

大麦の品種がマウスのメタボリックシンドローム関連指標に及ぼす影響

Effects of barley species on parameters related to metabolic syndrome in mice

鈴木 祥菜¹, 高波 嘉一², 青江 誠一郎²

¹大妻女子大学大学院人間生活文化研究科, ²大妻女子大学家政学部

Sachina Suzuki¹, Yoshikazu Takanami², and Seichiro Aoe¹

¹Graduate School of Studies in Human Culture, Otsuma Women's University

12 Sanban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan 102-8357

²Faculty of Home Economics, Otsuma Women's University

12 Sanban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan 102-8357

キーワード：大麦, β -グルカン, 耐糖能改善

Key words : Barley, β -glucan, Glucose intolerance

抄録

【目的および方法】大麦摂取がメタボリックシンドロームの発症に及ぼす影響を研究した例は少なく、また大麦の品種の違いに着目した研究例も少ない。本研究では、食餌性肥満モデルマウスにモチ種であるキラリモチ(KM), ウルチ種であるファイバースノウ(FS), スカイゴールド(SG)を12週間与え、大麦の品種の違いが耐糖能に及ぼす影響を検討した。【結果】終体重、体重増加量、飼料摂取量、飼料効率において各群間で有意差はみられなかった。腹腔内脂肪総重量、後腹壁脂肪重量、副睾丸周辺脂肪重量、腸間膜脂肪重量においても有意差はみられなかった。Control群に比べて、盲腸重量がKM群で有意に高値を示した。耐糖能試験ではKM群において、耐糖能が改善した。またFS群の空腹時血糖が有意に低値を示した。血清トリグリセリド濃度、グルコース濃度、遊離脂肪酸濃度は有意差が見られなかったが、血清総コレステロール濃度は、FS群で有意に高値を示した。血清インスリン濃度ならびにレプチン濃度において有意差はみられなかった。【考察】食餌性肥満モデルマウスにおけるモチ種やウルチ種の大麦の摂取は耐糖能を改善することが示唆された。

1. 序論

メタボリックシンドローム (以下 MS と略す) とは、糖尿病、脂質異常症、高血圧、肥満、インスリン抵抗性が基本的な構成要素であり、これらが一個人に集積した状態によって、動脈硬化性疾患発症の高いリスクをもたらすという疾患概念である^[1]。これらは、内臓脂肪組織の脂肪細胞が肥満により肥大化し、機能破綻を起こすことが原因であると考えられている。厚生労働省の平成 22 年の国民健康・栄養調査^[2]によると、平成 12 年以降、それ以前の 5 年間に比べ、肥満者 (BMI \geq 25) の割合における増加傾向が、鈍化している状況にあることに変わりないが、肥満者の割合は、男性 30.4%、女性 21.1%であり、男性では、50 歳代 (37.3%) が最も多く、次いで 40 歳代 (35.2%) の順である。近年では女性はやせの傾向が問題視されているが、いまだ男性では肥満者の割合が高い。

MS については、平成 20 年の国民健康・栄養調査^[3]において、男性 47.2%、女性 18.9%が強く疑われる者または予備群と考えられる者であったと報告されている。男性の 2 人に 1 人、女性の 5 人に 1 人が、MS が強く疑われる者または予備群^[4]といわれている。

MS の予防または改善のための食事についてはまだ確立されていないが、食物繊維の多い食事は MS における代謝異常に対して効果的な役割を果たすとみなされている。近年、生活習慣病に有益とされている食物繊維摂取量が減少し、中でも重要である穀類の摂取率が低下している。これが、現代の日本人に生活習慣病が蔓延した原因の一つであると考えられるため、穀類由来の食物繊維の摂取量の増加が望まれる。そこで、日本において古くから食べられてきた穀物の一つであり、毎日摂取する主食の米や小麦と一緒に摂取可能な食品

