建立結球萵苣增加碳匯之栽培模式

羅惠齡、李碩朋

農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所蔬菜系

摘要

近年來運用農業廢棄物製作生物炭來改善土壤性質已慢慢受到重視。施用碳化稻殼可改善土壤物理性質和促進土壤微生物活性，使作物根部生長良好。本研究以結球萵苣'常利 6 號'為測試品種，進行施用碳化稻殼增加土壤碳匯試驗。除了球高及生物量處理差異達 5%顯著水準外，包括產量等其他園藝性狀各處理間並無顯著差異，因此結球萵苣栽培至少可以添加 2,500 公斤/0.1 公頃之碳化稻殼至土壤中。田區土壤分析結果為水分含量及總體密度處理間沒有顯著差異，但隨著施用碳化稻殼次數增加，土壤有機碳儲量有略為增加的情形。因此栽培結球萵苣田區施用碳化稻殼，可以提升土壤碳匯能力。

關鍵詞：結球萵苣、碳化稻殼、碳匯

前言

萵苣 (*Lactuca sativa* L.) 屬菊科 (Asteraceae) 一年生草本植物，為國內重要的外銷蔬菜之一。根據 2023 年農情報告資源網 (http://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp) 資料，臺灣全年栽培面積約 3,712 公頃，年產量約 7 萬 1 千公噸，主要種植地區為雲林縣 2,991 公頃，佔總面積的 80% (許等，2009)。其次為桃園市 150 公頃及彰化縣 144 公頃。萵苣品種大致可分為六種類型：結球型 (criphead) 、半結球型 (butterhead) 、立生型 (romaine or cos) 、葉萵苣 (leaf lettuce) 、嫩莖萵苣 (stem lettuce) 及拉丁萵苣 (latin lettuce) (Rubatzky and Yamaguchi，1997) 。嫩莖萵苣栽培時期以中、南部秋、冬季栽培為主，葉萵苣則四季皆可生產。

台灣氣候高溫多雨，土壤中養分流失及有機質分解快速，因此導致農業用化學肥料或堆肥施用過量。近年來運用農業廢棄物製作生物炭來改善土壤性質已受到重視，農業上最常見的生物炭有稻殼炭、木質炭、竹炭及秸稈炭等 (黃等人，2018) 。台灣地區每年約產生 100 萬公噸的稻殼廢棄物，稻殼材質堅硬不易分解，直接施用於土壤中需長時間才能分解，因此改利用碳化稻殼資材更為廣泛。許多研究結果顯示，施用碳化稻殼對土壤性質及肥力有直接或間接的影響，包括改善土壤物理性質、改變 pH 值、提高保肥性、微生物活性和作物抗病性，因此可加以評估運用 (陳等人，2011) 。結球萵苣在台灣的生長期為 10 月至隔年的 4 月，外銷產期主要為 12 月至隔年 3 月。財政部關務署統計資料庫

(https://portal.sw.nat.gov.tw/APGA/GA03) 資料，結球萵苣外銷的數量為 5 萬 2000 公噸，目前結球萵苣全年進口量仍高於出口量，因此延長產期，無論針對國外或國內市場皆為重要議題。結球萵苣為冷涼的作物，適合台灣地區秋冬季節栽培。在中部地區採收適期為 12 月至隔年的 3 月，提早或延後種植會有頂燒症、不結球、抽苔、蟲害嚴重、萎凋死亡及植株腐爛等問題產生。擬施用碳化稻殼，配合活力 3 號養液土壤灌注栽培模式，在水分控制的環境下，使土壤礦質化減少，減少病害發生，讓結球萵苣栽培時間延長，期望在台灣地區全年均可生產結球萵苣，以增加農民的收益。

何謂生物炭？

生物炭 (biochar) 就是由生物質 (biomass) 在缺氧條件下高溫裂解碳化形成穩定的富碳固體產物 (Han *et al*., 2020) 。生物炭含碳量約 50%，施用 2%生物炭於酸性土壤上，可幫助農作生產 (陳，2022) 。生物炭的製備原材料來源豐富，包括木材、農業廢棄物 (如稻稈、果殼) 、生活中產生的有機廢棄物如污泥、植物組織、垃圾以及畜牧業產生的動物代謝廢物等都可以作為生物質原料，而其中牛糞、花生殼、碳化稻殼具有來源廣、容易取得、價格低及養分豐富等優點 (黃等人，2018) 。農業上常見的生物炭包括木炭、竹炭、稻殼炭、秸稈炭等。生物炭具有下列幾項特點：

