

耐糖能試験における血糖レベルに及ぼすラッキョウフルクトンの影響

谷 政八* ・ 池田 涼子* ・ 新庄 絹代** ・ 小林 恭一***

*仁愛大学人間生活学部 ** (医療法人) 寿人会木村病院 ***福井県食品加工研究所

Effects of Rakkyofructan on the Levels of Plasma Glucose in Human Glucose Tolerance Tests

Masahachi TANI* Ryoko IKEDA* Kinuyo SHINJYOU** Kyoichi KOBAYASHI***

*Faculty of Human Life, Jin-ai University

**Medical Corporation JYUJIN Association Kimura Hospital

***Fukui Prefectural Food Processing Research Institute

Summary Rakkyo contains abundant soluble fiber such as Fructan. We previously reported that Rakkyofructan decreased serum triglycerides, cholesterol, blood glucose and improved mineral absorption in rat. In this study, we investigated the effect of Rakkyofructan on blood glucose in healthy volunteers.

In this open-labeled, randomized, and cross-over trial, 12 healthy volunteers were randomly divided into glucose only group and glucose with Rakkyofructan 5 g group (n = 12), respectively. Blood and urine samples were collected before as well as 30, 60, 90, 120 and 150 min after glucose intake. The peak values (C_{max}) and area under curve (AUC) of serum glucose were significantly lower in the glucose with Rakkyofructan group than in the glucose only group ($P < 0.05$).

Although further study is necessary to elucidate the mechanism, it is certain that Rakkyofructan has the potent anti-diabetic effect. This effect of Rakkyo concerning nutrition should be given consideration.

key words キーワード：

soluble dietary fiber **水溶性食物繊維**, Rakkyofructan **ラッキョウフルクトン**, glucose tolerance test **糖負荷試験**, blood glucose **血糖**

緒 言

一般に粘性の高い水溶性食物繊維は、グルコースやスクロースなどの糖質を胃から小腸への移行を遅延させるとともに、糖質の消化吸收を抑制あるいは遅延するために血糖上昇が抑制され、インスリン分泌は減少されると考えられている^{1) 2) 3)}。

近年、粘性の問題について、高分子化合物から低分子化合物まで多種の物質について研究がなされ、水溶性の食物繊維のもつ性質を日常生活で上手に活用すれ

ば食事性の血糖上昇が緩慢になり、糖尿病リスクの軽減に作用する効果や患者に対しては症状の悪化を抑制する効果が期待できることが判ってきた^{4) 5) 6)}。

現代の食事形態の変化は高脂肪食、高タンパク質食、高単純糖質食それに伴う低複合糖質食、低繊維質食の傾向にあり、生活習慣病は増加の一途をたどっている^{7) 8)}。我々は、ラッキョウに豊富に含まれる水溶性食物繊維である「ラッキョウフルクトン」に注目し、糖尿病や脂質異常症、骨粗鬆症などの生活習慣病予防の可能性について研究を行っている^{9) ~15)}。我々は、

これまでにラットにおいて、粘性の低い低分子化合物でしかも難消化性の水溶性食物繊維ラッキョウフルクタン（分子量3,000~100,000：平均約30,000）の摂取が血清トリグリセリド、コレステロールなどの脂質代謝に影響を与えること^{16) 17) 18)}、グルコースやインスリンなどの血糖値に影響を与えること^{19) 20) 21)}、窒素代謝に影響を与え利尿効果があること²²⁾、盲腸内容物の有機酸組成に影響を与え、pHを低下させ各種ミネラルの吸収促進の効果などを明らかにした²³⁾。

本研究では、ヒトを被験者に、グルコース負荷後の血糖レベルに対するラッキョウフルクタン摂取の影響について検討した。

対象および実験方法

1. 試験溶液の調製

対照の試験溶液は、経口糖耐容力 試験用としての糖質のグルコース溶液（トレランG50あるいはトレランG75 清水製薬（株））を水道水で300mlに調整して使用した。飲み易くするためにいずれも冷蔵庫で冷やして摂取させた。なお、グルコース溶液の性状は二酸化炭素を含んだ無色～微黄色澄明のやや粘潤性の液で、レモン様のおいがあり、甘味および酸味を有していた。使用上の注意を守り使用した。

試験溶液は、ラッキョウフルクタン結晶粉末5gを滅菌水50mlに溶解し、対照と同様のグルコース溶液に添加して300mlに調製して使用した。この溶液は無味、無色で僅かなおいを生じていた。

