

發芽糙米與蕎麥對誘導第二型糖尿病 大鼠調節血糖之影響¹

陳依純²、陳裕星^{3*}、劉惠菱²、楊啟裕⁴

摘 要

發芽糙米及蕎麥在營養保健功能上受到相當多矚目，本研究探討蕎麥常見不同加工方式下芸香苷含量的變化，並以誘導產生第二型糖尿病大鼠之動物模式，探討以發芽糙米或蕎麥糙米為主飲食對血糖調節的影響。在芸香苷含量分析方面韃靼蕎麥的芸香苷含量可達約 14,507 ppm，加工製成苦蕎粉後芸香苷含量仍維持相當，但經膨化處理之苦蕎粒則減少至約 6,045 ppm，普通蕎麥種子則約含有 190 ppm 芸香苷。普通蕎麥如浸種使其發芽製作芽菜，隨萌芽天數增加，芸香苷含量逐日遞增由約 190 ppm 至第 3 日可達 711 ppm，肌醇含量也有同樣的增加趨勢，手性肌醇則變化較不明顯。在動物試驗方面，以 STZ 藥物誘導 Wistar 大鼠產生第二型糖尿病後，再以發芽糙米或蕎麥糙米飯取代 50%之 AIN76 飼料餵食 1 個月，發現以發芽糙米、發芽糙米蕎麥等全穀飲食皆可改善空腹血糖值及葡萄糖耐受性，具有調節血糖的效果，建議消費者在不改變一般飲食習慣下，可取代適量苦蕎或普通蕎麥等健康全穀於主食中以提高預防保健效果。

關鍵詞：蕎麥、韃靼蕎麥、芸香苷、肌醇、空腹血糖

前 言

國際糖尿病聯盟(International Diabetes Federation, IDF)發布的新數據顯示，全球糖尿病發病率正以驚人的速度增長，2019年全球約有 4.63 億成年人患有糖尿病⁽¹⁴⁾。根據「2019 臺灣糖尿病年鑑」，臺灣糖尿病罹病率為 9.3%，約有 220 萬人罹患此病⁽²⁸⁾。有愈來愈多的研究證據顯示，多食用全穀食物可預防心血管疾病⁽⁵⁾及第二型糖尿病^(1,13)，有助於預防肥胖及特定癌症如大腸直腸癌等，對人體營養與保健有正向的幫助^(22,34)。

全球人口中約有一半以稻米為主食，白米、糙米甚至發芽糙米對健康的影響也格外受到矚目，依據 Sun 氏等分析美國超過 19.6 萬民眾飲食、生活型態與慢性疾病發生的 3 個健康調查資料庫顯示，每週攝取 5 次白米以上，有較高的罹患糖尿病風險，相對地每週攝取 2 次以上糙米對比每個月

¹ 臺中區農業改良場第 1025 號研究報告。

² 臺中區農業改良場研究助理。

³ 臺中區農業改良場副研究員，*通訊作者。

⁴ 農業科技研究院動物科技研究所研究員。

攝取低於 1 次糙米，可以顯著減少第 2 型糖尿病風險⁽²⁹⁾，並且估計如果每天攝取 50 g 糙米可減少罹患第 2 型糖尿病的風險達 16%。發芽糙米對調節血糖也有顯著的改善作用，在日本一項對糖尿病患的人體試驗中，每天攝取 3 盒發芽糙米飯對比白米飯，在 6 週後可顯著改善空腹血糖值、血漿三酸甘油酯及膽固醇⁽¹²⁾，發芽糙米在動物試驗中也有一致的結果^(10,15)。

蕎麥近年來在營養保健上也受到相當多的關注，可能是因為含有黃酮類代謝物芸香苷(rutin)和槲皮素(querctin)⁽¹⁹⁾，其對葡萄糖苷酶(glucosidase)的抑制作用分別是糖尿病用藥阿卡波糖(acarbose)的 0.5 倍及 5 倍⁽²⁰⁾，推測芸香苷和直鏈及支鏈澱粉結合，使蕎麥澱粉消化分解速率低於麵粉⁽³¹⁾。蕎麥中同時含有特殊肌醇及蕎麥糖醇(fagopyritols)，蕎麥糖醇為手性肌醇(D-chiro-inositol, DCI)與半乳糖(galactose)結合的分子，依據鍵結位置不同可以分為 A 或 B 型，並依據結合半乳糖分子數目可分為 fagopyritol A1-A3、B1-B3^(30,32)。蕎麥糖醇近年來受到相當的矚目，因為蕎麥糖醇是胰島素媒介受體(2-amino-2-deoxy- α -D-galactopyranosyl-(1 \rightarrow 3)1D-chiro-inositol) 的立體異構物，被認為可以作為非胰島素依賴性的糖尿病(non-insulin diabetes mellitus, NIDDM)以及多囊性卵巢症候群(PCOS)患者的治療物質^(3,24,25)。在糖尿病鼠的血糖耐受性試驗中，蕎麥的濃縮萃取液也證實可以迅速降低血糖⁽¹⁷⁾，對於預防餐後血糖劇烈波動有極大的潛力。

蕎麥在臺灣主要之栽培地區以彰化二林、大城等地為主，近年也推廣在霧峰、大甲及外埔地區作為水田秋冬裡作景觀作物，盛花期可長達 2-3 個月，為優良之蜜源植物，每公頃可產蜜達 70-100 kg^(6,7)。韃靼蕎麥雖為自花授粉，但因含有高含量的芸香苷而廣受矚目，在臺灣也稱為黃金蕎麥或苦蕎以與普通蕎麥區別。本場目前已有成蕎麥‘台中 1 號’、‘台中 2 號’、‘台中 3 號’、‘台中 5 號’及‘台中 6 號’，其中‘台中 1 號’、‘台中 3 號’、台中 5 號’及‘台中 6 號’為普通蕎麥(common buckwheat)，‘台中 2 號’為韃靼蕎麥(Tartary buckwheat)(以下稱為苦蕎)，皆是對地綠色給付政策可用的作物之一。本研究為探索性試驗，目的為探討蕎麥與苦蕎不同加工利用模式下機能成分的變化，並建立本場分析芸香苷與肌醇的能力，同時探討發芽糙米及蕎麥發芽糙米等不同全穀飲食組合對誘導產生第 2 型糖尿病大鼠調節血糖的效果，以評估未來開發國產健康全穀產品的潛力並提供國人飲食參考。

