

國立臺灣大學生農學院動物科學技術學系



碩士論文

Department of Animal Science and Technology

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

鹼處理稻草稈及太陽麻乾草於泌乳羊飼糧之應用

The Application of Alkali-treated Rice Straw and Sunn
Hemp as Alternative Forage for Dairy Goats

周采柔

Tsai-Jou Chou

指導教授：徐濟泰 博士

Advisor: Jih-Tay Hsu, Ph.D.

中華民國 103 年 8 月

August, 2014

目錄



圖次.....	II
表次.....	III
中文摘要.....	IV
英文摘要.....	VI
前言.....	1
文獻探討.....	2
材料方法.....	22
結果討論.....	46
結論.....	69
參考文獻.....	70

圖次



圖 1. 啤酒粕生產流程.....	4
圖 2. 豆腐與豆漿製作流程.....	5
圖 3. 芝麻油製作流程.....	6
圖 4. 植物碳水化合物組成.....	9
圖 5. 植物細胞壁結構.....	11
圖 6. 未處理與鹼處理的甘蔗渣及香蕉纖維電顯.....	18
圖 7. 羊隻試驗代謝架.....	26
圖 8. 不同比例混合未處理：鹼處理稻草稈體外消化試驗累積產氣資料 圖.....	50
圖 9. 不同比例混合未處理：鹼處理太陽麻乾草體外消化試驗累積產氣 資料圖.....	52
圖 10. 對照組、稻草組與太陽麻組飼糧的體外消化試驗累積產氣資料 圖.....	56

表次



表 1. 人工唾液組成.....	24
表 2. 試驗羊隻起始採食量、乳量與體重.....	27
表 3. 對照組、稻草組與太陽麻組飼糧配方.....	30
表 4. 十倍磷酸鹽緩衝液配方.....	32
表 5. 中性洗劑配方.....	37
表 6. 酸性洗劑配方.....	38
表 7. 3,5-二硝基水楊酸 (DNS) 配方.....	42
表 8. 鹼處理與未處理太陽麻乾草及稻草稈纖維組成分析.....	47
表 9. 不同比例混合未處理：鹼處理稻草稈的體外消化試驗.....	49
表 10. 不同比例混合未處理：鹼處理太陽麻乾草的體外消化試驗.....	51
表 11. 對照組、稻草組與太陽麻組飼糧組成分.....	53
表 12. 對照組、稻草組與太陽麻組飼糧的體外消化試驗.....	55
表 13. 泌乳羊各營養分採食量.....	58
表 14. 泌乳羊各營養成分採食比例.....	60
表 15. 泌乳羊各營養成分表面消化率.....	62
表 16. 泌乳羊乳產量、乳組成與飼料利用效率.....	64
表 17. 泌乳羊血液生化質與血漿鈉、鉀、氯濃度.....	65
表 18. 泌乳羊體重、體重變化率、氮採食量、氮排出量、氮滯留量與 尿囊素.....	67
表 19. 飼糧成本與收益評估.....	68

中文摘要




太陽麻乾草與稻草稈為臺灣常見的綠肥作物與農業副產物，含有豐富的結構性碳水化合物，可作為泌乳羊的能量來源，並提供維持瘤胃功能所需的纖維。鹼處理可使纖維結構變的鬆散，擴大瘤胃纖維分解菌的附著面積，提高反芻動物對植物細胞壁的消化及利用效率。

以乾基 5% NaOH 與 2.5% H₂O₂ 分別對太陽麻乾草與稻草稈進行鹼處理 2 週後，其體外消化乾物質消化率 (IVDMD) 與未處理之太陽麻乾草及稻草稈比較，前者提高 15%，後者為 63%。將鹼處理及未處理太陽麻乾草與稻草稈依 0：100、20：80、40：60、60：40、80：20、100：0 比例混合進行體外發酵，總產氣量、IVDMD 及中洗纖維消化率 (IVNDFD) 測定結果皆隨著鹼處理芻料含量增加而提升。依上述結果採用鹼處理與未處理混合比例為 60：40 的太陽麻乾草及 80：20 的稻草稈進行替代性芻料的泌乳羊試驗。

本試驗使用 6 隻過泌乳高峰經產之阿爾拜因 (Alpine) 泌乳山羊，採 2 重複 3 x 3 拉丁方試驗設計，共有 3 個試驗期 (17 天適應期、4 天採樣期)，依芻料的種類分為三個處理組：對照組 (首蓆乾草、百慕達草)；稻草處理組 (首蓆乾草、稻草稈)；太陽麻處理組 (太陽麻乾草、百慕達草)。試驗期間，於每日的 07：00 及 19：00 進行擠奶與餵飼。

試驗結果顯示，稻草組有最高的乾物質採食量 (2136.0 g/head/day) 但在三處理組間沒有顯著差異；太陽麻處理組的中洗纖維採食量顯著較另外兩組低。表面消化率的部分，太陽麻處理組的乾物質消化率較稻草處理組高，與對照組相似，非纖維性碳水化合物的表面消化率，稻草組較其他兩處理組低。三處理組在乳產量 (1962.2、2034.5、1737.5 mL/day) 及乳組成方面沒有顯著差異，稻草組的乳氮含量顯著高於太陽麻組，氮滯留的部分則沒有出現差異。



綜合以上結果，以含有部分鹼處理的太陽麻乾草與稻草稈分別取代苜蓿乾草及百慕達草餵予泌乳羊，對乾物質採食量及生產表現不會造成負面影響。利用鹼處理方法確實提高纖維性副產物的品質，國產農業副產物經鹼處理後具有作為替代性芻料的潛力。

關鍵詞：鹼處理、副產物、稻草稈、太陽麻乾草、泌乳羊

Abstract



Sunn hemp (SH) and rice straw (RS) are common agriculture cover-crop and by-product in Taiwan. They are high in cell wall carbohydrates and can be incorporated into the diet of dairy goats as a source of energy as well as providing the dietary fiber to ensure normal ruminal function. The alkaline hydrogen peroxide (AHP) treatment can increase bacterial colonization and adhesion to fiber particles and increase the rate and extent of fiber digestion in the rumen.

Sodium hydroxide and H_2O_2 were added to the SH and RS at 5.0% and 2.5% of the dry matter, respectively and then set for 2 weeks. The in vitro dry matter digestion (IVDMD) of SH and RS was improved 15% and 63% after AHP treatment. Total gas production, IVDMD and neutral detergent fiber digestion (IVNDFD) increased, as the percentage of AHP-treated substrate was elevated in incubation. According to the result of in vitro test, we chosed the ratio of AHP-treated: untreated of SH and RS as 60:40 and 80:20 in dairy goat feeding study.

Six multiparous Alpine goats in mid-lactation were used in two replications of 3 x 3 Latin square design. Each experiment period included 21 day, the first 17 d were used for adjustment to diets followed by 4 d of sample and data collection. There were 3 treatment diets: control (alfalfa hay, bermudagrass), rice straw (alfalfa hay, rice straw), and sunn hemp (sunn hemp, bermudagrass). Goats were fed and milked daily at 0700 and 1900 during the trial.

Goats in RS group had the highest dry matter intake (2136.0 g/head/day), but there were no significant different among three treatment groups. The neutral detergent fiber (NDF) intake of SH group was less than the other groups. Sunn hemp group had

higher dry matter digestibility than rice straw group, however, no significantly different to control group. Rice straw group had the lowest non-fiber carbohydrate digestibility. There was no significant difference observed in milk yields among control, RS and SH groups (1962.2, 2034.5, 1737.5 mL/day), milk composition and N retention among three treatment groups.

In conclusion, there was no negative effect on dry matter intake and performance of dairy goats when replacing alfalfa hay with sunn hemp, or bermudagrass with rice straw. AHP-treatment actually improves the quality of alternative forages. And it proves that, domestic agriculture cover-crop and by-products have potential as the alternative forage for ruminants after pretreatment.

Key words: Alkali-treatment, By-product, Rice straw, Sunn hemp, Dairy goat.

前言



飼糧成本佔畜牧生產成本的一半以上，臺灣飼料原料大多仰賴國外進口，因此飼料原料的花費上會隨著進口原料價格波動的影響，使得生產成本無法自行掌握。在臺灣，農業副產物在動物飼糧中的應用已經有 50 年以上的歷史。隨著人口的增加，人們對於農產品及農產加工製品的需求量也隨之上升，伴隨而來的是大量的農業副產物。將副產物運用於動物飼糧中，不但可減少飼養成本，也降低了副產物對環境污染造成的壓力。農業副產物來自許多不同的植物，例如：穀物收成後留下的草稈富含結構性碳水化合物，可提供動物所需之纖維；大部分的綠肥作物除了纖維外，也可作為反芻動物飼糧成分中氮的來源，若能測定出最佳的利用方式與適當的使用時機，即可有效的取代進口原料，降低成本。

本試驗採用鹼處理方法提升替代性芻料稻草稈與太陽麻乾草的纖維利用效率，以取代泌乳羊飼糧中的苜蓿乾草及百慕達草，希冀在國產芻料的應用下，泌乳羊會有相似或較佳的生產表現。

文獻探討



一、副產物

農業副產物 (agricultural by-products) 為進行農業生產或農產品加工後的剩餘物。在臺灣，農業副產物的利用可回溯至 50 年前，據許多資料顯示，在牛乳與牛肉的生產成本中，飼料成本佔其中的 2/3，至今已經有許多農業副產物運用於泌乳牛飼糧中，以降低畜牧生產的成本與副產物造成的環境污染 (Su and Station, 1996)。依據副產物的特性，粗略的將農業副產物分為兩類：


(一)、農產加工副產物

多為穀物或雜糧經加工過程後的產物，此類副產物多含有高量的蛋白質與總可消化養分 (total digestible nutrient, TDN)，一般做為飼糧精料提供反芻動物對能量及蛋白質的需求，但大多數的加工副產物乾物質含量低，若未經烘乾或是製作成青貯，在臺灣的高溫高濕環境容易腐敗變質，必須趁新鮮時進行餵飼。

1. 啤酒粕 (brewer's grains) 與高粱酒粕 (sorghum distillers grains)

為釀酒工業的副產物 (圖 1)，原料主要為小麥及高粱，酒粕的回收量約佔原料的 20% (Mirzaei-Aghsaghali and Maheri-Sis, 2008)。富含蛋白質 (啤酒粕：30%、高粱酒粕 26%)，又因為部分糖類與澱粉於製程時流失，纖維含量因此提高 (Westendorf and Wohlt, 2002)。

