台灣農業研究 (J. Taiwan Agric. Res.) 75(3):451–461 (2026)
https://doi.org/10.6156/JTAR.202609_75(3).0007

研究報告

茂林區黑小米 (*Setaria italica* (L.) P. Beauv.) 條播栽培效益研究

詹雅勛 [1,*]

摘要

詹雅勛。2026。茂林區黑小米 (*Setaria italica* (L.) P. Beauv.) 條播栽培效益研究。台灣農業研究 75(3):451–461。

黑小米為高雄市茂林區多納部落重要之傳統作物，除作為糧食來源外，亦為魯凱族祭儀文化之核心穀物。然而，傳統以人工撒播為主之栽培方式管理困難、產量不穩且勞力需求高，已成為限制黑小米持續栽培與復育之主要因素。本研究以多納部落保存之黑小米地方品系為材料，於 2023–2024 年進行田間試驗，探討不同栽培密度與播種方法對生長性狀、產量、作業效率、生產成本及經濟效益之影響，並評估導入小型農機具進行條播栽培之可行性。栽培密度試驗結果顯示，以每公頃種植 250,000 株 (40 cm × 10 cm) 之處理產量最高，可達 1,099 kg ha^{-1}，顯著高於傳統撒播處理。播種方法比較結果顯示，紙穴盤育苗移植產量最高為 1,029 kg ha^{-1}，其次為機械條播 946 kg ha^{-1}，均高於撒播 771 kg ha^{-1}。作業效率方面，紙穴盤移植每 0.1 ha 需約 4 小時，機械條播 1.5 小時，撒播 1 小時；但種子用量以移植最低，僅為撒播之 1/20，可作為部落保種策略之應用。生產成本分析顯示，機械條播成本最低，每 0.1 ha 為 7,500 元，移植為 18,000 元，撒播最高為 21,000 元；人工投入亦以條播最低。經濟效益分析結果指出，機械條播之淨收益最高，每公頃為 216,100 元，為撒播之 10 倍以上，亦高於移植處理約 1.5 倍。綜合結果顯示，適當株距配置與條播栽培可同時提升產量與降低成本，為適合山區部落之省工化栽培模式。導入小型機械條播技術可在不破壞原有耕作文化之條件下提高生產效率，對於促進原鄉傳統小米之復育、永續利用及文化保存具有重要意義。

關鍵詞：黑小米、條播栽培、栽培密度、機械化、原住民族作物。

前言

粟又名小米 (*Setaria italica* (L.) P. Beauv.) 為世界上最早馴化之穀類作物之一，於新石器時代即已開始栽培，長期為亞洲地區重要之糧食來源。由於其具有耐旱、耐熱、耐貧瘠土壤及低投入需求等特性，小米被認為是適合於邊際環境與氣候逆境條件下栽培之作物，近年來在全球氣候變遷與糧食安全議題中再度受到關注。聯合國大會於 2021 年宣布 2023 年為『國際小米年』(International Year of Millets; IYM 2023)，強調小米在提升糧食安全、促進農業永續及強化氣候韌性方面之潛力 (Singh 2024)。Mukherjee *et al*. (2025) 指出，粟類作物除了小米，亦有 Little millet (*Panicum sumatrense*)、Barnyard millet (*Echinochloa crusgalli*)、Proso millet (*Pan. miliaceum*)、Pearl millet (*Pennisetum glaucum*)、Finger millet (*Eleusine coracana*)、Kodo millet (*Paspalum scrobiculatum*) 及 Sorghum millet (*Sorghum bicolor*)，在高溫與降雨不穩定環境下仍能維持相對穩定之產量，顯示其為未來氣候變遷情境下重要之替代糧食作物。

在臺灣，小米主要栽培於山地原住民族部落，尤以花蓮、臺東、高雄及屏東地區較為常

投稿日期：2026 年 4 月 13 日；接受日期：2026 年 6 月 8 日。
* 通訊作者：ysjan@mail.kdais.gov.tw
[1] 農業部高雄區農業改良場作物改良科助理研究員。臺灣 屏東縣。

見，除作為糧食來源外，亦為傳統祭儀與文化活動之重要作物。然而，近年因人口外移、高齡化及耕作勞力不足，加上氣候變遷導致降雨不穩與極端氣候增加，小米栽培面積逐漸減少，部分地方品種面臨保存不易之問題。傳統部落多採用人工撒播方式進行栽培，雖符合傳統農耕模式，但管理效率低、產量不穩，難以兼顧文化保存與產業發展之需求。因此，建立適合山區地形之省工化與友善栽培技術，為維持小米生產與文化延續之重要課題。

栽培密度為影響小米生長、群體結構及產量形成之重要因子。適當之植株密度可改善冠層光分布，提高養分與水分利用效率 (water use efficiency; WUE)，並促進生物量累積與籽粒形成。Maji *et al*. (2024) 研究指出，適當株距配合合理氮肥施用，可顯著提升小米株高、分蘗數及穗重，顯示栽培密度與養分利用之間具有密切關聯；當植株排列較均勻時，可提高群體光截留效率並促進植株生長。Sandeep *et al*. (2024) 在珍珠粟 (*Pen*. *glaucum* L.) 研究中亦指出，適當栽培密度可改善群體通風與根系競爭環境，進而提高穗部發育與籽粒充實程度。Chaturvedi *et al*. (2025) 則指出，小米在適當播種量與株行距配置下，可維持較佳植株整齊度與群體結構，有助於提高生長勢與產量形成。相對地，過低密度可能降低土地利用率並增加雜草競爭，而過高密度則易造成植株間競爭加劇、通風不良、倒伏風險提高及籽粒發育不良，最終導致產量下降。

