

農業生產中的樹枝木屑



WOOFs 技術指南 2

引言

土壤健康在永續農業中扮演著關鍵角色。透過施用堆肥等有機改良劑來維持並提升土壤有機質含量，可為土壤健康帶來多重益處。這些改良劑會影響養分釋放速率以供作物吸收，並促進作物根系生長，從而對作物產量及更廣泛的生態系統服務產生直接與間接的影響¹。由於大多數土壤中的細菌和真菌都是從有機質中獲取能量和碳，因此添加有機改良劑同時也能提升土壤微生物的活性。隨著微生物活性的增強，土壤有機質轉化為腐殖質的速率隨之增加，進而提升碳封存量。

帶枝（新鮮）木屑²是農業土壤中一種相對新穎的潛在碳源及土壤有機質來源。「肥沃土壤用木屑」（WOOFs）計畫旨在研究利用枝幹木屑及堆肥木屑來提升土壤健康，同時鼓勵農民將農場內的木本植被（如樹籬）作為農場系統的整合性組成部分進行管理，藉此增加添加至土壤中的材料多樣性。本指南是 WOOFs 計畫三份技術指南中的第二份，概述了該計畫田間試驗的主要成果。

健康牲畜、作物及人類的基礎在於健康的土壤。健康的農業土壤能支持作物生長，為根系生長提供物理結構，具備吸收與滲透水分的能力，能儲存與釋放養分，並能抑制病蟲害。除了作物生產外，健康的土壤還提供更廣泛的生態系統服務，包括碳封存、維護生物多樣性與水質、防止養分和沉積物流失至水道，以及將溫室氣體排放降至最低。

土壤健康受土壤中物理、化學及生物成分之間動態交互作用的影響。許多因素會影響土壤的特性，但在農業環境中，對土壤健康影響最大的變因是土壤有機質（SOM）含量³。將有機質（無論是糞肥或堆肥）混入土壤的做法，已在許多農耕系統中廣為採用，此舉有助於避免氮、磷等可溶性養分過度釋放，同時為土壤微生物的生長與活動提供必要的能量與碳來源⁴

以及那些頂尖的土壤工程師——蚯蚓。這些微生物和蚯蚓排出的膠質與多醣體，有助於形成穩定的土壤團聚體，並提升土壤保水與保養分的能力。

鑒於土壤有機質（SOM）的重要性，在缺乏可用糞肥或堆肥的情況下，尋找替代性或補充性的有機質來源，對於維持農田土壤的健康至關重要。由許多農場現有的樹籬和樹木管理過程中產生的枝條木屑（RCW），或許能提供解決方案。研究發現，RCW

以提高土壤有機質含量及土壤保水能力⁵。一項關於翻耕對溫帶及熱帶地區作物產量與土壤性質影響的綜述

研究發現，在大多數情況下，施用RCW對作物產量具有正面影響，惟在沙質土壤中於混入RCW後立即種植作物的情況除外⁶。另一項研究發現，RCW能增加沙質土壤的總土壤碳含量及保水能力，且在配合使用NPK肥料的情況下，對馬鈴薯產量並無負面影響⁷。在熱帶農作系統中，研究發現施用RCW後番茄產量幾乎翻倍⁸。

本刊物は「木屑促進土壤肥力計畫」（WOOFs for Fertile Soils, WOOFs）系列三份技術手冊中的第二份，摘要了三家試行在土壤中添加RCW的商業無牲畜耕作農場（包括耕地與蔬菜農場）所獲得的關鍵結果。



何謂枝幹木屑（RCW）？

RCW 是由直徑較小、較年輕的樹枝製成的新鮮未堆肥木屑。從營養角度來看，這些是樹木中最富營養的部位，年輕樹枝所含的礦物質、胺基酸、蛋白質、植物激素及酵素，可高達整棵樹總量的 75%⁹。一項關於 RCW 在農業系統中應用的綜述指出，有證據顯示將其施用於耕作土壤後，可提升土壤生物活性並增加土壤有機質（SOM）¹⁰。

在冬季落葉後將直徑較小的新鮮樹枝進行切片或粉碎處理，有助於土壤微生物迅速侵入，從而將養分與能量轉移至土壤腐殖質複合體¹¹。理想情況下，材料直徑應小於 7 公分，並應在秋季或冬季切片後盡快鋪設，以保持木屑濕潤，並為分解過程提供最佳條件。

試驗設置與資料蒐集

2017/18年冬季（T1），在英格蘭南部的三座農場設立了重複性田間試驗，並於2018/19年冬季（T2）再次進行，使每個試驗點均進行了兩次試驗。在 Tolhurst Organics農場，另納入一項於2016/17年冬季（T0）設立的RCW試驗。每項試驗皆測試了RCW施用與綠廢堆肥、木屑堆肥及／或未施用改良劑之對照組的不同組合。這三座農場均未飼養牲畜且無動物性投入物，土壤肥力源自增肥作物、堆肥及／或礦物肥料。