前人的研究指出，將啤酒粕或高粱酒粕添加於飼糧中，對動物的生產表現



有所助益。Belibasakis and Tsirgogianni (1996) 於熱季時，在泌乳牛飼糧中添加 16% 濕啤酒粕取代玉米青貯，觀察對生產表現的影響。乳產量、乳脂百分比及乳脂產量與乳總固形物含量皆顯著增加。此外，Al-Suwaiegh *et al.* (2002) 指出，在飼糧中添加高粱酒粕可提升闖公牛的日增重，使其有較好的屠體表現；若餵飼予泌乳牛則不會對乾物質採食量、瘤胃性狀、中洗纖維消化速率及乳產量造成影響。

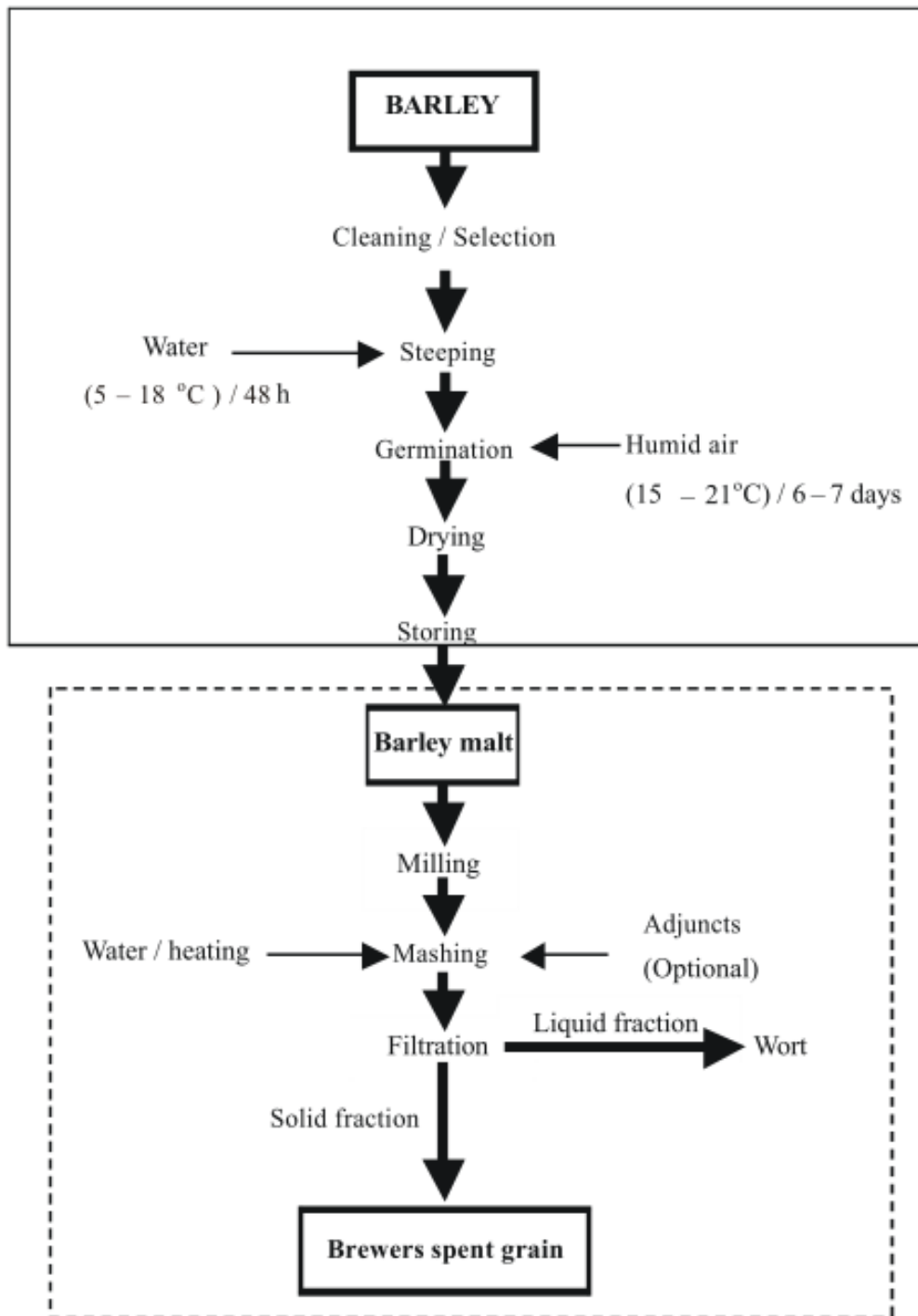


圖 1. 啤酒粕生產流程

Figure 1. Schematic representation of the process to obtain BSG from natural barley (Ishiwaki *et al.*, 2000)



2. 黃豆渣 (soybean pulp)

為豆漿或豆腐製成後的副產物，製作流程如圖 2，以 1 公斤黃豆生產豆漿會產出約 1.1 公斤濕的黃豆渣 (Khare *et al.*, 1995)。黃豆渣約含有 30% 乾物質、20% 蛋白質與 11% 的油脂 (Wang and Cavins, 1989)，在臺灣的某些地區，酪農每日會餵予泌乳牛 2-5 kg 新鮮的黃豆渣以提供蛋白質 (Su and Station, 1996)。

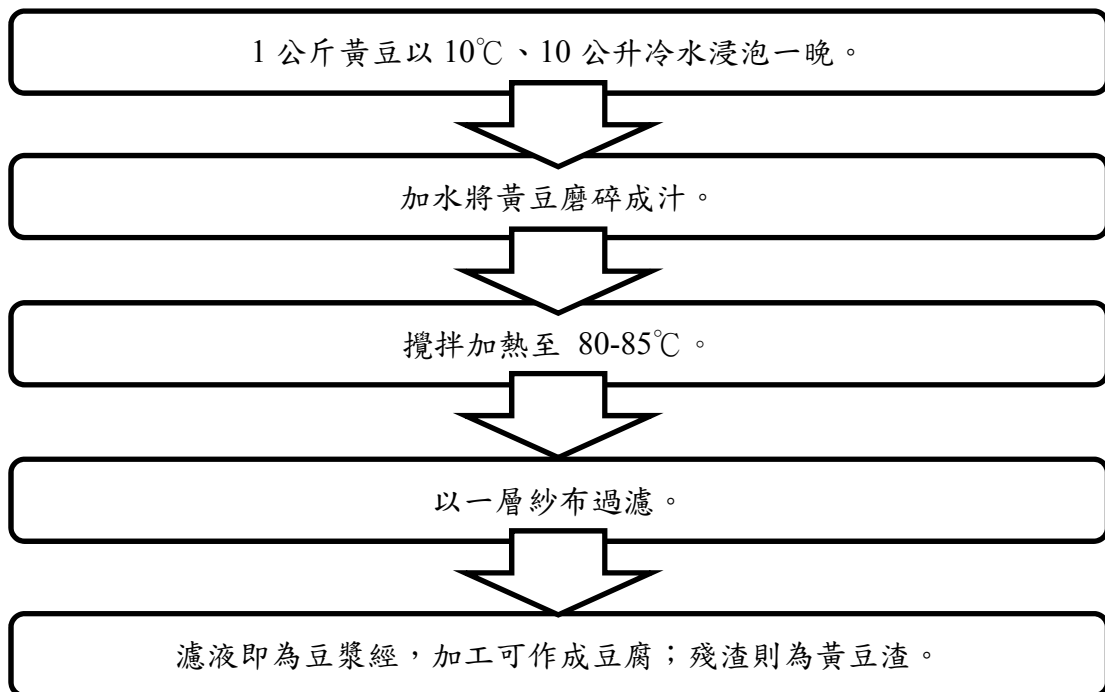


圖 2. 豆腐與豆漿製作流程 (Van der Riet *et al.*, 1989)。



3. 芝麻粕 (sesame meal)

芝麻粕是芝麻經榨取芝麻油後的副產物圖 3，蛋白質含量介於乾物質重的 35-50%，可提供動物所需之蛋白質，其胺基酸組成中含有較多的甲硫胺酸而缺乏離胺酸，在家禽或豬隻飼糧中使用時，需添加大豆粕或結晶態離胺酸以平衡飼糧胺基酸組成。

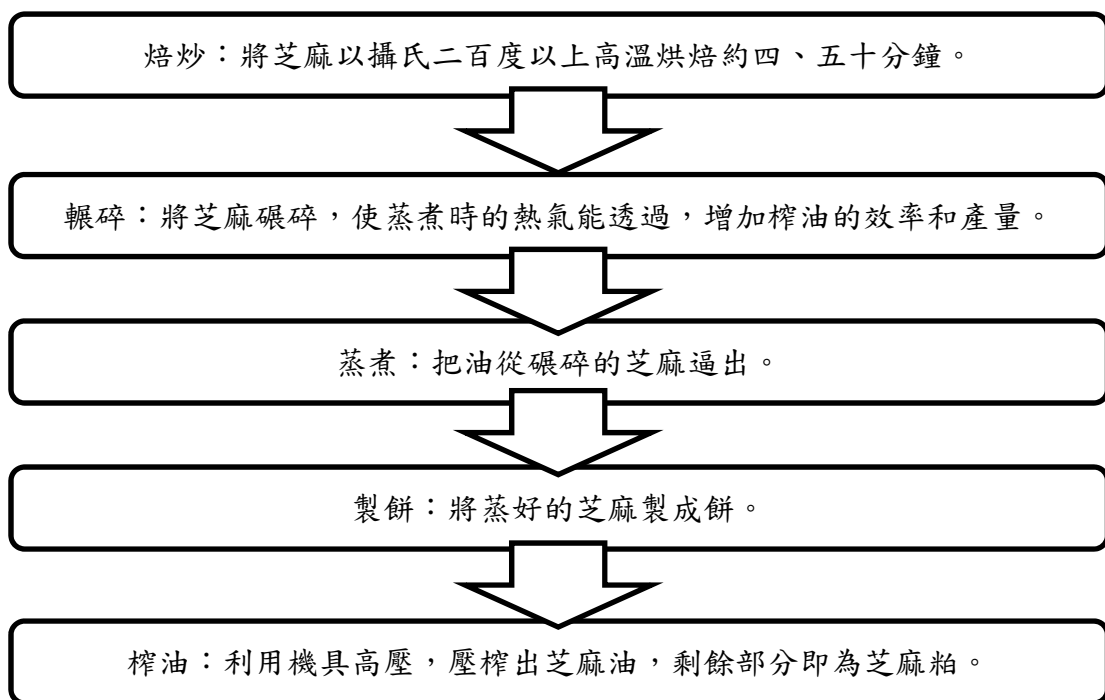


圖 3. 芝麻油製作流程 (信富食油行：<http://newandrich.wordpress.com/>)