近年亦有關於小米冠層結構之研究亦顯示，適當行距配置除可改善群體光分布外，亦有助於提高莖稈強度與抗倒伏能力。Zhong *et al*. (2024) 指出，適當行距配置可提升小米冠層透光性與 WUE，並降低倒伏發生率，進而提高產量與生產穩定性。類似現象亦見於高粱，Benson *et al*. (2025) 研究高粱在適當栽培密度下可提高群體生物量與籽粒產量，但過高密度仍可能因植株競爭增加而限制產量表現。Raphaël *et al*. (2024) 進一步指出，高粱對較高播種密度之正向反應與 WUE 提升有關，顯示適當群體配置可改善作物對環境資源之利用能力。上述研究顯示，適當栽培密度不僅影響植株個體生長，亦與群體光能利用、WUE 及產量穩定性密切相關。然而，相關研究多以平地栽培或機械化生產為前提，針對山區小面積田區與傳統撒播栽培條件下之適當植株密度仍然匱乏。

小米穀粒顏色具有高度多樣性，包括白色、灰色、黃色、紅色、褐色及黑色等類型，不同地方品系常與在地文化利用及傳統祭儀密切相關。然而，針對山區部落傳統小米品種之播種方式與栽培密度整合研究仍相當有限，特別是在兼顧文化保存與友善耕作之條件下，尚缺乏可行之栽培模式。高雄市茂林區多納部落長期保存並利用黑色之地方品系，作為魯凱族祭儀文化中重要之傳統穀物，具有特殊之文化與種原保存價值。近年因勞力不足與生產效率偏低，導致產量不足及生產成本偏高，影響其持續栽培與產業發展。本研究之目的為：(1) 探討多納部落黑小米之適當栽培密度；(2) 比較機械條播與人工撒播之栽培效益；(3) 評估小型農機具導入於山區部落小米栽培之可行性。研究結果可作為建立兼顧生產效率、文化保存與永續利用之小米栽培模式的科學依據。

材料與方法

試驗材料

高雄市茂林區多納部落之黑小米地方品系。

試驗方法

1. 試驗地點

高雄市茂林區多納部落田區 (GPS: 22°54'45.4"N 120°43'12.6"E)。

2. 播種與收穫日期

栽培密度試驗於 2023 年 2 月 16 日播種；同年 6 月 5 日收穫。播種方法效益試驗於 2024 年 3 月 13 日播種；同年 6 月 21 日收穫。

3. 試驗設計

3.1. **栽培密度試驗**：採完全隨機設計 (complete randomized design; CRD)，3 重複。分為

(1) 條播栽培，株距採 10 cm 間苗；(2) 條播栽培，株距採 15 cm 間苗； (3) 對照 (撒播栽培) 進行比較，均以種子播種。處理 (1) 與 (2) 以行距 40 cm 開溝條播，並於 15–20 日後以不同株距進行間苗，即每公頃栽培密度於處理 (1) 約 250,000 株；處理 (2) 約 166,666 株。每小區種植 6 行，行長 10 m。處理 (3) 每小區種植面積為 0.0025 ha，並以 25 g 種子撒播，其後無間苗。其餘栽培管理方式依照粟 (小米) 良好農業規範 (Taiwan Good Agriculture Practice; TGAP) 施行。

3.2. **播種方法效益試驗**：採 CRD，3 重複。分為 (1) 紙穴盤育苗 (苗盤株距為 10 cm)，育苗 15–20 日後以行距 40 cm 採單行移植機進行移植；(2) 種子機械條播以行距 40 cm，利用單行播種機進行播種，並於播種後 15–20 日採株距 10 cm 間苗； (3) 對照 (撒播栽培) 之不同播種方式進行比較。處理 (1) 與 (2) 每小區種植 6 行 ,行長 10 m。處理 (3) 每小區種植面積為 0.0025 ha，並以 25 g 種子撒播，其後無間苗。其餘栽培管理方式依照粟 (小米) 良好農業規範施行。

4. 調查項目

4.1. **株高**：採隨機抽樣調查，每重複均調查 10 株。測量方式為乳熟期測量主莖基部至穗基部之長度。

4.2. **穗長與穗重**：採隨機抽樣調查，每重複均調查 10 穗。測量方式為成熟期測量主穗基部至頂端長度與重量。

4.3. **粒重**：採隨機抽樣調查，每重複均調查 10 穗。測量方式為成熟期果穗人工脫粒，測量單穗籽粒重量。

4.4. **籽粒產量**：每一小區收穫並人工脫粒，進行產量調查。

4.5. **作業效率**：以完成 0.1 ha 田區播種或移植作業所需之實際田間操作時間進行估算，各處理均記錄單人完成作業所需時間。其中，紙穴盤育苗處理之作業時間係指田間移植作業，但不包含育苗期間之管理時間。

4.6. **成本與收益分析**：以直接生產成本進行計算，計算方式如下：

淨收益 = 產量收益 – 田間作業生產成本。

產量收益：以小米平均市價 350 元 kg^{-1} 計算。

田間作業生產成本：包含機械設備費、整地、肥料、育苗、移植、播種、間苗、人工或機械除草及採收等工資。

統計分析

利用統計軟體 R (版本 4.5.1) 進行變方分析。若處理間差異達顯著水準 ($\alpha = 0.05$)，則進一步以最小顯著差異檢定 (least significant difference; LSD) 比較各處理平均數間差異，並以不同字母表示顯著性分組。