在施用前，已對 RCW 和堆肥進行了基質分析。隨後在試驗期間，持續收集土壤養分、土壤有機質及土壤生物學的相關數據。研究人員對不同處理組的蚯蚓數量進行了計數，若試驗區有作物生長，則會測量作物的生長狀況與產量。

表 1：參與試驗的農場及試驗中採用的處理方式（SRC 為短輪伐灌木林）

農場	土壤類型	處理方式（3次重複）	施用劑量與時機
Tolhurst Organics：有機蔬菜生產	砂質粉砂壤土	1. 混合灌木籬笆的堆肥木屑 2. 堆肥木屑 3. 未施作對照組	T0：每公頃施用 70 立方公尺，施於為期兩年的豆科牧草輪作第一年 T1 及 T2：每公頃施用 40 立方公尺，施於為期兩年的豆科牧草輪作第一年
Wakelyns 農林複合系統：採用有機耕作輪作的農林複合行間種植	砂質壤土	RCW 來源： 1. 楊樹短輪作（SRC）農林業 2. 柳樹短輪作（SRC）農林複合系統 3. 榛樹短輪作（SRC）農林複合系統 4. 混合樹籬 5. 無處理對照組	T1：每公頃施用40立方公尺，用於兩年期豆科牧草的第一年 T2：80 立方公尺／公頃，施用於為期兩年的豆科牧草輪作系統的第二年（施用量加倍並再次施用）
唐農場：傳統耕作	砂質粉質壤土	1. 來自混合樹籬的樹枝碎屑 2. 綠廢堆肥 3. 未施作對照組	T1 與 T2：每公頃施用 150立方公尺，於播種春作（大麥／油菜）前施於冬作稈秸上，並配合礦物氮肥施用

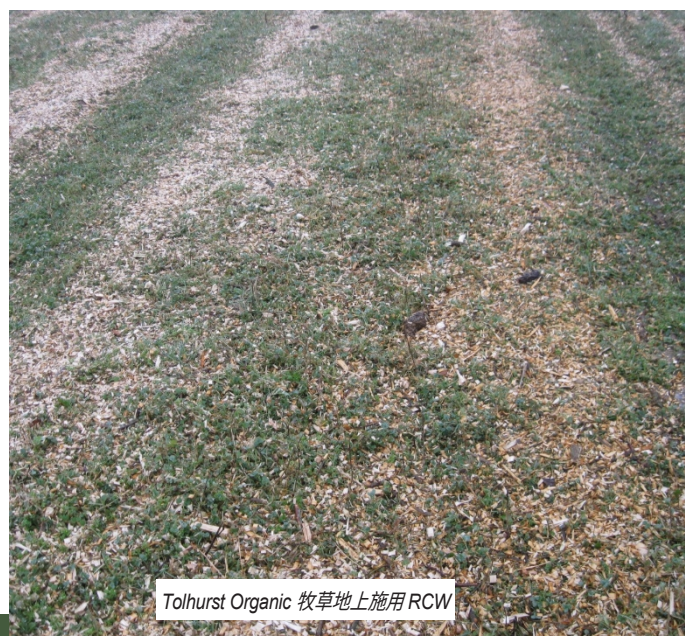


基質分析

堆肥與 RCW 皆能提供寶貴的有機物質，有助於增加土壤有機質，同時也作為氮、磷及其他關鍵植物養分的緩釋肥料。堆肥的成分會因所使用的原料及堆肥製程而有所不同。表 2 列出了堆肥與 RCW 中可預期的近似養分值。

表 2：典型堆肥²與 RCW 的近似鮮重數值（公升/噸）

營養素	綠廢堆肥 (kg/t)	RCW (公升/噸)
氮（以 N 計）	8.1	4.6 – 11.5
磷酸鹽（以 P ₂ O ₅ 計）	3.3	1.4 - 5.3
鉀（以 K ₂ O 計）	6.6	3.0 – 13.0
鎂（以 Mg 計）	2	0.26 - 1.1
硫（以 S 計）	1	-



