

# 燕麥在不同成熟期之芻料品質與青貯調製研究<sup>(1)</sup>

劉建甫<sup>(2)</sup> 王紓愨<sup>(3)</sup> 朱明宏<sup>(3)(4)</sup>

收件日期：114 年 6 月 4 日；接受日期：114 年 7 月 21 日

## 摘 要

燕麥 (*Avena sativa* L.) 是營養豐富且本土可種植之芻料，深受反芻動物喜愛。本研究以芻料用燕麥新育成之品系 26 與 43 為試驗材料，分別在乳熟期與糊熟期收穫，經不同萎凋時間 (0、12 及 24 小時) 與乳酸菌添加處理，探討不同成熟期與青貯調製方式對燕麥芻料化學成分與青貯品質之影響。試驗結果顯示，在芻料品質方面，不同品系之間以品系 43 具有較高之粗蛋白質含量 (CP, 9.2%)，較低之酸洗纖維 (ADF, 38.0%)、中洗纖維 (NDF, 57.0%) 及水溶性碳水化合物 (WSC, 3.3%) 含量。不同成熟期之間以乳熟期之 CP、ADF、NDF 及 WSC 含量較高，分別為 8.5、41.2、61.7 及 3.7%。隨著萎凋時間增加，乾物率隨之提升，但 WSC 含量下降，CP、ADF 及 NDF 含量在不同萎凋時間均無顯著差異。在青貯品質方面，品系 26 燕麥在糊熟期經萎凋 24 小時且接種乳酸菌之下，具有最高之乳酸含量 (2.06%) 與最低之丙酸 (0.17%)，品質評分 (56.5) 最高。品系 43 燕麥在糊熟期經萎凋 24 小時且接種乳酸菌之下，具有較高之乳酸含量 (3.07%)、最低之丙酸 (0.04%) 與丁酸 (0.16%) 含量，品質評分 (83.5) 最高。根據試驗結果，在相同成熟期以品系 43 燕麥具有較佳之芻料品質，參試燕麥之青貯品質均以糊熟期、萎凋至較高之乾物率及添加乳酸菌為最佳，又品系 43 優於品系 26，可作為燕麥青貯調製之參考。

關鍵詞：芻料品質、乳酸菌、成熟期、燕麥青貯、萎凋。

## 緒 言

燕麥 (*Avena sativa* L.) 屬於一年生禾本科作物，廣泛栽培於溫帶與涼爽之亞熱帶地區，因產量高、營養豐富及環境適應性廣，可供人類食用與作為動物飼糧 (Suttie and Reynolds, 2004; Sun *et al.*, 2023)。為了發展酪農業，燕麥過去是臺灣冬季主要青刈芻料作物，栽培面積曾達 440 公頃，但隨著農地政策調整，2000 年後僅剩零星栽培 (黃及陳, 2020)，在此期間畜牧業者轉而使用進口燕麥且需求日益增加。近年因進口乾草價格高漲且供應不穩定，又逢休耕地轉作政策調整，國產芻料栽培出現新契機。臺灣中、北部地區冬季冷涼且潮濕的氣候適合燕麥栽培，具有降低進口燕麥依賴性的生產潛力，但由於莖稈粗壯，燕麥不如纖細的盤固草或百慕達草易於曬乾，因此田間乾燥需時長，天候影響風險大而不宜調製成品質良好的乾草，可藉由青貯方式來保存營養價值 (Zhao *et al.*, 2018; Xu *et al.*, 2022)。

青貯品質的優劣會受到含水率、pH 緩衝能力 (pH buffering capacity)、表面菌相及水溶性碳水化合物 (water soluble carbohydrates) 含量等植體因子影響，又植體因子會因品種、栽培氣候及收穫時的成熟期等不同而產生差異 (Kung *et al.*, 2018)。就燕麥而言，孕穗期 (booting stage) 至抽穗期 (heading stage) 的植株成熟度低、粗蛋白質含量高及纖維含量低，芻料品質佳而動物消化率高，但此成熟期之植體含水率高且 pH 緩衝能力強而不易製成良好青貯，需透過萎凋或添加糖蜜、微生物菌劑等調製方式提升青貯品質 (朱等, 2018; Ma *et al.*, 2023)。考量產量、芻料營養成分、青貯品質及青貯後之乾物質損失率，乳熟期 (milk stage) 至糊熟前期 (early dough stage) 是燕麥製作青貯較理想的成熟期 (Stirling *et al.*, 2022; Ma *et al.*, 2023)。然而，品種特性與栽培氣候的差異均會造成燕麥青貯調製之最適收穫期不同，也連帶影響芻料品質 (Ma *et al.*, 2022; 陳及范, 2024)。

青貯品質雖然會受到植體因子影響，但可藉由萎凋、添加物應用、壓實及密封等調製方式改善 (Borreani *et al.*, 2018; Kung *et al.*, 2018)。萎凋有助於降低青貯材料的水分含量，避免因含水率過高而增加發酵生成丁酸與滲出液產

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2833 號。

(2) 國立臺灣大學生物資源暨農學院附設農業試驗場。

(3) 農業部畜產試驗所南區分所。

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

生的風險，減少發酵後的乾物質損失(Kung *et al.*, 2018)。在添加物方面，化學添加劑如甲酸、丙酸及苯甲酸鈉(sodium benzoate)等可抑制黴菌、酵母菌及梭狀菌(*Clostridia*)等不利於青貯發酵的微生物生成；乳酸菌劑添加能加快發酵速率，產生大量乳酸，降低 pH 以抑制不良微生物生長而減少青貯的營養流失(Yitbarek and Tamir, 2014)；纖維素酶(cellulase)與糖蜜的添加則分別將植物細胞壁分解為醣類與提供額外可快速發酵的碳水化合物，兩者均能提供乳酸菌所需養分，促進青貯發酵(Yitbarek and Tamir, 2014)。

燕麥是適合於臺灣栽培且營養價值優於熱帶牧草的 C3 型植物，為了提升國產芻料的品質與自給率，本研究以本土所選育的芻料用燕麥新品系 26 與 43 為試驗材料，分別在乳熟期與糊熟期收穫，經不同萎凋時間(0、12 及 24 小時)與乳酸菌劑處理，探討不同成熟期與青貯調製方式對燕麥芻料營養組成與青貯品質之影響，作為日後芻料用燕麥生產與調製之參考。

## 材料與方法

### I. 栽培與收穫

參試之燕麥為農業部畜產試驗所南區分所(以下簡稱南區分所)選育作為芻料用品系 26 與 43，分別為晚熟型(late maturity)與中熟型(medium maturity)燕麥。參試燕麥在 2020 年 11 月 19 日種植於南區分所恆春場區試驗田，試驗採完全隨機設計(completely randomized design, CRD)，以 2 品系燕麥作為試驗處理，每種處理 4 重複，試驗區域分為 8 個小區，小區面積 3 m × 3 m，採撒播方式種植。試驗田區以臺肥硝磷基黑旺特 1 號有機質複合肥料(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 20:5:10) 500 kg ha<sup>-1</sup> 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。當燕麥成熟期達乳熟期(milk stage)與糊熟期(dough stage)，每小區分別刈割 1 m<sup>2</sup>，所收穫燕麥作為植體芻料化學成分測定與後續之青貯試驗。

