

太陽光電場域對混植短莖型牧草生產之可行性評估⁽¹⁾

劉建甫⁽²⁾ 陳嘉昇⁽²⁾⁽³⁾

收件日期：111 年 7 月 13 日；接受日期：112 年 7 月 20 日

摘 要

本試驗以模擬架設之太陽光電板 (solar photovoltaic panels) 方式進行盤固草 (*Digitaria decumbens* Stent.)—苜蓿 (*Medicago sativa*)、燕麥 (*Avena sativa*)—苜蓿兩種混植組合栽培試驗，以了解於現行地面型太陽光電場域下進行芻料作物栽培之可行性。試驗結果顯示，盤固草—苜蓿混植組合於無遮蔭區域 (對照) 二次刈割的產量為 8.7 mt DM/ha、鄰近光電板的半遮蔭區域產量為 8.5 mt DM/ha，二處理的單位面積產量並無差異，且盤固草與苜蓿比例於兩次收穫亦無明顯變化；但全遮蔭狀態下 (光電板下)，盤固草隨收穫次數增加有減產的趨勢，苜蓿則幾乎無法生長。燕麥—苜蓿混植組合中，燕麥於無遮蔭區生長良好達到 7.2 mt DM/ha，鄰近光電板的半遮蔭區亦達 4.8 mt DM/ha，且呈現隨遮蔭程度增加產量遞減的趨勢。於本項混植組合中，燕麥初期生長勢較強而影響苜蓿生長。綜合產量預估，於 40% 遮蔽率的光電場環境下，盤固草—苜蓿組合產量可達一般無遮蔽露地栽培的 78%，燕麥—苜蓿組合產量亦可達 60%。此外，光電板遮蔭下的牧草品質與對照間無顯著差異。由本試驗初步結果顯示，設置 40% 的光電場域可以考慮同時進行牧草栽培，可在低投入的情況下生產牧草，牧草除可供草食動物利用外，即使不以生產為目的，尚可減少地面裸露，亦具水土維護之效。

關鍵詞：光電場、盤固草、燕麥、苜蓿。

緒 言

現行的太陽光電場域，除了光電設備的維護外，清洗光電板及光電場域空間的管理如定期除草避免植物攀附光電板造成發電效率下降亦是重點工作，也需要額外支出經營成本。實際上，太陽光電板均以支架支撐設置，雖遮蔽了大面積的陽光，但其基礎結構占用地面面積不到 5%，地面大多仍能維持土壤型態，仍具農業生產潛力 (蔡等，2019)。因此如能將這種日常管理手段改以農牧經營的方式取代，如利用放牧家畜禽啃食清除雜草，或直接利用光電板下空間進行低管理強度的農業生產，或可於節省維護成本外增加農產收益，並符合法規要求，增進土地的多元利用價值。我國為能源進口國，受全球能源貿易及氣候變遷協議的影響極大，因此近年政府大力推動能源轉型，經濟部訂定 2025 年再生能源發電占比 20% 政策目標。現正積極推動太陽光電及風力發電，預計 2025 年太陽光電裝置容量達 20 GW (中華民國經濟部)，勢必需要大量的土地，亦可能造成開發過程的衝突，因此增進光電用地的多元利用或為解方之一 (Dupraz, *et al.*, 2011; 蔡等，2019)。Weselek *et al.* (2019) 的回顧研究則表示光電板大小、排列角度與模式等都會影響其間植物的生長，但除此之外，光電板遮蔭降低土壤的蒸發散量有利於旱地的生產，遮蔭環境亦可能適合耐蔭性作物的生產，顯示光電板與作物生產間的關係不一定完全是負向的。

惟利用光電設施場域並行農業生產，其影響相當複雜，因光電模組必定與農作物競爭陽光，最直接的便是遮蔭，造成平均日照量減少，影響作物光合作用進行 (Armstrong *et al.*, 2016)，除日輻射量受影響外，光照的品質或特性也會因不同的遮蔭條件而不同 (Varella *et al.*, 2011)。其次，遮蔭造成太陽輻射無法直射地面，加上光電模組的覆蓋，使得光電模組下方土壤溫度及氣溫無論是短期的日夜變化，至長期的季節性變化，均與一般露地環境大不相同 (Marrou *et al.*, 2013)。光電模組除了遮蔽光線亦能攔截雨水，雨水集中於光電板周邊傾瀉，直接沖刷土壤，導致光電模組內外土壤濕度的差異。光電設施結構物阻礙空氣流動降低區域的風速，亦影響小區域蒸發散作用 (Weselek *et al.*, 2019)。各項微氣候變化影響植物生長，植生多樣性降低、土地覆蓋率下降，總生物量也顯著降低。植物相的改

