

青割玉米與芻料高粱混植效益評估⁽¹⁾

張敏郎⁽²⁾⁽⁴⁾ 廖麗貞⁽³⁾

收件日期：109 年 9 月 11 日；接受日期：110 年 7 月 16 日

摘 要

青割玉米為臺灣地區重要芻料作物，惟受限氣候因素及避免栽培風險，夏季為青割玉米空窗期。本研究主要探討夏季多降雨期間，青割玉米與不同生育型芻料高粱混植栽培效益，期能有助於夏季芻料生產與供應。以行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所選育的青割玉米墾丁一號 (Kenting no.1, KT 1)、高莖型芻料高粱品系 (品系代號 FSH 01) 與分蘖型芻料高粱品系 (品系代號 FSM 02) 等 3 個品種系為試驗材料，分別進行春作混植及夏作芻料高粱宿根栽培試驗。參試處理包含單植青割玉米、單植高莖型芻料高粱、單植分蘖型芻料高粱、混植青割玉米與高莖型芻料高粱及混植青割玉米與分蘖型芻料高粱等 5 種不同單、混植處理。田間試驗設計為逢機完全區集設計，並依一般慣行栽培方式進行春、夏作栽培管理。春作混植栽培試驗結果顯示，於生育中、後期不僅作物與品系間有生長差異外，亦顯現混植間作物競爭的影響，尤以植株鮮重差異最明顯，單植高莖型芻料高粱 865.5 g 最重，混植青割玉米之分蘖型芻料高粱 363.3 g 最輕。青割玉米與芻料高粱混植栽培，玉米有較佳生長優勢，芻料高粱生育明顯受青割玉米影響，混植青割玉米之高莖型芻料高粱植株鮮重僅 427.3 g。春作單位面積鮮草產量，分蘖型芻料高粱與青割玉米混植產量 62.0 mt/ha，顯著高於高莖型芻料高粱與青割玉米混植 41.5 mt/ha ($P < 0.05$)。梅雨期間雖逢大量降雨，但田間無積水且無植株發生倒伏，交叉保護效果明顯。春作單、混植植株營養成分，單、混植芻料高粱粗蛋白質含量介於 8.53 – 9.81%，單、混植芻料高粱的青割玉米粗蛋白質含量 7.82 – 9.28%，與高莖型芻料高粱混植的青割玉米為 9.28% 最高，顯著高於單植青割玉米 7.82% ($P < 0.05$)。春作芻料青貯品質，不論單、混植組合芻料，所有青貯品質評分均達優良等級 (93.0 – 98.0)。夏作芻料高粱宿根再生栽培結果顯示，在植株鮮重、乾物重、莖 / 葉乾物重比與乾物率等性狀，品系間呈顯著差異。宿根刈割鮮草產量，以混植高莖型芻料高粱產量 78.4 mt/ha 最高，顯著高於其它單、混植處理組合 ($P < 0.05$)。累計總產量以混植青割玉米與分蘖型芻料高粱 124.8 mt/ha 最高且產量穩定 (春作與夏作收量分別 62.0 與 62.8 mt/ha)。綜合試驗結果，青割玉米與分蘖型芻料高粱混植栽培，可提供作為夏季生產芻料的另一種栽培模式。

關鍵詞：青割玉米、芻料高粱、氣候變遷、混植、單植。

緒 言

青割玉米營養成分與適口性俱佳，為重要本土芻料作物。但因春、夏季栽培期間常遭逢梅雨與大量降雨而倒伏，導致青割玉米生產遭受損失，為避免栽培風險及夏季期間幾無青割玉米栽培等問題，解決夏季芻料生產與供應問題為刻不容緩的事。芻料高粱 (*Sorghum bicolor* L. Moench) 屬禾本科作物，營養成分佳，具耐旱與耐瘠等多種耐逆境生育特性，且再生能力強，可宿根栽培及適合湛水環境下生長，適合夏季多降雨期間做為短期芻料栽培與利用 (Getachew *et al.*, 2016)。

利用兩種以上不同作物進行混植或間植之栽培方式，可穩定作物生產、增進產量與提升品質、減輕病蟲害發生及有助於雜草控制等多種效益 (Malezieux *et al.*, 2009; Gebru, 2015)。不同混植作物種類組合中，以禾豆科混植栽培方式有較佳的作物生育與管理效益 (Ndakidemi, 2006; Ayub and Shoaib, 2009; Malezieux *et al.*, 2009)，且於栽培生態系中存有物種多樣性 (Loreau and Hectorn, 2001)、產量穩定 (Swift *et al.*, 2004)、作物收穫品質佳 (Muschler, 2001)、增強病蟲害防治效益 (Hauggard-Nielsen and Jansen, 2005)、友善栽培環境 (Brussard *et al.*, 2007; Lithourgidis *et al.*, 2011)

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2671 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所。

