

有效益芻料作物甜高粱及燕麥之生產 II. 地區輪作模式之產量及品質評估⁽¹⁾

陳勃聿⁽²⁾ 張世融⁽²⁾⁽³⁾

收件日期：110 年 2 月 2 日；接受日期：111 年 3 月 30 日

摘 要

本試驗的目的為評估我國各地芻料作物輪作模式之甜高粱及燕麥的產量及芻料品質。輪作模式分別為彰化縣福興鄉之 A. 水稻 (*Oryza sativa* L.) – 甜高粱 (*Sorghum bicolor*) – 早熟燕麥 (*Avena strigosa* Schreb.)、B. 綠肥大豆 (*Glycine max* L.) – 甜高粱 – 晚熟燕麥 (*Avena sativa* L.)；臺南市鹽水區之 C. 甜高粱 – 綠肥大豆 – 青割玉米 (*Zea mays* L.)、D. 綠肥大豆 – 甜高粱 – 晚熟燕麥；臺東縣鹿野鄉之 E. 綠肥大豆 – 水稻 – 早熟燕麥及 F. 綠肥大豆 – 甜高粱 – 晚熟燕麥。二年三個地區 5 模式的甜高粱於 90 日生育期收穫時，平均乾物產量達 12.8 mt/ha，水溶性碳水化合物 (water soluble carbohydrate, WSC) 平均含量為 13.2% DM，粗蛋白質 (crude protein, CP) 平均含量為 7.1%，中洗纖維 (neutral detergent fiber, NDF) 及酸洗纖維 (acid detergent fiber, ADF) 的平均含量分別為 53.9 及 30.3%。模式 A、B、C 及 D 的甜高粱鮮草平均產量介於 51.7 – 60.8 mt/ha，顯著高於模式 F 的 29.7 mt/ha ($P < 0.05$)。各模式之間甜高粱的 WSC、NDF 及 ADF 含量無差異。結果顯示甜高粱的產量高且芻料品質穩定，適合作為夏季芻料。晚熟燕麥 (var. Swan) 於 120 日收穫時的乾草產量平均為 8.9 mt/ha，CP 平均含量為 8.8%，而 NDF 及 ADF 之平均含量分別為 60.3 及 34.9%。模式 B 及 D 的乾草產量 (8.9 及 9.2 mt/ha) 高於模式 F (7.8 mt/ha)。燕麥 Swan 的 CP 含量以模式 B、F (9.3、9.4%) 顯著高於模式 D (7.7%)，而 NDF 及 ADF 含量於各模式之間並無差異。結果顯示燕麥 Swan 的產量表現佳，芻料品質穩定，適合作為臺灣冬季芻料作物。早熟燕麥 (var. Saia) 在 75 日收穫時的平均乾草產量為 4.6 mt/ha，CP 平均含量達 13.3%，而 NDF 及 ADF 的平均含量則分別為 56.2 及 34.2%。雖然早熟燕麥 Saia 的乾草產量較燕麥 Swan 為低，但其芻料品質優異，可作為高品質的冬季牧草。芻料作物甜高粱及燕麥 Swan 在各地區不同的輪作模式之下，其產量及品質皆適合作為優良的短期芻料作物。

關鍵詞：燕麥、甜高粱、芻料產量、芻料品質、生產模式。

緒 言

國內草食動物產業對進口乾草的依賴很深，近年更高達 27 萬公噸 (財政部關務署，2019)，然 2000 年之後國際石化能源價格倍漲，出現糧食、飼料作物大量轉作高經濟價值的能源作物，導致芻料供應量緊縮。近幾年中東地區及中國大陸因境內畜牧業成長，對乾草需求大增使得進口量高速增長。在這些情況之下，國際芻料市場貨源極度不穩且價格持續高升，對我國酪農業發展造成嚴重壓力。因此，國內能否自行生產價廉、質優的芻料，關係到草食動物產業的穩定發展。我國近年推動小地主大專業農及活化休耕地等政策，輔導農民轉作青割玉米 (*Zea mays* L.) 等短期芻料作物，目前耕作面積已達 7,800 餘公頃，而生產量也達 375,273 公噸 (行政院農業委員會，2019)，但還是無法滿足國內對於優質芻料所需。為解決國產優質芻料缺乏的問題，盤點國內現有農業資源並妥善利用供作芻料生產，除可健全國內優質芻料生產體系，也可提升國內牧草供給量，提高芻料自給率，並發揮替代進口功能，降低草食動物生產成本。

燕麥屬作物 (*Avena* spp.) 適合生長於冷涼濕潤的氣候環境，主要生產區位於溫帶地區，臺灣的冬季適合其生長。燕麥在溫帶地區已經普遍收穫調製成乾草，其粗蛋白質含量及纖維含量等芻料品質均高於多年生的百慕達草 (*Cynodon dactylon* L. Pers.)，並可部分取代飼糧配方的玉米青貯料，是一種傳統的飼料作物 (Coblentz *et al.*, 2013)。

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2701 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所飼料作物組。

(3) 通訊作者，E-mail: srchang@mail.tlri.gov.tw。

國內學者曾普查多個燕麥 (*Avena sativa* L.) 品種的農藝性狀與芻料品質，發現非常適合秋冬季栽培，不過目前國內僅中北部地區零星種植 (朱等, 2018; 施及李, 2020)。

臺灣夏季多颱風災害，而高粱屬作物是一種具有耐旱、耐澇、分蘗多、產量高且再生能力強的作物，能在無灌溉設施、缺水或土壤貧瘠的地區進行芻料栽培生產，即使在粗放管理下，亦能生長良好，在許多畜牧業發達的國家已成為普遍利用的芻料 (陳等, 2017; Bean *et al.*, 2013)。行政院農業委員會畜產試驗所於 2009 年選育出適口性及青貯品質優良的甜高粱 (*Sorghum bicolor*) 臺畜 1 號，此品種適應性廣，產量高，而且植體的水溶性碳水化合物含量很高，適合我國春、夏及秋作栽培，可與冬季青割玉米銜接，提供穩定優質芻料 (陳等, 2017)。