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2758 號。

(2) 農業部畜產試驗所南區分所。

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

變進一步影響土壤微生物相，進而影響溫室氣體排放、碳循環等各項指標。光電設施結構亦干擾現代化農業機械的運作，導致作業困難或效率降低。

因應目前全球對綠色能源與農業生產的需求，如何有效利用太陽光電系統下的土地，以獲取最大土地效益並維持生產，各地均有許多相關研究，其中關於芻料作物生產的研究已有部分成果。Armstrong *et al.* (2016) 於英國一個新建立的太陽光電場 (遮光率 33%) 以人工混合野花種子進行放牧草地建立及週年的環境數據收集，結果顯示太陽光電板下不僅日射量大幅降低 (減少 90%)，包含溫度、濕度、雨水分布等微氣候條件亦與露地環境截然不同，進而使得光電板下總生物量僅為露地環境的 1/4，且土壤覆蓋率較低、植物種類亦較少。Nam *et al.* (2021) 在韓國的研究測試了數種芻料作物於農電系統 (遮光率 34%) 下的生長情形，結果顯示作為冬季牧草的義大利黑麥草 (Italian ryegrass, *Lolium multiflorum*) 與大麥 (barley, *Hordeum vulgare*) 的乾物產量與露地栽培幾無差異或略低，而作為夏季牧草的玉米 (*Zea mays*) 減產了 17% (2019 年) 及 7.9% (2020 年)、高粱 (*Sorghum bicolor*) 與蘇丹草 (*Sorghum sudanense*) 的雜交品系 sx-17 則減產了 17.5% (2019 年) 及 11.4% (2020 年)；Jo *et al.* (2022) 亦報告於遮光率 30% 的農電系統中，黑麥 (rye, *Secale cereale*) 產量及品質與露地栽培無顯著差異，玉米與大豆 (*Glycine max*) 混植系統中，玉米產量與露地栽培亦無顯著差異，而大豆則略有減少。這些研究顯示不同作物對光電板遮蔭存在不同反應，其中溫帶型作物可能較適應光電板下的遮蔭環境，且年度之間的反應亦可能不一致。由於農電系統對芻料作物或草地生產影響的相關研究仍是少數，因此混農林業 (agroforestry) 研究或人工遮蔭試驗亦有一定參考價值。Ehret *et al.* (2015) 以遮光布及木條結構模擬林間遮蔭環境，進行黑麥草 (*Lolium perenne*) 及白花三葉草 (*Trifolium repens*) 混植草地栽培，結果顯示重度遮蔭 (遮光率 80%) 雖會使產草量大幅減少 (減產 70%)，惟遮光率 30% 及 50% 狀態下，草地依然能維持與無遮光環境相近的生產力；重度遮蔭環境下，白花三葉草比例於隔年大幅下降，同時雜草比例大幅增加，顯示不同作物對遮蔭程度耐受性亦有不同。

然而不同地區、不同緯度及不同氣候條件下，日照條件差異甚大，各國太陽光電設置之型態不盡相同，對生態環境及農業生產的影響亦不相同。國內政策雖極力推動太陽光電設置，但相關研究卻仍在起步階段，亟需建立本土研究資料以作為農電系統推動時的參考。本次研究以模擬架設太陽光電模組，進行芻料作物栽培試驗，觀察其對混植短莖型牧草生產之影響，並以其結果進行法規架設上限 (40% 遮蔽率) 的牧草產量推估，以為未來應用參考。

材料與方法

試驗場址位於農業部畜產試驗所南區分所 (21° 56'41"N 120° 48'12"E)，為長年栽培盤固草地。該地屬熱帶氣候區，試驗期間自 2020 年 1 月起至 6 月止，月平均氣溫自 1 月份的 19.5°C 逐步上升至 6 月份的 27.3°C；該地區冬季為明顯乾季，主要降雨時間分布於每年 5 月至 10 月間；每年冬季另有因地形造成的落山風，試驗期間瞬間最大陣風可達 15 m/s。試驗期間每月平均日照時數為 205 小時，平均全天空日射量為 581 MJ/m² (交通部中央氣象局墾丁測站觀測資料)。

本試驗設置模擬光電模組 2 組，每個光電模組單元長 18 公尺、寬 8 公尺，架設高度 3 公尺 (最低點)，傾斜面向正南偏東 (方位角 150)，傾斜角分別為 8 及 9.5，2 組光電模組平行排列，間距為 12 公尺，單組光電模組的占地比例為 40% ($18 \times 8 / 18 \times (12 + 8) = 40\%$) (圖 1)。