(3) 國立高雄師範大學生物科技系。

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

與降低生產成本之經濟利益 (Perfecto *et al.*, 2003) 等多種效益。同為禾科作物混植栽培的相關研究較少且效益有限 (Elemo, 2010)。Bulson *et al.* (1997) 研究顯示芻料作物在逆境環境混植栽培，可獲得較佳飼料原料品質，推測可能為土壤養分調和與平衡的結果。豆科與穀類作物的混植栽培方式，使得穀類作物的穀粒中含有較高氮素含量而提昇其營養價值 (Bulson *et al.*, 1997)。

芻料高粱混植或間植栽培研究，主要都以豆科作物為混植種類，可明顯提高產量與提升品質 (Sankaranarayanan *et al.*, 2005; Ayub and Shoaib, 2009; Lithourgidis *et al.*, 2011; Kadam *et al.*, 2017)、增加芻料蛋白質產量與淨收益 (Pal *et al.*, 2014)。芻料高粱與青割玉米於乾旱地區進行混植的栽培方式，有降低因乾旱造成的收量損失風險及穩定產量，或有助於提升芻料調製青貯品質等效益 (Elemo, 2010; Samarappuli and Berti, 2018)。與臺灣臨近的國家如日本，是畜牧業發達的國家，其南部如九州與四國等較溫暖地區，於春、夏季期間，盛行青割玉米與芻料高粱 (甜高粱或其他高粱屬作物) 之混植栽培方式，於 7 – 8 月間第一次地上部收割後，不需整地播種即可續行芻料高粱宿根再生栽培供應所需芻料 (Kihara *et al.*, 1991; Kobayashi *et al.*, 2004; 2008)。此種青割玉米與芻料高粱混植的栽培模式或可提供臺灣於夏季栽培參考。

材料與方法

I. 試驗材料

本研究以行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所選育的青割玉米墾丁一號 (Kenting no.1, KT 1)、高莖型芻料高粱品系 (品系代號 FSH 01) 與分蘗型芻料高粱品系 (品系代號 FSM 02) 等 3 個品種系，供作試驗用材料。

II. 試驗方法

本混植試驗於畜產試驗所恆春分所試驗田區進行。田區經整地後施用基肥，施肥量依栽培玉米推薦用量 $N-P_2O_5-K_2O$ 為 120 – 80 – 60 kg/ha，分基肥與追肥施用。基肥公頃用量氮素為 1/2 用量，磷鉀全量，氧化鉀全量。追肥部分則於生育約 25 – 30 天 (幼穗分化期) 中耕培土及孕穗期兩個階段施用，公頃用量氮素為剩餘 1/2 用量。於春季採穴播栽植，玉米與高粱單、混植種植方式，栽培密度均為行株距 70 × 20 cm。田區試驗設計採逢機完全區集設計 (Randomized complete block design)，3 區集，5 種處理。不同處理方式包括單植青割玉米、單植高莖型芻料高粱、單植分蘗型芻料高粱、混植青割玉米與高莖型芻料高粱、混植青割玉米與分蘗型芻料高粱等 5 種處理，每種處理種植 6 行，行長 5 m。依一般慣行栽培方式進行栽培管理，生育期間分別記錄單、混植作物間病蟲害發生情形與調查不同作物間之混植保護效果。於生育 40 天進行農藝性狀如株高、分蘗數、莖徑與植株鮮重等調查。收穫刈割前調查與比較作物農藝性狀如植株鮮重 (葉、莖與穗鮮重及總鮮重) 與乾物率。於收穫適期刈割調查牧草鮮草產量與營養成分分析，並調製小包裝青貯料及分析青貯品質。春作試驗於主作刈割收穫後續行夏作芻料高粱宿根再生栽培。田區經適度澆灌水及除草後施肥。施肥量依高粱推薦用量 $N-P_2O_5-K_2O$ 為 100 – 60 – 50 kg/ha，分基肥與追肥施用。基肥公頃用量氮素為 1/2 用量，磷鉀全量，氧化鉀全量。追肥部分則於生育約 25 – 30 天 (幼穗分化期) 中耕培土及孕穗期兩個階段施用，公頃用量氮素為剩餘 1/2 用量。生育期間記錄芻料高粱品系間宿根栽培之病蟲害發生情形，並於夏季多降雨期間記錄植株之倒伏性。刈割收穫前調查各芻料高粱品系之宿根植株鮮重、植株乾重、莖 / 葉乾物重比與乾物率等農藝性狀。於收穫適期進行刈割調查鮮草產量與營養成分分析。

