

盤固草生物炭的特性研究與對牧草生長的影响⁽¹⁾

王紓愍⁽²⁾⁽³⁾ 劉信宏⁽²⁾ 游翠凰⁽²⁾ 陳嘉昇⁽²⁾

收件日期：107 年 3 月 26 日；接受日期：107 年 5 月 4 日

摘 要

本研究的目的是為了解畜試所生產的盤固草生物炭(簡稱草炭)特性,以及對不同牧草生產及土壤上的影響,做為後續研究的參考。草炭是以不適用的廢乾草,經炭窯炭化而成(溫度介於 450 – 550°C 間,時間約 5 – 7 小時),炭製成率約 20%。草炭的平均 pH 值為 9.6、電導度(EC)為 5.0 ms/cm、碳含量為 64.2%、氮含量為 1.7%、磷含量為 2.0%、鉀含量為 3.8%、灰分為 12.9%,碘值與亞甲藍值分別為 469.8 mg/g 及 15.0 mg/g。將製成之盤固草炭分別施用於青割玉米、苜蓿及盤固草三種牧草的草地,結果顯示,牧草炭對當期作青割玉米(1 kg/m²)及苜蓿累積產量(2 kg/m²)都有促進生長的效果,但對盤固草則無反應;同時,不論牧草種類,施用草炭均顯著增加土壤有機質含量,顯示盤固草炭具有增加牧草地的碳蓄積效果。本研究結果可以做為農業廢棄物資源化利用與循環農業之參考。

關鍵詞：生物炭、牧草、土壤改良、碳固定。

緒 言

由聯合國氣候變遷小組(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 2013 年的報告,地表持續升溫,陸域與海域的平均溫度在 1880 – 2012 年間,合計已升溫 0.85°C。2011 年二氧化碳、甲烷、氧化亞氮的濃度超出工業時代前分別為 40%、150%、20%,造成包括海平面上升、極端氣候頻度增加等現象,對自然與社會各個層面影響深遠。面對氣候變遷的事實,各領域專家均各自提出不同的因應方法,碳封存或碳固定(carbon sequestration)即其一。以農業的角度,利用植林、輪作、不整地栽培、有機耕作等方法均可捕捉 CO₂ 並貯存於植體或土壤中(林及柳, 2009; McConkey, *et al.*, 2003; Pimentel *et al.*, 2005; Komatsuzaki and Suyaib, 2010)。但同時農業操作也可能造成溫效氣體的釋放(Follett, 2001; Franzluebbers, 2005),因此農業的減碳措施常受各種內外條件的影響,不一定能發揮預期的效果。近年歐美新興的研究議題是利用生物炭(biochar)改善耕地,欲藉此措施同時達到土壤改良及碳蓄積(carbon sink)的效用(Sohi *et al.*, 2010; Fischer and Glaser 2012)。

熱裂解(pyrolysis)是人類很早就開始發展的炭化技術,近年因石油短缺與溫效氣體減量等議題而重受注意,是第二代生質能源發展的方向之一(Jahirul *et al.*, 2012)。熱裂解技術是指在缺氧的環境中,加熱生質物質(biomass)以生產裂解油及生質焦炭。加熱速率、溫度和生質物在裂解反應器的滯留時間是決定熱裂解反應的三個重要參數。除熱裂解反應外,氣化與悶燒下也都會有焦炭產生。生物炭與煤炭、焦炭、木炭等物質的本質類似,均為生質物質經自然或人為熱裂解反應的固體產物。生物炭是較晚近出現的名稱,主要是指那些應用於農業或土壤改良等方面的熱裂解固體產物,此類物質一般具有多孔隙、比表面積大以及不易分解的特性(Sohi *et al.*, 2010),因此適於進行土壤改良及增加土壤碳匯。多數的研究顯示生物炭具備良好的土壤改良效果並有助於農業生產(Sohi *et al.*, 2010; Jeffery *et al.*, 2011; Jones *et al.*, 2012; Rogovska *et al.*, 2014; Subedi *et al.*, 2016),但因各種生物炭的特性以及試驗條件不一,詳細的機制與效益評估仍需更多的研究。

盤固乾草是重要的國產芻料,然而因為調製過程的天候因素或倉儲問題,每年都有部分草包無法利用,因此,畜試所自行開發牧草炭窯生產盤固草炭(以下簡稱草炭),以提高廢棄草包之附加價值。本研究目的即為了解畜試所自產草炭的特性及其對青割玉米、苜蓿及盤固草等國產牧草生產及土壤之影響,以進一步進行後續利用並評估碳蓄積情形與可能效益。