臺灣的主要酪農區位於彰化縣、雲林縣、臺南市及屏東縣，而東部地區的酪農區亦有其特色。因各酪農區的氣候特性不同，所以各地區的牧草栽培技術、產業型態及芻料需求也不盡相同。吳及連 (2004) 指出，若依照地域、氣候及相關條件進行種植，通常可有效提高作物的生產量，改善土地利用效率，增加農家收益。善用當地資源，建立各地區可行的輪作生產模式以提高芻料產量，將有助於形成「地產地銷」的區域循環，增加農民收益，並降低酪農的成本壓力。本研究擬就彰化縣福興鄉、臺南市鹽水區及臺東縣鹿野鄉等三個地區的芻料作物輪作模式進行甜高粱及燕麥之芻料產量及芻料品質評估，以提供農民生產之參考。

材料與方法

I. 各地區芻料作物輪作模式

本試驗分別在彰化縣福興鄉、臺南市鹽水區及臺東縣鹿野鄉等三個地區進行。各地區芻料作物輪作生產模式參考陳及張 (2021) 建議，詳列於表 1。各模式各期作栽培作業時間與氣象資料詳列於表 2 及圖 1。各地區輪作生產模式的第 1 年度 (1st year) 期間為 2017 年 7 月至 2018 年 6 月，第 2 年度 (2nd year) 為 2018 年 7 月至 2019 年 6 月。

表 1. 臺灣三地區的芻料作物輪作模式

Table 1. The different modes of crop rotation for forage production in different locations in Taiwan

Location	Crop rotation mode	Growing period (day)			
		Spring	Fall	Second	Total
Changhua	A. Rice-Sweet sorghum-Oat 'Saia'	120	90	75	285
	B. Soybean-Sweet sorghum-Oat 'Swan'	80	90	120	290
Tainan	C. Sweet sorghum-Soybean-Forage corn	90	80	120	290
	D. Soybean-Sweet sorghum-Oat 'Swan'	80	90	120	290
Taitung	E. Soybean-Rice-Oat 'Saia'	80	120	75	275
	F. Soybean-Sweet sorghum-Oat 'Swan'	80	90	120	290

II. 試驗材料

本試驗的品種 (系) 分別為甜高粱臺畜 1 號，早熟燕麥 (*Avena strigosa* Schreb) Saia、燕麥 Swan，綠肥大豆臺南 4 號，福興鄉第 1 年種植的水稻品種為臺中 194 號、第 2 年為臺中秈糯 2 號，鹿野鄉種植的水稻品種二年皆為臺東 33 號，鹽水區種植的青割玉米品種為明豐 3 號。水稻及青割玉米由農民自行選擇品種、種植方式及收穫時間。

III. 試驗方法

- (i) 田間設計：三地區的試驗面積皆為 1,000 m²，每試區以完全隨機設計 (completely randomized design, CRD)。播種方式及播種量分別為：燕麥 (撒播，種子量 120 kg/ha)，甜高粱 (條播，行距 75 cm，株距 10 cm)，綠肥大豆 (撒播，種子量 25 kg/ha)。每期作施肥量分別為 N：120 kg/ha、P₂O₅：30 kg/ha、K₂O：60 kg/ha，而綠肥大豆種植時不施肥。
- (ii) 試驗調查：燕麥分為 8 區，每區取樣 1 m²，早熟燕麥 Saia 於種植 75 日取樣調查，晚熟燕麥 Swan 則在 120 日。甜高粱分為 4 區，每區取樣 3.75 m²，於種植後 90 日調查。調查項目包括株高、鮮重等農藝性狀，樣品以 65°C 烘乾 96 小時後，調查乾重、乾物率及葉莖乾物比，並取樣進行化學成分分析。

- (iii) 化學成分分析：以 Kjeldahl 方法測定植體全氮量 (Bremner and Mulvaney, 1982)，再將 $N \times 6.25$ 即得粗蛋白質含量。ADF 及 NDF 含量參照 Goering and Van Soest (1970) 所提方法測定；水溶性碳水化合物含量測定以 80% 酒精萃取樣品乾粉，混合萃取液並除去酒精後定量，依蒽酮 (anthrone) 呈色法測定 (Morris, 1948)。
- (iv) 統計分析：本試驗之設計為裂區設計 (split-plot design)，以年度為主區，不同模式為次區。試驗資料以 SAS-EG 7.1 統計軟體進行統計分析 (SAS, 2014)，先進行變方分析 (analysis of variance, ANOVA)，若變方分析達顯著差異，再以最小顯著差異性 (least significant difference test, LSD) 測驗比較處理組間的差異，以 $P < 0.05$ 為顯著差異水準。

結果與討論

I. 甜高粱產量及品質評估

甜高粱在三個地區第 1 年度的平均鮮重產量為 54.0 mt/ha ($n = 20$) 與第 2 年度的 48.5 mt/ha 之間無顯著差異，而其平均乾物產量部分則以第 1 年度 (15.2 mt/ha) 顯著 ($P < 0.05$) 高於第 2 年度 (10.4 mt/ha) (表 3)。而平均乾物率也有相同趨勢，以第 1 年度的 28.3%，顯著高於第 2 年度的 21.3%。賴及王 (1989) 指出春作高粱因雨水充沛，導致日照不足減少葉片光合作用時間而影響高粱產量。根據試驗期間 (2017 年 7 月至 2019 年 6 月) 各地區的月平均溫度與月雨量圖 (圖 1)：第 1 年度 7 – 11 月的平均溫度為 26.3°C，略高於第 2 年度的 25.3°C，雨量則以第 2 年度的 220.7 mm 高於第 1 年度的 175.3 mm。雖然第 1 年的總雨量較少，但降雨量較為平均，而第 2 年度雖有較充沛的雨量，但都集中於 7 – 8 月之間。短期雨量過多時，會造成甜高粱生育期的日照時數較為不足。