2. 試験デザイン

糖尿病でない健康な女子大学生12名を対象に、7日間の間隔でクロスオーバー試験を行った。被験者の平均年齢 20.98±0.99歳、平均身長161.98±6.17cm、平均体重52.90±5.50kg、平均BMI20.18±1.77kg/m²、平均ヘモグロビン値13.11±0.63g/dlであった。被験者には前夜22時以降絶食とし、試験当日は午前9時に集合とした。

対照グルコース溶液またはラッキョウフルクタン粉末5gを添加した試験グルコース溶液を300mlに調製して摂取させ、試験時間内は、飲食しないよう指示し

た。

摂取前と摂取後30分毎に150分まで計6回、血圧および血糖値の測定を行った。採尿は、120分までの計5回行い、採取後冷凍保存（-30℃）した。

なお、本研究は、ヘルシンキ宣言（2000年修正）に則り被験者に対し事前に趣旨を説明し、健康なボランティアとして同意を得ておこなわれ、2004年8月に日本栄養・食糧学会倫理委員会にヒトを対象とした研究に沿って「ラッキョウフルクタン飲料水の摂取に関する研究」課題を申請し承認されたものである。

3. 測定項目とデータの統計処理

① 血糖値の測定

被験者は各自の腕を平らにしアルコール消毒した後、血糖自己測定器（ソフタック、アボットジャパン（株））を用いて、時間経過30分毎に血糖値を測定した。

② 血圧測定

被験者は各自時間30分毎の採血直後の血圧をデジタル自動血圧計（オムロン（株））により最高血圧値、最低血圧値を測定した。

③ 尿成分のミネラルおよびグルコース量の測定

尿中のK、Na、Cl濃度は、フジフィルムドライケム（FUJIFILM（株））を用いて測定した。尿中のグルコース量は、グルコースオキシダーゼ酵素法（和光純薬（株））により測定した。尿中の成分はウロペーパー法（栄研化学（株））により各自定性検査をおこなった。

④ 食物摂取頻度調査による栄養素等摂取量

被験者は1週間の各自食物摂取頻度調査表（建帛社出版）による栄養計算プログラムソフトにて算出し、平均1日あたりの栄養素等摂取量を計算した²⁴⁾。

⑤ 統計処理

データの統計処理について、血漿グルコース濃度の上昇曲線下面積（AUC）は、Woleverら

の方法に準じて算出し結果は平均値±標準誤差で示した²⁵⁾。

試験値の統計処理は、対応のある Student's t 検定でおこなった。

実験結果

1. 実験前の被験者の状態

被験者は、胃腸などに既往歴を持った者や便秘の者は存在しなかった。全員が1週間に3回以上の排便のある者であったが、軟便になりやすい者が1名いた。食物摂取頻度調査表には、1週間の食物摂取状況を記入させた。特に食事制限等は指示をしなかった。血液のヘモグロビン値（平均Hb値13.11g/dl）の測定値は定期健康検診時の自己申告データを用いた。Hb値は、被験者の食生活由来の健康状態を知る指標値である。被験者は全員正常値であり健康な状態であった。

2. 試験物質摂取後の被験者の状態

グルコースは甘味を持った単糖であるので、一度に50gまたは75gを飲用すると胃内浸透圧が急上昇するので一過性にゲップが発生し、気分が悪くなることもある。特に、このような実験が初めての経験である場合に生じやすいと説明した。なお、これらの症状は、慣れによって生じなくなることから予備試験をおこなった。

① 便の状態

実験中グルコース50g摂取では軟便化した者はいなかったが、ラッキョウフルクタン5g摂取で軟便化した者が1名いた。グルコース75g摂取では軟便化した者は2名いたが、ラッキョウフルクタン5g摂取では軟便化した者が3名いた。これらは、むしろラッキョウフルクタンの腸内改善効果によるものと思われた。

② 自覚症状

予備試験では、最初にグルコース50g摂取でほとんどの被験者は軽い吐き気や違和感などの症状を訴えた。しかし、ラッキョウフルクタンの摂取ではこれらの症状を訴える者が少なかった。また、グルコース75g摂取では症状を訴える者

が更に少なく、慣れによるものと思われた。その結果、本研究の目的である耐糖能試験には、グルコース50gまたは75gの摂取試験溶液としての飲用に影響ないことが確認できた。

