

樹枝木屑的生產與應用



WOOFs 技術指南 1

在農場透過樹木與樹籬管理所產生的拉米亞碎木（RCW），能否作為耕地及

園藝生產？「WOODchip for Fertile Soils (WOOFs)」歐洲創新計畫（EIP）運作小組透過為期三年的田間試驗，研究了這項創新技術，將樹木與樹籬管理與一年生作物種植相結合。本指南是三份簡明技術指南中的第一份，概述了這些試驗的觀察結果與成果。本指南重點探討使用根莖莖稈（RCW）的後勤安排與經濟效益。

維持農田土壤中的土壤有機質（SOM）對於土壤肥力、土壤結構及長期土壤健康至關重要。在常年耕作的土壤中，維持並提升土壤有機質是一項普遍的挑戰，農民通常會採用多種方法並行。在無牲畜的農場中，除了使用豆科牧草和綠肥外，反覆施用堆肥也能長期改善土壤有機質。但這類材料若需從外部採購，不僅成本高昂且難以永續；若自行生產並在農場進行堆肥處理，而堆肥過程需要空間和時間。堆肥的一種可行替代方案，是將農場在樹木和樹籬管理過程中產生的木屑用作土壤改良劑，既可進行堆肥處理，亦可直接作為「樹枝木屑」（Ramial Chipped Wood, RCW）施用。

何謂樹枝木屑（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%¹。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)²。

在冬季落葉後將直徑較小的新鮮枝條進行切片或粉碎處理，有助於土壤微生物迅速侵入，使養分與能量能更快地轉移至土壤腐殖質複合體³。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。



唐農場土壤上的綠枝木屑

RCW：協助農民認識農場中樹木與樹籬的益處

樹籬與樹木能在農業景觀中提供多種生態系統服務，並有助於緩解集約化農業的部分負面影響。然而，在英國，除了透過農業環境計畫提供的支援外，目前幾乎沒有激勵措施促使農民重視這些樹木與樹籬，特別是在耕作區，那裡往往優先考慮大型機械的通行便利性。由於需要較小直徑的原料，灌木籬笆與短輪伐期灌木林（SRC）農林複合系統成為生產 RCW 的理想選擇。

細徑木材（RCW）有望成為農民可自行培育的永續肥力與有機質來源

，同時為管理現有及建立新的農場木本資源提供經濟誘因。細徑木材生產可與採集較粗木材作為薪柴或其他用途相結合。



瓦克林斯農林業的榛樹短輪伐林

WOOFS 試驗

這三處試驗農場均未飼養牲畜且無動物投入，其肥力來源於增肥作物、堆肥和／或礦物氮肥。

表 1：參與試驗的農場及試驗中採用的處理方式

農場	類型	處理（3次重複）	施用劑量與時機	
托爾赫斯特 有機農場	有機蔬菜生 產	1. 混合樹籬產生的 RCW	每公頃施用 40–70 ^{立方公尺} ，用於兩年期豆科 牧草輪作的第一年	
		2. 堆肥木屑		
		3. 無需控制		
Wakelyns 農林複 合系統	農林複合行間種 植，搭配有機耕 作輪作	來源：	40 立方公尺／公頃，施用於為期兩年的豆科牧 草輪作的第一年	
		1. 楊樹短輪作（SRC）農林業	80 立方公尺／公頃，施用於半數試驗區的第 二年	
		2. 柳樹短輪作（SRC）農林複合系統		
		3. 榛樹短期輪作（SRC）農林複合系統		
		4. 混合樹籬		
5. 無干預對照組				
唐農場	傳統耕作	1. 來自混合樹籬的樹枝碎屑	每公頃施用 100 至 150 ^{立方公尺} ，於播種春作（ 大麥／油菜籽）前施於冬季荳地	
		2. 綠廢堆肥		
		3. 未施作對照組		

