

糯性高粱新品系間農藝性狀、種子成分及製酒之研究¹

廖宜倫²、林汶鑫³

摘 要

為育成全糯性高粱，以糯性高粱品種‘兩糯一號’為親本，使用譜系法經多年選拔育成 10 個優良自交系，以其親本‘兩糯一號’做對照品種，以最小顯著差異檢定進行品系間之外表型性狀比較，多數品系之株高(除了 TCWS2、TCWS4 及 TCWS7 外)均大於對照品種，單穗粒重有 3 個品系(TCWS3、TCWS9 及 TCWS10)大於對照品種，種子千粒重則有 4 個品系(TCWS2、TCWS3、TCWS9 及 TCWS10)大於對照品種。種子成分比較試驗，有 2 個品系(TCWS1 和 TCWS3)的澱粉含量高於對照品種，有 3 個品系(TCWS2、TCWS6 及 TCWS10)的糖含量高於對照品種，直鏈直澱粉含量有 5 個品系(TCWS1、TCWS5、TCWS6、TCWS8 及 TCWS10)高於對照品種。在遺傳率之分析結果，種子成分之直鏈澱粉呈現高度廣義遺傳率($h_B^2=98.23\%$)，澱粉和糖具有中度遺傳率($h_B^2=59.87$ 和 62.02)，蛋白質含量則呈低度遺傳率($h_B^2=25.16$)。外表型性狀與種子成分之相關分析後發現，外表型性狀與種子成分並無顯著相關存在。種子成分與產酒量和製酒後的澱粉殘量、糖殘量及澱粉消耗量進行相關分析顯示，澱粉與澱粉消耗量呈極顯著正相關，直鏈澱粉與糖殘量呈極顯著正相關，酒產量與糖殘量及澱粉殘量均呈顯著的負相關。

關鍵詞：高粱、糯性、廣義遺傳率、相關分析

前 言

高粱在臺灣主要用途為釀酒用，臺灣已育成品種‘台中 5 號’屬稈性高粱，主要用途為飼料兼釀酒用，但國內釀酒公司的需求主要為全糯性高粱^(16,19)。金門酒廠股份有限公司從中國大陸找到一個適合釀酒的糯性高粱品種‘兩糯一號’，所釀製的高粱酒有高的品質，並在金門地區進行試種⁽⁵⁾，‘兩糯一號’為 F₁ 雜交種⁽⁷⁾，其種子須透過中國大陸種子公司生產，且不一定適合臺灣及金門地區種植。

高粱育種常使用自交系育種法，利用套袋使得高粱自交，再從高粱族群後裔加以選拔，經多年自交後選拔出優良自交系，自交系後裔選拔法通常有譜系法、混合法及單粒後裔法等。

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告 1013 號。

² 行政院農業委員會臺中區農業改良場副研究員。

³ 國立屏東科技大學副教授。

一個雜交組合後裔能選出多個優良自交系，自交系間的農藝性狀之變異性大，因此利用統計分析之平均值比較，可以選出具有優良性狀的自交系，再予以命名成新品種推廣。平均值比較可先進行變方分析(Analysis of variance, ANOVA)，如其結果顯示有顯著差異，即可再進行多重比較分析檢定，其前提假設為各樣本須為相互獨立。多重比較分析檢定常使用最小顯著差異檢定(Least significant different test, LSD)進行平均數差異的顯著性分析。

釀酒專用高粱之種實須有高澱粉含量，糖化後發酵形成酒精量較高；此外，糯性高粱因支鏈澱粉比例高，故澱粉高溫時黏度高，冷卻後其回升值低，有利於提升高粱酒的品質^(3,10)。高粱釀酒研究顯示，澱粉含量與製酒量呈正相關，游離糖與製酒量無相關，直鏈澱粉與產酒量呈負相關⁽²⁰⁾。高粱種子之澱粉、糖及直鏈澱粉含量影響釀酒量之表現，而與三個種子成分的遺傳率亦影響新品系的種子成分含量之選擇。因種子成分無法透過田間植株選拔時即時表現，若能藉由外表型性狀進行間接選拔，則可加速育種過程。

本研究利用兩糯一號自交所得分離之 10 個自交系，以其親本‘兩糯一號’做對照品種，以 ANOVA 檢定和多重比較分析檢定新自交系的農藝性狀表現，並比較與對照品種之差異。而種子成分之澱粉、糖及直鏈澱粉檢測，進行種子成分與植株外表型性狀之相關分析。估算其種子成分之遺傳率，以供糯性高粱育種之參考資料。

材料與方法

一、試驗材料及栽培方法：

(一)糯性高粱兩糯一號於 2013 年起套袋自交，其後裔於 2014 年秋作共 29 個系統，2015 年度春作共 28 個系統⁽¹⁷⁾。

(二)兩糯一號後裔所育成 TCWS1-TCWS10 自交系生產種子為材料，兩糯一號種子為對照品種。

於 2017 年秋作於臺中區農業改良場試驗田種植，田間試驗設計採 RCB 設計，3 重複；栽培方法以慣行法，採單畦雙行，單穴單粒栽培，試驗小區面積為 20 m² (4 m×5 m)；基肥施用台肥 39 號 40 kg/0.1 ha，追肥施用台肥 1 號 40 kg/0.1 ha。