磷含量增加

磷（P）是唯一似乎對處理（堆肥或回收廢水）產生反應的關鍵養分。磷對根系發育、根系分泌物形成及植物與微生物的相互作用具有重大影響，且對生物固氮至關重要。

在所有試驗中，無論施用量為何，施用 RCW 均會使磷含量增加；與對照組相比，施用堆肥亦會使磷含量增加，但 RCW 所呈現的趨勢更為一致且顯著（表 3）。這與先前一項報告指出施用 RCW 會降低磷含量的試驗結果相悖⁷，該試驗是在種植馬鈴薯前，將 150^{立方}公尺/公頃的 RCW 施加於酸性砂質土壤（pH 4.8）並翻入表層 10 公分處，研究人員推測磷含量降低是因微生物將磷固定所致。然而，磷的可利用性受 pH 值影響——pH 值低於 5.5 或高於 7.5 會限制其可利用性——而此差異可能是因為所有土壤在 WOOFs 試驗中，土壤健康狀況的基線值原本就相對較高，且 pH 值接近中性。大多數農業經營活動

會導致土壤酸化，而 WOOFs 試驗中出現了一些跡象，顯示施用 RCW 會對 pH 值產生影響；在 Tolhurst Organics，木屑堆肥和 RCW 的 pH 值顯著低於對照組，但在其他農場則未見此趨勢。視投入原料而定，堆肥對土壤可能具有微弱的中和作用，其效果約為石灰¹²，因此能穩定土壤 pH 值並減輕無機肥料的酸化作用。

在鎂（Mg）和鉀（K）方面，各處理組之間未見顯著差異；與未施加任何改良劑的對照區相比，所有試驗中各處理組的土壤有機質（SOM）變化亦極為輕微。這三處試驗農場在試驗開始前，土壤有機質的基線水平已相對較高，且作為農場規劃的一部分，有機質添加及土壤有機質維護措施。在已實施養分累積型輪作的農場中，觀察到土壤有機質隨年份增加，這與無耕作的情況下預期結果一致。

表 3：三處試驗農場的土壤健康檢測分析結果。數據為各年份及試驗的平均值

試驗地點	施用率	處理組	P (毫克/公升)	K (毫克/公升)	鎂 (mg/l)	土壤有機質	pH	二氧化碳 (毫克/公斤)	C:N (2020)
托爾赫斯特有機	無	對照組	23.9	85.6	80.0	4.9	7	132.0	10.7
	40-70 ^{立方} 公尺	堆肥	26.9	84.4	81.1	4.6	6.7	172.5	10.7
		RCW	26.4	87.6	82.9	4.7	6.6	172.9	10.5
唐農場	無	對照組	24.2	287.7	81.1	3.9	7.2	147.5	14.4
	100-150 ^{立方} 公尺	堆肥	22.3	293.1	83.4	4.4	7.4	149.8	15.3
		RCW	25.2	305.1	82.9	3.9	7.3	137.8	13.9
Wakelyns 農林業	無	對照組	10.4	102.7	50.9	4.9	7.8	115.4	11.3
	低（40 立方公尺）	榛樹	10.6	107.6	50.8	4.9	7.4	114.0	11
		混合	9.2	111.9	51.8	4.5	7.6	114.2	-
		楊木	9.5	109.8	50.8	4.5	7.8	114.3	-
		柳樹	8.9	105.3	50.9	4.7	7.7	112.0	10.5
	高（120 立方公尺）	榛樹	11.6	117.5	52.8	5.3	7.4	100.0	10.6
		混合	10.3	130.3	50.3	5	8.2	112.3	-
		柳樹	11.1	109.5	49.7	5.2	7.9	96.0	10.5

RCW 會鎖住氮嗎？

據報導，RCW 的碳氮比 (C:N)^{7,13} 介於 70 至 150 之間。當碳氮比 (C:N) 較高的有機質——RCW 的 C:N 比^{6,13} 介於 70 至 150 之間——被添加到土壤中時，分解該物質的微生物會利用可利用的氮。因此，氮素被固定，在碳氮比降低之前⁽¹⁴⁾，後續作物將無法利用該氮素。

在所有三座農場中，RCW 試驗區的 C:N 比均呈現低於對照組的趨勢。Wakelyns 和 Tolhurst Organics 農場土壤的平均 C:N 比介於 10 至 11 之間，而 Down Farm 農場的數值則略高，介於 14 至 16 之間（表 3）。RCW 的 C:N 比低於對照組的結果出乎意料，這表明在試驗的這個階段，RCW 已分解至不再導致氮素固定。在一項針對番茄施用 RCW 的試驗中發現，由於劇烈的氮固定作用，RCW 在第一茬作物期間抑制了番茄的生長與產量。第二茬作物期間觀察到生長與產量的改善，這歸因於 RCW 在土壤中經長期滯留後，氮素釋放效率有所提升⁴。

WOOFs 試驗中收集的產量與植株健康數據支持此結論，並顯示在這些試驗中，使用 RCW 並未造成顯著程度的氮固定。然而，需注意的是，WOOFs 試驗是在商業農場進行的，且為防範 RCW 可能導致氮鎖定，試驗中使用了豆科牧草或礦物氮。