### II. 植體芻料化學成分測定

不同品系、成熟期及萎凋時間之燕麥在青貯前進行取樣，樣品以 60°C 烘乾至恆重後計算乾物率。烘乾後的樣品研磨成粉(篩網孔徑 1 mm)進行植體芻料化學成分測定，分析項目包含粗蛋白質(crude protein, CP)、酸洗纖維(acid detergent fiber, ADF)、中洗纖維(neutral detergent fiber, NDF)及水溶性碳水化合物(water soluble carbohydrates, WSC)含量。分析方法如下：CP 定量參照 AOAC (2019) 之方法，ADF 及 NDF 的測定參考 Vogel *et al.* (1999) 以 ANKOM<sup>200</sup> 纖維分析儀(ANKOM<sup>200</sup> fiber analyzer, USA)進行。WSC 測定以 80% 酒精萃取樣品乾粉，混合萃取液並除去酒精後定量，依蒽酮(anthrone)呈色法測定(Morris, 1948)。

### III. 青貯試驗

分別收穫 2 種成熟期之不同品系燕麥，採收後之燕麥分別經 0、12 及 24 小時萎凋，萎凋處理後之植株細切至約 2 – 4 cm，分別以下列方式進行青貯試驗，對照組：青貯時無任何添加劑；接種組：青貯時添加商用乳酸菌劑(*Lactobacillus plantarum* 與 *Lactobacillus casei*，接種量為 2 × 10<sup>8</sup> cfu kg<sup>-1</sup> 材料鮮重)。材料均勻混合後密封於真空塑膠袋內，每袋裝填 1 kg，每種處理 3 重複，於室溫下存放 5 個月後開封，測定青貯發酵品質。

### IV. 青貯品質測定

取 20 g 開封後之青貯樣品加蒸餾水 180 mL，打碎過濾後以酸鹼度計測定青貯酸鹼值。利用氣體層析儀依 Jones and Kay (1976) 的方法測定青貯之乙酸、丙酸、丁酸及乳酸含量。青貯品質以 Flieg 氏評分法(Flieg's score)表示，Flieg 氏評分法以青貯中乳酸、乙酸及丁酸各佔所測定揮發性脂肪酸與乳酸總合之當量百分比，將三項數值依 Woolford (1984) 評分公式加總計算，40 分以下表示青貯失敗、40 – 60 分為可接受、60 – 80 分為好的青貯、80 分以上為發酵優良的青貯。

### V. 數據統計分析

試驗數據以 SAS 統計軟體(Statistical Analysis System, SAS 9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA)進行變方分析(analysis of variance, ANOVA)，如達顯著差異，各處理平均值再以最小顯著差異(least significance difference, LSD)進行檢定，比較各處理平均值之間是否達差異顯著。

## 結 果

### I. 燕麥青貯前之芻料化學成分

參試燕麥的乾物質、CP、ADF 及 WSC 含量均顯著受到品系、成熟期及萎凋處理彼此間之交感效應、各別主效應影響，但萎凋處理主效應對參試燕麥之 CP、ADF 及 NDF 含量無顯著影響 (表 1)。由萎凋時間與成熟期之交感效應分析結果顯示 (表 2)，參試燕麥乾物率均以乳熟期在未經萎凋下之乾物率最低，品系 26 與 43 分別為 24.5 與 17.8%；糊熟期經萎凋 24 小時之乾物率最高，品系 26 與 43 分別為 50.0 與 44.2%。品系 26 以糊熟期經萎凋 12 小時之 CP 含量最高、ADF 及 NDF 含量較低，分別為 8.0、41.1 及 61.4%。品系 43 以糊熟期經萎凋 24 小時之 CP 含量最高、ADF 及 NDF 含量較低，分別為 9.8、36.7 及 54.2%。在相同萎凋時間下，兩品系之 CP 含量在不同成熟期之差異不顯著，或以乳熟期之含量較高於糊熟期，惟品系 26 經萎凋 12 小時之糊熟期 CP 高於乳熟期；品系 26 之 ADF 與 NDF 含量在不同成熟期之差異均不顯著，品系 43 之 ADF 與 NDF 含量則均以乳熟期高於糊熟期；品系 26 之 WSC 含量除萎凋 12 小時以糊熟期高於乳熟期，其餘在不同成熟期之差異不顯著，品系 43 之 WSC 含量則均以乳熟期高於糊熟期。在相同成熟期下，隨著萎凋時間增加，乾物率隨之提升，但 CP、ADF 及 NDF 含量變化不顯著，WSC 含量則降低。

表 1. 品系、成熟期及萎凋時間對燕麥青貯前之乾物率芻料化學成分之統計差異顯著性

Table 1. Statistical significances of cultivar, maturity stage and wilting time on dry matter and forage chemical composition of oats before ensiling

Source of variation	DM <sup>†</sup>	CP	ADF	NDF	WSC
----- P > F -----					
Cultivar (C)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	<0.001
Maturity stage (M)	< 0.001	0.003	< 0.001	< 0.001	<0.001
Wilted time (W)	< 0.001	0.062	0.173	0.294	<0.001
C × M	< 0.001	0.006	0.035	< 0.001	<0.001
C × W	< 0.001	< 0.001	0.021	0.006	<0.001
M × W	< 0.001	0.001	0.037	0.097	<0.001
C × M × W	0.007	<0.001	0.002	0.057	<0.001

<sup>†</sup> DM, dry matter; CP, crude protein; ADF, acid detergent fiber; NDF, neutral detergent fiber; WSC, water soluble carbohydrates.

比較各別主效應對燕麥青貯前乾物率與化學成分之影響 (表 3)，燕麥之間以品系 43 具有較高之 CP 含量 (9.2%)，較低之乾物率 (30.1%)、ADF (38.0%)、NDF (57.0%) 及 WSC (3.3%) 含量。不同成熟期之間以糊熟期的乾物率較高 (38.4%)，但 CP、ADF、NDF 及 WSC 含量均以乳熟期較高，分別為 8.5、41.2、61.7 及 3.7%。隨著萎凋時間增加，乾物率隨之提升，但 WSC 含量下降，CP、ADF 及 NDF 含量在不同萎凋時間均無顯著差異。