二、農藝性狀調查，調查 3 重複，每一重複調查 10 株：

- (一)株高：由莖桿基部至穗頂為準。
- (二)穗長：從穗基部至穗頂長度。
- (三)單穗粒重：單株全穗脫粒之種實重量。
- (四)千粒重：1,000 粒種實，含水量 13%之重量。
- (五)穗重：全穗重，含穗梗。
- (六)單穗粒數：全穗進行脫粒後之種實粒重。
- (七)莖徑：高粱基部第二節位置之植株莖直徑。

三、糖、澱粉及直鏈澱粉含量測定

(一)糖與澱粉：

- 1.取高粱種子 3 g 磨粉，精稱 0.1 g 研磨成粉的樣品，加入 10 ml 去離子水，以 30°C 水浴機震盪 3 hr(50-100 轉)。再以 4,000 rpm 離心，取其上清液作可溶性糖分析，殘渣以去離子水溶解取出再烘乾做澱粉分析。
- 2.將先前製備之上清液取 0.01 ml 加入 0.19 ml (190 μ l 去離子水，0.1 ml 90%石炭酸)，迅速加入 0.6 ml 濃硫酸混合均勻，靜置 30 分鐘後以分光光度計分析 490 nm 吸光值。
- 3.取葡萄糖製作標準液，標準品濃度為 0、20、40、60、80 及 100 ppm。
- 4.與葡萄糖標準液比較換算糖分含量(g/100 g, %)。
- 5.步驟(1)之殘渣加入 2 ml 去離子水於沸水中煮 15 分鐘，取出後迅速以冰水冷卻。加入 2 ml (2,000 μ l) 9.2 N HClO₄ (過瀉酸)，放入水浴機震盪 15 分鐘。加入 6 ml 去離子水於室溫下以 10,000 rpm 離心 10 分鐘取上清液分析。
- 6.將先前製備之上清液取 0.01 ml 加入 0.19 ml (190 μ l 去離子水，0.1 ml 90%石炭酸)，迅速加入 0.6 ml 濃硫酸混合均勻，靜置 30 分鐘後以分光光度計(UVM340 Biochrom Ltd, UK)分析 490 nm 吸光值。
- 7.與葡萄糖標準液比較換算澱粉含量(g/100 g, %)。

(二)直鏈澱粉：

- 1.秤取 0.1 g 高粱磨粉樣品，以 70 °C 烘乾一天，加入 95 %酒精 1 ml 和 1 N NaOH(氫氧化鈉) 9 ml，煮沸 10 分鐘冷卻後定量至 100 ml，靜置放隔夜離心。
- 2.以馬鈴薯直鏈澱粉製作標準液，標準液濃度分別為 2.5、5.0、10.0、15.0、20.0 及 30.0 (g/100 ml, %)。
- 3.以直鏈澱粉分析自動化學分析儀(AAS-3050 Astoria2, USA)進行分析，使用 600 nm 進行測定，並與標準液比較換算直鏈澱粉含量(g/100 g, %)。

(三)蛋白質：

以微量擴算法⁽¹¹⁾測定氮含量，再乘 6.25 換算成蛋白質含量。

- 1.取樣品 200 mg 置入 50 ml 分解瓶中，加分解催化劑 0.5 g 及濃硫酸 4 ml，加熱至沸騰，分解液顏色轉為青綠色，放冷後加純水 10 ml 震盪，再加純水至 50 ml。
- 2.取供試液 5 ml 置於培養皿中，另備小玻璃杯裝約 4 ml 硼酸吸收液，置於培養皿中央。迅速加入 5 ml 之 10 N NaOH 於培養皿內，迅速蓋上另一培養皿，接縫以玻璃膠帶密封，輕輕搖動使供試液與 NaOH 充分混合，移入保溫箱，36 hr 候取出並拿出硼酸吸收液，以 0.01 N 酸標準液滴定置原來紅帶綠的顏色，紀錄滴定數。
3. $N\% = 0.01 \times 14 \text{ ml} \times \text{滴定數} \times (50 \text{ ml} / 5 \text{ ml}) \times (100\% / 200 \text{ mg}) = \text{滴定數} \times 0.7$ 。

4. 蛋白質含量=N% × 6.25。

(四)殘澱粉、殘糖及澱粉消耗量：

同糖與澱粉含量之測定法。

四、發酵製酒⁽²⁰⁾

- (一)以2017年度秋作收穫之高梁自交系TCWS1-TCWS10(因TCWS4收穫種子量不足以進行釀酒，故棄之)與‘兩糯一號’及‘台中5號’之種子進行釀酒，釀酒原料及比例為高粱種子3 kg、蒸餾水8 L、高粱麴36 g(購於大山器材原料行之熟高粱麴)。
- (二)將高粱加水浸泡2 hr，電鍋外鍋加水340 ml煮熟後靜置至35 °C，再拌入熟高粱麴，放入玻璃發酵桶進行固體發酵，4日後再加水8 L混合，並即用塑膠蓋將桶口密封，置入生長箱(25 °C)進行液體發酵，20日後進行蒸餾。
- (三)蒸餾：利用蒸餾設備進行酒精蒸餾，蒸酒在90 °C前蒸出的酒稱為酒頭、90-94 °C之後蒸出為酒尾，94-98 °C為殘酒，作為酒精濃度勾兌用，98 °C之後幾乎為水，不再收集。以比重瓶測定酒精濃度，換算酒精濃度40%之產酒量。