農場自產 RCW——您需要多少棵樹？

鑑於木屑體積龐大，為盡量降低運輸成本，在農場內生產並使用 RCW（盡可能接近來源）是合乎情理的。RCW 可透過將現有林地管理過程中產生的材料進行切片處理來製成樹木與樹籬，以及／或透過種植樹木以供未來生產木屑。要估算農場目前可用的木屑潛力，最佳做法是先盤點現有的樹木與樹籬，以及那些適合管理以生產可再生木屑（RCW）的植被。截干、修剪和疏伐皆可產生生產可再生木屑所需的小徑枝條與碎枝。表 2 列出 WOOFs 及早期試驗的平均產量數據，供參考。然而，需注意產量會因以下因素而有所差異：特定場地的生長條件（例如土壤類型、地理位置）；樹種；截干輪作週期長度及種植密度。樹木的生長速率通常在截干後的頭 10 至 20 年內最高，例如，與較老的樹株相比，榛樹短輪作林（SRC）在截干後 3 至 6 年間的年生物量增長率更高⁴。規劃種植以生產可再生林木資源時，建議將灌木輪伐週期與作物輪作週期相結合，以確保收穫時能順利進入林區。例如，若採用 5 年輪作週期並包含 1 年牧草期，則規劃以 5 年為週期進行灌木輪伐，使其與輪作週期中的牧草期相吻合，此舉便具有實用性。

表 2：不同系統產出的木屑平均體積，以及每年處理 1 公頃土地所需提供 60 立方公尺 RCW 的木屑數量。

系統	灌木林輪 伐	再生林木屑（RCW） 的平均（範圍）體積 'm'	60 立方公尺 RCW 量	
100 公尺混種樹籬（100-200 棵樹）	10 年	12.75 (8 - 17.5)	470 公尺	
100 公尺榛樹短輪伐期農林複合種植帶（133 棵）	5 年	11 (8 - 14)	546 公尺	2.7 公里
100 公尺柳樹短輪伐期農林複合種植帶（165 棵）	2 年	5 (4 - 6)	1200 公尺	2.4 公里
每棵作為燃料木（柳樹）砍伐的樹木所 產生的碎枝*	7 年	1.14	52 棵	370 棵

假設：

- 體積數據基於 RCW 試驗場及成熟林系的實際數值^{5,6}
- 樹籬可自由向上生長，並於約 7 公尺高度進行截干
- 碎木處理假設直徑大於 7 公分的所有材料均作為原木採收

* 加上每棵樹約 0.5 立方公尺的原木



農場上的 RCW 生產

較老的樹籬進行首次截枝採伐時，通常會產生比輪作期確立後更多的木材量。

例如，在唐農場（Down Farm）進行截干式修剪的成熟、未經管理的田地邊界樹籬，每100公尺可產出³⁶立方公尺的木屑。相較於其他農場首次採伐所得的每100公尺21至29立方公尺產量⁵，此數據表現優異；然而，來自較老樹籬的木屑可能包含較不適合用於道路維護（RCW）的大直徑材料，且該木屑可能更適合其他用途（例如：木質燃料^{4,6}）。

唐農場（Down Farm）的耕作試驗田面積為 14.6 公頃，若要以每公頃 60^{立方公尺的用量}處理整片田地，則需砍伐 2.5 公里的初次修剪灌木叢，或在 10 年輪作週期內砍伐 6.8 公里的灌木叢（表 2）。Wakelyns Agroforestry 採用短輪作灌木（SRC）農林複合系統，提供了一種可能的解決方案；該系統在田間採用短輪伐期灌木（SRC）農林複合模式，種植榛樹與柳樹以生產木屑，同時在行間的通道中種植農作物與蔬菜，而SRC所產生的木屑不僅足以供農舍取暖，更剩餘大量可用於提升土壤肥力⁷。

為了在較大的耕地上大規模應用輪作林地（RCW），最有效且最具成本效益的生產方法，很可能是結合收穫現有樹木與樹籬，並在田間以行植方式（行間種植）或在低產的角落種植柳樹、楊樹和榛樹等生長迅速的灌木樹種。

根據伊恩·托爾赫斯特（Iain Tolhurst）在其農場提供的柳樹灌木林生產數據（如表 2 所示），他估算若要每七年為 2 公頃土地施用 RCW，其農場需維持約 20% 的樹木覆蓋率。