結果

黑小米不同栽培密度性狀與產量調查

2023 年春作於多納部落進行黑小米不同栽培密度試驗結果顯示，栽培密度對植株生育性狀與產量具有顯著影響 (表 1)。與傳統撒播栽培相比，採行條播並控制株距之處理可明顯提升植株生長勢與產量表現。在株高方面，栽培密度每公頃 250,000 株 (40 cm × 10 cm) 與每公頃 166,666 株 (40 cm × 15 cm) 處理分別為 151.1 cm 與 143.6 cm，均顯著高於撒播處理之 125.8 cm ($P < 0.05$)，顯示適當之行株距可減少植株間競爭，促進營養生長。穗長與穗重亦呈現相同趨勢，較高密度處理之穗長 17.4 cm、穗重 9.1 g，顯著高於撒播處理之 13.4 cm 與 7.2 g，顯示條播栽培可改善單位面積內通風與光照條件，有利於穗部發育。粒重方面，每公頃 250,000 株與每公頃 166,666 株處理均為 7.9 g，顯著高於撒播之 6.2 g，顯示適當密度可促進同化產物累積，提高籽粒充實度。產量結果顯示，每公頃 250,000 株處理之產量最高，達 1,099 kg ha^{-1}，顯著高於撒播處理之 581 kg ha^{-1}，而每公頃 166,666 株為 810 kg ha^{-1}，介於兩者之間。此結果說明適度提高單位面積植株數可增加有效穗數，進而提升總產量；然而株距過大時雖可促進單株生長，但因群體密度不足，產量反而下降。

黑小米不同播種方法性狀與產量調查

試驗期間未遭遇颱風、長期淹水或嚴重乾旱等極端氣候事件，視為正常春作條件下之栽培反應，故採用 2023 年試驗結果中產量表現最佳的栽培密度每公頃 250,000 株理方式，進一步進行不同播種方法機械栽培研究。結果指出，相較於傳統撒播栽培，紙穴盤育苗移植與機械條播處理在多數性狀上均表現較佳 (表 2)。在株高方面，以機械條播處理最高，達 153.2 cm，顯著高於紙穴盤育苗移植 (141.8 cm) 與撒播處理 (142.2 cm) ($P < 0.05$)。穗長於各處理間差異不顯著，介於 15.2–16.7 cm 之間。穗重與粒重則以紙穴盤育苗移植處理最高，分別為 11.5 g 與 9.9 g，顯著高於撒播處理之 9.2 g 與 7.6 g，而機械條播處理介於兩者之間。產量方面，紙穴盤育苗移植方法顯著高於傳統撒播方法，紙穴盤育苗移植之產量最高，達 1,029 kg ha^{-1}，其次為機械條播 946 kg ha^{-1}，傳統撒播最低，僅 771 kg ha^{-1}。結果顯示，運用機械化採條播方式可提升植株整齊度與有效穗數，進而提高產量。

黑小米不同播種方法作業效率與種子用量

不同播種方法對多納部落黑小米之作業效率與種子用量具有明顯差異 (表 3)。完成 0.1 ha 田區播種或移植作業所需之單人實際田間操作時間，紙穴盤育苗移植處理作業時間最長，約需 4 小時，其次為機械條播的 1.5 小時，傳統撒播最短，僅需 1 小時。而種子用量，紙穴盤育苗移植方法用量極低，僅 50 g，此方法能確保苗齡一致與植株整齊度，有助於提升後續管理效率與產量穩定性。機械條播約需 250 g 種子用量，採用此栽培方法具有兼顧作業效率與節省資材之優點。撒播種子用量最高，達 1,000 g，因撒播方式植株易分布不均，需增加播種量以確保出苗密度。適當栽培密度與整齊度可降低植株競爭並促進穗部發育，因此移植方式雖需較多勞力，但在小面積或重視種原保存之栽培環境中具有實用價值。

表 1. 多納部落黑小米不同栽培密度性狀與產量調查 (2023，春作)。

Table 1. Effects of different planting density on agronomic traits and yield of black foxtail millet in the Dona tribe (Spring 2023).

Planting density (no. plants ha^{-1})	Plant height (cm)	Panicle length (cm)	Panicle weight (g)	Seed weight (g)	Grain yield (kg ha^{-1})
250,000 (40 cm × 10 cm)	151.1 ± 2.6 a[z]	17.4 ± 0.5 a	9.1 ± 0.5 a	7.9 ± 0.5 a	1,099 ± 134 a
166,666 (40 cm × 15 cm)	143.6 ± 2.1 a	16.3 ± 0.5 a	8.7 ± 0.3 a	7.9 ± 0.3 a	810 ± 117 ab
CK[y] (broadcast)	125.8 ± 3.1 b	13.4 ± 0.5 b	7.2 ± 0.4 b	6.2 ± 0.3 b	581 ± 77 b

[z] Each value represents the mean ± *SE*. Data with different letters are significantly different at $P < 0.05$ by least significant difference (LSD) test.
[y] CK: check.