一、高表面積：生物炭特殊的構造可以吸附土壤養分，使養分不易流失，並增加土壤的通氣性。

二、孔隙結構豐富：多孔隙，具有蜂巢格狀結構，可吸收自身重量 5 倍的水分，因具有良好的結構和理化性質，可作為優良的土壤改良劑，增加土壤的保水、保肥力，改善土壤環境、提高糧食產量。

三、不易分解：生物炭在自然環境下分解速度慢，因此可減少溫室氣體排放，施用於土壤中的生物炭可增加土壤碳匯，減少碳排，成為農業、環境等領域的研究重點 (余等，2024) 。黃等(2020) 選擇花生殼、水稻殼、小麥 秸稈、椰殼及生物燃氣副產物 5 種材料製備的生物炭及不同粒徑椰殼生物炭作為土壤調理劑，進行多種蔬菜盆栽試驗，試驗結果顯示，生物炭的施加均可不同程度提升土壤 pH 值、土壤有機碳含量及陽離子交換容量（cation exchange capacity，CEC）。許多研究報告顯示，如供給適量的炭化資材，並額外施入養分至土壤中，將可增加作物對氮的吸收並增加產量。陳等(2011) 指出添加炭化資材將促進作物對土壤中氮的吸收效率，進而增加產量，儘管土壤中的無機態氮並無隨施用炭化資材而增加，主要原因是炭化資材對土壤物理特性的改善而使作物根系延展良好，故吸收氮的效率增加。

碳化稻殼之應用

水稻生產過程中所產生的稻殼及稻稈為農業廢棄物之一，稻殼中含有高量的矽與鉀，可以成為良好的有機資材。研究顯示，稻殼在缺氧、高溫的條件下加熱，使其碳化，裂解後的副產物─碳化稻殼，為生物炭的一種 (邵等，1990) 。經過炭化後所生成之碳化稻殼，透氣性良好，施用後可增加植物根部氧氣的供應。碳化稻殼之容水量高，可使砂質土壤之保水力提升，增加有益微生物生長。另外，碳化稻殼為鹼性有機資材，可用來改善酸性土壤 (蘇，2011) 。學者研究說明添加碳化稻殼而促使土壤中氮的固定，反而可較單獨添加堆肥時的土壤更能提供作物更為長效的有效氮供給，於農業管理上更具效益。試驗研究顯示，施用碳化稻殼可中和坡地農田土壤之 pH 及增加有效磷含量，進而促進小白菜產量 (簡等，2014) 。陳等 (2011) 探討土壤中添加不同量之稻殼生物炭改良劑，對土壤之性質以及其碳貯存與溫室氣體 (CO_2 和 N_2O) 排放的影響。稻殼生物炭以每公斤土壤施用 0、5、10、15 公克，試驗結果顯示，稻殼生物炭的添加會顯著增加土壤 pH、有效磷及有效鉀含量以及碳貯存。孫等 (2020) 用不同比例的農業廢棄物，如發酵產氣後的沼渣、碳化稻殼、鋸屑、發酵後的秸稈等，做蔬菜栽培基質，進行葉用萵苣種植。試驗結果顯示，不同基質比例所產生的 pH 值不同，以此來比較葉用萵苣的種子發芽率、葉片長度、根長、植株品質及口感等指標，找到適合葉用萵苣生長發育的基質比例。因此，利用蔬菜基質栽培技術不但能夠減少農業廢棄物對環境的污染，更能避免田區連作障礙。

