

## レンコンデンプンの栄養価

黄 欣儀, 細見亮太, 福永健治, 吉田宗弘<sup>†</sup>

(関西大学化学生命工学部食品栄養化学研究室\*)

(受付 2023年8月26日, 受理 2023年9月28日)

## Nutritional value of lotus root starch

Xinyi HUANG, Ryota HOSOMI, Kenji FUKUNAGA, Munehiro YOSHIDA

*Laboratory of Food and Nutritional Sciences, Faculty of Chemistry, Materials and Bioengineering,  
Kansai University*

## Summary

The nutritional value of lotus root starch was compared with that of kudzu (*Pueraria lobata*), cassava, and corn starch. In vitro digestion studies showed that the digestibility of lotus root starch tended to slightly exceed that of other starches. Twenty-four 4-week-old male Wistar rats were divided into four groups and each group was fed a 12% casein diet containing 50% lotus root starch, kudzu starch, cassava starch, and corn starch, respectively. After 4 weeks of feeding, body weight, liver weight, white adipose tissue weight, and serum triacylglycerol concentration in the lotus starch group were similar to those of the cassava and corn starch groups and slightly higher than those of the kudzu starch group. These results indicate that the nutritional value of lotus root starch exceeds that of kudzu starch and is comparable to that of corn and cassava starch.

ハス (*Nelumbo nucifera*) の地下茎が肥大したレンコンは東アジアにおいて古くから食用とされてきた。日本においてレンコンは野菜に区分されるが、固形成分の大半はデンプンであり<sup>1)</sup>、イモの一種と考えることもできる。このようにレンコンは高デンプン食品であるが、レンコンデンプンを積極的に利用した食品は、蓮根餅を除いて見当たらない。

レンコンデンプンについて、糊化特性などの物性は比較的調べられている。阿久澤は、約10種のデンプンの糊化特性、粒径などを調べ、因子分析によってレンコンデンプンがサツマイモやクズ (*Pueraria lobata*) デンプンに近い物性であることを示している<sup>2)</sup>。一方、鈴木は、レンコンデンプンが比較的老化しにくいいため、レンコンは加熱調理後に冷めても比較的美味しく食べることができる<sup>3)</sup>。しかし、レンコンデンプンに関して、消化性や摂取した場合のエネルギー源としての利用性などに代表される栄養価に関する報告は見当たらない。20数年前から、根菜やイモなどに含まれるデンプンに関して、難消化性のあるものをレジスタントスターチと呼んで、食物繊維と同様の機能性があるとする報告が増えていることから<sup>4)</sup>、レンコンデンプンの栄養価を検討することは重要と考える。以上よ

り、本研究では、レンコンデンプンの消化性と摂取した場合の利用性を他のデンプンと比較し、その栄養価について考察した。

## 材料と方法

## 1. デンプン試料

本研究では、レンコンデンプンに加えて、比較としてクズデンプン、キャッサバデンプン、トウモロコシデンプンを用いた。レンコンデンプンは、和菓子材料処ヤマグチ(京都)が販売する蓮粉(デンプン含有量, 82%)と株式会社癒雅(福岡)が販売する本蓮根粉(デンプン含有量, 89%)を1:1で混合したものを用いた。クズデンプンは、健康生活研究所(奈良)が販売する吉野葛粉末(デンプン含有量, 85.6%)、キャッサバデンプンは、健康生活研究所が販売するタピオカでん粉(デンプン含有量, 85%)を用いた。トウモロコシデンプンは、オリエンタル酵母工業株式会社(東京)が動物飼料用に販売しているβ-コーンスターチ(デンプン含有量, 86%)を用いた。各デンプン試料は、デンプン含有量が互いに近接していたことから、乾燥処理は行わず、そのまま実験に用いた。

<sup>†</sup>連絡先 (Corresponding author), Tel: +81-90-9990-1853 E-mail: gshpx44@xb3.so-net.ne.jp

\*所在地: 大阪府吹田市山手町3-3-35 (〒564-8680)

## 2. 消化試験

各デンプンの試験管内での消化試験は Englyst らの方法に基づいた<sup>5)</sup>。すなわち、一定量のデンプンにアミラーゼとグルコアミラーゼ溶液を加え、37°Cで120分間震盪して消化を進行させ、消化液中のD-グルコース濃度をグルコースオキシダーゼを用いる酵素法<sup>6)</sup>によって経時的に定量した。

