

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：12201

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15943

研究課題名(和文)加工操作による植物性食品の糖質消化性のコントロール

研究課題名(英文)Control of carbohydrate digestibility of vegetable food by processing

研究代表者

田村 匡嗣(Tamura, Masatsugu)

宇都宮大学・農学部・助教

研究者番号：60750198

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文):品種の異なる大麦を使用した餃子皮の糖質消化性の評価と、速度論的解析による糖質消化性の解析を研究の主目的として実施した。実験には、栃木県産大麦のサチホゴールド、ダイシモチ、もち絹香と市販の小麦粉から作製した餃子皮を使用した。試料間の糖質消化性を評価するため、非線形の一次方程式にあてはめて速度論的に解析したところ、品種間で有意な差がみられた。これら品種間差には、 α -グルカン量や総ポリフェノール量よりもアミロース量が影響したと結論付けられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大麦は近年の消費量が増加し、その主要成分である食物繊維やポリフェノールは糖質消化性(血糖値の変動)を緩やかにする機能が明らかにされている。しかし、大麦を使った食品加工例やその糖質消化性に関する研究はほとんどみあたらない。本研究では、大麦の加工方法として餃子皮を取り上げ、糖質消化性とその因子について検討した。得られた結果は、糖質消化性を緩やかにする新たな大麦食品の作製を通して、人々の健康維持増進に貢献できる。

研究成果の概要(英文):The main purposes of this study were to evaluate the carbohydrate digestibility of dumpling skins made from different varieties of barley and to analyze their carbohydrate digestibility by kinetic analysis. Dumpling skins made from Tochigi Prefecture barley (cv. Sachiho golden, Daishimochi, and Mochikinuka) and commercial wheat flour were used in the experiments. To evaluate the digestibility of carbohydrates among the samples, kinetic analysis was performed by fitting a non-linear linear equation. It was concluded that the apparent amylose content, rather than α -glucan or total polyphenols, was responsible for the differences among the varieties.

研究分野：食品工学

キーワード：大麦 in vitro模擬消化試験 α -グルカン ポリフェノール 食品加工 糖質消化性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

糖質を含む食品の摂取は、腸管内におけるデンプンからグルコースへの加水分解によるグルコース量増加速度の上昇、すなわち急激な血糖値の変化を引き起こす。この反応は、2型糖尿病、高脂血症および心疾患などの生活習慣病の発症と密接に関係する (Jenkins et al., 2002; Lehmann & Robin, 2007)。このため血糖値の上昇を、ヒトの血液より算出する GI (グリセミック・インデックス) や、ヒトの消化器官をガラス器具内で再現した *in vitro* 模擬消化試験で算出する eGI (推定 GI) による評価が欧米を中心に進められている。食物繊維やポリフェノールなどは、糖質消化性 (血糖値の変動) を緩やかにする機能が明らかにされ、日本食の消費量の中で重要な位置を占める玄米、大麦、ソバおよび茶などは、これらの機能性成分を豊富に含むことから世界的に注目されている。一方で、例えば米の場合、搗精度 (精米度) や加熱時間などの調製や加工操作が、糖質消化性に影響することは経験的によく知られており、玄米のように搗精度が低いほど糖質消化性が低く (消化性が悪く)、おかゆのように加熱時間が長いほど糖質消化性が高く (消化性が良く) なる。一方、遺伝的に糠層に色素を有する有色米の玄米飯の調査では、ポリフェノールなどの抗酸化成分が消化過程で活性が変化するとともに糖質消化性を抑制することが明らかとなっている (Thuengtung et al., 2018)。これらの研究は、植物固有の遺伝的性質 (元来持っている性質) と工学的な加工操作によって糖質消化性が変化すること、糖質消化性は速度論的解析によって予測でき、植物性食品の加工操作によって制御できる可能性を示唆している。

2. 研究の目的

当初、本研究では、大麦、ソバおよび茶を試料とし、様々な加工操作をしてその糖質消化性を調査する予定であった。しかし、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の蔓延により、研究の計画変更や中止を余儀なくされた。したがって、品種の異なる大麦を使用した餃子皮の糖質消化性の評価と、速度論的解析による糖質消化性の解析を研究の主目的として実施した。