表 3. 甜高粱在不同地區二年度的農藝性狀

Table 3. The averaged agronomic characteristics of sweet sorghum grown at different locations in 1st and 2nd year

Year	PH ¹ cm	FWY ----- mt/ha -----	DMY	DMR %	LSR
1 st	276 ± 27.5 ^b	54.0 ± 9.1	15.2 ± 3.1 ^a	28.3 ± 3.7 ^a	0.23 ± 0.03 ^a
2 nd	300 ± 6.5 ^a	48.5 ± 3.1	10.4 ± 1.0 ^b	21.3 ± 1.9 ^b	0.17 ± 0.01 ^b
mean	288.1 ± 13.9	51.3 ± 4.6	12.8 ± 1.7	24.8 ± 2.3	0.20 ± 1.02

¹ PH: plant height, FWY: fresh weight yield, DMY: dry matter yield, DMR: dry matter percent, LSR: leaf/ stem.

^{a, b} Means in the same column with different superscripts differ ($P < 0.05$).

Mean ± SEM (standard error of the mean).

甜高粱在三個地區第 1 年度的平均 CP 含量為 8.2% ($n = 20$)，顯著高於第 2 年度的 6.1% ($P < 0.05$)；第 2 年度的平均 WSC 含量為 14.9%，高於第 1 年度的 11.5%；平均 NDF 含量以第 1 年度的 57.3% 顯著高於第 2 年度的 50.5%，而平均 ADF 含量也有相同趨勢，以第 1 年的 30.9% 顯著高於第 2 年的 29.7% (表 4)。陳等 (2021) 指出飼養價值在年度間有不同，不同品種亦有別，不易歸納出品質成分的預測，但大致隨成熟度呈現一致的關係。

表 4. 甜高粱在不同地區二年度的芻料品質

Table 4. The averaged chemical components of sweet sorghum grown at different locations in 1st and 2nd year

Year	CP ¹	NDF	ADF	WSC	LSR
	----- %DM -----				
1 st	8.2 ± 1.0 ^a	57.3 ± 1.7 ^a	30.9 ± 2.9 ^a	11.5 ± 1.7 ^b	0.23 ± 0.03 ^a
2 nd	6.1 ± 0.1 ^b	50.5 ± 2.0 ^b	29.7 ± 2.7 ^b	14.9 ± 1.6 ^a	0.17 ± 0.01 ^b
mean	7.1 ± 0.6	53.9 ± 1.6	30.3 ± 0.8	13.2 ± 1.2	0.20 ± 1.02

¹ CP: crude protein, ADF: acid detergent fiber, NDF: neutral detergent fiber, WSC: water soluble carbohydrate.

^{a, b} Means in the same column with different superscripts differ ($P < 0.05$).

Mean ± SEM (standard error of the mean).

甜高粱臺畜 1 號在三個地區經過二年輪作種植，其 90 日收穫時的平均鮮重產量達每公頃 51.3 mt (表 3)，而收穫時 WSC 的平均含量達 13.2% DM (表 4)，有利於甜高粱之青貯調製 (陳等, 2017)。再者，甜高粱的平均 CP 含量為 7.1%，而 NDF 及 ADF 的平均含量分別為 53.9 及 30.3%，均顯示甜高粱的芻料品質並不遜色於青割玉米 (陳等, 2007)。甜高粱是一種耐旱、耐瘠、生長快速、適應性廣、管理方便的作物 (邱及胡, 1984)，且甜高粱臺畜 1 號具有耐災、生育期短、病蟲害少等優點 (陳等, 2017)，然而試驗結果顯示甜高粱之芻料產量及芻料品質仍深受氣候影響。因此，如何透過栽培技術及調整收穫適期使氣候干擾程度降低，以穩定生產芻料甜高粱，將是未來的重要研究課題。

在主要作物各輪作模式之中，僅模式 E 無規劃甜高粱生產。由二年輪作結果 (圖 2) 得知，模式 A 及 C 的甜高粱平均鮮重及乾物產量之間並無差異，然而在平均乾物率則以模式 A 的 25% (n = 8) 顯著高於模式 C 的 22.5% (P < 0.05)。模式 C 中甜高粱的鮮重產量高但乾物產量卻偏低，因為其乾物率較低，原因與模式 C 的甜高粱為春作種植，而模式 A 的為秋作有關。陳 (2019) 指出甜高粱臺畜 1 號的春作產量會優於秋作，黃及黃 (2010) 則認為夏季日照較長，甜高粱生長期因而相對延長，故產量也會較高。本試驗中甜高粱在各輪作模式不分期作的收穫時間皆定為 90 日 (DAP90)，但是春作因氣候環境較佳使得甜高粱的生育時間會較為延長，因此可能在未達到合適的收穫期即進行收割，故甜高粱的含水率較高而乾物率較低。因此，春作的甜高粱延後收穫可能為較佳選擇，除可增加乾物產量，亦可降低含水率，以提高酪農戶購買意願。

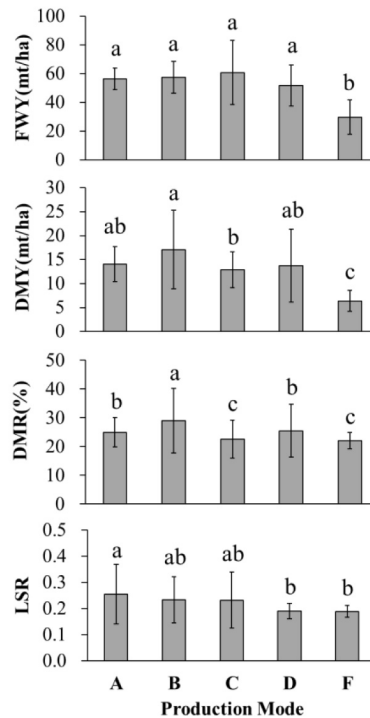


圖 2. 不同芻料輪作模式下甜高粱 (90 日) 在各地區輪作二年的農藝性狀。

Fig. 2. At different locations the averaged agronomic characteristics of sweet sorghum (90 days) grown with different rotation production modes in two years.

