

大豆及青割玉米之單植與間植青貯特性比較⁽¹⁾

朱明宏⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ 陳嘉昇⁽²⁾ 林汶鑫⁽³⁾

收件日期：110 年 6 月 21 日；接受日期：110 年 10 月 27 日

摘 要

受限於玉米青貯的粗蛋白質含量不足以滿足反芻動物的需求，利用大豆與青割玉米間植成為提升玉米青貯營養價值的理想方式。本研究以青割玉米墾丁 1 號 (KT1)、中晚熟型大豆臺南 3 號 (TN3) 及晚熟型澳洲油料用大豆 (Au)，在秋作分別以大豆單植、青割玉米間植及大豆－青割玉米間植，探討間植與單植青貯發酵的差異、大豆品種對大豆與青割玉米間植青貯發酵的影響。試驗結果顯示，大豆青貯乳酸含量最低，乙酸、丙酸及丁酸含量最高，因而青貯 pH 最高、品質最低且乾物損失率最高。間植青貯 (Au-KT1 與 TN3-KT1) 除了 pH 及乙酸含量較玉米青貯高，兩者之乳酸、丙酸及丁酸等發酵產物含量及青貯評分均與玉米青貯無顯著差異。雖然間植青貯 pH、發酵產物含量及品質在發酵過程的變動趨勢與玉米青貯相似，但受到間植青貯中大豆緩衝能力高的影響，青貯 pH、發酵產物含量及品質約需 14 天才可達穩定狀態，比玉米青貯僅需 7 天為長，其乾物損失率亦顯著高於玉米青貯。Au-KT1 與 TN3-KT1 因乾物產量中大豆的比重相近 (25.3 與 24.6%)，又兩者青貯前之乾物率及芻料化學組成無顯著差異，因此大豆品種不影響參試間植青貯之 pH、發酵產物含量及品質。根據試驗結果，利用晚熟型大豆與青割玉米間植，可顯著提升玉米青貯之粗蛋白質含量並獲得產量較高且品質優良的青貯。

關鍵詞：大豆、青割玉米、間植、單植、青貯。

緒 言

青貯是利用微生物進行厭氧發酵來保存芻料營養成分的方式，近期尤以青割玉米 (*Zea mays*) 為全球最重要的青貯料源 (Wilkinson and Toivonen, 2003; Ferraretto *et al.*, 2018)。青割玉米由於單位面積產量高且易於調製成優良青貯，亦可同時供應纖維及富含能量的穀粒，因此深受反芻動物產業的喜愛 (Ferraretto *et al.*, 2018)。然而，青割玉米栽培時對於土壤肥力消耗大且易產生連作障礙 (Horwith, 1985)，又粗蛋白質含量也有其先天限制，需要仰賴豆科芻料或飼料來滿足草食動物之需求 (Anil *et al.*, 2000)。近年來，一些研究者利用豆科作物與青割玉米間植探討提升玉米青貯粗蛋白質含量之可行性 (Iqbal *et al.*, 2019; Anil *et al.*, 2000)。

大豆全株粗蛋白質含量高，豆實亦富含脂質，是一品質高、產量佳且環境適應性廣的芻料作物，常與青割玉米間植用以提升玉米青貯的營養價值 (Batista *et al.*, 2019; Zeng *et al.*, 2020)。除了提升青貯品質之外，大豆與青割玉米 (以下簡稱大豆與玉米) 間植可全程機械化栽培，亦能利用採收機同時收穫、直接混合而調製成品質優良的青貯 (Iqbal *et al.*, 2019)，避免為了提升青貯營養而將玉米、大豆分別單植，各自收穫後再費時費力混合，造成青貯調製過程延宕而營養流失。

大豆與玉米間植作為青貯雖具優勢，但仍需考量許多問題。氣候、栽培行株距、間植栽培中大豆 / 玉米的行數比值不同，均會影響大豆占間植芻料產量的比重，進而影響間植青貯的品質 (Erdal *et al.*, 2016; Batista *et al.*, 2019)。此外，大豆除依據飼糧、榨油與綠肥等用途進行分類之外，亦會以成熟期 (maturity group) 的早晚作為分類依據，成熟期的差異會造成品種間生育期不同，導致大豆與玉米間植乾物產量與青貯品質的差異 (Martin *et al.*, 1998; Zeng *et al.*, 2020)。由於青割玉米生育期長於大豆，選擇成熟期較晚的大豆與青割玉米間植，使兩種作物的收穫適期重疊性愈高，才能愈便捷地同時播種、一併收穫，進而調製產量與品質兼俱的青貯 (Metwally *et al.*, 2018)。

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2684 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所。

(3) 國立屏東科技大學農園生產系。

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

大豆在臺灣的栽培面積頗具規模，栽培適期亦與青割玉米相同，但受限於氣候及植體緩衝能力 (buffering capacity) 高的影響，需額外添加尼羅草或玉米粉才可作為青貯利用 (Chang *et al.*, 2012)。為了提升國產玉米青貯的營養價值及便於青貯調製，本研究利用青割玉米墾丁 1 號 (*Zea mays* cv. Kenting No.1，以下簡稱 KT1)、中晚熟型的大豆臺南 3 號 (*Glycine max* cv. Tainan No.3，以下簡稱 TN3) 及晚熟型的澳洲油料用大豆 (*Glycine max* cv. Leichhardt，以下簡稱 Au)，在秋作分別單植及大豆與玉米間植，當青割玉米穀粒乳漿線 (milk line) 達穀粒 1/3 成熟度時一併收穫並製作青貯，探討間植與單植青貯發酵的差異、不同大豆品種對大豆與玉米間植青貯發酵的影響，作為大豆與玉米間植青貯生產的參考。