3. 研究の方法

(1) 材料

本研究では植物性食品の事例として、食物繊維およびポリフェノールなど機能性成分を豊富に含む糖質源となる大麦粉 (cv. サチホゴールド、ダイシモチ、もち絹香) を使用した。対照として市販の小麦粉を用いた。

(2) 試料の調製

大麦生地 の 作製方法 (Tamura et al., 2020; Tamura et al., 2021b) を適用し、餃子の生皮を作製した。生皮は、焼き調理、蒸し調理および揚げ調理して、焼皮、蒸し皮および揚げ皮の試料とした。

(3) 成分分析

既定の方法により、みかけのアミロース量、 β -グルカン量、総ポリフェノール量を測定した。

(4) *in vitro* 模擬消化試験

ブレンダーを使ってスラリー状にした試料に対し、既定の方法 (Tamura et al., 2016) で *in vitro* 模擬消化試験を実施した。消化中に上澄み液を回収し、グルコース量を算出した。糖質消化率 (%) は、得られたグルコース量をもとにデンプン加水分解率として以下の式より算出した。

$$SH = Sh/Si = 0.9 \cdot Gp/Si$$

ここで SH は糖質消化率、Sh は加水分解されたデンプン量、Si は初期デンプン量、Gp は生成したグルコース量、0.9 はデンプン中のグルコースユニットの分子量/グルコースの分子量 (162/180) の変換係数である。

得られた糖質消化率を一次反応式モデル (Goñi et al., 1997) に適用して、最小二乗法により速度論的に解析した。

$$C = C_{\infty} (1 - \exp(-kt))$$

C は時間 t における糖質消化率、 C_{∞} は小腸消化過程における平衡消化率、k は速度定数、t は時間である。

(5) みかけの粘度

小腸消化過程におけるスラリー状試料のみかけの粘度は、Tamura et al. (2021a) の方法を参考にスピンドル (SC14-4, BROOKFIELD) を取り付けた回転式粘度計 (DV2T, BROOKFIELD) で測定した。

4. 研究成果

焼皮は、蒸し皮および揚げ皮よりも加工性や嗜好性の点で好まれる傾向を示した。これは大麦の吸水性や吸油性が高いことに起因し、蒸し皮および揚げ皮が高い付着性を示したためである。そのため、以降の実験では、焼皮を研究対象とした。

原料のみかけのアミロース量は、ウルチ性のサチホゴールド (23%) および小麦粉 (23%)

がモチ性のもち絹香(9%)およびダイシモチ(7%)よりも有意に多かった。原料のβ-グルカン量は、ダイシモチ(5%)>もち絹香(4%)>サチホゴールド(3%)>小麦粉(0%)の順に多かった。β-グルカン量は、原料から生皮を作製する過程で減少し、焼成過程でほとんど変化しなかった。大麦焼皮のβ-グルカン量は、小麦焼皮の約16-22倍多かった。大麦のβ-グルカン含量は、品種、環境およびそれらの相互作用で変化することが報告されており(Zhang et al., 2002)、本研究でも同様の傾向であった。原料の総ポリフェノール量は、ダイシモチ(3%)>サチホゴールド(2%)>もち絹香(2%)>小麦粉(2%)の順に多かった。総ポリフェノール量は、生皮の作製過程および焼成過程で減少した。ただし、小麦粉から小麦生皮を作製する過程では、総ポリフェノール量がほとんど変化しなかった。