材料與方法

一、植物材料

(一)試驗發芽糙米及蕎麥材料

‘台稈9號’(TK9)及‘台中秈10號’(TCS10)糙米購自億東公司，並委託亞洲瑞思公司進行發芽糙米製作。蕎麥‘台中2號’(TC2)之種仁、苦蕎麥粉及苦蕎茶為購自彰化大城鄉蕎麥產銷第3班，其中苦蕎麥粉為由苦蕎麥種仁研磨，苦蕎茶為苦蕎種仁膨發，均無添加其他成分。蕎麥‘台中5號’(TC5)之種仁與蕎麥雪花片購自二林鎮農會。以上材料均經研磨並以70目篩網過篩備用。

(二)蕎麥種仁研磨製粉

蕎麥‘台中5號’應用方式之一為磨粉製麵，種仁以小型試驗精米機(Grainman Model 50-115-60-DT)，秤取100 g穀粒進行研磨，研磨時間為60 sec並每隔10 sec收取其粉末。

(三)普通蕎麥浸種處理

蕎麥‘台中5號’種仁以0.1%次氯酸鈉溶液浸泡10 min消毒，再以清水洗淨，均勻灑佈於濕潤水草中，於室溫條件下每日補充適當水分使其萌發1-3天後取樣。樣品使用冷凍乾燥機(Tokyo Rikakikai型號FDU-1200)進行乾燥。

(四)樣品萃取

各試驗樣品經研磨後秤取1 g置於15 ml離心管內，以50%甲醇5 ml於常溫下超音波震盪1 hr，經離心後取上清液，重複上述萃取作業2次，合併萃取液並經0.2 μm孔徑之13 mm直徑濾膜過濾(PureTech®Syringe Filter Nylon013N020I)，濾液保存於樣品瓶中。

二、芸香苷與肌醇分析

(一)芸香苷與HPLC分析

芸香苷標準品購自Sigma Co.，以50%甲醇溶解並製作標準曲線待測，標準品及樣品皆以濾膜過濾後以360 nm偵測，注射體積10 μL。不同樣品經適當稀釋後以高效液相層析儀分析之，方法如下：

1. 使用儀器Hitachi CM-5110 pump equipped with CM-5420 UV detector。分離管柱 Mightysil RP-18 GP250-4.6 (5μm) (Kanto Chemical Co.)
2. 前置管柱 ICsep ICE-GC-801 Guard kit (Transgenomic Co.)
3. 管柱溫度 (Column thermostat) 35H°C
4. 流速: 1 ml/min
5. 沖提程式如下：

Time (min)	0	10	20	28	40
0.1% H ₃ PO ₄ (%)	70	30	30	0	100
Methanol (%)	30	70	70	100	0

(二)肌醇衍生化與 GC/MS分析

肌醇和手性肌醇衍生化參考Steadman⁽²⁶⁾氏等之方法，以80%乙醇溶解之並系列稀釋，樣品同樣以80%乙醇萃取、離心，沉澱物以80%酒精再萃取共3次，上清液合併冷凍乾燥濃縮至乾。樣品取5 g置入另一反應瓶，再吹氮濃縮至乾，加入100 μL TMS於室溫下反應20 min，加入無水硫酸鈉脫水，樣品以Toulene稀釋到1 mL備用。標準品包括myo-inositol、D-chiro inositol、Anhydrous sodium sulfate (ACS grade)、trimethylsilyl imidazole (TMS, derivatizing grade)、toluene (99.8%)、ethyl alcohol (99.8%) 等藥品皆購自Sigma Co.

肌醇分析使用瓦理安公司出產之Varian 3900 GC搭配Saturn 2100質譜儀，裝置之層析管柱為RESTEK RTX® -1管柱，60 m, 0.25 mm I.D., 0.5 µm df.分離條件以氦氣1 mL/min，注射口溫度，250°C，注射1 µL (splitless mode)，管柱初溫度50°C維持2 min，隨後以每分鐘上升10°C至250°C並維持5 min後結束。

(三)普通蕎麥浸種處理

蕎麥‘台中5號’種仁以0.1%次氯酸鈉溶液浸泡10 min消毒，再以清水洗淨，均勻灑佈於濕潤水草中，於室溫條件下每日補充適當水分使其萌發1-3天後取樣。樣品使用冷凍乾燥機(Tokyo Rikakikai型號 FDU-1200)進行乾燥。

(四)樣品萃取

各試驗樣品經研磨後稱取1 g置於15 ml離心管內，以50%甲醇5 ml於常溫下超音波震盪1 hr，經離心後取上清液，重複上述萃取作業2次，合併萃取液並經0.2 µm孔徑之13 mm直徑濾膜過濾(PureTech®Syringe Filter Nylon013N020I)，濾液保存於樣品瓶中。

三、動物試驗

(一)試驗動物

8週齡之Wistar品系雄性大鼠，體重240-280 g購自樂斯科實驗動物中心，並飼養於獨立吹塵式無菌動物籠架中觀察至少一週。試驗動物實驗前一天予以禁食 18 ± 2 hr，平時給予充足之飼料及飲水。動物飼育房控制溫度範圍為22-26°C、相對濕度範圍為30-80%，光/暗之週期皆為12 hr。將大鼠分為6組每組4隻，分別為正常對照組、糖尿病對照組及4種測試物質組(TK9、TCS10、TCS10-TB、TCS10-B)。

(二)化學物誘導產生糖尿病

本研究參考Akbarzadeh氏等⁽²⁾發表之方法並略加修正，將Streptozotocin(簡稱STZ)溶於生理食鹽水，並含有檸檬酸鈉(10 mM)為緩衝(pH 4.5)，以腹腔(55-75 mg/kg)注射方式給予動物。待1星期後，採血測量隔夜空腹(17-24 hr)血糖值，若達到或超過13 mM (230+10 mg/dL)時，則視為有糖尿病。

(三)穀物飼料

‘台梗9號’及‘台中秈10號’糙米購自億東公司，並委託亞洲瑞思公司進行發芽糙米製作，發芽糙米(germinated brown rice, GBR)產品經檢測γ-胺基丁酸(GABA)均達15 mg/100g以上。不同配方組合包括：(1)‘台梗9號’發芽糙米(TK9)；(2)‘台中秈10號’發芽糙米(TCS10)；(3)‘台中秈10號’發芽糙米(70%) + 苦蕎種仁(30%) (TCS10-TB)；(4)‘台中秈10號’發芽糙米(70%) + 普通蕎麥種仁(30%) (TCS10-B)。不同配方混和均勻後以家庭用電子鍋煮熟後於50°C下烘乾磨粉。試驗飼料配方動物試驗以AIN76為基礎飼料⁽²⁷⁾，試驗組則以不同配方的米穀粉取代50%之AIN76飼料，以自由取食方式投予受試物共28天。