參試材料為盤固草 (*Digitaria decumbens*, A254)、燕麥 (*Avena sativa*, 臺大選 1 號)、苜蓿 (*Medicago sativa*)。2020 年 1 月 6 日翻耕部分試區，以真空播種機新植燕麥、苜蓿混植試區 (行距 30 cm)。其餘試區既有盤固草地刈割後，另以真空播種機混植苜蓿 (行距 30 cm) (圖 1)。

試驗於 2020 年 4 月 11 日 (種植後第 96 天) 進行盤固草—苜蓿混植組合的第一次刈割調查，2020 年 4 月 16 日 (種植後第 101 天) 進行燕麥—苜蓿混植組合的刈割調查，調查完畢後即將混植草地全面刈割收穫；2020 年 6 月 15 日 (第一次刈割後 65 天) 進行盤固草—苜蓿混植組合再生後的第二次刈割調查。調查區域劃分 (圖 2) 為遮蔭 (光電板正下方投影區域 C、G)、半遮蔭 (緊鄰光電板，於日照斜射時間歇產生遮蔭區域 B、D、F、H) 及無遮蔭 (日照狀況幾乎不受光電板陰影影響 A、E、I) 三類型。刈割收穫後的草樣進行人工揀選分類 (主作物與其他雜草)、烘乾秤重估算單位面積乾物產量，並進行化學成分分析。

前述各試驗材料烘乾後磨粉取樣進行化學成分分析，分析方法如下：粗蛋白質 (crude protein, CP) 含量依照 AOAC (1984) 之方法測定；酸洗纖維 (acid-detergent fiber, ADF)、中洗纖維 (neutral-detergent fiber, NDF) 則依照 van Soest *et al.* (1991) 之方法測定，每一樣品重複二次。

另為量測試驗區內不同區塊的實際日照差異，同時於調查區 A、C、E、G、I 各放置一組環境數值紀錄器 (型

號：HOBO Pendant® MX Temperature/Light Data Logger)，紀錄期間為 2020 年 3 月 7 日至 6 月 20 日，每 10 分鐘紀錄一筆日照資料。

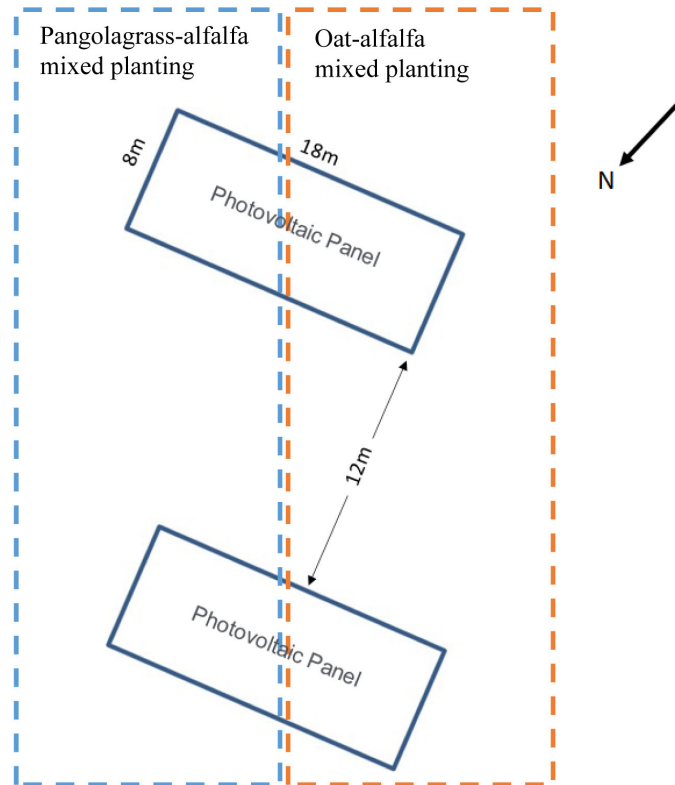


圖 1. 盤固草－苜蓿混植與燕麥－苜蓿混植試區圖。
Fig.1. Trial of pangolagrass-alfalfa and oat-alfalfa mixed planting.

