

# 國產良質米全穀營養與 升糖指數研析

洪子桓<sup>1</sup>、劉威廷<sup>1</sup>、林素月<sup>1</sup>、李雅琳<sup>1,\*</sup>

## 摘要

稻米的營養價值高，特別在於米糠層含有豐富植化素，可以米糠醇 ( $\gamma$ -oryzanol) 與生育醇 (tocopherol)、三烯生育醇 (tocotrienols) 作為代表性成分。全穀米飯即是糙米擁有優質營養，其礦物質與膳食纖維含量豐富，值得特別推廣。臺灣過去育種專家進行大量的秈稻與粳稻雜交育種，並且以米飯口感作為主要選拔標準，發展創造許多特色米種，即是今日良質米品種。分析 13 個良質米品種糙米與白米的評估升糖指數 (estimated glycemic index, EGI)，顯示臺中秈 10 號糙米與白米 (人體試驗均屬於低 GI 食物) 之 EGI 最低，兩者分別落於低 GI 與中 GI 區間，所有試驗品種的糙米平均 EGI 值均屬於低 GI 區間。

**關鍵詞：** 稻米、全穀營養、升糖指數

## 1. 國產良質米—粳稻、秈稻

世界三大糧食作物，依據產量與栽培面積排序為小麥、水稻、玉米，均為禾本科植物，其中，列於我國第一位生產面積者是水稻，這是因為氣候地理條件十分適合稻米生產。稻屬植物經過長期演化，適應環境範圍極廣，從北緯 53 度至南緯 40 度地區皆可栽培生產。稻屬植物包含兩個栽培種，分為亞洲種 (Asian cultigen, *Oryza sativa* L.) 及非洲

<sup>1</sup> 行政院農業委員會農業試驗所生物技術組

\* 通訊作者: yllect@tari.gov.tw; Tel.: +886-4-2331-7372

種 (African cultigen, *Oryza glaberrima* Steudel)；一般栽培稻屬於亞洲種。亞洲種栽培稻又分為爪哇型 (*Javanica*)、印度型 (*Indica*) 及日本型 (*Japonica*) 三種。印度型即是秈稻，適合濕熱的氣候環境，日本型即是粳稻，適應較冷涼的氣候環境 [1]。

臺灣在水稻育種的歷程中，直接參與引領了農業第一次「綠色革命」的發生。行政院農業委員會臺中區農業改良場於 1957 年，育成全球第一個半矮性稻種—台中再來一號，其半矮性基因之後被世界各國利用，而國際稻米研究所 (International Rice Research Institute, IRRI) 利用其母本育成有「奇蹟米」之稱的 IR8，提高全球稻米產量、掀起「綠色革命」。

臺灣在日本殖民期間引進多種粳稻品種，秈稻與粳稻雜交育種盛行，創造許多特色米種，作者認為這是水稻物種演化的爆點歷程。在此過程中，臺灣曾是粳稻可栽培的最低緯度地區。秈稻即是俗稱的「在來米」，米粒屬於長粒型，較不具黏性；粳稻是俗稱的「蓬萊米」，米粒較短、較具黏性。米粒的黏性取決於稻米中的直鏈澱粉含量，若以黏性分類，可將稻米分為糯性 (直鏈澱粉含量 0~2%) 及非糯性，直鏈澱粉含量越低，糯性越強、黏性越高，而直鏈澱粉含量亦直接影響米飯攝食後的升糖指數 (glycemic index, GI)。探討米飯質地的喜好傾向，臺灣與日本偏好高黏性的粳稻，其他亞洲地區多以長粒型秈稻為主。

隨著經濟發展，臺灣進口農產品與食品日益增多，國人每人每年白米消費量逐漸降低，調查 1981 年為 98 公斤，及至 2009 年降至 48 公斤。為提高國人米食消費，政府自 1986 年度開始執行「輔導良質米產銷計畫」至今。良質米水稻品種是由農委會所屬各試驗研究機關育成的品種選拔產生 [2]，評比項目包括米粒外觀與食味優劣，以及具備多年期良好的生產與銷售紀錄。2003 年起實施「水稻良質米推薦品種實施要點」，每年定期評定推薦良質米品種供適栽地區的農民選擇種植 [3]。2020 年公告的優良水稻推廣品種，是在前一 (2019) 年 8 月 1 日發布，食用品種：臺粳 2 號 (TK2)、臺粳 4 號 (TK4)、臺粳 8 號 (TK8)、臺粳 9 號 (TK9)、臺粳 14 號 (TK14)、臺粳 16 號 (TK16)、桃園 3 號 (TY3)、臺農 71 號 (TNG71)、臺中 192 號 (TC192)、臺南 11 號 (TN11)、臺南 16 號 (TN16)、高雄 139 號 (KH139)、高雄 145 號 (KH145)、高雄 147 號 (TK147)、臺東 30 號 (TT30)、臺東 33 號 (TT33)、臺農 81 號 (TNG81) 及臺中秈 10 號 (TCS10) 等 18 種。值得注意的是，

臺中秈 10 號是唯一入選的秈稻品種。

米粒理化性質與口感相關的項目包括：糊化溫度、直鏈澱粉含量、膠體延展性質、蛋白質含量。臺灣秈稻品種間的差異比粳稻複雜，其中，秈稻的直鏈澱粉含量變異為 10%~30%，粳稻則為 15%~21%。秈稻品種間的膠體展延性質包括軟性、中間性及硬性，而粳稻皆屬於軟膠體性質。秈稻品種間的糊化溫度由低到高皆有，而粳稻品種僅屬於低糊化溫度。秈稻平均蛋白質含量高於粳稻約 2%。重要的秈稻品種中，如臺中秈 3 號、臺中秈 10 號、臺農秈 20 號及臺秈 1 號品種，其理化性質與粳稻相似，皆屬於低直鏈性澱粉含量 (10~20%，黏性較高)、軟膠體 (米飯較鬆軟) 及低糊化溫度 (70°C 以下，煮飯所需時間較短)。

## 2. 稻米的營養價值-無麩質與含有特殊機能植化素

麩質 (gluten) 是一種存在於麥類穀粒中的蛋白質，此亦為麵團產生筋性的蛋白質分子結構。世界上有一部分人體質對麩質不耐或過敏，甚至引起自體免疫疾病。醫學上不能進食麥類食品者有三類患者：麩質不耐症者 (gluten intolerance)、小麥過敏 (wheat allergy)、乳糜瀉 (celiac disease)。其中，乳糜瀉患者是攝食麩質食品後會引起自體免疫反應，嚴重時會致命。依據整合分析 (meta-analysis) 顯示，乳糜瀉患者約占人口比例 1.4% [4]。稻米屬於無麩質食品，且因為國人原則上是以米飯為主食，所以這些病症在國內並未受到特別重視，但是以小麥為主食的國家或地區，則對此健康議題日趨關注，特別是歐美國家已有許多人開始採用無麩質飲食 (gluten free diet)，而稻米的重要性也因此提升。此外，稻米含有的營養成分與特殊植化素 (phytochemicals) 重新被檢視研究，特別是針對糠層 (rice bran) 的部分 [5]，然而糠層在我們日常食用的白米中是不存在的。