FWY: fresh weight yield; DMY: dry matter yield; DMR: dry matter percent; LSR: leaf/ stem.

^{a, b, c} Means in the same item with different superscripts differ (P < 0.05).

Bar: standard deviation.

在專門以生產芻料為主要目的之輪作系統中，模式 B 及 D 甜高粱的鮮重產量分別為 57.6 及 51.7 mt/ha (n = 8)，皆顯著 (P < 0.05) 高於模式 F 的 29.8 mt/ha (圖 2)；在乾物產量部分也有相同趨勢，亦皆以模式 B 及 D (分別為 17.1 及 13.7 mt/ha) 高於模式 F (6.4 mt/ha)。模式 F 的甜高粱產量明顯低於其他模式，原因可能與臺東縣秋作的日照時數較其他地區短有關 (交通部中央氣象局, 1991 – 2020)。甜高粱葉片的光合作用時間較其他地區為少，致使其產量較低。

彰化縣福興地區模式 A 及 B 之間的甜高粱鮮重及乾物產量並無差異 (圖 2)，然而在乾物率部分則以專門生產芻料為主要目的之模式 B 顯著較高，顯示不同的輪作模式還是會對甜高粱的生長造成部分影響。而鹽水地區 (模式 C 及 D) 雖然也有相同趨勢，但甜高粱生長狀況的不同應導因於期作之間的差異。

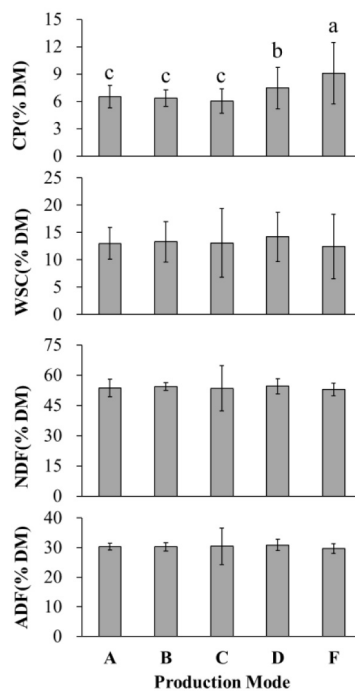


圖 3. 不同芻料輪作模式下甜高粱 (90 日) 在各地區輪作二年的芻料品質。

Fig. 3. At different locations the averaged forage quality of sweet sorghum (90 days) at different rotation production modes in two years.

CP: crude protein; ADF: acid detergent fiber; NDF: neutral detergent fiber; WSC: water soluble carbohydrate.

^{a, b, c} Means in the same item with different superscripts differ ($P < 0.05$).

Bar: standard deviation.

甜高粱在不同地區的 NDF 含量介於 53.0 – 54.6% (圖 3)，而 ADF 含量介於 29.7 – 30.8%，芻料品質優良，且 WSC 含量達 12.4 – 14.2%，易於製作青貯料。甜高粱在各地區的 NDF、ADF 及 WSC 含量並無差異，芻料品質相當穩定，不受地區輪作模式之影響。

臺灣夏季農業生產過程常遭遇颱風災害的侵襲而造成鉅額損失，不僅農民收入降低，也因供應量減少進而影響芻料的穩定供應。張及廖 (2019) 指出夏季多雨期間，栽培芻料高粱可替代青割玉米，穩定供應夏季芻料。臺南市鹽水地區為臺灣青割玉米的主要生產地之一，而一期作的甜高粱 (模式 C) 產量高，若銜接冬季青割玉米，將可促進國產優質青貯料之穩定供應。甜高粱在三個地區經過二年的二期作 (模式 A、B、D 及 F) 種植，除臺東縣鹿野地區因受環境影響產量較低外，種植期間並無發生歉收的情形且產量穩定。因此，甜高粱的耐災特性適合在颱風頻繁的夏季種植。

II. 燕麥產量及品質評估

燕麥為冬季芻料作物，在臺灣最適生長季節是裡作，因此本試驗三個地區的種植日期在每年的 11 或 12 月，而收穫期則因品種不同在隔年的 1 – 3 月 (表 2)。本試驗三個地區的冬季溫度與雨量變化如圖 1 所示，皆以 11 月的溫度最高而後隨之下降，此與溫帶地區秋播燕麥的生長氣候相似。三個地區的冬季 (11 月至隔年 3 月) 平均溫度為 19.0°C (圖 1)，而平均雨量為 151.3 mm，環境適合燕麥生長。

由在三個地區二年的輪作種植結果得知 (表 5)，燕麥 Swan 第 1 年 ($n = 24$) 鮮草的平均產量為 43.6 mt/ha，顯著高於第 2 年的 35.6 mt/ha ($P < 0.05$)；而乾草的平均產量也有相同結果，以第 1 年的 10.5 mt/ha 高於第 2 年的 7.3 mt/ha。比對氣候資料 (圖 1) 可發現，第 1 年燕麥 Swan 營養生長期 (11 – 1 月) 的累積雨量 (97.2 mm) 高於第 2 年 (52.2 mm)，充足的雨量可幫助燕麥在生育初期有良好的生長環境。此外，第 2 年燕麥 Swan 生長生長期 (2 – 3 月) 的平均溫度為 19.8°C，高於第 1 年的 17.6°C，不過，生育後期的高溫使得燕麥 Swan 感染銹病而影響到產量表現。