施用 RCW 三年半後，Tolhurst Organics 種植的十字花科作物顯示出早期生長可能受到影響（圖 4），但作物產量並未因此受到負面影響。

RCW對土壤生物學的影響

土壤總有機質（SOM）隨管理措施的改變而產生的變化，通常反應遲緩，且需歷經漫長的時間才顯現。英國環境、食品與農村事務部（Defra）的研究¹⁵顯示，改善有機質管理（例如使用有機改良劑）能帶來可測量的養分供應效益，但這些效益往往需實施至少六年後才得以實現。土壤的生物活性與土壤中可礦化有機質的含量密切相關，而這部分易分解或活性有機質，可作為衡量土壤對管理措施反應的更佳指標¹⁶

WOOFs試驗嘗試透過多種採樣與分析方法，捕捉土壤有機質（SOM）活性組分對處理措施所作出的任何變化；包括Solvita二氧化碳 CO_2 脈衝法；真菌與細菌的計數及活性水平；蚯蚓族群數量與群落組成監測。

Solvita CO_2 爆發法

此測試是 NRM 土壤健康套件¹⁷ 的一部分，用於測量土壤在重新濕潤後微生物的呼吸作用

乾燥樣本，並可大致反映土壤生物活動。在托爾赫斯特有機農場（Tolhurst Organics）的所有試驗中，RCW 和堆肥區域的土壤呼吸作用均顯著高於對照組，但 RCW 與堆肥之間的差異並不明顯，這表明這兩種改良劑均能對土壤生物活性產生積極作用。然而，在另外兩處農場並未觀察到此趨勢，而在瓦克林斯（Wakelyns），增加 RCW 的施用率似乎會略微降低土壤呼吸作用（表3）。

真菌／細菌

細菌和真菌是土壤食物網底層的主要分解者，它們以有機物為食。研究人員對不同處理組的樣本進行了總菌數、活性菌數及真菌數的檢測，並分析了菌根真菌對根系的定殖情況。這些結果在不同地點、試驗組及年份間差異極大，且主要未能得出明確結論。然而，仍觀察到處理組之間存在一些細微差異。例如：

- 2019 年，在 Down Farm 和 Tolhurst Organics 的 RCW 試驗區中，總細菌數量顯著高於堆肥試驗區。此外，在 Wakelyns 的柳木屑試驗區中，總細菌數量也顯著高於其他處理組，而這種模式在 2018 年或 2020 年並未出現。細菌總生物量可作為捕食者食物豐度、養分容納力、細菌群落整體多樣性以及土壤健康狀況的指標，這顯示出 RCW 處理相較於堆肥或對照處理具有某些正面影響。
- 在 RCW 試驗區中，也觀察到總真菌數量呈現上升的趨勢。真菌以其比細菌更能有效分解木質纖維素物質的能力而聞名。真菌與細菌的比例越高，表示透過改變碳循環模式，碳儲存潛力越大。在 Down Farm，RCW 試驗區的總真菌數量顯著更高；而在 Wakelyns，總真菌數量在施用率較高的試驗區顯著更高，且隨年份推移呈現上升趨勢。
- 在所有試驗地點的 RCW 區域中，均觀察到真菌子實體數量的增加。其他研究亦顯示，在土壤中施用 RCW 後，真菌族群數量會增加¹⁸。



瓦克林斯農林業 RCW 試驗區內發現的真菌

提高 RCW 施用量會產生什麼影響？

瓦克林斯農林業的試驗於第一年施用了來自不同農場來源的 40^{立方}公尺 RCW。第二年，為探究增加施用量的影響，並避免在不同田地另設試驗，改為在半數試驗區額外施用 80 立方公尺的柳樹、榛樹及混合 RCW，使總施用量這些試驗區的施用率為 120^{立方}公尺，為期兩年。

結果顯示，與單次施用相比，當施用量增加時，榛樹、柳樹及混植區域的土壤有機質含量顯著增加施用率（表 2），且高施用率區域中的磷含量顯著較高。結果亦顯示，隨著施用率提高，鉀含量呈上升趨勢，而二氧化碳含量則呈下降趨勢。然而，在採樣期間內，對於所測量的大多數其他參數而言，提高施用率所產生的影響並不顯著。

在地面上，高施用率與低施用率之間未見明顯差異，且對 2020 年芥菜田使用無人機拍攝的航拍照片進行分析後各試驗區的覆蓋作物在植株健康狀況與生長表現上並無明顯差異。然而，在解讀本試驗結果時須謹慎，因為試驗區域（高施用量與低施用量）並非隨機分配，且觀察到的效果可能是田間潛在差異所致。