(二)、作物副產物


作物副產物大多為作物收成後的副產物或是增加土壤肥沃度的綠肥作物。例如：稻米收成所產生的草稈及稻穀，花生採收後所留下的花生藤；而紫雲英、埃及三葉草、太陽麻及賽芻豆等均為臺灣常見的綠肥作物 (鄭梨櫻, 2010)。此類副產物乾物質含量高，主要成分為結構性碳水化合物，由纖維素、半纖維素與木質素組成的纖維，可作為反芻動物飼糧中的芻料，維持瘤胃環境與正常生理機能，並提供反芻動物日常生活與生產的主要能量。

1. 稻草稈 (rice straw, RS)

稻草稈中的結構性碳水化合物含量約佔乾物質的 70% 或者更高，在臺灣，部分農家在稻米收成後，會將稻草稈作為芻料儲存至冬季在餵予泌乳牛 (Su and Station, 1996)。根據統計每生產 1 公斤稻米就會有 1-1.5 公斤稻草稈產生，而依據行政院農委會 (2012) 統計，101 年臺灣的稻米產量為 170 萬公噸，如此大量的纖維資源若能善加利用，可降低畜牧業花費於飼糧中的生產成本。但因纖維蓬鬆的結構與在瘤胃緩慢的降解速率，高纖維含量的稻草稈添加於飼糧中對動物的採食量與生產表現會造成負面影響 (楊, 1997)，使得稻草稈作為芻料一直不能被有效利用。若能利用鹼處理方法破壞稻草的纖維結構，則可提升纖維的降解速率 (Jackson, 1977)，增加稻草稈作為芻料的價值。

2. 太陽麻 (sunn hemp, SH)

太陽麻 (*Crotalaria juncea* L.) 為一亞熱帶豆科植物，為綠肥作物的一種。



綠肥為將作物種植於田間，生長一段時間後將其新鮮的植體，翻犁入土壤中作為肥料，或用來改善土壤理化性質，稱為綠肥作物 (吳與陳，2006)。豆科植物與根瘤菌 (Rhizobium bacteria) 共生可固定大氣中游離的氮，因此以豆科植物殘體為主的綠肥，除了植物體所含的有機質外，也提供土壤重要的氮源 (Tejada *et al.*, 2008)。種植綠肥作物為化學肥料尚未普及之前，農民用以保持土壤肥力方法之一，亦為目前政府鼓勵農民進行合理化施肥，盡量減施化學肥料之替代措施之一 (鄭梨櫻, 2010)

依據行政院農委會 (2012) 統計，太陽麻於 101 年的年產量約為 914,000 公噸。太陽麻生長快速且耐旱，可在短時間內獲得足夠的產量，且粗蛋白含量可達到 14.3%，中洗纖維與酸洗纖維的含量分別為 54% 與 20.8%，因此具有成為反芻動物芻料的潛力 (Mansoer *et al.*, 1997; Ngongoni *et al.*, 2007)。以太陽麻取代苜蓿乾草的泌乳羊餵飼試驗中，乳品質與飼糧利用效率相近於苜蓿乾草 (王，2009)；而以太陽麻與青割玉米以 40 : 60 混合製作青貯，在泌乳羊飼養的產乳表現與青割玉米青貯相似 (胡，2011)，依上述資料顯示，太陽麻於泌乳羊飼糧的應用上，具有可行性。

在農業加工副產物與作物副產物的搭配運用方面，陳 (2012) 將玉米青貯、花生藤、黃豆渣與啤酒粕等國產芻料及副產物配製成國產飼糧配方餵予泌乳羊，與進口原料的飼糧配方相比較，國產飼糧組的飼糧成本較低，但其非纖維碳水化合物與粗蛋白質的採食量與消化率較低、日產乳量與粗收益不比使用進口原料之組別。由上述試驗結果顯示，國產芻料與副產物的搭配飼糧尚有改進的空間，可嘗試不同的副產物進行搭配。



二、碳水化合物

日糧中的碳水化合物是提供反芻動物維持生命與生產表現的主要能量來源。

反芻動物的飼糧可分為精料與芻料兩大類，前者適口性佳，富含非結構性碳水化合物及蛋白質，多由穀物所提供，可被瘤胃微生物快速的降解，為立即性的能量來源；後者以結構性碳水化合物為主，植物纖維為其主要的來源，降解速率緩慢，在飼糧中含量過高則會影響採食 (楊, 1997)，圖 4 為植物中碳水化合物的組成。

與大多數的哺乳動物相同，反芻動物無法自行分泌可分解植物纖維的酵素 (Buxton and Redfearn, 1997)，要從植物細胞壁獲得能量，就得仰賴瘤胃中微生物的消化作用。飼料中的碳水化合物，經過瘤胃微生物分解後，產生短鏈揮發性脂肪酸，主要包括乙酸 (約 65%)、丙酸 (約 15%) 及丁酸 (約 10%) (楊, 1997)，其中乙酸與丁酸是合成乳脂的原料，因此增加乳脂率；丙酸則合成葡萄糖，供應乳房所需能量及合成乳糖，促進泌乳量，多餘的丙酸合成體脂儲存。

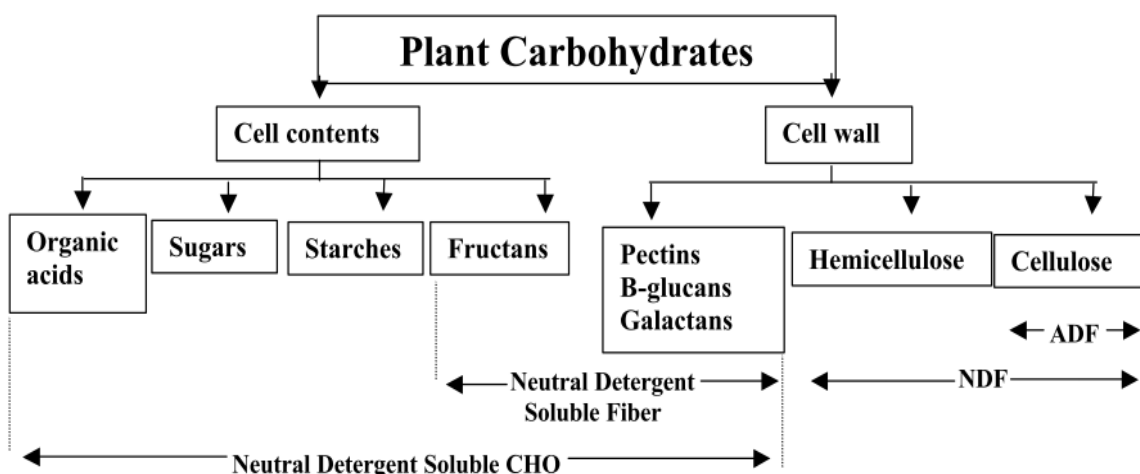


圖 4. 植物碳水化合物組成

Figure 4. Structural and nonstructural carbohydrates of plants (Ishler and Varga, 2001)



(一)、非結構碳水化合物

主要為極易溶於水的單醣與寡醣，以及水溶性較低的澱粉。反芻動物飼糧精料中常使用的玉米粉、大豆等穀物原料，或是酒粕、糖蜜等副產物皆富含此類非結構性碳水化合物。非結構碳水化合物在瘤胃由微生物快速分解，可供給微生物生長所需能量，有助於結構性碳水化合物的降解，亦可發酵生成最終產物短鍊脂肪酸，由瘤胃壁吸收，經血液至肝臟合成葡萄糖供動物體使用；部分的非結構性碳水化合物可被小腸分泌的消化酵素分解生成葡萄糖，由腸黏膜吸收至血液，直接被動物體利用，在能量的提供方面，效率較在瘤胃分解高。植細胞中也含有少量的非結構性碳水化合物，主要存在於細胞內容物中，含量約佔植物乾物質的 20% (楊，1997)。

飼糧進到瘤胃，微生物會優先選用能快速分解的非結構性碳水化合物，產生的小分子養分被其他微生物利用使瘤胃微生物數量大增，提高結構性碳水化合物的降解速率，纖維的消化率因而提升，但倘若飼糧中含有高濃度的非結構性碳水化合物，在微生物快速的分解與發酵作用下，大量揮發性脂肪酸生成並累積在瘤胃中，導致瘤胃 pH 值下降，當 pH 值低於 6.0 時，瘤胃環境已不適合纖維分解菌生長，纖維的分解將受到限制 (Slyter, 1986)。非結構性碳水化合物對微生物來說是一個取得能量便利的途徑，但也要特別注意在日糧中的添加量，以維持瘤胃微生物適合的工作環境及效率。

(二)、結構性碳水化合物

植物細胞壁是動物飼糧中纖維的主要來源 (Buxton and Redfearn, 1997)，結構性碳水化合物為其主要成分圖 5，一般可將纖維細分為纖維素 (cellulose)、半纖



