

太陽麻及盤固草混植栽培模式之建立⁽¹⁾

蔡立中⁽²⁾⁽³⁾ 張世融⁽²⁾ 李姿蓉⁽²⁾ 林正斌⁽²⁾

收件日期：114 年 7 月 1 日；接受日期：114 年 9 月 26 日

摘 要

太陽麻 (*Crotalaria juncea* L.) 為高產且粗蛋白質 (Crude protein, CP) 含量高之豆科作物，在世界多國廣泛應用於綠肥、纖維及飼料用途。由於臺灣畜牧業長期依賴進口豆科乾草，若能開發國產豆科牧草，有望強化國產芻料自給率並降低動物飼養成本。本研究之目標為建立太陽麻及盤固草 (*Digitaria decumbens* Stent.) 之禾豆混植模式，探討最適栽種比例及收穫期，以期提供國產豆科牧草新選擇。試驗於臺南市新化區進行，設定 4 個太陽麻播種量 (10、20、40 及 60 kg/ha)，並以相鄰盤固草純草地作為對照組。試驗於春、秋兩季進行，分別於種植後 30、45 及 60 日 (DAP30、45 及 60) 收穫，並評估其農藝性狀及芻料品質。結果顯示，以 60 kg/ha 之太陽麻播種量種植具有最高之產量，且與對照組相比其 CP 及中洗纖維 (Neutral detergent fiber, NDF) 含量具有顯著改善，芻料品質有所提升。種植日數方面，於 DAP45 時收穫能兼顧產量與芻料品質，避免 CP 含量過度降低，NDF 及酸洗纖維 (Acid detergent fiber, ADF) 含量過度增加。因此本研究建議盤固草混植太陽麻之混植方法為採用 60 kg/ha 之太陽麻播種量播種，並於 DAP45 時收穫。本研究展現了開發太陽麻作為國產豆科牧草之可行性與潛力。

關鍵詞：太陽麻、盤固草、禾豆混植。

緒 言

太陽麻 (*Crotalaria juncea* L.) 為一年生直立型熱帶豆科植物，原產自印度，常被世界各地利用作為覆蓋作物、纖維來源與飼料作物等用途，以印度、巴西、孟加拉、巴基斯坦、中國及韓國等為太陽麻主要生產國 (Eberle and Shortnacy, 2021; Garzon *et al.*, 2021)。太陽麻作為豆科作物，根部能進行固氮作用，提供土壤一定氮源，因其植株生長迅速，植體耕埋入土壤後能成為優良的綠肥作物。此外，太陽麻具有生物量大及粗蛋白質 (Crude protein, CP) 含量高等特性，亦可作為優質飼料作物，補充動物飼糧中禾本科乾草較為缺乏之蛋白質，因此評估太陽麻作為芻料餵飼動物之相關研究不曾間斷。

早期學界曾認為 *Crotalaria* 屬的植物含有吡咯利啉生物鹼 (Pyrrolizidine alkaloids, PA)，會對飼養動物造成不良影響，但後來研究顯示太陽麻含有之 PA 主要存在於種子內，且含量不多，只要不是完全餵飼動物太陽麻種子，少量的種子混在植株內，對飼養動物並無影響 (Mosjidis *et al.*, 2012)。Mansoer *et al.* (1997) 之研究顯示太陽麻葉的中洗纖維 (Neutral detergent fiber, NDF) 及酸洗纖維 (Acid detergent fiber, ADF) 含量皆適中，可作為放牧乳牛的高品質芻料。Garzon *et al.* (2021) 以太陽麻取代一半的百慕達乾草餵飼小母牛，其乾物質採食量 (Dry matter intake) 與體內乾物質消化率 (*In vivo* dry matter digestibility) 皆較完全餵飼百慕達乾草之小母牛無顯著差異，顯示以太陽麻取代部分禾本科乾草是可行的。Eberle 及 Shortnacy (2021) 之研究顯示在美國懷俄明州種植之太陽麻，其 CP、NDF 及 ADF 含量等營養組成皆能與高品質的苜蓿乾草相當，且在灌溉充足條件下，太陽麻生長快速，產量較苜蓿為高，對於飼料作物生產更有利。除了放牧、鮮飼或乾草調製，太陽麻做適度調製也能成為優良之青貯料，王等 (2009) 將太陽麻添加青割玉米，以 1 : 4 之比例調製青貯料，結果顯示其 Flieg 氏評分點 (Flieg's point) 可達 83，屬於「良好」品質之青貯料。胡 (2011) 以太陽麻混合玉米之青貯料餵飼乳羊，結果顯示不僅能被乳羊接受，且其產乳性能與單獨餵飼青割玉米青貯料之乳羊亦相近。Wanapat *et al.* (2021) 於原本餵飼稻稈的雜交肉牛芻料中添加太陽麻青貯料，發現能顯著提高乾物質、有機質、CP 及氮的消化率，並促進瘤胃的運作，且能符合雜交肉牛每日營養需求。

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2842 號。

(2) 農業部畜產試驗所飼料作物組。

(3) 通訊作者，E-mail: humanspider123@tlri.gov.tw。

由於臺灣國產豆科芻料普遍缺乏，通常必須仰賴進口苜蓿乾草，在國際市場價格波動時會對嚴重影響我國畜產業，因此開發國產豆科芻料，逐步取代進口，有利於我國畜產業發展。太陽麻具有生長快速、生物產量高及對土壤適應佳等優點，在臺灣之種植面積約為 15,000 公頃，年產量可達每公頃 15 至 20 公噸，分別屬於臺灣種植面積第二大，年產量第三高之綠肥作物（農業部，2024）。目前太陽麻在臺灣多以綠肥作物來利用，但其高產、易栽培及氮含量高之特性，作為豆科芻料在畜牧業中利用有其誘因。