III. 植體成分與青貯品質分析

- (i) 粗蛋白質 (crude protein, CP) 含量分析：以 Kjeldahl 法 (A.O.A.C., 1995) 測定植體全氮含量後，乘以 6.25 之百分率即得粗蛋白質含量。
- (ii) 酸洗纖維 (acid detergent fiber, ADF)、中洗纖維 (neutral detergent fiber, NDF) 含量測定依照 ANKOM 200 纖維分析儀進行 (Komarek *et al.*, 1996; Vogel *et al.*, 1999)，NDF 採添加 α -amylase 之方法測定 (Van Soest *et al.*, 1991)。
- (iii) 青貯品質分析：於收穫適期 (於開花抽穗後約 15 – 20 天) 刈割，整株細切成 2 – 3 cm，利用真空裝填機進行小包裝青貯調製，並於兩個月後開封測定青貯品質。分別測定 pH 值、乳酸、乙酸及丁酸含量，並計算 Flieg's score，評定青貯品質 (Kim *et al.*, 1992)。

IV. 統計資料分析

試驗所得資料經 SAS (2004) 統計分析進行變方分析後，以最小顯著差異性法 (least significance difference test, LSD) 檢定不同處理間各個性狀的差異顯著性。

結果與討論

I. 春作青割玉米與芻料高粱混植栽培

春作於 103 年 3 月 28 日種植，生育 40 天調查及比較青割玉米與芻料高粱單、混植間植株農藝性狀差異 (表 1)。由表 1 知單、混植青割玉米，植株高度介於 40.2 — 46.7 cm，植株莖徑 8.2 — 8.5 mm，植株鮮重介於 58.8 — 68.5 g；單、混植高莖型芻料高粱 FSH 01 品系，植株高度介於 66.8 — 68.5 cm，植株莖徑 11.2 — 12.5 mm，植株鮮重介於 98.8 — 112.5 g；單、混植分蘗型芻料高粱 FSM 02 品系，植株高度介於 40.2 — 41.5 cm，分蘗數 1.5 — 1.8，植株莖徑 9.2 — 10.8 mm，植株鮮重介於 95.2 — 105.7 g。試驗結果顯示，生育 40 天植株高度，以單、混植高莖型芻料高粱 FSH 01 品系最高。高莖型芻料高粱生育快且早熟品系，在生育初期尚無因不同栽培方式而影響生長。青割玉米與分蘗型芻料高粱 FSM 02 品系間植株高度無明顯差異。比較作物間生育 40 天植株鮮重，不同單、混植栽培方式在青割玉米與芻料高粱各品系間差異均不顯著，高莖型與分蘗型芻料高粱均顯著高於青割玉米。生育 40 天農藝性狀比較綜合結果，2 個不同生育型芻料高粱新品系初期生育均較青割玉米生長快速。

表 1. 青割玉米與芻料高粱於春作不同栽培方式播種後 40 天之農藝性狀比較

Table 1. Comparison of the agronomic traits of forage corn and forage sorghum with different planting methods 40 days after planting in spring crop

Crop	Variety /line	Planting method	Plant height cm	Tiller number Tiller no./ plant	Stem diameter mm	Fresh weight g/plant
Forage corn	KT 1 [§]	Pure stand	45.5 ^b	0 ^b	8.5 ^b	68.5 ^b
		Mixed with FSH 01	46.7 ^b	0 ^b	8.2 ^b	60.2 ^b
		Mixed with FSM 02	40.2 ^b	0 ^b	8.2 ^b	58.8 ^b
Forage sorghum	FSH 01	Pure stand	68.5 ^{a*}	0 ^b	12.5 ^a	112.5 ^a
	FSH 01	Mixed with KT 1	66.8 ^a	0 ^b	11.2 ^a	98.8 ^a
	FSM02	Pure stand	40.2 ^b	1.5 ^a	10.8 ^a	105.7 ^a
	FSM 02	Mixed with KT 1	41.5 ^b	1.8 ^a	9.2 ^a	95.2 ^a

* Means in the same column with different superscripts differ significantly, $P < 0.05$.

[§] KT1: Kenting no.1; FSH 01: high stem type line; FSM 02: tillering type line.

芻料高粱或青割玉米約播種後 55 — 65 天開花，以高莖型芻料高粱最早抽穗開花，其次為青割玉米與分蘗型芻料高粱，兩者生育特性較為一致。於生育 75 天進行青割玉米與不同芻料高粱植株各部位鮮重與乾物率比較 (表 2)。結果顯示，不同作物間生育差異，以單株鮮重性狀最為明顯。由表 2 知，單植高莖型芻料高粱單株鮮重 865.5 g 最重，顯著高於其他單、混植芻料高粱及青割玉米 ($P < 0.05$)；與高莖型芻料高粱 FSH 01 品系混植的青割玉米單株鮮重為 682.8 g，顯著高於單植青割玉米、單混植的分蘗型芻料高粱 FSM 02 品系及混植的高莖型高粱 ($P < 0.05$)，顯示青割玉米與芻料高粱混植栽培方式，2 個芻料高粱新品系生育均明顯受青割玉米生長與競爭影響。進一步分析不同單、混植之植株各部位鮮重，以混植高莖型芻料高粱組合的青割玉米，其葉、莖與穗的鮮重均顯著增加，顯示青割玉米與高莖型芻料高粱混植栽培時，青割玉米可能有較佳生育優勢。相對地，高莖型芻料高粱其莖、葉與穗的鮮重均明顯減少，顯示受青割玉米生育影響。同樣地，分蘗型芻料高粱 FSM 02 品系與青割玉米混植栽培，其生育亦明顯受青割玉米生長影響。植株乾重差異方面，與高莖型芻料高粱混植之青割玉米 237.6 g 及單植的高莖型芻料高粱 232.2 g 最重，與青割玉米混植之高莖型芻料高粱 121.9 g 及與青割玉米混植之分蘗型芻料高粱 108.3 g 最輕。綜合試驗結果顯示，與青割玉米混植之不同生育型芻料高粱生育明顯受青割玉米生長影響。