(四)測定項目

- 1.體重：從動物進入開始至結束期間每週測量 1 次體重。
- 2.飼料攝取量：每 2 日測量 1 次攝取量。
- 3.空腹血糖值測定：試驗前(Day0)及試驗後(Day28)，以含有 Heparin 採血管採血 0.5 ml 測定隔夜空腹血糖值。
- 4.葡萄糖耐受性測定：試驗前(Day0)及試驗後(Day28)進行葡萄糖耐受性測定，以口服(1 g/kg)方式給予實驗動物葡萄糖，並分別在給糖前及給糖後的 30、60、90、120 和 180 min 採血測定血糖值。

四、統計分析

各試驗組所得數值以 Microsoft Excel 之函數求出平均數(AVERAGE)與標準偏差值(STDEV)，並以電腦程式 One-Way ANOVA 方式(SPSS version 12.0, Claritas Inc.)檢定各組數值是否具統計上的差異($p < 0.05$)，餵食全穀試驗前後之空腹血糖值以 t-檢定比較試驗前後差異。

結果與討論

一、蕎麥不同加工模式之機能成分分析

(一)市售蕎麥產品芸香苷含量之分析

蕎麥在東歐、中國及日本都相當風行受到民眾歡迎，有多樣化的產品利用模式，與小麥利用模式接近以磨粉為主，但是因為不含筋性蛋白，加工利用多與麵粉混合以製作麵包、鬆餅、麵餅皮、蛋糕、餅乾與麵條等為主。蕎麥的機能成分芸香苷在不同品種與加工利用模式間可能有相當大的差異，但是國內尚無分析資料報告。Guo⁽⁹⁾等人分析不同地區苦蕎之芸香苷含量則介於 5,185-14,479 ppm 間，Jiang⁽¹⁶⁾等人比較不同種蕎麥的芸香苷含量，普通蕎麥為 200-400 ppm，苦蕎為 16,700-20,400 ppm 間。以本試驗設定之分析條件，蕎麥‘台中 2 號’和‘台中 5 號’的芸香苷含量分別約為 189.8 ppm 與 13,869.3 ppm (表一)，和其他研究相當，並且在 2 種蕎麥中的酚酸類成分皆以芸香苷為主(圖一)，槲皮素較少。

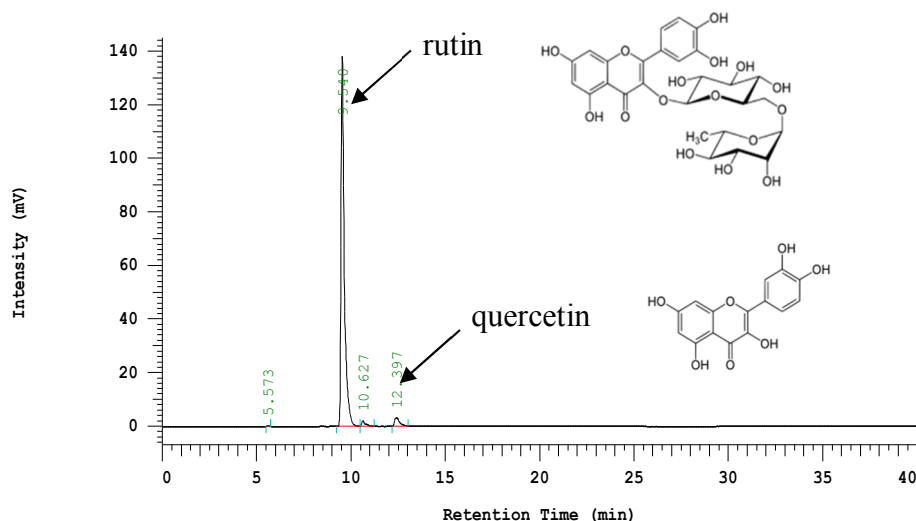
苦蕎在臺灣常見的利用模式包括添加於米飯中一起烹調，磨粉後搭配麵粉製麵或麵包、以及種子膨發作為茶包原料，或作為麵包、餅乾、點心之顆粒裝飾，具有堅果的風味和口感。種子磨粉之後芸香苷成分含量並無損耗，與種子相當，膨發後種子則減少到約 6,045 ppm(表 1)。普通蕎麥除了整粒食用與製粉之外，也可磨漿以滾筒乾燥熟化製作雪花片，製成雪花片後芸香苷含量減少約 20% 由 190 ppm 減少為 151 ppm (表一)。

表一、苦蕎‘台中 2 號’及普通蕎麥‘台中 5 號’不同加工產品之芸香苷含量變化

Table 1. Variation of rutin content in different forms of processed products of Tartary buckwheat TC2 and common buckwheat TC5

Varieties	Tartary buckwheat		Common buckwheat	
	TC2	Rutin (ppm)	TC5	Rutin (ppm)
Seeds		13870± 1114a		190 ± 44c
Powder		14507 ± 455a		NA
Puffed seeds		6045±38b		NA
Snow flakes		NA		151 ± 11c

Data represents mean ± SD; Different letters indicate statistically significant difference by LSD test at $p \leq 0.05$.



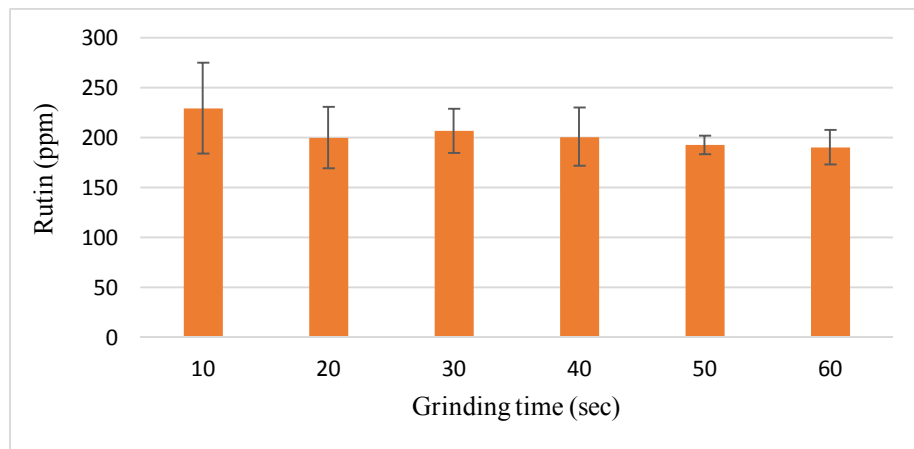
圖一、蕎麥萃取物分析結果，在滯留時間 9.5、12.3 min 分別為芸香苷及槲皮素。

Fig. 1. The analysis of buckwheat extracts. The peaks shown at 9.5, 12.3 min are rutin and quercetin, respectively.