禾豆混植是指禾本科與豆科牧草同時混合種植的栽培模式，比起傳統單植栽培模式，禾豆混植的優點在於豆科牧草的固氮作用能增加土壤氮素，因此施用的氮肥可以減量，在收成牧草時比起傳統單植亦能簡化工序、降低勞力成本。本研究之目的為建立豆科牧草太陽麻及禾本科牧草盤固草 (*Digitaria decumbens* Stent.) 混植之最適栽種比例及最適收穫期，為我國牧草生產業者提供國產豆科牧草新選擇，期能提升牧草自給率。

材料與方法

I. 試驗材料與試驗處理

本試驗於 2024 年 3 月 27 日至同年 11 月 11 日間，在農業部畜產試驗所（臺南市新化區）盤固草剪草區進行。於盤固草地耕犁出每塊 2.5 m × 20 m (50 m²) 之小區，以人工方式撒播太陽麻種子，撒播量分別為 A. 10、B. 20、C. 40 及 D. 60 kg/ha 等 4 組作為試驗處理，並以周邊相鄰之純盤固草地 (A254 品系) 作為對照組 CK。試驗設計採逢機完全區集設計 (Randomized complete block design, RCBD)，每個組別 3 重複。試驗分別於春秋兩季進行，並於太陽麻種植後 (Days after planting, DAP) 30 日、45 日及 60 日 (DAP30、45 及 60) 分別採樣調查，春作之試驗期間為 3 月 27 日至 5 月 23 日，秋作為 9 月 12 日至 11 月 11 日。試驗期間之雨量及氣溫資料顯示於圖 1，氣象資料取自臺南市新化區畜產試驗所之農業氣象站。試驗區之土壤背景資料顯示於表 1。春作試驗初期由於降雨不足，太陽麻種子發芽不佳，因此有輔以沼液灌溉以改善發芽率，待發芽成功後便停止灌溉，除此之外，春作及秋作於試驗期間並無額外進行其餘施肥、除草、灌溉等栽培管理工作。

II. 農藝及經濟性狀調查

- (i) 葉尖株高 (Plant height of leaf tip)：將植株葉部向上方拉直，自土面量至葉片頂點，每區測量 3 筆。
- (ii) 鮮重產量 (Fresh yield, FY)：取 2.5 m × 1 m 之鐵製方框框取範圍，收穫方框內之芻料並去除雜草，之後將芻料中太陽麻及盤固草分開，秤重並調查其單獨之鮮重產量，再將調查之鮮重產量換算為每公頃產量。總鮮重產量為單獨鮮重產量之合計。
- (iii) 乾物產量 (Dry matter yield, DY)：調查完鮮重產量後以 65°C 烘乾至恆重，後秤其總乾物產量並換算為每公頃乾物產量。乾物產量並無再將太陽麻及盤固草分開調查。
- (iv) 乾物率 (Dry matter)：總乾物產量與總鮮重產量之比值 (DY/FY)。乾物率同樣無再將太陽麻及盤固草分開調查。

III. 植體營養成分分析方法

農藝性狀調查完畢後進行 65°C 之烘乾作業，並磨粉進行植體營養成分分析。植體營養成分並無將太陽麻及盤固草分開分析。

- (i) CP：以 Kjeldahl method 測定 (Bremner and Mulvaney, 1982; A.O.A.C., 1990)。
- (ii) 水溶性碳水化合物 (Water soluble carbohydrate, WSC)：將植體樣本加入蒸餾水以 100°C 煮沸後冷卻並定量至 100 mL，後取適量萃取液依照 Paleg (1959) 之比色法測定，以分光光譜儀 (Double beam spectrophotometer. U-2900. Hitachi High-Tech, Tokyo, Japan) 設定波長 560 nm 對樣本進行 WSC 含量之測定。

表 1. 試驗前之土壤理化性質

Table 1. Soil physic and chemical properties before the trial

Season	pH	EC ¹	OM	TN	AP	EK	ECa	EMg	Soil texture
		μS/cm	----- % -----	----- ppm -----					
Spring	5.9	722.5	7.95	0.24	19.4	270.5	1100.0	439.3	Clay
Fall	5.2	50.0	4.05	0.09	3.3	32.8	800.0	135.8	Clay

¹ EC: Electrical conductivity; OM: Organic matter; TN: Total nitrogen; AP: Available phosphorus; EK: Exchangeable potassium; ECa: Exchangeable calcium; EMg: Exchangeable magnesium.