③ 腹部症状

ラッキョウフルクタンの摂取によって、被験者の5名が「おなら」、「お腹の張り」、「グル音」、「下腹部痛」などを訴えたが、いずれも一過性のものであった。

④ 排尿状態

実験中の排尿には困難性もなく採尿が可能であった。ラッキョウフルクタン摂取のほうが排尿成分に変化を認めた。

⑤ 血圧の変化

実験中に血圧測定をおこなったところ、全員が平常時よりやや高めの測定値であったのは試験の緊張によると考えられた。

3. グルコース摂取による血糖レベルに対するラッキョウフルクタンの影響

1) グルコース50g摂取時、血漿グルコースの経時的変化

図1は、試験物質溶液摂取後の被験者12名の血糖曲線である。対照群（グルコース50g摂取）の血糖値は摂取30分後にピーク（最大血糖値144.4mg/dl）に達し、90分後には正常時レベルまで低下した。グルコース50gにラッキョウフルクタン5gを同時に摂取した場合、血糖値は対照群と同様に30分後にピーク（最大血糖値117mg/dl）に達したが最大血糖値は対照群より

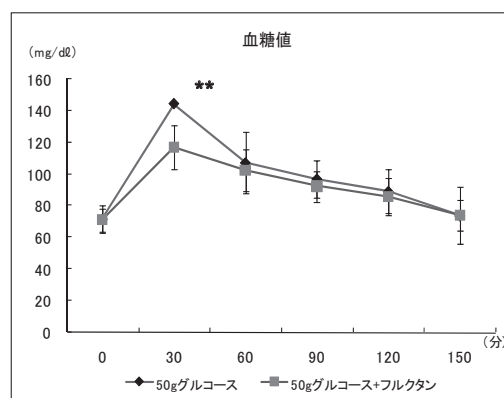


図1 50g摂取時 血漿グルコースの変化 (N=12)
** : p<0.01

も約19%も低く有意 ($p < 0.01$) に抑制効果が見られた。対照群と同様に、90分後には正常時レベルまで回復した。

2) グルコース50g 摂取時, 血漿グルコースの AUC 値

図2は, 全被験者の血漿グルコース濃度の AUC の平均値を示した。グルコース50g とラッキョウフルクタン5g の同時摂取群では, 対照群よりも34.6±16.5%の有意な低下を示した ($p < 0.05$)。

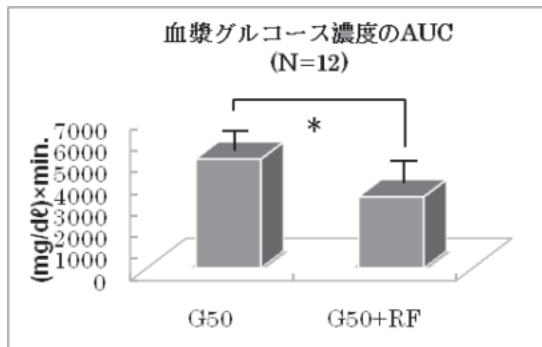


図2 血漿グルコース濃度の AUC (N=12)

* : $p < 0.05$ G50 : グルコース50g G50+RF : G50g + ラッキョウフルクタン

3) グルコース75g 摂取時, 血漿グルコースの経時的変化

図3は, 対照群(グルコース75g 摂取)の血糖値が摂取30分後にピーク(最大血糖値148.3mg/dl)に達し, 90分後には空腹時レベルまで低下した。グルコース75g とラッキョウフルクタン5g の同時摂取群では, 血糖値は対照群と同様に30分後にピーク(最大血糖値122.1mg/dl)に達したが最大血糖値は対照群よりも約18%も低く有意 ($p < 0.05$) に抑制した。対照群と同

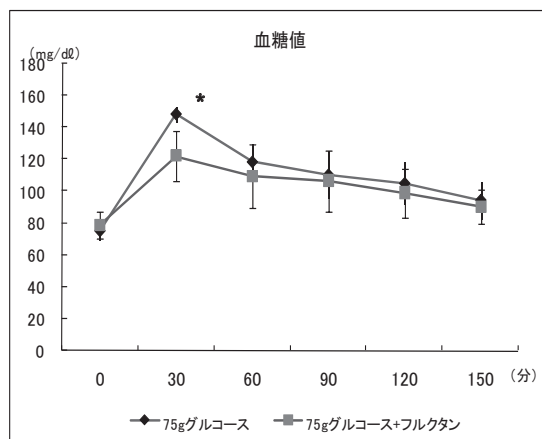


図3 75g 摂取時 血漿グルコースの変化 (N=12)