維素 (hemicellulose) 與木質素 (lignin)。纖維素與半纖維素的降解須經由瘤胃微生物作用，是反芻動物重要的能量來源。

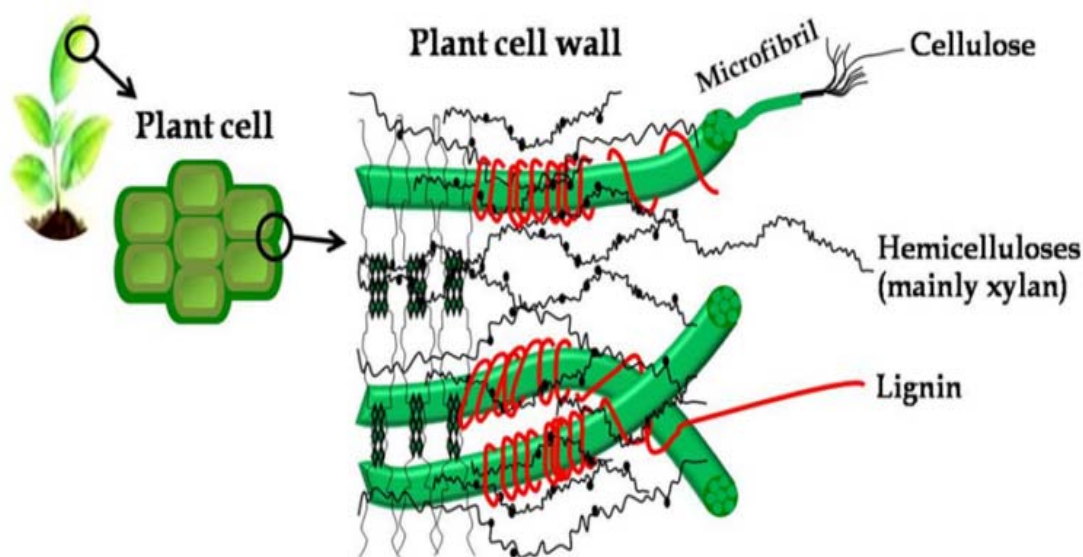


圖 5. 植物細胞壁結構

Figure 5. Structure of plant cell wall (Tomme *et al.*, 1995)

1. 纖維素 (cellulose)

纖維素是構成植物細胞壁最主要的物質，由葡萄糖經由 β -1,4-糖苷鍵鍵結而成的直鏈聚合物，化學式為 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 。纖維素藉由鏈與鏈之間葡萄糖氫氧根形成的氫鍵緊密排列形成微纖維 (microfibrils)。微纖維間的氫鍵會形成整齊排列的結晶型區 (crystalline domain) 或雜亂無定形的纖維結構 (amorphous domain) (Klemm *et al.*, 2005)，纖維分解菌進行纖維消化作用時必須附著在纖維的表面，因此後者的型態為纖維分解菌提供較大的附著面積，使纖維素更容易被酵素降解 (Pérez *et al.*, 2002)。此外，細胞壁の木質化程度 (lignifications)、單寧 (tannin) 及矽 (silica) 等其他細胞壁物質所形成的障壁，也限制了纖維素的降解 (Cummings and Macfarlane, 1991)。



2. 半纖維素 (hemicellulose)

半纖維素由多種不同的五碳及六碳糖組成，例如：木糖 (xylose)、阿拉伯糖 (arabinose)、甘露糖 (mannose)、葡萄糖 (glucose)、半乳糖 (galactose)，半纖維素在植物細胞壁中的含量僅次於纖維素 (楊，1997)，而木聚糖與少量的阿拉伯糖形成的木聚醣 (xylan) 為主要的半纖維素 (Bastawde, 1992)。不同於纖維素，半纖維素是由許多短鏈串連而成的支鏈網路，沒有固定的構型較易被酵素分解，與微纖維經由氫鍵交聯成纖維網，鑲嵌於細胞壁中。

3. 木質素 (lignin)

木質素是由芳香醇組成的聚合物，是植物次生細胞壁的組成分，不溶於水與醇類溶液，但是可溶於弱鹼，並可使用酸性溶液將其沉澱，組成因物種而有所不同。木質素填充於細胞壁中，與半纖維素以共價鍵連接，並與多種不同的植物多醣交聯，使細胞壁據有堅硬、不透水與耐微生物侵蝕的特性 (Chabannes *et al.*, 2001; Ratanakhanokchai *et al.*, 2013)。

依據 Van Soest *et al.* (1991) 的纖維分析方法，也可將纖維分為中洗纖維 (neutral detergent fiber, NDF)，包含纖維素、半纖維素與木質素；以及酸洗纖維 (acid detergent fiber, ADF)，包含纖維素與木質素。植物中 NDF 含量為主要影響反芻動物瘤胃填充及採食量的因素 (Kendall *et al.*, 2009)，飼糧中高含量的 NDF 佔據瘤胃大部分空間，使得乾物質與有機質的採食量下降 (Allen, 1996)，進而影響動物的生產表現 (Illius and Jessop, 1996)。藉由餵飼容易降解的 NDF，提高纖維通過瘤胃的速度與消化率，可改善高中洗纖維含量飼糧造成反芻動物採食量與生產表



現降低的現象 (Oba and Allen, 1999)。

三、纖維的消化

反芻動物飼糧中纖維的消化須仰賴瘤胃微生物的幫助。纖維的水溶性低且片段較大，在瘤胃有較長的停留時間，瘤胃微生物藉由附著於纖維顆粒的表面，分泌酵素以降解纖維 (McAllister *et al.*, 1994)，微生物附著於纖維上不易隨瘤胃液離開瘤胃，使其在瘤胃中能維持一定的數量。增加微生物與纖維接觸的機會可提高纖維在瘤胃的降解速度。

有許多物理及化學因子被認為會限制纖維的消化 (Buxton and Redfearn, 1997)，例如植物細胞壁中的木質素 (Jung and Deetz, 1993) 會在細胞壁中形成物理性障壁影響微生物降解 (Buxton and Redfearn, 1997)，此外在禾科牧草中木質素與半纖維素間以許多酯鍵相互連接，是另一個限制禾科牧草消化的主要因素 (Jung and Allen, 1995)，相似的鍵結尚未在豆科牧草中發現 (Buxton and Redfearn, 1997)。另外，植物表層的蠟質、草稈細胞壁中的二氧化矽以及纖維素的構型 (晶體或非晶體結構) 也直接或間接的影響瘤胃微生物的附著與消化作用，減少上述限制因子的影響，可提升反芻動物對牧草的利用效率。

四、芻料前處理

有許多研究指出，透過芻料的前處理方式，將纖維的消化率提升，以降低纖維對乾物質採食量的限制。芻料的前處理可分為物理、化學與生物三種。



(一)、物理性處理 (physical pretreatments)

物理性處理是藉由破壞纖維的立體結構 (顆粒大小、結晶度與多糖的聚合程度) 以增加瘤胃微生物的作用面積提升纖維的消化率,例如將芻料截切成小片段、磨碎或打成粒狀, Kononoff *et al.* (2003) 以不同長度的玉米青貯餵飼泌乳牛,其乾物質採食量與中洗纖維的採食量因玉米青貯的長度降低而提高。芻料的長度會影響反芻與咀嚼的次數,而咀嚼時伴隨唾液的分泌,其成分中富含碳酸鹽 (HCO_3^-) 與磷酸鹽 (HPO_4^{2-}) 具有良好的緩衝能力,可協助穩定瘤胃 pH 值,當芻料長度減少,使得咀嚼次數與唾液的分泌量降低,則會造成瘤胃的 pH 值緩衝能力下降 (Krause *et al.*, 2002)。

(二)、生物性處理

在生物性處理中,利用微生物或酵素降解細胞壁中的木質素與半纖維素 (Schurz, 1978; Mtui, 2009),降低植物細胞壁中之物質所形成的物理性障壁對瘤胃微生物附著的干擾,增加纖維被降解的效率。Karunanandaa and Varga (1996) 利用經白腐真菌 (white-rot fungi) 生物前處理的稻草進行體外消化試驗,其體外乾物質消化率 (*in vitro* dry matter digestibility, IVDMD) 顯著上升。生物與處理對能量需求低且對環境影響不大,但大部分生物性處理的所須的水解非常長 (Sun and Cheng, 2002)。



(三)、化學處理 (chemical pretreatments)

1. 酸處理 (acid pretreatment)

酸處理主要的目的是將半纖維素溶解，增加纖維素與瘤胃微生物接觸的機會。將草稈與不同濃度的硫酸、鹽酸與磷酸溶液以 1：3 混合處理後進行體外發酵，經 0.5 N 硫酸處理的組別有最好的表現 (Israilides *et al.*, 1978)。

2. 鹼處理 (alkali pretreatment)


鹼處理的主要作用是透過增加木質素的溶解度與破壞纖維素的緊密結構 (圖 6)，以提高芻料的品質 (Hendriks and Zeeman, 2009)。氨、尿素、氫氧化鈣及氫氧化鈉為最常使用於鹼處理的鹼性化合物。

(1) 氨與尿素處理

餵予反芻動物經氨或尿素處理的芻料，除了提升芻料的品質外，也供給瘤胃微生物額外可利用的氮源，餵飼經 3% 氨水處理的稻草，使牛隻的採食量、日增重及飼料效率分別提高 44.3%、29.9% 及 10.3% (Maeng and Chung, 1989)；而泌乳牛餵飼經尿素處理的稻草，相較於未處理的稻草，採食量及消化率皆顯著提升 (Wanapat *et al.*, 2009)。

(2) 氫氧化鈣處理

高粱秸稈經氫氧化鈣處理後，消化率由原本的 54% 提高至 83%，而煙草梗的消化率由 34% 上升至 68% (Gandhi and Holtzapple, 1998)，相較於其他



鹼處理藥劑，氫氧化鈣的溶解度低，因此須使用濃度較高的溶液才可達到鹼處理的效果 (Djajanegara et al., 1985)，完成鹼處理後，在氫氧化鈣溶液中通入二氧化碳，與氫氧化鈣反應形成碳酸鈣沉澱，可回收再利用或者作為礦鹽補充給反芻獸 (Gandhi and Holtzaple, 1998)。

(3) 氫氧化鈉處理

Beckmann 法為早期使用之處理方式：將芻料浸入 1.5% 的 NaOH 水溶液中，於室溫下反應後，再以大量清水沖洗至中性。此法會產生大量廢水且有造成污染之疑慮，因此直到 Wilson and Pigden (1964) 提出的乾式處理法，NaOH 處理才較普遍的被使用 (Jackson, 1977)。乾式處理法為利用高濃度 (20%-30%) 的 NaOH 水溶液與芻料充分混合後，於室溫反應至少 13 天 (Wilson and Pigden, 1964)，若芻料在高溫高壓的條件下可加速反應進行 (Rexen and Bach-Kudsen, 1984)。乾式法的使用在體外乾物質消化率的效果上，當 NaOH 用量達麥稈乾基的 5% 時，體外乾物質消化率有未處理的 32%，提高到 60% (Wilson and Pigden, 1964)。

