチレンスルホン酸ナトリウム 15 g に 15 分反応させ，さらにクエン酸とブドウ糖を加えた改良低カリウムジュースの相対値を示す。
原液の味覚評価値 ±1 の範囲は人間が味覚の差を認識できない可能性がある。

図 6 同じ条件下でのポリスチレンスルホン酸ナトリウムとポリスチレンスルホン酸カルシウムのイオン交換能力の比較

100%オレンジジュース 100 mL にポリスチレンスルホン酸ナトリウム（Na）15 g を 15 分反応させたジュース（N=4），ポリスチレンスルホン酸カルシウム（Ca）15 g を 15 分反応させたジュース（N=4）とオレンジジュース原液（N=4）のカリウム（K），Na，Ca 濃度を平均値 ± 標準偏差で示す。

グラフ内の表記は以下の内容を表す。ポリスチレンスルホン酸 Na：ポリスチレンスルホン酸 Na 15 g と 100%オレンジジュース 100 mL を 15 分反応させたジュース，ポリスチレンスルホン酸 Ca：ポリスチレンスルホン酸 Ca 15 g と 100%オレンジジュース 100 mL を 15 分反応させたジュース。

今後の課題としては, イオン交換樹脂と反応させたジュースから K をどれだけ削減できたかを家庭で確認することが困難であることがあげられる。K 濃度測定試験紙や K 濃度測定器が販売されているが高価であるのが難点である。また, 味覚センサーでは感知できない風味等の変化については今後さらなる検証が必要である。さらに, 腎不全に合併しやすいとされる味覚障害を持つ患者の場合¹⁷⁾, 味覚センサーによる評価と味の感覚が乖離する可能性があり今後さらなる検証が必要である。

結 語

100% オレンジジュース 100 mL とポリスチレンスルホン酸 Na 15 g を 15 分反応させ, さらに低 K ジュース 100 mL 当たりクエン酸約 0.1 g, 50% ブドウ糖 0.1 mL を加えると, K は平均 85% 削減され, 味覚センサー上でオレンジジュース原液に近い味覚分布の低 K ジュースができあがった。家庭でも再現可能な手段であり, 他の種類の飲料やスープ等への応用も期待できる。

利益相反: 開示すべき事項なし。

文献

- 1) 日本透析医学会統計調査委員会. わが国の慢性透析療法の現況 (2016 年 12 月 31 日現在). 透析会誌 2018; 51: 1-51.
- 2) 日本腎臓学会編. CKD 診療ガイド 2012. 東京: 東京医学社, 2012.
- 3) 日本腎臓学会編. 慢性腎臓病に対する食事療法基準 2014 年版. 日腎会誌 2014; 56: 553-99.
- 4) 明治製菓株式会社. 特表 2003-511052.
- 5) 中井洋. 第 3 章 透析質のミネラルたち 14 透析室のカリウム. 教えて! ナカイ先生 透析患者のからだのしくみ—楽しくわかりやすい生理学レッスン. 大阪: メディカ出版, 2008; 73-80.
- 6) 藤原孝之, 苔庵泰志. 漬物の保存に伴う品質劣化の味覚センサーによる評価. 三重県工業研究所研究報告 2010; 34: 129-35.
- 7) 安食菜穂子. 特集 技術開発 3 品質評価及び利用技術 味認識装置による漢方処方並びに生薬の品質評価. 特産種苗 2013; 16: 77-83.
- 8) 財団法人北海道科学技術総合振興センター, 財団法人北海道中小企業総合支援センター, 北海道立総合研究機構食品加工研究センター, 他. 食品の味評価のための味覚センサ活用マニュアル (第 3 版). https://www.hro.or.jp/list/industrial/research/food/works/pdf/10inove03_taste3.pdf
- 9) 浜島教子. 味の相互関係について (第 4 報) 甘味と酸味の関係. 家政学雑誌 1977; 28: 282-6.
- 10) P.N. Kale, P.G. Adsule. 3. Citrus D. Acids. D.K. Salunkhe, S.S. Kadam. Handbook of Fruit Science and Technology: Production, Composition, Storage, and Processing. Boca Raton: CRC Press, 1995; 47-9.
- 11) 戸井田仁一. 味覚センサーを用いたみそ, しょうゆの評価. 日本醸造協会誌 2012; 107: 485-90.
- 12) 藤原孝之, 栗田修. 味覚センサーを用いた清酒もろみの発酵状態の評価. 三重県工業研究所研究報告 2010; 35: 37-42.
- 13) 三菱ケミカル株式会社. イオン交換樹脂の試験方法. <https://www.diaion.com/tebiki/06.pdf>
- 14) PMDA. ポリスチレンスルホン酸ナトリウム ケイキサレート® 散 ケイキサレート® ドライシロップ 76% インタビューフォーム
- 15) Pushkin A, Mund R, Pushkin AN, et al. Potassium Removal from Juices Using an Individual Single-Use Ion-Exchange Device. Journal of Food and Nutrition Sciences 2017; 5: 28-33.
- 16) PMDA. ポリスチレンスルホン酸カルシウム ポスカール® 散 インタビューフォーム
- 17) 斉藤裕. 慢性腎不全透析療法患者の味覚障害に関する臨床的検討. 日口腔科会誌 1988; 37: 160-78.