RCW對蚯蚓的影響

許多農業活動都會導致土壤中的蚯蚓數量減少，特別是在耕作系統中，由於定期擾動土壤、可能造成土壤板結，以及土壤內外有機質含量較低，這種情況尤為明顯。這意味著蚯蚓的數量與多樣性可作為土壤狀況及其相關管理措施影響程度的指標。

蚯蚓可分為三種生態型，用以描述牠們在土壤中的棲息位置及取食對象。在許多耕作土壤中，以土壤表層落葉碎屑為食的蚯蚓物種（「表層型」），往往十分稀少或完全缺席；同樣地，那些會挖掘永久垂直洞穴並將表層碎屑拖至較深土層的「穴居型」物種，也同樣罕見。若在土壤表層添加樹枝木屑或堆肥，預期會觀察到更多表棲蚯蚓，同時也將出現更多穴棲蚯蚓，具體數量則取決於土壤耕作的頻率。

每年都會在三座農場的不同處理組中進行蚯蚓數量統計。2020年進行了一項更詳盡的蚯蚓調查，除了統計數量並將，還對成體蚯蚓進行了物種鑑定。Tolhurst Organics 農場記錄到最高的蚯蚓多樣性，共發現11種不同物種。

表 5：2020 年 3 月每平方公尺平均蚯蚓數量及記錄到的物種數

地點	蚯蚓/m ²	總物種數	每區塊平均物種數
托爾赫斯特有機農場	793	11	5.5
唐農場	353	8	5
瓦克林斯農林複合經營	354	6	3.8

耕作土壤中平均每平方公尺含有150至350條蚯蚓，而每平方公尺超過400條的蚯蚓族群數量，已被證實能為耕作作物生產帶來顯著效益^{19, 1}。2020年3月，在托爾赫斯特有機農場（Tolhurst Organics）的調查中，每份樣本（20公分×20公分×20公分）平均記錄到略少於32條蚯蚓，換算後相當於每平方公尺略少於800條蚯蚓。相較之下，另外兩家農場（Down Farm 和 Wakelyns Agroforestry）均為耕作農場，其平均數不到前述數值的一半，每份樣本僅略多於14條蚯蚓，換算為每平方公尺350條蚯蚓。

所有農場中最顯著的差異均出現在不同試驗與不同年份之間。無論是托爾赫斯特有機農場（Tolhurst Organics）還是沃克林斯農場（Wakelyns），其各試驗中的所有處理組，蚯蚓總數隨時間推移均呈現增長趨勢，唯獨唐農場（Down Farm）未見此現象。這種增長很可能主要歸因於長期養分累積型牧草地所伴隨的耕作減少。

2020年，位於T1區的唐農場中，堆肥區與對照區的蠕蟲總數顯著高於RCW區。此趨勢在其他年份並未出現。

在托爾赫斯特有機農場（Tolhurst Organics）的所有試驗及年份中，RCW 處理區與堆肥處理區的總蚯蚓數量顯著高於對照區；此外，相較於對照區，RCW 處理區與堆肥處理區的表土型及深層型蚯蚓生態型數量亦顯著更多。在2018年托爾赫斯特有機農場的T0試驗中，雖然總蚯蚓數量

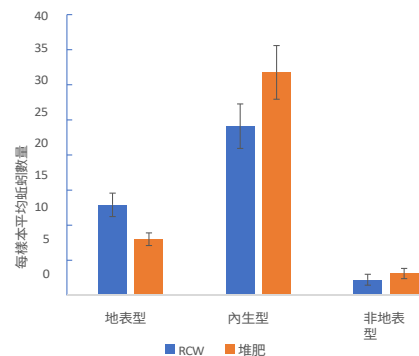


圖 1：托爾赫斯特有機農場施用 RCW 兩年後 T0 試驗中每樣本的平均蚯蚓數量

在堆肥區計數到的內棲蚯蚓（棲息於土壤中）數量較多，而在 RCW 區則計數到顯著更多的表棲蚯蚓（棲息於落葉層並以此為食）（圖 1）。這項早期試驗未設置未施作的對照區。

RCW 會因製作所用樹木的種類與樹齡而有所不同嗎？

為製作 WOOFs 試驗中使用的樹木殘渣（RCW），將農場內多種樹木及樹籬物種進行截干並切碎。物種的選擇取決於農場的現有資源及管理需求，但均為英國原生的闊葉樹種。來自混種樹籬（山楂、黑刺李、榛樹及其他樹籬物種的混合）的樹木殘渣作為常數對照組，並於三座農場中均被採用。



瓦克林斯（Wakelyns）的試驗採用了來自另外三種來源的短輪伐林木屑（RCW），即來自農林複合系統的楊樹、柳樹和榛樹短輪伐林（SRC），因此我們可以藉此觀察不同樹種之間的差異。對不同來源的短輪伐林木屑進行基質分析後發現，各木屑來源之間的變異性極大，其中柳樹來源的短輪伐林木屑