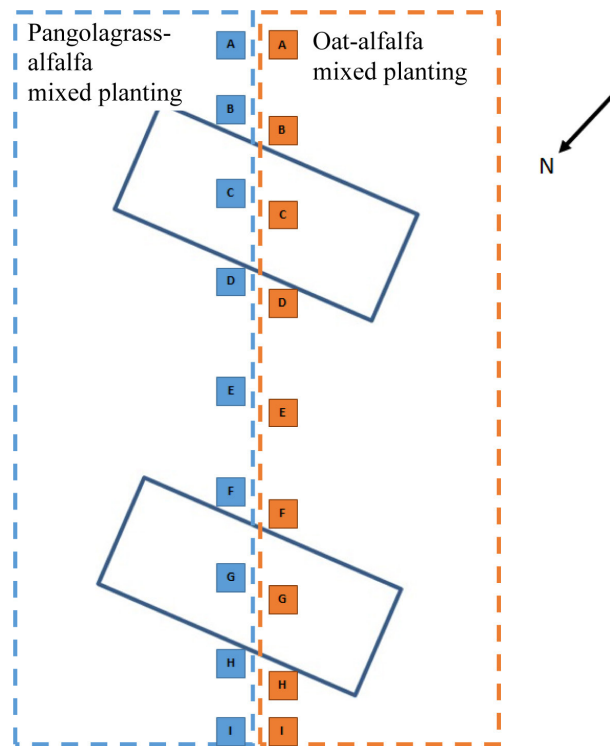


圖 2. 刈割調查位置。
A、E、I：無遮蔭區域，B、D、F、H：半遮蔭區域，C、G：全遮蔭區域。
Fig. 2. Mowing sites of the experiment.
A, E, I: unshaded areas; B, D, F, H: semi-shaded areas; C, G: fully shaded areas.

將不同混植模式各收穫期之調查資料分別以 SAS 軟體 (SAS, 2002) GLM Procedure 進行單因子變方分析，主效應為不同遮蔭程度，當特性調查結果達顯著差異時再以鄧肯氏法 (Duncan's test) 測驗處理間的差異顯著性。本試驗差異顯著水準為 $P < 0.05$ 。

結果與討論

I. 光電場中不同區域日照量比較

設置於 A、E、I 無遮蔭區域的照度紀錄器，其平均照度值分別為 20,716 lux、20,770 lux 及 20,471 lux，設置於光電板下方全遮蔭區域 C、G 的照度紀錄器，其平均照度值分別為 3,089 lux 及 2,904 lux。實測資料顯示全遮蔭區域的平均照度值僅為無遮蔭區域的 15%，表示本試驗設置的模擬光電板的遮蔭效應明顯。

II. 乾物產量比較

(i) 盤固草—苜蓿混植

盤固草—苜蓿混植草地的第一次收穫，無遮蔭區域盤固草產量達 2.5 mt DM/ha，半遮蔭區為 2.8 mt DM/ha，光電板下全遮蔭區則為 2.6 mt DM/ha，三者產量上並無顯著差異。無遮蔭區域苜蓿產量為 1.9 mt DM/ha，半遮蔭區為 1.7 mt DM/ha，兩者間無顯著差異，然光電板下苜蓿產量僅為 0.1 mt DM/ha，幾乎完全消失。無遮蔭區域的雜草占總收穫量 6.7% 較多，半遮蔭及光電板下的雜草占比分別為 1.0% 及 0.2%。

盤固草—苜蓿混植草地的第二次收穫，無遮蔭區域盤固草產量為 2.3 mt DM/ha，半遮蔭區為 2.2 mt DM/ha，產量上並無顯著差異；無遮蔭區域及半遮蔭區苜蓿再生狀況良好，前者苜蓿產量為 1.6 mt DM/ha，後者為 1.8 mt DM/ha，亦無顯著差異。無遮蔭與半遮蔭區域整體呈現與前次收穫相近的結果。然光電板下全遮蔭區域除苜蓿生長不良 (0.2 mt DM/ha) 外，盤固草產量也顯著下降 (1.2 mt DM/ha)。

綜合兩次收穫結果，無遮蔭及半遮蔭區域無論是盤固草或苜蓿，幾乎呈現相同的產量；而全遮蔭區的盤固草在第二次收穫時產量下降，苜蓿則均生長不佳，相較於無遮蔭及半遮蔭區域均呈現顯著差異，其總乾草產量僅為無遮蔭區域的 47% (表 1)。

表 1. 盤固草—苜蓿混植組合在不同遮蔭區域下的產量比較

Table 1. Yield comparison of the of pangolagrass-alfalfa mixed planting in areas under different shade-level

