

芻料燕麥營養成分變動之探討⁽¹⁾

陳嘉昇⁽²⁾⁽⁴⁾ 黃永芬⁽³⁾ 游翠凰⁽²⁾ 王紓愷⁽²⁾

收件日期：110 年 5 月 27 日；接受日期：110 年 8 月 13 日

摘 要

芻料燕麥適於冬春作栽培，可充分利用單期作農地，其發展值得關注。本文以兩個燕麥品種 Saia (*Avena strigose*, Schber) 與 Swan (*Avena sativa*) 為材料，分兩試區進行試驗，試區 1 於 10 月 26 日種植，探討 1. 播種後 60 天起植體成分隨生育期的連續變動；2. 水溶性碳水化合物 (WSC) 的日變化；試區 2 於 11 月 26 日種植，探討生長 90 日後，二個刈割時間 (上、下午) 及二種乾燥方式 (自然日曬與人工乾燥) 對芻料燕麥營養組成的影響。目的在了解燕麥於恆春地區環境下的營養成分變動狀況。兩品種粗蛋白質 (CP) 含量在調查的前期 (抽穗前至種子發育前期) 隨天數下降，但在後期 (種子成熟後期) 都呈現上升。中洗纖維 (NDF) 方面，兩品種從 60 天起均穩定上升，Saia 至 85 天 (種子成熟前期) 後下降，Swan 於 110 天 (種子成熟前期) 後下降；酸洗纖維 (ADF) 的趨勢與中洗纖維相似。兩品種澱粉含量的累積速度及幅度有很大差異，但均達到高點 (種子成熟前期) 後下降，而水溶性碳水化合物含量則繼續上升。上述成分在調查的後期 (種子成熟期間) 呈現不連續的遞增或遞減現象，推測可能為新分蘗的產生所造成，主分蘗雖隨生育期老化，但新分蘗的產生及比例的改變影響全株的營養成分含量。WSC 的日變化方面，由上午 7 點取樣開始 WSC 含量隨光合作用而累積，下午之後再逐漸下降，日變化量約 2 – 4%，不同品種及取樣日期間有差異。第三個試驗探討上、下午刈割和乾燥方式對芻料燕麥營養組成的影響，由變方分析結果，刈割時間主要影響 WSC，Saia 及 Swan 兩品種下午刈割較上午分別提高 1.9 及 3.7%，亦影響 Swan 品種的 CP 及澱粉；乾燥方式對所有調查成分都有顯著影響 (Saia 的 CP 除外)，兩品種人工乾燥的 NDF 分別較日曬乾燥降低 5.4 及 6.0%，ADF 降低 4.1 及 4.7%，WSC 提高 3.3 及 2.9%，澱粉提高 0.6 及 1.4%。由本試驗結果可得知收穫期、調製的相對影響，而人工輔助快速乾燥不僅可減少淋雨的風險，亦顯著提升乾草品質，可為生產管理與後續研究的參考。

關鍵詞：芻料燕麥、收穫期、日變化、乾燥方式、營養組成。

緒 言

芻料燕麥是世界性的主要芻料之一 (Ahmad *et al.*, 2014)，目前也與苜蓿及百慕達草並列為臺灣的三大進口乾草草種。臺灣芻料燕麥栽培始於 1911 年起連續三年在恆春試種，1979 年臺灣大學由引進小穀類作物種原中選獲適合本土栽植的芻料燕麥品系，登記為「燕麥臺大選一號」(曾，1984；劉及曾，1984)。1982 年臺灣芻料燕麥栽培面積有 440 公頃，後因農地政策及進口乾草量增之故，2000 年後僅剩零星栽培 (黃及陳，2020)。近年進口乾草價格高漲且供貨不穩定，加之休耕地政策調整，本土芻料的發展出現新契機，其中芻料燕麥雖歸類為溫帶牧草，但適於臺灣各地冬、春作栽培，可充分利用單期作農地，融入不同地區耕作制度，其發展值得關注；除補充冬季熱帶性牧草如盤固草、狼尾草的產草不足外，配合調製技術的改善後，以燕麥乾草或半乾青貯取代進口乾草更值得期待。

燕麥屬 (*Avena*) 包含二倍體、四倍體及六倍體三類型計 30 個種，各倍數體均含一栽培種，本試驗對象之品種 Swan 及 Saia 即分別屬於六倍體及二倍體的栽培種。澳洲品種 Swan 過往被歸為是 *A. sativa* (Common oats, 普通燕麥) 與 *A. byzantina* (Red oats, 紅燕麥) 的種間雜交後代，現今燕麥研究者已多將 *A. sativa* 與 *A. byzantine* 歸於同種 (Loskutov, 2008; Loskutov and Rines, 2011)。Swan 的莖稈較粗、葉片寬大，晚熟；巴西選育之品種 Saia (*A. strigose*, Schber) 生長快速，莖稈細，莖葉比高，屬於二倍體之黑燕麥。黑燕麥株型直立、分蘗性佳，對環境適應性高，在高

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2676 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所。

(3) 國立臺灣大學農藝學系。

(4) 通訊作者，E-mail: chencsg@mail.tlri.gov.tw。

溫及乾旱環境下的耐受性較普通燕麥強，美國南部、澳洲與南美洲常作為芻料利用，適合於亞熱帶地區栽培，作為草食動物的冬季芻料 (Restellatto *et al.*, 2013; Heuzé *et al.*, 2015)。

牧草作物不似穀類作物有固定之收穫期，其營養成分隨著割期、成熟度及環境而有大幅的變動，而營養成分及品質牽涉動物營養及交易價格，是牧草生產與研發的核心課題。國產芻料如盤固草、狼尾草、青割玉米等的品質變動已多所探討，對影響因素及變動的大致規則亦有所掌握 (陳及王，2005；陳及王，2012；Chen *et al.*, 2006)，而本土芻料燕麥的品質變動資料尚有限 (朱等，2018)。由溫帶地區之研究，夏或秋季播種的燕麥芻料品質較春季播種者為佳 (Contreras-Govea and Albrecht, 2006; Kim *et al.*, 2006)，收穫期愈晚芻料燕麥的纖維含量增加、粗蛋白質含量及總可消化養分降低 (Coblentz *et al.*, 2012; 2014)；不同品種及月份非結構性碳水化合物累積之曲線有很大的差異，環境因素與成熟度的影響可能都很重要 (Chatterton *et al.*, 2006; Coblentz and Walgenbach, 2010)。臺灣與前述研究之緯度及氣候不同，為因應未來發展，需有更有系統性的了解。