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2589 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所。

(3) 通訊作者, Email: smwang@mail.tlri.gov.tw。

材料與方法

- I. 草炭的生產：材料為畜試所恆春分所廢棄的盤固乾草，利用自行設計之炭化窯進行生產，炭化溫度約為 500°C。
- II. 草炭特性分析：包括 pH 值、電導度 (EC)、組成含量 (碳、氮、磷、鉀、鈣、鎂、銅、鋅及灰份)、比表面積 (BET) 及吸附性 (0.1 N 碘溶液及 100 ppm 亞甲藍吸附性)。pH 及 EC 為草炭 / 蒸餾水 (1/1) 萃取後之測值。碳以總碳分析儀測定。氮、磷、鉀、鈣、鎂、銅、鋅等元素分析是利用濃硫酸及雙氧水，於 400°C 高溫分解至澄清，稀釋定量後保存於冰箱中，再分別經凱式氮測定儀測定總氮，磷以鉬藍法呈色後以分光光度計測定，鉀、鈣、鎂、銅、鋅則以原子光譜儀測定。灰分為 600°C 下 6 小時的殘存重量比。比表面積委託臺大化工系粉粒體實驗室測定 (Micromeritics ASAP 2010)。吸附性測定分別進行 0.1 N 碘液及 100 ppm 亞甲藍經 16 小時的吸附量。
- III. 草炭對牧草生長的影響：
 - (i) 青割玉米：以恆春分所青割玉米品系試驗的三個區集設置為本試驗的三個處理：對照 (CK, 不施用草炭)、低草炭 (T1, 1 kg/m²) 及高草炭 (T2, 2 kg/m²)，並以 4 個青割玉米品系為重複，於整地時將草炭均勻混入土中。除此之外，所有栽培管理均依原本品系試驗方式進行，種植前以臺肥二號 (N : P₂O₅ : K₂O = 11 : 9 : 18, 400 kg/ha) 為基肥，中耕培土再追施 200 kg/ha。試驗由 103 年 2 月 17 日種植 (春作)，5 月 30 日收穫調查，收穫之後重新整地再於相同田間進行相同的試驗，調查連作的效果，種植至調查期間為 6 月 24 日至 9 月 11 日 (夏作)。土壤於草炭施用前後分別取樣，測定土壤狀況。
 - (ii) 苜蓿：試驗於畜試所恆春分所苜蓿新植田區進行，處理包括對照 (CK, 不施用)、低草炭 (T1, 1 kg/m²) 及高草炭 (T2, 2 kg/m²) 三種，三重複，小區排列採拉丁方設計，每一小區為 4 m²，每一小區周圍有 1 m 寬的緩衝區。田區整地後，將各區處理均勻施入土中，播種後依分所慣行方式進行苜蓿的田間管理 (不施肥，僅於必要時進行噴灌)，待植株生長至約 50 公分高度開始刈割調查苜蓿生長量，調查方式為坪割 1 平方米之地上部，調查之後將整個試區全區刈割，使苜蓿重新生長。苜蓿重生期間依舊不施肥，只視田間含水情形適度噴灌。自 102 年 9 月 26 日播種後至 104 年 10 月 23 日止共進行 12 次調查。土壤於草炭施用前後分別取樣，測定土壤狀況。
 - (iii) 盤固草：試驗於長年生長的盤固草地上進行，處理包括對照 (CK, 不施用草炭及肥料)、化學肥料 (F, 臺肥 1 號, N : P₂O₅ : K₂O = 20 : 5 : 10, 100 kg/ha)、草炭 (B, 2 kg/m²)、草炭加肥料 (BF, 2 kg/m² 草炭加 100 kg/ha 化肥)，4 重複，試區設置採 RCBD 設計，小區面積 4 m²，每試區與相鄰試區周圍相隔 1 m 之緩衝帶。處理方式為草地刈割後，將處理平均撒施試區表面，調查方式如苜蓿草地。試驗於 103 年 6 月 10 日進行處理，至 105 年 7 月 15 日止共進行 6 次調查，每次刈割收穫後 F 及 BF 處理均施用臺肥 1 號 100 kg/ha。土壤於草炭施用前後分別取樣，測定土壤狀況。
- IV. 土壤取樣及分析：土壤取樣：每試區於中心及對角 4 點各取一個 15 cm 土樣，去除碎石、殘株等雜物後混合風乾，風乾土以 2 mm 過篩後進行各項分析。分析項目含 pH、EC、有效性磷、鉀、鈣、鎂、總氮、總碳及有機質含量。
- V. 統計分析：試驗結果以 SAS 軟體 (SAS, 2002, ver.9) 之 GLM Procedure 進行變方分析，各組效應均為固定型，以鄧肯氏法 (Duncan's test) 測驗處理間的差異顯著性。