(二)普通蕎麥種子芸香苷的分布

在歐美及日本，蕎麥的加工以磨粉為主，依據美國 Minn-Dak Growers 公司所出產不同產品規格名稱包括：Farinetta 蕎麥麩皮，指種子糊粉層為主的蕎麥粉，含有豐富手性肌醇(DCI)；Farinetta™ 指包含種子糊粉層和胚的蕎麥粉；Fancy Flour 指脫殼後，除去糊粉層和胚的蕎麥粉；Supreme Flour 則包含特定比例的殼與胚乳的蕎麥粉⁽²³⁾。日本也有類似的分類方式，中心部為 1 番粉，成分以澱粉為主，色澤較淡，其次為 2 番粉，外部麩皮的部分為 3 番粉，其餘為略帶殼與碎胚乳的 4 番粉，不同分級蕎麥粉的成分、色澤也有不同。

為了瞭解普通蕎麥‘台中五號’種子中芸香苷含量的分布情形，普通蕎麥以精米機由外向內研磨，以研磨 10 sec 為級距，比較連續研磨 60 sec 過程所得粉末的芸香苷含量即可知由外麩皮層至中心部位的芸香苷含量分布情形。結果顯示種子表面麩皮層的芸香苷含量最高可達 229 ppm，研磨越久則越接近核心顏色越白，芸香苷含量也遞減至約 190 ppm，但是各研磨時間處理的芸香苷含量差異並不顯著($P = 0.987$)。



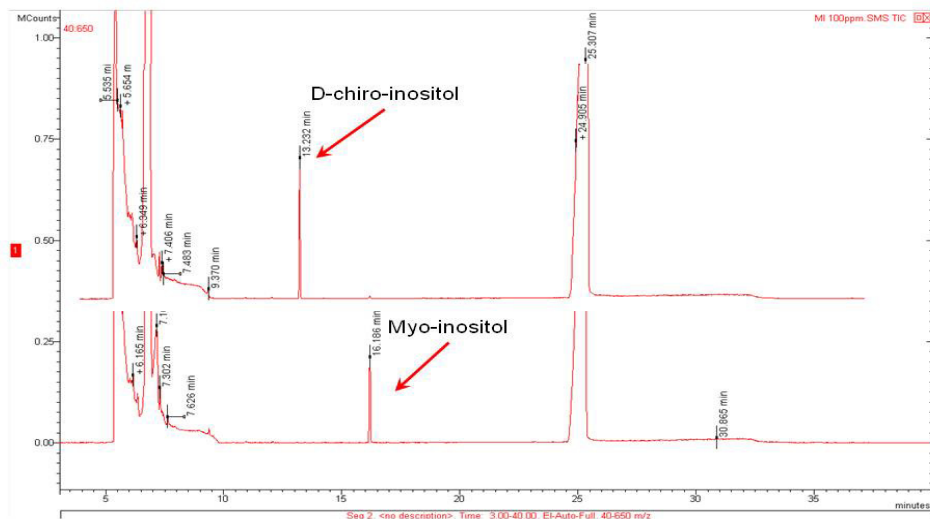
圖二、普通蕎麥種子芸香苷由麩皮至內的分布情形。

Fig. 2. Distribution of rutin from bran to core of common buckwheat seeds. Bar= represents standard error (n=9).

(三)發芽蕎麥之肌醇與芸香苷分析

肌醇在動植物細胞中負責多樣化的訊息傳導^(4,33)，也是生醫研究中重要的主題之一。在植物種子中，肌醇與磷酸鹽結合以植酸(phytin)型態貯存使動物無法吸收利用，在豌豆及羽扇豆等植物種子中，植酸組成以 inositol hexaphosphate, IP6 為主，IP5、IP4、IP3 占微量不及 2%⁽¹¹⁾。植酸需要植酸分解酶(phytase)作用使磷酸根與肌醇游離後才能被動物吸收利用，因此在穀物做為動物飼料時，也經常透過浸種發芽、發酵方式促進植酸分解以提高飼料中磷酸的有效性^(18,26)，同時也減少磷酸根隨糞便排出造成環境壓力。因此了解蕎麥浸種過程中，機能指標成分的變化也可提供未來不同利用模式之參考。

在肌醇的分析方面，本研究參考 Steadman 等所建立之分析方法⁽³⁰⁾，分析蕎麥發芽過程中肌醇含量的變化，旨在建立本場分析肌醇之能力。不同發芽日數的蕎麥萃取成分進行 TMS 衍生化處理後，以氣相層析儀可以成功的區分肌醇和手性肌醇此二鏡像異構物，兩者在本實驗分析條件之滯留時間分別為 16.18 與 13.23 min(圖三)，標準品之檢量線在本研究分析的 1-500 ppm 間有良好的線性，迴歸係數達 0.996。



圖三、手性肌醇與肌醇以 TMS 衍生化後以 GC 分析，滯留時間分別為 13.23 及 16.18 min。
Fig. 3. GC Chromatogram of *D-chiro*-inositol and myo-inositol after TMS derivation, the retention time is 13.23 and 16.18, respectively.

如同預期，種子中肌醇含量隨著浸潤天數增加而上升，由第 1 天 167 ppm 至第 3 天上升到 465 ppm (表二)，推測是因為種子萌芽過程中，植酸也陸續分解釋放出磷酸根與肌醇，相對的手性肌醇上升幅度較為有限，從 33 ppm 上升到 52 ppm。對比 Honke⁽¹¹⁾ 氏等之研究，豌豆種子的植酸含量約 12.74 $\mu\text{mol/g.dm}$ ，在發芽過程中植酸陸續分解，第 1-3 天分別分解 7%、15% 及 22%，如果以 IP6 為主成分忽略其他植酸(IP5、IP4、IP3)換算游離肌醇釋放量为 160、344 及 504 ppm，與本試驗結果相當，故蕎麥種子不同浸潤日數處理雖僅進行 1 個樣品的肌醇分析，仍具有相當的參考價值。蕎麥種子的芸香苷在發芽過程中也呈現陸續增加的情形，浸潤 1-3 天過程中芸香苷由 215 ppm 上升至 711 ppm (表二)，顯示隨著發芽日數進展，生化代謝活動持續增加。

表二、不同發芽天數之芸香苷與肌醇含量分析

Table 2. The rutin content of buckwheat seeds at different days of germination

Germination days	Compositions		
	Inositol* (ppm)	Chiro-inositol (ppm)	Rutin (ppm)
Day 0	--	33.5	189.8 \pm 44.0c
Day 1	167.7	49.9	215.3 \pm 13.9c
Day 2	340.4	50.8	412.7 \pm 65.9b
Day 3	465.6	52.1	711.1 \pm 136.7a

*For inositol and chiro-inositol, only 1 sample each day is analyzed.