* : $p < 0.05$

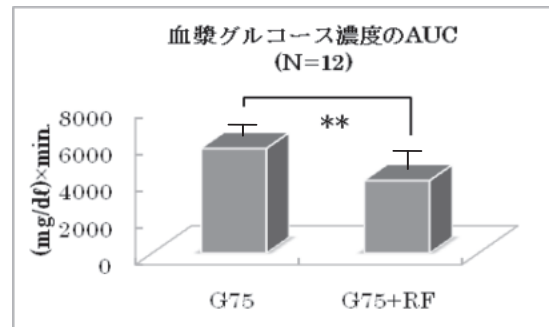


図4 血漿グルコース濃度の AUC (N=12)

** : $p < 0.01$

G75 : グルコース75g G75+RF : グルコース75g + ラッキョウフルクタン

様に, 120分後には正常時レベルまで回復した。

4) グルコース75g 摂取時, 血漿グルコースの AUC 値

図4は, 全被験者の血漿グルコース濃度の AUC の平均値を示した。グルコース75g とラッキョウフルクタンの同時摂取群では, 対照群よりも30.8±10.5%の有意な低下を示した ($p < 0.01$)。

4. 血圧への影響

被験者らの血圧変化を図5, 図6に示した。最高血圧値, 最低血圧値からは緊張したため平常値よりやや高めになっていた。しかし, ラッキョウフルクタン摂取による血圧への影響に変化は認められなかった。

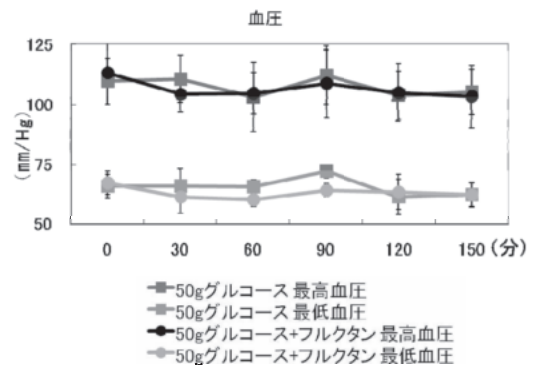


図5 50g 摂取時 血圧の変化 (N=12)

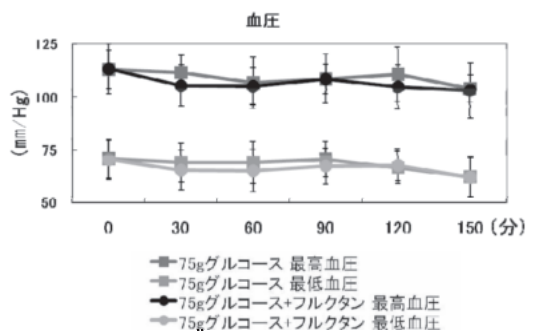


図6 75g 摂取時 血圧の変化 (N=12)

5. 尿中のミネラルとグルコース量の変化

試験時間中の排尿には困難性もなく採尿が可能で、その日の排尿には特別な影響を与えていなかった。排尿時間毎のK, Na, Clのミネラル成分の変化を図7に示した。

ラッキョウフルクタン摂取の排尿成分に変化が認められるが飲料水分の代謝によるものであると考えられる。

グルコース量は、図8示したとおり、排尿時間毎の影響が認められず、排尿中のグルコース量は正常尿の範囲であった。

なお、毎回、尿中の成分を簡易検査キット試薬紙で

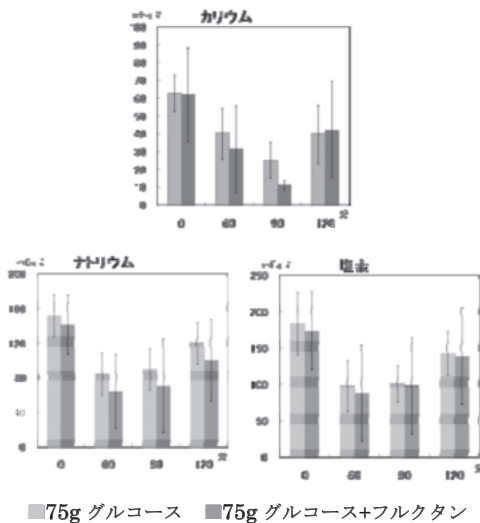


図7 尿中のミネラルの変化 (N=12)