材料與方法

I. 田間栽培管理與收穫調查

以青割玉米墾丁 1 號 (KT1)、臺南 3 號大豆 (TN3)、澳洲引進的油料用大豆 (Au) 作為試驗材料，在 2018 年 9 月 11 日種植於畜產試驗所恆春分所試驗田區。試驗採完全隨機設計 (completely randomized design, CRD)，以不同品種大豆單植、青割玉米單植、不同品種大豆分別與青割玉米間植 (2 行大豆與 2 行青割玉米交替栽培) 作為試驗處理，每種處理四重複，試驗小區面積為 6 m × 3 m，行距 60 cm，青割玉米株距 20 cm，大豆株距 6 cm，以條播方式種植，每小區 10 行。

以臺肥硝磷基黑旺特 1 號複合肥料 (N : P₂O₅ : K₂O = 20 : 5 : 10) 作為基肥，每公頃施用 300 kg，播種 45 天後再以臺肥硝磷基黑旺特 1 號複合肥料 200 kg/ha 作為追肥，以中耕培土進行雜草防除。當青割玉米穀粒乳漿線達穀粒 1/3 成熟度時，進行單植與間植之收穫調查。調查時每小區取中間 4 行，量測所有植株之鮮重以估算鮮重產量，再以此材料進行青貯試驗。每個小區另隨機取樣玉米、大豆各 10 株，經 60℃ 烘乾至恆重後計算乾物率以換算單位面積乾物產量。

II. 植體芻料化學組成分析

各處理分別於青貯前及青貯 60 天後進行取樣，取樣之間植與單植樣品經 60℃ 烘乾至恆重後計算乾物率。烘乾後的樣品研磨成粉 (篩網孔徑 1 mm)，分析項目包含粗蛋白質 (crude protein, CP)、酸洗纖維 (acid detergent fiber, ADF) 及中洗纖維 (neutral detergent fiber, NDF) 含量。分析方法如下：CP 定量參照 AOAC (2019) 之方法，ADF 及 NDF 的測定參考 Vogel *et al.* (1999) 以 ANKOM²⁰⁰ 纖維分析儀進行。

III. 青貯試驗及分析

各處理材料分別收穫後細切至 2 – 5 cm，材料混合均勻，充填於塑膠真空包裝袋中，每袋裝填 1 kg 後密封青貯，放置於室溫下貯存，在青貯第 0、2、4、7、14 及 60 天依序開封取樣，每個開封時間點均取樣 4 袋青貯料進行分析。

取開封後 20 g 新鮮青貯料加蒸餾水 180 ml，打碎過濾後以酸鹼度計測定酸鹼值。乳酸、乙酸、丙酸及丁酸之含量以氣體層析儀依 Jones and Kay (1976) 方法測定。將前述青貯萃取液注入陽離子管柱，洗出液以 0.05 N tetrabutyl ammonium hydroxide (TBAH) 滴定至 pH = 8，70℃ 下烘乾後加入定量丙酮溶解，依 TBAH 滴定量加入適量 benzyl bromide 與揮發性脂肪酸反應，樣品製備完成後再以氣相層析儀 (Shimadzu, GC-2014) 分析含量。青貯品質以 Flieg 氏評分表示，Flieg 氏評分依青貯中乳酸、乙酸與丁酸各別占所測定乙酸、丙酸、丁酸與乳酸四者總量之當量百分比進行加總評分，以此作為青貯品質 (Woolford, 1984)。評分 40 以下表示青貯失敗、40 – 60 分為可接受、60 – 80 分為好的青貯、80 分以上為發酵優良的青貯。因本研究青貯採塑膠真空包裝袋方式，密閉沒有滲漏，因此以 (青貯前乾物率 – 青貯後乾物率) / 青貯前乾物率作為乾物損失率。

IV. 數據統計分析

試驗數據以統計套裝軟體 SAS 9.4 (Statistical Analysis System, SAS 9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA) 進行變方分析 (analysis of variance, ANOVA)，如達顯著差異，各處理平均值再以最小顯著差異 (least significance difference, LSD) 進行檢定，比較各處理平均值之間是否達差異顯著。

結 果

I. 乾物產量與青貯前之營養組成

比較間植與單植之乾物產量，KT1 乾物產量最高，平均可達 14.83 mt/ha；Au-KT1 及 TN3-KT1 乾物產量次之，分別為 12.46 及 11.38 mt/ha，以 Au-KT1 乾物產量較高；Au 與 TN3 乾物產量最低，分別為 6.38 及 5.76 mt/ha (表 1)。此外，Au-KT1 及 TN3-KT1 乾物產量中大豆的比重分別為 25.3 及 24.6%。

各栽培模式之青貯前乾物率及芻料化學組成如表 2，青貯前乾物率以 TN3 最高 (33.6%)，Au-KT1 及 KT1 最低 (29.6 及 28.4%)。比較粗蛋白質含量，KT1 最低 (7.6%)，Au-KT1 與 TN3-KT1 次之 (9.7 及 10.3%)，Au 及 TN3 之粗蛋白質含量最高 (17.9 及 18.8%)。在酸洗纖維含量方面，以 Au 及 TN3 最高 (38.0 及 36.3%)，KT1 最低 (29.4%)。各栽培模式青貯前之中洗纖維含量介於 48.0 – 53.8%，除 KT1 中洗纖維含量較低，其他栽培模式間均不具顯著差異。