在芻料品質方面，燕麥 Swan 的平均 NDF 及 ADF 含量在二個年度之間並無差異 (表 6)，但平均 CP 含量部分則以第 2 年度的 9.6% 顯著高於第 1 年度的 8.0% ($P < 0.05$)。此與第 2 年燕麥 Swan 在度有較高的葉莖比 (0.44) 有關 (表 5)。施及李 (2020) 在苗栗縣及桃園市進行燕麥 Swan 生產試驗，乾草產量介於 7.7 – 12.4 mt/ha。因北部地區冬季多雨且溫度較低，而本試驗三個地區的冬季平均雨量明顯較低，導致燕麥 Swan 的產量及芻料品質均

較北部地區為差。

表 5. 燕麥在不同地區二年度的農藝性狀

Table 5. The averaged agronomic characteristics of oats grown at different locations in 1st and 2nd years

Variety	Year	PH ¹	FWY	DMY	DMR	LSR
		cm	----- mt/ha -----		%	
Swan	1 st	136.1 ± 6.6 ^a	43.6 ± 6.1 ^a	10.5 ± 0.8 ^a	24.2 ± 1.8 ^a	0.35 ± 0.07 ^b
	2 nd	123.4 ± 6.8 ^b	35.6 ± 2.9 ^b	7.3 ± 0.3 ^b	20.7 ± 3.7 ^b	0.44 ± 0.05 ^a
	mean	129.8 ± 5.1	39.6 ± 3.5	8.9 ± 0.8	22.5 ± 1.8	0.40 ± 0.05
Saia	1 st	77.1 ± 3.0 ^b	34.2 ± 2.7	3.8 ± 0.2 ^b	11.1 ± 0.3 ^b	0.72 ± 0.04
	2 nd	95.6 ± 2.3 ^a	35.4 ± 2.1	5.4 ± 0.2 ^a	15.3 ± 0.5 ^a	0.81 ± 0.04
	mean	86.3 ± 2.5	34.8 ± 1.7	4.6 ± 0.2	13.2 ± 0.5	0.77 ± 0.03

¹ PH: plant height, FWY: fresh weight yield, DMY: dry matter yield, DMR: dry matter percent, LSR: leaf/stem.

^{a, b} Means in the same column in the same variety with different superscripts differ ($P < 0.05$).

Mean ± SEM (standard error of the mean).

表 6. 燕麥在不同地區二年度的芻料品質

Table 6. The averaged chemical components of oats grown at different locations in 1st and 2nd years

Variety	Year	CP ¹	NDF	ADF	WSC
		----- %DM -----			
Swan	1 st	8.0 ± 1.5 ^b	59.7 ± 1.9	35.0 ± 1.0	4.0 ± 0.8 ^a
	2 nd	9.6 ± 0.6 ^a	60.9 ± 1.4	34.9 ± 1.7	3.1 ± 0.5 ^b
	mean	8.8 ± 0.82	60.3 ± 1.12	34.9 ± 0.91	3.6 ± 0.5
Saia	1 st	13.9 ± 0.3 ^a	52.1 ± 0.8 ^b	32.1 ± 0.6 ^b	3.2 ± 0.5 ^a
	2 nd	12.7 ± 0.4 ^b	60.3 ± 1.0 ^a	36.3 ± 0.7 ^a	2.4 ± 0.1 ^b
	mean	13.3 ± 0.2	56.2 ± 0.9	34.2 ± 0.6	2.8 ± 0.2

¹ CP: crude protein, ADF: acid detergent fiber, NDF: neutral detergent fiber, WSC: water soluble carbohydrate.

^{a, b} Means in the same column in the same variety with different superscripts differ ($P < 0.05$).

Mean ± SEM (standard error of the mean).

模式 B、D、F 是以大量生產芻料為主要目的，因此規劃燕麥晚熟品種 Swan 作為冬季作物。燕麥 Swan 在模式 B 及 D 的平均鮮草產量分別為 41.7 及 44.7 mt/ha ($n = 16$)，皆顯著高於模式 F 的 32.3 mt/ha ($P < 0.05$) (圖 4)；在平均乾草產量也有相同的趨勢，以模式 B 及 D (8.9 及 9.2 mt/ha) 高於模式 F (7.8 mt/ha)。國外報告指出溫度與日照會影響燕麥初期的生長狀況及光合作用 (Martini *et al.*, 2009)，而臺東縣的冬季氣溫低於其他地區 (圖 1)，且花東縱谷地區的冬季日照時數短 (交通部中央氣象局，1991 – 2020)，因此最終影響燕麥 Swan 的產量表現。

在芻料品質部分 (圖 5)，燕麥 Swan 在 3 個模式的 NDF 及 ADF 平均含量皆無差異存在，而在 CP 含量部分則以模式 B 及 F (9.3 及 9.4%) 顯著高於模式 D (7.7%) ($P < 0.05$)。不同模式的 CP 含量有差異的原因與施及李 (2020) 的結果相似，因為大面積的田間栽培試驗，燕麥穀粒成熟的不一致性，有些穀粒掉落或是正在發育，導致生育期間的粗蛋白質含量呈現不規則變動。綜合上述，燕麥 Swan 在彰化縣及臺南市的表現優於臺東縣。

美國北部秋季的氣溫變化與臺灣裡作相似，Contreras-Govea and Albrecht (2006) 指出秋播燕麥因在生育後期時氣溫較為寒冷，使其產量較春播者為低，但芻料品質確較佳，因此在威斯康辛州的秋播燕麥乾物產量約為 6.8 mt/ha。Coblentz *et al.* (2011) 也在康州進行燕麥產量試驗，其中燕麥的晚熟品種最大產量為 8.1 mt/ha。因此，本試驗燕麥 Swan 的乾物產量並不遜色於國外。Contreras-Govea and Albrecht (2006) 分析不同燕麥品種的秋播收穫時的芻料品質，其 CP 含量介於 16.1 – 20.5%，而 NDF 及 ADF 含量則低於 55.4 及 31.3%，芻料品質相當優異。然而，該試驗在燕麥的營養生長期就進行收穫，而本試驗的燕麥 Swan 收穫時的生育期約是乳熟期後期至糊熟期中期，植株的成熟度較高。因此，燕麥 Swan 的 CP 含量會較國外為低，但 NDF 及 ADF 含量相似。由此可知燕麥 Swan 具有優良芻料產量及芻料品質，屬於優質的冬季芻料作物。