本文以倍數性、株型及生育日數殊異 (中早熟種 Saia 及晚熟種 Swan) 的兩個品種 (物種) 為材料，探討 1. 播種後 60 天起植體成分隨生育期的連續變動；2. 水溶性碳水化合物的日變化；3. 不同刈割時間 (上、下午) 及二種乾燥方式 (日曬與人工乾燥) 對芻料燕麥營養組成的影響。目的在了解恆春地區環境下芻料燕麥營養成分變動狀況與影響因子，以做為品種選拔與生產管理、調製的參考。

材料與方法

I. 植體組成變動調查 (試區一)

參試的兩個品種燕麥材料分別是黑燕麥品系 Saia 以及澳洲燕麥品系 Swan。試驗田區位於畜產試驗所恆春分所，於 2016 年 10 月 26 日播種，行距 15 公分，8 行區，行長 20 公尺，2 重複，採條播方式種植。試驗田區以臺肥 1 號複合肥料 ($N : P_2O_5 : K_2O = 20 : 5.5 : 10$; 100 kg/ha) 作為基肥，不施用追肥，利用中耕培土及人工除草進行雜草防除。播種後 60 至 116 天，間隔 5 天之 7、11 及 15 時取樣，刈割行長 30 公分之地上部 (至少 20 個分蘗以上)，以 80°C 烘乾 48 小時後磨粉，冷藏備用。7 及 15 時之樣品用以分析 WSC 及澱粉含量，11 時的取樣分析粗蛋白質、酸洗纖維、中洗纖維；其中兩日 (Saia 為 2017 年 1/11 及 2/5；Swan 為 2/5 及 2/14) 增加 19 時及 23 時取樣點，以進行 WSC 及澱粉含量的日變動調查。

II. 不同刈割時間 (上、下午) 及二種乾燥方式 (日曬與人工乾燥) 試驗 (試區二)

品種、田區設計及田間管理同試區一，於 2016 年 11 月 26 日種植。生長 90 日後，於上午 9 時及下午 14 時分別刈割，刈割後材料分為二組：1. 以 60°C 烘乾機乾燥 2 天 (快速乾燥)，2. 置於戶外曝曬 5 天 (緩慢乾燥)，機械乾燥結束 Saia、Swan 烘乾的含水率分別為 11、12%，日曬的含水率則為 17、18%。調製完成的乾草置於冷藏庫保存，二星期後取出回溫切段 (約 5 公分，含水率 10%) 磨粉冷藏備用。

III. 植體成分測定

- (i) 粗蛋白質：依照 AOAC (2019) 方法測定。樣品經濃硫酸高溫分解後，以自動定氮儀測定 Kjeldahl 氮量，再換算為粗蛋白質量。每樣品 2 重複。
- (ii) 酸洗纖維：依照 van Soest *et al.* (1991) 之方法，以 ANKOM 200 纖維分析儀進行 (Vogel *et al.*, 1999)。樣品密封於專用濾袋 (ANKOM F57)，浸置於酸洗液中加熱振盪 75 分鐘，洗去溶液，取出濾袋烘乾稱重，計算酸洗纖維含量。每樣品 2 重複。
- (iii) 中洗纖維：採添加 α -amylase 之方法 (van Soest *et al.*, 1991)，以 ANKOM 200 纖維分析儀進行 (Vogel *et al.*, 1999)。樣品密封於專用濾袋 (ANKOM F57)，浸置於含有耐熱 α -amylase 之中洗液中加熱振盪 75 分鐘，洗去溶液，取出濾袋烘乾稱重，計算中洗纖維含量。每樣品 2 重複。
- (iv) 水溶性碳水化合物：樣品經烘乾磨粉，以 80% 的酒精於 80°C 下萃取四次，萃取液混合，置 70°C 烘箱中去除酒精，殘餘液體以蒸餾水定量，以 anthron 呈色法測定含量 (Morris, 1948)。每樣品 2 重複。
- (v) 澱粉：先以 80% 的酒精於 80°C 下萃取除去 WSC，棄去萃取液，樣品烘乾後加入過氯酸加熱水解，定量後同樣以 anthron 呈色法測定含量 McCready *et al.* (1950)。每樣品 2 重複。
- (vi) 非結構性碳水化合物 (NSC)：NSC 含量為 WSC 含量與澱粉含量相加。

IV. 統計分析：上、下午刈割及乾燥方式試驗收集資料以 SAS 軟體 (SAS, 2002) 之 GLM Procedure 進行變方分析，主效應為刈割時間、乾燥方式，主效應均為固定型，當達顯著差異時再以鄧肯氏法 (Duncan's test) 測驗處理間的差異顯著性。本試驗差異顯著水準為 $P < 0.05$ 。

結 果

I. 芻料燕麥的粗蛋白質、中洗纖維、酸洗纖維含量變動 (試區 1)

Saia 及 Swan 為兩個成熟期及株型差異大的燕麥品種，Saia 為中早熟型、細莖細葉，Swan 相對較為晚熟、粗莖寬葉。Saia 之主分蘗於 2017/1/11 進入孕穗期、1/16 抽穗期 (播種後 80 天)、1/26 約為糊熟期 (播種後 90 天)、2/5 約完熟期 (播種後 100 天)、2/14 為完熟後期 (播種後 109 天)；Swan 之主分蘗於 2/5 (播種後 100 天) 才進入孕穗期、2/10 (播種後 105 天) 為抽穗期，取樣結束之 2/21 才達糊熟期 (播種後 116 天)。

播種後 60 天至 116 天的植體組成調查結果，在粗蛋白質方面，Saia 的 CP 含量由播種後 60 天 (12/27) 的 23.1% 降至 100 天 (2/5，約完熟期) 的 11.5%，再回升到 110 天 (2/15) 的 15.2%；Swan 由 60 天 (12/27) 的 26.8% 降至 80 天 (1/16) 的 12.6%，回升到 90 天 (1/26) 的 18.8%，再降到 110 天 (2/15) 的 7.7%，最後 116 天 (2/21) 再升至 13.5%。兩品種的 CP 含量在抽穗前至種子發育前期有隨生長天數呈現下降趨勢，但在個別的最一次調查期，分別為 2/14 (Saia 完熟後期) 及 2/21 (Swan 糊熟期)，兩個品種 CP 含量都呈現上升 (圖 1)。