結果與討論

I. 草炭生產及特性分析

本研究之炭化方式為慢速熱裂解，炭窯及製程是依草炭生產目的自行設計，可以穩定的將盤固草廢草轉變為草炭，炭窯溫度介於 450 – 550°C 間，炭化時間約 5 – 7 小時，炭製成率約 20% (in wt%)。草炭的組成分析如表 1，其平均 pH 值為 9.6、EC 為 5.0 ms/cm、碳含量為 64.2%、氮含量為 1.7%、磷含量為 2.0%、鉀含量為 3.8%、灰份為 12.9%，其中以 EC、鎂、磷、碳及鉀等項目的變異性較大，變異係數分別為 38.9%、24.5%、20.4%、20.0% 及 19.7%。碘值及亞甲藍吸附如圖 1，平均的碘值與亞甲藍值分別為 469.8 mg/g 及 15.0 mg/g。比表面積 (BET) 測定結果分別為 35.0 ± 1.4 m²/g 及 222.7 ± 5.3 m²/g。

II. 草炭對青割玉米、苜蓿及盤固草生產的影響

草炭對青割玉米的試驗結果如表 2，春作的結果顯示施用草炭的乾物產量顯著優於對照，低草炭處理的產量

最高，但高低草炭處理間沒有顯著差異。夏作時仍以低草炭處理的產量最高，但各處理間差異不顯著。結果顯示草炭的施用對青割玉米的生長有正向反應，至於連作時未見差異的原因尚須進一步探討。此外由於本次試驗的重複為 4 個不同的青割玉米品系，重複間的變異較大，也可能影響處理效應的呈現。表 3 為青割玉米試驗進行前後的土壤分析，其中 pH 值、土壤有效磷含量、鈣含量及鎂含量沒有明顯變化，土壤有效鉀含量及總氮量在試驗前後有顯著差異，可能與青割玉米根系生長與土壤間反應有關。高草炭處理的土壤總碳及有機質含量在青割玉米種植後含量增加，而對照組在試驗後反而有含量降低的趨勢。

表 1. 盤固草炭的組成及特性

Table 1. The characters of pangolagrass biochar used in this study

| | pH | EC | C | N | P | K | Ca | Mg | Cu | Zn | Ash |
|---------|-----|-------|---------------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|
| | | ms/cm | ----- % ----- | | | | ----ppm---- | | | | % |
| Mean | 9.6 | 5.0 | 64.2 | 1.7 | 2.0 | 3.8 | 0.2 | 0.4 | 15.7 | 8.7 | 12.9 |
| Max. | 9.9 | 7.5 | 73.0 | 2.3 | 2.3 | 4.8 | 0.3 | 0.5 | 20.8 | 10.8 | 14.1 |
| Min. | 8.7 | 2.9 | 54.2 | 1.0 | 1.5 | 2.7 | 0.1 | 0.3 | 10.8 | 7.5 | 12.1 |
| CV. (%) | 5.4 | 38.9 | 20.0 | 11.3 | 20.4 | 19.7 | 9.3 | 24.5 | 14.6 | 9.0 | 5.0 |