表 2. 多納部落黑小米不同播種方法性狀與產量調查 (2024，春作)。

Table 2. Effects of different sowing method on agronomic traits and yield of black foxtail millet in the Dona tribe (Spring 2024).

Sowing method	Plant height (cm)	Panicle length (cm)	Panicle weight (g)	Seed weight (g)	Grain yield (kg ha^{-1})
Transplanting[z]	141.8 ± 3.3 b[y]	16.4 ± 0.5 a	11.5 ± 0.6 a	9.9 ± 0.6 a	1,029 ± 69 a
Drilling[x]	153.2 ± 3.2 a	16.7 ± 0.6 a	11.1 ± 0.4 ab	9.4 ± 0.5 a	946 ± 110 ab
CK[w] (broadcast)	142.2 ± 1.7 b	15.2 ± 0.5 a	9.2 ± 0.4 b	7.6 ± 0.4 b	771 ± 57 b

[z] Paper plug seedlings (10 cm spacing) were transplanted at 40 cm row spacing using a single-row transplanter at 15–20 d after sowing.
[y] Each value represents the mean ± *SE*. Data with different letters are significantly different at $P < 0.05$ by least significant difference (LSD) test.
[x] Mechanical drilling was performed at 40 cm row spacing, followed by thinning to 10 cm plant spacing at 15–20 d after sowing.
[w] CK: check.

黑小米不同播種方法田間作業生產成本

黑小米因播種方法不同，而種子用量不同，因本試驗之種子為部落祭儀特有的地方種原，由部落族人自行留種，故無採計種子費用。而田間整地費、肥料費及採收費在不同播種方法中均為相同操作方式，故列為共同費用，僅就差異處之機械設備、育苗、移植、播種、間苗、人工或機械除草等項目表列比較，其中機械設備費用以使用 10 年，每年 2 期作攤提計算 (表 4)。試驗結果指出，不同播種方法對多納部落黑小米之田間作業生產成本具有明顯差異，以機械條播處理最低，每 0.1 ha 為 7,500 元，其次為紙穴盤育苗移植 18,000 元，而傳統撒播最高，達 21,000 元。撒播處理人工投入最高，需 10.5 人天，其中人工除草需 10 人天，占大部分作業時間；紙穴盤育苗移植處理需 6.5 人天，主要耗費於育苗作業；機械條播處理人工投入最低，為 3.5 人天。在成本組成方面，紙穴盤育苗移植之成本主要來自機械攤提與育苗費用，而機械條播之成本較低，僅包含播種、間苗及機械除草費用。撒播處理因植株分布不均，需大量人工除草，第一次除草含間苗需 4 人天，第二次及第三次除草各需 3 人天，導致人工成本最高。整體而言，機械條播可顯著降低人工投入與生產成本，而移植處理雖成本較高，但較撒播仍具節省人工之效果。

表 3. 多納部落黑小米不同播種方法每 0.1 ha 作業效率與種子用量調查。

Table 3. Effects of different sowing method on working efficiency and seed requirement of black foxtail millet in the Dona tribe (per 0.1 ha).

Sowing method	Working efficiency (h)	Seed requirement (g)
Transplanting	4.0	50
Drilling	1.5	250
CK[z] (broadcast)	1.0	1,000

[z] CK: check.

黑小米不同播種方法淨收益分析

不同播種方法對多納部落黑小米之產量收益、生產成本及淨收益具有明顯差異 (表 5)。其中產量收益係以 2024 年黑小米不同播種方

表 4. 多納部落黑小米不同播種方法每 0.1 ha 田間作業生產成本。

Table 4. Production costs of different sowing method of black foxtail millet in the Dona tribe (per 0.1 ha).

Production costs	Price (NT$)	Labor input (person-days)	Sum (NT$)
Transplanting[z]			18,000
Machinery depreciation cost	5,000		5,000
Nursery cost	2,000	4.0	8,000
Transplanting cost	2,000	0.5	1,000
Mechanical weeding cost	2,000	2.0	4,000
Drilling[z]			7,500
Machinery depreciation cost	500		500
Sowing cost	2,000	0.5	1,000
Thinning cost	2,000	1.0	2,000
Mechanical weeding cost	2,000	2.0	4,000
CK[y] (broadcast)			21,000
Manual broadcasting cost	2,000	0.5	1,000
Manual weeding cost	2,000	10.0	20,000
Common costs[x]			4,000

[z] The transplanter cost NT$100,000 and the row seeder cost NT$10,000. Both were single-row machines.
[y] CK: check.
[x] Common costs include land preparation, fertilizer, and harvest costs.

表 5. 多納部落黑小米不同播種方法每公頃淨收益分析。

Table 5. Net profit analysis of different sowing method of black foxtail millet in the Dona tribe (per ha).

Sowing method	Gross revenue[z] (NT$)	Production costs[y] (NT$)	Net return[x] (NT$)
Transplanting	360,150	220,000	140,150
Drilling	331,100	115,000	216,100
CK[w] (broadcast)	269,850	250,000	19,850

[z] Gross revenue was estimated based on the yield obtained from different sowing methods of black foxtail millet in 2024 and a market price of NT$350 kg^{-1}.
[y] Production cost was calculated as the sum of the costs required for each sowing method and the common costs.
[x] Net return was calculated as the profit obtained after subtracting the field production cost from the gross revenue.
[w] CK: check.