施用碳化稻殼對結球萵苣生長之影響

1. 碳化稻殼施用量試驗

利用結球萵苣常利 6 號品種為供試品種，至雲林縣麥寮鄉及高雄市鳳山區等二地區，面積為 0.1 公頃進行試驗。田區採逢機完全區集設計 (randomized complete block design , RCBD) ，三重複，每小區 30 株，田區碳化稻殼施用量依葉菜類基肥施用推薦量 200 公斤/0.1 公頃為基準，以不施用碳化稻殼為對照。試驗調查結球萵苣株重、球高、球寬、莖長、葉綠素計 (chlorophyll meter, SPAD-502) 讀值及產量。

結球萵苣不同碳化稻殼施用量試驗中，施用 0、200、600 及 1,000 公斤/0.1 公頃等各處理間的性狀與產量並無顯著差異，因此將碳化稻殼施用量增加為 1,000 及 1,500 公斤/0.1 公頃，以未施用碳化稻殼為對照進行試驗，試驗結果如表 1 所示。除了球高差異達 5%顯著水準外，其他性狀各處理間並無顯著差異。隨著碳化稻殼施用量增加，結球萵苣之株重、球寬及總重均較沒有施用碳化稻殼處理為高。園藝性狀調查顯示，碳化稻殼施用量增加並沒有影響結球萵苣的生長，因此將碳化稻殼施用量增加為 2,000 及 2,500 公斤/0.1 公頃進行試驗，試驗結果如表 2 所示。結球萵苣園藝性狀各處理間並無顯著差異，隨著碳化稻殼施用量增加，結球萵苣之球長及球寬均較沒有施用碳化稻殼處理略為增加。在雲林麥寮試

驗結果如表 3 所示，結球萵苣園藝性狀各處理間並無顯著差異。本試驗將碳化稻殼施用量增加為 3,000 及 4,000 公斤/0.1 公頃，試驗結果同樣是園藝性狀各處理間並無顯著差異，但考量大量施用碳化稻殼是否會對土壤造成毒害問題及增加成本支出，因此將以碳化稻殼施用量為 2,000 公斤/0.1 公頃進行後續試驗。

2. 土壤有機碳儲量試驗

土壤總體密度 (Bulk density, BD) 使用土環法 (Blake and Hartge，1986) ，取一固定體積 (土環內徑 5cm、高度 5cm) 之金屬環採取土樣，土壤取樣為每小區取 3 個混合樣品，採樣深度為 0-30 cm 土層，用 8 mesh 網篩過篩，取出石塊及植體，先秤土壤濕重，放入烘箱溫度設定 105 ℃烘乾隔夜後取出，秤土壤乾重，換算土壤水分含量及土壤總體密度。

BD (g/ cm^3) = 烘乾土重/土環體積

將完成總體密度測定之樣品，以乾燒法測定土壤有機碳濃度(TOC)，並帶入公式計算 30 cm 深度的土壤有機碳儲量 (soil organic carbon, SOC) 。

SOC (Mg/ha) = TOC (g/kg) ×〔 BD (g/ cm^3) × 10^8 cm^2/ha × 土層深度(cm) × 10^{-3} kg/g〕 × 10^{-6} Mg/g

$SOC_{0\text{-}30\ cm}$ (Mg/ha) = $SOC_{0\text{-}10\ cm}$ + $SOC_{10\text{-}20\ cm}$ + $SOC_{20\text{-}30\ cm}$

SOC：每公頃 30cm 深度的表土所含總有機碳量

TOC：土壤樣品有機碳測定值

土壤有機碳儲量試驗為至雲林縣麥寮鄉及高雄市鳳山區等二地區進行土壤取樣，在固定的地點將田區分為二區，其中一區分別施用碳化稻殼量 2,000 及 4,000 公斤/0.1 公頃，另一區為不施用碳化稻殼的田區當作對照，鳳山地區結球萵苣田區土壤分析結果如表 4 所示。田區未施用碳化稻殼前的土壤水分含量分別為 18.8 及 19.8%，總體密度分別為 1.30 及 1.33 g cm^{-3}，30 cm 深度有機碳儲量為 23.5 及 30.4 公噸/公頃。將田區未施用碳化稻殼前之土壤有機碳儲量當作基準線，用以探討施用碳化稻殼土壤碳匯情形。田區施用碳化稻殼 2,000 公斤/0.1 公頃，試驗結果如表 5 所示。土壤水分含量分別為 15.0 及 15.4%，總體密度分別為 1.22 及 1.48 g cm^{-3}，30 cm 深度有機碳儲量為 23.6 及 37.9 公噸/公頃，碳化稻殼施用量處理間達 5%顯著差異。田區施用碳化稻殼 2,000 及 4,000 公斤/0.1 公頃，試驗結果如表 6 所示。土壤水分含量分別為 16.5、16.9 及 18.7 %，總體密度分別為 1.10、1.01 及 1.13 g cm^{-3}，30 cm 深度有機碳儲量分別為 26.2、27.9 及 35.8 公噸/公頃，碳化稻殼施用量處理間並無顯著差異。