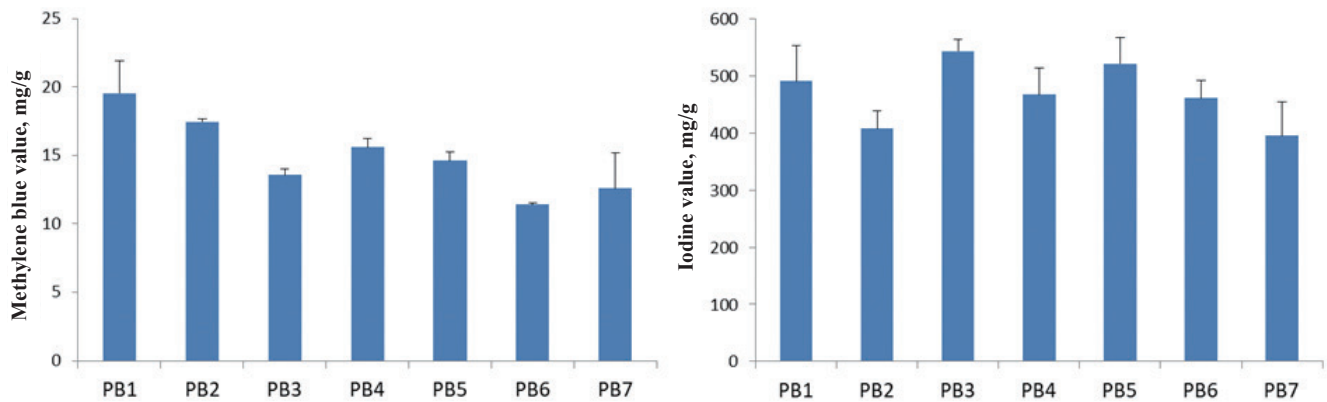


圖 1. 不同批牧草炭的亞甲藍值（左）與碘值（右）。PB1 – PB7 代表不同批製作之盤固草炭。

Fig. 1. The methylene blue value (left) and iodine (right) of pangolagrass biochar. PB1-PB7 mean different lots of pangolagrass biochar.

表 2. 草炭施用對青割玉米乾物產量的影响

Table 2. The effects of pangolagrass biochar on dry matter yields of forage corn

| Treatment | Spring cropping* | | Summer cropping | |
|------------------------------|--------------------------------------|--|------------------|--|
| | ----- Dry matter yield, ton/ha ----- | | | |
| Control | 10.2 ^b | | 9.2 ^a | |
| Biochar, 1 kg/m ² | 15.2 ^a | | 9.4 ^a | |
| Biochar, 2 kg/m ² | 14.7 ^a | | 9.1 ^a | |

* Pangolagrass biochar was applied in spring cropping.

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

苜蓿 2 年間 12 次調查的累積產量，如圖 2。苜蓿乾物產量隨草炭施用量增加而增加，高草炭處理組的產量顯著高於對照，顯示草炭施用有助於苜蓿生長。試驗前後的土壤分析結果如表 4。土壤有效鉀含量在苜蓿試驗後明顯增加，土壤總氮量則在苜蓿試驗後含量降低。草炭處理顯著提高苜蓿田區的土壤碳量及有機質含量，增加幅度隨草炭施用量增加而增加。

盤固草 2 年間 6 次調查的累積產量變化，如圖 3。施用化學肥料顯著促進盤固草產量，施用草炭的效果並不顯著。試驗前後的土壤分析結果如表 5。土壤 pH 值與土壤有效鉀含量經 2 年盤固草生長有下降的趨勢，EC 則有明顯提高，土壤總碳及有機質含量也有隨盤固草生長而增加的趨勢，特別是有施加草炭的處理差異顯著。

表 3. 生物炭對春作青割玉米試驗前後的土壤分析

Table 3. Soil analysis for forage corn before and after applying biochar in spring cropping

| Item | Control | | Biochar, 1 kg/m ² | | Biochar, 2 kg/m ² | |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|
| | Before | After | Before | After | Before | After |
| pH | 7.4 | 7.6 | 7.5 | 7.5 | 7.4 | 7.5 |
| EC, μs/cmμ | 546.0 | 504.0 | 542.5 | 479.0 | 620.0 | 531.5 |
| Exchangeable phosphorous, ppm | 104.5 | 105.9 | 93.7 | 112.0 | 90.8 | 110.5 |
| Exchangeable potassium, ppm | 438.0 | 556.3 | 470.0 | 582.5 | 447.0 | 642.5 |
| Exchangeable calcium, ppm | 2,564.0 | 2,746.3 | 3,383.0 | 2,793.8 | 2,285.0 | 2,670.0 |
| Exchangeable magnesium, ppm | 223.8 | 226.3 | 295.0 | 236.3 | 275.0 | 235.0 |
| Total nitrogen, ppm | 4,341.7 ^a | 2,268.0 ^b | 3,711.8 ^a | 2,515.3 ^b | 4,156.2 ^a | 2,460.5 ^b |
| Total carbon, % | 2.6 ^b | 2.4 ^b | 2.7 ^{ab} | 2.7 ^{ab} | 2.5 ^b | 2.9 ^a |
| Organic matter, % | 4.4 ^b | 4.1 ^b | 4.6 ^{ab} | 4.7 ^{ab} | 4.3 ^b | 5.0 ^a |