五、統計分析

- (一)將株高、穗長、單穗粒重、千粒重、穗重、單穗粒數及株徑等數量性狀，以SAS Enterprise Guide 7.1(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)進行變方分析，以F值判定是否達顯著水準。若達顯著水準，再以 $\alpha=0.05$ 下，利用最小顯著差異檢定(Least significant different test, LSD)進行平均數差異的顯著性分析。
- (二)廣義遺傳率：利用變方分析的結果，估算的表現型變方 σ_p^2 、遺傳型變方 σ_g^2 及環境型變方 σ_e^2 ， $\sigma_p^2=\sigma_g^2+\sigma_e^2$ 求廣義遺傳率： $h_B^2=\sigma_g^2/\sigma_p^2$ 。
- (三)相關分析：

$$r_{ab}=\sigma_{a,b}/(\sigma_a^2\times\sigma_b^2)^{1/2}$$
 $\sigma_{a,b}$ 為 a, b 兩性狀之共變方， σ_a^2 和 σ_b^2 分別為 a 和 b 性狀的變方。

結 果

本研究以糯性高粱‘兩糯一號’後裔所選拔出10個自交系及‘兩糯一號’為對照品種，於2017年秋作進行農藝性狀及種子成分之比較試驗，利用變方分析之結果顯示，10個新品系及對照品種‘兩糯一號’間，株高、單穗粒重及千粒重呈極顯著差異，穗重則呈顯著差異，而穗長、單穗粒數及株徑則未達顯著差異。進一步以最小顯著差異檢定進行品系間多重比較，多數品系其株高(除了TCWS2、TCWS4及TCWS7外)均大於對照品種；單穗粒重則有3個品系(TCWS3、TCWS9及TCWS10)大於對照品種，其他品系則無顯著差異或小於對照品種；千粒重則有4個品系(TCWS2、TCWS3、TCWS9及TCWS10)大於對照品種，其他品系則無顯著差異或小於對照品種(表一)。

將所有高粱品種系視為一個族群的前提下，利用田間栽培三重複估算環境變方，進一部估算

種子成分之廣義遺傳率，結果顯示直鏈澱粉呈高遺傳率($h_B^2=98.23\%$)，而澱粉及糖則呈中遺傳率($h_B^2=59.87$ 及 62.02)，蛋白質為低遺傳率($h_B^2=25.16$)(表 2)。

表一、2017 年秋作高粱自交系及‘兩糯一號’農藝性狀表

Table 1. The agronomic traits of sorghum inbred lines and ‘Liangnuo No.1’ cultivated in fall cropping, 2017

Lines	Plant height (cm)	Spike length (cm)	Grains weight per spike (g)	1,000 grains weight (g)	Spike weight (g)	Grain number per spike (no.)	Stem diameter (cm)
TCWS1	174.00	29.67	48.63	22.22	88.22	2178.78	0.78
TCWS2	138.22	29.67	73.42	27.89	90.67	2576.22	0.76
TCWS3	186.11	28.44	78.41	24.33	104.22	3049.67	0.71
TCWS4	100.67	30.00	43.69	20.89	60.44	2225.56	0.79
TCWS5	175.00	24.67	53.30	20.56	67.11	2493.22	0.64
TCWS6	192.78	30.67	71.06	22.33	92.00	3194.56	0.75
TCWS7	141.56	33.67	68.36	22.67	91.11	2969.44	0.72
TCWS8	162.89	28.67	72.31	23.67	92.67	3116.22	0.76
TCWS9	197.11	30.33	97.99	26.78	113.11	3350.67	0.80
TCWS10	171.00	29.78	86.02	25.67	102.00	3266.33	0.66
Liangnuo No.1	136.44	31.11	75.27	21.56	102.67	3466.89	0.81
LSD	21.79	4.81 ^(ns)	24.40	3.60	29.23	1102.6 ^(ns)	0.15 ^(ns)

(ns): No significant at 5%.