## 3. 動物栄養試験

タンパク質含有量が低い飼料を成長期の実験動物に投与する場合、デンプンの栄養価が低いと、成長に使われるタンパク質がエネルギーとして消費されるため、成長が抑制される。このことを利用して、各デンプンの栄養価をラットを用いた栄養試験により評価した<sup>7,8)</sup>。具体的には、Table 1に示すように、タンパク質源としてカゼインを12%、各デンプンを50%含む飼料を調製し、6匹ずつの4群に分けた4週齢のWistar系雄ラットに4週間与えた。飼育期間中の体重を測定するとともに、飼育終了後に血液、肝臓、腎臓、白色脂肪組織を採取した。

以上の動物実験は、関西大学動物実験委員会の承認（承認番号、2202）を得て実施した。

## 4. 測定

今回使用したレンコンデンプンはいずれもレンガ色に着色しており、酸化鉄の混入が疑われたことから、実験動物用に調製した飼料について、蛍光X線分析装置（EDX-

7000, 島津, 京都）を用いて鉄を定量した。蛍光X線分析においては、標準参照試料（Apple Leaves (SRM1515), Peach Leaves (SRM1547), Tomato Leaves (SRM1573a), Citrus Leaves (SRM1572), Corn Kernel (RM8413), Spinach Leaves (SRM1570a))を同じ条件で測定し、それらの値と比較することで試料中の鉄濃度を求めた。

採取した血液については、生化学検査を行った。検査は株式会社日本医学研究所（貝塚）に委託した。肝臓については、硝酸を用いて灰化し、原子吸光度計（AA-7000, 島津）にて鉄を測定した。

デンプン試料のアミロース含有量は、アミロース/アミロペクチン分析キット（Megazyme Ltd, Wicklow-Ireland）を用いて測定した。

## 5. 統計解析

動物実験で得られた各群の測定値については、平均値と標準誤差を算出し、一元配置分散分析とTukeyの多重比較を用いて測定項目ごとに群間の差を比較した。有意水準は5%とした。

## 結果と考察

各デンプンのアミロース含有量をTable 2にまとめた。この表には、ヨウ素呈色反応にもとづいて測定される鎖長の大きいアミロペクチンを含めた見かけのアミロース含有量についての報告値<sup>2)</sup>も併記した。同一デンプンであっても産地ごとに物性やアミロース含有量が異なる可能性があり、キャッサバのように見かけ量よりも今回の測定値が大きいという例も存在していることから、両者を単純に比較することは難しいが、今回の測定値と見かけのアミロース含有量の差（表におけるb-a）は、鎖長の大きいアミロペクチン量ということになる。すなわち、レンコンデンプンは、他のデンプンに比較してアミロースは少ないが、鎖長の大きいアミロペクチンの量はトウモロコシデンプンとほぼ等しく、クズデンプンやキャッサバデンプンに比較して多いと考えることができる。デンプンを糊化した際のふっくら感や粘りはアミロース、粘りは鎖長の小さいアミロペクチンに由来し、鎖長の大きいアミロペクチンはこれらを抑制する性質があるとされている<sup>9)</sup>。アミロースや鎖長の大きいアミロペクチン含有量の差がどの程度であれば糊化した場合の物性に差が生じるのかは明確でないが、アミロー

Table 1 Composition of experimental diet

Ingredients	g/kg
Experimental starch	500
Dextrinized corn starch	110
Sucrose	100
Casein	120
Soybean oil	70
AIN93G mineral mixture	35
AIN93 vitamin mixture	10
Cellulose	50
Choline bitartrate	2
L-Cystine	3

Table 2 Amylose content in experimental starch

	Lotus	Kuzu	Cassava	Corn
(a) Amylose content (%) *	14.4 ± 0.8	17.8 ± 0.4	24.8 ± 5.7	19.9 ± 0.6
(b) Apparent amylose content (%)**	20.3	20.9	19.5	25.5
(b) - (a)	5.9	3.1	-5.3	5.6

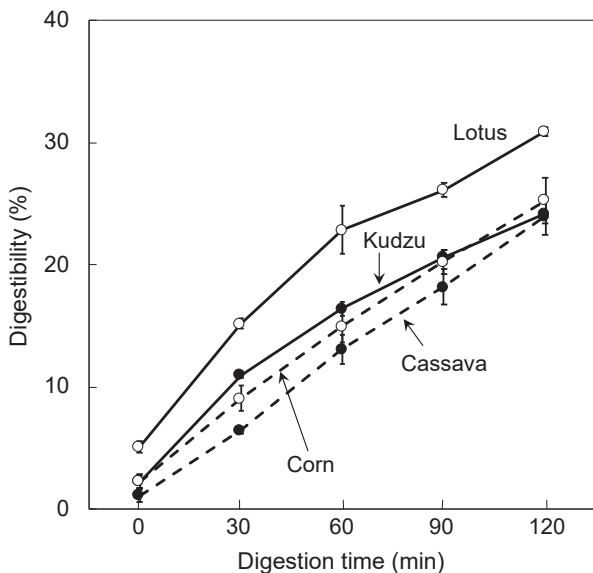
\*. The amylose content was measured four times repeatedly from the same lot, and the mean ± SD are shown.