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

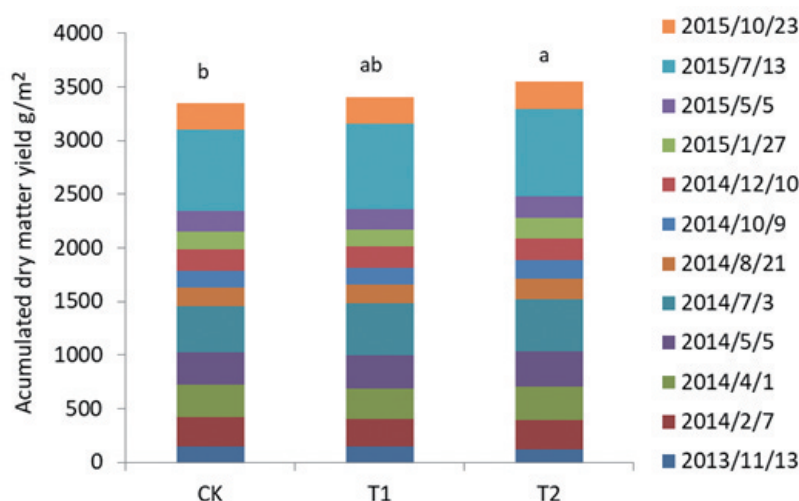


圖 2. 草炭對苜蓿乾物產量的影響。

CK：對照，不施草炭；T1：1 kg/m² 草炭；T2：2 kg/m² 草炭。

Fig. 2. The effects of pangolagrass biochar on dry matter yields of alfalfa.

CK: control, no biochar; T1: biochar, 1 kg/m²; T2: biochar, 2 kg/m².

表 4. 生物炭對苜蓿試驗前後的土壤分析

Table 4. Soil analysis for alfalfa before and after applying biochar in the field

| Item | Control | | Biochar, 1 kg/m ² | | Biochar, 2 kg/m ² | |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|
| | Before | After | Before | After | Before | After |
| pH | 7.2 ^{ab} | 7.1 ^{bc} | 7.4 ^a | 7.3 ^{ab} | 7.3 ^{ab} | 6.9 ^c |
| EC, μs/cmμ | 366.5 ^b | 579.7 ^a | 348.0 ^b | 568.8 ^a | 339.5 ^b | 573.3 ^a |
| Exchangeable phosphorous, ppm | 34.7 | 29.6 | 26.2 | 32.4 | 32.2 | 32.3 |
| Exchangeable potassium, ppm | 222.5 ^b | 457.3 ^a | 221.2 ^b | 482.0 ^a | 221.7 ^b | 482.7 ^a |
| Exchangeable calcium, ppm | 2,727.1 | 2,730.7 | 2,724.6 | 2,881.3 | 2,862.5 | 2,599.3 |
| Exchangeable magnesium, ppm | 233.8 | 221.3 | 217.1 | 228.0 | 244.6 | 229.3 |
| Total nitrogen, ppm | 3,538.5 ^a | 2,559.1 ^b | 3,529.2 ^a | 2,595.3 ^b | 3,473.8 ^a | 2,807.0 ^b |
| Total carbon, % | 2.3 ^b | 2.2 ^b | 2.2 ^b | 3.9 ^a | 2.2 ^b | 4.2 ^a |
| Organic matter, % | 4.0 ^b | 3.9 ^b | 3.8 ^b | 6.7 ^a | 3.9 ^b | 7.3 ^a |

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

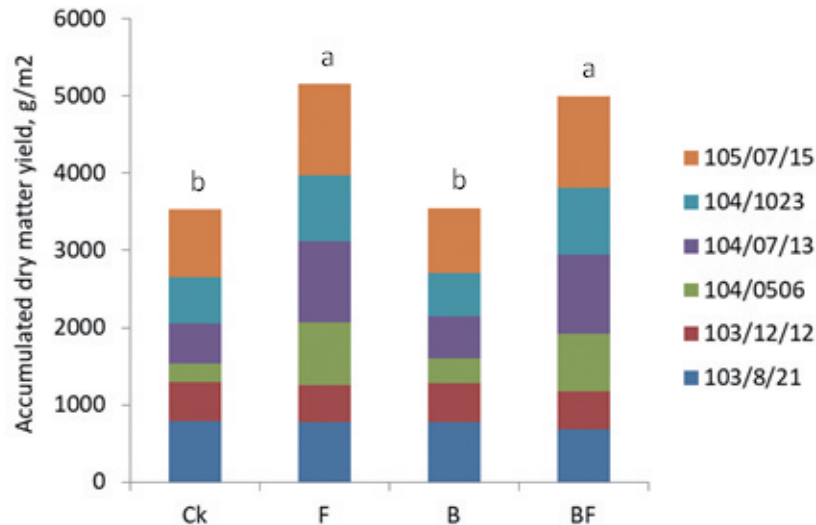


圖 3. 草炭對盤固草乾物產量的影响。

CK：對照，不施草炭及化學肥料；F：化學肥料；B：2 kg/m² 草炭；BF：化學肥料及 2 kg/m² 草炭。

Fig. 3. The effects of pangolagrass biochar on dry matter yields of pangolagrass.