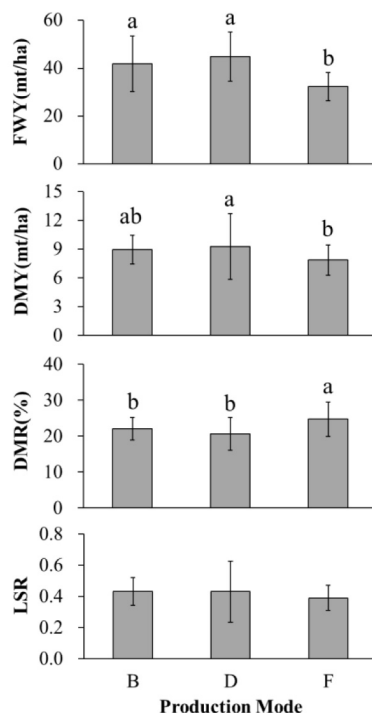


圖 4. 不同芻料輪作模式下燕麥 Swan (120 日) 在各地區輪作二年的農藝性狀。

Fig. 4. The averaged agronomic characteristics of oat 'Swan' (120 days) grown with different rotation production modes at different locations in two years.

FWY: fresh weight yield; DMY: dry matter yield, DMR: dry matter percent, LSR: leaf/ stem.

^{a, b} Means in the same item with different superscripts differ ($P < 0.05$).

Bar: standard deviation.

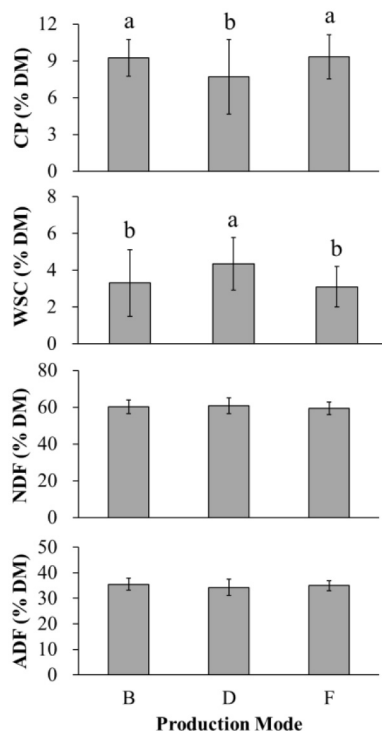


圖 5. 不同芻料輪作模式下燕麥 Swan(120 日) 在各地區輪作二年的芻料品質。

Fig. 5. The averaged forage quality of oat 'Swan' (120 days) at different rotation production modes at different locations in two years.

CP: crude protein, ADF: acid detergent fiber, NDF: neutral detergent fiber, WSC: water soluble carbohydrate.

^{a, b} Means in the same item with different superscripts differ ($P < 0.05$).

Bar: standard deviation.

臺南市鹽水地區的主要作物青割玉米種植時期為 10 月至翌年 2 月 (圖 1)，故無法規劃栽培燕麥。而在彰化縣福興地區與臺東縣鹿野地區為了避免影響主要作物種植及收穫時程，故在選擇冬季裡作芻料牧草品種時，以早熟的燕麥為優先 (陳及張，2021)。因此，模式 A、E 皆選擇僅 75 日即可收穫的早熟燕麥 Saia 作為冬季芻料作物。燕麥 Saia 經過二年在二個地區與主要作物進行輪作栽培後，平均鮮草產量為 34.8 mt/ha (表 5)，平均乾草產量為 4.6 mt/ha，平均 CP 含量達 13.3% (表 6)，而平均 NDF 及 ADF 含量則分別為 56.2 及 34.2%。相較朱等 (2018) 於屏東縣的試驗結果，燕麥 Saia 在產量及芻料品質均較為低，原因推測可能與播種日期有關，因為本試驗在二個地區的種植時間皆在 12 月上旬 (圖 1)，而朱等 (2018) 則在 11 月下旬種植。國外報告指出，相同品種的燕麥雖然有相同的收穫時間，但不同的播種期卻影響產量甚鉅 (Coblentz *et al.*, 2011)。

燕麥 Saia 第 2 年度的平均乾草產量為 5.4 mt/ha ($n = 16$) (表 5)，顯著高於第 1 年度的 3.8 mt/ha ($P < 0.05$)，然而第 1 年度收穫時乾物率才 11.1%，顯然尚未達到最佳收穫期。國外很多研究報告指出，在不同收穫期的燕麥乾物產量有顯著差異的表現 (Jacobs *et al.*, 2009; Coblentz *et al.*, 2013)。朱等 (2018) 指出燕麥 Saia 自孕穗期開始，會隨著收穫期越延遲，乾物率及乾物產量會越高，當乾物率達 45.5% 時，乾物產量可達 10.5 mt/ha，陳及張 (2021) 的研究中，燕麥 Saia 也表現相同的趨勢。本試驗燕麥 Saia 的收穫期定為 75 日，而結果顯示其尚未達到最佳的收穫期。因此，燕麥 Saia 的最適播種期及最佳收穫期尚需進一步研究，以提高其冬季牧草產量，達到最佳經濟效益。

燕麥 Saia 在模式 A 的平均鮮草產量為 42.0 mt/ha ($n = 8$)，顯著高於模式 E 的 27.6 mt/ha ($P < 0.05$) (圖 6)；乾草平均產量也呈相同現象，以模式 A 的 5.0 mt/ha 顯著高於模式 E 的 3.9 mt/ha。然而，燕麥 Saia 的乾物率則有不同表現：以模式 E 的乾物率為 14.3%，顯著高於模式 A 的 12.0%。芻料品質方面，燕麥 Saia 在 2 個模式之平均 CP、NDF 及 ADF 含量皆無差異 (圖 7)，僅平均 WSC 含量以模式 E 的 3.5% 顯著高於模式 A 的 2.1%，但二者都偏低。由上述結果得知，雖然燕麥 Saia 在不同地區的乾草產量有明顯差異存在，但 CP 含量都達 13% 以上，芻料品質表現穩定，顯示燕麥 Saia 確實是品質佳的冬季芻料作物。