II. 夏作芻料高粱宿根再生栽培

春作混植試驗於刈割收穫，行田間灌水、除草與施肥作業，續行芻料高粱宿根再生栽培。於栽培生育約 82 日進行第一次宿根再生栽培生育調查與比較 (表 3)。由表 3 宿根栽培結果顯示，因無青割玉米生長影響，主要是不同生育型芻料高粱品系宿根栽培的生育特性差異，不同單、混植方式之芻料高粱品系在植株總鮮重與乾物率含量均呈顯著差異。單株總鮮重與總乾物重均以單植高莖型芻料高粱 FSH 01 品系最重，顯著高於其他單、混植芻料高粱品系 ($P < 0.05$)。比較不同生育型芻料高粱品系在單、混植栽培在植株鮮重間均有顯著差異；植株總乾物重均以單植高

莖型芻料高粱 FSH 01 品系最重，顯著高於其他單、混植芻料高粱品系 ($P < 0.05$)。比較不同生育型芻料高粱品系在單、混植栽培之植株乾物重間均呈顯著差異；莖/葉乾物重比，以單、混植高莖型芻料高粱 9.9 – 10.5 最高，顯著高於單、混植分蘗型芻料高粱 3.5 – 3.7，單植分蘗型芻料高粱 3.5 最低；乾物率以混植青割玉米之分蘗型芻料高粱 34.6% 最高，顯著高於單、混植青割玉米之高莖型芻料高粱及單植分蘗型芻料高粱 ($P < 0.05$)。夏作芻料高粱宿根再生栽培結果顯示，混植青割玉米栽培之宿根芻料高粱有增加芻料高粱乾物率趨勢。

表 2. 青割玉米與芻料高粱於春作不同栽培方式播種後 75 天之單株植株各部位鮮重與乾物率比較

Table 2. Comparison of fresh weights and dry matter percentages of forage corn and forage sorghum with different planting methods 75 days after planting in spring crop

Crop	Variety /line	Planting method	Leaf fresh weight	Stem fresh weight	Spike fresh weight	Total fresh weight	Dry matter percentage	Dry weight
			g/plant	g/plant	g/plant	g/plant	%	g/plant
Forage corn	KT 1 [§]	Pure stand	83.3 ^c	216.7 ^d	238.9 ^a	538.9 ^c	32.5 ^a	175.1 ^b
		Mixed with FSH 01	130.6 ^{a*}	291.1 ^c	261.1 ^a	682.8 ^b	34.8 ^a	237.6 ^a
		Mixed with FSM 02	88.9 ^c	200.0 ^d	211.9 ^a	500.8 ^c	33.2 ^a	166.3 ^b
Forage sorghum	FSH 01	Pure stand	131.1 ^a	672.2 ^a	62.2 ^b	865.5 ^a	26.8 ^c	232.0 ^a
	FSH 01	Mixed with KT 1	72.2 ^c	327.8 ^{bc}	27.8 ^c	427.8 ^d	28.5 ^b	121.9 ^c
	FSM 02	Pure stand	100.1 ^b	377.8 ^b	61.1 ^b	540.0 ^c	30.2 ^b	163.1 ^b
	FSM 02	Mixed with KT 1	52.2 ^d	283.3 ^c	27.8 ^c	363.3 ^c	29.8 ^b	108.3 ^c

* Means in the same column with different superscripts differ significantly, $P < 0.05$.

[§] As shown in Table 1.

表 3. 芻料高粱不同栽培方式刈割後宿根再生 82 天單株鮮重與乾重比較

Table 3. Comparison of fresh weights and dry weights of forage sorghum with different planting method reforming 82 days after cutting

Crop	Variety /line	Planting method	Fresh weight	Dry weight	Stem/leaf dry weight	Dry matter percentage
			g/plant	g/plant		%
Forage sorghum	FSH 01 [§]	Pure stand	3,517.3 ^{a*}	949.7 ^a	10.5 ^a	27.0 ^c
	FSH 01	Mixed with KT 1	2,197.7 ^b	608.0 ^b	9.9 ^a	27.7 ^c
	FSM 02	Pure stand	1,807.3 ^c	578.3 ^c	3.5 ^b	32.0 ^b
	FSM 02	Mixed with KT 1	1,686.7 ^d	583.6 ^b	3.7 ^b	34.6 ^a

* Means in the same column with different superscripts differ significantly, $P < 0.05$.