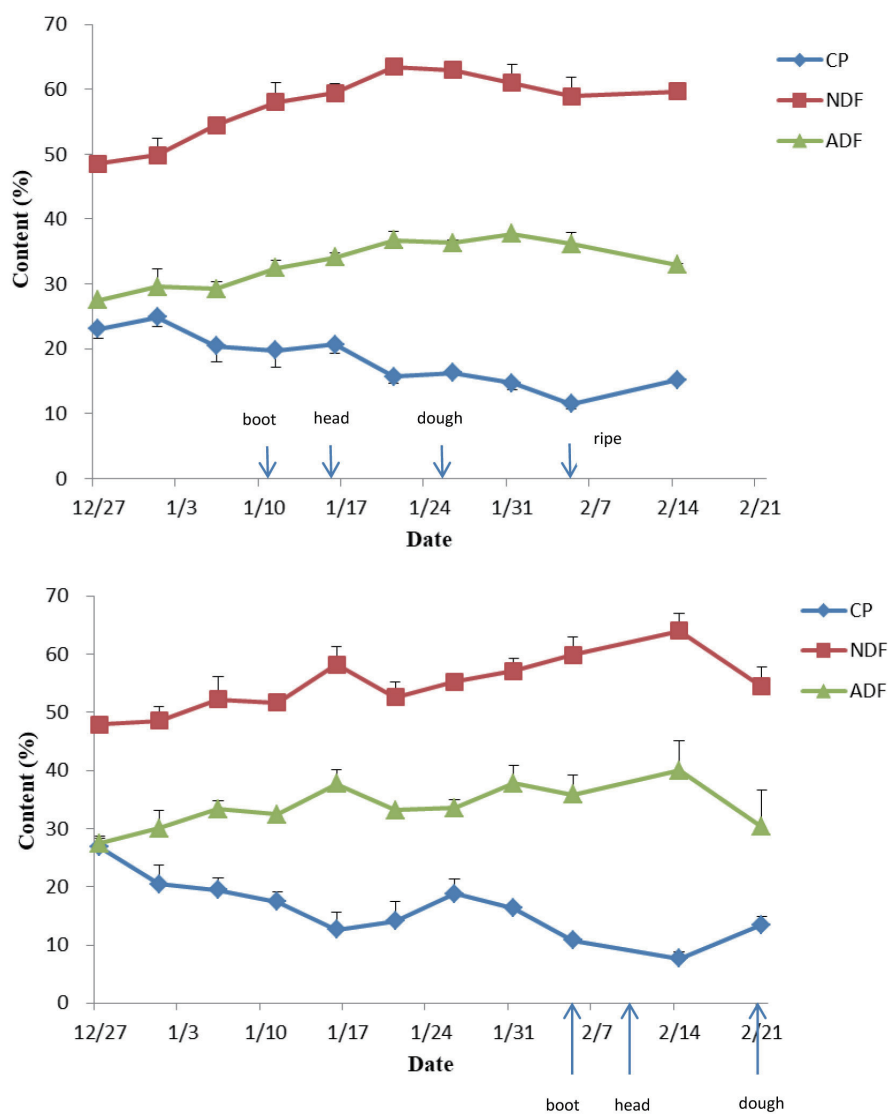


圖 1. 燕麥品種 Saia (上圖) 及 Swan (下圖) 之粗蛋白質、中洗纖維、酸洗纖維隨著收穫日期 (2016/12/27 – 2017/2/21) 之含量變化。柱狀表示該測值的標準差。

Fig. 1. The contents of crude protein, acid detergent fiber, and neutral detergent fiber of oat varieties Saia (upper) and Swan (lower) harvested at different dates (2016/12/27–2017/2/21). Bar indicates standard deviation.

在中洗纖維方面，Saia 從 60 天 (12/27) 的 48.6% 上升至 85 天 (1/21) 的 63.4%，再降至 100 天的 58.9%；Swan 從 60 天 (12/27) 的 47.9% 升至 110 天 (2/15) 的高點 64.0%，再降到 116 天 (2/21) 的 54.4%。酸洗纖維的趨

勢與中洗纖維相似，Saia 從 60 天 (12/27) 的 27.5% 增加至 37.7% (1/31)，再降至 109 天 (2/14) 的 33.0%；Swan 從 60 天 (12/27) 的 27.4% 升至 40.0% (2/14)，再降為 116 天 (2/21) 的 30.3% (圖 1)。

II. 芻料燕麥 WSC、澱粉、NSC 含量變化 (試區 1)

圖 2 所示，在播種後 60 天至 116 天的調查期間，Saia 於上午 7 時 WSC 含量範圍為 2.8 – 8.5%，15 時含量範圍為 4.4 – 9.4%，澱粉含量 (15 時) 範圍為 9.0 – 17.3%，NSC 含量 (15 時) 範圍為 14.1 – 21.7%；Swan 於上午 7 時的 WSC 含量範圍為 1.7 – 13.3%，15 時含量範圍為 3.7 – 14.5%，澱粉含量 (15 時) 範圍為 3.8 – 14.2%，NSC 含量 (15 時) 範圍為 7.5 – 24.2%。

兩品種 WSC 含量在 1/31 (Saia 為近黃熟期；Swan 尚未抽穗) 前均在低點狹幅起伏，Saia 7 時的 WSC 含量約在 4% 以下，Swan 又稍低。2/7 (Saia 為完熟期；Swan 為孕穗) 後兩品種 WSC 含量呈現高斜率的拉升，Saia 於 2/14 (完熟後期) 達 8.5%，Swan 於 2/21 (糊熟期) 達 13.3%。15 時的含量趨勢與 7 時一致，約較 7 時高 1 – 3%。

Saia 與 Swan 澱粉含量的線形差異大，Saia 自播種後 60 天 (12/27) 起含量即達 10%，高點在 95 天 (1/31，約黃熟) 的 17.3% 而後下降；Swan 於 60 天 (12/27) 時，澱粉含量僅 3.8%，直到 100 天 (2/5，孕穗) 時仍在 10% 之下，110 天 (2/14，乳熟早期) 達 14.2% 的高點而後下降。兩品種的澱粉含量達高點之後下降，WSC 則繼續提升 (圖 2)。