Haddad *et al.* (1994) 使用氨、尿素、氫氧化鈣及氫氧化鈉對麥稈進行 15 種鹼處理，利用體外發酵 48 小時的結果進行比較，5% NaOH 與 2.5% NaOH + 2.5% Ca(OH)₂ 兩種鹼處理的體外中洗纖維消化率最高；而在牛隻餵飼試驗中，5% NaOH 處理組有最高的乾物質與纖維消化率。

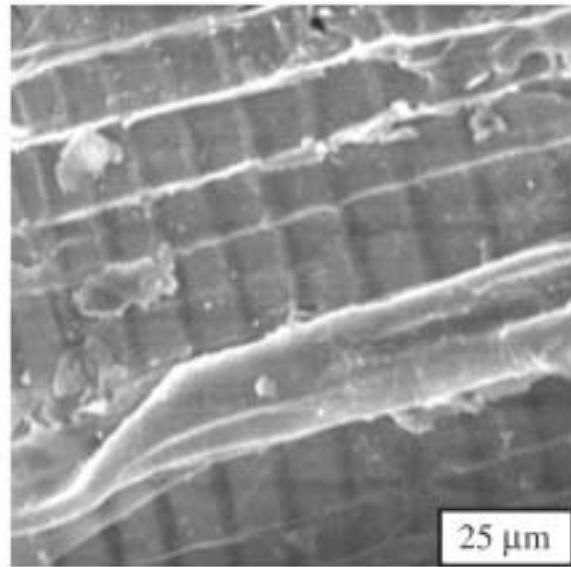
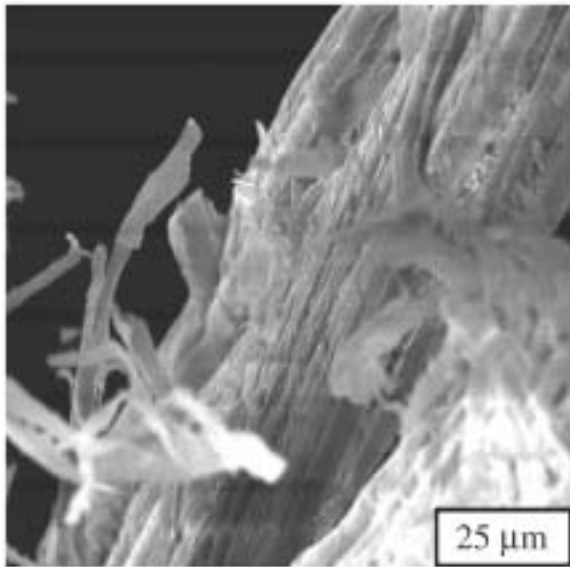
本試驗將使用氫氧化鈉溶液搭配過氧化氫溶液對稻草稈與太陽麻乾草進行鹼處理 (Alkaline hydrogen peroxide, AHP treatment)，氫氧化鈉溶液的強鹼性可將木質素與半纖維素間的酯鍵打斷並打散纖維素緊密的晶體構造 (Wanapat and Cherdthong, 2009)，而過氧化氫在強鹼的條件下形成超氧自由基破壞木質素的結構

(Sun *et al.*, 2001)，增加木質素的溶解度，此外，強鹼也會使稻草稈細胞壁中的二氧化矽溶解，與氫氧化鈉處理比較，AHP 處理的效果較佳 (Chaudhry, 2000)。

Cameron *et al.* (1991) 的研究結果顯示，以 20% AHP 處理的小麥桿部分取代對照組中苜蓿及玉米青貯餵飼泌乳牛，其乾物質採食量及乳產量與對照組相似，且中洗纖維消化率因添加 AHP 處理之小麥稈而提升。

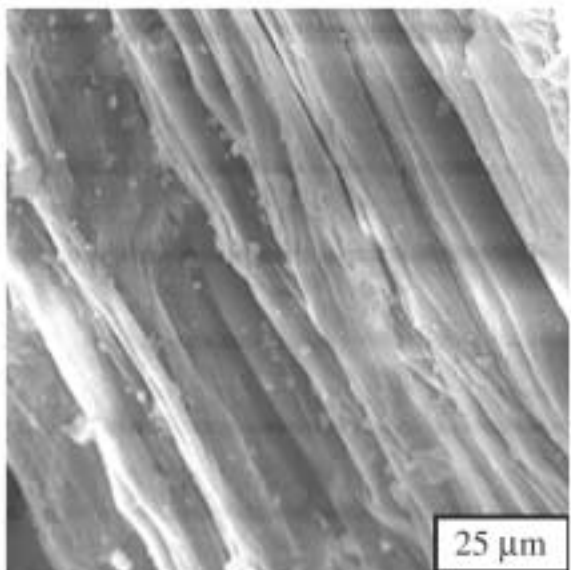
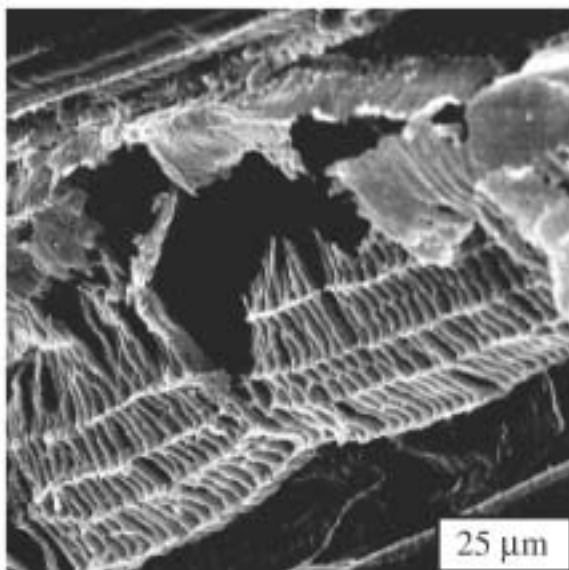
Sugar cane bagasse fibre

Banana trunk fibre



Untreated bagasse fibre x 800

Untreated banana trunk fibre x 800



Alkali treated bagasse fibre x 800

Alkali treated banana trunk fibre x 800

圖 6. 未處理與鹼處理的甘蔗渣及香蕉莖纖維電顯圖

Figure 6. SEM images of untreated and treated bagasse and banana trunk fibers. (Bilba *et al.*, 2013)



五、飼糧養分利用評估

反芻動物的生長與生產表現受限於飼料的品質，而動物的採食量與消化率直接反應了飼料品質的好壞 (Minson, 1990)。早期採用活體試驗 (*in vivo*) 由採食量以及消化率評估動物對飼糧的利用狀況，此法不僅耗費時間與勞力，也必須準備大量的飼料與不低的經費開銷，且不適合同時對多種飼料進行評估 (Coelho *et al.*, 1988; Carro *et al.*, 1994)。三種生物性方法 (biological methods) 被提出，可改善活體試驗的缺點，生物性發法是利用微生物或是酵素模擬飼料在動物體內的消化狀況，因此較一般的化學成分分析有意義 (Van Soest, 1994)。

Tilley and Terry (1963) 提出兩階段的體外 (*in vitro*) 消化方法改善活體試驗的限制。其方法為取瘤胃液與待測樣品混合發酵 48 小時，接著在酸性環境下以胃蛋白酶進行消化 48 小時，以此法對飼糧原料評估的結果與活體試驗一致 (Van Soest, 1994)，但僅能測得最後的乾物質消化率，飼料的發酵動力學資訊則無從得知 (Getachew *et al.*, 1998)。

真菌纖維素酶法是利用酵素而非微生物對飼料進行體外消化測試，與 Tilley and Terry (1963) 法相似，此法僅能測得最終的消化結果 (Dowman and Collins, 1982; De Boever *et al.*, 1986)，而與活體試驗的相關性，尚未被廣泛驗證。此項測定方法不需要裝置瘻管的動物，且酵素可商業化生產，但倘若待測樣品中含有干擾微生物降解之因子，則無法得知 (Getachew *et al.*, 1998)。

尼龍袋法已行之有年，將飼糧樣品裝於尼龍袋中，投入裝有瘻管的動物體內進行消化試驗，依消化時間長短將尼龍袋取出，可測得樣品的消化速率與消化程度 (Mehrez and Ørskov, 1977)。Dewhurst *et al.* (1995) 將此法與 Tilley and Terry (1963) 法相比較，發現尼龍袋法高估的樣品的發酵程度。



(一)、體外產氣法

飼料原料中可溶性與不可溶但可被降解的部分為體外培養時微生物的發酵基質，Tilley and Terry (1963) 法與尼龍袋法僅能測得發酵完畢後，乾物質之消化率，對於原料可溶性部分以及培養過程中的發酵狀況則無法得知。Menke *et al.* (1979) 提出體外產氣試驗，將待測原料與緩衝瘤胃液 (buffered rumen fluid) 共培養，透過發酵產物 (氣體與短鏈脂肪酸) 的測定評估原料的發酵情形。氣體為微生物於發酵過程中生成，主要成分為二氧化碳與甲烷；發酵產物多為短鏈脂肪酸，與瘤胃緩衝液接觸時，亦有氣體間接生成 (Wolin, 1960; Beuvink and Spoelstra, 1992; Ørskov, 1993)。

氣體動力學可由各時間點的產氣量計算得到 (Groot *et al.*, 1996)。發酵基質中可溶性部分可直接被微生物利用，在培養初期快速發酵；不可溶的物質必須先經過微生物降解，方能進行發酵 (Van Milgen *et al.*, 1993)。因此，培養期間基質發酵的速度並不固定 (Getachew *et al.*, 1998)。Groot *et al.* (1996) 建立的數學模式，考量到基質的組成與發酵特性，由各時間點 (t) 的產氣量 (G)，根據最終產氣量之漸進值 (asymptotic gas production, A)、曲線轉折參數 (switching characteristic of the curve, B) 與達 1/2 漸進產氣量值的時間 (time of half asymptote been reached, $T_{1/2}$) 等參數共同決定，數學模式如下：

$$G = A / (1 + (T_{1/2}/t)^B) \quad (1)$$

基質的發酵速度與微生物的數量有關，微生物之數量可由微生物蛋白質的合成作為判定標準。微生物利用胺基酸合成生長所需的蛋白質，以可發酵的碳水化合物作為能量來源；當能量不足以供應微生物生長時，胺基酸被水解生成氨與碳