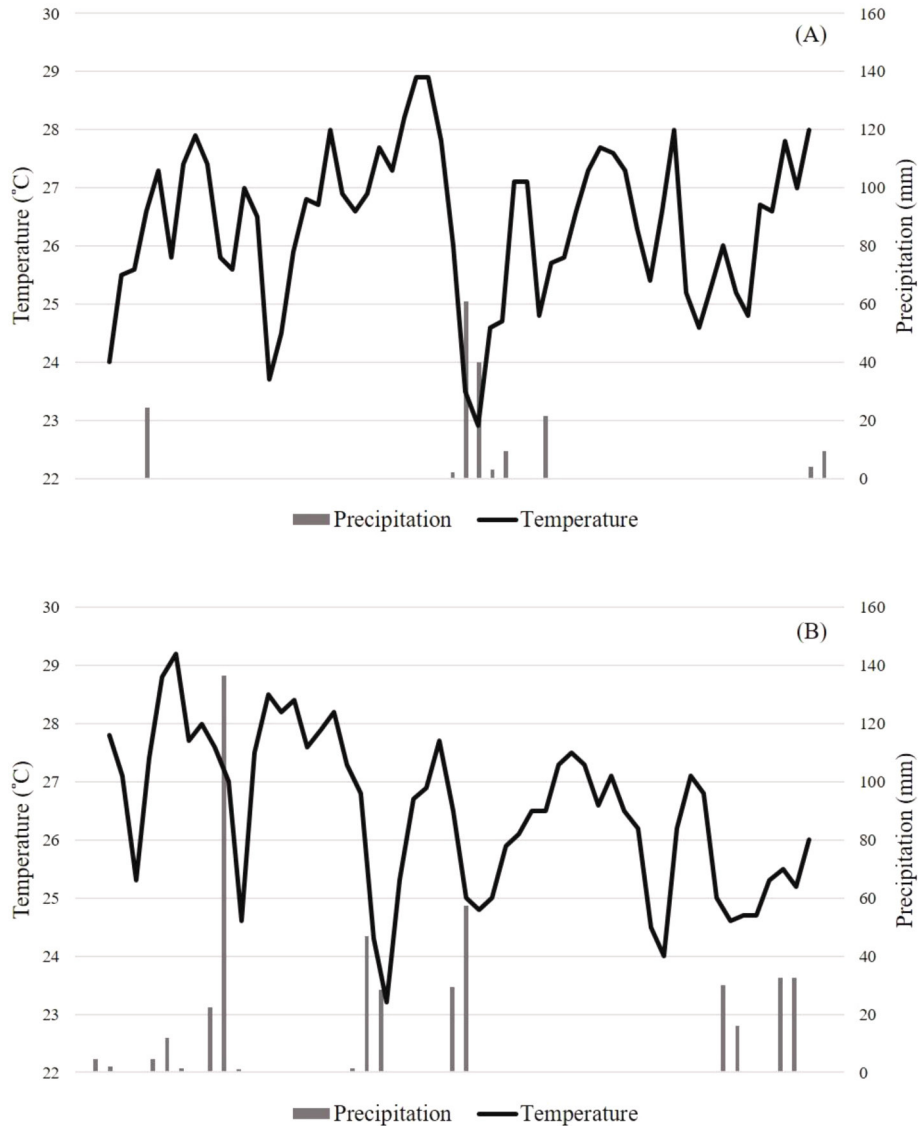


圖 1. 春作 (A) 及秋作 (B) 試驗期間之雨量及氣溫。

Fig. 1. Precipitation and temperature during the spring (A) and fall (B) trials.

- (iii) 澱粉 (Starch)：以 Yoshida *et al.* (1976) 之方法進行萃取，將植體樣本製成萃取液並加入呈色劑，之後以標準品檢量線經分光光譜儀測定 560 nm 之吸光值測定樣本之澱粉含量。
- (iv) NDF、ADF 及酸洗木質素 (Acid detergent lignin, ADL)：以纖維分析器 (Fiber analyzer. A200. ANKOM Technology, Macedon, NY, USA) 進行測定。

IV. 土壤成分分析

於試驗前採集試驗區深度 30 cm 以下之表層土壤，以自然陰乾後過篩，並分析其土壤質地、pH 值、電導度值 (Electrical conductivity, EC)、有機質 (Organic matter, OM)、總氮，及有效性磷、交換性鉀、鈣、鎂等項目。

- (i) 土壤質地：以波氏比重計 (Bouyoucos hydrometer) 進行土壤質地之分析。
- (ii) 土壤 pH 值：取土壤樣品加入等量蒸餾水 (土與水比例為 1:1) 並震盪 30 分鐘，之後以桌上型 pH 計 (Laboratory pH/mV/Temp. meter. SP-2100. SUNTEX INSTRUMENTS, New Taipei City, Taiwan) 測定土壤 pH 值。
- (iii) EC：以電導度計 (Microprocessor benchtop conductivity/resistivity meter. SC-2300. SUNTEX INSTRUMENTS, New Taipei City, Taiwan) 測定土壤電導度，土水比為 1:1。
- (iv) OM：先測定樣品中之粗灰分含量，測定方法修正自 Adrian (1973) 之乾式灰化法 (Dry-ashing method)，再利用 $OM (\%) = (100 - \text{粗灰分含量}) \times 100\%$ 求出樣品之 OM 含量。
- (v) 總氮：以 Kjeldahl method (A.O.A.C., 1990) 測定土壤總氮。
- (vi) 有效性磷：以 Bray-1 method (Bray and Kurtz, 1945) 萃取土壤有效性磷，並以分光光度計 (Double beam

spectrophotometer. U-2900. Hitachi High-Tech, Tokyo, Japan) 進行測定。

(vii) 交換性鉀、鈣及鎂：以中性醋酸銨溶液萃取土壤中之陽離子，再以原子吸收光譜儀 (Polarized Zeeman atomic absorption spectrophotometer. Z-8230. Hitachi High-Tech, Tokyo, Japan) 進行測定。

V. 統計分析

試驗資料以 SPSS 軟體 (SPSS 2011, SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. SPSS, Chicago, IL, USA) 進行統計分析，將太陽麻 5 個播種量 (包含對照組) 及 3 個種植日數設定為固定因子 (Fixed effects) 進行二因子變方分析 (Two-Way ANOVA test)，並以 LSD test 進行差異比較。

結果與討論

I. 春作

春作於 3 月底播種，試驗進行期間大致為 4 至 5 月。農藝性狀調查之差異顯著性如表 2，結果顯示太陽麻葉尖株高、太陽麻鮮重產量、總鮮重產量及總乾物產量受太陽麻播種量之影響皆達顯著差異，且所有農藝性狀調查項目顯著受種植日數之影響，反之，太陽麻播種量及種植日數在所有的農藝性狀調查項目間皆無呈現顯著交感效應 (如表 2)。太陽麻葉尖株高、太陽麻鮮重產量、總鮮重產量及總乾物產量皆以 D 組最高，顯著高於 A 及 B 組，而總鮮重產量及總乾物產量除了高於 A 及 B 組外，D 組亦高於對照組 (表 3)。盤固草之產量在所有組別間無顯著差異，而處理組間總鮮重產量及總乾物產量之差異主要取決於太陽麻產量之差異，以 D 組顯著高於其他組。Jaramillo *et al.* (2010) 發現太陽麻在 17 至 39 kg/ha 之播種量下的生物產量並無顯著差異，Eberle and Shortnacy (2021) 亦發現在灌溉足夠的條件下，播種量並不影響太陽麻生物產量，並推測在生長環境適當時，太陽麻在低密度狀況下仍能長出更多側枝，藉以彌補生物產量。在本研究中，A、B 及 C 三組之鮮重產量無顯著差異，符合過去文獻之描述，而當播種量增加至 D 組 60 kg/ha 時，其鮮重產量才具有顯著增長。