CK: control, no biochar and no chemical fertilizer; F: chemical fertilizer; B: biochar, 2 kg/m²; BF: 2 kg/m² biochar and chemical fertilizer.

表 5. 生物炭對盤固草試驗前後的土壤分析

Table 5. Soil analysis for pangolagrass before and after applying biochar in the field

| Item | Control | | Fertilizer | | Biochar | | Biochar & Fertilizer | |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | Before | After | Before | After | Before | After | Before | After |
| pH | 7.2 ^a | 6.8 ^{ab} | 6.8 ^{ab} | 6.6 ^b | 6.9 ^{ab} | 6.7 ^{ab} | 6.8 ^{ab} | 6.5 ^b |
| EC, $\mu\text{s}/\text{cm}\mu$ | 370.8 ^{ab} | 520.8 ^a | 319.9 ^b | 461.1 ^{ab} | 360.3 ^{ab} | 504.5 ^a | 202.2 ^b | 430.6 ^{ab} |
| Exchangeable phosphorous, ppm | 23.0 | 23.0 | 27.8 | 24.3 | 28.5 | 30.2 | 26.8 | 28.9 |
| Exchangeable potassium, ppm | 216.0 ^a | 126.8 ^b | 224.3 ^a | 119.8 ^b | 222.3 ^a | 126.8 ^b | 239.8 ^a | 119.8 ^b |
| Exchangeable calcium, ppm | 2,797.4 ^{ab} | 3,070.5 ^a | 2,777.9 ^{ab} | 2,776.0 ^{ab} | 2,627.4 ^{ab} | 2,805.3 ^{ab} | 2,438.6 ^b | 2,645.0 ^{ab} |
| Exchangeable magnesium, ppm | 168.1 | 176.3 | 204.2 | 186.3 | 175.8 | 183.8 | 190.8 | 198.8 |
| Total nitrogen, ppm | 1,466.8 | 1,456.0 | 1,514.6 | 1,375.9 | 1,489.8 | 1,506.8 | 1,383.4 | 1,407.0 |
| Total carbon, % | 1.7 ^b | 2.0 ^{ab} | 1.8 ^b | 2.0 ^{ab} | 1.8 ^b | 2.3 ^a | 1.7 ^b | 2.3 ^a |
| Organic matter, % | 3.0 ^b | 3.5 ^{ab} | 3.0 ^b | 3.4 ^{ab} | 3.1 ^b | 3.9 ^a | 2.9 ^b | 4.0 ^a |

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

III. 討論

生物炭的特性取決於材料特性及炭化條件，特別是最高炭化溫度 (highest treatment temperature, HTT) 與炭化時間，不同的條件將造就非常不同的結果 (Krull *et al.*, 2009)。圖 4 為本研究之盤固草炭對應美國加州大學戴維斯分校生物炭資料庫的比對情形 (University of California, Davis, Biochar database, <http://biochar.ucdavis.edu/graph-data/>)，顯示畜試所自行生產的盤固草炭組成與該資料庫多數之草類生物炭相似。Purakayastha *et al.* (2015) 的研究顯示，在相同炭化條件 (400°C 炭窯) 下生產的玉米、珍珠粟、小麥及水稻稿稈生物炭的元素組成雖相似，但在土壤礦化速度、土壤微生物活性及影響土壤養分利用等多種特性上仍具明顯的物種間差異，顯示不同物種的炭化產物仍具各自特殊的鍵結特性。除物種外，一般而言，生物炭的土壤穩定性與炭化溫度有關，炭化溫度愈高，直鍵碳及氧、氫的比例愈低，愈不容易分解，而低溫炭在土壤中的穩定性相對較低 (Peng *et al.*, 2011; Bruun *et al.*, 2012; Fang *et al.*, 2015; Purakayastha *et al.*, 2016)。依資料庫及多數文獻所述，本研究之對象—盤固草炭應屬低溫生物炭，是適用於土壤改良的生物炭。