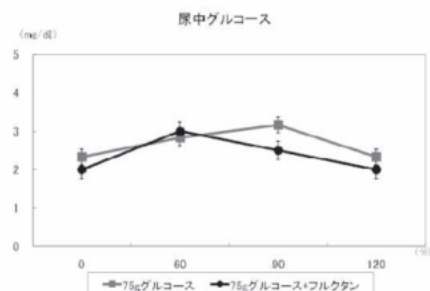
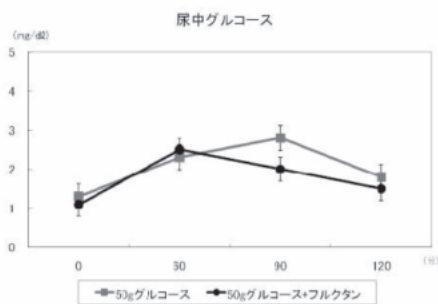


図8 尿中のグルコースの変化 (N=12)

測定した。ウロビリノーゲン、潜血、タンパク質、ブドウ糖、ケトン体、ビリルビン、pHには異常なく正常尿であった。

6. 栄養素等摂取との関係

被験者には、実験前日まで特に食事制限等の指示をしなかった。食事調査表に基づく主な栄養素等摂取の結果は表1、表2に示した。同年代の栄養所要量よりは、充足されているとはいえず、特に食物繊維の摂取量が少ないことが気になる。しかし、食生活由来の健康状態を知る指標値でもある被験者のヘモグロビン値が平均13.1 g/dlであり、被験者は全員正常値の健康な状態で実験がおこなわれたと考えられる。

表1

1日当たりの食物栄養素等摂取量 (50g 摂取前) (N=12)

項目	対照群	試験群
	(50gグルコース)	(50gグルコース+フルクタン)
エネルギー摂取量 (kcal)	1827.9 ± 177.8	1898.5 ± 257.8
タンパク質 (g)	63.3 ± 8.2	65.3 ± 7.2
脂質 (g)	51.8 ± 11.7	54.6 ± 13.5
Ca (mg)	502.8 ± 78.4	542.8 ± 79.4
K (mg)	1845.6 ± 732.5	1945.6 ± 632.5
食塩相当量 (g)	10.4 ± 1.5	11.4 ± 1.5
コレステロール (mg)	108.0 ± 54.0	128.0 ± 44.0
食物繊維 (g)	11.5 ± 3.4	12.5 ± 5.4

表2

1日当たりの食物栄養素等摂取量 (75g 摂取前) (N=12)

項目	対照群	試験群
	(75gグルコース)	(75gグルコース+フルクタン)
エネルギー摂取量 (kcal)	1727.9 ± 233.8	1797.9 ± 177.8
タンパク質 (g)	66.3 ± 9.1	61.3 ± 9.2
脂質 (g)	49.8 ± 11.3	51.8 ± 20.7
Ca (mg)	552.8 ± 88.4	512.8 ± 98.4
K (mg)	1845.6 ± 832.2	1745.6 ± 832.5
食塩相当量 (g)	10.4 ± 1.8	9.4 ± 2.5
コレステロール (mg)	116.0 ± 64.0	98.0 ± 24.0
食物繊維 (g)	15.5 ± 4.4	16.5 ± 8.4

考 察

被験者12名の中には、ラッキョウフルクタンを摂取しても顕著な血糖上昇抑制効果を示さない者や dose response を示さない者もいたが、統計学的には本実験に用いた水溶性食物繊維のラッキョウフルクタンは血糖上昇抑制効果を発現することを示している。