表 2. 春作太陽麻及盤固草農藝性狀調查之變方分析顯著性

Table 2. Significance of ANOVA on sunn hemp and pangolagrass agronomic traits in spring cultivation

Fixed source of variation	PHL ¹		FY			Total DM	Total DY
	Pangolagrass	Sunn hemp	Pangolagrass	Sunn hemp	Total		
Seeding rate (SR)	0.095 ²	0.006	0.428	0.002	< 0.001	0.231	0.029
Growth days (GS)	0.005	< 0.001	0.007	< 0.001	0.040	0.037	< 0.001
SR × GS	0.499	0.255	0.979	0.592	0.897	0.607	0.455

¹ PHL: Plant height of leaf tip; FY: Fresh yield; DM: Dry matter; DY: Dry matter yield.

² Probability value for the significance of the F test.

表 3. 太陽麻播種量對春作太陽麻株高、太陽麻鮮重產量、總鮮重產量及總乾物產量之影響

Table 3. The effect of sunn hemp seeding rate on sunn hemp PHL, sunn hemp FY, total FY, and total DY1 in spring cultivation

Seeding rate	Sunn hemp PHL	Sunn hemp FY	Total FY	Total DY
kg/ha	cm	----- t/ha/cut -----		t/ha/cut
A. 10	125.4 ^b	6.1 ^b	20.6 ^b	4.0 ^b
B. 20	124.0 ^b	5.4 ^b	18.3 ^b	3.5 ^b
C. 40	136.6 ^a	8.3 ^b	21.6 ^{ab}	4.4 ^{ab}
D. 60	140.5 ^a	11.6 ^a	27.9 ^a	5.6 ^a
CK. Pangolagrass			18.5 ^b	4.2 ^b

¹ PHL: Plant height of leaf tip; FY: Fresh yield; DY: Dry matter yield.

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

此外，所有的農藝性狀數值皆隨著種植日數增加而有顯著提升(表4)。DAP45及DAP60之盤固草鮮重產量顯著高於DAP30，而在DAP45及DAP60之間並無顯著差異，顯示盤固草產量在DAP45後成長趨緩。太陽麻鮮重產量在DAP45及DAP60之差異為顯著，顯示太陽麻產量在DAP45之後尚有比較大的成長。

表4. 種植日數對春作太陽麻及盤固草農藝性狀之影響

Table 4. The effect of growth days on sunn hemp and pangolagrass agronomic traits in spring cultivation

DAP ²	PHL ¹		FY			DM	Total DY
	Pangolagrass	Sunn hemp	Pangolagrass	Sunn hemp	Total		
	----- cm -----		----- t/ha/cut -----			%	t/ha/cut
30	60.0 ^b	88.2 ^c	10.1 ^b	3.7 ^c	13.0 ^c	17.2 ^b	2.1 ^c
45	65.0 ^{ab}	141.1 ^b	16.8 ^a	7.5 ^b	22.8 ^b	20.7 ^{ab}	4.7 ^b
60	69.4 ^a	165.6 ^a	18.5 ^a	12.3 ^a	28.3 ^a	22.0 ^a	6.2 ^a

¹ PHL: Plant height of leaf tip; FY: Fresh yield; DM: Dry matter; DY: Dry matter yield.

² DAP: Days after planting.

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

芻料品質方面，CP、WSC、澱粉、NDF及ADF含量受太陽麻播種量之影響皆為顯著，CP、澱粉、NDF、ADF及ADL含量受種植日數之影響皆為顯著，太陽麻播種量及種植日數在澱粉含量中之交感效應呈現顯著，其餘分析項目則無呈現交感(表5)。所有處理組之CP、WSC及NDF含量皆與對照組顯著不同，CP含量顯著高於對照組，而WSC及NDF含量顯著低於對照組，處理組間則無顯著差異；ADF含量為B組顯著低於C、D兩組及對照組(表6)。芻料品質在處理組間的差異並不顯著，主要的差異在於各處理組及對照組之間，因此處理組在混植太陽麻後，CP含量較純盤固草之對照組提升，WSC含量及NDF含量降低，ADF含量則並無變化。NDF及ADF含量一般分別與飼料作物之採食量及消化率呈負向關係(Waghorn and Clark, 2004)，因此混植太陽麻後可能有助於增加芻料之動物採食量，卻無法增加其消化率。CP含量隨著種植日數增加而顯著降低，NDF、ADF及ADL含量皆隨著種植日數增加而顯著提升(表7)。Garzon *et al.* (2021) 針對不同品種太陽麻進行芻料品質分析，太陽麻之CP含量依品種不同而有差異，但在DAP60時多為13至15%，且在開花時降至10至12%。本研究與過去文獻之結果相符，CP含量隨著種植日數增加而逐漸降低。Mansoer *et al.* (1997) 之研究顯示太陽麻NDF及ADF含量皆隨著種植日數增加而提升，與本研究之結果相符，此結果亦與一般作物隨著種植日數增加累積纖維之生長狀況相符。太陽麻播種量及種植日數在澱粉含量中之交感效應呈現顯著，表8顯示太陽麻播種量及種植日數對澱粉含量之影響。澱粉含量在DAP30時無顯著差異，但在DAP45及DAP60時皆以太陽麻播種量較高之C、D兩組較低，其中D組顯著低於A、B兩組及對照組；所有太陽麻播種量之處理組皆隨著種植日數增加而降低，其中C、D兩組達顯著差異程度。

表5. 春作芻料品質之變方分析顯著性

Table 5. Significance of ANOVA on forage quality in spring cultivation

Fixed source of variation	CP ¹	WSC	Starch	NDF	ADF	ADL
Seeding rate (SR)	< 0.001 ²	0.003	< 0.001	< 0.001	0.012	0.560
Growth days (GS)	< 0.001	0.973	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
SR × GS	0.420	0.082	0.027	0.131	0.077	0.571

¹ CP: Crude protein; WSC: Water soluble carbohydrate; NDF: Neutral detergent fiber; ADF: Acid detergent fiber; ADL: Acid detergent lignin.