表 1. 大豆與青割玉米單植及間植之乾物產量

Table 1. Dry matter yield of soybean and forage corn sown as monocropping and intercropping

Type	Soybean	Corn	Total
	----- mt/ha -----		
Au-KT1 [†]	3.15 ± 0.33 [‡]	9.31 ± 0.12	12.46 ± 0.44 ^b
TN3-KT1	2.80 ± 0.04	8.58 ± 0.15	11.38 ± 0.14 ^c
Au	6.38 ± 1.11	—	6.38 ± 1.11 ^d
TN3	5.76 ± 0.62	—	5.76 ± 0.62 ^d
KT1	—	14.83 ± 0.95	14.83 ± 0.95 ^a

[†] Au-KT1, 2 rows of soybean (Au) intercropped with 2 rows of forage corn (KT1); TN3-KT1, 2 rows of soybean (TN3) intercropped with 2 rows of forage corn (KT1); Au, soybean (*G. max* cv. Leichhardt) monocrop; TN3, soybean (*G. max* cv. Tainan No.3) monocrop; KT1, forage corn (*Z. mays* cv. Kenting No.1) monocrop.

[‡] Values are means ± standard error. Values in the same column with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

表 2. 大豆與青割玉米單植及間植青貯前之乾物率及芻料化學組成

Table 2. Dry matter and forage chemical composition of soybean and forage corn sown as monocropping and intercropping before ensiling

Type	DM [†]	CP	ADF	NDF
	----- % of dry matter -----			
Au-KT1 [‡]	29.6 ± 0.2 ^{bc§}	9.7 ± 0.3 ^b	31.0 ± 0.6 ^b	50.8 ± 1.3 ^a
TN3-KT1	30.8 ± 0.2 ^b	10.3 ± 0.1 ^b	31.9 ± 0.5 ^b	51.5 ± 0.3 ^a
Au	31.6 ± 0.1 ^b	17.9 ± 0.5 ^a	36.3 ± 0.2 ^a	52.1 ± 1.0 ^a
TN3	33.6 ± 0.3 ^a	18.8 ± 0.4 ^a	38.0 ± 0.9 ^a	53.8 ± 0.2 ^a
KT1	28.4 ± 0.8 ^c	7.6 ± 0.3 ^c	29.4 ± 0.5 ^c	48.0 ± 0.9 ^b

[†] DM, dry matter; CP, crude protein; ADF, acid detergent fiber; NDF neutral detergent fiber.

[‡] Au-KT1, 2 rows of soybean (Au) intercropped with 2 rows of forage corn (KT1); TN3-KT1, 2 rows of soybean (TN3) intercropped with 2 rows of forage corn (KT1); Au, soybean (*G. max* cv. Leichhardt) monocrop; TN3, soybean (*G. max* cv. Tainan No.3) monocrop; KT1, forage corn (*Z. mays* cv. Kenting No.1) monocrop.

[§] Values are means ± standard error. Values in the same column with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

II. 青貯過程之發酵產物含量與品質變動

各處理青貯過程之發酵產物含量變動如圖 1，乳酸含量方面 (圖 1A)，Au 及 TN3 青貯的乳酸含量低，隨著發酵時間延長而逐漸增加；KT1、Au-KT1 及 TN3-KT1 青貯的乳酸含量分別在發酵 7、14 天內顯著增加，隨後維持穩定。Au 及 TN3 青貯的乙酸含量隨著發酵時間延長而顯著提升，KT1、Au-KT1 及 TN3-KT1 青貯的乙酸含量低於大豆青貯，經發酵 14 天後就漸趨穩定 (圖 1B)。Au 及 TN3 青貯的丙酸與丁酸含量高且均在發酵第 7 天後顯著增加，KT1、Au-KT1 及 TN3-KT1 青貯的丙酸與丁酸含量低，不隨發酵時間延長而出現顯著變動 (圖 1C 及 1D)。受到青貯發酵產酸的影響，KT1、Au-KT1 及 TN3-KT1 青貯之 pH 分別在前 7、14 天發酵過程中顯著下降，隨後 pH 均達趨近於 4 之穩定值。Au 及 TN3 青貯之 pH 在前 14 天發酵過程中下降緩慢，發酵第 60 天 pH 仍無法降至 5.5 以下 (圖 2)。