另外雲林麥寮結球萵苣田區土壤分析結果如表 7 所示。田區未施用碳化稻殼前的土壤水分含量分別為 23.4 及 21.6%，總體密度分別為 1.49 及 1.52 g cm^{-3}，30 cm 深度有機碳儲量為 21.9 及 22.2 公噸/公頃。將田區未施用碳化稻殼前之土壤有機碳儲量當作基準線，用以探討施用碳化稻殼土壤碳匯情形。田區施用碳化稻殼 2,000 公斤/0.1 公頃，試驗結果如表 8 所示。土壤水分含量分別為 17.9 及 17.4 %，總體密度分別為 1.47 及 1.52 g cm^{-3}，30 cm 深度有機碳儲量為 19.8 及 24.9 公

噸/公頃，碳化稻殼施用量處理間並無顯著差異。田區施用碳化稻殼 2,000 及 4,000 公斤/0.1 公頃，試驗結果如表 9 所示。土壤水分含量分別為 18.1、19.9 及 20.0 %，總體密度分別為 1.60、1.62 及 1.63 g cm^{-3}，30 cm 深度有機碳儲量分別為 28.3、30.1 及 35.7 公噸/公頃，土壤有機碳儲量在處理間差異達 5%顯著水準，其他處理間並無顯著差異。隨著碳化稻殼施用量增加，有機碳儲量均較沒有施用碳化稻殼處理為高。

結論與展望

田區碳化稻殼一般建議為每 0.1 公頃施用 100～200 公斤，本試驗以 10 倍量碳化稻殼添加至土壤中，園藝性狀調查顯示，碳化稻殼施用量增加並不會影響結球萵苣的生長。因此，結球萵苣栽培時至少可添加 2,500 公斤/0.1 公頃之碳化稻殼至土壤中，可以提升土壤碳匯能力。余等人 (2024) 探討生物炭替代草炭用於生菜無土栽培的可行性，試驗結果顯示，5 %-20 %生物炭替代草炭後，土壤中總孔隙度、通氣孔隙度、速效磷、速效鉀、微生物生物量和酶活性顯著升高。本試驗二個地區土壤分析結果，其中水分含量及總體密度處理間沒有顯著差異，但隨著施用碳化稻殼次數增加，土壤有機碳儲量有略為增加的情形。麥寮地區土壤有機碳儲量的標準偏差都較鳳山地區為小，顯示麥寮地區的土壤較均質。有學者指出碳化稻殼的施用量是否無上限，除了土壤增匯外，亦應考量作物生長、經濟效應及負面效應的產出。本試驗為固定地點及固定碳化稻殼施用量，對土壤碳含量變化的影響以及蔬菜田碳匯能力的評估，試驗結果顯示，施用碳化稻殼並不會影響結球萵苣的生長及產量，至於對田區土壤是否有負面的影響，有待進一步的土壤質地分析結果。台灣地區每年約產生 100 萬公噸的稻殼廢棄物，此廢棄物約可生產 30 萬公噸的碳化稻殼，而結球萵苣栽培面積約 600 公頃，也可積存約 12,000 公噸的碳化稻殼，對提升地力及增加土壤碳匯量均有幫助。研究說明，應持續在土壤中添加有機資材以維持土壤有機質含量，即使休耕的田區仍應種植覆蓋作物避免土壤裸露。土壤碳匯是緩慢且持續的過程，必須長時間的累積才可以看到成效。因此，期許後續土壤碳相關分析結果能提升蔬菜栽培在土壤碳匯的貢獻度。