Shade-level	Pangolagrass	Alfalfa	Others	Total
----- mt DM/ha -----				
First harvest				
Control*	2.5 ± 0.4 ^a	1.9 ± 0.1 ^a	0.3 ± 0.3 ^a	4.7 ± 0.1 ^a
Semi-shaded	2.8 ± 0.5 ^a	1.7 ± 0.6 ^a	0.1 ± 0.1 ^b	4.5 ± 0.5 ^a
Shaded	2.6 ± 0.6 ^a	0.1 ± 0.1 ^b	0.0 ± 0.0 ^b	2.7 ± 0.5 ^b
Second harvest				
Control	2.3 ± 0.4 ^a	1.6 ± 0.8 ^a	0.1 ± 0.1 ^a	4.1 ± 0.8 ^a
Semi-shaded	2.2 ± 0.5 ^a	1.8 ± 0.5 ^a	0.0 ± 0.0 ^b	4.0 ± 0.6 ^a
Shaded	1.2 ± 0.2 ^b	0.2 ± 0.2 ^b	0.0 ± 0.0 ^{ab}	1.4 ± 0.1 ^b
Total				
Control	4.8 ± 0.5 ^a	3.5 ± 0.9 ^a	0.4 ± 0.3 ^a	8.7 ± 0.9 ^a
Semi-shaded	4.9 ± 0.7 ^a	3.5 ± 0.9 ^a	0.0 ± 0.1 ^b	8.5 ± 0.7 ^a
Shaded	3.8 ± 0.6 ^b	0.3 ± 0.3 ^b	0.0 ± 0.0 ^b	4.1 ± 0.6 ^b

* Control: no shading areas A, E and I, Semi-shaded: areas B, D, F and H next to the photovoltaic panel, Shaded: areas C and G under the photovoltaic panel.

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

盤固草—苜蓿混植組合，無遮蔭與半遮蔭條件下，於兩次收穫的草種分布比例均相近，惟無遮蔭環境下雜草較多的情形於第二次收穫時有所改善（雜草比例由 6.7% 下降至 1.8%，圖 3），推測是由於氣溫日漸升高，盤固草生長旺盛，加上苜蓿再生建立速度較第一次收穫時是由種子開始生長要快，壓制了田間雜草的生長。第二次收穫時光電板下全遮蔭區的首蓿比例有提升，應是盤固草產量幾乎減半所致。推測於本試驗啟動時，長年栽培的盤固草地下部仍累積足夠能量及養分，因此於第一次收穫時，全遮蔭區的盤固草仍能勉強維持生長並達到與其他區域相近的產量水準，然到了第二次收穫時，貯藏的養分已無法維持盤固草的地上部再生，故產量明顯銳減。

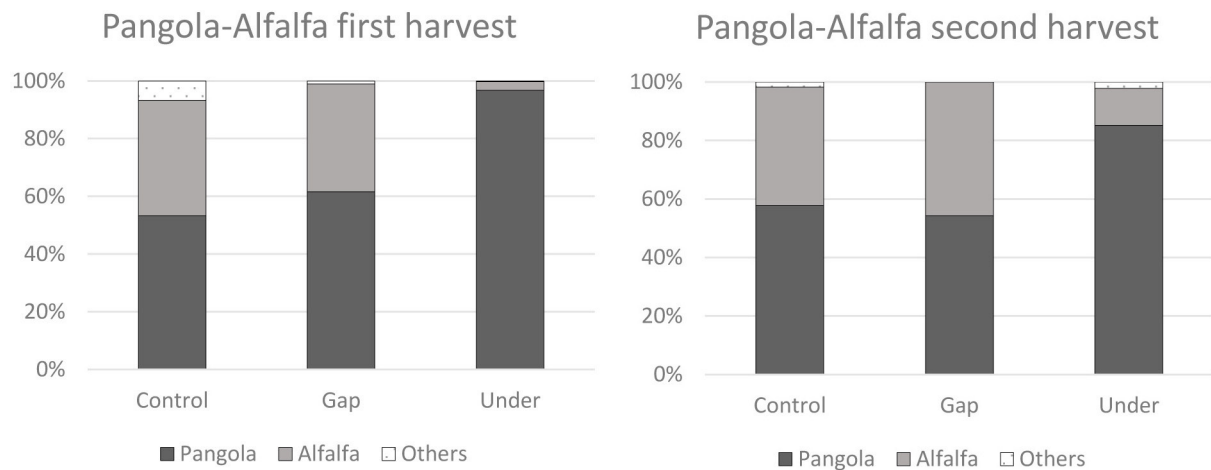


圖 3. 盤固草—苜蓿混植組合在不同遮蔭區域下兩次收穫之草種比例。

Fig. 3. Proportion of species at two harvests of pangolagrass-alfalfa mixed planting in areas under different shade-levels. Control: no shading areas A, E and I, Gap: areas B, D, F and H next to the photovoltaic panel, Under: areas C and G under the photovoltaic panel.