## II. 不同調製處理之燕麥青貯發酵產物含量與品質

除了發酵後之丙酸含量不受到品系主效應影響外，燕麥青貯之 pH、揮發性脂肪酸含量及品質評分均顯著受到品系、成熟期、菌劑接種及萎凋時間之交感效應、各別主效應影響 (表 4)。品系 26 與 43 之糊熟期燕麥經 24 小時萎凋後之青貯具有最高品質評分，分別為 55.5 與 68.3，其青貯發酵後均具有較高之乳酸含量，且乙酸、丙酸及丁酸含量均較低 (表 5)。然而，兩品系之乳熟期燕麥經 12 小時以內之萎凋，燕麥青貯評分均低於 20，其發酵後之乳酸含量均顯著偏低 (< 0.07%)，乙酸、丙酸及丁酸含量均顯著較高。在相同成熟期下，隨著萎凋時間增加，兩品系燕麥之青貯品質與發酵後之乳酸含量均提升，除品系 43 乳熟期萎凋之丙酸顯著增加外，其餘之乙酸、丙酸及丁酸含量均降低。在相同萎凋時間下，糊熟期之兩品系燕麥青貯的乙酸、丙酸及丁酸含量均低於乳熟期，但其乳酸含量均高於乳熟期，因而具有較高之青貯品質評分 (表 5)。

比較品系、成熟期、菌劑接種及萎凋時間之各別主效應對燕麥青貯發酵產物含量及品質之影響 (表 6)，雖然品系 43 具有較高之乙酸 (1.25%) 與丁酸 (2.63%) 含量，但其乳酸含量 (0.96%) 亦較高，因而具有較高之青貯品質評分 (34.0)。不同成熟期之間以糊熟期具有較高之乳酸含量 (1.48%)、較低之乙酸 (0.58%)、丙酸 (0.35%) 及丁酸 (1.75%) 含量，其青貯品質評分較高 (44.3)。當燕麥經乳酸菌劑接種後青貯，具有較高之乳酸含量 (1.28%)、較低之乙酸 (0.96%)、丙酸 (0.41%) 及丁酸 (2.26%) 含量，其青貯品質評分 (39.0) 顯著高於未接種之燕麥青貯 (27.3)。隨著萎凋時間增加，燕麥青貯發酵生成之乙酸、丙酸及丁酸含量下降，乳酸含量增加，青貯品質評分亦隨之顯著提高。

表 2. 燕麥在不同品系、萎凋時間及成熟度之青貯前乾物率與芻料化學成分

Table 2. Dry matter content and forage chemical composition of forage oat under different cultivars, wilting times and maturity stages before ensiling

Cultivar	Wilted time	DM <sup>†</sup>			CP			ADF			NDF			WSC	
		Milk	Dough	%	Milk	Dough	%	Milk	Dough	%	Milk	Dough	%	Milk	Dough
26	0	24.5 <sup>cb</sup>	29.4 <sup>ca</sup>	7.4 <sup>aa</sup>	7.4 <sup>ba</sup>	41.6 <sup>aa</sup>	40.6 <sup>aa</sup>	62.0 <sup>aa</sup>	62.2 <sup>ba</sup>	4.8 <sup>aa</sup>	4.2 <sup>aa</sup>				
	12	37.8 <sup>bb</sup>	41.6 <sup>ba</sup>	7.2 <sup>ab</sup>	8.0 <sup>aa</sup>	44.9 <sup>aa</sup>	41.1 <sup>aa</sup>	64.9 <sup>aa</sup>	61.4 <sup>aa</sup>	2.1 <sup>cb</sup>	3.6 <sup>ba</sup>				
	24	39.8 <sup>ab</sup>	50.0 <sup>aa</sup>	7.6 <sup>aa</sup>	6.8 <sup>cb</sup>	42.5 <sup>aa</sup>	42.4 <sup>aa</sup>	64.5 <sup>aa</sup>	63.6 <sup>aa</sup>	3.3 <sup>ba</sup>	3.3 <sup>ca</sup>				
43	0	17.8 <sup>cb</sup>	27.0 <sup>ca</sup>	9.4 <sup>aa</sup>	7.7 <sup>cb</sup>	39.8 <sup>aa</sup>	36.1 <sup>ab</sup>	60.4 <sup>aa</sup>	54.7 <sup>ab</sup>	5.2 <sup>aa</sup>	2.8 <sup>ab</sup>				
	12	24.7 <sup>bb</sup>	38.4 <sup>ba</sup>	9.5 <sup>aa</sup>	9.1 <sup>ba</sup>	39.2 <sup>aa</sup>	37.1 <sup>ab</sup>	59.3 <sup>aa</sup>	53.9 <sup>ab</sup>	3.5 <sup>ba</sup>	2.7 <sup>ab</sup>				
	24	28.4 <sup>ab</sup>	44.2 <sup>aa</sup>	9.6 <sup>aa</sup>	9.8 <sup>aa</sup>	39.2 <sup>aa</sup>	36.7 <sup>ab</sup>	59.3 <sup>aa</sup>	54.2 <sup>ab</sup>	3.4 <sup>ba</sup>	2.1 <sup>bb</sup>				

<sup>†</sup> DM, dry matter; CP, crude protein; ADF, acid detergent fiber; NDF, neutral detergent fiber; WSC, water soluble carbohydrates.

<sup>‡</sup> Means within each column (in lowercase letter) and within each row (in uppercase letter) with different superscripts differ significantly (P < 0.05).

表 3. 品系、成熟期及萎凋時間對燕麥青貯前乾物率與芻料化學成分之影響

Table 3. Effect of cultivar, maturity stage and wilting time on the dry matter content and forage chemical composition of oats before ensiling

		DM <sup>†</sup>	CP	ADF	NDF	WSC
		%	% of DM			
Cultivar	26	37.2 <sup>ac</sup>	7.4 <sup>b</sup>	42.2 <sup>a</sup>	63.1 <sup>a</sup>	3.6 <sup>a</sup>
	43	30.1 <sup>b</sup>	9.2 <sup>a</sup>	38.0 <sup>b</sup>	57.0 <sup>b</sup>	3.3 <sup>b</sup>
Maturity stage	Milk	28.8 <sup>b</sup>	8.5 <sup>a</sup>	41.2 <sup>a</sup>	61.7 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>
	Dough	38.4 <sup>a</sup>	8.1 <sup>b</sup>	39.0 <sup>b</sup>	58.3 <sup>b</sup>	3.1 <sup>b</sup>
Wilted time	0 hr	24.7 <sup>c</sup>	8.0 <sup>a</sup>	39.5 <sup>a</sup>	59.8 <sup>a</sup>	4.3 <sup>a</sup>
	12 hr	35.6 <sup>b</sup>	8.5 <sup>a</sup>	40.6 <sup>a</sup>	59.9 <sup>a</sup>	3.0 <sup>b</sup>
	24 hr	40.6 <sup>a</sup>	8.4 <sup>a</sup>	40.2 <sup>a</sup>	60.4 <sup>a</sup>	3.0 <sup>b</sup>

<sup>†</sup> DM, dry matter; CP, crude protein; ADF, acid detergent fiber; NDF, neutral detergent fiber; WSC, water soluble carbohydrates.

<sup>‡</sup> Means in the same column with different superscripts differ significantly ( $P < 0.05$ ).