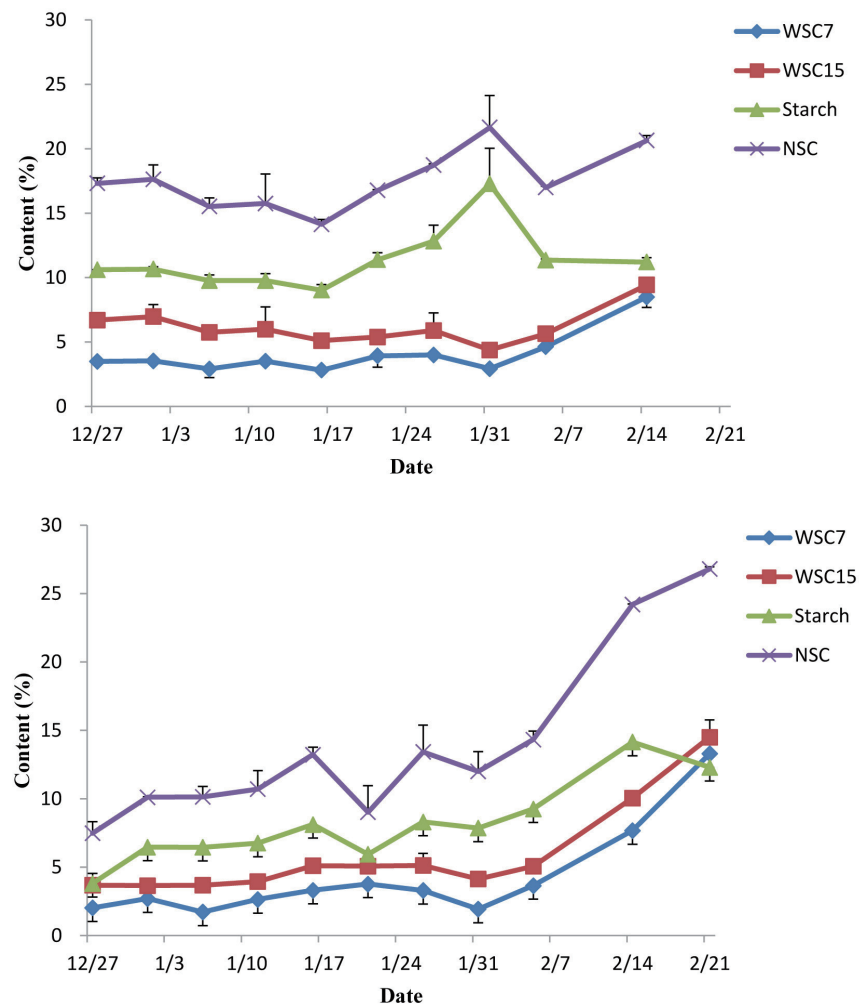


圖 2. 燕麥品種 Saia (上圖) 及 Swan (下圖) 之水溶性碳水化合物、澱粉與非結構性碳水化合物隨著收穫日期 (2016/12/27 – 2017/2/21) 之含量變化。WSC7：7 時刈割的水溶性碳水化合物、WSC15：水溶性碳水化合物、Starch：15 時刈割的澱粉、NSC：15 時刈割的非結構性碳水化合物。柱狀表示該測值的標準差。

Fig. 2. The contents of water-soluble carbohydrate, starch, and nonstructural carbohydrate of oat varieties Saia (upper) and Swan (lower) harvested at different dates (2016/12/27-2017/2/21). WSC7: water-soluble carbohydrate harvested at 7:00; WSC15: water-soluble carbohydrate harvested at 15:00; Starch: starch harvested at 15:00; NSC: non-structural carbohydrate harvested at 15:00. Bar indicates standard deviation.

III. 芻料燕麥 WSC 的日變化 (試區 1)

圖 3 為不同成熟度下，Saia 與 Swan 的 WSC 日變動量。當 Saia 主分蘗為孕穗期 (1/11)，WSC 從 7 時的 3.5% 上升至 15 時的 6.0% 而後緩慢下降至 23 時的 5.1%；當 Saia 主分蘗已為完熟期時 (2/5)，上午 7 時 WSC 含量高達 8.5%，較 1/11 同一時段高 5.0%，上升至 15 時的 9.4% 而後大幅下降至 23 時的 6.2%，僅較 1/11 同一時段高 1.1%。

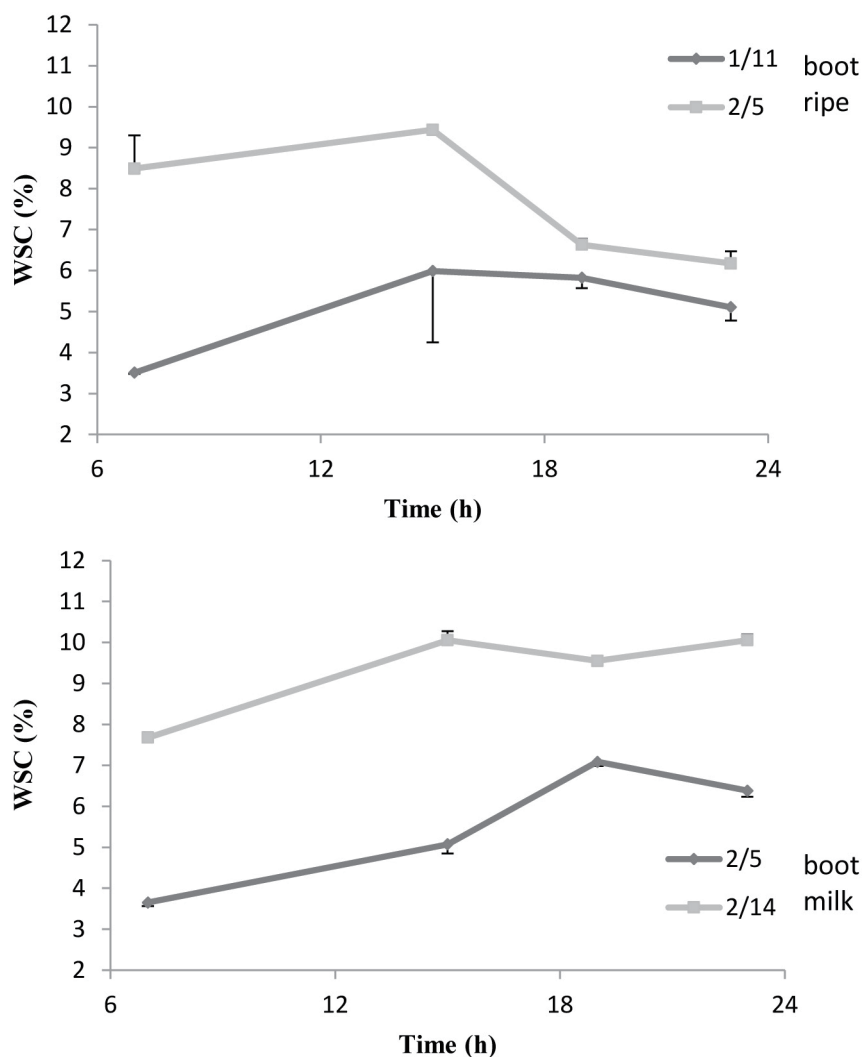


圖 3. 燕麥品種 Saia (上圖) 及 Swan (下圖) 之 WSC 日變動量。柱狀表示該測值的標準差。

Fig. 3. The diurnal changes of contents of water-soluble carbohydrate for oat varieties Saia (upper) and Swan (lower) determined on two different dates. Bar indicates standard deviation.