表二、2017 年秋作高粱族群種子成分遺傳率及變異係數

Table 2. Broad heritability and coefficient of variation values of seed traits in sorghum populations planted in fall of 2017

	Starch	Sugar	Amylose	Protein
h_B^2	59.87	62.02	98.23	25.16
CV	15.88	25.57	83.14	7.19

有關高粱種子成分，10 個新品系與對照品種間的澱粉含量及糖含量呈顯著差異，直鏈澱粉含量則呈極顯著差異，再以最小顯著差異檢定進行品系間多重比較，有 2 個品系(TCWS1 及 TCWS3)的澱粉含量高於對照品種，有 3 個品系(TCWS2、TCWS6 及 TCWS10)的糖含量高於對照品種；在直鏈澱粉方面，則有 5 個品系(TCWS1、TCWS5、TCWS6、TCWS8 及 TCWS10)高於對照品種(表三)。

表三. 2017 年秋作高粱自交系與‘兩糯 1 號’種子成分表

Table 3. The seed content of sorghum inbred lines and ‘Liangnuo No.1’ cultivated in fall cropping, 2017

Lines	Starch (%)	Sugar (%)	Amylose (%)	Protein (%)
TCWS1	64.86	1.29	9.66	8.70
TCWS2	56.61	2.16	0.83	9.86
TCWS3	63.50	1.33	0.74	8.57
TCWS4	50.43	1.84	1.49	9.45
TCWS5	54.00	1.34	6.94	9.32
TCWS6	52.78	2.15	4.72	9.25
TCWS7	45.48	1.93	0.98	8.77
TCWS8	51.07	1.85	3.74	9.32
TCWS9	45.96	1.44	2.38	9.11
TCWS10	50.49	2.01	3.44	8.30
Liangnuo No.1	51.58	1.75	1.13	8.70
LSD	11.579	0.60	0.44	1.41 ^(ns)

利用 10 個自交系產生的種子進行釀酒試驗，因 TCWS4 之種實量不足完成釀酒作業，故僅有 9 個自交系及對照品種‘兩糯一號’進行釀酒試驗，10 個品種系之產酒量結果經變方分析後呈顯著差異，各品系的酒精濃度 40% 之產酒量介於 1,360-1,876 ml，共有 TCWS1、3、9 及 10 等 4 個自交系的產酒量較對照品種多(表四)。

表四、2017 年秋作高粱自交系與‘兩糯 1 號’酒精產量

Table 4. The wine production of sorghum inbred lines and ‘Liangnuo No.1’ with cultivated in fall cropping, 2017

Lines	Wine production (ml)
TCWS1	1729.13
TCWS2	1667.63
TCWS3	1876.25
TCWS5	1422.98
TCWS6	1653.61
TCWS7	1360.98
TCWS8	1582.45
TCWS9	1801.34
TCWS10	1844.2
Liangnuo No.1	1719.18
LSD	191.03

外表型性狀及種子成分之相關分析，2014 年秋作依據選拔結果共有 29 個系統⁽¹⁷⁾，調查株高、穗長、單穗粒重、單穗粒數及千粒重等外表型性狀，以及澱粉與直鏈澱粉含量等種子成分，分析結果顯示外表型性狀與種子成分並無顯著相關存在(表五)。2015 年度春作共調查 28 個系統，外表型性狀調查同 2014 年度秋作，種子成分則調查澱粉及直鏈澱粉含量，分析結果顯示，澱粉與株高呈顯著負相關，其他的種子成分與外表型性狀無顯著相關(表六)。2017 年秋作調查 10 個自交系及對照品種，澱粉含量跟糖含量與農藝性狀間均呈無相關性，直鏈澱粉則與株高有正相關，與單穗粒重則呈負相關 (表七)。

表五、2014 年秋作高粱植株性狀與種子成分相關係數表

Table 5. Correlation analysis among traits of sorghum plants and grains in fall of 2014

characters	amylose	Plant height	Spike length	Grains weight per spike	1,000 grains weight	Grain number per spike
Starch	-0.24	-0.09	-0.09	-0.11	0.04	-0.10
amylose	-	0.13	0.10	0.17	-0.19	0.25
Plant height		-	0.28	0.54**	0.38*	0.31
Spike length			-	0.35*	0.15	0.29
Grains weight per spike				-	0.23	0.89**
1,000 grains weight					-	-0.20

*, ** are significant at 5% and 1 % level, respectively.

表六、2015 年春作高粱植株性狀與種子成分相關係數表

Table 6. Correlation analysis among traits of sorghum plants and grains in spring of 2015

characters	amylose	Plant height	Spike length	Grains weight per spike	1,000 grains weight	Grain number per spike
Starch	-0.24	-0.41*	-0.24	-0.38	-0.30	-0.23
amylose	-	0.08	-0.11	-0.08	0.02	-0.09
Plant height		-	0.23	0.32	0.63**	0.07
Spike length			-	0.25	-0.10	0.31
Grains weight per spike				-	0.33	0.91**
1,000 grains weight					-	0.00

*, ** are significant at 5% and 1 % level, respectively.

表七、2017 年秋作高粱植株性狀與種子成分相關係數表

Table 7. Correlation analysis among traits of sorghum plants and grains in fall of 2017

characters	Sugar	Amylose	Plant height	Spike length	Grains weight per spike	1,000 grains weight	Spike weight	Grain number per spike	Stem diameter
Starch	-0.127	0.282	0.148	-0.195	-0.261	-0.0431	-0.033	-0.256	-0.089
Sugar	-	-0.309	0.290	0.088	-0.031	0.014	-0.145	0.038	-0.186
amylose		-	0.388*	-0.306	-0.353*	-0.278	-0.203	-0.273	-0.119
Plant height			-	-0.098	0.432*	0.258	0.442*	0.279	-0.173
Spike length				-	0.389*	0.146	0.523**	0.415*	0.493**
Grains weight per spike					-	0.531	0.908	0.843	0.370
1,000 grains weight						-	0.481**	0.055	0.117
Spike weight							-	0.786**	0.502**
Grain number per spike								-	0.473**

*, ** are significant at 5% and 1 % level, respectively.