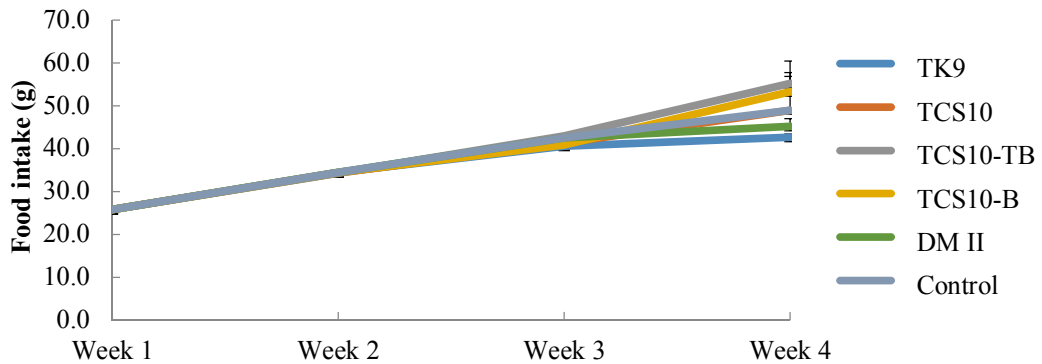
Data represents mean \pm SD; Different letters indicate statistically significant difference by LSD test at $p \leq 0.05$.

二、發芽糙米及蕎麥對誘導第二型糖尿病大鼠血糖之影響

(一)各組動物於試驗期間平均攝食量及體重變化

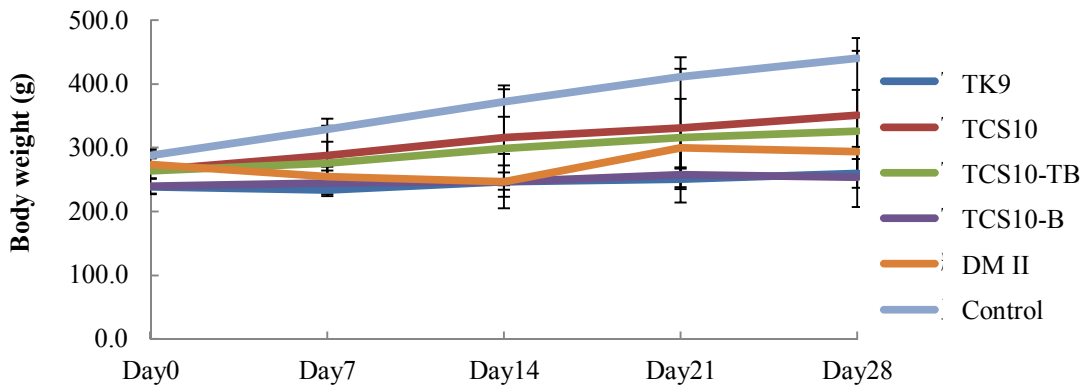
各組試驗動物於初期依照體重平均分配至各試驗組，並於試驗期間每週測量試驗動物之體重變化，於第 1-3 週期間，各組動物攝食飼料之重量差異不大，直到第 4 週時，各試驗組別才有較大的差別(圖四， $F=4.44$, $P<0.01$)，其中以餵食苦蕎組別動物攝食最多，其次為蕎麥組，最低者為‘台梗 9 號’與糖尿病組。各組動物體重在試驗期間穩定增加，以對照組增加幅度最多(圖五)，蕎麥組和‘台梗 9 號’組增加最少，其餘各組介於其間。

在體重變化方面，飼餵高脂飼料之控制組，在 4 週後體重增加約 53%，相對的其他試驗組在平均攝食量與對照組相當或高於對照組，但是體重增加幅度平均約 39%，低於對照組(圖五)。



圖四、試驗期間各組動物之平均攝食量(g)。

Fig. 4. Average food intake by each group of animals during the experiment. Bar=represents standard error (n=4).

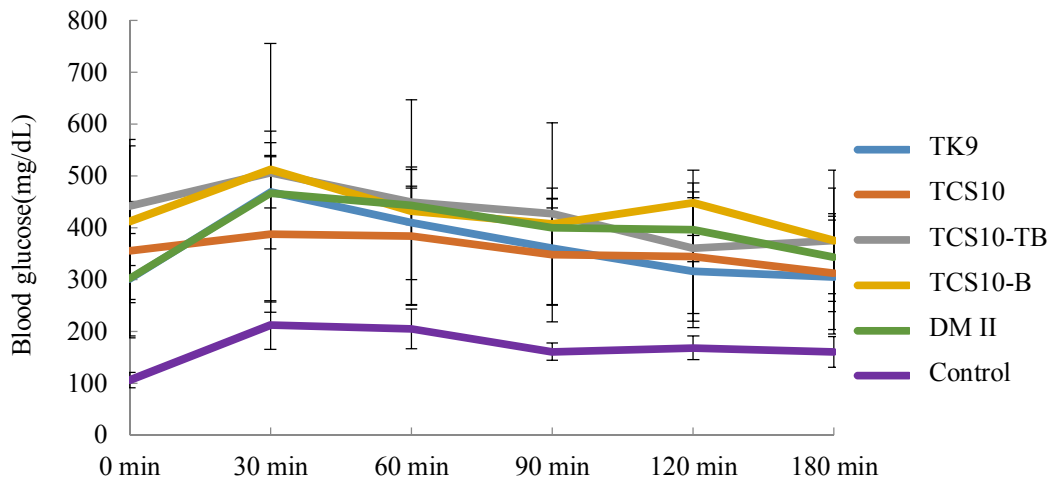


圖五、試驗期間各組動物之體重變化。

Fig. 5. Average body weight change of each group of animals during the experiment. Bar= represents standard error (n=4).