(ii) 燕麥—苜蓿混植

燕麥—苜蓿混植組合，無遮蔭區的燕麥產量相當高，達到 7.2 mt DM/ha，半遮蔭區為 4.8 mt DM/ha，二者統計分析結果無顯著差異，但就數據仍可觀察到燕麥生長受遮蔭程度影響而減產的趨勢。苜蓿則是普遍生長不良，於三種遮蔭程度處理中產量均低落且無顯著差異，推測除光電板遮蔭效應影響外，燕麥萌芽後生長速度較快，相較苜蓿播種後需要較長時間生長並累積能量，受到燕麥的競爭可能是影響苜蓿產量主要因素。本試區種植前已先行耕犁以移除原有的盤固草並新植燕麥，然而雜草比例亦不高（無遮蔭區、半遮蔭區及遮蔭區分別為 4.0%、11.9% 及 0.8%），推測同樣是受到燕麥快速生長佔據資源之影響。光電板下區域無論主作物與其他雜草均生長較對照組為差，苜蓿也幾乎消失，總乾草產量僅為無遮蔭區域的 30%。

表 2. 燕麥—苜蓿混植組合在不同遮蔭區域下的產量比較

Table 2. Yield comparison of oat-alfalfa mixed planting in areas under different shade-level

Shade level	Oat	Alfalfa	Others	Total
----- mt DM/ha -----				
Control*	7.2 ± 3.0 ^a	0.3 ± 0.2 ^a	0.3 ± 0.2 ^a	7.7 ± 3.0 ^a
Semi-shaded	4.8 ± 1.9 ^{ab}	0.5 ± 0.6 ^a	0.7 ± 0.8 ^a	6.1 ± 2.0 ^a
Shaded	2.3 ± 0.7 ^b	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	2.4 ± 0.7 ^b

* As shown in table 1.

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

III. 乾草營養成分比較

由統計分析結果，無論是盤固草—苜蓿混植（表 3）或燕麥—苜蓿混植（表 4）組合，於有無遮蔭環境下的營養成分均無顯著差異，表示遮蔭僅對產量造成影響，對牧草生產品質影響不顯著。

表 3. 盤固草—苜蓿混植組合於不同遮蔭程度下兩次收穫之成分分析

Table 3. Chemical composition of two harvests of pangolagrass-alfalfa mixed planting under different shade levels

Treatment	CP	NDF	ADF
	%	%	%
1st cut pangola-alfalfa (Control [*])	11.67 ± 1.12 ^a	60.84 ± 8.66 ^a	38.38 ± 2.37 ^a
1st cut pangola-alfalfa (Shaded)	10.42 ± 0.46 ^a	69.81 ± 1.59 ^a	42.45 ± 1.15 ^a
2nd cut pangola-alfalfa (Control)	12.36 ± 2.11 ^a	62.35 ± 2.88 ^a	39.93 ± 2.21 ^a
2nd cut pangola-alfalfa (Shaded)	12.80 ± 1.60 ^a	67.20 ± 4.59 ^a	41.34 ± 0.81 ^a

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

^{*} As shown in table 1.

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

表 4. 燕麥—苜蓿混植組合於不同遮蔭程度下收穫之成分分析

Table 4. Chemical composition of oat-alfalfa mixed planting under different shade levels

Treatment	CP	NDF	ADF
	%	%	%
Oat-alfalfa (Control [*])	11.59 ± 1.04 ^a	62.07 ± 2.46 ^a	35.38 ± 2.63 ^a
Oat-alfalfa (Shaded)	18.36 ± 2.19 ^a	58.35 ± 1.33 ^a	32.31 ± 3.37 ^a

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

^{*} As shown in table 1.

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

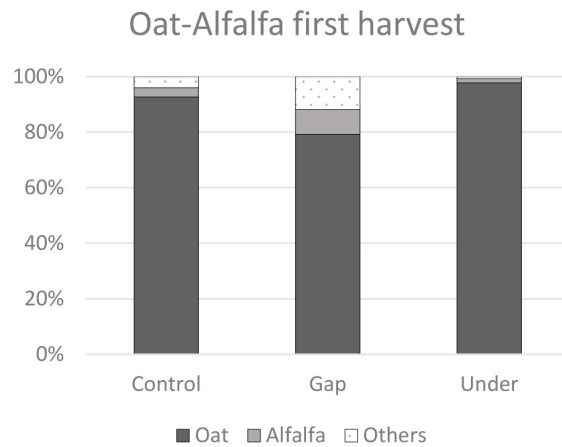


圖 4. 燕麥—苜蓿混植組合在不同遮蔭區域下收穫之草種比例。

Fig. 4. Proportion of species at harvest of oat-alfalfa mixed planting in areas under different shade-levels. Control, Gap, Under: as shown in figure 3.

