

## 博士論文要旨

### 地場農産物を活用した加工食品の高付加価値化

#### — 加熱がにんじんの糖及びカロテン含量に及ぼす影響とその食味の評価 —

十文字学園女子大学大学院 人間生活学研究科 食物栄養学専攻

21DA501 曾矢 麻理子

#### 【背景・目的】

近年、6次産業化の取り組みを行う農業者が増加しているが、加工方法のノウハウが少ないことが課題となっている。埼玉県新座市はにんじんの指定産地になっており、その収穫量は県内で二番目に多い。にんじんの糖含有量とその組成は、品質評価において欠かせず、品種による影響も大きい。また、にんじんは、β-カロテンが豊富に含まれていることから、栄養価の高さも注目される野菜である。本研究では大量調理で汎用されているスチームコンベクションオープン（スチコン）を用いた地場ににんじんの加工方法の確立を目的として以下の2つについて検証を行った。

検討1 加熱温度の違いによるにんじんの遊離糖及びカロテン残存量を明らかにする。また、品種間差も明らかにする。

検討2 HPLCで測定した糖含有量と、官能評価及び味覚センサーでの甘味度が一致するかを明らかにする。また、地場ににんじんの食味について味覚センサーにて明らかにする。

この2つの検証により、地場ににんじんの高付加価値化を目指し、6次産業の課題に貢献することを目的とした。

#### 【実験方法】

##### <実験試料>

埼玉県新座市産のにんじん3品種（愛紅：Aiko・アロマレッド：Aromared・らいむ：Lime, 栽培日数120日）を用いた。試料は皮を剥き、上部約2.0 cm、下部約5.0 cmを切断後、直径 $3.4 \pm 1.0$  cm、厚さ $1.0 \pm 0.2$  cmの輪切りにした。

##### 検討1 実験方法

1. **試料調製**：スチコンにて3温度帯（120℃・140℃・160℃）を設け、スチーム100%、20分加熱した。にんじんは、温度帯ごと10本用いた。加熱した輪切りを1本につき、6～9個集め、個体ごとにハンドブレンダーにてピューレ状にし、試料とした。

2. **糖およびカロテン量の測定とそれらの加熱後残存量の算出**：各品種、各温度帯の試料について、フルクトース、グルコース、スクロース量をHPLCにて測定し、これらを合わせて総遊離糖含有量とした。また、同試料において、αおよびβ-カロテン量を測定した。糖ならびにカロテン残存量は、測定値に濃縮割合を掛けて推定値を算出し、実測値との差を損失量とした。

3. **統計解析**：SPSSver. 26を使用し、2元配置の分散分析後、ボンフェローニの多重比較検定を行い、試料間の有意差を求めた。有意確率5%未満を統計的有意とした。

##### 検討2 実験方法

##### <官能評価方法>

1. **試料調製および方法**：にんじんは、らいむを使用し、3温度帯で加熱したにんじんをピューレにして試料とした。官能評価は十文字学園女子大学の倫理審査（JEC2023012）承認のもと実施した。パネルは本学の学生および教職員の女性24名とし、順位法にて評価を行った。

2. 統計解析：フリードマンの検定後、Newell & MacFarlane の検定を行った。また、各温度帯でスピアマンの順位相関係数を算出し、各評価項目との相関を求めた。

#### <味覚センサーを用いた測定>

**試料調製および方法**：味認識装置 (TS-5000Z) を用いて行った。生及び、3 温度帯で加熱したにんじんピューレ 3 品種を蒸留水で 5 倍に希釈して試料とした。測定項目は甘味、酸味、塩味、うま味、苦味及び渋味とした。

#### 【結果及び考察】

**検討1.** 加熱試料は SEM 画像により細胞構造を確認した。3 品種とも加熱温度帯が高いほど、湿重量の減少がみられ、特に減少量の多かったアロマレッドでは、細胞の破壊が顕著であり、糖の損失も 3 品種の中で最も多かった。一方らいむでは損失がみられなかった。このことから、糖の残存には、品種による細胞破壊の程度の差が影響していると示唆された。また、どの品種においても加熱温度が高いほど糖残存量が多かった。αおよびβ-カロテンは、愛紅の各温度帯およびアロマレッド 140°Cを除いて、加熱後の残存量は減少した。この原因として、高温加熱によりにんじんの脂質にカロテンが溶解したことが影響したと推察する。