(二)各組動物於試驗期間空腹血糖值與葡萄糖耐受性變化

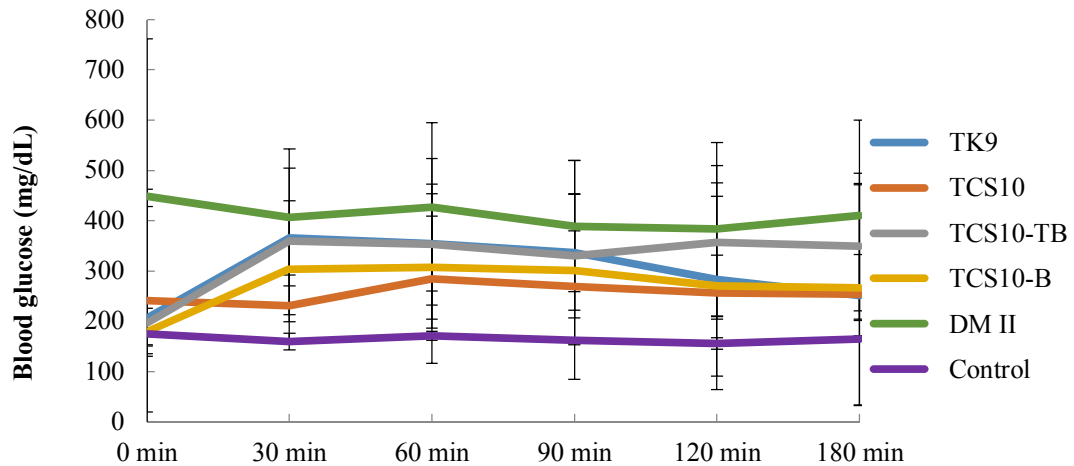
以 STZ 誘導實驗動物(大鼠)產生糖尿病之檢驗方式為誘導 1 週後,採血測量隔夜空腹(17~24 小時)血糖值,若達或超過 13 mM (230+10 mg/dL) 時,則視為有糖尿病。本試驗中,各組試驗動物在試驗前,空腹血糖值平均為 106.0 mg/dL,在注射 STZ 後一週,各組試驗動物之空腹血糖值介於 280-440 mg/dL 之間,均成功誘導出糖尿病。口服給予葡萄糖測定其葡萄糖耐受性,以 One-Way ANOVA 分析試驗前後之葡萄糖耐受性,並測定隔夜空腹血糖值是否具顯著差異,可發現各組動物在 30-180 min 之間,血糖值均高於 300 mg/dL(圖六),顯著高於對照組,與糖尿病組相比較則均無顯著差異($P>0.05$)。



圖六、各組動物誘導產生第 2 型糖尿病 1 週後之空腹血糖值與葡萄糖耐受量測定。

Fig. 6. Fasting blood glucose and glucose tolerance test by each group of animals at 1 week after induction of type II diabetes before experiment. Bar= represents standard error (n=4).

大鼠在連續餵食 28 天不同配方之米穀粉後,再度分析空腹血糖值及進行口服葡萄糖耐受性測驗,由於血糖測值變異較大且試驗動物每組僅 4 隻,各組間差異在統計上均不顯著。然而由平均值可以發現,攝取全穀食品者,其葡萄糖耐受性皆優於糖尿病組,試驗組餐後血糖值介於對照組和糖尿病組之間(圖七)。



圖七、攝取發芽糙米與蕎麥 4 週後，各組動物之空腹血糖值與葡萄糖耐受性變化。

Fig. 7. Fasting blood glucose and glucose tolerance test by each group of animals after taking. Bar= represents standard error (n=4).

以發芽糙米或搭配蕎麥取代 50% 飼料後，可以發現各試驗組均可改善空腹血糖值(表三)。誘導糖尿病大鼠以發芽糙米介入飲食，食用‘台梗 9 號’與‘台中秈 10 號’發芽糙米組之動物，空腹血糖值分別由試驗前的 301 與 356 mg/dL 降為 207 與 241 mg/dL，2 組動物之間下降幅度相當，平均分別減少 94 與 115 mg/dL，雖然未達顯著水準，但改善的幅度也相當可觀。本試驗結果和 Hagiwara 氏等的結果一致，即發芽糙米可以顯著改善誘導糖尿病大鼠之高血糖⁽¹⁰⁾，同樣的 Hsu⁽¹²⁾ 等以糖尿病患者為人體試驗對象，以同一試驗族群連續食 6 週白米或發芽糙米並輪流替換，發現以發芽糙米為主食可以顯著減少病患的空腹血糖值、葡萄糖胺、三酸甘油酯和總膽固醇($p < 0.01$)。

如以發芽糙米搭 F 配苦蕎或蕎麥介入飲食，2 組動物試驗前後空腹血糖值分別由 442 與 413 mg/dL 降為 196 與 178 mg/dL (表三)，下降幅度為 246 與 235 mg/dL，改善的幅度極為顯著($p < 0.001, 0.05$)，與發芽糙米組相比，更進一步改善改善誘導第二型糖尿病大鼠的空腹血糖值，苦蕎組或蕎麥組相比較差異不大，惟苦蕎組改善空腹血糖值更為顯著($p < 0.001$)。

近年來芸香苷對糖尿病的預防及改善受到相當多的關注，依據 Lee 等研究顯示，苦蕎可提升糖尿病小鼠血液中 GLP-1 肽分泌，同時也可降低糖化血色素及改善胰島素阻抗⁽²¹⁾，有助於血糖調節。芸香苷的生理活性除了抗發炎、抗氧化，尚具有抗高血糖、神經保護及護肝功效等⁽⁸⁾，可能的機制包括延緩碳水化合物在小腸的吸收、抑制葡萄糖新生、促進胰島素分泌及葡萄糖被週邊組織吸收，同時可以減少糖化蛋白的產生(advanced glycation end-product)，進而具有預防高血糖所導致的神經病變及預防阿茲海默症的保護效果，而苦蕎富含豐富的芸香苷，在本試驗中

也呈現顯著改善空腹血糖值的效果，值得進一步探討其對抗代謝症候群及老化的改善或預防效果。

表三、各組試驗動物於誘導糖尿病及攝取發芽糙米及蕎麥飲食 1 個月後之空腹血糖值
Table 3. The fasting blood glucose of induced DMII rats before and after taking 1 month germinated brown rice and buckwheat diet

Groups	Fasting glucose (mg/dL)		<i>p</i> value
	Before experiment	After experiment	
Control	106.0 ± 14.9	174.8 ± 24.6	0.028 *
DM II	302.3 ± 114.1	448.5 ± 312.7	0.413
TK9	301.3 ± 88.0	207.0 ± 58.8	0.125
TCS10	356.3 ± 94.7	241.0 ± 221.4	0.375
TCS10-TB	442.5 ± 115.2	196.3 ± 42.7	0.007 ***
TCS10-B	413.0 ± 157.3	178.3 ± 48.0	0.029 *

Data represents mean ± SD; Different letters indicate statistically significant difference by LSD test at $p \leq 0.05$.