[§] As shown in Table 1.

III. 春作混植主收穫與夏作宿根再生刈割鮮重產量預估

春作於栽培約 82 日進行刈割收穫與產量預估 (表 4)，由表 4 可知單位面積產量以混植青割玉米與分蘗型芻料高粱栽培有最高牧草收量 (62.0 mt/ha)，單植高莖型芻料高粱次之 (55.0 mt/ha)，均顯著高於其他單、混植組合 ($P < 0.05$)。青割玉米混植高莖型芻料高粱栽培，青割玉米 25.5 mt/ha，高莖型芻料高粱 16.0 mt/ha；青割玉米混植分蘗型芻料高粱栽培方式，青割玉米牧草收量 37.2 mt/ha，分蘗型芻料高粱 24.8 mt/ha，以單植青割玉米與單植分蘗型芻料高粱鮮草產量最低 (40.2 與 39.8 mt/ha)。春作在生育後期，因持續大量降雨，造成單植青割玉米與單植分蘗型芻料高粱生育變差而影響牧草收量，高莖型芻料高粱品系生育則不受影響。Getachew *et al.* (2016) 研究結果顯示，因應未來氣候變遷下農業栽培環境的劇烈變化如降雨頻度改變、大氣二氧化碳濃度的升高與高溫乾旱的氣候，節水與耐旱性強的高粱屬作物應可作為玉米的替代作物選項，栽培高粱作物除可適應高溫乾旱環境外，亦可得到較為穩定的收穫量。本試驗結果顯示，選擇栽培優良的芻料高粱品種進行單植或混植栽培，結果與 Getachew *et al.* (2016) 研究一致，顯示如能選育更適應臺灣多降雨氣候環境的本土性芻料高粱品種，則有栽培推廣的應用潛力。有關芻料高粱混植或間植等不同栽培方式的研究，大都以不同的豆科作物為主要混植種類，有明顯提高產量與提升品質 (Sankaranarayanan *et al.*, 2005; Ayub and Shoaib, 2009; Lithourgidis *et al.*, 2011; Kadam *et al.*, 2017) 及增加芻料蛋白質產量與淨收益 (Pal *et al.*, 2014) 等效益。同為禾本科作物混植栽培之相關文

獻較少。Elemo (2010) 研究結果顯示，高粱（穀粒型）與玉米混植或間植的栽培方式，收穫量明顯受栽培密度與栽培管理等因素影響，栽培密度過密則影響籽粒收穫產量與品質。因此，有鑑於此，本研究種植及栽培管理方式參考 Elemo (2010) 試驗方法進行，以期建立最佳的栽培管理模式以利後續栽培推廣之參考。本研究結果亦與 Samarappuli and Berti (2018) 研究結果一致，高粱（穀粒型）植株的生育亦明顯受飼料玉米生長影響而降低。

表 4. 青割玉米與芻料高粱不同栽培方式之各次收穫鮮重與總鮮重產量

Table 4. The fresh yields of forage corn and forage sorghum with different planting methods for each harvest and total production

Plant method	Crop	Variety/line	Main fresh yield	First ratoon harvest	Total fresh yield
			mt/ha	mt/ha	mt/ha
Pure stand	Forage corn	KT 1 [§]	40.2 ^b	—	40.2 ^c
	Forage sorghum	FSH 01	55.0 ^{a*}	63.1 ^b	118.1 ^a
		FSM 02	39.8 ^b	55.8 ^c	95.6 ^b
Mixed plating	Forage corn with forage sorghum	KT 1 and FSH 01	41.5 ^b	78.4 ^a	119.9 ^a
	Forage corn	KT 1	(25.5)	—	—
	Forage sorghum	FSH 01	(16.0)	78.4	—
	Forage corn with forage sorghum	KT 1 and FSM 02	62.0 ^a	62.8 ^b	124.8 ^a
	Forage corn	KT 1	(37.2)		
	Forage sorghum	FSM 02	(24.8)	62.8	

* Means in the same column with different superscripts differ significantly, $P < 0.05$.

§ As shown in Table 1.

夏作芻料高粱宿根於栽培約 80 日進行刈割與牧草收量預估（表 4）。單位面積預估產量以混植高莖型芻料高粱有最大牧草鮮重（78.4 mt/ha），顯著高於混植分蘗型芻料高粱鮮草產量（62.8 mt/ha）。累計春、夏作各單、混植栽培組合牧草鮮草總收量，混植分蘗型芻料高粱牧草收量 124.8 mt/ha、混植高莖型芻料高粱牧草收量有 119.9 mt/ha，均與單植高莖型芻料高粱牧草收量之 118.1 mt/ha 相近且無顯著性差異，單植青割玉米 40.2 mt/ha 牧草收量最低。推測夏作芻料高粱宿根產量高的原因，於宿根栽培期間溫度高、降雨量多且生育快速，因此，單株的植株鮮重較春作明顯增加，且分支數目多，牧草收量高。依試驗結果推薦，如於春、夏多降雨期間採用青割玉米混植芻料高粱的栽培模式，可得穩定與較高牧草收量。