Wakelyns Agroforestry 的保羅·沃德（Paul Ward）也推薦柳樹：「若想快速獲得大量木屑，請將柳樹單行種植，這樣更容易切片和處理。榛樹作為燃料的品質較佳。楊樹則不理想，因為它從砍伐那一刻起就會吸收水分，枝條脆弱，難以切片，且生長不直，加上萌蘗會讓砍伐過程耗時費力。」

生產 RCW 的最簡單方法是什麼？若您僅需 RCW，伊恩·托爾赫斯特建議您：「種植並

「將其作為農作物收割、成行栽種，或將田地劃成方塊，並以稍短的輪伐期進行截干栽培——若使用不同樹種，應選擇生長速度相近的樹種（例如柳樹和楊樹），並將它們分開栽種。」

施用方式與施用量

在其中兩座農場，RCW於冬季施用於第一年建肥草地；在另一座農場，則於春季作物播種前施用（表1）。建議於冬季將新鮮的RCW施用於土壤表面^{1,2}。作為預防措施，以防

鑑於第一年可能出現氮素固定現象，這些試驗中，腐熟木屑（RCW）要麼施用於豆科牧草地，要麼配合施用礦物氮肥；試驗農場均為商業農場，且未測試未採取上述措施的腐熟木屑施用情況。

先前研究中報告的RCW施用量範圍從10噸/英畝（約相當於60^{立方公尺}/公頃）¹⁰ 到150-200^{立方公尺}

，用於第一年退化土壤的再生，而隨後的施用率則低得多，到第四年僅為10-20 立方公尺⁹。試驗中使用的施用量範圍為 40 立方公尺

每公頃150^{立方公尺}，具體取決於可用材料，

各農場之間的施用率無法直接比較。在 Wakelyns 進行了一項對照實驗，將單次施用 40^{立方公尺}於豆科牧草地的區塊，與額外追加施用 80^{立方公尺}的區塊進行比較，結果顯示，若在次年採用較高的施用率進行改良，其效果會有輕微提升（詳見 WOOFS 技術指南第 2 號）。

土壤狀況可能影響決策，雖然冬季是生產和施用木屑（RCW）的最佳時機，但此時土壤狀況可能不適合機械行駛。在 Wakelyns Agroforestry，農民發現為了將

，必須將材料移至碎木機旁，或是將碎木機移至材料旁，這在冬季並不理想，因為這意味著必須在潮濕的土壤上行駛，並會造成相關的土壤壓實。

木材的採收、切片與施用

WOOFS RCW 試驗採用了各種不同尺寸和規模的機械。在 Down Farm，使用了較大型的機械，先以樹木剪刀對灌木叢進行截干修剪，隨後使用由起重機供料的燃料級碎木機處理材料，並租用 Vredo 牌糞肥撒布機來撒布木屑

（參見第 3 頁及第 6 頁照片）。在規模較小的另一端，Tolhurst Organics 農場的樹籬與樹木則採用手動方式，使用鏈鋸進行截幹，並以小型 Timberwolf 手動進料碎木機將物料粉碎，最後使用後卸式糞肥撒布機進行撒布。

Wakelyns 農場使用的糞肥撒布機經過改裝，加裝了防護罩以提升施用精準度（見第 3 頁照片）。後卸式移動底板糞肥撒布機非常適合施用堆肥和木屑。施用成本通常為每立方公尺 0.5 至 1.6 英鎊，具體取決於是否使用農場自有機械或僱用承包商。

不同規模各有優劣，最佳方法的選擇將取決於待截幹樹木的數量、大小、位置以及可用的機械設備。

若樹籬長度較短且樹木數量較少，小規模的手工方法可能更為

若規模較大，適當延長樹籬長度並增加樹木數量將更為合適。先前針對樹籬截干的試驗^{6,8}已詳細分析了不同規模的成本，並發現一般而言，至少需要 250 公尺長的樹籬