當 Swan 2/5 主分蘗為孕穗期時 (2/5)，WSC 從 7 時的 3.7% 上升至 15 時的 5.1%，再上升至 19 時的 7.1%，而後下降至 23 時的 6.4%；Swan 主分蘗為乳熟期時 (2/14)，上午 7 時 WSC 含量為 7.7%，較 2/5 同一時段高 4.0%，上升至 15 時的 10.1%，而後約持平至 23 時的 10.1%，較 2/5 同一時段高 3.4%。

綜合以上結果，WSC 的日變化幅度約 2 – 4%，WSC 含量隨光合作用盛行而累積，下午後再逐漸下降，基本上符合作物生理知識，但下降幅度在品種與成熟度 (取樣日期) 的表現不一，尚待進一步研究。

IV. 芻料燕麥收穫時間及乾燥方式之影響 (試區 2)

播種後 90 天之 Saia 和 Swan 分別於 9 時及 14 時收穫，再分成 60℃ 烘乾 2 天和日曬 5 天兩種乾燥方式，比較收穫時間和乾燥方式對芻料燕麥營養組成的影響。

由變方分析結果 (表 1)，Saia 的 CP 含量於刈割時間與乾燥法的 F 值均不顯著；NDF 在乾燥法的 F 值達極顯著 ($P < 0.01$)，日曬乾燥的 NDF 較人工乾燥提高了 5.4% (表 2)；ADF 在乾燥法的 F 值為 5% 顯著水準，日曬的 ADF 較人工乾燥提高 4.1%，下午刈割比上午刈割減少 1.5%，但未達顯著水準；WSC 則刈割時間與乾燥法的 F 值均達極顯著水準，下午提高 1.9%，人工乾燥提高 3.3%；澱粉僅乾燥法達顯著水準，人工乾燥高 0.7%。相

對來看，乾燥法在 ADF 及澱粉雖均為 5% 顯著水準，ADF 乾燥法的 F 值為刈割時間的數倍 (19.5 vs. 2.74)，澱粉僅兩倍 (8.67 vs. 3.20)，顯示乾燥法對 ADF 的影響程度較澱粉為高。

表 1. 上、下午刈割及不同乾燥方式對芻料燕麥 Saia 及 Swan 營養成分變方分析之 F 值顯著性測驗

Table 1. F-test of analysis of variance for nutrient components of oat varieties Saia and Swan harvested in the morning or afternoon and dried by sunshine or oven

Variety	Source of variance	F-value				
		CP	NDF	ADF	WSC	Starch
Saia	Cutting time	0.00	0.2	2.74	22.0**	3.20
	Drying method	0.56	24.8**	19.5*	68.4**	8.67*
	Interaction	0.07	2.8	1.05	0.2	0.43
Swan	Cutting time	15.6*	0.1	1.5	209.9**	8.8*
	Drying method	17.9*	72.4**	45.0*	571.8**	27.4**
	Interaction	0.9	33.4*	16.0	65.3*	7.7

*** The F-test are significant at 5% and 1%, respectively.

CP: crude protein, NDF: neutral-detergent fiber, ADF: acid-detergent fiber, WSC: water soluble carbohydrate.

表 2. 芻料燕麥 Saia 及 Swan 營養成分在刈割時間及乾燥法主效應之平均值比較

Table 2. Means of the main effect of cutting time and drying method for nutrient components of oat varieties Saia and Swan

Variety	Main effect	CP	NDF	ADF	WSC	Starch
		----- % dry base -----				
Saia	9*	22.9	55.2	32.0	4.03 ^b	2.73
	14	22.9	54.8	30.5	5.92 ^a	3.14
	Sun	23.2	57.7 ^a	33.3 ^a	3.30 ^b	2.60 ^b
	Artificial	22.6	52.3 ^b	29.2 ^b	6.64 ^a	3.27 ^a
Swan	9	14.6 ^a	58.2	35.3	5.96 ^b	4.57 ^a
	14	12.2 ^b	58.0	34.4	9.66 ^a	3.78 ^b
	Sun	14.6 ^a	61.1 ^a	37.2 ^a	7.76 ^b	3.48 ^b
	Artificial	12.2 ^b	55.1 ^b	32.5 ^b	10.86 ^a	4.88 ^a

* 9: Mowed at 9 am., 14: Mowed at 14 pm., Artificial: Drying in oven at 60°C for two days, Sun: Drying outdoors for 5 days.

^{a, b} Means with different superscripts between the main effect are significantly different ($P < 0.05$).

CP: crude protein, NDF: neutral-detergent fiber, ADF: acid-detergent fiber, WSC: water soluble carbohydrate.

Swan 方面，不同於 Saia，CP 變方分析於刈割時間與乾燥法的 F 值均達 5% 顯著，在上午刈割較下午刈割高 2.4%，人工乾燥較日曬乾燥低 2.4%；刈割時間不影響 NDF，乾燥法的 F 值則為極顯著，日曬乾燥的 NDF 較人工乾燥提高了 6.0%；ADF 於乾燥法的 F 值達 5% 顯著水準，日曬乾燥的 ADF 較人工乾燥提高 4.7%；WSC 之刈割時間與乾燥法的 F 值均達極顯著水準，下午提高 3.7%，人工乾燥提高 3.1%；澱粉則刈割時間 F 值達 5% 顯著水準，乾燥法達 1% 顯著水準，下午刈割減少 0.8%，日曬乾燥減少 1.4%。

從變方分析表看兩個品種差異之處，不同於 Saia，Swan 的 CP 於兩變因的 F 值均顯著，以及澱粉於上、下午刈割間有顯著差異，可能與 Swan 的 WSC 含量高、變動幅度大，造成的連動效應有關，此外，Swan 的 WSC 在兩變因的交互顯著，表示相對變動幅度有差異。

綜合上述，刈割時間主要影響 WSC，兩品種下午刈割較上午分別提高 1.9 及 3.7%，亦影響 Swan 品種的 CP 及澱粉；乾燥方式對大部分調查成分都有顯著影響（僅 Saia 的 CP 除外），Saia、Swan 兩品種人工乾燥的 NDF 分別降低 5.4 及 6.0%，ADF 降低 4.1 及 4.7%，WSC 提高 3.3 及 2.9%，澱粉提高 0.6 及 1.4%。

討 論

植物各部位的成分含量隨生育期而改變，而生長速度、供源積儲關係 (source-sink relationship) 與比例等則不外

受品種與環境因素影響，因此牧草收穫前營養成分的變動看似複雜，但有其基本因果關係可循 (Buxton and Fales, 1994; Nelson and Moser, 1994)，能否掌控一個物種品質的變動甚至理出其變動規則，端視研究者對變動因素的了解與掌握程度。收穫後的品質變化則又是另一段歷程與影響因素 (Rotz and Muck, 1994; Rotz, 2003)。