である大麦に着目した。

大麦の有効性については、以前より、血中コレステロール濃度低下作用に関する研究が多く行われ、大麦の生理作用の報告の中で最も多い。大麦の肥満に対する影響については、大麦の摂取によって血糖値の上昇が緩やかになり、満腹感が持続することが Granfeldt et al.^[5], Liljeberg et al.^[6], Bourdon et al.^[7]などの研究により報告され、また、エネルギー源となる栄養素の消化吸収率が低下することから、肥満への効果が期待できる。Shimizu et al.^[8]の試験では、高コレステロール血症の男性に12週間、 β -グルカン含有大麦と白米1:1の麦飯320g/日を摂取させたところ、内臓脂肪とBMIが有意に低下した。皮下脂肪より内臓脂肪が減少したことから、MSに有効であることが期待される^[9]。しかしながら、大麦とMSを関連させた研究例は少なく、また大麦の品種の違いに着目した研究例も少ない。

そこで本研究では、モチ種やウルチ種といった大麦の品種の影響の違いを検討するためキラリモチ(モチ種、 β -グルカン量5.4%; KM)、ファイバースノウ(ウルチ種、 β -グルカン量4.0%; FS)、スカイゴールド(ウルチ種、 β -グルカン量3.2%; SG)の60%搗精粉を使用し、耐糖能への影響について検討した。

2. 方法

2.1 実験の概略

通常では肥満を呈さないが高脂肪食摂取で肥満を呈するC57BL/6Jマウスにモチ種のキラリモチ、ウルチ種のファイバースノウ、スカイゴールドを12週間投与し、耐糖能改善作用について観察した。

大麦の試料について以下に示した。

【キラリモチ; KM】モチ種

たんぱく質12.9%, 脂質1.8%, 総食物繊維量9.9%, β -グルカン量5.4%

【ファイバースノウ; FS】ウルチ種

たんぱく質9.9%, 脂質1.4%, 総食物繊維量11.4%, β -グルカン量4.0%

【スカイゴールド; SG】ウルチ種

たんぱく質8.9%, 脂質2.0%, 総食物繊維量7.1%, β -グルカン量3.2%

なおKM群, FS群, SG群全て、60%搗精粉を用いた。

2.2 実験動物

5週齢雄のC57BL/6Jマウス(日本チャールス・リバー株式会社)を32匹用いた。固形飼料(NMF; オリエンタル酵母工業株式会社)を用い、1週間の予備飼育後、体重が均一になるように1群8匹ずつ群分けした。

2.3 実験飼料

飼料組成をTable1に示した。

コントロール(CO)群の飼料はAIN-93G組成を基本とし、脂肪エネルギー比が50%になるよう、ラードを添加し高脂肪食とした。試験群はキラリモチ(KM)群, ファイバースノウ(FS)群, スカイゴールド(SG)群を試験群とした。総食物繊維量として5.0%になるように添加し、不足分はセルロースで調整し、各群のたんぱく質, 脂質量が等しくなるようにカゼイン, 大豆油で調整した。

大麦各試料は株式会社はくばくより分与していただいた。また、大豆油, 酒石酸コリン, *t*-ブチルヒドロキノン(和光純薬工業株式会社), ラードは植田製油株式会社より購入した。

Table1. 飼料組成

	(g/kg diet)			
	CO	KM	FS	SG
α コーンスターチ	132.000	-	-	-
β コーンスターチ	197.486	-	-	-
ミルクカゼイン	200.0	120.6	148.6	143.2
グラニュー糖(ショ糖)	100.0	62.9	98.5	0.0
大豆油	70.0	70.0	70.0	70.0
ラード	200.0	190.9	193.9	189.3
セルロースパウダー	50.0	-	-	12.0
キラリモチ	-	505.1	-	-
ファイバースノウ	-	-	438.6	-
スカイゴールド	-	-	-	535.0
AIN93G ミネラルミックス	35.0	35.0	35.0	35.0
AIN93 ビタミンミックス	10.0	10.0	10.0	10.0
L-シスチン	3.0	3.0	3.0	3.0
重酒石酸コリン	2.5	2.5	2.5	2.5
<i>t</i> -ブチルヒドロキノン	0.014	0.014	0.014	0.014