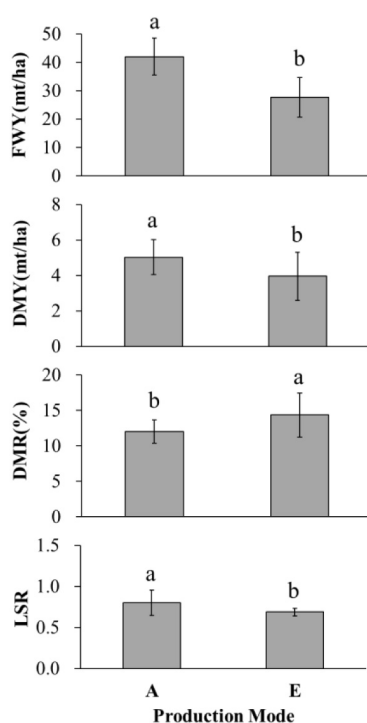


圖 6. 不同芻料輪作模式下燕麥 Saia (75 日) 在各地區輪作二年的農藝性狀平均值。

Fig. 6. The averaged agronomic characteristics of oat 'Saia' (75 days) grown with different rotation production modes at different locations in two years.

FW: fresh weight yield, DM: dry matter yield, DMR: dry matter percent, LSR: leaf/ stem.

^{a, b} Means in the same item with different superscripts differ ($P < 0.05$).

Bar: standard deviation.

燕麥 Swam 的芻料產量高，但因莖稈較粗，於溫度較低的冬季較不易調製乾草保存；燕麥 Saia 的產量雖然較低，但因莖稈細而較易調製乾草。酪農戶都喜歡使用優質的芻料餵養牲畜，但是芻料產量的高低卻會直接影

響到草農的收益，最終影響農民參與輪作芻料作物的意願。因此，育成高產量及高品質，而且容易調製的芻料品種推薦給農民種植是芻料作物育種工作的首要目標。由本試驗二個參試的芻料燕麥品種的表現，建議未來我國的燕麥選育標的，除了須具有高產特性之外，且應著重芻料品質，更須考量乾草調製的容易程度，以鼓勵草農生產優質的芻料燕麥乾草，填補我國冬季經常發生的乾草不足之困境。

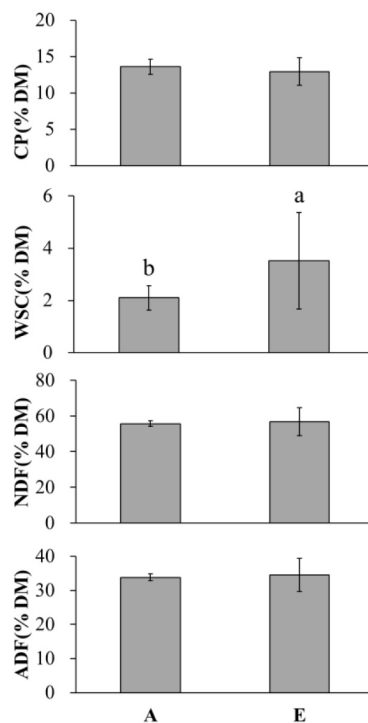


圖 7. 不同芻料輪作模式下燕麥 Saia(75 日) 在各地區輪作二年的芻料品質。

Fig. 7. The averaged forage quality of oat 'Saia' (75 days) at different rotation production modes at different locations in two years.

CP: crude protein, ADF: acid detergent fiber, NDF: neutral detergent fiber, WSC: water soluble carbohydrate.

^{a, b} Means in the same item with different superscripts differ ($P < 0.05$).

Bar: standard deviation.

評估三個地區甜高粱及燕麥的芻料產量及芻料品質，各種芻料作物的生產表現皆以彰化縣福興鄉及臺南市鹽水區優於臺東縣鹿野鄉，顯示西部的芻料生產環境優於東部。另一方面，雖然臺東縣鹿野鄉的芻料產量表現較差於西部，但其芻料品質的表現優良，並不遜於彰化地區及臺南地區，代表東部地區進行合適的輪作模式，也能夠生產優質芻料。

結 論

隨著時代的演進，酪農戶對飼養與芻料供應專業分工的觀念已經改變，再者，國內乳價的提高和乳量的供不應求，使得酪農戶對於國產芻料供應量以及芻料品質之要求愈增。本試驗所選擇的芻料作物甜高粱及燕麥在各地區不同的輪作模式之下生產芻料，其產量及品質皆達水準之上，是非常優良的短期芻料作物，搭配適地適種的地區性輪作模式，能夠有效益地生產國產芻料。

參考文獻

- 行政院農業委員會。2019。農業統計年報。 <https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx>。
- 朱明宏、王紓愨、游翠鳳、陳嘉昇。2018。黑燕麥在不同收穫期之芻料產量、品質及青貯調製研究。畜產研究 51：16-23。
- 邱善美、胡敏夫。1984。甜高粱品種秋植與宿根生育特性比較。中華農業研究 33：372-376。