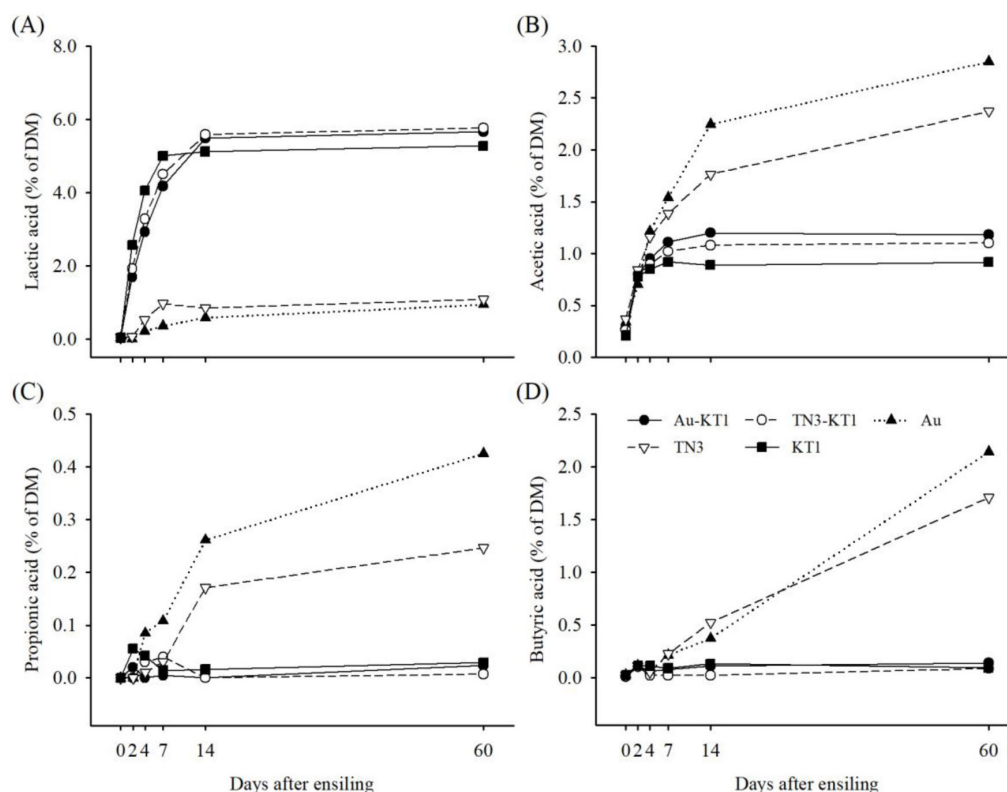


圖 1. 大豆與青割玉米單植及間植青貯過程之乳酸、乙酸、丙酸及丁酸含量變化。

Fig. 1. Changes in (A) lactic acids, (B) acetic acid, (C) propionic acid, and (D) butyric acid content (% of DM) during ensiling of soybean and forage corn sown as monocropping and intercropping. Au-KT1, 2 rows of soybean (Au) intercropped with 2 rows of forage corn (KT1); TN3-KT1, 2 rows of soybean (TN3) intercropped with 2 rows of forage corn (KT1); Au, soybean (*G. max* cv. Leichhardt) monocrop; TN3, soybean (*G. max* cv. Tainan No.3) monocrop; KT1, forage corn (*Z. mays* cv. Kenting No.1) monocrop.

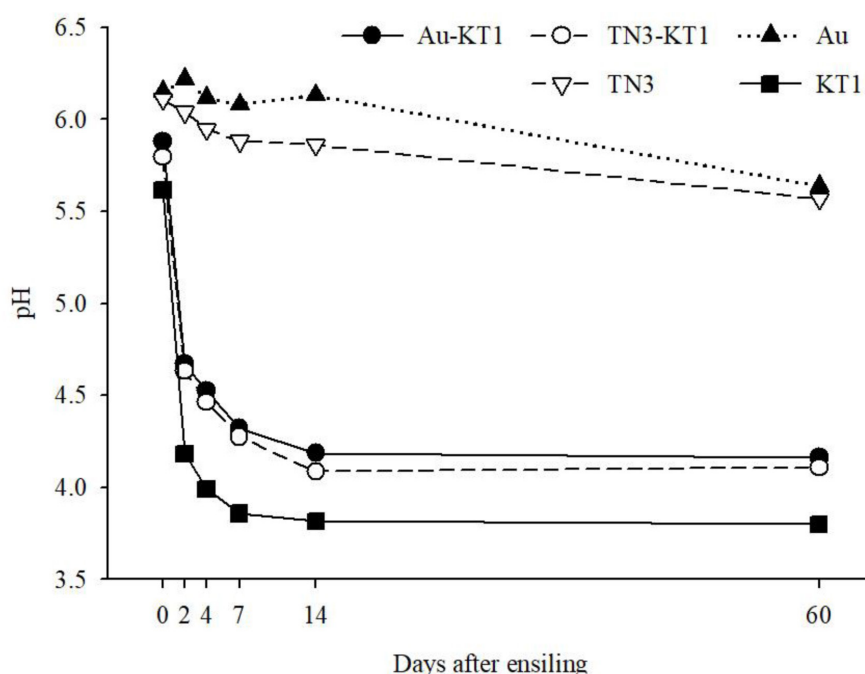


圖 2. 大豆與青割玉米單植及間植青貯過程之 pH 變化。

Fig. 2. Changes in pH during ensiling of soybean and forage corn sown as monocropping and intercropping. Au-KT1, 2 rows of soybean (Au) intercropped with 2 rows of forage corn (KT1); TN3-KT1, 2 rows of soybean (TN3) intercropped with 2 rows of forage corn (KT1); Au, soybean (*G. max* cv. Leichhardt) monocrop; TN3, soybean (*G. max* cv. Tainan No.3) monocrop; KT1, forage corn (*Z. mays* cv. Kenting No.1) monocrop.