引用文獻

1. 林棟樑. 2008. 外銷結球萵苣生產現況與展望. 農友月刊 59:10-12.
2. 余海燕、月培茜、贾永霞、蒲玉琳、羅弦、唐姍姍、徐嘉寧. 2024. 生物炭替代草炭對生菜生長和營養品質的影響. 農業資源與環境學報 41:147-154.
3. 邵舒快、徐建湘、杜小林. 1990. 碳化稻殼覆蓋劑的試驗. 鑄造技術 5:30-31.
4. 孫京、丁偉、張馨月. 2020. 不同農業廢棄物配比基質及 pH 值對生菜生長發育的影響研究. 農業與技術 40(2):39-41.
5. 陳琦玲. 2022. 農業部門減排與增匯技術. 臺中區農業改良場特刊 P.48-51.
6. 陳思昀、賴朝明、柯光瑞. 2011. 稻殼生物炭改良劑對土壤性質、碳貯存及溫室氣體排放之影響. 台灣農業化學與食品科學 49(3): 131-140.
7. 許秀惠、賴婉綺、林俊義. 2009. 萵苣細菌性葉腐病及品種抗性篩檢. Plant Pathology Bulletin 18:101-110.
8. 黃連喜、魏嵐、劉曉文、吳穎欣、李翔、黃玉芬、黃慶、劉忠珍. 2020. 生物炭對土壤-植物體系中鉛鎘遷移累積的影響. Journal of Agro-Environment Science 39(10):2205-2216.
9. 黃兆琴、張乃文、劉霞. 2018. 稻殼生物炭的製備及性質表徵. 廣州化工 46(12):40-43.
10. 簡士濠、陳文棋. 2014. 共同施用堆肥與碳化稻殼對坡地土壤氮與磷釋放潛勢之影響. 農業工程學報 60(4):61-71.
11. 蘇博信. 2011. 碳化稻殼之介紹及田間運用. 高雄區農業專訊 78:16-17.
12. 財政部關務署統計資料庫. <https://portal.sw.nat.gov.tw/APGA/GA03>.
13. 農業部農糧署農情報告資源網. 2023. <http://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp>.
14. Blake, G. R. and K. H. Hartge. 1986. Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling. Agron. Monogr., Madison, WI. p. 363-375.
15. Han L. F., K. Sun, Y. Yang, X. G. Xia, F. Li, Z. Yang, and B. Xing. 2020. Biochar's stability and effect on the content, composition and turnover of soil organic carbon. Geoderma 364:1-17.
16. Nyle C. B. and R. R. Weil. 2010. Elements of the Nature and Properties of Soils. Third Edition. Copyright 2010 by Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 07458.
17. Rubatzky, V. E. and Yamaguchi, M. 1997. World vegetables: Principles, Production and Nutritive Values, 2nd edn. Chapman & Hall, New York.

Establishing a Carbon Sink Cultivation Model for Iceberg Lettuce

Hui-Ling Lo and Shough-Peng Lee

Department of Vegetable Crops, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

In recent years, the use of agricultural waste to produce biochar for improving soil properties has gradually gained attention. The application of rice husk carbon can improve the physical properties of the soil and promote soil microbial activity, leading to better crop root growth. In this study, we used iceberg lettuce ‘Chang Li No. 6’ as the test crop to conduct experiments on increasing soil carbon sequestration by applying rice husk carbon. Apart from significant differences in plant height and biomass at the 5% level, there were no significant differences among treatments in other horticultural traits, including yield. Therefore, in the cultivation of iceberg lettuce, at least 2,500 kg / 0.1 ha of rice husk carbon can be added to the soil. Soil analysis results showed no significant differences in moisture content and bulk density among treatments, but with the increased application of rice husk carbon, there was a slight increase in soil organic carbon density. Applying rice husk carbon in iceberg lettuce cultivation areas can enhance the soil's carbon sequestration.