，才能抵銷租用大型機械及相關運輸成本的開銷。^{6,8}



托爾赫斯特有機農場的柳樹灌木林



唐農場的碎木作業

經濟效益

表 3：農場自產樹枝木屑與其他來源樹枝木屑／堆肥的成本比較

投入	成本	每公頃成本	其他成本／效益
由農場材料生產的樹枝碎屑			
來自樹籬的木質殘渣	採收與切片（人力／機械）	2,433 英鎊	成本：因種植樹木／樹籬而閒置的土地
	小規模：鏈鋸與手動進料碎木機（£40.50 /m³）	645 英鎊	效益：農場內樹木與樹籬提供的其他生態系統服務效益： - 改善樹木與樹籬的管理 - 樹木與樹籬管理可能獲得的環境管理補助（例如：樹籬截幹補貼 4 英鎊／米） - 封閉式農耕系統——減少對外部投入物的依賴 - 可透過薪柴或其他樹木產品獲得額外收入 - 每年灌木刈割成本最高可降低 0.25 英鎊／米
	大規模作業：樹木剪枝機與起重機餵料式碎木機（每立方公尺 10.75 ^{英鎊} ），不含機械運輸費用		
SRC 農林業的 RCW	中型規模：拖拉機搭載圓鋸機與手動進料碎木機（£33 /m³）	1,986 英鎊	
由運抵原料製成的堆肥			
木屑堆肥	翻堆堆肥所需的機械與人工（£4.40/立方公尺），另附免費運送的園藝木屑	264英鎊	成本：供應中斷／品質問題。數量較少 優點：可能無需堆肥即可作為可回收廢棄物（RCW）使用
綠廢堆肥	生產成本（用於分揀和粉碎物料、翻堆及篩選堆肥的機械及人工費用，每立方公尺 22 ^{英鎊} ，以農場規模運作為基準）	1320英鎊	成本： - 堆肥生產與儲存用地 - 初期設置成本需龐大投資 - 遵守法規的相關成本 - 塑膠污染。 效益： - 接收貨物所收取的入場費（每噸 20 至 40 英鎊） - 若堆肥獲得 PAS 100 認證，銷售可帶來潛在額外收入
外部採購的 RCW 或堆肥			
木屑（RCW）	購買（每立方公尺 18 ^{英鎊} ）、運送（每車次 180 英鎊）及搬運（每車次 45 英鎊）	1,305 英鎊	成本：供應中斷／品質問題
綠廢堆肥	採購（60立方公尺 500英鎊）、運送（每車 180 英鎊）及搬運（每車 45英鎊）	680英鎊	

備註：假設施用率為 60^{立方公尺}/公頃。未來施用率可能較低。不含撒布成本。所有方法的益處包括長期增加土壤有機質，並改善土壤結構及保水能力。

WRAP 估計，堆肥的肥料替代價值約為每立方公尺 2.75 英鎊⁹。此外，堆肥與木屑所帶來的土壤有機質長期改善，可促進作物生長、在耕作過程中節省燃料、減少澆灌頻率以節省人力與水資源，並改善土壤結構。這些效益雖難以量化，但農民在使用堆肥後確實能察覺到這些好處。

效率至上

就時間效率而言，最有效率的施用方法是採用 Tolhurst Organics 的方式，其試驗設置使材料能夠直接經由截枝和切片處理後送入堆肥撒布機，並在單一作業流程中直接施用於田間。截枝的樹幹和木屑體積龐大，所需的搬運或移動作業越多，該項作業的成本和耗時就越高。例如，在 Down Farm 搬運木屑的成本估計為每立方公尺 1.25^{英鎊}，且耗時近一整天。然而，該農場最大的意外成本在於清除。在進行截干作業前，需先從樹籬上拆除鐵絲，以免損壞碎木機；以 400 公尺長的樹籬為例，這項工作耗費了四天的工時。然而，若不計入這些額外成本，且假設有機械可用，唐農場（Down Farm）的大規模機械化截干與碎木作業最具成本效益（表3）。

此外，增加農場樹木覆蓋率所帶來的額外效益，或反之，過度使用礦物肥料對環境造成的潛在損害，也難以量化其價值。但即使不計入這些成本，表 3 所列的總結數據仍顯示：若能取得充足的木屑供應（例如來自當地樹木修剪活動或輸電線路清理），且農場內有足夠空間進行堆肥，這將是最具成本效益的選擇。倘若此類材料能直接用作堆肥化處理的樹木殘體（RCW），無需經過堆肥化處理，這將