各處理在青貯過程之品質變化如圖 3，KT1 青貯在發酵第 7 天即達 Flieg 氏評分 80.0 以上的優良品質，Au-KT1 及 TN3-KT1 青貯則在發酵第 14 天才達 80.0 分以上的青貯品質。Au 及 TN3 青貯在發酵 14 天內品質雖略有變動，但均屬於 40 分以下之失敗青貯，隨著發酵時間延長至 60 天，Au 及 TN3 青貯均下跌至約 20.0 分。

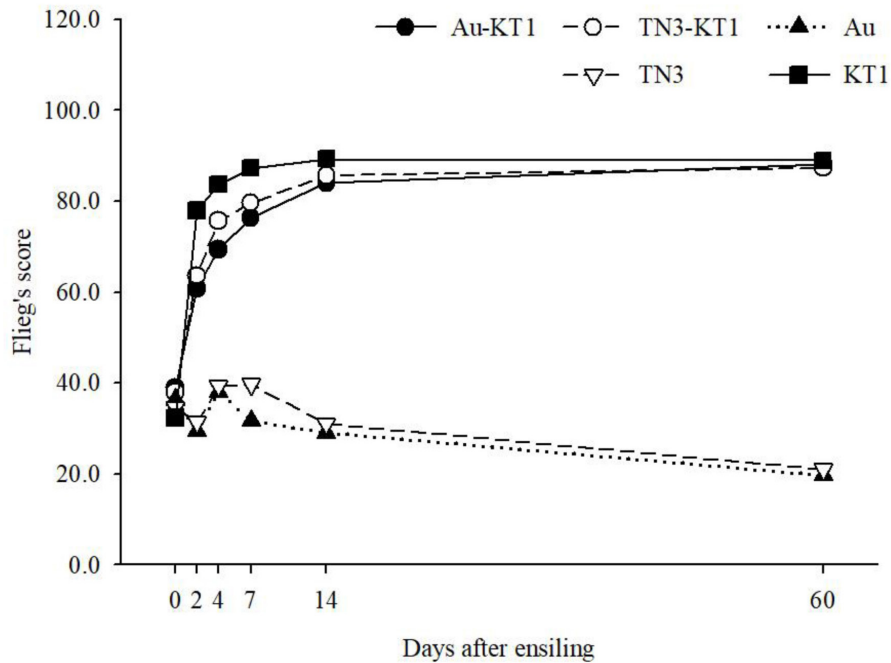


圖 3. 大豆與青割玉米單植及間植青貯過程之品質變化。

Fig. 3. Changes in silage quality (Flieg's score) during ensiling of soybean and forage corn sown as monocropping and intercropping. Au-KT1, 2 rows of soybean (Au) intercropped with 2 rows of forage corn (KT1); TN3-KT1, 2 rows of soybean (TN3) intercropped with 2 rows of forage corn (KT1); Au, soybean (*G. max* cv. Leichhardt) monocrop; TN3, soybean (*G. max* cv. Tainan No.3) monocrop; KT1, forage corn (*Z. mays* cv. Kenting No.1) monocrop.

III. 青貯品質與青貯後之營養組成

經 60 天發酵後，各栽培模式之青貯發酵產物含量及品質如表 3。Au-KT1 與 TN3-KT1 除 pH 及乙酸含量顯著高於 KT1 外，間植與玉米單植青貯之乳酸、丙酸及丁酸含量彼此間無顯著差異。間植與玉米單植之青貯評分均屬 80.0 分以上的優良等級，又處理間之青貯品質不存在顯著差異。然而，Au 與 TN3 青貯之 pH、乙酸、丙酸與丁酸含量均顯著高於其他處理，兩者之乳酸含量亦顯著低於間植與玉米單植青貯，青貯評分均屬於 21.0 分以下的不良等級。

表 3. 大豆與青割玉米單植及間植青貯 60 天後之發酵產物含量與品質

Table 3. Silage fermentation products and quality of soybean and forage corn sown as monocropping and intercropping after 60 days of ensiling

Type	pH	A [†]	P	B	L	Score
----- % of dry matter -----						
Au-KT1 [‡]	4.1 ± 0.1 ^{b§}	1.18 ± 0.11 ^b	0.02 ± 0.00 ^c	0.14 ± 0.02 ^c	5.66 ± 0.17 ^a	88.2 ± 0.9 ^a
TN3-KT1	4.1 ± 0.0 ^b	1.10 ± 0.09 ^b	0.01 ± 0.01 ^c	0.09 ± 0.02 ^c	5.76 ± 0.28 ^a	87.3 ± 1.3 ^a
Au	5.6 ± 0.2 ^a	2.85 ± 0.13 ^a	0.43 ± 0.06 ^a	2.14 ± 0.13 ^a	0.94 ± 0.03 ^b	19.7 ± 0.9 ^b
TN3	5.6 ± 0.1 ^a	2.37 ± 0.45 ^a	0.25 ± 0.02 ^b	1.71 ± 0.23 ^b	1.08 ± 0.04 ^b	21.0 ± 0.6 ^b
KT1	3.8 ± 0.0 ^c	0.92 ± 0.02 ^c	0.03 ± 0.00 ^c	0.13 ± 0.01 ^c	5.27 ± 0.09 ^a	89.7 ± 0.4 ^a

[†] A, acetic acid; P, propionic acid; B, butyric acid; L, lactic acid; Score, silage quality of Flieg's score.

[‡] Au-KT1, 2 rows of soybean (Au) intercropped with 2 rows of forage corn (KT1); TN3-KT1, 2 rows of soybean (TN3) intercropped with 2 rows of forage corn (KT1); Au, soybean (*G. max* cv. Leichhardt) monocrop; TN3, soybean (*G. max* cv. Tainan No.3) monocrop; KT1, forage corn (*Z. mays* cv. Kenting No.1) monocrop.