短輪伐林（SRC）的木屑，其磷（P）、鉀（K）、鎂（Mg）和氮（N）的養分指數相較於其他來源極低。然而，數據分析顯示在較低的施用劑量（40 t/ha）下，四種處理組與對照組之間的差異極小。當施用劑量增加時，則出現了一些差異；例如，在較高的施用劑量下，柳樹試驗區的 pH 值（0.357 ± 0.13）顯著高於榛樹試驗區（表 3）。

然而，從試驗結果來看，用於生產 RCW 的原料似乎對土壤的養分狀況或其他特性影響不大。我們並未納入來自針葉樹或其他常綠樹種的 RCW，因為這些樹種可能產生更顯著的影響。

托爾赫斯特有機農場的馬鈴薯與十字花科作物

在 2019 年 (T0) 和 2020 年 (T1)，我們針對每種處理方式計算了馬鈴薯總產量，並根據品質足夠優良且尺寸足夠大、可供銷售的馬鈴薯數量，計算出可銷售產量。根據這些數據，我們進一步計算出可銷售產量佔總產量的比例。

表 6：托爾赫斯特有機農場 WOOFs 試驗的馬鈴薯總產量與可銷售產量

試驗	處理組	總產量 (公噸/公頃)	標準誤差	商品產量 (公噸/公頃)	標準誤差	商品產量佔比
T0 (2019)	堆肥	47.04	0.19	32.87	0.91	69%
	RCW	41.94	1.21	30.19	0.65	72%
T0 (2020)	堆肥	50.16	6.42	45.99	6.69	91%
	RCW	53.40	2.86	48.61	2.38	91%
	對照組	53.55	8.27	47.38	7.85	88%

2019 年 (T0)，施用堆肥的土壤中馬鈴薯總產量 (47 公噸/公頃 $\pm$ 0.19) 顯著高於未施用堆肥的土壤 (42 公噸/公頃 $\pm$ 1.21) 就 RCW 而言；然而，就可銷售產量而言，此差異並不顯著。2020 年 (T1) 總產量之間並無顯著差異，但相較於對照組，堆肥與 RCW 的可銷售產量比例較高。此差異部分歸因於堆肥區塊中的害蟲損害增加 (表 6)。

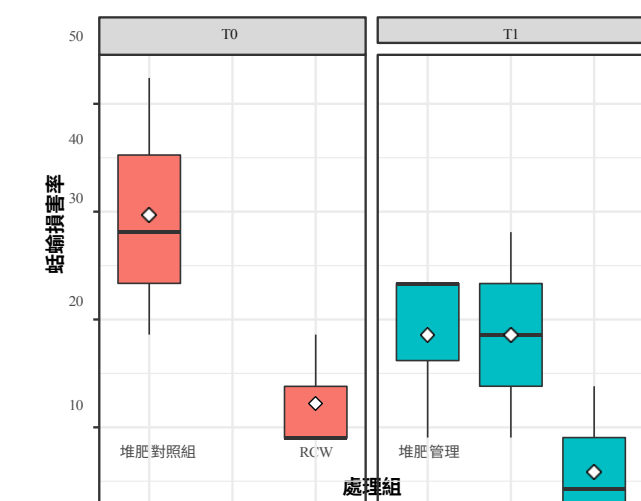


圖 2 2019 年 (T0) 與 2020 年 (T1) Tolhurst Organics 各處理組間蛭蟪危害發生率。菱形代表平均值。

在收穫時，針對每個重複組的馬鈴薯樣本，記錄了害蟲造成的損害及任何病害跡象 (例如疥瘡)。其中最嚴重的損害是由蛭蟪造成的。無論在 2020 年 (T1) 或 2019 年 (T0)，RCW 試驗區的蛭蟪危害程度均顯著較低。此結果出乎意料，並部分解釋了商品產量與總產量之間的差異。在監測的其他病蟲害方面，未觀察到顯著差異。加拿大一項針對馬鈴薯作物使用 RCW 的試驗⁷ 發現，RCW 並未促進

研究指出，土壤中含有引起普通疣瘡病的病原體，並建議增加土壤有機質 (SOM) 可提升生物活性，包括能降低病原體發生率的腐生菌。



在 2020 年馬鈴薯收成後，即施用木屑三年半後，於試驗區 T0 種植了十字花科作物。經目視檢查，發現部分較年輕的十字花科植株上可見生長較弱的帶狀區域，這些區域似乎與處理重複組相對應 (圖 4)。