2.4 飼育方法(動物実験)

動物は、室温22 \pm 1 $^{\circ}$ C, 湿度50 \pm 5%, 12時間明暗サイクル(9:00~21:00)で飼育した。

Table1に示した実験飼料と水をそれぞれ12週間、自由摂取させ、体重と飼料摂取量を測定した。マウスは、2~3日毎に体重及び飼料摂取量を測定した。飼料を入れた給餌器の重量を測定し、毎回給餌器の重量を測定しその差を摂取量とした。そして、体重増加量, 飼料摂取量, 飼料効率を求めた。

2.5 動物解剖とサンプル採取

解剖当日は9:00より6時間絶食させ、エーテル麻酔下で開腹し、心臓より採血, 肝臓, 後腹壁脂

肪組織, 副睪丸周辺脂肪組織, 腸間膜脂肪組織を摘出し, 重量を測定した. 血液は, 氷中保存し, 6000rpm, 15 分間, 4°Cで遠心分離し, 血清を採り, -80°Cで保存した.

2.6 分析方法

(1)血清分析

採取した血液は, 血清を分離し, グルコース, トリグリセリド, 遊離脂肪酸, 総コレステロール濃度を酵素法にて分析した. グルコースは「グルコース CII-テストワコー」, トリグリセリドの定量には「トリグリセライド E-テストワコー」, 遊離脂肪酸の定量には「NEFA C-テストワコー」, 総コレステロール濃度の定量には「コレステロール E-テストワコー」(いずれも和光純薬工業株式会社)を使用した.

血清レプチン濃度は, 「マウス・レプチン・イノムアッセイキット」(R&D システムズ社製)を用いて, ELISA 法にて分析した. 血清インスリン濃度は, 「レビス インスリン-ラット(Hタイプ)」(株式会社シバヤギ)を用い, ELISA 法にて分析した.

(2)耐糖能試験

耐糖能試験は, 飼育最終週に朝 9 時より 6 時間の絶食後, 20%グルコース溶液を, 1g/kg 体重となるように経口ゾンデを用いてマウスの胃内に投与した. 投与前に尾部より採血し(0 分), 投与後 15 分, 30 分, 60 分, 120 分後に同様に採血を行った. 血糖値の定量には「小型血糖測定器 グルテストエース R」(株式会社三和科学研究所)を使用した. 時間と血糖値の曲線から AUC(曲線下面積)を, 空腹時血糖値と血清インスリン濃度から HOMA-IR を算出した. HOMA-IR は, マウス用の式がないためヒト用の式, 空腹時血糖値(mg/dl)×血清インスリン濃度 (μIU)/405 により算出した.

※血清インスリン濃度 (μIU)

$$= \text{血清インスリン濃度(ng/ml)} \times 26$$

2.7 統計解析

群間の比較は, データの正規性ならびに等分散性を確認した後, Tukey-Kramer の多重比較法により検定した. 有意水準は 5%とした.

3. 結果

3.1 成長結果

CO 群と KM 群, FS 群, SG 群の比較では, 終体

重, 体重増加量, 飼料摂取量, 飼料効率において各群間で有意差はみられなかった.

3.2 臓器重量

盲腸重量において CO 群に比べて KM 群で有意に高値を示した. 肝臓重量においては各群間に有意差はみられなかった. また腹腔内脂肪総重量, 後腹壁脂肪重量, 副睪丸周辺脂肪重量, 腸間膜脂肪重量においても有意差はみられなかった.