法調查所得之產量與市價每公斤 350 元進行估算。淨收益則為產量收益扣除田間作業生產成本後所得之利潤。結果指出，以紙穴盤育苗移植處理之產量收益最高，為每公頃 360,150 元，其次為機械條播 331,100 元，傳統撒播最低，為 269,850 元。生產成本則以機械條播最低，為 115,000 元，紙穴盤育苗移植為 220,000 元，而撒播最高，達 250,000 元。在淨收益方面，以機械條播處理最高，每公頃約可獲 216,100 元利潤，其次為紙穴盤育苗移植 140,150 元，而撒播僅 19,850 元。結果顯示，雖然移植處理具有較高產量收益，但因生產成本較高，使其淨收益低於機械條播；傳統撒播因人工投入多且成本高，導致淨收益最低。相較之下，機械條播之淨收益約為傳統撒播之 10.9 倍，亦為紙穴盤育苗移植方法的 1.5 倍；紙穴盤育苗移植之淨收益則為撒播之 7.1 倍。顯示在勞力需求降低與生產成本減少之情況下，機械條播可顯著提高黑小米栽培之經濟效益。

討論

本研究分別就不同栽培密度與不同播種方法對多納部落黑小米之生長性狀與產量進行試驗，結果顯示栽培密度與播種方式均為影響黑小米產量形成之重要因子。由栽培密度試驗結果可知，適當提高栽培密度可顯著提升產量，其中以每公頃 250,000 株 (40 cm × 10 cm) 處理產量最高，而播種方法試驗則顯示紙穴盤育苗移植與機械條播均優於傳統撒播，且以移植處理產量最高。然而本研究之栽培密度與播種方法試驗分別於不同年度進行，雖各試驗均採 CRD 並設置 3 重複，以降低田間變異之影響，但小米生育仍可能受到年度間氣候條件差異影響，包括降雨分布、積溫及土壤水分等因素。因此，本研究結果較適合作為多納部落黑小米栽培模式之初步建立與相對比較。未來仍需進一步累積不同年度與季作資料，以驗證各栽培模式在不同環境條件下之穩定性與適應性。整體而言，維持適當栽培密度並採用規則性栽培方式，可同時改善生育性狀與提升產量，顯示建立合理栽培模式對黑小米穩定生產具有關鍵影響。植株密度會直接影響群體結構、光能截收及養分利用效率，進而影響穗部發育與籽粒充實。過低密度易造成土地利用效率不足，而過高密度則會增加植株間競爭，降低單株生長勢 (Maji *et al*. 2024)。本研究中較高密度處理之株高、穗長及穗重均較佳，且產量高於撒播或較低密度處理，顯示適當栽培密度可兼顧單株生長與群體產量。類似結果亦見於珍珠粟之研究，Sandeep *et al*. (2024) 發現，中等密度可獲得最高籽實產量，而過高密度雖可增加單位面積植株數，但因植株間競爭加劇導致分蘗數與粒重下降，反而降低整體產量。此外，栽植密度與肥培管理具有交互作用，適宜族群密度會隨氮肥供應量與環境條件不同而改變 (Garba *et al*. 2024)。適當行株距可改善冠層結構，提高光合作用效率並增加有效穗數，為決定產量之重要因素 (Bibinu *et al*. 2006; Zhong *et al*. 2024)。

在不同播種方法比較結果顯示，紙穴盤育苗移植與機械條播均能提高穗重與粒重，並顯著提升產量。移植栽培可確保植株整齊度與適當株距，使植株在生育初期具有較佳競

爭優勢，並降低雜草壓力，因此常能獲得較高且穩定之產量。過去於禾穀類與雜糧作物之研究亦指出，移植栽培可提高產量穩定性，適合於管理條件較不穩定之栽培環境 (Bibinu *et al*. 2006)。本試驗中紙穴盤育苗移植產量最高，顯示適當苗齡與行列栽培有助於促進穗部發育與籽粒充實。機械條播雖產量略低於移植處理，因植株生長環境獲得改善仍優於傳統撒播。相關研究指出，條播栽培可增加通風與光照分布，促進群體光合作用並提高產量 (Zhong *et al*. 2024)。此外，機械條播可減少人工投入，對於勞力不足之地區具有實用性。傳統撒播在本研究中產量最低，且穗重與粒重顯著較低，顯示不規則植株分布易造成競爭不均與雜草壓力增加，降低生長勢與產量形成。原鄉部落多採用撒播方式栽培傳統作物，但其管理困難且產量不穩，為影響作物復育與推廣之重要限制。小米屬耐旱、耐貧瘠且適合低投入栽培之作物，在氣候變遷下被視為具潛力之永續糧食作物 (Muthamilarasan & Prasad 2021)，然而仍需配合適當栽培技術方能發揮其生產潛力。近年對未利用與低度利用作物 (neglected and underutilized crops) 之研究指出，除保存種原外，建立適合當地環境之省工與穩定生產模式，為促進傳統作物永續利用之重要策略 (Solh 2018)。本研究結果顯示，透過適當栽培密度調整與導入紙穴盤育苗移植或機械條播等栽培技術，可有效提升黑小米產量並改善生育性狀，同時降低勞力需求，對於原鄉地區推動傳統作物復育與文化保存具有實際應用價值。