[§] Values are means ± standard error. Values in the same column with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

各栽培模式青貯經 60 天發酵後之乾物率介於 24.3 – 27.9%，青貯乾物損失率以 KT1 最低 (5.6%)，Au-KT1 及 TN3-KT1 次之 (10.1 及 9.7%)，Au 及 TN3 之乾物損失率最高 (22.9 及 22.2%)。比較青貯後各種栽培模式的芻料化學組成，粗蛋白質、酸洗及中洗纖維含量均以 Au 及 TN3 最高，Au-KT1 與 TN3-KT1 次之且彼此間無顯著差異，KT1 最低 (表 4)。

表 4. 大豆與青割玉米單植及間植青貯 60 天後之乾物率、乾物損失率及芻料化學組成

Table 4. Dry matter, dry matter loss rate and forage chemical composition of soybean and forage corn sown as monocropping and intercropping after 60 days of ensiling

Type	DM [†]	DM loss	CP	ADF	NDF
	%	%	----- % of dry matter -----		
Au-KT1	26.7 ± 0.2 ^{b‡}	10.1 ± 0.6 ^b	12.6 ± 0.6 ^b	29.9 ± 0.6 ^b	48.3 ± 0.8 ^b
TN3-KT1	27.9 ± 0.1 ^a	9.7 ± 0.4 ^b	12.8 ± 0.4 ^b	30.0 ± 0.5 ^b	50.9 ± 0.5 ^b
Au	24.3 ± 0.2 ^c	22.9 ± 0.4 ^a	19.8 ± 0.4 ^a	38.7 ± 0.7 ^a	52.3 ± 0.6 ^a
TN3	26.1 ± 0.1 ^b	22.2 ± 0.5 ^a	20.9 ± 0.5 ^a	40.6 ± 0.4 ^a	53.9 ± 0.9 ^a
KT1	26.8 ± 0.7 ^{ab}	5.6 ± 0.3 ^c	7.5 ± 0.3 ^c	27.7 ± 0.3 ^c	46.2 ± 0.2 ^c

[†] DM, dry matter; CP, crude protein; ADF, acid detergent fiber; NDF, neutral detergent fiber; Au-KT1, 2 rows of soybean (Au) intercropped with 2 rows of forage corn (KT1); TN3-KT1, 2 rows of soybean (TN3) intercropped with 2 rows of forage corn (KT1); Au, soybean (*G. max* cv. Leichhardt) monocrop; TN3, soybean (*G. max* cv. Tainan No.3) monocrop; KT1, forage corn (*Z. mays* cv. Kenting No.1) monocrop.

[‡] Values are means ± standard error. Values in the same column with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

討 論

大豆生育期的長短是影響大豆與玉米間植芻料產量與品質的重要因素，由於青割玉米生育期長於大豆，以晚熟型大豆與青割玉米間植，當青割玉米達收穫適期時大豆莖葉仍然鮮綠且豆莢飽滿，可顯著提升間植芻料產量與品質 (Martin *et al.*, 1998; Metwally *et al.*, 2018)。為了使大豆與青割玉米在秋作間植的收穫適期重疊度提高，本研究選擇了生育期較晚的大豆品種。然而，隨著大豆生長發育，秋作的短日照易使大豆提前進入生殖生長期，造成植株提早老化且產量下降 (Matsuo *et al.*, 2016)，因此當 KT1 達收穫適期，Au 及 TN3 分別為成熟度較高的 R6 (種子充實飽滿期, Fehr *et al.*, 1971) – R7 及 R7 (豆莢變黃，達生理成熟期) 生育階段，此時大豆及間植芻料纖維含量均高於 KT1 (表 2)，連帶影響青貯發酵後的芻料化學組成 (表 4)。

大豆緩衝能力高且水溶性碳水化合物含量低，不利於乳酸菌發酵生成乳酸，青貯 pH 下降幅度低而發酵時間長，腸桿菌 (*enterobacteria*) 及梭狀菌 (*clostridia*) 易成為大豆青貯的優勢菌種，導致乙酸與丁酸含量隨著發酵過程顯著提升，但乳酸含量低且增加緩慢 (Ni *et al.*, 2017)。反之，青割玉米緩衝能力低且水溶性碳水化合物含量高，乳酸菌能快速發酵生成乳酸，pH 在短時間內顯著下降而使青貯趨於穩定 (Mustafa *et al.*, 2005)。大豆與青割玉米混合青貯兼具大豆、玉米青貯的特性，隨著混合青貯中大豆的比重愈高，青貯緩衝能力愈高而水溶性碳水化合物含量愈低，其 pH、乙酸與丙酸含量會隨著大豆比重增加而提高 (Parra *et al.*, 2019)。本研究間植青貯除 pH 及乙酸含量高於玉米青貯，乳酸、丙酸、丁酸含量及青貯品質均與玉米青貯無顯著差異 (表 3)，推測原因為 Au 及 TN3 分別只占 Au-KT1 及 TN3-KT1 乾物產量的 25.3 及 24.6%。當大豆與青割玉米混合青貯中大豆的比重在 30% 以下，混合青貯可能僅 pH、乙酸或丙酸含量高於玉米青貯，其餘發酵產物含量及品質均與玉米青貯不具顯著差異 (Carpici *et al.*, 2016; Kizilsimsek *et al.*, 2017; Parra *et al.*, 2019)。此外，因間植青貯中大豆的比重不高，青貯發酵過程的產酸量、pH 及品質的變動趨勢均與玉米青貯相似 (圖 1、2 及 3)。然而，間植與玉米青貯的乳酸含量雖然都在發酵前 7 天顯著增加，但間植青貯乳酸生成的速度較玉米青貯慢，又大豆造成間植青貯的緩衝能力提升，使其 pH 下降幅度不如玉米青貯，需在發酵第 14 天後青貯才達穩定狀態，亦即間植青貯自發酵起始至穩定期所需的時間較玉米青貯長。