**検討2.** 試料としたらいむの糖含有量は、100 g あたり、120°Cで 6.58 g、140°Cで 8.16 g、160°Cで 9.38 g であったが、官能評価の結果、「甘味の強さ」に有意な差はなかった。「甘味の強さ」と「苦味の強さ」において負の相関がみられ、味覚センサーにおいても、160°Cで苦味が強くなっていたことから、苦味が甘味をマスクしたと考察できる。さらに、甘味センサーの応答性は、HPLC で測定した値と一致しなかった。このことから糖が溶液中に遊離していない可能性が示唆され、ピューレを HPLC 用の試料と同様に超音波処理を行って測定したところ、濃度依存的な応答が確認できた。すなわち、ピューレでは、口腔内で甘味の差を感知できるほどの、糖が遊離していないと考えられ、その原因として加熱による水分の蒸発が関係していると示唆された。また、味覚センサーによる 3 品種の食味を測定した結果、らいむが他の 2 品種に比べ、苦味の少ない品種であることが明らかになった。

#### 【結論】

検討1において、糖残存量に着目した場合、スチコン加熱では、湿重量の減少に伴う遊離糖の損失が、らいむでは見られなかったため、品種を選定した場合には、茹でや蒸しと比較して加熱加工に適した機器であることが証明された。しかしながら、カロテンにおいては、加熱による損失が確認され、本研究で設定した温度帯では、カロテンの損失を防ぐことはできないことが明らかになった。

検討2において、官能評価の結果から、にんじんピューレでは HPLC で測定した糖含有量値と、ヒトの甘味度は一致しないことが証明された。これは、味覚センサーの応答性においても同様であることが明らかになった。その原因として、ピューレ状のにんじんにおいては、糖が水分に遊離していない可能性が示唆された。さらに、加熱により苦味が増したことで、苦味が甘味をマスクした可能性も示唆された。以上のことから、スチコン加熱は農産物の品質評価において重要な遊離糖を残存するのに適した機器といえるが、その解析方法は、理化学的な測定だけでなく、官能評価を行うことが重要であることを本研究において明らかにし、6次産業化の加工の課題解決に寄与するものとする。

なお、研究の成果は、以下の学術論文として公表した。

- 1) 曾矢麻理子, 加藤茂, 平田香織, 太田啓亮, 小林三智子. 2022. 地域との連携活動を通じた地場野菜の有効活用 - 新たな6次産業化の創出に向けて -. 十文字学園女子大学地域連携共同研究所年報. 8, 3-8.
- 2) 曾矢麻理子, 小林三智子. 「にんじんピューレの糖含有量に対する甘味度の評価- HPLC 測定値と官能評価

による比較. 日本家政学会誌. 2024.8.20 (受理)

3) Soya, M. and Kobayashi, M. Effects of convection steam-oven heating on sugar and carotene content in carrots. Journal of Cookery Science of Japan. (Under article submission)

New value-added processed foods utilizing local agricultural products  
- Effect of heating on sugar and carotene content of carrots and evaluation of taste-

Department of Food and Nutritional Sciences,  
Graduate School of Human Life Sciences, Jumonji University.  
(Candidate 21DA501 Mariko Soya)

**【Background and objectives】**

In recent years, an increasing number of farmers have been engaged in the business of 6th industrialization, but the lack of know-how on processing methods has become an issue. Niiza-City in Saitama Prefecture is a designated carrot production area, and its harvest is the second largest in the prefecture. The sugar content and composition of carrots are essential in quality evaluation and are greatly affected by variety. Carrots are also noted for their nutritional value, as it is rich in  $\beta$ -carotene.

In this study, the following two issues were investigated with the aim of establishing a processing method for local carrots using a convection-steam oven (CSO), which is commonly used for mass cooking.

**Study 1 To determine the amount of free sugars and carotenes remaining in carrots at different heating temperatures. Also clarify the differences between varieties.**

**Study 2 To determine whether the sugar content measured by HPLC matches the sweetness level in sensory evaluation and taste sensors. In addition, the taste of local carrots will be clarified by taste sensors.**

The aim of these two verifications was to contribute to the issue of the 6th industry by aiming to add value to local carrots.

**【Experimental methods】**

***Experimental samples***

Three carrot varieties (Aiko, Aromared and Lime) grown in Niiza-City, Saitama Prefecture, with 120 days of growing period were used. Samples were peeled, cut at about 2.0 cm from the top and 5.0 cm from the bottom, and sliced into pieces  $3.4 \pm 1.0$  cm in diameter and  $1.0 \pm 0.2$  cm thick.