² Probability value for the significance of the F test.

II. 秋作

秋作於9月中播種，試驗進行期間為9至11月。所有農藝性狀調查項目受太陽麻播種量及種植日數之影響皆為顯著，太陽麻播種量及種植日數在盤固草鮮重產量及乾物率間呈現顯著交感效應，其餘無交感(表9)。表10呈現太陽麻播種量數對農藝性狀之影響，盤固草葉尖株高以C組顯著最低，對照組顯著最高。太陽麻葉尖株

高、太陽麻鮮重產量、總鮮重產量及總乾物產量皆隨太陽麻播種量增加而顯著提升，其中 D 組及對照組之總鮮重產量顯著最高，總乾物產量則以對照組顯著最高。盤固草葉尖株高、太陽麻葉尖株高、太陽麻鮮重產量、總鮮重產量及總乾物產量皆隨著種植日數增加而顯著提升 (表 11)。太陽麻播種量及種植日數對盤固草鮮重產量及總乾物率之影響如表 12，秋季盤固草經耕犁後再生緩慢，所有處理組之盤固草鮮重產量皆顯著低於對照組，且只有對照組隨著種植日數增加而提升，其餘處理組則無顯著變化。乾物率在 DAP30 時之處理組間以 D 組為顯著最低，在 DAP45 及 DAP60 時之處理組間則無顯著差異，且不論種植日數所有處理組皆顯著低於對照組；而各播種量處理組的乾物率大致上隨著種植日數增加而提升。

表 6. 太陽麻播種量對春作粗蛋白質、水溶性碳水化合物、中洗纖維及酸洗纖維含量之影響

Table 6. The effect of sunn hemp seeding rate on CP, WSC, NDF, and ADF1 content in spring cultivation

Seeding rate	CP	WSC	NDF	ADF
kg/ha	----- % -----			
A. 10	14.7 ^a	2.0 ^b	60.9 ^b	35.1 ^{ab}
B. 20	15.7 ^a	2.4 ^b	58.2 ^b	33.6 ^b
C. 40	14.0 ^a	2.3 ^b	59.8 ^b	36.6 ^a
D. 60	14.4 ^a	1.9 ^b	59.7 ^b	36.8 ^a
CK. Pangolagrass	10.3 ^b	2.8 ^a	68.4 ^a	36.4 ^a

¹ CP: Crude protein; WSC: Water soluble carbohydrate; NDF: Neutral detergent fiber; ADF: Acid detergent fiber.

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

表 7. 種植日數對春作粗蛋白質、中洗纖維、酸洗纖維及酸洗木質素含量之影響

Table 7. The effect of growth days on CP, NDF, ADF, and ADL1 content in spring cultivation

DAP ²	CP	NDF	ADF	ADL
	----- % -----			
30	17.7 ^a	58.0 ^b	31.7 ^c	3.8 ^c
45	13.9 ^b	60.2 ^b	34.2 ^b	5.4 ^b
60	9.8 ^c	66.0 ^a	41.3 ^a	8.1 ^a

¹ CP: Crude protein; NDF: Neutral detergent fiber; ADF: Acid detergent fiber; ADL: Acid detergent lignin.

² DAP: Days after planting.

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

表 8. 太陽麻播種量及種植日數對春作澱粉含量之影響

Table 8. Effects of sunn hemp seeding rate and growth days on starch content in spring cultivation

Seeding rate	DAP ¹		
	30	45	60
kg/ha	----- % -----		
A. 10	6.7 ^{aA}	5.9 ^{abA}	5.2 ^{bA}
B. 20	6.6 ^{aA}	6.0 ^{abA}	5.3 ^{bA}
C. 40	8.2 ^{aA}	5.2 ^{bcB}	4.0 ^{bcB}
D. 60	6.8 ^{aA}	4.4 ^{cB}	2.9 ^{cB}
CK. Pangolagrass	8.9 ^{aA}	7.0 ^{aA}	8.4 ^{aA}

¹ DAP: Days after planting.

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

^{A, B} Means in the same row with different superscripts differ significantly (P < 0.05).

表 9. 秋作太陽麻及盤固草農藝性狀調查之變方分析顯著性

Table 9. Significance of ANOVA on sunn hemp and pangolagrass agronomic traits in fall cultivation

Fixed source of variation	PHL ¹		FY			Total DM	Total DY
	Pangolagrass	Sunn hemp	Pangolagrass	Sunn hemp	Total		
Seeding rate (SR)	< 0.0012	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Growth days (GS)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
SR × GS	0.351	0.401	< 0.001	0.381	0.394	< 0.001	0.285

¹ PHL: Plant height of leaf tip; FY: Fresh yield; DM: Dry matter; DY: Dry matter yield.

² Probability value for the significance of the F test.