全穀營養稻米，是指脫除穀殼 (rice hull) 後的糙米 (brown rice)。由於糙米的口感較韌較粗糙，一般人喜歡經過加工碾磨去除糠層後的白米，烹煮後的米飯軟潤香甜、易於咀嚼吞嚥。糠層佔米粒重量 9~10%，組成包括果皮、種皮、珠心、糊粉層及胚芽，此部分亦為稻米的營養精華所在 [6]。米糠和白米的主要化學組成成分重量百分比 (表 1)：白米碳水化合物組成占 72~80%，可作為熱量來源，但是在蛋白質、脂肪、膳食纖維、灰

分(礦物質成分)部分遠低於米糠層,特別是脂肪、膳食纖維與灰分僅為米糠的十分之一。進一步探討灰分中的礦物質組成含量,列出人體需求量高的鈣、鐵、鎂、錳、鉀、鋅元素(由其含量高低依序排列於表2),亦顯示米糠的含量遠高於白米,可以超出十倍、甚至百倍。礦物質的含量受到品種與土壤環境、栽培管理的影響甚鉅,由此角度思考,選擇特定品種與優良栽培管理生產的稻米,攝取其糙米對人體礦物質補充極具價值。由於米糠的油脂含量高,約占10-23%,因此,米糠油成為米糠主要用途之一,通常經由溶劑萃取方式獲得,其脂肪酸組成列於表3,與一般植物油相近,例如芝麻油、花生油等。

表1、米糠和精白米的主要化學組成成分重量百分比

Table 1. The main chemical composition percentage of rice bran and polished rice

成分	水分	粗蛋白	粗脂肪	碳水化合物	膳食纖維	灰份
米糠	10~15%	12~17%	13~22%	35~50%	23~30%	8~12%
白米	12~16%	6~9%	0.7~2%	72~80%	1.8~2.8%	0.6~1.2%

[6]

表2、米糠、白米的礦物質含量

Table 2. The mineral contents of rice bran and polished rice

元素 ( $\mu\text{g/g}$ )	鈣	鐵	鎂	錳	鉀	鋅
米糠	250~1310	130~530	860~12300	110~880	13200~22700	50~160
白米	46~385	2~27	170~700	10~33	140~1200	3~21

[6]

表3、米糠油的脂肪酸組成

Table 3. The fatty acids composition of rice bran oil

脂肪酸	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0
%	0.4~1	12~18	0.1~0.5	1~3	40~50	29~42	1~3	0.1~0.3

[7]

針對稻米的特殊植化素，可以其油脂中的特殊成分作為代表，其中，又以米糠醇 ( $\gamma$ -oryzanol，亦稱為穀維素)，以及生育醇 (tocopherols)、三烯生育醇 (tocotrienols) 最為重要。

米糠醇是由日本學者 Kogyo Kagaku Zasshi 於 1953 年發表，是在開發米糠油的研究過程中發現，由於分子結構含有一個 OH 基，於是將水稻學名 *Oryza sativa* L. 與 OH 基 (monohydric alcohol) 組合成專有名詞 oryzanol。米糠中的米糠醇是由至少十種以上的植物醇與阿魏酸 (ferulic acid) 酯化物組成，其中 80% 為 cycloartenyl ferulate, 2,4-methylenecycloartanyl ferulate 以及 campesteryl ferulate 之主成分 (圖 1) [8]。米糠醇在米糠中的含量為 3000 mg/kg 以上 [9]，有許多益於人體健康的研究報告：

1. 降低血中的總膽固醇及三酸甘油酯含量 [10,11]。
2. 增加 HDL 膽固醇以及抑制血小板的凝聚 [10]；可降低膽固醇的吸收，防止動脈硬化 [11]。
3. 具防曬效果，能清除紫外線所引起的自由基 [12]。
4. 具抗發炎活性 [13]。
5. 添加在食物中可增加食物儲藏安定性 [14]。
6. 為一種神經調節劑，對神經失調有良好療效 [15,16]。
7. 有助於心血管的健康並減少膽結石的形成 [17]。
8. 抗氧化：抑制油脂氧化 [18]、抑制膽固醇氧化 [8]，主要是因為米糠醇中的阿魏酸與維他命 E 一樣，可預防或阻止膽固醇氧化 [11]。

生育醇與三烯生育醇這類分子即是維生素 E (vitamin E)。米糠含有豐富的維生素 E，約 300 mg/kg [9]。維生素 E 為生育醇 (tocopherol)、三烯生育醇 (tocotrienol) 及其他  $d$ - $\alpha$ -生育醇生物活性物質的衍生物總稱，為重要的脂溶性維生素，必須藉助膽汁乳化才能吸收。維生素 E 的吸收發生於小腸，大多數穿越腸壁進入淋巴循環，少數進入肝門靜脈。正常成人血漿中的生育醇含量為 0.5 ~ 1.2 mg/mL，若低於 0.5 mg/mL 則被認為攝取量不足。早期認為維生素 E 有抗不育作用，故又名生育醇。依據甲基的數目和位置不同，自然界中的維生素 E 活性物質，進一步區分為  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 、 $\zeta$ 、 $\eta$  等型態，其中以  $d$ - $\alpha$ -生育醇生理活性最高 [19,20]。生育醇以及三烯生育醇各種異構物分子結構圖呈現於圖 2。