表 4. 品系、成熟期、菌劑接種及萎凋時間對燕麥青貯之 pH、揮發性脂肪酸含量及青貯評分之統計差異顯著性

Table 4. Statistical significances of cultivar, maturity stage, inoculation and wilting time on pH, volatile fatty acids content and Flieg's score of oat silage

Source of variation	pH	A <sup>†</sup>	P	B	L	Score
----- P > F -----						
Cultivar (C)	< 0.001	< 0.001	0.152	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Maturity stage (M)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Inoculation (I)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Wilted time (W)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
C × M	0.016	< 0.001	0.049	< 0.001	< 0.001	< 0.001
C × I	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
C × W	0.010	< 0.001	< 0.001	0.726	< 0.001	< 0.001
M × I	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	< 0.001	< 0.001
M × W	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
I × W	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
C × M × I	< 0.001	< 0.001	0.028	0.471	< 0.001	< 0.001
C × M × W	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
C × I × W	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
M × I × W	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
C × M × I × W	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

<sup>†</sup> A, acetic acid; P, propionic acid; B, butyric acid; L, lactic acid; Score, silage quality of Flieg's score.

由表 6 顯示，參試燕麥在糊熟期之青貯品質顯著優於乳熟期。在品系 26 方面，糊熟期青貯除了丙酸含量，其 pH、揮發性脂肪酸含量及品質評分均顯著受到菌劑接種與萎凋時間之交感效應、各別主效應影響（表 7）。燕麥未經萎凋且無乳酸菌接種下，品系 26 青貯之乙酸 (0.87%)、丙酸 (0.80%) 及丁酸 (3.08%) 含量最高、乳酸含量 (0.05%) 最低，品質評分最低 (19.5)。經萎凋 24 小時且接種乳酸菌，具有最高之乳酸含量 (2.06%) 與最低之丙酸 (0.17%)，其品質評分 (56.5) 最高。品系 43 在糊熟期青貯之 pH、揮發性脂肪酸含量及品質評分亦均顯著受到菌劑接種與萎凋時間之交感效應、各別主效應影響（表 8），未經萎凋且無乳酸菌接種下，品系 43 青貯之乙酸 (1.05%) 與丙酸 (0.86%) 含量最高、乳酸含量 (0.06%) 最低，品質評分最低 (18.5)。經萎凋 24 小時且接種乳酸菌下，具有較高之乳酸含量 (3.07%)、最低之丙酸 (0.04%) 與丁酸 (0.16%) 含量，其品質評分 (83.5) 最高。

表 5. 燕麥在不同品系、萎凋時間及成熟期之青貯 pH、揮發性脂肪酸含量及 Flieg 評分  
 Table 5. pH, volatile fatty acids content and Flieg's score of oat silage with different cultivars, maturity stages, and wilting times

Cultivar	Wilted time	pH			A <sup>†</sup>			P			B			L			Score								
		Milk	Dough	Dough	Milk	Dough	Milk	Dough	Milk	Dough	Milk	Dough	Milk	Dough	Milk	Dough	Milk	Dough							
----- % of DM -----																									
26	0	5.3 <sup>BB‡</sup>	5.4 <sup>AA</sup>	0.73 <sup>AB</sup>	1.07 <sup>AA</sup>	0.59 <sup>AB</sup>	4.02 <sup>AA</sup>	3.02 <sup>AB</sup>	0.02 <sup>BB</sup>	0.17 <sup>BA</sup>	16.0 <sup>BB</sup>	20.5 <sup>CA</sup>	26	5.3 <sup>BA</sup>	45.3 <sup>BA</sup>	55.5 <sup>AA</sup>	33.3 <sup>AB</sup>	1.67 <sup>AA</sup>	1.81 <sup>AA</sup>	19.0 <sup>BB</sup>	0.07 <sup>BB</sup>	0.02 <sup>BB</sup>	0.17 <sup>BA</sup>	13.0 <sup>BB</sup>	20.3 <sup>CA</sup>
	12	5.7 <sup>BA</sup>	5.1 <sup>BB</sup>	0.41 <sup>BB</sup>	0.87 <sup>AA</sup>	0.25 <sup>BB</sup>	2.54 <sup>BA</sup>	1.29 <sup>BB</sup>	0.07 <sup>BB</sup>	1.81 <sup>AA</sup>	19.0 <sup>BB</sup>	45.3 <sup>BA</sup>													
	24	5.6 <sup>AA</sup>	5.2 <sup>BB</sup>	0.20 <sup>BB</sup>	0.57 <sup>BA</sup>	0.19 <sup>BB</sup>	1.49 <sup>AA</sup>	0.77 <sup>CB</sup>	1.03 <sup>AB</sup>	1.67 <sup>AA</sup>	33.3 <sup>AB</sup>	55.5 <sup>AA</sup>													
43	0	5.0 <sup>BB</sup>	5.2 <sup>AA</sup>	0.84 <sup>AB</sup>	0.60 <sup>BA</sup>	0.66 <sup>AA</sup>	4.23 <sup>AA</sup>	3.67 <sup>AB</sup>	0.02 <sup>BB</sup>	0.06 <sup>BA</sup>	13.0 <sup>BB</sup>	20.3 <sup>CA</sup>	43	51.8 <sup>BA</sup>	68.3 <sup>AA</sup>	31.0 <sup>AB</sup>	2.35 <sup>AA</sup>	2.50 <sup>BA</sup>	20.0 <sup>BB</sup>	0.01 <sup>BB</sup>	0.02 <sup>BB</sup>	0.06 <sup>BA</sup>	13.0 <sup>BB</sup>	20.3 <sup>CA</sup>	
	12	5.4 <sup>AA</sup>	4.8 <sup>BB</sup>	0.62 <sup>ABB</sup>	0.91 <sup>AA</sup>	0.24 <sup>BB</sup>	3.44 <sup>ABAA</sup>	1.29 <sup>BB</sup>	0.01 <sup>BB</sup>	2.50 <sup>BA</sup>	20.0 <sup>BB</sup>	51.8 <sup>BA</sup>													
	24	5.6 <sup>AA</sup>	4.8 <sup>BB</sup>	0.49 <sup>BB</sup>	0.87 <sup>AA</sup>	0.17 <sup>BB</sup>	2.66 <sup>BA</sup>	0.51 <sup>CB</sup>	0.83 <sup>AB</sup>	2.35 <sup>AA</sup>	31.0 <sup>AB</sup>	68.3 <sup>AA</sup>													

<sup>†</sup> A, acetic acid; P, propionic acid; B, butyric acid; L, lactic acid; Score, silage quality of Flieg's score.

<sup>‡</sup> Means within each column (in lowercase letter) and within each row (in uppercase letter) with different superscripts differ significantly (P < 0.05).