一般に、粘濁性の高い水溶性食物繊維は胃から小腸へのグルコース移行を遅延させゲル内にグルコースを

取り込んで吸収を遅延させるために最大血糖値は抑制される。そして各時点での血糖値は全体的にグルコース単独摂取より小さくなり、血糖曲線は下側にくるとされている。食物繊維によってグルコースがゆっくり吸収されるのであれば、最大血糖値が小さくなると同時に、最大血糖値に達した後の減衰が遅延してグルコース単独摂取の血糖値よりも高い状態を持続しても良いように思われる。奥らは、グルコースとグルコマンナンの摂取では最大血糖値がグルコース単独摂取よりも低いが、最大血糖値に達した後の減衰が遅延してグルコース単独摂取の血糖値よりも高い状態を維持すると報告している²⁶⁾。しかし、ラッキョウフルクタンでは、摂取30分後の最大血糖値はその摂取量に対応して低下したが、上昇した血糖値の減衰パターンは対照群と変わらず、各時点での血糖値はグルコース単独より小さくなり、血糖曲線は全体的に下側に移行した。すなわち、摂取30分後にピークに達し、90～120分後にはすでに正常時レベルまで低下する様相を示して上昇した血糖値の減衰が遅延することがなかった。ラッキョウフルクタンによってグルコースがゆっくり吸収されるのであれば、最大血糖値が小さくなると同時に、60～90分後の血糖値は空腹時よりも高い状態を維持し、血糖濃度曲線下の面積はほぼ同じになっても良いことになる。ポリデキストロースについて、下村らが本実験と同様な血糖曲線を示すと報告をしているが、なぜ、このようなパターンを示すのかその理由は明らかでない²⁷⁾。本実験から尿の排泄ミネラルにも影響があることからそれとの関係があるのか詳細は不明である。一方、インスリンへの影響について、我々はラット試験で血糖値の変化パターンに対応すると報告した²¹⁾。これは、水溶性食物繊維ラッキョウフルクタンをあるレベル以上に摂取すれば血糖上昇が抑制され、インスリン分泌もそれに対応して減少しているものと思われる。

本研究からは、グルコース負荷後におけるラッキョウフルクタンの血糖上昇抑制作用が見られた。容量的な最適量や低分子化合物もしくは高分子化合物の分画による差があるものと思われるので今後の研究により有効な成分量を知る必要がある。本研究では、試験物質のグルコース濃度50gまたは75gの摂取にラッキョウフルクタンの有効性が示唆されたことにより、消化

性糖質のサッカロースやでんぷんを含んだ食品とラッキョウフルクタンを同時に摂取させた場合の血糖上昇抑制効果についても検討すべきである。

メカニズムの解明には、さらなる研究が必要であるが、ラッキョウフルクタンは、強力な抗糖尿病作用を有することは確かであり、このラッキョウの作用は栄養学的に考慮する必要がある。

最近のGI（グリセミック指数）に関わる食品と水溶性食物繊維との関係を知ることは意義深いと考え、現在検討中である。

まとめ

ラッキョウには水溶性食物繊維であるフルクタンが豊富に含まれている。我々は、これまでにラットを用いて、ラッキョウフルクタンが血清脂質低下作用や血糖低下作用やミネラル吸収促進作用を示すことを報告してきた。本研究では、ラッキョウフルクタン摂取後の血糖に及ぼす影響を検討した。

健康な女子大学生12名を対象に、クロスオーバー試験にて、グルコース50gあるいは75gとラッキョウフルクタン5gを同時に摂取させた。グルコースおよびラッキョウフルクタン摂取30分後に最大血糖値を示し、グルコース50g摂取群に対してラッキョウフルクタン摂取群では19%、グルコース75g摂取群に対してラッキョウフルクタン摂取群では18%と有意な血糖上昇抑制作用が認められた。また、血中濃度下面積(AUC)も、ラッキョウフルクタン摂取により有意に低下した。血圧、尿中ミネラル濃度には変動は認められなかった。以上のことより、ラッキョウフルクタンの摂取により血糖上昇抑制作用が認められ、糖尿病の予防に有用な可能性が示唆された。

文献

- 1) 木村修一, 小林修平翻訳監修: 最新栄養学 (第8版), (第9版) - 専門領域の最新情報 -, (2000), (2008) 建帛社, 東京
- 2) 印南 敏, 桐山修八編集: 食物繊維, (1998) 第一出版, 東京
- 3) 日本食物繊維学会監修: 食物繊維 基礎と応用, (2008) 第一出版, 東京