本研究比較不同播種方法對多納部落黑小米之作業效率、生產成本及經濟效益之影響，結果顯示播種方式為影響小米生產效率與收益之關鍵因素。由作業效率試驗結果可知，紙穴盤育苗移植之作業時間最長但種子用量最低，機械條播兼具較佳作業效率與較低種子用量，而傳統撒播雖播種時間最短，但需使用最多種子且後續管理困難。小米採人工撒播時植株分布不均，後續除草或間苗需投入較多勞力，整體作業效率反而降低，而條播栽培可維持固定行距，使植株整齊一致，後期田間管理可提高作業效率。在生產成本方面，本研究顯示不同播種方法中，以機械條播之生產成本與人工投入最低，而傳統撒播因需大量人工除草導致成本最高。紙穴盤育苗移植雖可降低種子用量並提高整齊度，但需增加育苗與移植作業，使成本高於機械條播。本試驗使用之紙穴盤為市售產品，廣泛應用於蔬菜育苗，亦適用於黑小米種子的育苗。移植時以移植機將整個苗盤的苗株直接定植到田間，而非傳統的一株一株種植，使用的紙穴盤固定株距為 10 cm，每盤 264 孔，每 0.1 ha 約需育苗 76 盤。種子用量僅為傳統撒播的 1/20，大幅節省種子用量，且無需再行間苗。定植後，黑小米苗株較不易受雜草影響，且生育期間的除草作業更為方便。此外，紙穴盤在生育後期會自然分解，無須回收，解決傳統塑膠穴盤的處理問題，實現機械化、省工及環境永續的栽培方式。然而，採用紙穴盤育苗移植的播種方法需注意一些限制，包含確保黑小米種子的發芽率，避免育苗盤中出現缺株，以及育苗期間的管理與移植初期的水分供應等。相關研究指出，勞力需求為限制小雜糧作物擴大栽培之主要因素，適度導入播種機械與行列栽培管理可顯著降低人工投入並提高作業效率，是因應農村人口老化與勞力不足的重要技術方向。經濟效益分析亦顯示，機械條播之淨收益最高，紙穴盤育苗移植次之，而傳統撒播最低，顯示降低生產成本對提升收益具有決定性影響。過去穀類與雜糧作物之經濟分析研究亦指出，適度機械化可在維持產量之情況下降低生產成本，使淨收益顯著增加，為提升小規模農業經濟效益之重要策略 (Solh 2018; Muthamilarasan & Prasad 2021; Madzivanzira *et al*. 2024)。本研究之機械設備費用係依使用 10 年，每年 2 期作進行攤提，主要作為不同播種方法間之相對成本比較。然而，山區部落田區通常具有面積小、地形分散及機械利用率較低等特性，實際機械折舊成本可能隨栽培規模而改變，因此本研究之經濟效益結果仍需考量部落實際生產條件。尤其在栽培面積較小時，機械固定成本可能提高單位面積生產成本，而在栽培面積增加或部落共同利用機械之情況下，則較能發揮機械化降低勞力需求與生產成本之效益。未來可進一步針對不

同栽培規模與機械利用率進行敏感度分析，以建立更符合原鄉部落條件之機械化經營模式。

本研究雖尚未納入無人機 (unmanned aerial vehicle; UAV) 試驗，但已有研究指出 UAV 已由作物監測延伸至播種與苗期管理，於玉米、高粱及蕎麥等作物展現高度應用潛力。Zhang *et al*. (2018) 說明 UAV 可精準辨識玉米植株位置與株距變異，顯示其已具備作為播種品質與空間分布評估工具之能力；Chen *et al*. (2024) 則進一步利用 UAV 影像結合 YOLO (You Only Look Once) 深度學習模型，成功建立高粱苗數自動辨識系統，可快速進行大面積苗期調查，顯示 UAV 技術於穀類作物生產管理上具有高度效率與可行性。Guebsi *et al*. (2024) 亦指出，多旋翼 UAV 特別適合零碎與崎嶇地形，可有效因應現代農業面臨之缺工與高齡化問題。若比較 UAV 撒播與小型條播機於原鄉山區之應用，UAV 具作業速度快、地形適應性高及省工等優勢，適合坡地與零碎田區快速播種，其成本主要集中於飛手、電池及機體折舊，屬高機械成本、低勞力成本模式。相對地，小型條播機雖作業速度較慢，但播種均勻、種子利用率較高，且有利後續除草與田間管理，其成本主要來自人工、搬運及整地，屬較高勞力需求、較低種子損耗模式。兩者依地形與生產目標搭配運用，將有助提升原鄉山區作物復育與省工栽培效率。

除生產效率與經濟效益外，小米在臺灣原住民族社會中具有超越糧食作物之文化與生態意義。臺灣原住民族傳統小米不僅為糧食來源，亦深度連結歲時祭儀、族群文化及土地關係，因此其復育工作不宜僅視為單一作物之保種，而應視為兼具農業、生態及文化傳承意義之整合性行動。然而，傳統小米雖具文化與生態價值，在實際推動復耕時仍常受限於勞力短缺、播種不均、除草負擔大及收穫效率低等問題，因此建立符合小面積、坡地或部落農耕條件之省工與機械化技術，已成為小米復育能否擴大的重要關鍵。Madzivanzira *et al*. (2024) 回顧指出，傳統穀類在許多地區被視為氣候調適作物，但其生產體系之機械化程度仍明顯落後於主要大宗穀物；若缺乏適地適機的播種、除草與收穫設備，將限制小農採用與擴大栽培的意願。小型動力來源、保育型播種設備及符合小農條件之作業模式，較可能成為永續採用之方向 (Van Loon *et al*. 2020)。黑小米為多納部落傳統祭儀『黑米祭』文化中不可或缺的重要穀物，以本研究結果綜合觀之，黑小米復育地技術發展不宜直接套用大面積耕作之機械操作，而應朝向『小型化、簡易化、低成本及友善耕作相容』之方向推進，例如整合適當播種方式、行株距配置、抑草管理、減藥栽培及分批收穫等措施，以兼顧勞力節省、生產穩定及環境友善。機械化技術之導入亦需避免破壞原有耕作栽培曆、作物多樣性及生態環境，因此『省工機械化』與『友善生產』並非對立，而應朝向可支持部落生產條件之適地技術整合。此一觀點亦與近年小米永續研究之主張相符，即小米推廣應結合低投入、韌性農業及在地生產條件，而非僅以單純增產為目標 (Madzivanzira *et al*. 2024; Mohanan *et al*. 2025; Mukherjee *et al*. 2025)。