進一步提升對農民的吸引力。此材料日後或可搭配農場內透過管理現有樹木及樹籬所產出的木屑加以補充。若將此作業規模擴大，以生產大型耕作農場所需的木屑或堆肥量，將大幅增加生產成本；即使不計入基礎設施的設置成本，購買現成的堆肥仍顯著更具成本效益。然而，購買堆肥也存在潛在問題：對品質的掌控能力較低，且須受制於市場波動，面臨價格與供應量的不確定性。

摘要

若純粹基於成本考量，根據上述資訊，農民不太可能選擇 RCW 而非堆肥。然而，許多因素可能使 RCW 成為具吸引力的選擇，包括堆肥供應短缺、缺乏儲存空間或自製堆肥的空間，以及希望在投入物方面實現自給自足。

不同方法的相對成本會因系統和農場而異，但就經濟效益而言，RCW 法很可能最具優勢：

- 當採用截干法來更新老舊的樹籬時，
- 當地木屑供應有限、價格昂貴及／或品質無法保證時。
- 當灌木籬或樹木管理產生的碎枝，若不加以利用將無法被其他用途所用。

此外，還應考慮到，儘管 RCW 和堆肥都能為土壤增添有機質，但兩者對土壤的作用卻有所不同（參見《WOOFs 技術指南》第 2 號），因此可以互補地加以運用。

在生產 RCW 的過程中，需考量規模經濟效應；隨著產量增加，每單位的截枝與切片成本會隨之降低，且採用更大、更高效的機械進行作業也變得可行。然而，大型農業企業往往較難靈活調整與適應，因為其規模（田地大小、所需營業額）意味著採用人工或小型機械進行作業的成本過高，難以實行。

參考文獻與致謝

1. Noël IB (2006) 《碎枝木：瓦隆有機農業的新動力？》Revue Aggra 第 4-7 頁 <http://andre.emmanuel.free.fr/brf/articles/aggradation4.pdf>
2. Caron C, Lemieux G, Lachance L (1998) 《利用枝幹碎木再生土壤》。魁北克省木材與林業科學系出版物第83號
3. 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
4. Westaway S, Smith J (2020) 田地還是樹籬？如何將樹木整合至農場木質燃料系統。林地信託研究簡報
5. Westaway S, Smith J (2019) 生產性樹籬：將英國樹籬重新納入農場經營的指引。 <https://zenodo.org/record/2641808#X2tZQot7nIU>
6. Westaway S, Smith J (2018) SustainFARM 成果報告 4.2：評估、採收、切片及加工技術，以提升灌木籬與農林業產出的木屑品質
7. 史密斯 J、韋斯特威 S (2020) 《Wakelyns 農林複合系統：透過多樣性實現韌性》。有機研究中心出版物 <https://tinyurl.com/WAF-resilience>
8. Chambers M, Crossland M, Westaway S, Smith J (2015) 《灌木籬木燃料採收指南》。 <http://tinyurl.com/TWEOM-BPG>
9. 《農業與田間園藝中的堆肥應用》。WRAP 報告（2004） <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/AgCIP1.pdf>
10. Free, G.R. (1971) 《霍尼奧伊土壤蔬菜生產的土壤管理：特別針對硬木的應用》。《植物科學與農藝學》

本研究隸屬於 EIP-AGRI「木屑促進土壤肥力」運作小組 (<https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en>)

謹此感謝試驗活動的主辦單位：來自 Tolhurst Organics 的 Iain Tolhurst、來自 Down Farm 的 Robert Benford，以及來自 Wakelyns Agroforestry 的 Paul 和 Mark Ward、David Wolfe 及已故的 Martin Wolfe；此外，亦感謝運作小組的其他成員：來自土壤協會（Soil Association）的 Ben Raskin、來自漢普郡木質燃料合作社（Hampshire Woodfuel Cooperative）的 William Hamer、來自蘇格蘭農村事務委員會（SRUC）的 Christine Watson、來自 Tree Shear Services 的 Nigel Stimson，以及來自有機研究中心（Organic Research Centre）的 Dominic Amos。



承包商在唐農場鋪設木屑

有機研究中心，特倫特小屋，斯特勞
德路，西倫塞斯特 GL7 6JN

電郵：hello@organicresearchcentre.com 慈善機
構編號：281276 公司編號：1513190

www.organicresearchcentre.com