\*\* The values are those listed in the literature<sup>2)</sup>.

**Table 3** Body and organ weight, blood biochemistry and hepatic iron content in rats fed experimental diet

	Lotus	Kudzu	Cassava	Corn
Initial body weight (g)	81.5 ± 1.3	81.2 ± 1.5	81.4 ± 1.7	80.5 ± 1.0
Final body weight (g)	252 ± 5	244 ± 12	259 ± 4	260 ± 3
Body weight gain (g)	171 ± 5	162 ± 10	178 ± 10	179 ± 4
Organ weight (g)				
Liver	10.6 ± 0.5	9.3 ± 0.7	10.5 ± 0.3	10.8 ± 0.3
Kidney	1.6 ± 0.1	1.7 ± 0.1	1.7 ± 0.1	1.7 ± 0.1
White adipose tissue	10.2 ± 0.8 <sup>ab</sup>	9.1 ± 0.6 <sup>a</sup>	10.8 ± 0.7 <sup>ab</sup>	11.7 ± 0.8 <sup>b</sup>
Blood biochemistry				
Total protein (g/dL)	5.0 ± 0.1	5.0 ± 0.1	5.0 ± 0.1	5.0 ± 0.1
Triacylglycerol (mg/dL)	70 ± 12	60 ± 8	78 ± 8	73 ± 8
Total cholesterol (mg/dL)	56 ± 2	55 ± 1	51 ± 2	51 ± 3
Urea nitrogen (mg/dL)	4.5 ± 1.0	3.0 ± 0.7	3.8 ± 0.7	4.8 ± 0.4
Creatinine (mg/dL)	0.25 ± 0.03	0.21 ± 0.02	0.24 ± 0.02	0.22 ± 0.01
Serum iron (µg/dL)	200 ± 23	262 ± 24	216 ± 33	190 ± 14
Transferrin saturation (%)	42.5 ± 8.1	58.8 ± 6.6	50.1 ± 7.0	43.8 ± 10.2
Hemoglobin (g/dL)	13.1 ± 0.2 <sup>b</sup>	12.9 ± 0.2 <sup>ab</sup>	12.4 ± 0.2 <sup>ab</sup>	12.3 ± 0.2 <sup>a</sup>
Hepatic iron (µg/g)	147 ± 8	136 ± 6	146 ± 8	136 ± 8

Values are means ± SEM (n=6). Significant differences ( $p < 0.05$ ) were found in ANOVA for items with alphabetical superscripts in the values. For these items, there are significant differences ( $p < 0.05$ ) between groups without a common superscript in the same row in Tukey's multiple comparisons.

**Fig. 1** *In vitro* digestibility of several starch samples

スや鎖長の大きいアミロペクチン含有量と物性との関連について検討することによって、糊化した際のレンコンデンプンの特性を明確にできるかもしれない。

Fig. 1に消化試験の結果をまとめた。なお、糊化していない状態で試験を実施したため、消化率はいずれのデンプン試料においても低い値であった。デンプンの種類ごとに消化率を見ると、レンコンデンプンの消化率が、クズ、キャッサバ、トウモロコシデンプンをやや上回っていた。

ただし、レンコンデンプンは消化前（0分）の時点で他のデンプンに比較して遊離グルコースをやや多く含んでおり、デンプンの単離過程において加水分解が生じている可能性が考えられた。今回の研究では、デンプンを単離するプロセスについては確認していないことから、この結果だけでレンコンデンプンの消化性が他のデンプンよりも高いと結論することはできないだろう。

本研究では、各デンプンのエネルギー源としての利用効率を調べるため、各デンプンを50%含有する12%カゼイン飼料を成長期のラットに投与した。Table 3は、この実験飼料を4週間摂取したラットの体重、臓器重量、血液生化学検査の測定値、および肝臓の鉄濃度をまとめたものである。最終体重、体重増加量、肝臓重量、白色脂肪組織重量、血清中性脂肪（トリアシルグリセロール）濃度において、クズデンプンを与えた群が他のデンプンを与えた群に比較して、やや低い値を示す傾向があり、とくに白色脂肪組織重量において有意差が認められた。一般に、利用効率の悪いデンプンを摂取すると、本来は成長に利用されるタンパク質の一部がエネルギーとして消費されるため、成長が遅れ、脂肪蓄積が減少することになる。実際、このような動物試験において、ジャガイモデンプンの利用率がトウモロコシデンプンよりも低いことや<sup>7)</sup>、老化米の利用率が生米や糊化米に比較して低いこと<sup>8)</sup>が示されている。したがって、今回の結果は、クズデンプンの利用性が他のデンプンに比較してやや低いことを示すものと考えられる。