骨架，後者可發酵產生能量，而前者則被釋出 (楊，1997)。因此，可利用微生物蛋白質與氨濃度來評估基質組成與發酵狀況。



材料方法



一、太陽麻乾草與稻草稈鹼處理

根據 Cameron *et al.* (1991) 的鹼化處理方法，依序以 5% 乾基之 NaOH 與 2.5% 乾基之 H₂O₂ 對太陽麻乾草與台梗 9 號之稻草稈進行前處理，待其反應 2 週後，進行纖維含量分析體外發酵與泌乳羊餵飼試驗。

芻料在鹼處理前先以切草機截切為 5-10 公分長之片段，倒入完全混合日糧攪拌機 (Reel Auggie Stationary Mixer 3170, Knight Manufacturing Corp. USA)，以 5 g NaOH 對 100 g 芻料乾基重之比例將 35% (wt/wt) NaOH 溶液灑在芻料上，啟動混合機攪拌 3-5 分鐘，使兩者混合均勻後，再灑上 35% H₂O₂ (wt/vol) 溶液，比例為 2.5 g H₂O₂ 對 100 g 芻料乾基重，持續攪拌 5 分鐘。當 H₂O₂ 加入時，混合機內溫度上升，因此混合完畢後須等待熱氣散去，再將鹼處理芻料裝入乾淨的飼料袋儲存。

二、體外發酵 (*in vitro* digestion)

本試驗中，將對於不同未處理與鹼處理混合比例的太陽麻乾草與稻草稈進行體外發酵產氣試驗，依試驗結果決定鹼處理稻草稈及太陽麻乾草於替代性芻料中的取代比例，而後進行試驗飼糧的配方計算，再以體外發酵法對試驗料消化狀況做初步評估。



(一)、樣品處理

進行體外發酵的樣品皆需以 60°C 烘乾、磨粉並過 20 mesh 篩網後，秤 0.4 g 於樣品瓶（50 mL 針劑瓶）中，加入約 2 mL 蒸餾水將樣品潤濕，試驗前一天置入厭氧操作台中使瓶中氣體達平衡。

(二)、接種液

採用台大農場裝有瘤胃瘻管荷蘭牛，餵飼精芻比為 40：60 之日糧 14 天，待瘤胃菌相穩定後採取瘤胃內容物進行體外發酵試驗。每日餵飼時間為 09:00 與 18:30，瘤胃內容物於早上餵飼約 2 小時後採集，經果汁機攪打後，以 4 層紗布過濾，依照 1：4 之比例與人工唾液混合成接種液，全程盡量於厭氧厭氧操作台中進行，無法於厭氧操作台中操作的部分則以打氣（CO₂）方式取代。人工唾液配方列於（表 1），須於試驗前一天配製並以二氧化碳打氣 30 分鐘後並入厭氧操作台。

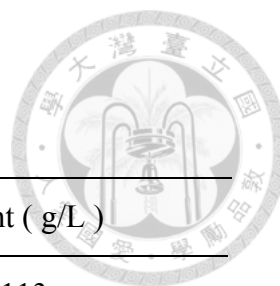


表1. 人工唾液組成 (Crooker *et al.*, 1978)

Table 1. Artificial saliva composition

Item	Weight (g/L)
Magnesium sulfate heptahydrate, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.113
Sodium phosphate, NaHPO_4	1.041
Calcium chloride dihydrate, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.025
Potassium chloride, KCl	0.375
Sodium chloride, NaCl	0.375
Sodium hydrogen carbonate, NaHCO_3	2.625
Sodium sulfate, Na_2SO_4	4.570
Ferrous sulfate, FeSO_4	0.072
Cobalt (II) chloride hexahydrate, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.001
Zinc sulfate heptahydrate, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.004
Manganese(II) sulfate monohydrate, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.003
Copper(II) sulfate pentahydrate, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.002

(三)、產氣測定

將 40 mL 接種液注入樣品瓶中，蓋上橡皮塞及鋁蓋以封瓶夾確實密封，裝上 25G 針頭及三向閥，於 39°C、50 rpm 條件下培養 48 小時，於培養 1、2、4、8、12、24、36、48 小時以針筒測產氣量。測量時選用適當容量之針筒，先利用甘油潤滑內部，裝於三向閥將樣品瓶內氣體導入針筒，待瓶內氣體壓力與針筒內氣體壓力達平衡，讀取並記錄產氣量。

為增加消化率的測定的便利性，於不同未處理與鹼處理混合比例稻草稈以及

試驗飼糧的體外發酵試驗中，使樣品添加量提高 2 倍至 0.8 g，樣品瓶容量以及接種液的添加量也增為 2 倍，以增加發酵 48 小時後之乾物質殘餘量。



(四)、樣品收集

經 48 小時培養後，將樣品分為固態與液態樣品兩部分進行收集。

1. 固態樣品：

使用已知重量的尼龍消化袋 (5 cm x 10 cm, 孔度: 53 micron \pm 10) 收集樣品瓶中的殘餘固體，保存於 -80°C 冰至少 8 小時，利用冷凍乾燥機進行 3 天冷凍乾燥後，於乾燥器中放待樣品溫度升至室溫後秤重，以計算體外發酵乾物質消化率 (*in vitro* dry matter digestibility, IVDMD)。進一步將冷凍乾燥後樣品進行中洗纖維含量分析 (Van Soest *et al.*, 1991)，以獲得體外中洗纖維消化率 (*in vitro* neutral detergent fiber digestibility, IVNDFD)。

2. 液態樣品：

以 50 mL 離心管收集，利用微電腦酸鹼度計 (SUNTEX, SP-2300) 測定 pH 值後，進行離心 (500 xg, 4°C, 5 min)，使小顆粒雜質與原蟲沉澱，取上清液再利用 20,000 xg、4°C 條件離心 20 分鐘，上清液於 -80°C 保存，進一步分析揮發性脂肪酸 (volatile fatty acid, VFA)、氨態氮 (ammoniacal nitrogen, NH₃-N) 及還原糖 (reducing sugar)；沉澱物為細菌體，將蛋白質溶解後測定細菌蛋白質 (microbial protein, MCP)。



三、泌乳羊試驗

本試驗使用六頭經產 (multiparous) 且已過泌乳高峰 (mid-lactation) 之阿爾拜因 (Alpine) 泌乳山羊。試驗開始前，由台大農場挑選每日產乳量超過 1 公升的羊隻，分別飼養於獨立的代謝架 (圖 7) 適應環境，飼養約一週，觀察羊隻的採食量與乳量變化，待數值穩定後，記錄乳量、採食量及體重為起始參考值 (表 2)。將羊隻依試驗分組，以試驗飼糧逐步取代農場料 (1/3、1/2、2/3、完全取代) 防止羊隻因突然換料而出現拒絕採食的情況。試驗期間，於每日 7:00 與 19:00 餵飼與擠乳，並清洗飲水器，以供應清潔之飲水，提供鹽磚任羊隻舔食，於傍晚擠乳後清理代謝架與試驗環境。



圖 7. 羊隻試驗代謝架

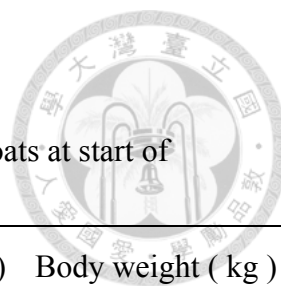


表 2. 試驗羊隻起始採食量、乳量與體重

Table 2 . The days in milk, intakes, milk yield and body weight of goats at start of experiment

Goat number	Days in milk	Intake (g)	Milk yield (mL/d)	Body weight (kg)
266	79	1201.1	3910	68.2
154	82	1373.2	2670	66.0
126	81	822.4	1570	84.7
26	Over 365	1105.6	1900	59.5
112	Over 365	1350.5	3000	81.1
32	Over 365	822.4	2310	77.2


(一)、試驗設計

試驗採二重複 3 x 3 拉丁方設計 (沈, 2010), 將羊隻分為兩組, 每組三隻羊隨機分配餵予對照組、稻草處理組與太陽麻處理組三種試驗飼糧, 共有三個試驗期。每個試驗期為 21 天, 前 17 為適應期, 讓羊隻瘤胃微生物族群適應不同的飼糧 (Cameron *et al.*, 1991), 最後 4 天為採樣期。採樣期間, 記錄每日的採食量及泌乳量, 收集剩料、全糞、尿液、乳樣及血液等樣品, 於試驗期結束後進行分析, 將結果與對照組比較以了解稻草及太陽麻作為泌乳羊飼糧芻料可行性。

(二)、飼糧

1. 飼糧原料

飼糧中的芻料為苜蓿草 (alfalfa hay)、百慕達草 (bermudagrass)、稻草稈



(rice straw, RS)、鹼處理稻草稈 (alkali-treat rice straw)、太陽麻乾草 (sunn hemp, SH) 與鹼處理太陽麻乾草 (alkali-treat sunn hemp)、玉米粉 (corn ground) 與大豆粕 (soybean meal)、搭配啤酒粕 (brewers' grains)、高粱酒粕 (sorghum distillers grains)、芝麻粕 (sesame meal) 及黃豆渣 (soybean pulp) 等國產蛋白質副產物則為精料的部分。試驗前，於原料中採集適量樣品，經 60 °C 烘乾、乾磨機磨粉、過 20 mesh 篩網，以分析乾物質 (dry matter, DM)、有機物 (organic matter, OM)、粗蛋白質 (crude protein, CP)、中洗纖維 (neutral detergent fiber, NDF)、酸洗纖維 (acid detergent fiber, ADF)、酸洗木質素 (acid detergent lignin, ADL) 與灰分 (ash) 等化學組成，其結果做為計算飼糧配方之依據。

2. 稻草稈農藥殘留檢測

為防止稻草之農藥殘留對試驗羊隻造成毒害，試驗前，將 600 公克稻草稈樣品委託財團法人台北市瑠公農業產銷基金會農業檢驗中心檢測農藥殘留量。檢測結果為「合格」，並未檢測出有農藥殘留，表示此次試驗飼糧中所使用之稻草並不會對羊隻健康造成危害。

3. 飼糧配方

依據 NRC (2001) 推薦泌乳羊營養需求量與原料的成分設計飼糧配方。精芻料比例為 60 : 40，藉由調整不同精料原料的比例，配製成三組等蛋白質試驗料。飼糧配方列於表 3，由於原料中啤酒粕、高粱酒粕與黃豆渣均為水分含量高之副產物，乾物質含量分別為 25%、35%、27%，考量到烘乾需耗費的時間趕不上羊