在種子成分與產酒量及製酒後的澱粉殘量、糖殘量及澱粉消耗量的相關分析結果顯示，澱粉僅與澱粉消耗量呈極顯著正相關外，與直鏈澱粉及產酒量呈正相關。糖含量與直鏈澱粉含量呈正相關。直鏈澱粉與糖殘量呈極顯著正相關，產酒量與澱粉及澱粉消耗量呈正相關，與糖殘量及澱粉殘量均呈顯著的負相關 (表八)。

表八、高粱種子成分與酒產量相關係數表

Table 8. Correlation analysis among traits of sorghum grains and wine production

	Sugar	Protein	Amylose	Starch residue	Sugar residue	Wine production	Starch consumed
Starch	-0.16	-0.28	0.29	0.00	-0.25	0.16	0.97**
Sugar	-	0.18	-0.42	-0.05	0.00	-0.05	-0.14
Protein		-	-0.18	-0.05	0.44	-0.22	-0.26
Amylose			-	0.64**	-0.30	-0.11	0.12
Starch residue				-	0.14	-0.52*	-0.25
Sugar residue					-	-0.47*	-0.28

*, ** are significant at 5% and 1 % level, respectively.

討 論

作物新品種育成，基本步驟為育種材料選定、田間栽培選拔、新品系比較試驗及區域試驗，最後完成命名。而利用雜交組合後代或地方品種，使其自交並利用選拔技術產生自交系，為許多作物育種的主要方法，例如玉米⁽²⁷⁾、大豆⁽²¹⁾、高粱^(22,25)。作物育成自交系後，如欲以自交系命名新品種，需再進行產量比較試驗，區域試驗、肥料及密度試驗等，藉由上述試驗選出最適合的自交系再行命名作業，最後推廣至農民或相關產業。進行產量試驗比較時，通常會有一對照品種進行對照比較，對照品種的選擇常使用欲命名品系之親本，或已推廣且與擬命名材料之性狀相近之品種系。常異交作物(天然雜交率 5%-50%)因常具有自交勢弱之缺點，故可利用自交系相互雜交估算一般組合力及特殊組合力，並育成具雜種優勢的雜交種⁽²³⁾。

利用雜交種後代育成自交系，在所選的自交系中如何選出最適合的自交系，常利用作物性狀平均值差異的比較，其中，有多種的多重比較方法可供選擇，主要有成對 t 檢定、Bonferroni、Sheffee、Tukey、Newman-Keuls 及 Dunnett 方法，不同的比較方法皆有其適合的試驗研究及限制⁽²⁴⁾。

本研究是以糯性高粱 $F_1(S_0)$ 雜交種‘兩糯一號’為材料，從 2013 年秋作起，利用套袋自交以譜系法從 S_1 世代開始選拔，到 S_5 世代共選出 10 個自交系⁽¹⁷⁾。2017 年秋作以這 10 個自交系為材料，並以其親本‘兩糯一號’為對照品種，共調查了農藝性狀株高、穗長、單穗粒重、千粒重、穗重、單穗粒數及莖徑等，並進行農藝性狀之比較試驗。ANOVA 分析結果顯示株高、單穗粒重、千粒重及穗重等各品系間有顯著或極顯著差異存在。同時以矮株(150 cm 以下)、高產為選拔指標，以‘兩糯一號’為對照品種，10 個自交系均未能超越對照品種。如以產量指標之單穗粒重和千粒重而言，共有 TCWS3、9 及 10 的產量表現大於對照品種。

高粱是常異交作物，其育種材料無論是屬族群特性的地方品種或人為育成的 F_1 雜交種，均可透過育成自交系形成新品種，但自交品種常有自交勢弱的表現。本研究育成的 10 個自交系，選拔時以高產為育種目標，多數自交系的產量表現與對照品種‘兩糯一號’呈無顯著差異，已然獲得不

錯的育種成果。

在中國大陸及臺灣，常使用高粱種實為材料，經糖化或非糖化後發酵，再進行蒸餾得之白酒，具有特殊的風味。釀酒是很複雜的工藝，影響產酒量的因子很多，例如葡萄酒釀酒試驗中，溫度會影響酒精產量，低溫時發酵，酒精產量更高⁽²⁶⁾。此外，高粱釀酒產量的表現與高粱種子成分有關，前人研究指出澱粉與糖消費率有極顯著正相關，直鏈澱粉與殘澱粉有極顯著負相關，澱粉及殘澱粉均與產酒量呈正相關，粉質澱粉與產酒量有負相關⁽²⁰⁾。

釀酒用高粱育種，除了農藝性狀表現佳外，同時應考量種子成分。如上述前人研究所示，高粱種子澱粉含量及直鏈澱粉之表現等影響產酒量多寡，所以育種時須以澱粉和直鏈澱粉成份分析做為育種目標^(1,18)，進而育成適合釀酒用的高粱品種，例如，瀘糯 10 號是三系優質高產釀酒高粱雜交種，具高產、高澱粉含量、出酒率高等特性^(2,4)。