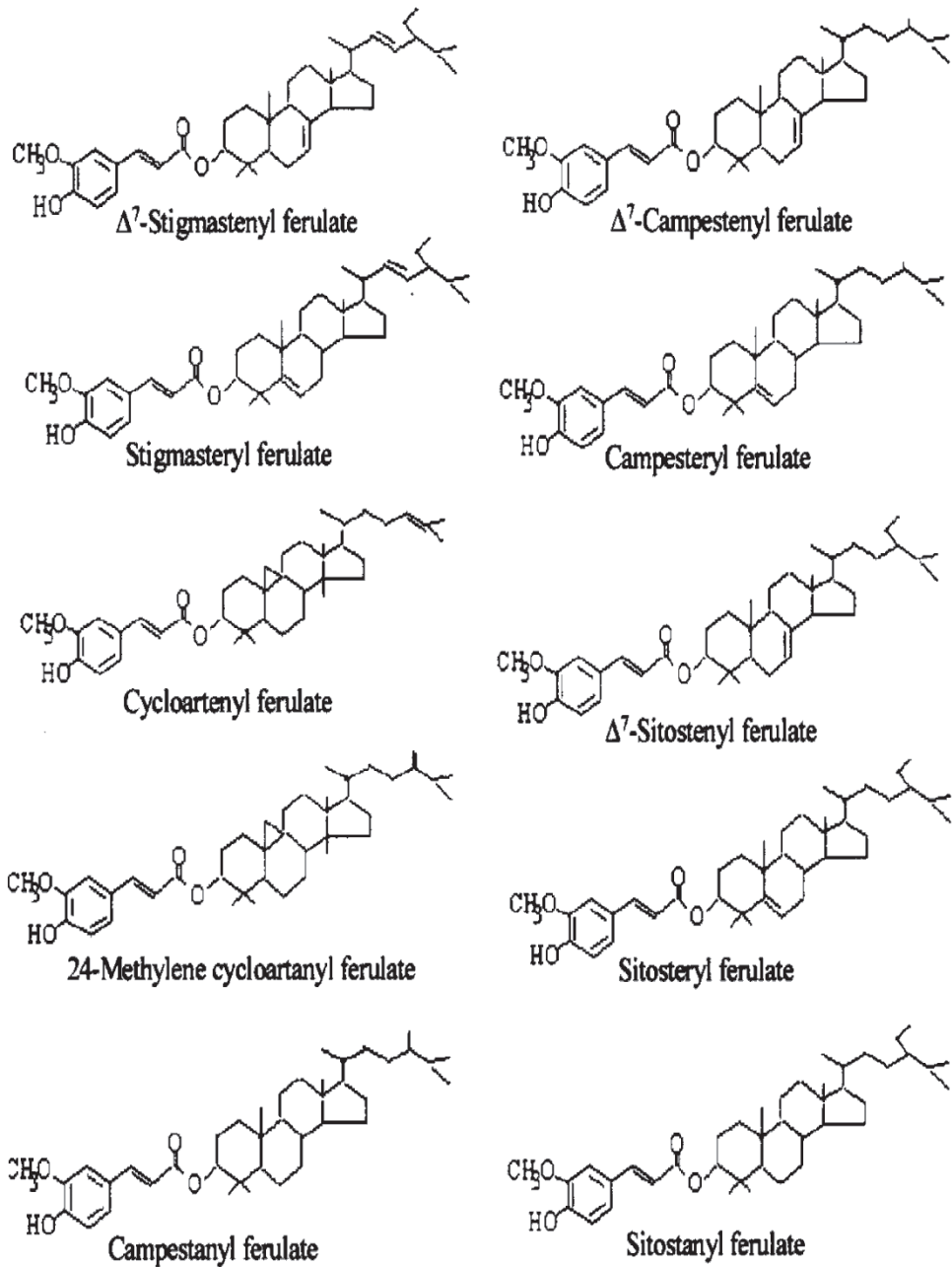
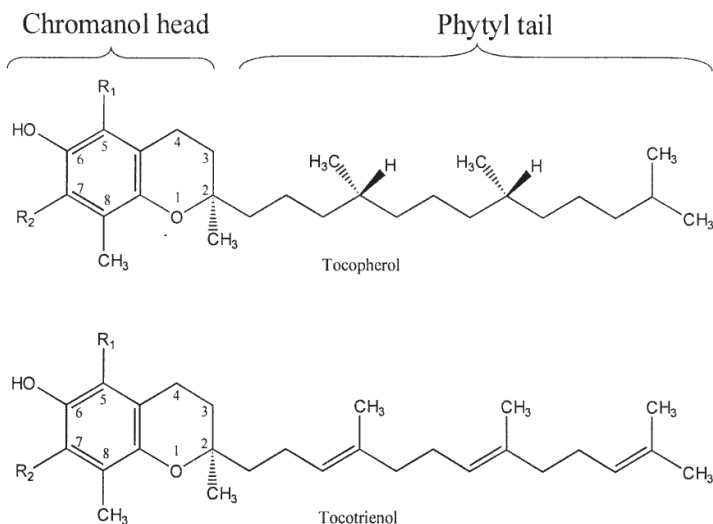


圖1、米糠醇異構物結構圖[8]。

Fig. 1. Molecular structures of identified components of  $\gamma$ -oryzanol [8].



R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Compound
CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>	α
CH <sub>3</sub>	H	β
H	CH <sub>3</sub>	γ
H	H	δ

圖2、生育醇各種異構物之分子結構[21]。

Fig. 2. Structures of tocopherols and tocotrienols [21].

維生素 E 可以保護細胞生物膜，避免多不飽和脂肪酸遭到自由基攻擊而氧化，同時也保護生命大分子物質（如 DNA）遭受自由基的破壞，是組織與細胞傷害的天然抑制劑，可以減少衰老、腫瘤發生等各種機能衰退的病變。現代醫學證實血液膽固醇過高是心血管疾病的致病因子之一，尤其是氧化的低密度脂蛋白 (LDL) 對心血管疾病的直接相關性。

三烯生育醇能有效降低血清膽固醇 [22]，原因是它能抑制通過肝臟的 β- 羥基 - β- 甲戊二酸單醯輔酶 A (β-hydroxy-β-methylglutaryl coenzyme A, HMG-CoA) 還原酶活性，降低膽固醇的生物合成量，因為 HMG-CoA 還原酶的作用是催化膽固醇的生物合成。生育醇不具不飽和側鏈，沒有抑制 HMG-CoA 還原酶的活性 [23]。在抗癌方面，生育醇能

夠抑制前列腺癌細胞以及乳癌細胞的生長 [24,25]。三烯生育醇的抗氧化活性優於生育醇。生育醇及三烯生育醇為淡黃色油狀物，在無氧條件下對熱穩定，易溶於油脂和大多數有機溶劑，不溶於水，但對氧極為敏感，C6 上的 OH 基極易被氧化，藉此降低不飽和脂肪酸、硫基化合物及維生素 A 等物質之氧化傷害，消除細胞膜內所產生的自由基，保持生物膜的正常結構功能。米糠中生育醇和三烯生育醇的總量雖非最高，但是三烯生育醇，特別是  $\gamma$ -三烯生育醇含量，是所有穀物中最高者 (表 4)。