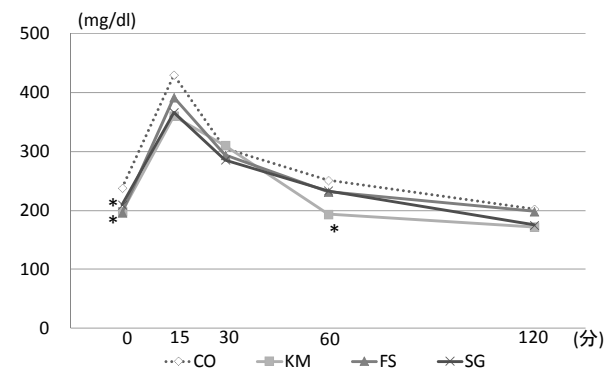
3.3 血清生化学値ならびにホルモン濃度

血清トリグリセリド濃度, グルコース濃度, 遊離脂肪酸濃度は有意差が見られなかった. 一方, 血清総コレステロール濃度は, CO 群に比べて FS 群で有意に高値を示した. 血清インスリン濃度ならびにレプチン濃度において有意差はみられなかった.

3.4 耐糖能試験

耐糖能試験の結果を Fig1 に示した.

CO 群に比べて KM 群において, 空腹時および投与後 60 分の血糖値で有意に低値を示した. また, FS 群の空腹時血糖で, CO 群に比べて有意に低値を示した. AUC, HOMA-IR については, 各群間に有意差はみられなかった.



*CO群に比較して有意差あり($p < 0.05$), Tukey-Kramerの多重比較法

Fig1. 耐糖能試験

4. 考察

本研究は, 食餌性肥満モデルマウスに, キラリモチ (モチ種, β -グルカン量 5.4%; KM), ファイバースノウ (ウルチ種, β -グルカン量 4.0%; FS), スカイゴールデン (ウルチ種, β -グルカン量 3.2%; SG) のいずれかを 12 週間与え, 大麦の品種の違いが耐糖能に及ぼす影響を検討した.

大麦が耐糖能改善作用に与える影響については,

Behall et al.^[10]が肥満女性に行った水溶性食物繊維のβ-グルカンを多く含むオーツ麦と大麦を与えた研究で、大麦摂取後の最大血糖値およびインスリン濃度が、グルコースまたはオーツ麦摂取後と比較して有意に低値を示したことが報告されている。本研究ではインスリン濃度に有意差はなかったが、耐糖能が改善したことから、血清インスリン濃度は同じであっても、血糖応答が異なり、大麦を摂取することによって耐糖能が改善したと考えられる。

動物を用いた血糖値への大麦の影響については、池上ら^[11]が糖尿病および通常ラットを用いて長期的に大麦を摂取した影響について調べ、血糖値の上昇が抑制されることを示した。また、ヒトにおける血糖値に対する大麦の影響に関する研究も行われている。糖尿病患者に対する効果については柳沢ら^[12]が40年以上も前に報告している。最近の日本の研究では、佐藤ら^[13]によって、大麦摂取後の血糖値と血中インスリン濃度が白米に比較して上昇が抑制されることが示された。健常者においても大麦の摂取が食後血糖値を低下させることが明らかとなっている^[14-17]。

同様に本実験においても、CO群に比較してKM群に耐糖能改善作用が認められ、FS群においても空腹時血糖が有意に低下した。本結果より、モチ種およびウルチ種の大麦の摂取はいずれも耐糖能を改善することが明らかとなった。

謝辞

本研究を行うにあたり、大麦の試料を分与していただきました株式会社はくばくに心よりお礼申し上げます。

付記

本研究は大妻女子大学人間生活文化研究所「共同研究プロジェクト」(D016)の助成を受けたものである。

引用文献

- [1]春日雅人. 解明が進むメタボリックシンドローム. 羊土社, 2007, p.20
- [2]厚生労働省健康局総務課生活習慣病対策室. 平成22年国民健康・栄養調査の概要. 2012
- [3]厚生労働省健康局総務課生活習慣病対策室. 平成20年国民健康・栄養調査の概要. 2010