IV. 營養成分分析

表 5 為春作混植試驗青割玉米與芻料高粱植株主要營養成分比較。混植栽培之牧草收穫以整行刈割後依青割玉米與芻料高粱鮮草 1:1 比率均勻混合細切後，調製為青貯小包裝。不同單、混植之芻料高粱粗蛋白質含量分別 8.53 與 9.81%，單植分蘗型芻料高粱粗蛋白質含量 9.81%，與青割玉米混植之分蘗型芻料高粱蛋白質含量 9.29% 稍低，以與青割玉米混植的高莖型芻料高粱粗蛋白質含量 8.53% 最低。單、混植芻料高粱的青割玉米粗蛋白質含量介於 7.82 — 9.28%，與高莖型芻料高粱混植的青割玉米為 9.28% 最高，顯著高於單植青割玉米 7.82%。中洗纖維方面，以單植高莖型芻料品系 59.16% 最高，與其他單、混植組合之芻料高粱有顯著差異，單植分蘗型芻料高粱品系中洗纖維 53.46% 最低。酸洗纖維方面，不論單、混植青割玉米之芻料高粱品系，酸洗纖維含量則介於 39.21 — 39.87% 最高，以單植及與分蘗型芻料高粱品系混植的青割玉米最低（依次為 29.34 與 29.02%），與不同單、混植組合芻料高粱間均達顯著差異，顯示青割玉米品質仍較優於芻料高粱。分析本研究栽培期間，在生育中期遇高溫及乾旱氣候，生育後期則逢連續降雨等不利栽培的生長環境，青割玉米生育受限，影響青割玉米的營養成分與品質。

V. 青貯品質分析

春作單、混植於適期刈割收穫，進行真空小包裝青貯料調製。青貯品質分析結果如表 6。由表 6 知，pH 介於 3.65 — 3.77，以單植高莖型芻料高粱 pH 3.65 最低，單植青割玉米 pH 3.78 最高，單植芻料高粱品系有較低 pH；各單、混植栽培之芻料，乙酸含量介於 0.83 — 1.37%，單植青割玉米 1.37% 最高，與青割玉米混植分蘗型芻料高粱 FSM 02 品系之混合芻料乙酸 0.83% 最低；丙酸含量均在 0.01% 或以下；丁酸含量介於 0.02 — 0.04%

間，各單、混植組合間差異不大；乳酸介於 5.52 — 8.23% 之間，以混植分蘗型芻料高粱 FSM 02 最高。試驗結果顯示，不論單、混植栽培組合芻料，所有青貯品質評分均達優良等級 (93.0 — 98.0)。

表 5. 青割玉米與芻料高粱於春作不同栽培方式植體營養成分

Table 5. Nutrient contents of forage corn and forage sorghum with different planting methods in spring crop (% DM basis)

Crop	Variety /line	Planting method	CP [#]	NDF	ADF
Forage corn	KT 1 [§]	Pure stand	7.82 ± 0.19 ^c	57.93 ± 1.06 ^b	29.34 ± 2.67 ^d
		Mixed with FSH 01	9.28 ± 1.57 ^{ab}	58.11 ± 1.26 ^{ab}	31.41 ± 2.31 ^c
		Mixed with FSM 02	8.49 ± 0.83 ^b	57.93 ± 1.07 ^b	29.02 ± 0.46 ^d
Forage sorghum	FSH 01 [§]	Pure stand	8.58 ± 0.42 ^b	59.16 ± 0.77 ^a	39.87 ± 0.41 ^a
	FSH 01	Mixed with KT 1	8.53 ± 1.20 ^b	57.17 ± 2.91 ^{bc}	39.21 ± 1.13 ^a
	FSM 02	Pure stand	9.81 ± 1.54 ^{a*}	53.46 ± 1.99 ^c	39.84 ± 2.65 ^a
	FSM 02	Mixed with KT 1	9.29 ± 1.52 ^{ab}	57.18 ± 2.91 ^{bc}	39.38 ± 1.69 ^a
Forage corn with forage sorghum	KT1 and FSH 01	Mixed with KT I and FSH 01	9.02 ± 1.17 ^{ab}	57.65 ± 3.21 ^{bc}	34.24 ± 2.03 ^b
	KT1 and FSM 02	Mixed with KT 1 and FSM 02	8.85 ± 0.98 ^b	57.45 ± 1.05 ^b	34.08 ± 1.46 ^b

* Means in the same column with different superscripts differ significantly, P < 0.05.

§ As shown in Table 1.

CP: crude protein, NDF: neutral detergent fiber, ADF: acid detergent fiber.