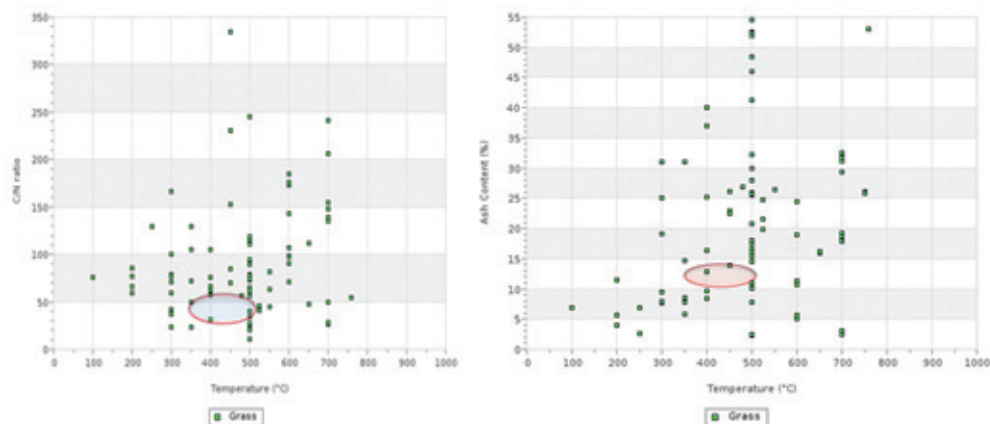


圖 4. 本試驗生產的牧草炭相較於美國生物炭資料庫中草炭的情形。左圖為熱裂解溫度與 C/N 比分布，右圖為熱裂解溫度與灰分含量分布。紅圈為盤固草炭的變動範圍。

Fig. 4. Comparison of pangolagrass biochar with biochar data base from UC Davis, USA. Left is pyrolysis temperature vs. C/N ratio, right is pyrolysis temperature vs. ash content. Red circles were the variation range of pangolagrass biochar.

Peng *et al.* (2011) 的研究顯示稻草生物炭對盆栽玉米的生長有促進效果，而 Borchard *et al.* (2014) 以三種不同條件的生物炭進行多種添加比例的試驗，則發現生物炭添加不具有促進玉米生長的效果。Butnan *et al.* (2015) 以高溫、低溫二種桉樹生物炭、二種土壤及四個施用量進行連續二次短時間的玉米生長試驗，發現生物炭類型、施用量、土壤性質、及期作時間均具顯著影響力，低溫生物炭的效果較高溫炭佳。應用生物炭於作物生長試驗的研究結果非常分歧，各別試驗所進行的條件不一，應是結果分歧的主因之一。Jeffery *et al.* (2011) 以 23 篇已出版研究報告及未發表論文等共計 177 種處理，進行生物炭施用效果的整合分析 (meta-analysis)，發現生物炭對作物生長具有顯著的正向效果 (增加 10%)。本研究中青割玉米與苜蓿的試驗結果同樣顯示施用草炭對這二種牧草的生長具正向效果，至於影響機制則尚待更進一步的研究。

參考文獻

- 林國慶、柳婉郁。2009。日本因應溫室氣體減量之森林資源經營管理政策分析。臺灣林業 43：42-48。
- Borchard, N., J. Siemens, B. Ladd, A. Möller and W. Amelung. 2014. Application of biochars to sandy and silty soil failed to increase maize yield under common agricultural practice. *Soil Till. Res.* 144: 184-194.
- Bruun, E. W., P. Ambus, H. Egsgaard and H. Hauggaard-Nielsen. 2012. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. *Soil Bio. Biochem.* 46: 73-79.
- Butnan, S., J. L. Deenik, B. Toomsan, M. J. Antal and P. Vityakon. 2015. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. *Geoderma* 237-238: 105-116.
- Fang, Y., B. Singh and B. P. Singh. 2015. Effect of temperature on biochar priming effects and its stability in soils. *Soil Bio. Biochem.* 80: 136-145.
- Fischer D. and B. Glaser. 2012. Synergisms between compost and biochar for sustainable soil amelioration. In: *Management of organic waste.* ed. Dr. Sunil Kumar, pp. 167-198.
- Follett, R. T. 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil Till. Res.* 61: 77-92.
- Franzluebbers, A. J. 2005. Soil organic carbon sequestration and agricultural greenhouse gas emissions in the southeastern USA. *Soil Till. Res.* 83: 120-147.
- IPCC. 2013. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The Physical Science Basis Summary for Policymakers. http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5-SPM_Approved27Sep2013.pdf
- Jahirul, M. I., M. G. Rasul, A. A. Chowdhury and N. Ashwath. 2012. Biofuels production through biomass pyrolysis —A technological review. *Energies* 2012: 4952-5001.
- Jeffery, S., F. G. A. Verheijen, M. van der Velde and A. C. Bastos. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agri. Ecosys. Environ.* 144: 175-187.