- [4]厚生労働省健康局総務課生活習慣病対策室. 平成19年国民健康・栄養調査の概要. 2009
- [5]Granfeldt Y. et al. Glucose and insulin responses to barley products: influence of food structure and amylose-amylopectin ratio. The American Society for Clinical Nutrition. 1994
- [6]Liljeberg HG. et al. Effect of the glycemic index and content of indigestible carbohydrates of cereal-based breakfast meals on glucose tolerance at lunch in healthy subjects. Am J Clin Nutr. 1999, 69(4), p.647-55.
- [7]Bourdon I et al. Postprandial lipid, glucose, insulin, and cholecystokinin responses in men fed barley pasta enriched with beta-glucan. Am J Clin Nutr. 1999, 69(1), p.55-63.
- [8]Shimizu C et al. Effect of high beta-glucan barley on serum cholesterol concentrations and visceral fat area in Japanese men--a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. Plant Foods Hum Nutr. 2008, 63(1), p.21-5.
- [9]荒木茂雄ほか. 大麦の生理作用と健康強調表示の現況. 栄養学雑誌. 2009, 67, p.235-251
- [10]Behall KM et al. Comparison of hormone and glucose responses of overweight women to barley and oats. J AM Coll Nutr. 2005, 24(3), p.182-8
- [11]池上幸江ほか. ラットにおける実験的糖尿病発症に対する大麦の効果. 栄養食糧誌. 1991, p.447-454
- [12]柳沢文正ほか. 強化精麦の生化学的研究(I) 米・麦摂取の血糖値に及ぼす影響. 栄養と食糧. 1966, 19, p.46-49
- [13]佐藤寿一ほか. 食物繊維の糖代謝に及ぼす影響—健常者及び糖尿病患者を対象として—. 総合保健体育科学. 1990, 13, p.75-78
- [14]Thorburn, A et al. Carbohydrate fermentation decreases hepatic glucose output in healthy subjects. Metabolism. 1993, 42, p.780-785
- [15]Nilsson, A.C. et al. Effect of cereal test breakfasts differing in glycemic index and content of indigestible carbohydrates on daylong glucose tolerance in healthy subjects. Am. J. Clin. Nutr. 2008, 87, p.645-654
- [16]Nilsson A.C et al. Including indigestible carbohydrates in the evening meal of healthy subjects improves glucose tolerance, lowers inflammatory markers, and increases satiety after a subsequent standardized breakfast. J. Nutr. 2008, 138, p.732-739
- [17]Nilsson, A.C. et al. Effects of GI vs content of

cereal fibre of the evening meal on glucose tolerance at 2008,62,p.712-720
a subsequent standardized breakfast. Eur. J. Clin. Nutr.

Abstract

[Aims and Methods] The health benefit of barley intake on metabolic syndrome is not well established. There are few evidences that focused on a variety of barley species. The purpose of this study is to investigate the effect of different barley species on the glucose tolerance in diet-induced obesity mice. Mice were fed a high-fat diet containing Kirarimochi (Mochi species (glutinous) ;KM), Fiber Snow or Sky Golden (Uruchi species (non-glutinous) ;FS and SG, respectively) for 12 weeks. *[Results]* In the final body weight, body weight gain, feed intake, feed efficiency ratio, significant differences were not observed among the groups. There were no significant differences in intraperitoneal, epididymal, and mesenteric fat weights. Cecum weight in the KM-fed mice was significantly higher than in the control group. Oral glucose tolerance test (OGTT) showed that the glucose tolerance was improved by the KM diet compared to the control group. Fasting blood glucose concentrations in the FS group were significantly lower than that in the control group. In serum triglyceride, glucose, and free fatty acid concentrations, significant differences were not observed among the groups. In contrast, total cholesterol concentrations in the FS group were significantly higher than that in the control group. In serum insulin and leptin concentrations, there were no significant differences among the groups. *[Conclusion]* These results suggested that the both of Mochi and Uruchi barley species improve the glucose tolerance in diet-induced obesity mice.

(受付日 : 2013 年 6 月 14 日, 受理日 : 2013 年 6 月 25 日)

鈴木 祥菜 (すずき さちな)

現職 : 独立行政法人国立健康・栄養研究所 技術補助員

大妻女子大学大学院人間文化研究科修士課程修了.

専門は栄養生化学. 現在は「食品成分が肝機能に与える影響」についての研究を行っている.