表 10. 太陽麻播種量數對太陽麻及盤固草秋作農藝性狀之影響

Table 10. The effect of sunn hemp seeding rate on sunn hemp and pangolagrass agronomic traits in fall cultivation

Seeding rate	PHL ¹		FY		Total DY
	Pangolagrass	Sunn hemp	Sunn hemp	Total	
kg/ha	cm		t/ha/cut		
A. 10	31.8 ^{bc}	100.8 ^c	3.2 ^c	3.7 ^c	0.9 ^d
B. 20	32.0 ^{bc}	106.3 ^{bc}	5.4 ^b	5.9 ^b	1.4 ^c
C. 40	31.4 ^c	111.6 ^{ab}	6.5 ^b	6.9 ^b	1.6 ^c
D. 60	33.6 ^b	115.5 ^a	7.7 ^a	8.2 ^a	2.0 ^b
CK. Pangolagrass	36.9 ^a			8.3 ^a	2.6 ^a

¹ PHL: Plant height of leaf tip; FY: Fresh yield; DY: Dry matter yield.

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

表 11. 種植日數對太陽麻及盤固草秋作農藝性狀之影響

Table 11. The effect of growth days on sunn hemp and pangolagrass agronomic traits in fall cultivation

DAP ²	PHL ¹		FY		Total DY
	Pangolagrass	Sunn hemp	Sunn hemp	Total	
	cm		t/ha/cut		
30	29.2 ^c	59.5 ^c	3.2 ^b	4.1 ^c	0.9 ^c
45	36.8 ^a	129.6 ^b	6.7 ^a	7.4 ^b	1.9 ^b
60	33.4 ^b	136.5 ^a	7.3 ^a	8.3 ^a	2.3 ^a

¹ PHL: Plant height of leaf tip; FY: Fresh yield; DY: Dry matter yield.

² DAP: Days after planting.

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

秋作處理組中的盤固草幾乎不生長，導致處理組盤固草產量顯著低於對照組（表 12），因此秋作各組之總產量主要取決於太陽麻產量，以 D 組最高而 A 組最低（表 10）。季節性差異對盤固草產量具有顯著影響 (Vicente-Chandler *et al.*, 1961)，在本研究中，春作及秋作在試驗期中的平均氣溫分別為 26.4 及 26.5°C，累積雨量為 175 及 461 mm。單看平均氣溫及累積雨量，秋作之氣候條件似乎不比春作差，即氣溫及雨量可能並非為秋作盤固草生長緩慢之限制因子，但其他氣候因子之差異，諸如日照長度、日照率、夜溫、日夜溫差等，卻還是可能會影響盤固草之生長，成為秋作盤固草生長緩慢之限制因子。另外春作及秋作兩試驗區之土壤成分差異可能亦為影響盤固草生長的因素之一，春作之土壤 EC 值為 722.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，而秋作之土壤 EC 值僅為 50.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ （表 1），秋作試驗區之土壤明顯較春作為貧瘠。此外，春作試驗初期由於太陽麻種子發芽不佳，因此有輔以沼液灌溉以改

善發芽率，而秋作期間因颱風季，雨量較為充沛，因此並無輔以沼液灌溉，可能也是導致春秋兩作盤固草產量差異的原因之一。除了上述之環境因子之外，混植作物之競爭性亦可能為影響因素，張等 (2009) 以盤固草混植尼羅草之研究顯示，在春季進行混植時，隨生育日數增加，混植草地中盤固草之百分比會逐漸提高，而在秋季時，屬溫帶草種之尼羅草拓展較熱帶草種之盤固草為快，導致尼羅草競爭性強，盤固草之比例逐漸下降，因此混植作物之競爭性可能隨季節不同而有差異。在本研究中亦同樣展現此情形，秋作之盤固草在經混植處理後，其生長顯著劣於未混植之對照組，而在春作時卻未見此情形，顯示秋作時太陽麻給予盤固草之競爭壓力大於春作。

表 12. 太陽麻播種量及種植日數對秋作盤固草鮮重產量及總乾物率之影響

Table 12. Effects of sunn hemp seeding rate and growth days on pangolagrass FY and DM1 in fall cultivation

Seeding rate	Pangolagrass FY			DM		
	DAP30 ²	DAP45	DAP60	DAP30	DAP45	DAP60
kg/ha	t/ha/cut			%		
A. 10	0.4 ^{ba}	0.6 ^{ba}	0.7 ^{ba}	21.6 ^{ba}	23.4 ^{ba}	25.6 ^{ba}
B. 20	0.3 ^{ba}	0.5 ^{ba}	0.6 ^{ba}	19.3 ^{bcB}	23.2 ^{ba}	25.6 ^{ba}
C. 40	0.4 ^{ba}	0.3 ^{ba}	0.3 ^{ba}	19.8 ^{bcC}	23.3 ^{bb}	26.2 ^{ba}
D. 60	0.3 ^{ba}	0.4 ^{ba}	0.5 ^{ba}	17.9 ^{cC}	24.1 ^{bb}	27.2 ^{ba}
CK. Pangolagrass	6.1 ^{ab}	9.3 ^{aa}	10.5 ^{aa}	30.4 ^{aa}	33.6 ^{aa}	29.7 ^{aa}

¹ FY: Fresh yield; DM: Dry matter.

² DAP: Days after planting.