作者研究室進一步深入探討米糠層中因碾磨的程度不同，對於這些機能成分含量的改變研究。選擇台農 67 號突變庫中的水稻品系 (lines) SA283、SA285，以小型碾米機碾磨 10 g 糙米 10 秒鐘一次，獲得第 1 層米糠，第二次得到第 2 層糠層，再從其中分離米胚 (embryo，或稱 germ)，進行含油量與米糠醇含量分析，結果如圖 3，顯示米糠層的含油量與米糠醇含量均高於胚 2 倍。

表4、生育醇和三烯生育醇在各種穀物中的含量

Table 4. The tocopherol and tocotrienol contents in the pericarps of various crop grains

穀物 (mg/kg)	生育醇					三烯生育醇				
	$\alpha$ -T <sup>1</sup>	$\beta$ -T	$\gamma$ -T	$\delta$ -T	%-T	$\alpha$ -T3 <sup>2</sup>	$\beta$ -T3	$\gamma$ -T3	$\delta$ -T3	%-T3
糙米	6	1	1		35	4		1		65
米糠	3	15	4	2	27	1	14	22	29	73
白米	1		1		42	1		2		58
麥胚	239	90			72	30	100			28
麥麩	16	10			28	13	55			72
玉米	6		45		86	3		5		14
燕麥	5	1			32	11	2			68
黑麥	16	4			47	15	8			53
大麥	2	4		1	31	11	3	2		69
大麥麩	11	16	36	4	42	36	25	19	11	58

<sup>1</sup>Tocopherol

<sup>2</sup>Tocotrienol

[6]



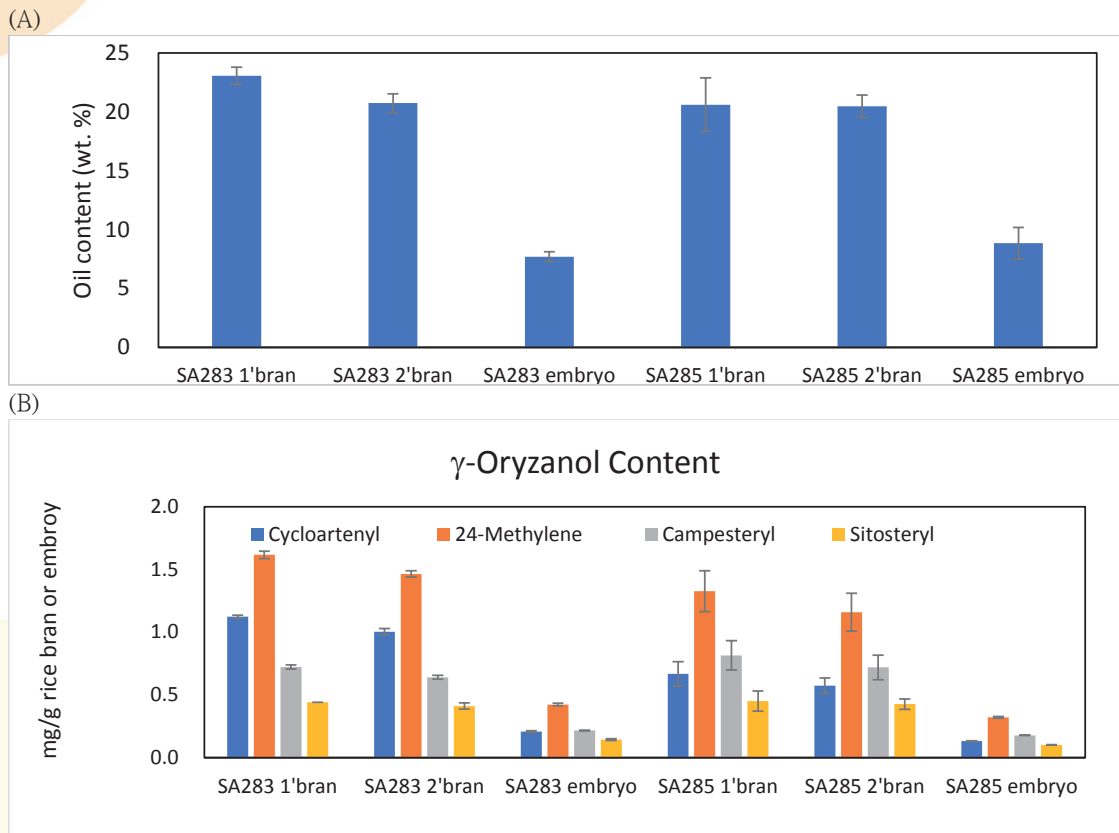
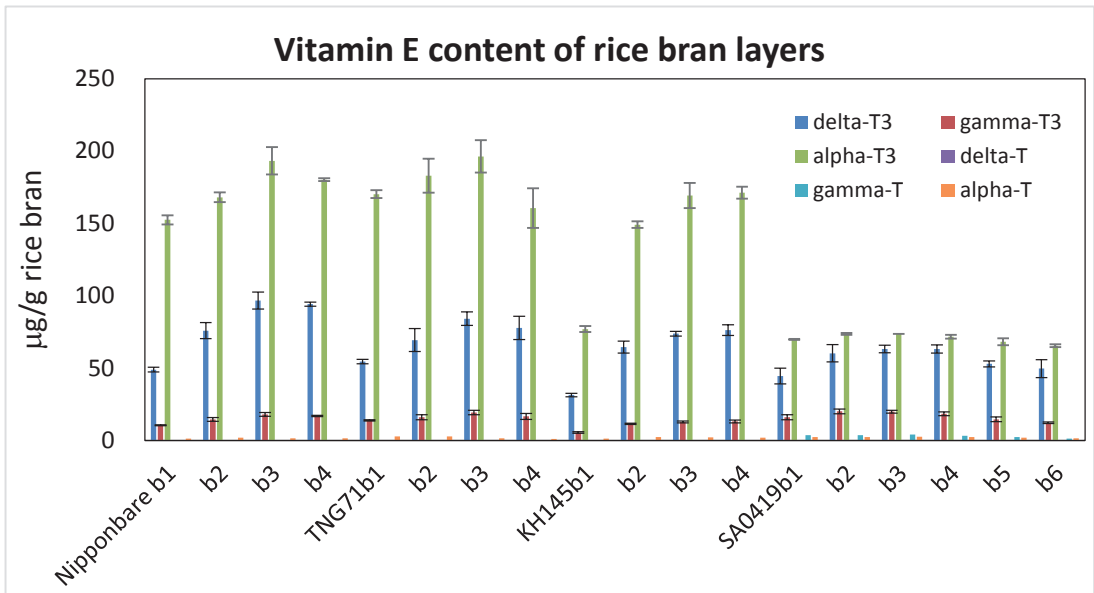


圖3、台農67號突變水稻品系SA283、SA285之第1、2層糠層(brans)以及胚(embryo)之含油量(A)與米糠醇(B)分析。

Fig. 3 The oil contents (A) and  $\gamma$ -oryzanol contents (B) in bran layers 1 and 2 and embryos of TNG67 mutant lines SA283 and SA285.