多年生的盤固草、狼尾草無穀粒充實的影響，其營養成分概隨莖稈老化速度、比例而律動，同一個基因型下老化速度受溫度、日長等影響，由積溫、日長等變因對纖維含量或消化率多項式迴歸的決定係數 (R^2) 達 0.7 以上 (陳及王, 2005; Chen *et al.*, 2006)；多年生的苜蓿由其外觀與氣象因子對品質的預測程度亦高 (Fick and Onstad, 1988; Hintz and Albrecht, 1991; Sanderson, 1992)。單莖的穀類作物如青割玉米，因生育後期苞穗比例大、澱粉大幅累積，是另一類型。玉米的稿稈隨著成熟而老化，營養價值降低，然而在生育後期穀粒的比例隨著成熟而增加，提高全株消化率 (陳等, 2007; Coors *et al.*, 1997; Darby and Lauer, 2002)。雖然飼養價值在年度間有不同，不同品種亦有別，不易歸納出品質成分的預測，但大致隨成熟度呈現一致的關係，青割玉米全株 CP 隨成熟度下降，消化率則前期下降，後期隨成熟度而提高 (陳及王, 2012; Wiersma *et al.*, 1993; Lauer *et al.*, 1999)。

屬小穀類的燕麥其生育特性則不同於上述兩類作物。植株叢生而多分蘗，抽穗期後亦有澱粉累積，但分蘗的發生及抽穗、充實時間不一，而穗占全株比例的品種差異也較大，從植株型態可預知其影響成分因素不似前二類牧草之單純。前人研究，在溫帶地區，春季播種的芻料燕麥較夏或秋季播種的產量高，但夏或秋季播種的芻料燕麥在生殖生長階段氣候較為冷涼，因此其芻料品質較春季播種者為佳 (Contreras-Govea and Albrecht, 2006; Kim *et al.*, 2006)。夏末播種的芻料燕麥因生育後期氣溫漸降，WSC 含量較春季播種者高而增強植株對低溫的耐受性 (Coblentz *et al.*, 2011; 2012)。另亦有研究指出收穫期愈晚會使植株的成熟度愈高，造成芻料燕麥的纖維含量增加、粗蛋白質含量及總可消化養分降低而影響芻料品質，品種特性亦會造成芻料品質的差異 (Wallsten *et al.*, 2008; Coblentz *et al.*, 2014; Winter, 2017)。

本研究結果，ADF、NDF 在抽穗前有隨生長上升的趨勢，到抽穗後出現高點，之後隨穀粒澱粉累積而降低，兩品種雖抽穗期差距 30 餘天，但大體趨勢相同。以生育階段看，Saia 的 NDF 在乳熟期才下降，Swan 在充實前期即開始下降，可能與兩品種 NSC 及澱粉累積速度有關。另，兩品種 CP 含量在調查前期有隨生育天數下降的趨勢，但在調查的最後期都呈現上升，Saia 的 CP 於 2/14 最低點後上升 2.7%，Swan 在 2/21 的低點後亦上升 5.8%，此現象不同於多年生的盤固草、狼尾草，也不同於主莖型的青割玉米，也未見於前人有關芻料燕麥營養成分的報告 (陳及王, 2012; Coblentz *et al.*, 2012; 2014)。

除以上 CP、ADF、NDF 變動外，小穀類作物的燕麥，其 NSC 佔植株成分相當大的比例，而兩品種 NSC 累積的狀況不同。本試驗中 Saia 的澱粉含量於調查前期 (播種後 60 天) 即高達 10% 左右，高於 Swan 的 5% 左右；Saia 的 NSC 由前期 (播種後 60 天) 的 15% 提升至後期 (播種後 109 天，完熟後期) 22%，幅度較小；Swan 的 NSC 則由前期 (播種後 60 天) 的 8% 提升至後期 (播種後 116 天，糊熟期) 27%，有數倍的增幅，此差異可統歸為品種因素，而此品種差異是否為早熟品種的營養生長期短，以致 WSC 及 NSC 累積量較不足所致？值得探究。而兩品種於調查後期都有澱粉含量下降的現象，據觀察推測可能是新分蘗產生後，整體生物量稀釋了澱粉含量所致。Saia 的 WSC 於糊熟期前累積並不明顯，糊熟後降低而後又升高；Swan 生育期較晚，至調查後期仍呈上升趨勢，由於兩品種的生育期差距甚大，但同樣在 1/29 後有較快速的拉升，除生育期外，是否有氣候等環境因子造成的影響值得進一步探討。由以上成分隨刈割期變化調查結果可知，芻料燕麥營養成分變動的複雜度高於盤固草、狼尾草及青割玉米，基本上芻料燕麥為叢生多分蘗型且穀粒占相當大的比例，而主分蘗與次分蘗間營養生長、生殖生長夾雜，各部位比例因品種、環境、栽培因素而增減，因此芻料燕麥成分變動的規則及預測的複雜度高。此結果亦不如前人所述收穫期愈晚造成芻料燕麥的纖維含量增加、粗蛋白質含量降低而影響芻料品質 (Coblentz *et al.*, 2014)，是否與恆春冬季風大，植株較矮、穀粒占全株比例較大有關，值得進一步探究。

WSC 含量與國內酪農偏好芻料燕麥的「甜度」有關，同時亦是提供青貯發酵的能量來源，與青貯調製品質有關。為數不少的文獻提及刈割時間 (上午、下午) 對品質的影響，刈割時間主要影響水溶性碳水化合物含量而改變植體營養成分比例 (Fisher *et al.*, 1999; Griggs *et al.*, 2005)。本研究結果，WSC 除隨生育期變動外有顯著的日變化，圖 3、表 2 可說明上午、下午刈割 WSC 的變動幅度及對全株成分的改變，與熱帶牧草等調查結果大致相似 (王等, 2004; 王及陳, 2005)。

除收穫前因素影響植體成分外，芻料 (乾草) 品質受收穫後調製狀況的影響極大，主要為田間曝曬萎凋至完成乾燥的時間與儲存狀況。牧草刈割後，植株細胞內的水解作用及呼吸酵素功能仍持續進行而消耗養分，緩慢乾燥將消耗植體內可溶性碳水化合物，產生二氧化碳及熱量，導致乾物質損失 (Undersander *et al.*, 2013)。芻料萎凋過程除植體及微生物呼吸作用消耗 WSC，亦會水解澱粉產生 WSC，CP、ADF、NDF 與木質素等含量差異不大 (Rotz and Muck, 1994)，而萎凋時間愈長，澱粉及 WSC 含量下降愈顯著 (Owens *et al.*, 1999; Cavallarin *et al.*, 2005)，儘速將乾