基於上述觀察，研究人員對三種不同的十字花科品種 (白甘藍、球莖甘藍、瑞典蕪菁) 進行了評估。從每個試驗區採集樣本，計算收穫時的平均重量，並對病害及營養缺乏症進行目視評估。結果顯示，RCW 處理區的瑞典蕪菁收穫時重量顯著高於對照組 (堆肥) 處理區，且瑞典蕪菁葉片上的霜霉病發生率較低。白甘藍在堆肥處理區的平均重量呈現高於 RCW 處理區的趨勢，其餘葉片健康狀況與病害評估均未顯示各處理組之間存在差異。



唐農場的大麥與油菜

2018年所有試驗區的產量均偏低，反映了當年的乾旱狀況；其中對照組的平均產量為5.99公噸/公頃，低於木屑處理組（6.42公噸/公頃）及堆肥處理組（6.63公噸/公頃）。2019年的產量有所提升，且堆肥組與RCW組產量持續上升的趨勢再次顯現。但這些差異並未達到統計顯著性。

由於技術上的問題，2020年油菜的產量數據僅為近似值，且僅有 T1 處理的數據。RCW 處理區的產量呈現低於堆肥處理區或對照組的趨勢（表 7）。

表 7：Down Farm 的大麥與油菜籽平均產量（噸/公頃）

試驗	年份	作物	處理	作物平均產量（噸/公頃）	標準誤差
T1	2018	春大麥	對照組	5.99	0.48
			RCW	6.42	0.54
			堆肥	6.63	0.04
	2019		控制	9.17	0.88
			RCW	9.49	0.42
			堆肥	9.26	0.63
	2020	油菜	對照組	2.76	0.02
			RCW	2.64	0.03
			堆肥	2.77	0.02
T2	2019	春大麥	對照組	10.11	0.58
			RCW	10.25	0.59
			堆肥	10.39	0.57



結論

這些試驗結果顯示，當施用於豆科牧草地或與肥料配合使用時，RCW對作物產量的影響微乎其微或呈正向，並可能增強作物對病蟲害的抗性。

馬鈴薯的商品產量顯示，RCW 可能有助於抑制蛭蟥活動並減少損害。2018年春大麥的產量顯示，木屑和堆肥可能都能提高土壤的保水能力，並增強作物對極端天氣事件的抗逆性。

在所測量的多數土壤參數中，各處理組之間未觀察到顯著差異，唯磷（P）除外。添加RCW可提高所有土壤中的磷可利用性

試驗農場的結果顯示，若農場的磷含量偏低，無論是紅樹林木屑（RCW）還是堆肥，都值得考慮。至於土壤生物學方面的結果，大多尚無定論。

這些試驗結果顯示，RCW 可能具有與堆肥相似的許多益處，因此可作為一種選擇對於牲畜稀少或缺乏堆肥原料的農民而言，這是一項解決方案。RCW 同時為樹木及樹籬管理活動產生的碎枝提供了潛在用途，並為田間焚燒這些物料提供了實用的替代方案，既能保留農場的肥力，也有助於將樹籬及邊緣地帶的養分導入田間。對農場

樹籬與樹木的農場，帶來額外效益，不僅能改善其結構、功能與存活率，更能確保各種潛在的生態系統服務得以充分實現。

然而，必須注意的是，木屑的分解、真菌的定殖以及隨後對土壤的作用是一個長期過程；雖然這些結果並未顯示出來，但堆肥與回收木屑（RCW）對土壤的作用可能略有不同，因此可以互補使用。今後的一項建議可能是將木屑與堆肥混合，或根據供應情況交替施用，以兼顧兩者的優點。

此外還應注意的是，WOOFs試驗農場原本就擁有生物活性強、養分可利用率高且定期施用有機質的土壤，因此這些地點可能對RCW的任何影響（無論是正面或負面）具有更強的緩衝能力。像 RCW 這種富含纖維素和木質素的有機改良劑，特別適合土壤碳儲量耗竭且生物活性較低的退化土壤¹⁹，若能在溫帶地區的生物活性較低土壤上進行 RCW 試驗，將具有重要研究價值。

要培育出具有韌性、能自我調節且抗退化的土壤，關鍵在於增加土壤中的碳（有機質）輸入量，並減少碳的流失。RCW 是一種有用的輔助改良劑，研究發現每施用 1 立方公尺可為土壤增加 0.09 公噸碳¹⁹，而一項長期研究²⁰ 則觀察到，當施用 25 至 100 公噸/公頃的 RCW 時，土壤碳含量增加了 16% 至 37%。