表 6. 品系、成熟期、菌劑接種及萎凋時間對燕麥青貯 pH、揮發性脂肪酸含量及 Flieg 評分之影響

Table 6. Effect of cultivar, maturity stage, inoculation and wilting time on pH, volatile fatty acids content and Flieg's score of oat silage

		pH	A <sup>†</sup>	P	B	L	Score
		----- % of DM -----					
Cultivar	26	5.4 <sup>ab</sup>	0.93 <sup>b</sup>	0.59 <sup>a</sup>	2.18 <sup>b</sup>	0.84 <sup>b</sup>	32.3 <sup>b</sup>
	43	5.1 <sup>b</sup>	1.25 <sup>a</sup>	0.57 <sup>a</sup>	2.63 <sup>a</sup>	0.96 <sup>a</sup>	34.0 <sup>a</sup>
Maturity stage	Milk	5.4 <sup>a</sup>	1.60 <sup>a</sup>	0.81 <sup>a</sup>	3.06 <sup>a</sup>	0.33 <sup>b</sup>	22.0 <sup>b</sup>
	Dough	5.1 <sup>b</sup>	0.58 <sup>b</sup>	0.35 <sup>b</sup>	1.75 <sup>b</sup>	1.48 <sup>a</sup>	44.3 <sup>a</sup>
Inoculation	CK	5.4 <sup>a</sup>	1.22 <sup>a</sup>	0.75 <sup>a</sup>	2.55 <sup>a</sup>	0.52 <sup>b</sup>	27.3 <sup>b</sup>
	LAB	5.1 <sup>b</sup>	0.96 <sup>b</sup>	0.41 <sup>b</sup>	2.26 <sup>b</sup>	1.28 <sup>a</sup>	39.0 <sup>a</sup>
Wilted time	0 hr	5.2 <sup>b</sup>	1.74 <sup>a</sup>	0.73 <sup>a</sup>	3.73 <sup>a</sup>	0.07 <sup>b</sup>	17.4 <sup>c</sup>
	12 hr	5.3 <sup>a</sup>	0.88 <sup>b</sup>	0.57 <sup>ab</sup>	2.14 <sup>b</sup>	1.10 <sup>a</sup>	34.0 <sup>b</sup>
	24 hr	5.3 <sup>a</sup>	0.65 <sup>b</sup>	0.45 <sup>b</sup>	1.34 <sup>c</sup>	1.55 <sup>a</sup>	48.1 <sup>a</sup>

<sup>†</sup> A, acetic acid; P, propionic acid; B, butyric acid; L, lactic acid; Score, silage quality of Flieg's score; CK, blank control; LAB, inoculation of lactic acid bacteria.

<sup>‡</sup> Means in the same column with different superscripts differ significantly ( $P < 0.05$ ).

## 討 論

燕麥之芻料品質會受到品種、播種期、栽培地點及收穫時的植株成熟期等因素影響 (Kim *et al.*, 2006; Coblenz *et al.*, 2012; Ma *et al.*, 2023)。Hameed *et al.* (2014) 研究顯示，燕麥在相同之成熟期收穫，品種特性差異會造成芻料品質的不同，其差異來自於芻料用燕麥為叢生多分蘗型，單株分蘗數、每分蘗之葉片數及每分蘗葉面積大小在品種間差異大；單株分蘗數、每分蘗之葉片數及每分蘗葉面積較高之燕麥具有較高之 CP 含量與較低之粗纖維含量，芻料品質較佳。此外，當燕麥在抽穗後收穫，不同品種間的穗占全株比重差異大且穀粒充實時間不一，又品種間的主分蘗與次分蘗生長時序不同，造成營養生長與生殖生長交雜而影響芻料品質 (Chapko *et al.*, 1991; David *et al.*, 2010)。本研究參試之 26 與 43 燕麥品系分屬晚熟與中熟之不同成熟群 (maturity group)，但因品系 43 之葉片數與穀粒較多 (資料尚未發表)，在相同成熟期下以品系 43 之芻料品質較佳 (表 2 及表 3)。

隨著植株成熟度增加，燕麥之 CP 含量隨之顯著降低 (陳及范, 2024; Ma *et al.*, 2023)。在穀粒灌漿期 (grouting stage) 前，燕麥之 ADF 與 NDF 含量隨之提高，當穀粒開始灌漿充實後，ADF 與 NDF 含量會因穀粒中澱粉及碳水化合物累積而漸趨下降 (陳及范, 2024; Stirling *et al.*, 2022; Kiliçalp and Türk, 2023)。Swan 與 Saia 燕麥之 WSC 含量在孕穗期 (boot stage) 前變化均不顯著，在孕穗期後則隨著穀粒充實而逐漸增加 (陳等, 2021; 陳及范, 2024)，但 Stirling *et al.* (2022) 以 Cantara 燕麥進行試驗，其 WSC 含量自孕穗期後顯著下降，在乳熟期雖有提升，但後續隨著植株成熟度增加而降低，顯示品種差異會造成芻料品質之不同。本研究參試燕麥之 CP、ADF、NDF 及 WSC 含量均以乳熟期高於糊熟期 (表 3)，此結果與前人研究相符。然而，Coblenz *et al.* (2012) 以不同春播型燕麥 (spring oat) 進行試驗，燕麥植株成熟度愈高會造成 ADF、NDF 及木質素含量愈高，其 CP 含量、NDF 消化率及總可消化養分愈低，由前人與本研究結果顯示，品種特性與植株成熟期之交感效應會造成各芻料化學成分之變動趨勢不盡相同。此外，在相同成熟期下，本研究參試燕麥之 ADF 與 NDF 含量均略高於前人研究，CP 與 WSC 含量均較低 (陳及范, 2024; Stirling *et al.*, 2022)，推測除品種效應之外，播種期、栽培地點之氣候、收穫時之成熟期及各因子彼此間之交感效應 (Kim *et al.*, 2006; Kiliçalp and Türk, 2023) 均是造成芻料化學成分差異之因素。

萎凋有助於降低燕麥含水量，顯著提升乾物率使其能製成良好青貯，但亦會造成芻料化學成分變動。Gomes *et al.* (2019) 與 Liu *et al.* (2020) 研究均顯示，萎凋時間延長會使燕麥 ADF 與 NDF 含量增加，但 CP 與 WSC 含量下降。隨著萎凋時間增加，本研究參試燕麥之 WSC 含量下降，與前者研究相符，但 CP、ADF 及 NDF 含量在不同萎凋時間下均無顯著差異 (表 2 及表 3)，此結果雖與前者研究不同，卻與 Saia 燕麥之萎凋試驗結果相似 (朱等，

2018)。Rotz and Muck (1994) 指出，萎凋過程中芻料化學成分會受到植體與微生物之呼吸作用影響，主要是 WSC 降解，但澱粉亦會水解生成 WSC，受到呼吸作用與澱粉水解的綜合效應，短暫萎凋時間下的 WSC 含量可能變化不大甚至增加；CP、ADF、NDF 及木質素等在微生物呼吸降解與植體含水率降低導致濃度增加之兩者消長下亦可能出現含量差異不大。然而，當萎凋時間愈長，易消化養分之含量下降愈顯著，不易消化之纖維含量將顯著增加(Kuter *et al.*, 2023)。