草乾燥到適當的含水分應有助減少乾草調製期間的損失 (Digma *et al.*, 2011; Castagnara *et al.*, 2012)。本研究比較人工輔助乾燥與田間曝曬結果，兩者之間營養成分含量有極大的差異，田間曝曬者因萎凋時間長，WSC 含量顯著降低，ADF、NDF 比例相對提高；人工乾燥者 WSC 及澱粉顯著高於日曬乾燥者，且 ADF、NDF 較低。由本結果亦可說明人工乾燥不僅可減少天候上遭遇淋雨的風險，亦顯著提升乾草品質，可做為推廣人工輔助乾燥雖增加成本，但可提升品質的論據。

臺灣業者喜愛使用進口芻料燕麥草飼養草食動物，芻料燕麥是冬季裡作栽培的理想作物，本土芻料燕麥草的發展具有潛力。由本文可知芻料燕麥的成分變動大，除品種與割期影響外，收穫調製也顯著影響營養成分，掌握品質變動才可在臺灣生產不亞於進口草品質的芻料燕麥。本文以連續生育期的植體成分變動、水溶性碳水化合物的日變化，以及上、下午刈割與乾燥方式之影響等，初步探討恆春地區環境下芻料燕麥營養成分變動狀況與影響因子，可為生產管理與品種選拔與後續研究的參考。

參考文獻

- 王紓愍、陳嘉昇、陳文、顏素芬。2004。狼尾草水溶性碳水化合物含量變化與影響因子研究。畜產研究 37：153-161。
- 王紓愍、陳嘉昇。2005。青割玉米非結構性碳水化合物含量變化之研究。畜產研究 38：1-10。
- 朱明宏、王紓愍、游翠鳳、陳嘉昇。2018。黑燕麥在不同收穫期之芻料產量、品質及青貯調製研究。畜產研究 51：16-23。
- 陳嘉昇、王紓愍、游翠鳳、劉信宏。2007。品種、種植期與收穫期對青割玉米產量與品質的影響。畜產研究 40：1-15。
- 陳嘉昇、王紓愍。2005。盤固草試管真消化率的變動與預測。畜產研究 38：197-207。
- 陳嘉昇、王紓愍。2012。青割玉米營養成分的變動與相關性探討。畜產研究 45：287-302。
- 曾美倉。1984。燕麥。雜糧作物各論。財團法人臺灣區雜糧發展基金會，臺北市，第 131-168 頁。
- 黃永芬、陳嘉昇。2020。燕麥。新編臺灣雜糧作物。財團法人臺灣區雜糧發展基金會，臺北市，第 106-139 頁。
- 劉明宗、曾美倉。1984。燕麥臺大選一號週年栽培試驗。畜產研究 17：11-23。
- Association of Official Agricultural Chemists. 2019. Official Methods of Analysis. 21st ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA. USA.
- Ahmad, M., Z. A. Gul-Zaffar, and M. Habib. 2014. A review on oat (*Avena sativa* L.) as a dual-purpose crop. Sci. Res. Essays 9: 52-59.
- Buxton, D. R. and S. L. Fales. 1994. Plant environment and quality. In Forage quality, evaluation, and utilization. American Society of Agronomy, Inc. Madison, pp. 155-199.
- Castagnara, D. D., M. A. Neres, P. S. R. D. Oliveira, C. C. Jobim, T. T. Trê, E. E. Mesquita, and M. A. Zambom. 2012. Use of a conditioning unit at the haymaking of Tifton 85 overseeded with *Avena sativa* or *Lolium multiflorum*. Revista Brasileira de Zootecnia 41: 1353-1359.
- Cavallarin, L., S. Antoniazzi, G. Borreani, and E. Tabacco. 2005. Effects of wilting and mechanical conditioning on proteolysis in sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop) wilted herbage and silage. J. Sci. Food Agric. 85: 831-838.
- Chatterton, N. J., K. A. Watts, K. B. Jensen, P. A. Harrison, and W. H. Horton. 2006. Nonstructural carbohydrates in oat forage. J. Nutr. 136: 2111-2113.
- Chen, C. S., S. M. Wang, and J. T. Hsu. 2006. Factors Affecting *in vitro* true digestibility of Napiergrass. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 19: 507-513.
- Coblentz, W. K. and R. P. Walgenbach. 2010. Fall growth, nutritive value, and estimation of total digestible nutrients for cereal-grain forages in the north-central United States. J. Anim. Sci. 88: 383-399.
- Coblentz, W. K., M. G. Bertram, and N. P. Martin. 2011. Planting date effects on fall forage production of oat cultivars in Wisconsin. Agron. J. 103: 145-155.
- Coblentz, W. K., M. G. Bertram, N. P. Martin, and P. Berzaghi. 2012. Planting date effects on the nutritive value of fall-grown oat cultivars. Agron. J. 104: 312-323.
- Coblentz, W. K., W. E. Jokela, and M. G. Bertram. 2014. Cultivar, harvest date, and nitrogen fertilization affect production and quality of fall oat. Agron. J. 106: 2075-2086.