In vitroで行った消化試験 (Fig.1) と、実際に動物に投与した栄養試験の結果 (Table 3) が一致しなかった。われわれは、消化試験において、著しく低い消化率である生米が、栄養試験においては糊化米と同等に利用されることを認めている<sup>8)</sup>。これらのことは、試験管内で実施する消化試験が実際の消化吸収率を反映していないことを示すものと思われる。

材料と方法のところで述べたように、用いたデンプン試料の中で、レンコンデンプンのみがレンガ色に着色しており、酸化鉄の混入が疑われた。実験動物に投与した飼料について、鉄を定量したところ、クズ、キャッサバ、トウモロコシデンプンを用いた飼料の鉄濃度が、それぞれ 49.2, 40.6, 35.3 µg/g であるのに対して、レンコンデンプンを用いた飼料の鉄濃度は 101.6 µg/g であった。Table 3 に示すように、レンコンデンプンを含む飼料を摂取した群のヘモグロビン濃度は、他の飼料を摂取した群に比較して、やや高い傾向にあったが、血清鉄、トランスフェリン飽和率、肝臓鉄濃度には、群間の差がないことから、レンコンデンプンに含まれる鉄の影響は、あったとしても軽微なものとも考えられた。

鉄の混入は、味覚や視覚への影響が大きいため、レンコンデンプンの利用において問題になるかもしれない。すなわち、レンコンデンプンは、それを主体にした加工食品を調製する場合、葛切りのような、白くて繊細な味わいなものではなく、黒蜜と混合するなど、味覚と視覚における鉄の影響をマスクしたようなものに利用が制限される可能性が高い。したがって、レンコンデンプン調製において、鉄分の除去は今後の課題であるといえよう。また、今回は各デンプンの糊化率などは測定しなかった。デンプンが糊化した状態で利用されることを考えると、今後は、各デンプンを糊化した場合の物性の違いなどを検討する必要がある。

今回の研究の主目的は、レンコンデンプンの栄養価を他のデンプンに比較することにあった。レンコンデンプンを動物に摂取させた場合の利用率は、クズデンプンをやや上

回り、キャッサバおよびトウモロコシデンプンと同等であった。したがって、レンコンデンプンの栄養価は、クズデンプンをやや上回り、汎用されているトウモロコシデンプンやキャッサバデンプンに匹敵すると結論できる。

## 文 献

- 1) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会 (2023) 日本食品標準成分表 (八訂) 増補 2023 年炭水化物成分表編 - 利用可能炭水化物, 糖アルコール, 食物繊維及び有機酸, [https://www.mext.go.jp/content/20230428-mxt\\_kagsei-mext\\_00001\\_041.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20230428-mxt_kagsei-mext_00001_041.pdf)
- 2) 阿久澤さゆり (2012) 調理におけるデンプンの物性と利用, 日本調理科学会誌 45 : 238-243.
- 3) 鈴木綾子 (1993) 調理科学における各種澱粉特性の利用, 澱粉科学 40 : 233-243.
- 4) 早川享志, 柘植治人 (1999) デンプンの摂取と健康 - 難消化性デンプンの生理機能, 日本食物繊維研究会誌 3 : 55-64.
- 5) Englyst, HN, Kingman SM, Cummings JH (1992) Classification and measurement of nutritionally important starch fractions, Eur J Clin Nutr 46: S33-S50.
- 6) 北村進一, 中屋 慎 (2012) 糖の定量法, 生物工程学 90 : 790-793.
- 7) 桜井芳人, 増原泰三, 渡辺至子, 早川清一 (1951) 澱粉の栄養化学的研究 (1) - 諸種澱粉の差異に就て (1), 食糧研究所研究報告 5 : 41-51.
- 8) 吉田宗弘, 泉井望未, 神田珠希, 細見亮太, 福永健治 (2020) 老化米の投与がラットの成長と鉄状態に及ぼす影響, 微量栄養素研究 37 : 7-11.
- 9) 竹田靖史 (2007) 澱粉の分子構造と食品のおいしさ, 日本調理科学会誌 40 : 357-364.