本研究 10 個糯性高粱品種系除調查農藝性狀之表現外，亦同時針對高粱種子成分之澱粉、糖、直鏈澱粉及蛋白質含量進行分析，並利用收獲各自交系及對照品種進行。從種子成分變方分析結果，澱粉、糖及直鏈澱粉在各自交系間有顯著差異存在，而蛋白質含量無顯著差異。觀察各自交系種子性狀表現，TCWS1 及 TCWS 3 的種子澱粉含量大於對照品種且達顯著差異，其餘自交系與對照品種無顯著差異，直鏈澱粉則有 TCWS2、3 及 7 小於對照品種，但未達顯著差異。糖則各自交系均與對照品種無顯著差異(Table 4)。本研究在育成 10 個自交系的選拔過程中，並無以提高種子成分作為育種目標進行選拔，然而以 10 個自交系為族群的種子成分分析結果，澱粉、糖及蛋白質含量的變異係數均低於 30%、直鏈澱粉為 83.14 %。澱粉與糖呈中遺傳率(59.87 及 62.02 %)，蛋白質呈低遺傳率(25.16 %)，直鏈澱粉呈高遺傳率(98.23 %)(Table 5)。綜上結果顯示，即使育種選拔過程中雖無針對種子成分做選拔指標，但仍有 5 個自交系澱粉成份含量較對照品種高，其中 TCWS1 及 TCWS 3 呈顯著性差異，是故在澱粉成分表現上新育成之自交系能超越其對照之 F₁ 雜交種。同樣的在糖、直鏈澱粉及蛋白質上亦獲得相似結果。以種子成分性狀而言，TCWS 3 之澱粉含量高，直鏈澱粉含量低，綜合表現要優於對照品種。

10 個自交系間澱粉、糖及蛋白質的變異係數較低(小於 30 %)，直鏈澱粉變異係數較高(大於 80 %)，直鏈澱粉廣義遺傳率高、澱粉和糖為中遺傳率(約 60%)，顯示如以直鏈澱粉做選拔目標，可獲得最佳的選拔效果，澱粉和糖的選拔效果次之，蛋白質的選拔效果最差。

作物育種在選拔指標訂定上，因部分選拔項目無法於田間即時觀察記錄，常使用間接選拔達選拔目的。其方法是利用作物性狀間是否有相關性存在，例如，韃靼蕎麥的株高與單株粒數、單株粒重有極顯著正相關⁽¹²⁾，胡麻單株產量與 sesamol 及 sesamin 含量呈正相關，而與 sesaminol triglucoside 含量呈顯著負相關⁽¹⁴⁾，胡麻單株種子產量與單株蒴果數、單株種子數及千粒重呈極顯著相關⁽⁸⁾。高粱春作產量與生育日數長短呈負相關，但秋作則呈相反結果⁽¹³⁾。

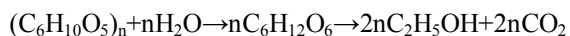
前人對種子性狀與外表型性狀的相關研究，張等學者(2014)針對 3 個雄不稔系統及 6 個恢復系統進行雜交獲得 18 個組合，分析結果顯示種子澱粉含量與種子大小並無顯著相關存在⁽⁹⁾。謝(1978)

針對從不同國家收集及臺灣育成的自交品種及雜交 F_1 品種進行種子成分之澱粉、糖、直鏈澱粉及蛋白質等進行相關分析，結果顯示百粒重與澱粉、糖、直鏈澱粉及蛋白質等並無顯著相關⁽²⁰⁾。李等學者(2018)針對 1977-2016 年所收集到各地區的高粱品種調查，區域產量與種子澱粉含量呈顯著正相關⁽⁶⁾。遼等學者(2002)針對 20 個高粱材料進行典型相關分析，結果顯示澱粉與株高、莖徑、葉片數及蛋白質等性狀呈極顯著正相關，與生育期、穗長、產量及穗粒重呈極顯著負相關⁽¹⁵⁾。

本研究為了解種子成分中澱粉、糖及直鏈澱粉與外表型性狀是否具有相關性，利用 2014 年秋作、2015 年春作及 2017 年秋作等系統調查株高、穗長、單穗粒重、單穗粒數與千粒重等外表型性狀及澱粉及糖含量等種子成分，2014 年秋作的種子性狀與植株性狀均未達顯著相關；2015 年春作系統之相關分析結果中，澱粉與株高是呈現顯著負相關，其他則無相關性；2017 年秋作的相關分析結果，直鏈澱粉含量與株高呈現顯著正相關，與單穗粒重呈現顯著負相關。綜上文獻探討及本研究結果，發現本研究與參考文獻的結果並不一致，高粱外表型性狀與種子成分之相關性並沒有一定的規律存在，推論原因應為文獻探討與本研究所採用的研究材料不同，所產生結果亦不一致。而 2017 年以‘兩糯一號’後代育成的自交系中，雖然直鏈澱粉含量與株高呈顯著正相關，與單穗粒重呈顯著負相關，然而在 2015 年的研究卻無此趨勢，反而 2015 年研究結果顯示株高與澱粉呈顯著負相關。株高與產量等性狀均受環境變異影響甚大的性狀，推論環境因子會影響該外表型性狀間與種子成分間的相關性，或許在本研究所用材料不適用以外表型間接選拔種子成分。