結 論

糖尿病在世界各國均造成極大醫療負擔，根據國民健康署統計，全國約有 200 多萬名糖尿病的病友，每年近萬人因糖尿病死亡，位居國人十大死因之一，且每年以 25,000 名的速度持續增加。糖尿病及其所引發的併發症已造成相當龐大醫療負擔。除了以藥物控制及運動之外，依據國民健康署的建議，全穀飲食是輔助糖尿病控制的重要方法之一，而不論是糙米、發芽糙米與蕎麥均可視為全穀飲食，要改善糖尿病與代謝症候群，當務之急應為建立國人健康飲食的習慣，多以全穀為主食。本動物試驗中證實發芽糙米搭配蕎麥或苦蕎在連續食用 4 週後，改善空腹血糖值效果更為顯著，推測蕎麥中的芸香苷也提供重要的保護功能，因此在不改變國人飲食習慣前提下，在白米飯中添加苦蕎與蕎麥等健康穀物是值得推動的方向。

在亞洲國家中，日本是相當喜愛蕎麥的國家，平均每人每年消費蕎麥 1 kg，日本蕎麥栽培面積超過 6 萬 ha，但仍須進口蕎麥以彌補其市場需求。如果國人消費蕎麥的數量比照日本，估計約需種植 2 萬 3,000 ha 才夠我國市場使用，對比農糧署農業統計資料，在 100-108 年間，國內蕎麥栽培面積僅約 10-135 ha，由於大多數消費者並不了解蕎麥的優點以及如何食用，蕎麥作為全穀食材未來仍有極大的成長與推廣空間。

參考文獻

1. Aberg, S., Mann, J., Neumann, S., Ross, A. B., and Reynolds, A. N. 2020. Whole-grain processing and glycemic control in type 2 diabetes: A randomized crossover trial. *Diabetes Care* 43(8): 1717-1723.
2. Akbarzadeh, A., Norouzian, D., Mehrabi, M. R., Jamshidi, S. H., Farhangi, A., Verdi, A. A. and Rad, B. L. 2007. Induction of diabetes by streptozotocin in rats. *Indian Journal of Clinical Bio.* 22(2): 60-64.
3. Baillargeon, J. P., M. J. Iuorno, T. Apridonidze and J. E. Nestler. 2010. Uncoupling between insulin and release of a *D-chiro*-inositol-containing inositolphosphoglycan mediator of insulin action in obese women with polycystic ovary syndrome. *Metab Syndr Relat Disord.* 8(2): 127-36.
4. Berridge, M. J. and R. F. Irvine. 1989. Inositol phosphates and cell signalling. *Nature* 341(6239): 197-205.
5. Capurso, C. 2021. Whole-Grain Intake in the Mediterranean Diet and a Low Protein to Carbohydrates Ratio Can Help to Reduce Mortality from Cardiovascular Disease, Slow Down the Progression of Aging, and to Improve Lifespan: A Review. *Nutr.* 13(8): 2540.
6. Cawoy, V., J. M. Kinet and A. L. Jacquemart. 2008. Morphology of nectaries and biology of nectar production in the distylous species *Fagopyrum esculentum*. *Annals of botany* 102(5): 675-684.
7. Cawoy, V., J. F. Ledent, J. M. Kinet and A. L. Jacquemart. 2009. Floral biology of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Eur. j. plant sci. biotechnol* 3(1): 1-9.
8. Ghorbani, A. 2017. Mechanisms of antidiabetic effects of flavonoid rutin. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 96: 305-312.
9. Guo, X. D., Y. J. Ma, J. Parry, J. M. Gao, L. L. Yu and M. Wang. 2011. Phenolics content and antioxidant activity of tartary buckwheat from different locations. *Molecules* 16(12): 9850-9867.
10. Hagiwara, H., T. Seki and T. Ariga. 2004. The effect of pre-germinated brown rice intake on blood glucose and PAI-1 levels in streptozotocin-induced diabetic rats. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry* 68(2): 444-447.
11. Honke, J., H. Kozłowska, C. Vidal-Valverde, J. Frias and R. Górecki. 1998. Changes in quantities of inositol phosphates during maturation and germination of legume seeds. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A.* 206(4): 279-283.
12. Hsu, T. F., M. Kise, M. F. Wang, Y. Ito, M. D. Yang, H. Aoto, R. Yoshihara, J. Yokoyama, D. Kunii and S. Yamamoto. 2008. Effects of pre-germinated brown rice on blood glucose and lipid levels in free-living patients with impaired fasting glucose or type 2 diabetes. *J. Nutr. Sci. Vitaminol* 54(2): 163-168.