表 6. 青割玉米與芻料高粱不同栽培方式之青貯品質

Table 6. The silage quality of forage corn and forage sorghum with different planting methods

Planting method	Variety/line	pH	Acetic acid	Propionic acid	Butyric acid	Lactic acid	Flieg's score
----- % DW -----							
Pure stand	KT I [§]	3.78 ^{a*}	1.37 ^a	0.01	0.02 ^b	5.09 ^d	96.5
	FSH 01	3.65 ^b	0.85 ^c	0.01	0.04 ^a	7.81 ^b	96.5
	FSM 02	3.69 ^b	1.05 ^b	0.00	0.04 ^a	8.23 ^a	96.5
Mix planting	KT I with FSH 01	3.77 ^a	1.02 ^b	0.01	0.04 ^a	5.52 ^d	93.0
	KT I with FSM 02	3.76 ^a	0.83 ^c	0.01	0.02 ^b	6.66 ^c	98.0

* Means in the same column with different superscripts differ significantly, P < 0.05.

§ As shown in Table 1.

結 論

本研究春作混植結果顯示，青割玉米單、混植不同生育型芻料高粱之栽培方式，混植高莖型芻料高粱與青割玉米組合植株間生育有明顯競爭現象，青割玉米顯現較強競爭優勢，有較佳植株鮮重，明顯影響高莖型芻料高粱生育，因此，混植組合中高莖型芻料高粱品系受青割玉米生育競爭影響。依據夏季芻料高粱宿根再生栽培結果，宜篩選再生能力強與分蘗性高的芻料高粱品系，以供後續進行混植栽培品種利用選擇。青割玉米與不同生育型芻料高粱混植的栽培模式，在春、夏季多降雨期間，不論春作主收穫或夏作宿根再生牧草產量均較單植青割玉米栽培穩定，顯示混植栽培模式有穩定牧草產量效益，適合臺灣地區春、夏季多降雨期間栽培生產，且混植栽培中不同作物間有相互保護效果，及增加作物乾物率等多種效益，極具推廣栽培潛力。

參考文獻

- A. O. A. C. 1995. Official methods of analysis. Vol.1. 16th ed. A.O.A.C. Arlington, VA, USA.
- Ayub, M. and M. Shoaib. 2009. Studies on fodder yield and quality of sorghum alone and in mixture with guara under different planting techniques. Pak. J. Agric. Sci. 46: 25-29.

- Brussaard, L., P. C. de Ruiter, and G. G. Brown. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agr. Ecosyst Environ.* 121: 233-244.
- Bulson, H. A. J., R. W. Sanydon, and C. E. Stopes. 1997. Effects of plant density on intercropped wheat and field beans in an organic farming system. *J. Agr. Sci.* 128: 59-71.
- Elemo, K. A. 2010. Productivity of maize/ sorghum intercrop as influenced by component crop density and arrangement. *J. Agric. Sci. Environ.* 10: 25-35.
- Gebbru, H. 2015. A review on the comparative advantages of intercropping to mono-cropping system. *J. Bio. Agric. Healthcare* 5: 1-13.
- Getachew, G., D. H. Putnam, C. M. De Ben, and E. J. De Peter. 2016. Potential of sorghum as an alternative to corn forage. *American J. Plant Sci.* 7: 1106-1121.
- Hauggaard-Nielsen, H. and E. Jensen. 2005. Facilitative root interactions in intercrops. *Plant Soil* 274: 237-250.
- Kadam, S. S., M. Arif and A. Kumar. 2017. Role of cropping system in forage production. *RASHTRIYA KRTSHI* 12: 1-12.
- Kihara Y., K. Nemoto, H. Suzuki, and M. Agata. M. 1991. Studies on mixed cropping of corn and sorghum. *Bull Kanagawa Prefectural Livestock Experiment Station* 81: 20-31. (In Japanese.)
- Kim, K. H., J. Tsujiguchi, and S. Uchida. 1992. Fermentation quality evaluation of Italian ryegrass silages by using the buffer index curve. *A.J.A.S.* 5: 737-740.
- Kobayashi, R., K. Sato, I. Hattori, and K. Tatenno. 2008. Seeding rate for the sorghum-sundangrass hybrid (*Sorghum bicolor* Moench x *Sorghum sudanense* [Piper] Stapf.) in the mixed seeding cultivation with corn (*Zea mays* L.) under a partial tillage condition in Kyushu region. *J. Japan Grassl. Sci.* 54: 81-88.
- Kobayashi, R., K. Tatenno, K. Sato, and I. Hattori. 2004. Practicability of corn cultivation under partial tillage with slurry as a top dressing. *J. Japan Grassl. Sci.* 50: 154-158. (In Japanese with English abstract.)
- Komarek, A. R., H. Manson, and N. Thiex. 1996. Crude fiber determination using the ANKOM system. Publ. 102. ANKOM technol. Corp., Fairport, NY. USA.
- Lithourgids, A. S., C. A. Dordas, C. A. Damalas, and D. N. Vlachostergios. 2011. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian J. Crop Sci.* 5: 396-410.
- Loreau, M. and A. Hector. 2001. Partitioning selection and complementarity on biodiversity experiments. *Nature* 412: 72-76.
- Malezieux, E., Y. Crozat, C. Dupraz, M. Laurans, D. Makowski, H. Ozier-Lafontaine, B. Rapidel, S. de Tourdonnet, and M. Valantin-Morison. 2009. Mixing plant species in cropping system: concepts, tools and models. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29: 43-62.
- Muschler, R. G. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. *Agroforest. Syst.* 85: 131-139.
- Ndakidemi, P. A. 2006. Manipulating legume/cereal mixtures to optimize the above and below ground interaction in the traditional African cropping systems. *African J. Biotechn.* 25: 2526-2533.
- Pal, M. S., A. Reza, Y. P. Joshi, and U. B. S. Panwar. 2014. Production potential of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under different intercropping systems. *Agric. Sustain. Dev.* 2: 87-91.
- Perfecto, L., A. Mas, T. Dietsch, and J. Vandermeer. 2003. Conservation of biodiversity in coffee agroecosystems: a tri-taxa comparison in southern Mexico. *Biodivers. Conserv.* 12: 1239-1252.
- Samarappuli, D. and M. Berti. 2018. Intercropping forage sorghum with maize is a promising alternative to maize silage for biogas production. *J. Cleaner Prod.* 194: 515-524.
- Sankaranarayanan, K. A. Solaimalai, and N. Sankaran. 2005. Intercropping of legume in fodder sorghum- A review. *Agric. Rev.* 26: 217-222.
- SAS. 2004. SAS procedure guide for personal computers. Statistical Version 7th ed. SAS Institute Inc., Cary, NC. USA.
- Swift, M. J., A. M. N. Izac, and M. Van Noordwijk. 2004. Biodiversity and ecosystem services. Are we asking the right questions? *Agr. Ecosyst. Environ.* 104: 113-134.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- Vogel, K., J. F. Pederson, S. D. Masterson, and J. J. Toy. 1999. Evaluation of a filter bag system for NDF, ADF and IVDMD forage analysis. *Crop Sci.* 39: 276-279.