總而言之，RCW 並非萬靈丹，但在碳捕獲與封存、整體土壤與作物健康，以及協助農場邁向投入物自給自足與封閉式農耕系統等方面，仍具備帶來顯著效益的潛力。

參考文獻

1. Sandhu, H. S., Wratten, S. D., & Cullen, R. (2010). 有機農業與生態系統服務。《環境科學與政策》，13, 1-7
2. Westaway, S. (2020) 樹枝木屑的生產與應用。《WOOF 技術指南》第 1 期
3. Magdoff, F.R. & H. van Es (2000) 《培育土壤，提升作物產量》。《永續農業網絡手冊》第4冊。佛蒙特州伯靈頓。
4. Birkhofer, K. 等 (2008)。長期有機耕作促進地下與地上生物群落：對土壤品質、生物防治及生產力的影響。《土壤生物學與生物化學》，40, 2297-2308。
5. 蘇馬雷等人 2012。《桉樹與玉米落葉對落花生 (*Arachis hypogaea*) 生長、發育、菌根定殖及根瘤形成的影響》。《非洲生物技術期刊》11: 93
6. Barthes, B. G., Manlay, R.J. 2010 & Porte, O. (2010) 枝條木質改良劑對作物與土壤的影響：實驗結果綜述。《農業文集》19(4):280-287
7. Tremblay, J. & Beauchamp, C.J. (1998) 《加拿大土壤科學期刊》。78: 275-282
<http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.4141/S96-065>
8. Robert, N., Tanguy, M., Riss, J. & Gallois, R. (2014)。樹枝碎木改良劑對雜草防治、土壤性質及番茄產量的影響。《園藝學報》1018, 383-389
9. 諾埃爾, I. B. (2006) 碎枝木：瓦隆有機農業的新動力？《Aggra 期刊》第 4-7 頁
10. 卡隆 C、勒米厄 G、拉尚斯 L (1998) 利用枝條碎木再生土壤。魁北克省木材與林業科學系出版物第 83 號
11. Lemieux G (1993) Lemieux G, Germain D (2000) 《枝條木屑：永續肥沃土壤的關鍵》。出版物第 128 號。木材與森林科學系，魁北克，加拿大
12. WRAP (2004) 《農業與田間園藝中的堆肥應用：堆肥資訊包》
<http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/AgCIP1.pdf>
13. Viaud, V. 等 (2019)。關於經灌木修剪木屑改良之土壤品質的交叉觀點。第六屆世界農業大會海報，蒙彼利埃 2019。
14. Lampkin, N. (1997) 《有機農業》。Farming Press, 英國伊普斯維奇
15. Stockdale, E. (2018) 《土壤有機質的測量與管理》。《優質土壤資料單》。AHDB
www.ahdb.org.uk/greatsoils
16. 海恩斯, R.J. (2005) 易分解有機質組分作為農業土壤品質的核心組成部分：綜述。《農業進展》85:221-268。
17. 自然資源管理 (NRM) 土壤健康套件。
www.cawoodscientific.uk.com/nrm/services/agriculture/
18. Nelson, E. (1972) 尿素與木屑對土壤微生物群落的影响。《Microbios》5: 69-72。
19. Van Groenigen, J.W. 等 (2014) 蚯蚓可提高植物產量：一項荟萃分析。《科學報告》2014: 4
20. 恩戴耶加米耶, A. 與 安傑斯, D. A. (1993) 施用木質殘渣 9 年後，砂質壤土的有機質特性與水穩定團聚體。《加拿大土壤科學期刊》73: 115-122。

致謝

感謝試驗主辦單位：Tolhurst Organics 的 Iain Tolhurst、Down Farm 的 Robert Benford，以及 Wakelyns Agroforestry 的 Paul Ward、David Wolfe 和已故的 Martin Wolfe，感謝他們對這些試驗的參與與熱情；同時感謝 ORC 實習生 Anais Rousseau、Ellie Brown、Heidi Hoffman 和 Andres Cruz 在資料蒐集方面的協助；此外，亦感謝運作小組的其他成員：來自土壤協會 (Soil Association) 的本·拉斯金 (Ben Raskin)、漢普郡木質燃料合作社 (Hampshire Woodfuel Cooperative) 的威廉·哈默 (William Hamer)、蘇格蘭農村與社區大學 (SRUC) 的克里斯汀·沃森 (Christine Watson)、樹木修剪服務公司 (Tree Shear Services) 的奈傑爾·斯蒂姆森 (Nigel Stimson) 以及有機研究中心的多米尼克·阿莫斯；蚯蚓專家喬·史密斯與菲爾·桑普森，感謝他們在編輯與設計方面的貢獻。

本研究隸屬於 EIP-AGRI「木屑促進土壤肥力」運作小組。完整的研究結果，以及關於資料蒐集與分析方法的更詳細說明，請參閱完整專案報告，該報告可從 EIP Agri 網站下載：<https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en>