隻的採食量，因此決定採用完全混合飼糧（total mixed ration；TMR）方式餵飼。


完全混合飼糧配製方法：

預先秤取兩週分量的原料，維生素預混物（vitamin premix）、微量礦物質、食鹽及過瘤胃脂肪與約 1 公斤玉米粉預先混合。將芻料倒入完全混合日糧攪拌機攪拌，依序將濕料（啤酒粕、高粱酒粕、黃豆渣）、粉狀原料（玉米粉、大豆粕）及玉米粉預混物倒入，最後依 TMR 性狀加入適量的水約 5 公斤，攪拌 8-10 分鐘後，分裝至預先準備好的乾淨飼料袋中，於 -20°C 冰箱儲存，餵飼前一天轉置於 4°C 冰箱退冰。



表 3. 對照組、稻草組與太陽麻組飼糧配方

Table 3. Formulations for the control, rice straw, and sunn hemp diets



Item	Diet			
	Control	Rice straw	Sunn hemp	
Forage	DM (%)	(% of DM)		
Bermuda grass	91.2	20.0	-	20.0
Untreated rice straw	89.3	-	4.0	-
AHP-treated rice straw	88.1	-	16.0	-
Alfalfa hay	89.8	20.0	20.0	-
Untreated sunn hemp	93.3	-	8.0	8.0
AHP-treated sunn hemp	91.8	-	-	12.0
Concentrate				
Corn, ground	87.3	16.5	16.0	19.3
Soybean meal	87.6	10.6	14.9	11.7
Sorghum distillers grains	35.0	7.1	5.1	5.4
Soybean pulp	27.0	7.8	5.1	5.3
Brewers' grains	25.0	5.7	5.0	5.2
Sesame meal	92.0	11.1	12.5	11.8
Rumen bypass fat (calcium soap)	100.0	0.8	0.8	0.8
Salt	100.0	0.2	0.2	0.2
Dicalcium phosphate	98.0	0.3	0.3	0.3
Vitamin premix ¹	100.0	0.2	0.2	0.2

¹ Vitamin premix (per kilogram of diet): Vit. A, 960 IU; Vit. D₃, 600 IU; Vit. E, 96 IU.



(三)、樣品採集

1. 飼糧樣品

試驗期間約會依採樣日期調整 TMR 的配製量，使羊隻在採樣期的 4 天裡採食同一批配製的 TMR，於配製同時採集該批 TMR 樣品。

2. 剩料與全糞收集

於試驗期最後 4 天進行，代謝架附有糞盤可將尿與糞完全分離（圖 7），收集並記錄每頭羊每日的剩料與全糞以分析羊隻的採食情況及對養分消化程度。

TMR、剩料與全糞樣品採集後保存於 -20°C 冰箱，試驗結束後，樣品須經過 60°C 烘乾、乾磨機磨碎並過 20 mesh 篩網等處理，以便進一步分析樣品的化學組成，計算羊隻對各營養成分的消化率。

3. 尿液收集

於採樣期收集羊隻每日尿液，記錄尿量、測定尿囊素（allantoin）含量，並以 Kjeldahl 法（AOAC, 2000）測定含氮量。以裝有 100 mL 6 N 鹽酸的玻璃盤承接尿液（圖 7），使尿液 pH 值小於 3 防止尿氮以氨的型式逸散而影響測定 (Freeman *et al.*, 2008)。



4. 羊乳樣品收集

於試驗期最後 2 日早晨及傍晚擠乳時採集，採集到的乳樣立即冰浴並進行總生菌數測定。以磷酸鹽緩衝液 (phosphate-buffer saline) 將樣品序列稀釋 10^3 、 10^4 、 10^5 倍，配方列於 (表 4)，吸取 1 mL 羊乳樣品稀釋液到 3M Petrifilm™ Aerobic Count Plates 測試片上壓片，上述步驟皆於無菌操作台中進行，測試片於 32°C 培養箱培養 48 小時後計算菌落數；剩餘乳樣暫存於 4°C 冰箱中，待完成 2 天乳樣收集後，依上下午乳量比例混合，冷藏寄送至行政院農委會畜產試驗所苗栗西湖分所，委託分析乳組成，分析項目：乳脂 (milk fat)、乳糖 (lactose)、乳蛋白 (milk protein)、非乳脂固形物 (solids-non-fat, SNF)、體細胞數 (somatic cell count, SCC)。

表 4. 十倍磷酸鹽緩衝液配方

Table 4. 10 times phosphate-buffer saline formula (g/L)¹

Item	Weight
Sodium chloride, NaCl	80.06
Potassium chloride, KCl	2.01
Sodium dihydrogen phosphate dodecahydrate, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	29
Potassium dihydrogen phosphate, KH_2PO_4	2.04

¹pH 7.4.



5. 血液樣品收集

於採樣期第 2 天及第 3 天下午 2 點進行採集。使用 18G 針頭由羊隻頸靜脈採 5 mL 血液，加入含抗凝血劑 (Heparin) 的採血管中，以 0°C、3500 xg 離心 20 分鐘，取上層血漿保存於 -20°C 冰箱待測血液生化質與電解質平衡 (electrolyte balance)。

四、分析方法

(一)、近似分析

1. 乾物質 (dry matter, DM)

原理：

樣品於 105°C 烘箱加熱烘乾至恆重，此時重量為樣品乾物質重。

步驟：

- (1) 測定前先將玻璃坩堝洗淨、烘乾於乾燥器放涼至室溫。
- (2) 以玻璃坩堝秤取約 2 g 樣品，若坩堝內樣品過厚，可適度將樣品減量。
- (3) 將含有樣品的玻璃坩堝放入 105°C 烘箱 2 小時，取出置於乾燥器中，放涼後秤重。
- (4) 同上述步驟，唯將放入烘箱之時間縮短至 30 分鐘，放涼後秤重。
- (5) 重複步驟 4，直到重量穩定。此法為防止脂肪氧化而影響樣品乾物重。

計算：

$$\text{乾物質}(\%) = 1 - \frac{\text{樣品重} - \text{樣品乾重}}{\text{樣品重}} \times 100$$



2. 粗蛋白質 (crude protein, CP) 分析法 (AOAC, 2000)：

原理：

蛋白質在濃硫酸、催化劑與高溫的作用下，分解生成硫酸銨 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ，再以氫氧化鈉溶液進行蒸餾，蒸餾出的 NH_3 由硼酸指示劑接收後，以 $0.1 \text{ N H}_2\text{SO}_4$ 滴定並計粗蛋白質含量。

指示劑：

(1) Bromocresol Green (BG)：

取 0.1 g BG 溶於 $90 \text{ mL } 95\% \text{ 酒精}$ ，定量至 100 mL ，存放於褐色瓶中，低溫貯存。

(2) Methyl Red (MR)：


取 0.1 g MR 溶於 $90 \text{ mL } 95\% \text{ 酒精}$ ，定量至 100 mL ，存放於褐色瓶中，低溫貯存。

試劑：

(1) 標準品 Ammonium iron (II) sulfate hexahydrate, $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，
(MW = 392.14, MERCK™ 1.03792, 德國)。

(2) 催化劑 Kjeldahl tablet for Wieninger method 5 g/tablet (contains selenium)，
(MERCK™ 1.10958, 德國)。

(3) $98\% \text{ 硫酸}$ ，(MW = 98.08, MERCK™ 1.00731, 德國)。

- 
- (4) 4% 硼酸：取 1800 mL 蒸餾水加入 80 g 硼酸 (MW = 61.83, MERCK™ 1.00165, 德國)，加熱攪拌至硼酸完全溶解後冷卻至室溫；取 20 mL BG 及 14 mL MR 加入硼酸溶液中混勻，以 1 N NaOH 將 pH 調至 7.0；再以蒸餾水定量至 2000 mL。

步驟：

- (1) 以無氮濾紙秤取標準品及樣品 0.3 g，與空白組(無氮濾紙)分別置入粗蛋白質消化管內，再加入一枚催化劑與 10 mL 98% 濃硫酸。
- (2) 將消化管裝置於加熱分解器，加熱至樣品呈透明後取出放涼。
- (3) 使用凱氏氮蒸餾器在消化管注入 60 mL 去離子水與 50% 40 mL NaOH 溶液，蒸餾 5 分鐘，以 4% 硼酸接收蒸餾出之 NH₃。
- (4) 以 0.1 N H₂SO₄ 滴定至溶液由綠色轉變成紫紅色，記錄 H₂SO₄ 之用量。

計算：

$$N(\%) = \frac{(\text{樣品硫酸用量} - \text{空白組硫酸用量}) \times \text{硫酸當量} \times 0.001401}{\text{樣品乾重}} \times 100$$

3. 纖維分析

原理

植物細胞壁中的纖維及半纖維能被反芻動物消化利用，依據 Van Soest 方法，先以中洗液將細胞內可溶物洗去，剩餘部分為細胞壁；再利用酸洗液將細胞壁中之半纖維素溶解，剩下纖維素與木質素；最後以 72% H₂SO₄ 將纖維素溶

解，餘下無法被反芻動物利用的木質素可利用高溫去除，以得知木質素含量。



(1) 中洗纖維 (neutral detergent fiber, NDF)

試劑：

- a. 中性洗劑 (配方如表 5)
- b. 亞硫酸鈉 (Na_2SO_3)
- c. decalin (消泡劑)
- d. 耐熱性 α -澱粉酶 (heat stable α -amylase, Sigma A3306, USA)
- e. 丙酮

步驟：

- a. 秤 0.5 g 樣品於纖維濾袋 (Gerhardt, Germany) 中，置於玻璃管架。
- b. 加入 1.75 g Na_2SO_3 、 350 mL 中洗性液與 1-2 滴 decalin 加熱至沸騰後，持續加熱 1 小時。
- c. 加熱完畢後以煮沸之熱水將纖維濾袋及樣品中之中性洗液洗淨，再以丙酮洗至完全脫色。
- d. 置入抽風櫥中抽氣約 30 分鐘，待丙酮完全揮發後，於 105°C 烘箱烘乾 8 小時，冷卻至室溫後秤重。

計算：

$$\text{NDF} (\%) = \frac{\text{中洗纖維後重} - \text{纖維濾袋重}}{\text{樣品乾重}} \times 100$$

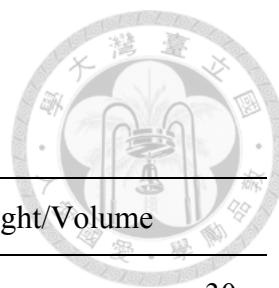


表 5. 中性洗劑配方

Table 5. Neutral detergent composition ¹

Item	Weight/Volume
Sodium lauryl sulfate	30 g
Disodium ethylenediamineteraacetate (EDTA)	18.6 g
Sodium borate decahydrate	6.81 g
Disodium hydrogen phosphate dihydrate	4.56 g
2-ethoxyethanol	10 mL

¹ per liter.