燕麥由於品種特性與收穫成熟期之差異，營養成分會有所不同而造成青貯發酵產物與品質之差異，其中乾物率、WSC 含量及植體 pH 緩衝能力之間的相互作用是決定青貯發酵品質的重要因素(Zhao *et al.*, 2018; Ma *et al.*, 2022; Stirling *et al.*, 2022)。為了製成發酵品質良好之青貯，禾本科植物之乾物率適合範圍為 25% – 35%，乾物率過低 (< 25%) 易產生滲出液且增加梭菌 (*Clostridia*) 代謝乳酸發酵生成丁酸的機率，進而造成乾物質損失；乾物率過高 (> 50%) 則會限制發酵，導致總產酸量低而使青貯 pH 不易下降(Kung *et al.*, 2018)。WSC 含量應高於 5%，促使乳酸菌發酵生成乳酸而快速降低青貯 pH (McDonald *et al.*, 1991)，pH 緩衝能力則應低於 250 mEq kg<sup>-1</sup> DM，利於微生物發酵產酸後青貯 pH 可快速下降(Kung *et al.*, 2018)。本研究參試燕麥在乳熟期之青貯評分均顯著低於 40 分(表 5)，青貯 pH 均高於 5.0，丙酸與丁酸含量偏高，尤其未經萎凋處理之丁酸含量均達 4.0% 以上且乳酸含量顯著偏低 (< 0.1%)，顯示不佳的青貯品質高機率來自於梭菌發酵，此與 Xu *et al.* (2022) 以高含水率燕麥進行青貯之結果相似。此外，乳熟期燕麥經萎凋 12 與 24 小時雖可達到良好青貯之乾物率範圍(表 2)，但 WSC 含量略低 (< 4%)，又相較於其他成熟期，乳熟期燕麥之 pH 緩衝能力較高(Stirling *et al.*, 2022)，推測在受到 pH 緩衝能力與 WSC 含量之影響下，造成參試燕麥經凋後的青貯品質仍不佳(表 5)。

燕麥青貯品質除了受到乾物率、WSC 含量及 pH 緩衝能力之影響外，隨著青貯時間延長 (60 – 90 天)，即便達到發酵穩定狀態，在微生物相持續變動之下，青貯之乳酸含量漸趨下降，乙酸、丙酸、丁酸及氨態氮 (NH<sub>3</sub>-N) 含量均漸趨上升，造成乾物質損失漸增(Cheng *et al.*, 2022; Sun *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024)。本試驗之青貯時間達 5 個月，青貯之丙酸與丁酸含量(表 5)均顯著高於多數前人研究，除了高機率來自於梭菌發酵作用所造成(Kung *et al.*, 2018)，在 pH 未能降至 4.2 以下(表 6)也難以限制不良微生物，因而長時間青貯下的微生物相變動可能是影響青貯品質之因素，有待探討不同青貯時間對於微生物族群及發酵產物含量之影響。

在糊熟期方面，燕麥品系 26 與 43 在未經萎凋之乾物率分別為 29.4 與 27.0% (表 2)，雖然均達到良好青貯之乾物率範圍，但即使添加乳酸菌，青貯之 pH 仍高於 5.0、丁酸含量達 3.0% 以上且乳酸含量顯著偏低 (< 0.3%)，青貯評分分別為 21.5 與 22.0 (表 7 及表 8)，顯示梭菌的發酵作用應是造成青貯品質不良之原因。隨著萎凋時間增加，燕麥乾物率隨之顯著提升，雖然 WSC 含量漸減(表 2)，但青貯評分仍隨之顯著提升，尤其經萎凋 24 小時，品系 26 與 43 之乾物率分別達 50.0 與 44.2%，青貯評分仍均達 53 分以上(表 7 及表 8)，顯示影響參試燕麥青貯品質的主要因子應為乾物率，糊熟期之青貯品質亦顯示相同趨勢(表 5)，又在乾物率較高之下其青貯品質較理想，此與 Kuter *et al.* (2023) 以萎凋方式調製之燕麥青貯研究相似。此外，在高乾物率下，乳酸菌劑添加可顯著提升青貯之乳酸含量與品質評分，尤其品系 43 經萎凋 12 與 24 小時且接種菌劑之青貯評分分別可達 79.0 與 83.5，又不同品系間的菌劑添加效果差異可能來自於芻料化學成分與初始附著於植體之菌相不同(Zhao *et al.*, 2018; Yin *et al.*, 2022)。

為了推動本土芻料燕麥的生產，近年積極投入栽培、營養組成分析及調製利用研究(朱等, 2018; 陳等 2021; 陳及范, 2024)，但國內迄今僅育成芻料用燕麥臺大選一號，因其早熟特性而產量略顯不足，為滿足農民收益，致使現行生產與相關研究之材料多為國外育成品種。陳及范 (2024) 研究顯示，Swan 與 Mount one 燕麥之青貯品質均以孕穗期 (boot stage) 為最佳，Saia 燕麥則以抽穗期 (heading stage) 之青貯品質最佳，但三種燕麥在孕穗期與抽穗期之乾物產量約僅為乳熟期或糊熟前期之 50%。考量產量收益與青貯品質，以國內育成之芻料用燕麥新品系 26 與 43 為試驗材料，透過萎凋提升至較高之乾物率並添加乳酸菌，可顯著提升燕麥在糊熟期之青貯品質，增加本土芻料燕麥之供應穩定性。

表 7. 燕麥品系 26 在糊熟期於不同萎凋時間及接種處理下之青貯 pH、揮發性脂肪酸含量及 Flieg 評分  
 Table 7. pH, volatile fatty acids content and Flieg's score of oat Line 26 silage at the dough stage under different wilting times and inoculations

	pH			A <sup>†</sup>			P			B			L			Score		
	CK	LAB	LAB	CK	LAB	LAB	CK	LAB	LAB	CK	LAB	LAB	CK	LAB	LAB	CK	LAB	LAB
Wilted time	----- % of DM -----																	
0 hr	5.4 <sup>aa</sup> ‡	5.5 <sup>ba</sup>	0.60 <sup>bb</sup>	0.87 <sup>aa</sup>	0.38 <sup>ab</sup>	0.80 <sup>ba</sup>	3.08 <sup>aa</sup>	2.96 <sup>aa</sup>	0.05 <sup>cb</sup>	0.29 <sup>ba</sup>	19.5 <sup>cb</sup>	21.5 <sup>ca</sup>						
12 hr	5.1 <sup>ca</sup>	5.0 <sup>ba</sup>	0.44 <sup>ba</sup>	0.31 <sup>ba</sup>	0.19 <sup>bb</sup>	1.23 <sup>ba</sup>	1.34 <sup>ba</sup>	1.63 <sup>aa</sup>	1.99 <sup>aa</sup>	44.0 <sup>ba</sup>	46.5 <sup>ba</sup>							
24 hr	5.3 <sup>ba</sup>	5.0 <sup>bb</sup>	0.38 <sup>aa</sup>	0.21 <sup>ba</sup>	0.17 <sup>ba</sup>	0.63 <sup>ca</sup>	0.91 <sup>ca</sup>	1.28 <sup>bb</sup>	2.06 <sup>ca</sup>	54.5 <sup>aa</sup>	56.5 <sup>aa</sup>							
SOV	pH			A			P			B			L			Score		
Inoculation (I)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.304	< 0.001	< 0.001	< 0.001							
Wilted time (W)	< 0.001	< 0.001	0.042	0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001							
I × W	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.001	0.095	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	0.001							

<sup>†</sup> A, acetic acid; P, propionic acid; B, butyric acid; L, lactic acid; Score, silage quality of Flieg's score; CK, blank control; LAB, inoculation of lactic acid bacteria.