針對米糠層中因碾磨的程度不同，對於維生素含量改變的研究，分析品種(系)與碾磨層數(小型碾米機碾磨 10 g 糙米、10 秒鐘一次，直至精白度達到接近透明玻璃程度)如下：Nipponbare (4 層)、TNG71(4 層)、KH145(4 層)、SA0419(6 層)。圖 4(A) 為米糠層之維生素 E 含量分析，顯示不同品種的維生素 E 含量與組成分有差異，但均以  $\gamma$ -三烯生育醇含量最高，整體含量隨種皮深度先升後降，最高含量者出現在第 2 或第 3 層；(B) 為胚(embryo)的維生素 E 分析，包含經過研磨(G, ground)或是無研磨(I, intact)的樣品，發現胚的含量高於糠層，並且以  $\alpha$ -tocopherol 為主，而研磨處理可以增加維生素 E 的萃取量。

(A)



(B)

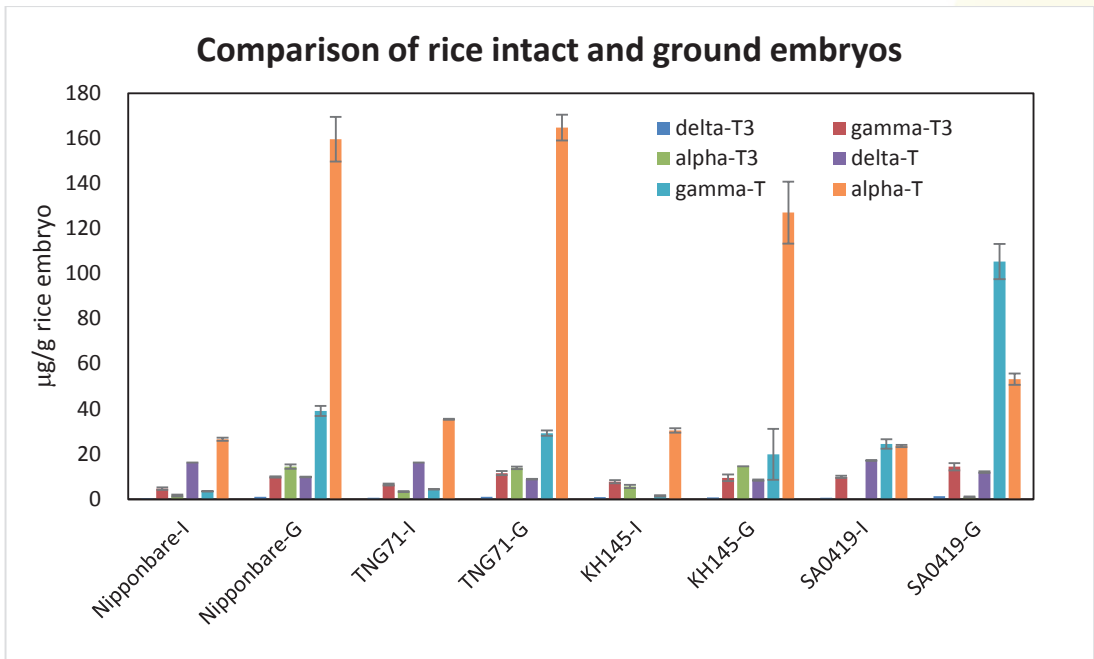


圖4、維生素E含量分析區分米糠層(A)、胚(B)，胚包含無研磨(I, intact)或是研磨(G, ground)樣品。

Fig. 4. Vitamin E analysis of rice bran (A), and germ (B) which including intact or ground samples.

### 3. 國產良質米升糖指數分析

升糖指數 (Glycemic index, 簡稱 GI), 是評評估含糖食物在人體消化系統中分解後, 引起血糖上升程度的指標。其定義為攝取 50 g 碳水化合物的特定食物後, 兩小時內血糖變化曲線之下面積, 除以攝取 50 g 之葡萄糖後兩小時內血糖變化曲線之下的面積, 再乘以 100 [26]。以葡萄糖為參考基準時, GI 高於 70 為高 GI 範圍, GI 介於 55 到 69 之間為中 GI 範圍, GI 低於 55 則為低 GI 範圍 [27]。當食物的升糖指數越高, 餐後血糖濃度增加的幅度也較高, 容易在短時間內快速增加胰島素分泌。長期攝取升糖指數高的食物易於增加胰臟負擔、產生胰島素抗性, 為第二型糖尿病之重要成因 [28,29]。研究指出, 低 GI 飲食有益於預防第二型糖尿病, 同時也可降低肥胖及心血管疾病的發生率 [30], 因此已開發國家紛紛推行低 GI 飲食, 針對國際主流稻米品種亦有相關 GI 研究。

作者依據 *Goñi et al. (1997)* 模擬澱粉質食物在人體胃腸道中的消化試驗 [31], 以澱粉水解指數 (hydrolysis index, HI) 作為評估升糖指數 (estimated glycemic index, EGI) 方法, 為利於大量樣品之處理與分析微幅調整方法, 主要是將樣品分析量下調至 2 mg, 並參考 *Lai et al. (2016)* 的研究報告 [32], 採用國產良質米品種臺梗 9 號、臺中秈 10 號、臺中秈 17 號米飯之人體試驗 GI 值為基準, 使用 2014、2015 兩年度共 4 期作生產的稻米樣品進行試驗, 分析結果與相對應的 GI 值列於表 5, GI 與 HI 之線性迴歸關係列於圖 5, 直線方程式  $y = 1.9272x + 5.7307$ ,  $r^2 = 0.9645$ 。此結果顯示 GI 與 HI 之間具有高度相關性, 所建立之方程式即為國產良質米品種的評估升糖指數方程式 (EGI equation)。