Evaluation of the advantages of mixed planting of forage corn with forage sorghum ⁽¹⁾

Min-Lang Chang ⁽²⁾⁽⁴⁾ and Li-Jen Liao ⁽³⁾

Received: Sep. 11, 2020; Accepted: Jul. 16, 2021

Abstract

Forage corn is an important forage crop in Taiwan. The production of forage corn was short due to climatic factors in the summer. The objectives of this study were mainly to explore the advantages of mixed planting of forage corn with the different growth types of forage sorghums, which can improve the forage production and supplement the shortage of forage corn production in the summer. Forage corn Kenting No.1 (KT 1), forage sorghum (FSH 01) with high stem and forage sorghum (FSM 02) with tillering type selected by the Hengchun Branch, Livestock Research Institute, Council of Agriculture were used. There were 5 different treatments, including forage corn with pure stand, high-stem forage sorghum with pure stand, tillering type forage sorghum with pure stand, forage corn mixed with high-stem forage sorghum, and forage corn mixed with tillering type forage sorghum. The field experiment design was a Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications per treatment, with the cultivation management in compliance with the general cultivation practice. The results showed that significant growth differences were observed between crop species and among entry variety and lines in middle and late growth stage in spring crop. The growth competition was also observed in mixed planting, especially with the visible fresh weight of the plant. When forage corn was the mixed planting with forage sorghum, forage corn exhibited better growth and influence on the growth of forage sorghum. The fresh yield of tillering type forage sorghum mixed planting with forage corn was 62.0 mt/ha, which was significantly higher than that of high-stem forage sorghum mixed planting with forage corn (41.5 mt/ha) in spring crop. No lodging was observed in mixed planting between forage corn and forage sorghum. The two crop species could protect each other in mixed planting. In terms of the quality of forage silage of pure stand and mixed planting in spring crop, all silage quality scores reached the grade of excellence (93.0-98.0). For the regrowth of forage sorghum in summer, it showed that both fresh and dry weights per plant, stem/leaf ratio and dry matter percentage were significantly different between the lines. The fresh weight of forage sorghum with high-stem was 78.4 mt/ha, significantly higher than those of the others. The total fresh yield combined two harvests for forage corn mixed planting with tillering type forage sorghum, which was 124.8 mt/ha and the highest among all the treatments. It was suggested that forage corn mixed planting with tillering type forage sorghum might provide an alternative cultivation system that will increase forage production and supplement in the summer.

Key words: Forage corn, Forage sorghum, Climate change, Mixed planting, Pure stand.

(1) Contribution No. 2671 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Hengchun Branch, COA-LRI, Pingtung 94644, Taiwan, R. O. C.

(3) National Kaohsiung Normal University, Kaohsiung City 80201, Taiwan, R. O. C.

(4) Corresponding author, E-mail: mlchang@mail.tlri.gov.tw.