<sup>‡</sup> Means within each column (in lowercase letter) and within each row (in uppercase letter) with different superscripts differ significantly (P < 0.05).

表 8. 燕麥品系 43 在糊熟期於不同萎凋時間及接種處理下之青貯 pH、揮發性脂肪酸含量及 Flieg 評分  
 Table 8. pH, volatile fatty acids content and Flieg's score of oat Line 43 silage at the dough stage under different wilting times and inoculations

Wilted time	pH			A <sup>†</sup>			P			B			L			Score		
	CK	LAB	LAB	CK	LAB	LAB	CK	LAB	LAB	CK	LAB	LAB	CK	LAB	LAB	CK	LAB	LAB
0 hr	5.1 <sup>ba‡</sup>	5.2 <sup>ba</sup>	5.2 <sup>ba</sup>	1.05 <sup>aa</sup>	0.63 <sup>bb</sup>	0.46 <sup>ab</sup>	0.86 <sup>aa</sup>	0.46 <sup>ab</sup>	3.26 <sup>ab</sup>	4.07 <sup>aa</sup>	0.06 <sup>ca</sup>	0.06 <sup>ca</sup>	0.06 <sup>ca</sup>	0.06 <sup>ca</sup>	0.06 <sup>ca</sup>	18.5 <sup>cb</sup>	22.0 <sup>ca</sup>	22.0 <sup>ca</sup>
12 hr	5.3 <sup>aa</sup>	4.4 <sup>bb</sup>	4.4 <sup>bb</sup>	0.43 <sup>bb</sup>	0.81 <sup>aa</sup>	0.06 <sup>bb</sup>	0.42 <sup>ba</sup>	0.06 <sup>bb</sup>	2.08 <sup>ba</sup>	0.50 <sup>bb</sup>	0.84 <sup>bb</sup>	0.84 <sup>bb</sup>	0.84 <sup>bb</sup>	4.17 <sup>aa</sup>	4.17 <sup>aa</sup>	24.5 <sup>bb</sup>	79.0 <sup>ba</sup>	79.0 <sup>ba</sup>
24 hr	5.1 <sup>ba</sup>	4.5 <sup>bb</sup>	4.5 <sup>bb</sup>	0.31 <sup>cb</sup>	0.68 <sup>ba</sup>	0.04 <sup>bb</sup>	0.30 <sup>ca</sup>	0.04 <sup>bb</sup>	0.85 <sup>ca</sup>	0.16 <sup>cb</sup>	1.63 <sup>ab</sup>	1.63 <sup>ab</sup>	1.63 <sup>ab</sup>	3.07 <sup>ba</sup>	3.07 <sup>ba</sup>	53.0 <sup>ab</sup>	83.5 <sup>aa</sup>	83.5 <sup>aa</sup>
SOV	pH			A			P			B			L			Score		
Inoculation (I)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Wilted time (W)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
I × W	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.032	0.032	0.032	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

<sup>†</sup> A, acetic acid; P, propionic acid; B, butyric acid; L, lactic acid; Score, silage quality of Flieg's score; CK, blank control; LAB, inoculation of lactic acid bacteria.  
<sup>‡</sup> Means within each column (in lowercase letter) and within each row (in uppercase letter) with different superscripts differ significantly (P < 0.05).

## 結 論

本研究顯示燕麥芻料品質會受到品系與成熟期之影響，在相同成熟期下，不同品系之間以品系 43 之 CP 含量較高，ADF、NDF 及 WSC 含量較低；乳熟期具有較高之 CP 與 WSC 含量，但其 ADF 與 NDF 含量較高。燕麥青貯品質會受到品系、成熟期、萎凋時間及乳酸菌劑添加之影響，參試燕麥之青貯品質均以糊熟期、萎凋至乾物率 40 – 50% 及添加乳酸菌為最佳，又品系 43 優於品系 26，可作為青貯調製之參考。

## 誌 謝

本研究承蒙國立臺灣大學農藝學系黃永芬副教授及其研究團隊提供燕麥種原並參與新品系燕麥之育成，謹此併致謝忱。

## 參考文獻

- 朱明宏、王紓愍、游翠凰、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。
- 陳勃聿、范耕榛。2024。不同收穫期對燕麥青貯之影響。畜產研究 57：212-221。
- 陳嘉昇、黃永芬、游翠凰、王紓愍。2021。芻料燕麥營養成分變動之探討。畜產研究 54：116-125。
- 黃永芬、陳嘉昇。2020。燕麥。新編臺灣雜糧作物(一)：雜糧作物之特性。財團法人豐年社，臺北市，第 106-139 頁。
- A. O. A. C. 2019. Official Methods of Analysis. 21st ed. Assoc. Offic. Anal. Chem., Arlingmt, VA.
- Borreani, G., E. Tabacco, R. J. Schmidt, B. J. Holmes, and R. E. Muck. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. J. Dairy Sci. 101: 3952-3979.
- Chapko, L. B., M. A. Brinkman, and K. A. Albrecht. 1991. Genetic variation for forage yield and quality among grain oat genotypes harvested at early heading. Crop Sci. 31: 874-878.
- Cheng, Q., L. Chen, L. Y. Chen, P. Li, and C. Chen. 2022. Effects of LAB inoculants on the fermentation quality, chemical composition, and bacterial community of oat silage on the Qinghai-Tibetan Plateau. Microorganisms 10: 787.
- 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.
- David, D. B., J. L. Nörnberg, E. B. Azevedo, G. Brüning, J. D. Kessler, and F. R. Skonieski. 2010. Nutritional value of black and white oat cultivars ensiled in two phenological stages. Rev. Bras. Zootecn. 39: 1409-1417.
- Gomes, A. L. M., F. A. Jacovaci, D. C. Bolson, L. G. Nussio, C. C. Jobim, and J. L. P. Daniel. 2019. Effects of light wilting and heterolactic inoculant on the formation of volatile organic compounds, fermentative losses and aerobic stability of oat silage. Anim. Feed Sci. Technol. 247: 194-198.
- Hameed, S., M. Ayub, M. Tahir, S. Khan, and M. Bilal. 2014. Forage yield and quality response of oat (*Avena sativa* L.) cultivars to different sowing techniques. Int. J. Mod. Agric. 3: 25-33.
- Jones, D. W. and J. J. Kay. 1976. Determination of volatile fatty acid C1-C6 and lactic acid in silage juice. J. Sci. Food Agric. 27: 1005-1014.
- Kiliçalp, N. and T. Türk. 2023. Cultivar and harvest stage effects on nutritive value of whole crop oat (*Avena sativa* L.) silages. J. Agric. Nat. 26: 437-449.
- 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.
- Kung, L., R. D. Shaver, R. J. Grant, and R. J. Schmidt. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. J. Dairy Sci. 101: 4020-4033.
- Kuter, E., U. Ahsan, B. Tosun, D. M. Karagöz, H. Gümüş, I. Raza, M. Guvenc, and Ö. Akkaş. 2023. Biomass yield, quality, nutrient composition, and feeding value of oat (*Avena sativa*) silage subjected to different wilting durations and/or inoculant application. Trop. Anim. Health Prod. 55: 299.