図1は、胃小腸消化過程における試料の糖質消化率の変化を示す。小腸消化を開始した30分間時から糖質消化率は、時間経過とともに増加した。ダイシモチおよび小麦の糖質消化率は急激に上昇したのに対し、サチホゴールドおよびダイシモチの糖質消化率は緩やかに上昇した。270分における糖質消化率は、ダイシモチ(99%)およびもち絹香(95%)と小麦(76%)およびサチホゴールド(74%)の間に有意な差を示した。試料間の糖質消化性を評価するため、非線形の一次方程式(Goni et al., 1997)にあてはめて速度論的に解析した。 C_{∞} は、もち絹香(91%)およびダイシモチ(85%)とサチホゴールド(65%)および小麦(65%)の間に有意な差を示した。 k は、もち絹香(2min^{-1})および小麦(2min^{-1})とサチホゴールド(0.4min^{-1})およびダイシモチ(0.2min^{-1})の間に有意な差を示した。小腸消化前のみかけの粘度は、もち絹香が最も高く、次いでダイシモチ、サチホゴールドとなり、小麦が最も低かった。小腸消化過程におけるみかけの粘度は、比較的緩やかな速度で減少し、いずれの試料も13分時までに1-12Pasの平衡に達した。一般にβ-グルカンは、消化物の粘度を増加させることで水分の移動や消化酵素とデンプンの接触を抑制し、*in vitro*での糖質消化率を低下させる(Zhang et al., 2019)。しかし、β-グルカン量は、みかけの粘度および糖質消化率の間に関係性がみられなかった。一方、糖質消化率は、みかけのアミロース量との間に相関性がみられ、総ポリフェノール量との間に関係性がみられなかった。以上のことから本研究では、β-グルカン量や総ポリフェノール量よりもみかけのアミロース量が焼皮の糖質消化性に影響したと結論付けられた。

今後、非デンプン性多糖類、アミロース脂質複合体などの糖質消化性および粘度に与える影響についても検討する。また、ソバおよび茶の研究についても継続する予定である。

引用文献

- Goñi, I., Garcia-Alonso, A., & Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17(3), 427-437.
- Jenkins, A. L., Jenkins, D. J. A., Zdravkovic, U., Würsch, P., & Vuksan, V. (2002). Depression of the glycemic index by high levels of β-glucan fiber in two functional foods tested in type 2 diabetes. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56(7), 622-628.
- Lehmann, U., & Robin, F. (2007). Slowly digestible starch—its structure and health implications: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(7), 346-355.
- Tamura, M., Kumagai, C., Kaur, L., Ogawa, Y., & Singh, J. (2021a). Cooking of short, medium and long-grain rice in limited and excess water: Effects on microstructural characteristics and gastro-small intestinal starch digestion *in vitro*. *LWT*, 146, 111379.
- Tamura, M., Osawa, H., Saito, T., & Kou, S. (2021b). Binders for barley dumplings—Effect on physicochemical properties and palatability—. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 14(1), 21-29.
- Tamura, M., Singh, J., Kaur, L., and Ogawa, Y. (2016). Impact of structural characteristics on starch digestibility of cooked rice. *Food Chemistry*, 191, 91-97.
- Tamura, M., Takahashi, N., Saito, N., Akutsu, S., Hoshi, Y., and Okamoto, T. (2020). Development of dumpling skin rich in barley flour with added gluten. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 13, 15-22.
- Thuengtung, S., Niwat, C., Tamura, M., & Ogawa, Y. (2018). *In vitro* examination of starch digestibility and changes in antioxidant activities of selected cooked pigmented rice. *Food bioscience*, 23, 129-136.
- Zhang, H., Li, Z., Tian, Y., Song, Z., & Ai, L. (2019). Interaction between barley β-glucan and corn starch and its effects on the *in vitro* digestion of starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141, 240-246.
- Zhang, G., Junmei, W., & Jinxin, C. (2002). Analysis of β-glucan content in barley cultivars from different locations of China. *Food Chemistry*, 79(2), 251-254.

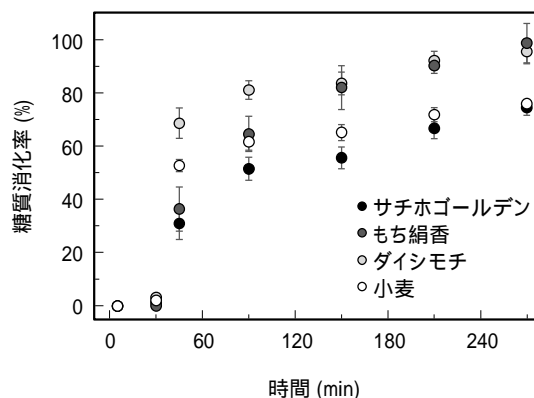


図1 胃小腸消化過程における試料の糖質消化率の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 田村匡嗣	4. 巻 4
2. 論文標題 糖質消化性をコントロールした地域食品の創出	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 48 - 49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田村匡嗣	4. 巻 22
2. 論文標題 栃木県における地域食品の開発 in vitro模擬消化試験による糖質消化性の評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地域ケアリング	6. 最初と最後の頁 68 - 69
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------