依據所建立的 HI 分析方法, 進而分析上述兩年度由臺東區農業改良場提供的 13 種臺灣優良水稻推廣品種: HL21、KH139、KH145、TC192、TCS10、TK2、TK8、TK9、TK14、TK16、TN11、TN71、TT30, 包含白米與糙米兩種樣品之澱粉水解指數, 再以良種米評估升糖指數方程式運算其 EGI 值, 結果列於圖 6。顯示白米樣品中以臺中秈 10 號的 EGI 最低 (57.1), 稈稻白米以台農 71 號 (63.8) 及臺梗 9 號 (64.9) 較低; 糙米樣品臺中秈 10 號的 EGI (43.8) 最低, 稈糙米以臺梗 8 號 (45.2) 最低, 但皆與其他品種糙米樣品差異不大。所有品種糙米之 EGI 皆低於白米之 EGI, 同一品種白米及糙米之 EGI 有顯著正相關。圖 6 中以虛線輔助線區分高、中、低 GI 值, 可以觀察到 13 種國產良質米

品種的糙米，其平均 EGI 值均屬於低 GI 區間，白米樣品則有 TCS10、TNG71、TK9、TK8、TK2 列於中 GI 值區間。

Table 5. Glycemic index (GI) and hydrolysis index (HI) of 5 rice samples (TK9 white and brown rice, TCS10 white and brown rice, TNG73 white rice) of four cropping seasons.

樣品	TK9 白米	TCS10 白米	TNG73 白米	TK9 糙米	TCS10 糙米
GI	63.7	45.3	74.5	45.2	42.4
HI	28.8	22.8	35.9	20.1	18.2

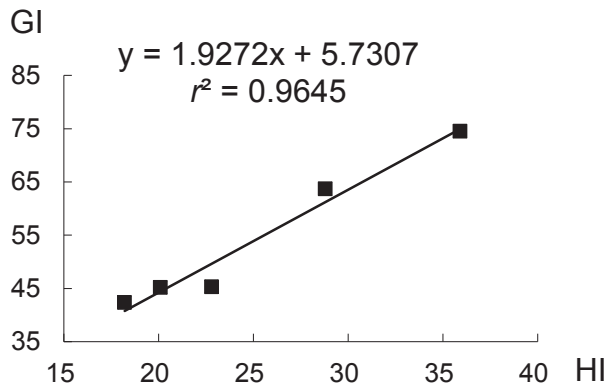


圖5、TK9白米、TK9糙米、TCS10白米、TCS10糙米及TNG73白米之HI及GI之線性迴歸線及迴歸方程式。

Fig.5. The regression equation of hydrolysis index (HI) and glycemic index (GI) between TK9 white rice, TK9 brown rice, TCS10 white rice, TCS10 brown rice and TNG73 white rice.

作者研究的稻米品種中，僅有一種秈稻，其餘皆為粳稻，主因是國人喜歡軟潤口感的米飯，此口感最重要的理化性質，是來自於低型直鏈澱粉含量 (10~20% amylose content)，軟膠型膠體性質，而這類稻米一般被認為屬於高 GI 食物。天然澱粉包含直鏈澱粉 (amylose) 與支鏈澱粉 (amylopectin)，前者以  $\alpha(1 \rightarrow 4)$  糖苷鍵鏈結葡萄糖單體組成澱粉聚合物，其澱粉晶體的排列緊密，能被澱粉酶 ( $\alpha$ -amylase) 作用的末端位點較少，所以較不易被水解 [33]。相對地，支鏈澱粉除包括以  $\alpha(1 \rightarrow 4)$  糖苷鍵鏈結的主澱粉鏈結構，同時具有以  $\alpha(1 \rightarrow 6)$  糖苷鍵鏈結延伸許多分支側鏈澱粉，這些側鏈分支上還會再伸出分支，所以支鏈澱粉通常會形成一個非常鬆散的聚合體結構，水分子較容易滲入，能被澱粉酶作用的末端端點多出許多。

有許多研究認為澱粉質食物的直鏈澱粉含量是影響 GI 的重要因子 [34-36]。一般認為直鏈澱粉比例與 GI 呈負相關，因為直鏈澱粉的結晶排列比支鏈澱粉緊密，並且在加熱過程會與脂肪形成複合物，造成澱粉酶水解澱粉的速度降低，而使血糖較平穩、不會突然上升 [36,37]，但也有研究顯示直鏈澱粉含量與 GI 無相關性 [38]。秈稻相對於粳稻通常有較高的直鏈澱粉比例，同時也常具有較低的 GI，因此許多研究認為秈稻的低 GI 與高直鏈澱粉含量特性有關。本研究中 EGI 最低的稻米品種為 TCS10，為秈稻品種，然而 TCS10 之直鏈澱粉比例為 18%，與其他粳稻品種相近，不具有高直鏈澱粉特性，顯示秈稻較低之 EGI 值不完全受到直鏈澱粉比例的影響，值得未來深入探討研究。

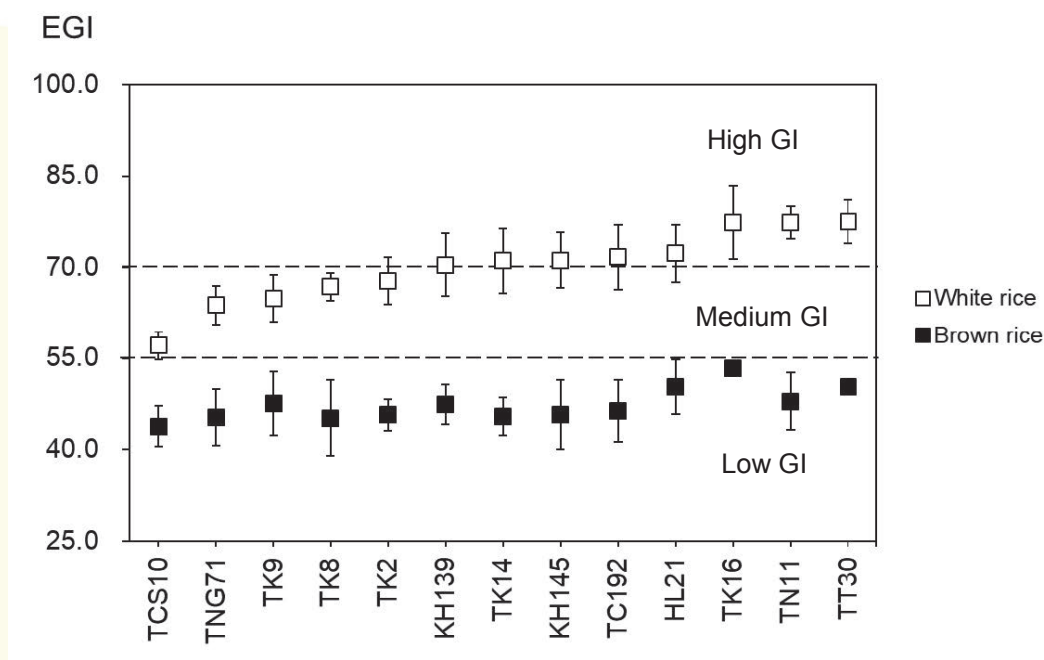


圖6、白色與黑色方格分別為13種良質米之白米與糙米EGI之平均值，樣品為台東地區於2014及2015年度共4期作生產的稻米，上下標為標準差。

Fig.6. The white and black squares represent the EGI of 13 high quality rice varieties bred in Taiwan. The samples were produced in 2014 and 2015 of 4 crops in Taitung County. The error bars indicate the standard deviation of data from 4 cropping seasons.