Key words: iceberg lettuce, rice husk carbon, carbon sink

表 1. 2023 年鳳山地區第一次碳化稻殼施用量試驗結球萵苣生育調查。

Table 1. 2023 Growth survey of iceberg lettuce in the first rice husk carbon application rate trial in the Fengshan area.

Rice husk carbon (Kg/0.1ha)	Total yield weight (Kg/block)	Plant weight (g)	Head height (cm)	Head width (cm)	Stem length (cm)	SPAD value	Yield (tons/ha)
0	10.4±1.5a	364.0±47.1a	11.6±0.1a	11.6±0.4a	5.2±0.9a	17.5±1.9a	48.5±6.3a
1000	10.5±0.7a	380.7±16.9a	11.2±0.2b	12.0±0.4a	4.4±0.7a	20.0±0.8a	50.7±2.3a
1500	10.7±1.1a	381.1±4.9a	11.9±0.2a	12.2±0.2a	4.0±0.1a	17.5±2.8a	50.8±0.7a
$LSD_{0.05}$	2.6	68.8	0.4	1.0	1.8	5.4	9.2
Significance[Z]	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS

[Z]：NS、*、**: the difference was not significant, significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

Seedling date: January 18, 2023　Transplanting date: February 16, 2023

Harvest date: April 6, 2023　Growth days: 49 days

表 2. 2023 年鳳山地區第二次碳化稻殼施用量試驗結球萵苣生育調查。

Table 2. 2023 Growth survey of iceberg lettuce in the second rice husk carbon application rate trial in the Fengshan area.

Rice husk carbon (Kg/0.1ha)	Total yield weight (Kg/block)	Plant weight (g)	Head height (cm)	Head width (cm)	Stem length (cm)	SPAD value	Yield (tons/ha)
0	19.5±5.0a	528.1±52.8a	12.1±0.5a	12.8±0.6a	4.4±0.1a	11.6±0.5a	70.3±7.0a
2000	23.7±7.1a	541.6±154.4a	12.2±1.2a	12.9±1.2a	4.5±0.5a	11.1±1.2a	72.1±20.6a
2500	21.8±7.6a	532.8±178.7a	12.2±1.2a	13.0±1.4a	4.1±0.6a	11.5±1.5a	71.0±23.8a
$LSD_{0.05}$	15.3	212.1	2.0	1.6	0.8	3.0	28.3
Significance[Z]	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[Z]：NS、*、**: the difference was not significant, significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

Seedling date: February 16, 2023　Transplanting date: March 8, 2023

Harvest date: April 18, 2023　Growth days: 41 days

表 3. 2023 年麥寮地區碳化稻殼施用量試驗結球萵苣生育調查。

Table 3. 2023 Growth survey of iceberg lettuce in the rice husk carbon application rate trial in the Mailiao area.

Rice husk carbon (Kg 0.1ha)	Total yield weight (Kg/block)	Plant weight (g)	Head height (cm)	Head width (cm)	Stem length (cm)	SPAD value	Yield (tons/ha)
0	35.1±10.9a	733.9±52.5a	12.0±0.5a	13.8±0.5a	3.3±0.2a	10.1±0.7a	97.8±7.0a
2000	35.9±2.9a	684.0±43.9a	11.9±0.2a	13.9±0.1a	3.1±0.5a	10.0±1.5a	91.1±5.8a
2500	36.1±4.7a	722.7±23.2a	11.6±0.5a	14.1±0.5a	3.5±0.6a	9.8±1.2a	96.3±3.1a
$LSD_{0.05}$	15.6	97.6	1.2	0.9	0.8	2.7	13.0
Significance[Z]	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[Z]：NS、*、**: the difference was not significant, significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

Seedling date: February 16, 2023　Transplanting date: March 2, 2023

Harvest date: April 17, 2023　Growth days: 46 days

表 4. 2023 年鳳山地區結球萵苣田區試驗前 30cm 深度土壤分析。

Table 4. 2023 soil analysis at 30 cm depth in iceberg lettuce fields in the Fengshan area.