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

^{A, B, C} Means in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

芻料品質方面，所有分析項目受太陽麻播種量及種植日數之影響皆為顯著，太陽麻播種量及種植日數在WSC、澱粉及ADF間呈現顯著交感效應，其餘無交感(表13)。所有處理組之CP及ADL含量皆顯著高於對照組，而NDF含量顯著低於對照組，處理組間則無顯著差異(表14)。表15呈現種植日數對CP、NDF及ADL含量之影響。秋作收成之CP含量在處理組中約介於15至20%之間，顯著高於純盤固草之CP含量，且與苜蓿之CP含量相當(Li *et al.*, 1996)。與春作時一致，CP含量隨著種植日數增加而顯著降低，NDF含量隨著種植日數增加而顯著提升。ADL含量則為DAP45時顯著低於DAP30及DAP60。太陽麻播種量及種植日數對WSC、澱粉及ADF含量之影響如表16，WSC及澱粉含量皆為對照組顯著高於所有處理組，且處理組之間無顯著差異，各處理組在不同種植日數間大致上無顯著差異。所有太陽麻播種量處理組之ADF含量皆隨著種植日數增加而提升，且在DAP45時B、C及D三組顯著高於A組及對照組，在DAP60時所有處理組顯著高於對照組，再次顯示盤固草地混植太陽麻並不能降低牧草之ADF含量。過去文獻中，在DAP55時太陽麻之ADF含量約為46至50%之間(Mansoor *et al.*, 1997; Lepcha *et al.*, 2019)，在本研究中對照組CK純盤固草在DAP60時之ADF含量為38.2%，顯示太陽麻之ADF含量確實高於盤固草。

表 13. 秋作芻料品質之變方分析顯著性

Table 13. Significance of ANOVA on forage quality in fall cultivation

Fixed source of variation	CP ¹	WSC	Starch	NDF	ADF	ADL
Seeding rate (SR)	< 0.001 ²	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.010
Growth days (GS)	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001
SR × GS	0.138	0.011	0.007	0.174	0.032	0.067

¹ CP: Crude protein; WSC: Water soluble carbohydrate; NDF: Neutral detergent fiber; ADF: Acid detergent fiber; ADL: Acid detergent lignin.

² Probability value for the significance of the F test.

表 14. 太陽麻播種量對秋作粗蛋白質、中洗纖維及酸洗木質素含量之影響

Table 14. The effect of sunn hemp seeding rate on CP, NDF, and ADL content in fall cultivation

Seeding rate	CP	NDF	ADL
kg/ha	----- % -----		
A. 10	17.7 ^a	47.6 ^b	9.3 ^{ab}
B. 20	17.6 ^a	47.7 ^b	9.6 ^a
C. 40	17.7 ^a	47.6 ^b	10.1 ^a
D. 60	16.7 ^a	49.0 ^b	10.4 ^a
CK. Pangolagrass	6.7 ^b	63.5 ^a	8.1 ^b

¹ CP: Crude protein; NDF: Neutral detergent fiber; ADL: Acid detergent lignin.

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

表 15. 種植日數對秋作粗蛋白質、中洗纖維及酸洗木質素含量之影響

Table 15. The effect of growth days on CP, NDF, and ADL¹ content in fall cultivation

DAP ²	CP	NDF	ADL
	----- % -----		
30	16.8 ^a	46.4 ^c	10.0 ^a
45	15.1 ^b	51.4 ^b	7.6 ^b
60	13.9 ^c	55.5 ^a	10.9 ^a

¹ CP: Crude protein; NDF: Neutral detergent fiber; ADL: Acid detergent lignin.

² DAP: Days after planting.

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

表 16. 太陽麻播種量及種植日數對秋作水溶性碳水化合物、澱粉及酸洗木質素含量之影響

Table 16. Effects of sunn hemp seeding rate and growth days on WSC, starch, and ADF content in fall cultivation

Seeding rate	WSC			Starch			ADF		
	DAP30 ²	DAP45	DAP60	DAP30	DAP45	DAP60	DAP30	DAP45	DAP60
kg/ha	----- % -----								
A. 10	3.2 ^{bA}	3.4 ^{bA}	2.5 ^{bA}	1.3 ^{bA}	0.7 ^{bA}	0.6 ^{bA}	33.6 ^{aB}	35.7 ^{bB}	41.9 ^{bA}
B. 20	3.5 ^{bA}	3.2 ^{bA}	2.3 ^{bA}	0.8 ^{bA}	0.5 ^{bA}	0.6 ^{bA}	34.0 ^{aB}	40.6 ^{aA}	43.3 ^{abA}
C. 40	3.5 ^{bA}	2.8 ^{bAB}	2.2 ^{bB}	0.5 ^{bA}	0.5 ^{bA}	0.5 ^{bA}	35.1 ^{aC}	40.1 ^{aB}	44.6 ^{abA}
D. 60	2.9 ^{bA}	2.9 ^{bA}	2.2 ^{bA}	0.4 ^{bA}	0.3 ^{bA}	0.5 ^{bA}	35.9 ^{aB}	42.4 ^{aA}	45.2 ^{aA}
CK. Pangolagrass	5.6 ^{aB}	7.7 ^{aA}	5.6 ^{aB}	3.9 ^{aA}	2.4 ^{aB}	2.0 ^{aB}	35.1 ^{aB}	34.7 ^{bB}	38.2 ^{aA}

¹ WSC: Water soluble carbohydrate; ADF: Acid detergent fiber.

² DAP: Days after planting.

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

^{A, B, C} Means in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

結 論

依本試驗結果建議不論是春作或秋作種植，盤固草混植太陽麻皆以 60 kg/ha 之太陽麻播種量播種最適宜，此播種量有最高之產量，且除了 ADF 含量稍高之外，其 CP、WSC、NDF 及 ADL 含量與其他播種量比較並無顯著差異；種植日數方面應於 DAP45 時收穫，其乾物產量雖低於 DAP60，但 CP、NDF 及 ADF 含量皆較 DAP60 為優。