結論

本研究以多納部落黑小米為材料，比較不同栽培密度與播種方法對生長性狀、產量、作業效率、生產成本及經濟效益之影響，結果顯示栽培密度與播種方式為影響黑小米生產效率之關鍵因素。栽培密度試驗結果指出，每公頃種植 250,000 株 (40 cm × 10 cm) 之條播栽培可獲得最高產量，顯示適當提高群體密度並採行列栽培，有助於改善光照分布與養分利用效率，進而促進穗部發育與籽粒充實。播種方法比較結果顯示，紙穴盤育苗移植可獲得最高產量，但作業時間較長且成本較高；機械條播兼具良好產量表現與較低生產成本，並可顯著降低人工投入，具有最高淨收益；傳統撒播雖作業快速，但種子用量大、人工除草需求高且成本最高，為最不利之栽培方式。經濟分析顯示，機械條播之淨收益約為撒播之 10 倍以上，顯示降低勞力需求與生產成本為提升黑小米栽培效益之關鍵。

黑小米不僅為糧食作物，亦為多納部落重要祭儀文化之核心穀物，其復育工作須兼顧生

產效率、文化保存及環境永續。本研究利用紙穴盤育苗移植可大幅降低種子使用量，僅需傳統撒播約 5% 之種子即可完成栽培，對於種子數量有限之地方種原保存具有重要意義。由於多納部落黑小米屬部落長期保存之祭儀作物，種原數量有限且具有文化價值，因此降低種子耗用不僅有助於提升生產效率，亦可降低種原繁殖壓力。特別是在地方種原更新初期或種子數量有限之情況下，移植栽培可作為兼顧種原增殖與田間生產之保種策略，對於原鄉傳統作物之復育與永續保存具有實際應用價值。且研究結果顯示，導入小型機械條播與適當栽培密度，可在維持部落耕作條件之下提高生產穩定性與經濟效益，有助於解決勞力不足與生產成本過高之問題。未來技術發展應朝向容易操作、低成本投入及友善環境之方向，建立適合部落山區與小面積田區之栽培模式，使機械化與傳統農耕文化得以並存，促進黑小米之永續利用與原鄉農業長期發展。

引用文獻

Benson, I., J. Lofton, J. Rice, and B. Cannon. 2025. The impact of planting density and intermediate skips on grain sorghum yield. Crops 5:25. doi:10.3390/crops5030025

Bibinu, A. T. S., B. M. Auwalu, Z. Russom, and W. B. Ndahi. 2006. Effect of plant density on yield and yield components of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) in a semi-arid environment in northern Nigeria. Environtropica 3:49–58.

Chaturvedi, P., S. M. Nemade, D. G. Kanwade, V. V. Goud, A. N. Paslawar, and N. B. Mohod. 2025. Effect of spacing and seed rate on growth of foxtail millet (*Setaria italica* L.). Intl. J. Adv. Biochem. Res. 9(S7):262–265. doi:10.33545/26174693.2025.v9.i7Sd.4808

Chen, H., H. Chen, X. Huang, S. Zhang, S. Chen, F. Cen, ... Z. Gao. 2024. Estimation of sorghum seedling number from drone image based on support vector machine and YOLO algorithms. Front. Plant Sci. 15:1399872. doi:10.3389/fpls.2024.1399872

Garba, M., A. Y. Kamara, A. M. L. Mohamed, A. I. Tofa, S. A. Mahamane, H. Salissou, ... I. I. Garba. 2024. Assessing the effects of plant density and nitrogen on millet yield in Southern Niger using the CERES-millet model. CABI Agric. Biosci. 5:50. doi:10.1186/s43170-024-00254-x

Guebsi, R., S. Mami, and K. Chokmani. 2024. Drones in precision agriculture: A comprehensive review of applications, technologies, and challenges. Drones 8:686. doi:10.3390/drones8110686

Madzivanzira, T., B. M. Mvumi, R. M. Nazare, E. Nyakudya, F. Mtambanengwe, and P. Mapfumo. 2024. A review of appropriate mechanisation systems for sustainable traditional grain production by smallholder farmers in sub-Saharan Africa with particular reference to Zimbabwe. Heliyon 10:e36695. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e36695

Maji, P., C. Umesha, C. Joharika, and S. S. Maindar. 2024. Effect of spacing and nitrogen on growth and yield of foxtail millet (*Setaria italica* L.). Intl. J. Res. Agron. 7(6S):41–44. doi:10.33545/2618060X.2024.v7.i6Sa.810