- 吳昭慧、連大進。2004。豆科綠肥在休耕田的栽培利用。臺南區農業專訊 50：8-12。
- 施意敏、李姿蓉。2020。臺灣北部地區芻料用燕麥生產與利用之研究。畜產研究 53：244-252。
- 財政部關務署。2019。海關進出口統計。未列名飼料用之植物產品。<https://portal.sw.nat.gov.tw>。
- 張敏郎、廖麗貞。2019。芻料高粱墾丁一號之育成。畜產研究 52：153-164。
- 陳勃聿、許進德、蕭素碧。2017。甜高粱臺畜一號之育成。畜產研究 50：37-44。
- 陳勃聿。2019。以栽培種高粱作為芻料生產之評估。畜產研究 52：37-44。
- 陳勃聿、張世融。2021。有效益芻料作物甜高粱及燕麥之生產 I. 地區輪作模式之建議。畜產研究 54：198-205。
- 陳嘉昇、王紓愍、游翠凰、劉信宏。2007。品種、種植期與收穫期對青割玉米產量與品質的影響。畜產研究 40：1-15。
- 陳嘉昇、黃永芬、游翠凰、王紓愍。2021。芻料燕麥營養成分變動之探討。畜產研究 54：116-125。
- 黃天民、黃俊杉。2010。甜高粱新品系採種測試。種苗科技專訊 70：8-12。
- 賴文龍、王錦堂。1989。臺中地區高粱適栽區調查研究與探討。臺中區農業改良場研究彙報 25：13-25。
- Bean, B. W., R. L. Baumhardt, F. T. McCollum III, and K. C. McCuiston. 2013. Comparison of sorghum classes for grain and forage yield and forage nutritive value. *Field Crops Res.* 142: 20-26.
- Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. pp. 610-613. In: *Method of Soil Analysis. Part 2. 2nd edition.* Page, A. L. (ed.) Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, USA.
- Coblentz, W. K., M. G. Bertram, and N. P. Martin. 2011. Planting date effects on fall forage production of oat cultivars in Wisconsin. *Agron. J.* 103: 145-155.
- Coblentz, W. K., S. E. Nellis, P. C. Hoffman, M. B. Hall, P. J. Weimer, N. M. Esser, and M. G. Bertram. 2013. Unique interrelationships between fiber composition, water-soluble carbohydrates, and in vitro gas production for fall-grown oat forages. *J. Dairy Sci.* 96: 7195-7209.
- Contreras-Govea, F. E. and K. A. Albrecht. 2006. Forage production and nutritive value of oat in autumn and early summer. *Crop Sci.* 46: 2382-2386.
- Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analyses (Apparatus, Reagents, Procedures, and Some Application). pp. 8-9. *Agric. Handbook No. 379.* ARS-USDA, Washington, DC., USA.
- Jacobs, J. L., J. Hill, and T. Jenkin. 2009. Effect of stage of growth and silage additives on whole crop cereal silage nutritive and fermentation characteristics. *Anim. Prod. Sci.* 49: 595-607.
- Morris, D. L. 1948. Quantitative determination of carbohydrates with dry-wood's anthrone reagent. *Science.* 107: 254-255.
- SAS Institute. 2014. SAS User's Guide: Statistics, Version 13.2 Edition. SAS Inst. Inc., Cary, NC. USA.

Profitable production of forage crops -sweet sorghum and oat

II. Evaluation of forage yield and quality with different crop rotation modes ⁽¹⁾

Po-Yu Chen ⁽²⁾ and Shyh-Rong Chang ⁽²⁾⁽³⁾

Received: Feb. 2, 2021; Accepted: Mar. 30, 2022

Abstract

The objective of this experiment was to evaluate the forage yield and quality of sweet sorghum and oat grown with differed crop rotation modes in various regions in Taiwan. The 6 crop rotation modes were proposed as follows: Changhua region, A. Rice (*Oryza sativa* L.) - Sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) - Precocious Oat 'Saia' (*Avena strigosa* Schreb.) and B. Manure soybean (*Glycine max* L.) - Sweet sorghum - Late maturing Oat 'Swan' (*Avena sativa* L.); Tainan region, C. Sweet sorghum - Manure soybean - Silage corn (*Zea mays* L.) and D. Manure soybean - Sweet sorghum - Late maturing Oat 'Swan'; Taitung region, E. Manure soybean - Rice- Precocious Oat 'Saia' and F. Manure soybean - Sweet sorghum - Late maturing Oat 'Swan'. The averaged dry matter yield of sweet sorghum for 5 modes in the three regions was 12.8 mt /ha, while the averaged contents of water-soluble carbohydrate (WSC), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) at harvest were 13.2%, 7.1%, 53.9%, and 30.3%, respectively. The fresh yield of sweet sorghum in modes A, B, C and D, ranging from 51.7 to 60.8 mt /ha, were significantly higher than that of mode F, with 29.7 mt /ha ($P < 0.05$). There was no difference in the contents of WSC, NDF and ADF among the different modes. The results indicated that the forage yield and quality of sweet sorghum were quite good and stable, making it suitable as a summer forage crop. The dry matter yield of late-mature oat 'var. Swan' in average was 8.9 mt/ha, and the average contents of CP, NDF and ADF were 8.8%, 60.3% and 34.9%, respectively. The dry matter yields for oat 'Swan' of mode B and D (8.9 mt/ha and 9.2 mt/ha) were higher than that of mode F (7.8 mt/ha). The CP contents of oat 'Swan' in modes B and F (9.3, 9.4%) were significantly higher than that of mode D (7.7%). There was no difference in the contents of NDF and ADF among the different modes. The results above showed good forage yield and stable quality in oat 'Swan,' making it suitable as a winter forage crop in Taiwan. On the other hand, the dry matter yield of early oats 'var. Saia' in average was 4.6 mt/ha at harvest on the 75th day, and its average content of CP, NDF and ADF was 13.3%, 56.2% and 34.2%, respectively. Although the forage yield of oat 'Saia' was much lower than that of oat 'Swan', Saia may be used as a winter forage crop with high forage quality. It is suggested that both sweet sorghum and oat 'Swan' with high forage yield and quality might be suitable for profitable production of forage under different crop rotation modes in various regions in Taiwan.

Key words: Oat, Sweet sorghum, Forage yield, Forage quality, Production mode.

(1) Contribution No. 2701 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Forage Crops Division, COA-LRI, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

(3) Corresponding author, E-mail: srchang@mail.tlri.gov.tw.