以穀粒及芻料大豆分別與青割玉米間植作為青貯，大豆品種的差異會造成間植青貯發酵產物含量及開封後的穩定性不同 (Zeng *et al.*, 2020)。然而，Au-KT1 及 TN3-KT1 青貯品質與發酵產物含量未因大豆品種不同而產生差異，可能來自於 Au 及 TN3 分別在間植乾物產量的比重相近 (25.3% 及 24.6%)，又 Au-KT1 及 TN3-KT1 青貯前的乾物率與營養組成彼此間無顯著差異 (表 2)，因此使 Au-KT1 及 TN3-KT1 青貯發酵產物含量與 pH 的變化趨勢相似 (圖 1、2 及 3)，發酵 60 天後兩者的青貯品質與發酵產物含量亦無顯著差異 (表 3)。

青貯乾物損失的多寡與何種微生物進行發酵有關，當乳酸菌以葡萄糖為受質進行同質發酵 (homofermentation)，青貯乾物損失最少；當梭狀菌為青貯發酵的優勢菌種，將造成青貯約 51.1% 乾物損失 (McDonald *et al.*, 1991)。Parra *et al.* (2019) 指出，隨著大豆與青割玉米混合青貯中大豆的比重愈高，青貯中乳酸菌占比降低而梭狀菌占比增加，導致青貯乾物損失率提高。此外，當青貯發酵後的丙酸與丁酸含量高，高機率是因梭狀菌成為青貯發酵的優勢菌種 (Kung *et al.*, 2018)。Au 及 TN3 為 100% 大豆青貯，又發酵後的丙酸與丁酸含量高 (表 3)，應是梭狀菌成為青貯發酵的優勢菌種而導致兩者乾物損失率最高，間植與玉米青貯乾物損失率的不同，可能來自於間植青貯中大豆比重較高，青貯菌相的差異造成間植青貯乾物損失率高於玉米青貯。

隨著間植栽培中大豆 / 玉米的栽培行數比值增加，大豆占間植乾物產量的比重提高，青貯的 pH 及丁酸含量增加，乳酸含量減少而青貯品質下降，當大豆 / 玉米的間植行數比值超過 50%，間植青貯品質將因大豆比重的大幅提升而 Flieg 氏評分降至 40 以下 (Erdal *et al.*, 2016)，因此栽培時需留意大豆 / 玉米的間植行數比值及大豆占間植乾物產量的比重。由於 Au-KT1 及 TN3-KT1 乾物產量中大豆的比重不高，兩種間植青貯品質均與玉米青貯無顯著差異，可達 Flieg 氏評分接近 90 的優良等級 (表 3)，兩種間植青貯的芻料化學組成與乾物損失率亦不具差異 (表 4)，但為了提高秋作的間植青貯產量，晚熟型 Au 大豆是與青割玉米間植較為理想的品種 (表 1)。

結 論

本試驗目的在於比較大豆與青割玉米間植青貯、大豆青貯及玉米青貯特性之差異。試驗結果顯示，間植青貯在發酵過程中乳酸生成的速度較玉米青貯慢，又大豆植體緩衝能力高，造成間植青貯 pH、發酵產物含量與品質達穩定狀態所需的時間較玉米青貯長，其乾物損失率亦較玉米青貯高。此外，因參試的兩種大豆在間植乾物產量之比重相近，青貯前乾物率與芻料化學組成均不具差異，因此兩種間植青貯的 pH、發酵產物含量及品質均無顯著差異，發酵過程的變動趨勢亦相同。藉由晚熟型大豆與青割玉米間植，可提升玉米青貯的粗蛋白質含量並獲得產量較高且品質優良之青貯。

參考文獻

- Anil, L., J. Park, and R. H. Phipps. 2000. The potential of forage-maize intercrops in ruminant nutrition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 86: 157-164.
- A. O. A. C. 2019. Official Methods of Analysis. 21st ed. Assoc. Offic. Anal. Chem., Arlington, VA.
- Batista, V. V., P. F. Adami, P. V. D. Moraes, K. F. Oligini, C. L. Giacomel, and L. Link. 2019. Row arrangements of maize and soybean intercrop on silage quality and grain yield. *J. Agric. Sci.* 11: 286-300.
- Carpici, E. B., 2016. Nutritive values of soybean silages ensiled with maize at different rates. *Legume Res.* 39: 810-813.
- Chang, S. R., C. H. Lu, H. S. Lur, and F. H. Hsu. 2012. Forage yield, chemical contents and silage quality of manure soybean. *Agron. J.* 104: 130-136.
- Erdal, S., M. Pamukcu, M. Curek, M. Kocaturk, and O. Y. Dogu. 2016. Silage yield and quality of row intercropped maize and soybean in a crop rotation following winter wheat. *Arch. Agron. Soil Sci.* 62: 1487-1495.
- Fehr, W. R., C. E. Caviness, D. T. Burmood, and J. S. Penningmt. 1971. Stage of development descriptions for soybean, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Sci.* 11: 929-931.
- Ferraretto, L. F., R. D. Shaver, and B. D. Luck. 2018. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *J. Dairy Sci.* 101: 3937-3951.
- Horwith, B. 1985. A role for intercropping in modern agriculture. *BioScience* 35: 286-291.
- Iqbal, N., S. Hussain, Z. Ahmed, F. Yang, X. Wang, W. Liu, T. Yong, J. Du, K. Shu, W. Yang, and J. Liu. 2019. Comparative analysis of maize-soybean strip intercropping systems: a review. *Plant Prod. Sci.* 22: 1-12.
- Jones, D. W. and J. J. Kay. 1976. Determination of volatile fatty acid C1-C6 and lactic acid in silage juice. *J. Sci. Food Agric.* 27: 1005-1014.
- Kizilsimsek, M., C. Ozturk, K. Yanar, I. Ertekin, C. O. Ozkan, and A. Kamalak. 2017. Associative effects of ensiling soybean and corn plant as mixtures on the nutritive value, fermentation and methane emission. *Fresen. Environ. Bull.* 26: 5754-5760.