- Jones, D. L., J. Rousk, G. Edwards-Jones, T. H. DeLuca and D. V. Murphy. 2012. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Bio. Biochem.* 45: 113-124.
- Komatsuzaki, M. and M. F. Syuaib. 2010. Comparison of the farming system and carbon sequestration between conventional and organic rice production in west Java, Indonesia. *Sustainability* 2: 833-843.
- Krull, E. S., J. A. Baldock, J. O. Skjemstad and R. J. Smernik. 2009. Characteristics of biochar: organo-chemical properties. In: *Biochar for environment management*. eds. Lehmann, J. and Joseph, S. Earthscan, London and Washington, D. C. pp. 53-63.
- McConkey, B. G., B. C. Liang, C. A. Campbell, D. Curtin, A. Moulin, S. A. Brandt and G. P. Lafond. 2003. Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soils. *Soil Till. Res.* 74: 81-90.
- Peng, X, L. L. Ye, C. H. Wang, H. Zhou and B. Sun. 2011. Temperature and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. *Soil Till. Res.* 112: 159-166.
- Pimentel, D., P. Hepperly, J. Hanson, D. Douds and R. Seidel. 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience* 55: 573-582.
- Purakayastha, T. J., S. Kumari and H. Pathak. 2015. Characterisation, stability, and microbial effects of four biochars produced from crop residues. *Geoderma* 239-240: 293-303.
- Purakayastha, T. J., K. C. Das, J. Gaskin, K. Harris, J. L. Smith and S. Kumari. 2016. Effect of pyrolysis temperatures on stability and priming effects of C3 and C4 biochars applied to two different soils. *Soil Till. Res.* 155: 107-115.
- Rogovska, N., D. A. Laird, S. J. Rathke and D. L. Karlen. 2014. Biochar impact on Midwestern Mollisols and maize nutrient availability. *Geoderma* 230-231: 340-347.
- SAS. 2002. SAS version 9.00. Statistical Analysis Institute, Inc., Cary. N.C. USA.
- Sohi, S. P., E. Krull, E. Lopez-Capel and R. Bol. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Adv. Agron.* 105: 48-82.
- Subedi, R., N. Taupe, I. Ikoyi, C. Bertora, L. Zavattaro, A. Schmalenberger, J. J. Leahy and C. Grignani. 2016. Chemically and biologically-mediated fertilizing value of manure-derived biochar. *Sci. Total Environ.* 550: 924-933.

The characteristics of pangolagrass biochar and its effect on forage production ⁽¹⁾

Shu-Min Wang ⁽²⁾⁽³⁾ Hsin-Hung Liu ⁽²⁾ Tsui-Huang Yu ⁽²⁾ and Chia-Sheng Chen ⁽²⁾

Received: Mar. 26, 2018; Accepted: May 4, 2018

Abstract

The purpose of this study was to investigate the characteristics of pangolagrass biochar produced by Hengchun Branch, Livestock Research Institute, and to find its effects on different kinds of forage production and soil properties. The biochar was made from spoiled pangolagrass hay. The kiln temperature was about 450-500°C and lasted for 5-7 hours. The biochar production rate was about 20%. The average value of pH was 9.6, electric conductivity (EC) 5.0 ms/cm, carbon content 64.2%, nitrogen content 1.7%, phosphorous content 2.0%, potassium content 3.8% and ash content 12.9%, respectively. The average iodine value and methylene blue value were 469.8 mg/g and 15.0 mg/g, respectively. Three kinds of forage production systems were tested in this study. Application of biochar could increase the dry matter yields of current cropped forage corn and increase the accumulated yield of alfalfa, but it had no effect on that of pangolagrass. By the way, the soil organic matters and carbon contents increased after applying biochar in all three forage production systems, which indicated carbon sink increased by these operations. The results of this study showed that spoiled hay was a good candidate material for biochar, and the biochar could be used to improve forage production, which might be a good model for recycling agricultural by-products.

Key words: Biochar, Forage, Soil amendment, Carbon sequestration.

(1) Contribution No. 2589 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Hengchun Branch, COA-LRI, Pingtung 94644, Taiwan, R. O. C.

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