Mohanan, M. M., A. Vijayakumar, C. H. Bang-Berthelsen, K. K. Mudnakudu-Nagaraju, and R. Shetty. 2025. Millets: Journey from an ancient crop to sustainable and healthy food. Foods 14:1733. doi:10.3390/foods14101733

Mukherjee, B., R. K. Jha, A. Sattar, S. Dutta, U. Bhattacharya, S. Samanta, ... S. K. Bal. 2025. Harnessing the potential of millets for climate-resilient and sustainable agriculture. Front. Plant Sci. 16:1574699. doi:10.3389/fpls.2025.1574699

Muthamilarasan, M. and M. Prasad. 2021. Small millets for enduring food security amidst pandemics. Trends Plant Sci. 26:33–40. doi:10.1016/j.tplants.2020.08.008

Raphaël, P., A. Kakkera, K. Java, T. François, and V. Vincent. 2024. The genotypic variation in the positive response of sorghum to higher sowing density is linked to an increase in water use efficiency. Eur. J. Agron. 158:127207. doi:10.1016/j.eja.2024.127207

Sandeep, B., A. Pradhan, R. Singh, and Y. Sreelekha. 2024. Influence of planting density and zinc on growth and yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). Intl. J. Res. Agron. 7(4):656–658. doi:10.33545/2618060X.2024.v7.i4i.619

Singh, R. 2024. Millets: Cultivating resilience and sustainability for the future of global agriculture. South Asian J. Agric. Sci. 4(2):115–119.

Solh, M. 2018. Challenges, opportunities and strategies for neglected and underutilized species as future smart food for zero hunger. p.35–49. *in*: Future Smart Food: Rediscovering Hidden Treasures of Neglected and Underutilized Species for Zero Hunger in Asia. (Li, X. and K. H. M. Siddique, eds.) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Bangkok, Thailand. 244 pp. doi:10.18356/578f3b8f-en

Van Loon, J., L. Woltering, T. J. Krupnik, F. Baudron, M. Boa, and B. Govaerts. 2020. Scaling agricultural mechanization services in smallholder farming systems: Case studies from sub-Saharan Africa, South Asia, and Latin America. Agric. Syst. 180:102792. doi:10.1016/j.agsy.2020.102792

Zhang, J., B. Basso, R. F. Price, G. Putman, and G. Shuai. 2018. Estimating plant distance in maize using unmanned aerial vehicle (UAV). PLOS ONE 13:e0195223. doi:10.1371/journal.pone.0195223

Zhong, Y., T. Zhang, W. Qiao, W. Liu, Y. Qiao, Y. Li, ... B. Dong. 2024. Optimizing canopy spacing configuration enhances foxtail millet grain yield and water productivity by improving stalk lodging resistance in the North China Plain. Eur. J. Agron. 158:127230. doi:10.1016/j.eja.2024.127230

Effect of Drilling Cultivation on Production Efficiency of Black Foxtail Millet (*Setaria italica* (L.) P. Beauv.) in the Dona Tribe, Maolin, Taiwan

Ya-Shiun Jan[1,*]

Abstract

Jan, Y. S. 2026. Effect of drilling cultivation on production efficiency of black foxtail millet (*Setaria italica* (L.) P. Beauv.) in the Dona tribe, Maolin, Taiwan. J. Taiwan Agric. Res. 75(3):451–461.

Black foxtail millet is an important traditional crop among the Dona tribe of Maolin District, Kaohsiung, Taiwan, where it serves not only as a staple food but also as a core grain in indigenous ritual culture. However, traditional broadcasting cultivation requires high labor input, results in unstable yield, and limits the sustainable production of this crop. This study evaluated the effects of plant spacing and sowing methods on agronomic traits, yield, working efficiency, production cost, and economic return of black foxtail millet, and assessed the feasibility of introducing small-scale machinery for drilling cultivation in mountainous tribal farming systems. The planting density experiment showed that 250,000 plants ha^{-1} (40 cm × 10 cm) produced the highest grain yield (1,099 kg ha^{-1}), which was significantly higher than with wider spacing and traditional broadcasting. In the sowing method experiment, transplanting using paper plug seedlings produced the highest yield (1,029 kg ha^{-1}), followed by mechanical drilling (946 kg ha^{-1}), both of which were higher than broadcasting (771 kg ha^{-1}). In terms of working efficiency, transplanting required the longest time (4 h per 0.1 ha), while drilling required 1.5 h and broadcasting required 1 h; however, the seed requirement was lowest in transplanting. Production cost analysis showed that drilling had the lowest cost, followed by transplanting, while broadcasting had the highest cost due to high labor requirements for manual weeding. Net return analysis indicated that drilling generated the highest profit (NT$216,100 ha^{-1}), ten times more than that of broadcasting. These results indicate that proper plant spacing combined with drilling cultivation can improve yield while reducing labor and production costs. The introduction of small-scale mechanized drilling is suitable for mountainous tribal farming systems and can enhance production stability without disrupting traditional farming culture. This approach provides a practical strategy for the sustainable utilization and cultural preservation of indigenous millet in Taiwan.

Key words: Black foxtail millet, Drilling cultivation, Planting density, Mechanization, Indigenous crops.

Received: April 13, 2026; Accepted: June 8, 2026.

* Corresponding author, e-mail: ysjan@mail.kdais.gov.tw

[1] Assistant Researcher, Crop Improvement Section, Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, Pingtung County, Taiwan, ROC.