外表型性狀與種子成分性狀間無顯著相關性存在，雖然無法以外表型性狀來獲得間接選拔種子成分性狀之效果，卻同時顯示出種子成分不受外表型性狀影響，例如以產量構成要素進行外表型性狀選拔時，種子成分不受外表型選拔之結果而產生關連性變異，吾人不會在選拔淘汰產量性狀不佳的系統時，同時淘汰了欲選拔之種子成分性狀系統，故可在育成產量性狀表現優良的自交系時，再行種子成分之分析調查，最後選拔出具產量及種子性狀均優良的自交系。

高粱種實進行發酵及蒸餾所產生的高粱酒，一直是中國白酒的主流，其特殊風味，廣受好評。高粱酒精的產量，受很多因素影響，包括發酵菌、溫度、酒麴及高粱種實特性等。在高粱種實成分部分，影響高粱產酒量的因子，主要為澱粉及直鏈澱粉含量，研究指出，在酒的製程中，澱粉是主要的基質，澱粉含量越高，酒精產量越高，而直鏈澱粉越低，產酒量也會提升^(3,10,20)。其原理為澱粉會轉化成糖，糖發酵形成酒精。



本研究針對 2017 年收穫之高粱種實進行釀酒試驗，各品系與對照品種間的澱粉與直鏈澱粉含量雖有顯著差異，再將各品系之種實進行釀酒後，成果顯示各品系於產酒量呈極顯著性差異，新自交系中 TCWS1、3、9 及 10 的產酒量均高於對照品種，同時比較種子成分性狀，以 TCWS3 的表現最佳。

為進一步了解以高粱種實進行製酒過程中，以產酒量、種子成分含量及釀酒後澱粉殘量、糖殘量及澱粉消耗量進行相關分析，分析結果顯示產酒量與澱粉含量為正相關，但未達顯著水準；與糖

含量、蛋白質含量及直鏈澱粉含量為負相關，亦未達顯著水準，與澱粉殘量跟糖殘量達顯著負相關。謝(1978)研究結果為產酒量與澱粉含量達顯著正相關、產酒量與殘澱粉及發酵率達極顯著正相關、產酒率與直鏈澱粉達顯著水準負相關、產酒率與糖跟蛋白質未達顯著相關⁽²⁰⁾。王及曾(1996)研究結果顯示，產酒量與澱粉含量達顯著正相關、與直鏈澱粉達顯著負相關⁽³⁾。本研究結果原則上與前人研究大致符合，但相關的趨勢仍存在，顯示利用糯性高粱自交系進行釀酒研究，仍具有相似之結果，故如新品系能以選拔高澱粉含量及低直澱粉含量作指標，仍能對釀酒產生助益。

參考文獻

1. 丁國祥、趙甘霖、張長偉、倪先林、劉天朋、陳國民 2011 釀酒糯高粱親本系籽粒澱粉含量及其組份的配合力分析 種子 30: 10-11。
2. 丁國祥、趙甘霖 2008 優質高產釀酒高粱雜交種瀘糯 10 號的選育 種子 27: 13-113。
3. 王瑞章、曾清田 1996 高粱製酒量與千粒重、澱粉含量及其結構之關係 臺南區農業改良場研究彙報 33: 57-66。
4. 任健、朱建忠、宋其龍、梁明清、郭聲楷、魏新琦、羅瑩、夏萬國 2010 雜交糯高粱新品種引種試驗 現代農業科技 19: 50-51。
5. 呂添財 2012 金門縣農會引進推廣高粱新品種(兩糯 1 號)產地寧遠縣長沙 呂添財部落格 <https://cht.tw/x/c4l6p>。
6. 李嵩博、唐朝臣、陳峰、謝光輝 2018 中國粒用高粱改良品種的產量和品質性狀時空變化 中國農業科學 51: 246-256。
7. 李增援、李綱、李漢生 2008 兩糯一號高粱秋種高產栽培技術 種子 27: 94-95。
8. 陳峻緯、劉景平 2017 胡麻農藝性狀之相關性及遺傳分析 嘉大農林學報 14: 41-63。
9. 張海燕、史紅梅、楊彬、穆婷婷、張桂香 2014 高粱籽粒澱粉含量配合力分析 天津農業科學 4: 5-7。
10. 張雪梅、張玲、高飛虎、李雪 2016 重慶主栽釀酒糯高粱的品質特性 食品與發酵工業 42: 177-187。
11. 張淑賢 1981 本省現行植物分析法 作物需肥診斷技術 53-59。
12. 張隆仁 2004 蕎麥農藝特性及芸香苷含量變異之研究 國立臺灣大學農藝學研究所博士論文 臺北，臺灣。
13. 黃勝忠 1992 期作對高粱自交系及 F₁ 雜交種生育的影響 臺中區農業改良場研究彙報 37: 31-40。
14. 黃詒富 2007 胡麻抗氧化物質之遺傳變異與栽培及加工處理之影響 國立中興大學農藝學系研究所博士論文 臺中，臺灣。