- Coors, J. G., K. A. Albrecht, and E. J. Bures. 1997. Ear-fill effects on yield and quality of silage corn. *Crop Sci.* 37: 243-247.
- Contreras-Govea, F. E. and K. A. Albrecht. 2006. Forage production and nutritive value of oat in autumn and early summer. *Crop Sci.* 46: 2382-2386.
- Darby, H. M. and J. G. Lauer. 2002. Harvest date and hybrid influence on corn forage yield, quality, and preservation. *Agron. J.* 94: 559-566.
- Digman, M., D. Undersander, K. Shinnars, and C. Saxe. 2011. Best practices to hasten field drying of grasses and alfalfa. University of Wisconsin – Extension: Madison, WI. Cooperative Extension Service A3927.
- Fick, G. W. and D. W. Onstad. 1988. Statistic models for predicting alfalfa herbage quality from morphological or weather data. *J. Prod. Agric.* 1: 160-166.
- Fisher, D. S., H. F. Mayland, and J. C. Burns. 1999. Variation in ruminants' preference for tall fescue hays cut either at sundown or at sunup. *J. Anim. Sci.* 7: 763-768.
- Griggs, T., J. W. MacAdam, H. F. Mayland, and J. C. Burns. 2005. Nonstructural carbohydrate and digestibility patterns in orchard grass sward during daily defoliation sequences initiated in evening and morning. *Crop Sci.* 45: 1295-1304.
- Heuzé, V., G. Tran, P. Hassoun, and F. Lebas. 2015. Black oat (*Avena strigosa*). Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <http://www.feedipedia.org/node/581>.
- Hintz, R. W. and K. A. Albrecht. 1991. Prediction of alfalfa chemical composition from maturity and plant morphology. *Crop Sci.* 31: 1561-1565.
- Kim, J. D., S. G. Kim, S. J. Abuel, C. H. Kwon, C. N. Shin, K. H. Ko, and B. G. Park. 2006. Effect of location, season, and variety on yield and quality of forage oat. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 19: 970-977.
- Lauer, J. G., P. R. Carter, T. M. Wood, G. Daniel, D. W. Wiersma, R. E. Rand, and M. J. Mlynarek. 1999. Corn hybrid response to planting date in the northern corn belt. *Agron. J.* 91: 834-839.
- Loskutov, I. G. 2008. On evolutionary pathways of *Avena* species. *Genet. Resour. Crop Evol.* 55: 211-220.
- Loskutov, I. G. and H. W. Rines. 2011. *Avena*. Wild crop relatives: genomic and breeding resources, Cereals. Ed. C. Kole, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 109-183. Clemson, USA.
- McCready, R. M., J. Guggolz, V. Silveira, and H. S. Owens. 1950. Determination of starch and amylose in vegetables. *Anal. Chem.* 22: 1156-1158.
- Morris, D. L. 1948. Quantitative determination of carbohydrates with dry-wood's anthrone reagent. *Science* 107: 254-255.
- Nelson, C. J. and L. E. Moser. 1994. Plant factors affecting forage quality. Forage quality, evaluation and utilization. American Society of Agronomy, Inc. pp.115-154. Madison, USA.
- Owens, V. N., K. A. Albrecht, R. E. Muck, and S. H. Duke. 1999. Protein degradation and fermentation characteristics of red clover and alfalfa silage harvested with varying levels of total non-structural carbohydrates. *Crop Sci.* 39: 1873-1880.
- Restelatto, R., P. S. Pavinato, L. R. Sartor, and S. J. Paixão. 2013. Production and nutritional value of sorghum and black oat forages under nitrogen fertilization. *Grass Forage Sci.* 69: 693-704.
- Rotz, C. A. and R. E. Muck. 1994. Changes in forage quality during harvest and storage. Forage quality, evaluation, and utilization. American society of agronomy, Inc. pp. 828-868. Madison, USA.
- Rotz, C. A. 2003. How to maintain forage quality during harvest and storage. *Adv. Dairy Technol.* 15: 227-239.
- Sanderson, M. A. 1992. Predictors of alfalfa quality: validation with field data. *Crop Sci.* 32: 245-250.
- Undersander, D. and C. Saxe. 2013. Field drying forage for hay and haylage. Univ. of Wisconsin Coop. Ext. Focus on Forage. www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/SwathDrying-FOF.pdf.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- Vogel, K., J. F. Pedersen, S. D. Masterson, and J. J. Toy. 1999. Evaluation of a filter bag system for NDF, ADF, and IVDMD forage analysis. *Crop Sci.* 39: 276-279.
- Wallsten, J., E. Nadeau, J. Bertilsson, and K. Martinsson. 2008. Voluntary intake and diet selection by dairy heifers fed ensiled whole-crop barley and oats harvested at different stages of maturity. *Livest. Sci.* 122: 94-98.
- Wiersma, D. W., P. Carter, K. A. Albrecht, and J. G. Coors. 1993. Kernel milkline stage and corn forage yield, quality, and dry matter content. *J. Prod. Agric.* 6: 94-99.
- Winter, B. 2017. Forage Oat Variety Guide 2017. Department of agriculture and fisherie, the government of queensland.

Study on the variation of nutrient compositions of forage oats ⁽¹⁾

Chia-Sheng Chen ⁽²⁾⁽⁴⁾ Yung-Fen Huang ⁽³⁾ Tsui-Huang Yu ⁽²⁾ and Shu-Min Wang ⁽²⁾

Received: May 27, 2021; Accepted: Aug. 13, 2021

Abstract

Forage oats are suitable for cultivation in winters and springs, which can also be incorporated with annual cropping farmland in Taiwan. Its development merits attention. Two oat varieties were used to determine 3 subjects, as shown in the follows: 1. The continuous changes of plant composition with the growth period in 60 days after sowing (DAS); 2. The diurnal changes of water-soluble carbohydrate; 3. The influence of cutting in the morning or afternoon as well as the drying method (sun-curing vs. artificial drying). The purpose aimed to understand the changes of nutrient composition of oats in the local environment (Hengchun area). The crude protein (CP) contents of the two varieties decreased during the growth days in the early period, but both showed increase in the later growth stage. In terms of neutral detergent fibers (NDF), both varieties increased steadily from 60 DAS, where Saia decreased 85 DAS, and Swan declined 110 DAS. The trend of acid detergent fibers (ADF) was similar to those of NDF. The accumulation speed and range of starch contents of the two varieties were quite different, as both decreased after reaching a high point, while the contents of water soluble carbohydrate (WSC) continued to rise. The above-mentioned components showed discontinuous increase or decrease in the later period of investigation, which could have been caused by the production of new tillers. Although the main tillers grew with advancement, the emergence of new tillers changed the ingredient ratio of the whole plant. In terms of the diurnal variation of WSC, basically the contents of WSC were accumulated with photosynthesis after sunrise, and then gradually decreased after sunset. The daily variation was about 2-4%, and there were difference in different varieties and growth dates. The third experiment explored the effects of cutting in the morning or afternoon, as well as the drying speed (method). From the analytical results of variance, the cutting time mainly affected WSC. Sais and Swan both increased in WSC contents by 1.9% and 3.7% cut in the afternoon respectively, compared to those cut in the morning. The cutting time also affected both CP and starch of Swan. Drying speed had a significant impact on all the investigated ingredients (except CP of Saia). The NDF of Saia and Swan decreased by 5.4% and 6.0%, respectively, with artificial drying. ADF decreased by 4.1% and 4.7%, respectively. WSC increased by 3.3% and 2.9%, respectively and the starch increased by 0.6% and 1.4%, respectively. From the results of this experiment, we might recognize the relative impact of harvesting and processing. Artificial drying not only reduced the risk of rain, but also significantly improved the quality of hay. The results could provide information for production management and further researches of forage oats.

Key words: Forage oat, Harvest date, Diurnal change, Drying method, Nutrient Compositions.

(1) Contribution No. 2676 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

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

(3) Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan.

(4) Corresponding author, E-mail: chencsg@mail.tlri.gov.tw