***Study 1: Experimental method***

1. Sample Preparation

CSO was used, with three temperature ranges (120°C, 140°C and 160°C) and heated with 100% steam for 20 minutes. Ten carrots were used per temperature range. Six to nine heated slices per carrots were collected, and each individual was pureed in a hand blender and used as a sample.

2. Measurement of sugars and carotenes and calculation of their residual amounts after heating.

Measurements were performed by HPLC. The amounts of fructose, glucose, and sucrose were measured for each variety and for each temperature range of samples, and these were combined to determine the total sugar content. The amount of  $\alpha$ -carotene and  $\beta$ -carotene were also measured in the same samples. The residual amounts of sugars and carotene were estimated by multiplying the measured values by the concentration ratio, and the difference between the actual values and the measurement values was used as the amount of loss.

3. Statistical analysis

SPSS ver. 26 was used to determine significant differences between samples by Bonferroni's multiple comparison test after two-way ANOVA. A significance establishment of less than 5% was considered statistically significant.

### ***Study 2: Experimental method***

#### **<Sensory evaluation method >**

##### 1. Sample preparation and methods

Used carrots were "Lime", which were heated in three temperature ranges and pureed to be used as the sample. The sensory evaluation was carried out under the ethics review (JEC2023012) approval of Jumonji-University. The panel consisted of 24 female students and faculty members of the University. The evaluation was carried out by the ranking method.

##### 2. Statistical analysis

After Friedman's test, Newell & MacFarlane's test was performed. In addition, at each temperature range, Spearman's rank correlation coefficients were calculated and correlated with each evaluation category.

#### **<Measurement using a taste sensor>**

A taste sensing system (TS-5000Z) was used to perform the study. Three varieties of carrot puree heated at three temperatures were diluted five times with distilled water and used as samples. The taste categories measured were sweetness, acidity, saltiness, umami, bitterness, and astringency.

#### **【Results and Discussion】**

##### ***Study 1.***

The cell structure of the heated samples was observed by SEM images. All three varieties decreased in wet weight as the heating temperature range increased, with the Aromared, which showed a particularly large decrease, showing significant cell destruction and the highest loss of total sugars of the three varieties. On the other hand, no loss was observed in Lime. This suggested that the residual sugars were affected by the varying degree of cell destruction in different varieties. The higher the heating temperature, the higher the residual sugar content in all varieties. The residual amounts of  $\alpha$ - and  $\beta$ -carotene decreased after heating, with the exception of the Aiko 120-160°C and Aromared 140°C. This was considered to be due to the carotene leaching into the lipids of the carrots by high-temperature heating.

##### ***Study 2.***

The sugar content of Lime was 6.58 g per 100 g at 120 °C, 8.16 g at 140 °C and 9.38 g at 160 °C. The results of sensory evaluation showed no significant difference in sweetness. The negative correlation between sweetness and bitterness, and the fact that bitterness became stronger at 160°C on the taste sensor, suggests that bitterness masked sweetness. Furthermore, the response of the sweetness sensor did not match the values measured by HPLC. This suggested that the sugar may not be free in solution, and when the puree was sonicated and measured in the same method as the sample for HPLC, a concentration-dependent response was observed. It was suggested that the puree did not release enough sugar to detect a difference in sweetness in the oral, and that evaporation of water due to heating was the cause of this difference. The taste of the three varieties measured by taste sensors revealed that Lime had less bitterness than the other two varieties.

#### **【Conclusion】**

CSO is the suitable instrument for residual sugars, which are important for quality evaluation of agricultural products. In this study, it was clarified that the analysis method should not only physicochemical measurement but also sensory evaluation, which will contribute to solving the issue of 6th industrialization processing.

My research results were accepted and submitted and listed below.

- 1) Soya, M., Tanaka, S., Hirata, K., Ota, K. and Kobayashi, M. 2022. Effective use of local vegetables through cooperation activity with region. -For the creation of new 6th industrialization-. Regional Collaboration Research Institute Annual Report, Jumonji-University.8,3-8.
- 2) Soya, M. and Kobayashi, M. Evaluation of sweetness to sugar content of carrot puree -Comparison of HPLC measurement values and sensory evaluation-. Journal of Home Economics of Japan. (in Japanese). (Accepted 2024.8.20)
- 3) Soya, M. and Kobayashi, M. Effects of convection steam-oven heating on sugar and carotene content in carrots. Journal of Cookery Science of Japan. (Under article submission)