IV. 討論

本試驗結果顯示遮蔭對二種混植牧草的生產均有影響，且不同草種與混植草種間的交互反應並不相同。盤固草為 C4 型植物，光飽和點高，但於本次試驗中，盤固草於半遮蔭區域之生長與對照相近，且經歷兩次再生、刈割後仍能維持穩定產量，顯示其對本試驗之間歇遮蔭狀態的耐受性相當良好，然重度遮蔭狀況下，於第二次刈割時即有明顯減產，較前次收穫降低 54%。推測可能與恆春地區的高光照度、現地之牧草生育狀況及遮蔭期間延長對地下積儲的影響有關，未來可再進一步探究。然就本次試驗產量與穩定表現，盤固草於臺灣高屏地區地面型光電場域中仍具芻料作物栽培潛力。苜蓿為 C3 型溫帶型芻料作物，光飽和點較低，但於本次試驗半遮蔭條件下，苜蓿在苜蓿—盤固草混植組合的兩次收穫均獲得穩定的產量，而在全遮蔭狀態下的生長狀況則極差，顯示高強度遮蔭對苜蓿的生長有影響，且可能同時也降低了苜蓿對盤固草的相對競爭能力。在苜蓿 - 燕麥混植組合中，苜蓿的生長在不遮蔭、半遮蔭及全遮蔭的處理下均不佳，原因可能是受到燕麥的快速萌芽與生長競爭

影響，田間觀察則顯示苜蓿植株仍有存活只是生長較弱。相對於過去的盤固草—苜蓿混植研究(陳等, 2011)，本試驗中兩種栽培組合的苜蓿表現稍差，應進一步了解原因，並進行不同遮蔭程度對苜蓿再生的影響研究。而 Varella *et al.* (2011) 的研究則表示，不論是樹木或不同程度的人工遮蔭處理，都會明顯降低苜蓿的產量。燕麥亦屬 C3 型溫帶型芻料作物，本次試驗於半遮蔭及無遮蔭區域之產量雖無統計分析上之顯著差異，然而卻呈現出隨遮蔭程度增加而減產的趨勢，顯示遮蔭仍可能對燕麥生長造成影響。

依「申請農業用地作農業設施容許使用審查辦法」第 28 條規定，審認通過的營農型光電設施其太陽能板的遮蔽率不得大於 40%，因此，本次試驗中的太陽光電板配置規劃，每一組光電板占地面積為 40%，即光電場中有 40% 地面為直接遮蔭，60% 為無遮蔭或半遮蔭環境(因日照陰影移動)。綜合試驗結果，以實測資料將全遮蔭區域產量加權 40% 加上半遮蔭區域加權 60%，可以推估如本試驗中模擬的 40% 光電板設置條件下的牧草生產狀況(表 5)，由盤固草—苜蓿組合估算光電場全區二次收穫總產量約為 6.7 mt DM/ha，相當於無遮蔭露地栽培的 78%，而燕麥—苜蓿組合估算之產量約為 4.6 mt DM/ha，相當於無遮蔭露地栽培的 60%。表示在設置 40% 光電場域下種植牧草，除光電效益外尚能獲得相較於對照 60% (或以上) 的收穫，且無論盤固草—苜蓿混植、燕麥—苜蓿混植組合，光電板遮蔭對牧草品質的影響都與對照間無顯著差異。

表 5. 盤固草—苜蓿混植與燕麥—苜蓿混植在設置 40% 光電板場域之產量估算

Table 5. Forage yield estimations of pangolagrass-alfalfa mixed planting and oat-alfalfa mixed planting in the field set with 40% photovoltaic panel

Mixed planting	Treatment	Yield	Percentage
		mt DM/ha	%
Pangolagrass-alfalfa	Control	8.7 ± 0.9	100
	40% photovoltaic panel	6.7 ± 0.6	78
Oat-alfalfa	Control	7.7 ± 3.0	100
	40% photovoltaic panel	4.6 ± 1.7	60

由本試驗初步結果顯示，設置 40% 的光電場域可以考慮同時進行牧草栽培，可在低投入的情況下生產牧草，牧草除可供草食動物利用外，即使不以生產為目的，尚可減少地面裸露，亦具水土維護之效。