13. Hu, Y., Ding, M., Sampson, L., Willett, W. C., Manson, J. E., Wang, M., and Sun, Q. 2020. Intake of whole grain foods and risk of type 2 diabetes: results from three prospective cohort studies. *bmj*, 370.
14. International Diabetes Federation. IDF diabetes atlas. 9th ed. IDF, 2019. Adapt from <https://www.diabetesatlas.org/en/sections/worldwide-toll-of-diabetes.html>
15. Imam, M. U., S. N. A. Musa, N. H. Azmi and M. Ismail. 2012. Effects of white rice, brown rice and germinated brown rice on antioxidant status of type 2 diabetic rats. *Int. J. Mol. Sci.* 13(10): 12952-12969.
16. Jiang, P., F. Burczynski, C. Campbell, G. Pierce, J. A. Austria and C. J. Briggs. 2007. Rutin and flavonoid contents in three buckwheat species *Fagopyrum esculentum*, *F. tataricum*, and *F. homotropicum* and their protective effects against lipid peroxidation. *Int. Food Res. J.* 40(3): 356-364.
17. Kawa, J. M., C. G. Taylor and R. Przybylski. 2003. Buckwheat concentrate reduces serum glucose in streptozotocin-diabetic rats. *J. Agric. Food Chem.* 51(25): 7287-7291.
18. Kim, S. S., M. A. Pham, K. W. Kim, M. H. Son and K. J. Lee. 2010. Effects of microbial fermentation of soybean on growth performances, phosphorus availability, and antioxidant activity in diets for juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Food Sci. Biotechnol* 19(6): 1605-1610.
19. Kreft, I., N. Fabjan and M. Germ. 2003. Rutin in buckwheat—protection of plants and its importance for the production of functional food. *Fagopyrum* 20: 7-11.
20. Li, Y. Q., F. C. Zhou, F. Gao, J. S. Bian and F. Shan. 2009. Comparative evaluation of quercetin, isoquercetin and rutin as inhibitors of α -glucosidase. *J. Agric. Food Chem.* 57(24): 11463-11468.
21. Lee, L. C., Y. C. Hou, Y. Y. Hsieh, Y. H. Chen, Y. C. Shen, I. J. Lee and H. K. Liu. 2021. Dietary supplementation of rutin and rutin-rich buckwheat elevates endogenous glucagon-like peptide 1 levels to facilitate glycemic control in type 2 diabetic mice. *J. Funct. Foods* 85: 104653.
22. Montonen, J., P. Knekt, R. Järvinen, A. Aromaa and A. Reunanen. 2003. Whole-grain and fiber intake and the incidence of type 2 diabetes. *Am. J. Clin. Nutr.* 77(3): 622-629.
23. Minn-Dak Growers. 2018. Overview of buckwheat at MINN-DAK. <https://www.minndak.com/buckwheat/>.
24. Nestler, J. E., D. J. Jakubowicz, P. Reamer, R. D. Gunn and G. Allan. 1999. Ovulatory and metabolic effects of D-*chiro*-inositol in the polycystic ovary syndrome. *N Engl J Med.* 340: 1314-1320.
25. Nestler, J. E., D. J. Jakubowicz and M. J. Iuorno. 2000. Role of inositolphosphoglycan mediators of insulin action in the polycystic ovary syndrome. *J. Pediatr. Endocrinol. Metab.* 5: 1295-8.
26. Prasad, C. S., A. B. Mandal, N. K. S. Gowda, K. Sharma, A. K. Pattanaik, P. K. Tyagi and A. V. Elangovan. 2015. Enhancing phosphorus utilization for better animal production and environment sustainability. *Curr. Sci.* 1315-1319.

27. Reeves, P. G. 1997. Components of the AIN-93 diets as improvements in the AIN-76A diet. *J. Nutr. Health* 127(5): 838-841
28. Sheen, Y. J., C. C. Hsu, Y. D. Jiang, C. N. Huang, J. S. Liu and W. H. Sheu. 2019. Trends in prevalence and incidence of diabetes mellitus from 2005 to 2014 in Taiwan. *J Formos Med Assoc.* 2019. 118:S66-73. (糖尿病年鑑)
29. Sun, Q., D. Spiegelman, R. M. van Dam, M. D. Holmes, V. S. Malik, W. C. Willett and F. B. Hu. 2010. White rice, brown rice, and risk of type 2 diabetes in US men and women. *Arch. Med.* 170(11):961-969.
30. Steadman, K. J., M. S. Burgoon, R. L. Schuster, B. A. Lewis, S. E. Edwardson and R. L. Obendorf. 2000. Fagopyritols, *D-chiro*-inositol, and other soluble carbohydrates in buckwheat seed milling fractions. *J. Agric. Food Chem.* 48(7): 2843–2847.
31. Takahama, U. and S. Hirota. 2010. Fatty acids, epicatechin-dimethylgallate, and rutin interact with buckwheat starch inhibiting its digestion by amylase: Implications for the decrease in glycemic index by buckwheat flour. *J. Agric. Food Chem.* 58(23): 12431-12439.
32. Ueda, T., M. P. Coseo, T. J. Harrell and R. L. Obendorf. 2005. A multifunctional galactinol synthase catalyzes the synthesis of fagopyritol A1 and fagopyritol B1 in buckwheat seed. *Plant Science* 168(3): 681-690.
33. Williams, S. P., G. E. Gillaspay and I. Y. Perera. 2015. Biosynthesis and possible functions of inositol pyrophosphates in plants. *Front. Plant Sci.* 6: 67.
34. Ye, E. Q., S. A. Chacko, E. L. Chou, M. Kugizaki and S. Liu. 2012. Greater whole-grain intake is associated with lower risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, and weight gain. *J. Nutr. Health* 142(7): 1304-1313.

Effects of Germinated Brown Rice and Buckwheat on Blood Sugar Regulation in Streptozotocin Induced Type II Diabetic Rats¹

Yi-Chun Chen², Yu-Hsin Chen^{3*}, Huey-Ling Liu² and Chi-Yu Yang⁴

ABSTRACT

Germinated brown rice (GBR) and buckwheat has been receiving much attention for its nutrition and health promoting potential. In this research, the content of rutin in different forms of processed products was analyzed. A STZ induced type II diabetes animal model was employed to investigate the effects of GBR and buckwheat intervention on blood sugar regulation. On rutin content analysis, Tartary buckwheat contains high amount of rutin that reaching 14,506.6 ppm, powdering did not reduce rutin content, but is reduced to 6,044.9 ppm in puffing Tartary buckwheat seeds. In contrast rutin content in common buckwheat is about 189.8 ppm. Seeds of common buckwheat are germinated for 0-3 days, the content of rutin was increased from 189.8 ppm to 711 ppm, inositol showed similar increasing trend during 1-3 days of germination from 167 to 465 ppm, while chiro-inositol only increased slightly. In animal experiment, intervention of GBR, GBR and buckwheat to replace 50% of AIN 76 animal diet for a month, all the whole grain treatments can ameliorate the STZ induced diabetes in Wistar rats. The fasting glucose and oral glucose tolerance test are all improved by GBR, GBR and buckwheat treatment, in which GBR and Tartary buckwheat or common buckwheat both showed better improving effects on blood sugar regulation. It is recommended that consumers should add adequate amount of healthy grains such as Tartary buckwheat or common buckwheat in their main dishes as means of prevention health care.

Keywords : buckwheat, Tartary buckwheat, rutin, inositol, fasting glucose

¹ Contribution No.1025 from Taichung DARES, COA.

² Research assistant of Taichung DARES, COA.

³ Associate Researcher of Taichung DARES, COA. *Corresponding author.

⁴ Researcher, Animal Technology Research Center, Agriculture Technology Research Institute.