Rice husk carbon (Kg / 0.1 ha)	Water content (%)	Bulk density (g cm^{-3})	Soil organic carbon density (tons/ha)
0	18.8±3.0 a	1.30±0.16 a	23.5±6.7 a
2000	19.8±0.6 a	1.33±0.12 a	30.4±3.3 a
$LSD_{0.05}$	8.5	0.1	20.8
Significance [Z]	NS	NS	NS

[Z]：NS、*、**: the difference was not significant, significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

Sampling date: October 30, 2023

表 5. 2023 年鳳山地區結球萵苣田區試驗後 30cm 深度土壤分析。

Table 5. 2023 post-trial soil analysis at 30 cm depth in iceberg lettuce fields in the Fengshan area.

Rice husk carbon (Kg / 0.1 ha)	Water content (%)	Bulk density (g cm^{-3})	Soil organic carbon density (tons/ha)
0	15.0±1.0 a	1.22±0.09 a	23.6±3.5 b
2000	15.4±3.9 a	1.48±0.17 a	37.9±15.5 a
$LSD_{0.05}$	8.2	0.59	47.1
Significance [Z]	NS	NS	*

[Z]：NS、*、**: the difference was not significant, significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

Sampling date: December 14, 2023

表 6. 2024 年鳳山地區結球萵苣田區試驗後 30cm 深度土壤分析。

Table 6. 2024 post-trial soil analysis at 30 cm depth in iceberg lettuce fields in the Fengshan area.

Rice husk carbon (Kg / 0.1 ha)	Water content (%)	Bulk density (g cm^{-3})	Soil organic carbon density (tons/ha)
0	16.5±2.1 b	1.10±0.29 a	26.2±12.6 a
2000	16.9±4.5 ab	1.01±0.14 a	27.9±13.3 a
4000	18.7±1.9 a	1.13±0.15 a	35.8±11.0 a
$LSD_{0.05}$	12.5	0.55	16.9
Significance [Z]	NS	NS	NS

[Z]：NS、*、**: the difference was not significant, significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

Sampling date: February 17, 2024

表 7. 2023 年麥寮地區結球萵苣田區試驗前 30cm 深度土壤分析。

Table 7. 2023 soil analysis at 30 cm depth in iceberg lettuce fields in the Mailiao area.

Rice husk carbon (Kg / 0.1 ha)	Water content (%)	Bulk density (g cm^{-3})	Soil organic carbon density (tons/ha)
0	23.4±6.6 a	1.49±0.09 a	21.9±1.4 a
2000	21.6±6.2 a	1.52±0.13 a	22.2±1.9 a
$LSD_{0.05}$	18.7	0.09	2.5
Significance [Z]	NS	NS	NS

Z：NS、*、**: the difference was not significant, significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

Sampling date: October 20, 2023

表 8. 2023 年麥寮地區結球萵苣田區試驗後 30cm 深度土壤分析。

Table 8. 2023 post-trial soil analysis at 30 cm depth in iceberg lettuce fields in the Mailiao area.

Rice husk carbon (Kg / 0.1 ha)	Water content (%)	Bulk density (g cm^{-3})	Soil organic carbon density (tons/ha)
0	17.9±1.3 a	1.47±0.04 a	19.8±1.5 a
2000	17.4±1.3 a	1.52±0.06 a	24.9±3.0 a
$LSD_{0.05}$	2.1	0.14	10.1
Significance [Z]	NS	NS	NS

Z：NS、*、**: the difference was not significant, significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

Sampling date: December 11, 2023

表 9. 2024 年麥寮地區結球萵苣田區試驗後 30cm 深度土壤分析。

Table 9. 2024 post-trial soil analysis at 30 cm depth in iceberg lettuce fields in the Mailiao area.

Rice husk carbon (Kg / 0.1 ha)	Water content (%)	Bulk density (g cm^{-3})	Soil organic carbon density (tons/ha)
0	18.1±0.4 a	1.60±0.17 a	28.3±3.5 b
2000	19.9±3.5 a	1.62±0.03 a	30.1±0.4 ab
4000	20.0±0.7 a	1.63±0.03 a	35.7±2.4 a
$LSD_{0.05}$	5.3	0.24	6.6
Significance [Z]	NS	NS	*

Z：NS、*、**: the difference was not significant, significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

Sampling date: February 20, 2024