## 4. 結語：國產良質米之市場競爭力與未來發展前景

雖然小麥是國際主要糧食最大宗作物，稻米居次，但是從全穀營養的角度分析，因為小麥含有麩質影響健康的風險因素，再加上米糠的特有機能植化素（米糠醇、三烯生育醇），鼓勵大眾食用全穀米飯有其科學依據與亮點。稻米可進一步區分為秈稻與粳稻，世界上食用秈稻的人口多於食用粳稻的人口。國產良質米是以國人口感喜好選育產生，消費市場是以臺灣為主，但從日本人喜歡粳稻的立場，國產良質米在日本應該有發展機會，然而，日本人對於稻米、米飯更講究，若僅以口感作為競爭條件，應該無法有效打開日本市場。臺灣在過去日本殖民時代，大量採用粳稻與秈稻進行雜交育種，混合了粳稻與秈稻的多種遺傳性狀，從作者研究國產良質米品種分析評估升糖指數的結果顯示，過去一般認為低直鏈澱粉的稻米均屬於高 GI 食物，然而臺中秈 10 號 (TCS10) 卻具有較低的 GI 值，雖然具有顯著的秈稻農藝性狀，卻具有粳稻的米食口感，特別是其人體試驗結果屬於低 GI 食物。國產良質米有機會以較低 GI 值作為訴求，行銷推展於喜好粳稻米飯地區的國外市場。

此外，國產水稻已經發展具備成熟的有機栽培農法，可以生產無農藥殘留的全穀稻米，若因鼓勵全穀米食使市場的有機米需求量增加，將可有效促進有機農業的發展，特別是因為稻米為國內擁有最大栽培面積的作物（約 27 萬公頃），占農業總生產面積約 74 萬公頃中的 36%，作為國產作物的龍頭，可以帶動其他作物陸續發展有機 / 友善農法生產模式，如此，永續農業的發展得以獲得更大的驅動力，期望可以早日使臺灣農業環境達到擁有良好生態環境的願景。

## 參考文獻

1. 宋勳、劉瑋婷。稻米品質的影響因素與分級。稻作生產改進策略研討會專刊。臺灣省農業試驗所專刊第59號(1996) 133-153。
2. 王慶一。水稻良質米推薦品種實施要點。農政與農情。2003年11月(第137期)。
3. 許志聖、呂坤泉、洪梅珠。臺灣良質米生產技術之改進。農政與農情。2000年8月(第

98期)。

- 4.Singh, P.; Arora, A.; Strand, T.A.; Leffler, D.A.; Catassi, C; Green, P.H.; Kelly, C.P.; Ahuja, V.; Makharia, G.K. Global prevalence of celiac disease: systematic review and meta-analysis. *Clin Gastroenterol Hepatol* **2018**, 16, 823–836.
- 5.Zarei, I.; Brown, D.G.; Nealon, N.J.; Ryan, E.P. Rice bran metabolome contains amino acids, vitamins, cofactors, and phytochemicals with medicinal and nutritional properties. *Rice* **2017**, 10(1), 24.
- 6.陳正行、周彤。米糠：一種潛在的健康食品優質原料。糧食與飼料工業。1999年第10期(第10卷)。
- 7.Saunders, R.M. Rice bran: composition and potential food uses. *Food Rev Int* **1985**, 1, 465-495.
- 8.Xu, Z.; Godber, J.S. Purification and identification of components of  $\gamma$ -oryzanol in rice bran oil. *J Agric Food Chem* **1999**, 47, 2724-2728.
- 9.Shin, T.; Godber, J.S.; Martin, D.E.; Wells, J.H. Hydrolytic stability and changes in E vitamers and oryzanol of extruded rice bran during storage. *J Food Sci* **1997**, 62, 704-708.
- 10.Cicero, A.F.G.; Gaddi, A. Rice bran oil and  $\gamma$ -oryzanol in the treatment of hyperlipoproteinemias and other conditions. *Phytother Res* **2001**, 15, 277-289.
- 11.Wilson, T.A.; Nicolosi, R.J.; Woolfrey, B.; Kritchevsky, D. Rice bran oil and oryzanol reduce plasma lipid and lipoprotein cholesterol concentrations and aortic cholesterol ester accumulation to a greater extent than ferulic acid in hypocholesterolemic hamsters. *J Nutr Biochem* **2007**, 18, 105-112.
- 12.Lupo, M.P. Antioxidants and vitamins in cosmetics. *Clin Dermatol* **2001**, 19,467-473.
- 13.Rong, N.; Ausman, L.M.; Nicolosi, R.J. Oryzanol decreases cholesterol absorption and aortic fatty streaks in hamsters. *Lipids* **1997**, 32, 303-309.
- 14.Nanua, J.N.; McGregor, J.U.; Godber, J.S. Influence of high-oryzanol rice bran oil on the oxidative stability of whole milk powder. *J Dairy Sci* **2000**, 83, 2426-2431.
- 15.Nakayama, S.; Manabe, A.; Suzuki, J.; Sakamoto, K.; Inagake, T. Comparative effects of