15. 遼曉萍、張先煉、李元清、張瑞霞 2002 典型相關分析在高粱遺傳育種中的應用研究 華北農學報 17: 46-51。
16. 劉宗華、廖宜倫 2016 糯性高粱‘兩糯一號’之糯性遺傳研究 臺中區農業改良場研究彙報 132: 23-36。
17. 廖宜倫、林汶鑫 2020 糯性高粱農藝性狀之遺傳變異 臺中區農業改良場研究彙報 146: 35-47。
18. 趙婧、張福耀、詹鵬傑、於紀珍、王花雲 2011 高粱釀造品質性狀配合力分析中國農學通報 27: 44-47。
19. 顏淑菁、廖宜倫、林汶鑫 2016 不同栽培密度及氮肥用量對高粱‘兩糯一號’品種產量之影響 臺中區農業改良場研究彙報 131: 11-17。
20. 謝兆樞 1978 蜀黍種實性狀與製酒量、製酒品質之研究 國立臺灣大學農藝學研究所碩士論文 臺北，臺灣。
21. Kato, S., K. Fujii, S. Yumoto, M. Ishimoto, T. Shiraiwa, T. Sayama, A. Kikuchi, and T. Nishio. 2015. Seed yield and its components of indeterminate and determinate lines in recombinant inbred lines of soybean. *Breeding Sci.* 65: 154-160.
22. Kong W. Q., C. Kim, D. Zhang, H. Guo, X. Tan, H. Jin, C. Zhou, L. Shuang, V. Goff, U. Sezen, G. Pierce, R. Compton, C. Lemke, J. Robertson, L. Rainville, S. Auckland, and A. H. Paterson. 2018. Genotyping by sequencing of 393 sorghum bicolor BTx623 × IS3620C recombinant inbred lines improves sensitivity and resolution of QTL detection. *G3: Genes, Genomes, Genetics* 8: 2563-2572.
23. Kadam, D. C., S. M. Potts, M. O. Bohn, A. E. Lipka, and A. J. Lorenz. 2016. Genomic prediction of single crosses in the early stages of a maize hybrid breeding pipeline. *G3: Genes, Genomes, Genetics* 6: 3443-3453.
24. McHugh, M. L. 2011. Multiple comparison analysis testing in ANOVA. *Biochem Med.* 21:203-209.
25. Nabukalu, P. and S. Cox. 2016. Response to selection in the initial stages of a perennial sorghum breeding program. *Euphytica*. pp: 103-111.
26. Torija, M. J., N. Rozes, M. Poblet, J. M. Guillammon, and A. Mas. 2003. Effects of fermentation temperature on the strain population of *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Food Microbiology* 80: 47-53.
27. Zhao, Y., M. Gowda, W. Liu, T. Wurschum, H. P. Maurer, F. H. Longin, N. Ranc, and J. C. Reif. 2012. Accuracy of genomic selection in European maize elite breeding populations. *Theor Appl Genet* 124: 769-776.

Study on Agronomic Traits, Seed Components, and Wine Making among New Waxy Sorghum Lines¹

Yi-Lun Liao² and Wen-Shin Lin³

ABSTRACT

To breed a whole waxy sorghum used variety, 10 inbred lines from the waxy sorghum variety 'Liangnuo No. 1' were selfed and selected based on the pedigree method. The least significant difference (LSD) test was applied to compare the phenotypic traits among the inbred lines with the 'Liangnuo No. 1'. As the results, most inbred lines (except TCWS2, TCWS4 and TCWS7) have taller plant height ($p < 0.01$), 3 lines (TCWS3, TCWS9 and TCWS10) were greater in grains weight per spike ($p < 0.01$), and 4 lines (TCWS2, TCWS3, TCWS9 and TCWS10) was greater in 1,000 grains weight variety ($p < 0.01$). Furthermore, from the seed composition aspect, 2 lines (TCWS1 and TCWS3) had higher starch content, 3 lines (TCWS2, TCWS6 and TCWS10) had higher sugar content, and 5 lines (TCWS1, TCWS5, TCWS6, TCWS8 and TCWS10) had higher amylose content than the varieties ($p < 0.01$). The heritability has been tested and seed amylose showed a high heritability ($h_B^2 = 98.23\%$), starch and sugar displayed a medium heritability ($h_B^2 = 59.87$ and 62.02), and protein content had a low heritability ($h_B^2 = 25.16$). There has no relationship between phenotypic traits and seed components. However, significantly positive correlation showed between starch and starch consumption ($p < 0.01$), the negative correlation displayed wine productions with sugar residues and starch residues ($p < 0.05$).

Key words: Sorghum, waxy, broad heritability, correlation analysis

¹ Contribution No.1013 from Taichung DARES, COA.

² Associate Researcher of Taichung DARES, COA.

³ Associate Professor of National Ping Tung University of Science & Technology.