- Kung, L., R. D. Shaver, R. J. Grant, and R. J. Schmidt. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *J. Dairy Sci.* 101: 4020-4033.
- Martin, R. C., T. Astatkie, and J. M. Cooper. 1998. The effect of soybean variety on corn-soybean intercrop biomass and protein yields. *Can. J. Plant Sci.* 78: 289-294.
- Matsuo, N., K. Fukami, and S. Tsuchiya. 2016. Effects of early planting and cultivars on the yield and agronomic traits of soybeans grown in southwestern Japan. *Plant Prod. Sci.* 19: 370-380.
- McDonald, P., A. R. Henderson, and S. J. E. Heron. 1991. *The Biochemistry of Silage*. 2nd ed. Chalcombe Publications, Bucks, UK.
- Metwally, A. A., S. A. Safina, T. I. Abdel-Wahab, Sh. I. Abdel-Wahab, and Y. A. A. Hefny. 2018. Productivity of soybean varieties under intercropping culture with corn in Egypt. *Soybean Res.* 16: 63-77.
- Mustafa, A. F., P. Seguin, O. Marois-Mainguy, and D. R. Ouellet. 2005. Ensiling characteristics, nutrient composition, and *in situ* ruminal and whole tract degradability of brown midrib and leafy corn silage. *Arch. Anim. Nutr.* 59: 353-363.
- Ni, K. K., F. F. Wang, B. G. Zhu, J. X. Yang, G. A. Zhou, Y. Pan, Y. Tao, and J. Zhong. 2017. Effects of lactic acid bacteria and molasses additives on the microbial community and fermentation quality of soybean silage. *Bioresour. Technol.* 238: 706-715.
- Para, C. S., D. C. Bolson, F. A. Jacovaci, L. G. Nussio, C. C. Jobim, and J. L. P. Daniel. 2019. Influence of soybean-crop proportion on the conservation of maize-soybean bi-crop silage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 257: 114295.
- Vogel, K. P., J. F. Pedersen, 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.
- Wilkinson, J. M., and M. I. Toivonen. 2003. *World Silage: a Survey of Forage Conservation around the World*. Chalcombe Publications, Southampton, UK.
- Woolford, M. K. 1984. Factors affecting silage in and out of the silo. p. 133-155. In M. K. (ed.) *The silage fermentation*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Zeng, T., X. Li, H. Guan, W. Yang, W. Liu, J. Liu, Z. Du, X. Li, Q. Xiao, X. Wang, X. Zhang, L. Huang, Q. Xiang, Q. Peng, and Y. Yan. 2020. Dynamic microbial diversity and fermentation quality of the mixed silage of corn and soybean grown in strip intercropping system. *Bioresour. Technol.* 313: 123655.

Comparison of silage characteristics among monocropping and intercropping of soybean and forage corn ⁽¹⁾

Ming-Hung Chu ^{(2) (3) (4)} Chia-Sheng Chen ⁽²⁾ and Wen-Shin Lin ⁽³⁾

Received: Jun. 21, 2021; Accepted: Oct. 27, 2021

Abstract

Due to the insufficient crude protein content of forage corn that could not meet the demand for ruminants, soybean intercropped with forage corn thus becomes an ideal mean to improve the nutrient quality of corn silage. To determine the difference of silage fermentation between monocropping and intercropping, and the effect of soybean cultivars on silage fermentation of corn-soybean intercropping, this study was conducted with forage corn (cv. Kenting No.1, KT1), intermediate-late maturing soybean (cv. Tainan No. 3, TN3) and late maturing soybean (cv. Leichhardt, Au) sown as monocropping and intercropping in fall crop season, respectively. The results showed that soybean silage was the lowest content of lactic acid and the highest content of acetic-, propionic- and butyric acid, which caused the highest pH and dry matter loss rate of soybean silage and the lowest quality among other silages. Except for the pH and acetic acid content higher than those of corn silage, the silage quality and content of fermentation products such as lactic-, propionic-, and butyric acid of intercropping (Au-KT1 and TN3-KT1) silage were not significantly different from those of corn silage. The fluctuating trend of pH, fermentation products and quality during fermentation of intercropping silage were similar to corn silage; however, subject to the high buffering capacity of soybean in intercropping silage, its pH, fermentation products and quality took about 14 days to become steady state, which was longer than that of corn silage (7 days), and the dry matter loss rate was also significantly higher than corn silage. Since Au-KT1 and TN3-KT1 had similar proportion of soybean in dry matter yield (25.3% and 24.6%), and those dry matter content and forage chemical components showed no significant difference between each other before ensiling, there was no effect on tested intercropping silage pH, content of fermentation products and quality by soybean cultivars. According to the results, late maturing soybean intercropped with forage corn could significantly increase crude protein content of corn silage and obtain silage of higher yield and quality.

Key words: Soybean, Forage corn, Intercropping, Monocropping, Silage.

(1) Contribution No. 2684 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

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

(3) Department of Plant Industry, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung 912301, Taiwan, R. O. C.

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