參考文獻

- 中華民國經濟部。推動能源轉型「展綠、增氣、減煤、非核」。https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/Policy/Policy.aspx?menu_id=32800&policy_id=9。
- 陳嘉昇、王紓愨、游翠鳳、劉信宏。2011。低肥料投入的有機芻料生產研究—指草屬(*Digitaria*)牧草與苜蓿(*Medicago sativa*)混植。畜產研究 44: 37-50。
- 蔡耀賢、洪百陞、向為民。2019。不利農業經營之農地發展太陽能光電廠對環境影響初探。農業試驗所技術服務季刊 120 期: 16-19。
- A. O. A. C. 1984. Official methods of analysis. 14th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem., Washington DC.
- Armstrong, A., N. Ostle, and J. Whitaker. 2016. Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. Environ. Res. Lett. 11.
- Dupraz, C., H. Marrou, G. Talbot, L. Dufour, A. Nogier, and Y. Ferard. 2011. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimizing land use: Towards new agrivoltaic schemes. Renew. Energ. 36: 2725-2732.
- Ehret, M., R. Graß, and M. Wachendorf. 2015. The effect of shade and shade material on white clover/perennial ryegrass mixtures for temperate agroforestry systems. Agrofor. Syst. 89: 557-570.
- Jo, H., S. Asekova, M. A. Bayat, L. Ali, J. T. Song, Y. S. Ha, D. H. Hong, and J. D. Lee. 2022. Comparison of yield and yield components of several crops grown under agro-photovoltaic system in Korea. Agriculture 12 (5): 619.
- Marroua, H., L. Guilioni, L. Dufour, C. Dupraz, and J. Wery. 2013. Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? Agric. For. Meteorol. 177: 117-132.
- Nam, C. H., M. H. Park, A. A. Yun, H. J. Ji, and S. S. Sun. 2021. Study on forage production under agrivoltaic system. J.

- Kor. Grassl. Forage. Sci. 41 (1): 1-9.
- SAS. 2002. SAS version 9.00. Statistical Analysis Institute, Inc., Cary, N. C. USA.
- van Soest, P. J., J. B. Robertson and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- Varella, A. C., D. J. Moot, K. M. Pollock, P. L. Peri, and R. J. Lucas. 2011. Do light and alfalfa responses to cloth and slatted shade represent those measured under an agroforestry system? *Agroforest Syst.* 81: 157-173.
- Weselek, A., A. Ehmann, S. Zikeli, I. Lewandowski, S. Schindele, and P. Högy. 2019. Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 39: 35.

Feasibility assessment on the production of short stem forage mixed planting in the field set with photovoltaic panel ⁽¹⁾

Jian-Fu Liu ⁽²⁾ and Chia-Sheng Chen ⁽²⁾⁽³⁾

Received: July. 13, 2022; Accepted: July. 20, 2023

Abstract

In order to understand the feasibility of growing forage crops in the field set with solar photovoltaic panels, two mixed planting experiments of pangolagrass-alfalfa and oat-alfalfa were studied under simulated solar photovoltaic panels. The results showed that the yield of mixed planting of pangolagrass and alfalfa were 8.7 mt DM/ha in the unshaded area (control) and 8.5 mt DM/ha in the semi-shaded area (next to the photovoltaic panel), respectively. There was no significant difference between these two treatments. There was also no significant change in the ratio between the two harvests. However, under photovoltaic panels (shade area), the forage yield of pangolagrass decreased with the harvest times, and alfalfa could hardly grow. In the oat-alfalfa mixed planting, the oat grew well under the unshaded area. Its forage yield was up to 7.2 mt DM/ha. While that of the semi-shaded area was 4.8 mt DM/ha, and it decreased with shading level. According to the estimated forage yield, it showed that the total yield of pangolagrass-alfalfa mixed planting grown in the field with 40% shading could reach 78% of that growing in the field with no shading. The forage yield of oat-alfalfa mixed planting grown in the field with 40% shading reached 60% of that growing in the field with no shading. In addition, there was no significant difference between the forage quality under the shade of photoelectric panels and the control. The preliminary results of this experiment showed that the field setting 40% of the photoelectric panel could be considered for short stem forage planting at the same time which could produce forage with low input. In addition to being used by herbivores, forage planting could reduce exposed ground and had the maintenance effect of water and soil, even if it is not for production purposes.

Key words: Solar photovoltaic field, Pangolagrass, Oat, Alfalfa.

(1) Contribution No. 2758 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Southern Region Branch, MOA-TLRI, Pingtung 94644, Taiwan, R. O. C.

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