盤固草地進行禾豆混植是否影響後續盤固草之收穫，及禾豆混植是否具有改善土壤成分之效果，值得未來進行多年試驗進一步研究。

參考文獻

- 王紓愍、陳嘉昇、游翠凰、劉信宏。2009。太陽麻 (*Crotalaria juncea* L.) 之青貯調製研究。畜產研究 42：309-318。
- 胡同嘉。2011。不同成熟度太陽麻或花生藤分別和玉米混合製作青貯於替代泌乳羊芻料之應用。國立臺灣大學生物資源暨農學院動物科學技術學系，碩士論文，臺北市。
- 張世融、梁玉玲、林正斌、許福星。2009。混植盤固草對培植尼羅草草地之影響。中華民國雜草學會會刊 30：51-61。
- 農業部。2024。農業統計年報 (112 年)。 <https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx>。
- Adrian, W. J. 1973. A comparison of a wet pressure digestion method with other commonly used wet and dry-ashing methods. *Analyst* 98: 213-216.
- Association of the Official Analytical Chemists (A.O.A.C.). 1990. Official methods of analysis. Vol. 1. 15th ed. A.O.A.C., Arlington, VA, USA.
- Bray, R. H. and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-46.
- Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. In: Methods of soil analysis. Part 2. 2nd edition. eds. Page, A. L., Miller, R. H., and Keeney, D. R. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, USA, pp. 610-613.
- Eberle, C. and L. Shortnacy. 2021. Sunn hemp planting date effect on growth, biomass accumulation, and nutritive value in southeastern Wyoming. *Crop Sci.* 61: 4447-4457.
- Garzon, J., J. M. Vendramini, M. L. Silveira, P. Moriel, H. M. da Silva, J. C. B. Dubeux Jr, M. Kaneko, C. C. Carnelos, and P. A. Mamede. 2021. Harvest management and genotype effects on sunn hemp forage characteristics. *Agron. J.* 113: 298-307.
- Jaramillo, D. M., J. C. B. Dubeux Jr, J. M. B. Vendramini, L. M. D. Queiroz, E. R. S. Santos, M. Ruiz-Moreno, L. Garcia, D. S. de Abreu, L. R. de Miranda, and M. C. F. de Siqueira. 2020. Establishment techniques affect productivity, nutritive value and atmospheric N₂ fixation of two sunn hemp cultivars. *Grass Forage Sci.* 75: 153-158.
- Li, R., J. J. Volenec, B. C. Joern, and S. M. Cunningham. 1996. Seasonal changes in nonstructural carbohydrates, proteins and macronutrients in roots of alfalfa, red clover, sweetclover and birdsfoot trefoil. *Crop Sci.* 36: 617-623.
- Lepcha, I., H. D. Naumann, F. B. Fritschi, and R. L. Kallenbach. 2019. Herbage accumulation, nutritive value, and regrowth potential of sunn hemp at different harvest regimens and maturity. *Crop Sci.* 59: 413-421.
- Mansoor, Z., D. W. Reeves, and C. W. Wood. 1997. Suitability of sunn hemp as an alternative late-summer legume cover crop. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 246-253.
- Mosjidis, J. A., J. M. Burke, and J. B. Hess. 2012. The facts about sunn hemp toxicity. *Crop Sci.* 52: 1469-1474.
- Paleg, L. G. 1959. Citric acid interference in the estimation of reducing sugars with alkaline copper reagents. *Anal. Chem.* 31: 1902-1904.
- Vicente-Chandler, J., J. Figarella, and S. Silva. 1961. Effects of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Pangola grass in Puerto Rico. *J. Agr. U. Puerto Rico* 45: 37-45.
- Waghorn, G. C. and D. A. Clark. 2004. Feeding value of pastures for ruminants. *New Zeal. Vet. J.* 52: 320-331.
- Wanapat, M., P. Totakul, B. Viennasay, and M. Matra. 2021. Sunnhemp (*Crotalaria juncea*, L.) silage can enrich rumen fermentation process, microbial protein synthesis, and nitrogen utilization efficiency in beef cattle crossbreds. *Trop. Anim. Health Prod.* 53: 187.
- Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock, and K. A. Gomez. 1976. Determination of sugar and starch in plant tissue. In: Laboratory manual of physiological studies of rice. 3rd edition. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, pp. 46-49.

Establishment of a mixed intercropping system of sunn hemp and pangolagrass ⁽¹⁾

Li-Chung Tsai ⁽²⁾⁽³⁾ Shyh-Rong Chang ⁽²⁾ Tzu-Rung Li ⁽²⁾ and Jeng-Bin Lin ⁽²⁾

Received: Jul. 1, 2025; Accepted: Sep. 26, 2025

Abstract

Sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) is a high-yield legume crop with high crude protein (CP) content, widely utilized as green manure, fiber, and forage in most countries. The animal husbandry in Taiwan has long relied on imported legume crops. The development of domestic legume forage crops will likely improve its self-sufficiency rate and reduce animal feeding costs. This study aimed to establish a mixed intercropping system of sunn hemp and pangolagrass (*Digitaria decumbens* Stent.) through the analysis of the optimal sunn hemp seeding rates and harvest times to provide a new option for domestic legume forage crop. The trials were conducted in Xinhua, Tainan City, using four sunn hemp seeding rates (10, 20, 40, and 60 kg/ha) as treatments for comparison with a neighboring pure pangolagrass field as the control. Trials were conducted in both spring and fall, and harvested on Day 30, Day 45, and Day 60 after planting (DAP30, 45 and 60). Additionally, the agronomic traits and forage quality were evaluated. Results showed that a sunn hemp seeding rate of 60 kg/ha produced the highest yield. Compared with the control, this treatment also exhibited significant improvement on CP content and neutral detergent fiber (NDF) content, resulting in superior forage quality. Regarding the growth days, harvesting at DAP45 achieved a balance between yield and forage quality, avoiding excess declines in CP and excess increases in NDF and acid detergent fiber (ADF). In conclusion, we recommend a mixed intercropping strategy of sunn hemp and pangolagrass using a sunn hemp seeding rate of 60 kg/ha, in addition to harvesting at DAP45. This study demonstrates the feasibility and potential of sunn hemp as a domestic legume forage crop in Taiwan.

Key words: Sunn hemp, Pangolagrass, Mixed intercropping.

(1) Contribution No. 2842 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Forage Crops Division, MOA-TLRI, HsinHua, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

(3) Corresponding author, E-mail: humanspider123@tlri.gov.tw.