- Liu, Q. H., J. X. Wu, Z. H. Dong, S. R. Wang, and T. Shao. 2020. Effects of overnight wilting and additives on the fatty acid profile,  $\alpha$ -tocopherol and  $\beta$ -carotene of whole plant oat silages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 260: 114370.
- Ma, J., H. Dai, H. Liu, and W. Du. 2022. Effect of cutting stages and additives on the fermentation quality of triticale, rye and oat silage in Qinghai-Tibet plateau. *Agronomy* 12: 3113.
- Ma, J., H. Dai, H. Liu, and W. Du. 2023. Effects of harvest stages and lactic acid bacteria additives on the nutritional quality of silage derived from triticale, rye, and oat on the Qinghai-Tibet Plateau. *Peer J.* 11: e15772.
- McDonald, P., A. R. Henderson, and S. J. E. Heron. 1991. *The biochemistry of silage*. 2nd ed. Chalcombe, Marlow, UK.
- Morris, D. L. 1948. Quantitative determination of carbohydrates with dry-wood's anthrone reagent. *Science* 107: 254-255.
- Rotz, C. A. and R. E. Muck. 1994. Changes in forage quality during harvest and storage. In: *Forage quality, evaluation, and utilization*, Eds. G. C. Fahey, Jr. *et al.* Am. Soc. Agron., Madison, WI. pp. 828-868.
- Stirling, S., J. E. Diaz, J. L. Repetto, M. Pla, J. M. Arroyo, and C. Cajarville. 2022. Growth stage and ensiling: impact on chemical composition, conservation quality and in situ ruminal degradability of whole-crop oat. *J. Sci. Food Agric.* 102: 2783-2791.
- Sun, L., Y. Xue, Y. Xiao, R. Te, X. Wu, N. Na, N. Wu, M. Qili, Y. Zhao, and Y. Cai. 2023. Community synergy of lactic acid bacteria and cleaner fermentation of oat silage prepared with a multispecies microbial inoculant. *Microbiol. Spectr.* 11: e0070523.
- Suttie, J. M. and S. G. Reynolds. 2004. *Fodder oats: A world overview*. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy.
- Vogel, K. P., 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.
- Wang, S., C. Ding, J. Tian, Y. Cheng, N. Xu, W. Zhang, X. Wang, M. Nazar, and B. Liu. 2024. An evaluation of storage length on ensiling characteristics, bacterial community compositions, co-occurrence networks, and their functional shifts and pathogenic risk in high-moisture oat silage. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 11: 173.
- Woolford, M. K. 1984. Factors affecting silage in and out of the silo. In: M. K. (eds.), *The silage fermentation*. Marcel Dekker, Inc. pp. 133-155. New York, USA.
- Xu, J., K. Zhang, Y. Lin, M. Li, X. Wang, Q. Yu, H. Sun, Q. Cheng, Y. Xie, C. Wang, P. Li, C. Chen, F. Yang, and Y. Zheng. 2022. Effect of cellulase and lactic acid bacteria on the fermentation quality, carbohydrate conversion, and microbial community of ensiling oat with different moisture contents. *Front. Microbiol.* 13: 1013258.
- Yin, X., J. Zhao., S. Wang, Z. Dong, J. Li, and T. Shao. 2022. Separating the chemical and microbial factors of oat harvested at two growth stages to determine the main factor on silage fermentation. *J. Appl. Microbiol.* 132: 4266-4276.
- Yitbarek, M. B. and B. Tamir. 2014. Silage additives: review. *Open J. Appl. Sci.* 4: 258-274.
- Zhao, G. Q., Z. L. Ju, J. K. Chai, T. Jiao, Z. F. Jia, D. P. Casper, L. Zeng, and J. P. Wu. 2018. Effects of silage additives and varieties on fermentation quality, aerobic stability and nutritive value of oat silage. *J. Anim. Sci.* 96: 3151-3160.

# Study on forage quality and ensiling treatments of oat at different maturity stages <sup>(1)</sup>

Chien-Fu Liu <sup>(2)</sup> Shu-Min Wang <sup>(3)</sup> and Ming-Hung Chu <sup>(3)(4)</sup>

Received: Jun. 4, 2025; Accepted: Jul. 21, 2025

## Abstract

Oat (*Avena sativa*) is a nutritious forage that can be locally cultivated, and is well accepted by ruminants. In this study, two newly developed forage oat lines, designed as Line 26 and Line 43, were used as experimental materials. Both lines were harvested at the milk and dough stages, and subjected to different wilting durations (0, 12, and 24 hours) with or without lactic acid bacteria inoculation to investigate the effects of harvest maturity stages and ensiling treatments on the chemical composition and silage quality of oat. The results showed that, in terms of forage quality, line 43 had a higher crude protein (CP) content (9.2%) and lower levels of acid detergent fiber (ADF, 38.0%), neutral detergent fiber (NDF, 57.0%), and water soluble carbohydrates (WSC, 3.3%) as compared to line 26. Between the two maturity stages, the milk stage exhibited higher contents of CP (8.5%), ADF (41.2%), NDF (61.7%), and WSC (3.7%), compared to other maturity stages. As wilting duration increased, dry matter content increased accordingly, while WSC content decreased. However, CP, ADF, and NDF did not differ significantly among various wilting durations. Regarding silage quality, Line 26 oats harvested at the dough stage, wilted for 24 hours and inoculated with lactic acid bacteria had the highest lactic acid content (2.06%) and the lowest propionic acid content (0.17%), resulting in the highest Flieg's score (56.5). Similarly, Line 43 oats under the same treatment conditions exhibited higher lactic acid content (3.07%), and the lowest levels of propionic acid (0.04%) and butyric acid (0.16%), achieving the highest Flieg's score (83.5). Based on the results, Line 43 demonstrated superior forage quality compared to Line 26 at the same maturity stage. For both oat lines tested, the best silage quality of Line 43 was achieved when harvested at the dough stage, wilted to a higher dry matter content, and inoculated with lactic acid bacteria, with Line 43 consistently outperforming Line 26. These results may serve as a useful reference for optimizing oat ensiling practices.

Key words: Forage quality, Lactic acid bacteria, Maturity stage, Oat silage, Wilt.

---

(1) Contribution No. 2833 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Experimental Farm, College of Bioresources and Agriculture, National Taiwan University, Taipei 106032, Taiwan, R. O. C.

(3) Southern Region Branch, MOA-TLRI, Pingtung 946004, Taiwan, R. O. C.

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