- 4) 辻 啓介, 土井邦紘編集: 食物繊維—基礎と臨床—, (1997) 朝倉書店, 東京
- 5) 田中平三, 他: 日本人の食事摂取規準 (2005年版), 臨床栄養 Vol. 105, No.6, Nov., No. 7, Dec. (2004), Vol. 106, No. 1, Jan. (2005) 医歯薬出版, 東京
- 6) 健康・栄養情報研究会編: 第六次改定 日本人の栄養所要量—食事摂取規準—の活用, (2000) 第一出版, 東京
- 7) 厚生労働省策定日本人の食事摂取基準 (2010年版) (2009) 第一出版, 東京
- 8) 健康・栄養情報研究会編: 国民の現状 平成18年厚生労働省国民栄養調査結果, (2008) 第一出版, 東京
- 9) 福井県: 水溶性食物繊維としてのフルクタンの製造方法, 特許第3111378号 (2000)
- 10) 小林恭一: 水溶性食物繊維としてのフルクタン, FOOD Style21, 2(8), 62 (1998)
- 11) 小林恭一, 他: 地域農産物の機能性成分総覧, 地域特産物の品質・機能性成分, 北陸, 福井県, p. 467-470 (2000) サイエンスフォーラム, 東京
- 12) 小林恭一, 他: 地域農産物の生理機能・活用便覧, 北陸の地域特産物, 福井県, ラッキョウ, p. 192-197(2004) サイエンスフォーラム, 東京
- 13) ふるさと野菜の会編: ふくいの伝統野菜, p. 92, (1998) 福井新聞社
- 14) 谷政八・小林恭一・小西雅子・斉藤忠夫: ラッキョウフルクタンの機能特性の解明と食品への利用 食品の試験と研究, No. 36 PP. 81~84 平成13年3月
- 15) 谷政八・小林恭一・池田涼子・新庄絹代・谷洋子: ラッキョウフルクタン摂取の耐糖能に及ぼす影響 栄養学雑誌, Vol. 63 No. 5, p. 377, 2005年9月
- 16) 谷政八・増田勝己・谷洋子・小林恭一: ラットの栄養素代謝に及ぼすらっきょう成分の影響 日本家政学会第52回大会 P158, 2000年6月
- 17) 谷政八・増田 勝己・谷洋子・小林 恭一: ラットの栄養素代謝に及ぼすらっきょう成分の影響 日本家政学会第53回大会 P155, 2001年5月
- 18) 谷政八・増田 勝己・谷洋子・小林恭一: ラットの栄養素代謝におよぼすラッキョウ成分の影響—肝臓脂質・血清成分— 第56回 日本栄養・食糧学会 P64, 2002年7月
- 19) 谷政八・小林恭一・小西雅子・池田涼子・谷洋子・三谷勝己: ラッキョウ端切り粉末の有効利用に関する基礎的研究—食物繊維源としての有効性の検討— 日本食物繊維研究会第7回学術集会, 2002年11月
- 20) 谷政八・池田涼子・三谷勝己・谷洋子・小林恭一・小西雅子: ラッキョウ端切り粉末の有効利用に関する基礎的研究—食物繊維源としての有効性— ラット血清成分— 第57回日本栄養・食糧学会大会 P. 167, 2003年5月
- 21) 新庄絹代・谷政八・小林恭一・池田涼子・谷洋子・出口洋二: ラッキョウフルクタンの有効利用に対する基礎的研究—高脂質食ラットの血漿成分—栄養学雑誌 Vol. 62, No. 5, P. 412, 2004年10月
- 22) 谷政八・池田涼子・新庄絹代・小林恭一・出口洋二: ラッキョウフルクタンの有効利用に関する基礎的研究—高脂質食ラットの排泄糞尿成分の影響— 第59回 日本栄養・食糧学会大会, 講演要旨集 P. 66, 2005年5月
- 23) 谷政八・小林恭一・池田涼子・新庄絹代: 高脂質食投与ラットに対するラッキョウ成分の影響—排泄成分と大腿骨中のミネラル量—第61回日本栄養・食糧学会大会, 講演要旨集 p. 160, 2007年5月
- 24) 吉村幸雄 製作・著作: アドインソフトエクセル栄養君 Ver. 4.0 (2005) 建帛社, 東京
- 25) Wolever TMS, Jenkins DJA, Jenkins AL, Josse RG: The glycemic index: methodology and Clinical implications. Am J Clin Nutr 54: 846-54 (1991)
- 26) 奥恒行, 藤田温彦, 細谷憲政: グルコマンナン, プルランならびにセルロースの血糖上昇抑制効果の比較 日本栄養・食糧学会誌, 36(4): 301-303, 1983
- 27) 下村吉治・長崎大・松尾昌幸・前田憲・村上太郎・佐藤寿一・佐藤祐造: 耐糖能試験における血糖および血清インスリンレベルに及ぼすポリデキストロースの影響 日本食物繊維学会誌, 8(2): 105-109 (2004)