- two forms of  $\gamma$ -oryzanol in different sterol compositions on hyperlipidemia induced by cholesterol diet in rats. *Jpn J Pharmacol* **1987**, 44, 135-143.
16. Rogers, E.J.; Rice, S.M.; Nicolosi, R.J.; Carpenter, D.R.; McClelland, C.A.; Romanczyk, L.J. Identification and quantitation of  $\gamma$ -oryzanol components and simultaneous assessment of tocopherols in rice bran oil. *J Am Oil Chem Soc* **1993**, 70, 301-307.
17. Babcock, D. Rice bran as a source of dietary fiber. *Cereal Foods World* 1987, 32, 538-540.
18. Juliano, C.; Cossu, M.; Alamanni, M.C.; Piu, L. Antioxidant activity of gamma-oryzanol: Mechanism of action and its effect on oxidative stability of pharmaceutical oils. *Int J Pharm* **2005**, 299, 146-154.
19. Xu, Z.; Hua, N.; Godber, J.S. Antioxidant activity of tocopherols, tocotrienols, and gamma-oryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2,2'-azobis(2-methylpropionamide) dihydrochloride. *J Agric Food Chem* **2001**, 49, 2077-2081.
20. Yoshida, Y.; Niki, E.; Noguchi, N. Comparative study on the action of tocopherols and tocotrienols as antioxidant : chemical and physical effects. *Chem Phys Lipids* **2003**, 123, 63-75.
21. Rupérez, F.J.; Martín, D.; Herrera, E.; Barbas, C. Chromatographic analysis of  $\alpha$ -tocopherol and related compounds in various matrices. *J Chromatogr A* **2001**, 935, 45-69.
22. Qureshi, A.A.; Mo, H.; Packer, L.; Peterson, D.M. Isolation and identification of novel tocotrienols from rice bran with hypocholesterolemic, antioxidant and antitumor properties. *J Agric Food Chem* **2000**, 48, 3130-3140.
23. Qureshi, A.A.; Sami, S.A.; Salser, W.A.; Khan, F.A. Dose-dependent suppression of serum cholesterol by tocotrienol-rich fraction (TRF25) of rice bran in hypercholesterolemic humans. *Atherosclerosis* **2002**, 161, 199-207.
24. Guthrie, N.; Gapor, A.; Chambers A.F.; Carroll K.K. Inhibition of proliferation of estrogen receptor-negative MDA-MB-435 and-positive MCF-7 human breast cancer cells by palm oil tocotrienols and tamoxifen, alone and in combination. *J Nutr* **1997**, 127, 544S-548S.



25. Galli, F.; Stabile, A.M.; Betti, M.; Conte, C.; Pistilli, A.; Rende, M.; Floridi, A.; Azzi, A. The effect of  $\alpha$ - and  $\gamma$ -tocopherol and their carboxyethyl hydroxychroman metabolites on prostate cancer cell proliferation. *Arch Biochem Biophys* **2004**, *423*, 97-102.
26. Jenkins, D.J.; Wolever, T.M.; Taylor, R.H.; Barker, H.; Fielden, H.; Baldwin, J.M.; Bowling A.C.; Newman, H.C.; Jenkins, A.L.; Goff, D.V. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr* **1981**, *34*, 362-366.
27. Foster-Powell, K.; Holt, S.H.; Brand-Miller, J.C. International table of glycemic index and glycemic load values. *Am J Clin Nutr* **2002**, *76*, 5-56.
28. Lillioja, S.; Mott, D.M.; Spraul, M.; Ferraro, R.; Foley, J.E.; Ravussin, E.; Knowler, W.C.; Bennett, P.H.; Bogardus, C. Insulin resistance and insulin secretory dysfunction as precursors of non-insulin-dependent diabetes mellitus. Prospective studies of Pima Indians. *N Engl J Med* **1993**, *329*, 1988-1992.
29. Reaven, G. Insulin resistance, type 2 diabetes mellitus, and cardiovascular disease: the end of the beginning. *Circulation* **2005**, *112*, 3030-3032.
30. Brennan, C.S.; Brennan, M.A. Glycemic Response Reduction in Processed Food Products. In *Modern Biopolymer Science*; Kaspis, S., Norton, I.T., Ubbink, J.B.; Academic Press Inc.: London, United Kingdom, 2009; pp. 511-518.
31. Goñi, I.; Garcia-Alonso, A.; Saura-Calixto, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutr Res* **1997**, *17*, 427-437.
32. Lai, M.H.; Liu, K.L.; Chen, P.Y.; Ke, N.J.; Chen, J.J.; Sung, J.M.; Wu, Y.L.; Lin, S.D. Predicted glycemic index and glycemic index of rice varieties grown in Taiwan. *Cereal Chem* **2016**, *93*, 150-155.
33. Birt, D.F.; Boylston, T.; Hendrich, S.; Jane, J.L.; Hollis, J.; Li, L.; McClelland, J.; Moore, S.; Phillips, G.J.; Rowling, M.; Schalinske, K.; Scott, M.P.; Whitley, E.M. Resistant starch: promise for improving human health. *Adv Nutr* **2013**, *4*, 587-601.
34. Goddard, M.S.; Young, G.; Marcus, R. The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. *Am J Clin Nutr* **1984**, *39*, 388-392.

35. Miller, J.B.; Pang, E.; Bramall, L. Rice: a high or low glycemic index food? *Am J Clin Nutr* **1992**, *56*, 1034-1036.
36. Frei, M.; Siddhuraju, P.; Becker, K. Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. *Food Chem* **2003**, *83*, 395-402.
37. Annor, G.A.; Marcone, M.; Corredig, M.; Bertoft, E.; Seetharaman, K. Effects of the amount and type of fatty acids present in millets on their in vitro starch digestibility and expected glycemic index (eGI). *J Cereal Sci* **2015**, *64*, 76-81.
38. Panlasigui, L.N.; Thompson, L.U.; Juliano, B.O.; Perez, C.M.; Yiu, S.H.; Greenberg, G.R. Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glycemic response in humans. *Am J Clin Nutr* **1991**, *54*, 871-877.

# Whole grain nutrition and glycemic index analysis of domestic high-quality rice cultivars

Tzu-Huan Hung<sup>1</sup>, Tzu-Huan Hung<sup>1</sup>, Su-Yue Lin<sup>1</sup>, Ya-Lin Lee<sup>1,\*</sup>

## Abstract

Rice grain is a nutritious food source, especially its bran layer. It possesses abundant phytochemicals, such as -oryzanol, tocopherols and tocotrienols. The rice whole grain, namely brown rice, is rich in minerals and dietary fiber, which is worth recommending for daily diet. In the past, in Taiwan, there were many breeders working on rice breeding by interspecific hybridization with varieties of Indica and Japonica. One of the key breeding criteria was the sensory evaluation of the cooked rice. Nowadays many brand-new cultivars produced have become representatives of High-Quality Rice in Taiwan. Among them, 13 cultivars of brown and white rice samples were employed for the analysis of estimated glycemic index. Results showed that the brown and white rice of the TCS10 rice cultivar (both belonged to the low GI level in the human study) were low and medium GI food, respectively. All brown rice samples of the thirteen cultivars were evaluated as low GI rating.

**Keywords:** rice, whole grain nutrition, glycemic index

---

<sup>1</sup> Biotechnology Division of Taiwan Agricultural Research Institute

\* Correspondence: ylleet@tari.gov.tw; Tel.: +886-4-2331-7372