(2) 酸洗纖維 (acid detergent fiber, ADF)

試劑：

- a. 酸性洗劑 (配方如表 6)
- b. 丙酮

步驟：

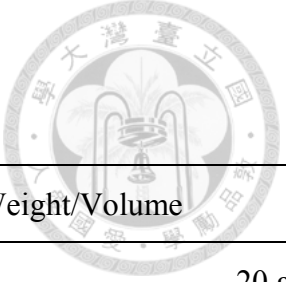
與中洗纖維測定相同，不同處為只需加入 350 mL 酸性洗劑，沸騰 30 分鐘後不需加 α -澱粉酶。

計算：

$$\text{ADF} (\%) = \frac{\text{酸洗纖維後重} - \text{纖維濾袋重}}{\text{樣品乾重}} \times 100$$

表 6. 酸性洗劑配方

Table 6. Acid detergent composition ¹



Item	Weight/Volume
Cetyl trimethylammonium bromide	20 g
1 N Sulfuric acid	1 L

¹ per liter.

(3) 酸洗木質素 (acid detergent lignin, ADL)

試劑：

a. 72% H₂SO₄

將 652 ml 98% H₂SO₄ 緩慢加入 440 mL 蒸餾水中。

b. 丙酮

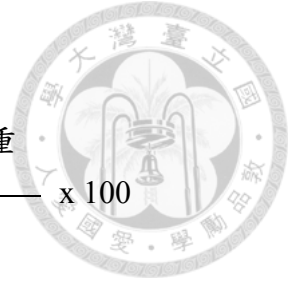
步驟：

a. 將測定過酸洗纖維之樣品浸泡於 72% H₂SO₄ 中 4 小時，每小時換一次硫酸。

b. 以煮沸之熱水與丙酮將硫酸洗淨並脫色後，置於抽風櫥中抽氣 30 分鐘。

c. 於 105°C 烘箱烘乾 8 小時後放涼秤重。

d. 再以 600°C 灰化 8 小時，剩餘的部分為酸洗不溶灰分。



計算：

$$\text{ADL} (\%) = \frac{\text{酸洗木質素後重} - \text{酸洗不溶灰分重}}{\text{樣品乾重}} \times 100$$

4. 粗脂肪 (ether extract, EE)

原理：

利用脂肪不易溶於水、易溶於於非極性溶劑的特性，將脂肪由樣品中萃取出來，萃出物中也包含部分極性與脂肪相似的物質，因此稱為粗脂肪。

試劑：

- (1) 石油醚

步驟：

- (1) 將鋁杯洗淨、烘乾、冷卻後秤重。
- (2) 在圓筒濾紙中秤入 2 g 樣品，以脫脂棉花將洞口塞住，裝置於快速脂肪萃取機 (Soctec system HT extraction unit, Tecator, USA)。
- (3) 於鋁杯中加入 40 mL 石油醚亦裝置於快速脂肪萃取機，萃取 50 分鐘。
- (4) 萃取完畢，回收溶劑，將鋁杯置於抽氣櫃待萃取溶劑完全蒸發後，以 105 °C 烘乾 1 小時，冷卻後秤重。

計算：

$$\text{粗脂肪} (\%) = \frac{\text{脂肪萃取後鋁杯重} - \text{鋁杯重}}{\text{樣品乾重}} \times 100$$



5. 灰分

原理：

以 600°C 的高溫將樣品中的有機物質燃燒完畢，剩餘的部分即為灰分。

步驟：

- (1) 將坩堝洗淨置於灰化爐中，以 600°C 灰化 1 小時後，取出放入乾燥器放涼至室溫，秤重。
- (2) 秤 2.5 g 樣品於坩堝中，將坩堝放入灰化爐，以 600°C 灰化 4 到 6 小時，取出置入乾燥器中冷卻至室溫，秤重。

計算：

$$\text{灰分 (\%)} = \frac{\text{含灰分坩堝重} - \text{坩堝重}}{\text{樣品乾重}} \times 100$$

(二)、體外發酵樣品分析

1. 短鏈脂肪酸測定

利用氣相層析儀 (7820A GC, Agilent Technologies, USA) 進行分析，使用 Nukol capillary column (30 m x 0.32 mm I. D., 0.25 μm film thickness; Supelco, 24131)，標準液為 WSFA-4 (Supelco, 47058)。分離條件為：

以氮氣為載流氣體 (21.444 cm/sec)，分流比為 10:1，燃燒氣體為空氣與氮氣；注射器及檢測器 (FID) 溫度分別為 220°C 及 250°C，烘箱起始溫度為 110°C，樣品注入後每分鐘上升 8°C，至 200°C 後結束，總計為 11.25 分鐘。

2. 氨態氮測定

藥劑

- (1) Reagent A：Phenol 5 g 與 Sodium nitroprusside 250 mg，定量到 1L。
- (2) Reagent B：Sodium hydroxide 25 g 與 Sodium hypochlorite 16.8 ml，定量至 1L。
- (3) 氯化氨 (NH_4Cl)

步驟

- (1) 取 Reagent A 和 Reagent B 各 2 mL 加入 50 μl 之樣品。
- (2) 在室溫下靜置 30 分鐘，反應呈色。
- (3) 測定 630 nm 的吸光值，與標準曲線對照計算氨之濃度。
- (4) 配製 NH_4Cl 溶液，依上述步驟繪製檢量線。

3. 還原糖測定

原理

利用 3,5-二硝基水楊酸 (3,5-dinitrosalicylic acid, DNS) 在鹼性環境下具還原力之特性，與還原糖反應後呈色。



藥劑

- (1) DNS 試劑 (表 7)。
- (2) 葡萄糖

步驟

- (1) 取 100 μL 待測樣品與等體積 DNS 試劑混合，浸入沸水 15 分鐘加速反應呈色。
- (2) 取 50 μL 與 200 μL 蒸餾水混合，測定 550 nm 吸光值。
- (3) 將葡萄糖溶於蒸餾水，配製成適當濃度，以上述步驟繪製檢量線，計算樣品還原糖濃度。

表 7. 3,5-二硝基水楊酸 (DNS) 配方

Table 7. DNS reagent composition¹

Item	Weight/Volume
3,5-dinitrosalicylic acid	10 g
Potassium sodium tartrate	300 g
2 N NaOH	20 mL

¹ per liter.

4. 微生物蛋白質測定

原理

利用差速離心獲得發酵液中的菌體，再以 NaOH 溶出菌體蛋白 (Makkar *et al.*, 1982)，蛋白質與染劑中的 Brilliant Blue G 結合後的呈色差為判定濃度之依據。



藥劑

- (1) 0.25 N NaOH : 5 g NaOH + 500 mL 水
- (2) Bradford reagent (Sigma)
- (3) 標準品 : 2 mg/mL 牛血清白蛋白溶液 (bovine serum albumin, BSA)

步驟

- (1) 待測樣品以去離子水懸浮後，20,000 xg 離心 20 分鐘。
- (2) 去除上清液，沉澱的細胞以 1 mL 的 0.25 N NaOH 懸浮，於滾水中 10 分鐘。
- (3) 以 20,000 xg 離心 30 分鐘，取上清液測定其蛋白質濃度。
- (4) 取 4 μ L 待測樣品與 200 μ L Bradford reagent 混合，靜置 15 分鐘後測定 570 nm 吸光值。
- (5) 以上述方法，將已知濃度的 BSA 繪製檢量線，供樣品蛋白質濃度換算。
(Bradford, 1976; Makkar *et al.*, 1982)

5. 曲線配適

依照 Groot *et al.* (1996) 的數學模型以 SigmaPlot 繪畫軟體 (12.0 版) 進行 logistic model 曲線配適，並將參數帶入，對產氣量進行較正：

$$G = A / (1 + (T_{1/2} / t)^B) \quad (1)$$

(三)、血液與尿樣品分析

1. 血液樣品

將分離之血漿以乾式生化分析儀 (Spotchem, SP-4410, Arkray, Japan) 搭配 Spotchem II Panel-1/2 試紙，測定血漿中葡萄糖、尿素氮與總蛋白質含量。

血漿中鈉、鉀及氯的含量委託臺大動物醫院檢驗室進行測定，將測定結果依據下列公式計算血液電解質平衡 (Ross *et al.*, 1994)：



$$\text{Electrolyte balance} = \text{plasma mEq (Na + K - Cl) / L} \quad (2)$$

2. 尿液樣品

以 Kjeldahl 法 (AOAC, 2000) 測定尿液中的含氮量，並依據 Borchers (1977) 的測定方法，測定尿囊素之濃度。

尿囊素 (Allantoin)

原理

尿囊素經過鹼及酸溶液水解之產物，氧化後呈色。

藥劑

- (1) 0.6 M NaOH : 24 g NaOH 加蒸餾水定量至 1000 mL。
- (2) 2.5 N NaOH : 100 g NaOH 加蒸餾水定量至 1000 mL。
- (3) 2 N HCl : 165 mL HCl 加蒸餾水水定量至 1000 mL。
- (4) 0.1% 2,4-dinitrophenylhydrazine : 取 0.1 g 溶於 100 mL 2 N HCl 中。
- (5) 標準品：尿囊素

步驟

- (1) 尿液樣品稀釋 500 倍後，取 0.25 ml 與 0.05 mL 0.6 M NaOH 於滾水中煮 15 分鐘。



- (2) 加入 0.1 mL 0.1% 2,4-dinitrophenylhydrazine 溶液後，再以滾水煮 4 分鐘。
- (3) 泡冷水至室溫，加入 0.5 mL 2.5 M NaOH，靜置 10 分鐘後以 520 nm 測吸光值。
- (4) 尿囊素溶於蒸餾水，配製成適當濃度，以上述步驟繪製檢量線，用於計算樣品尿囊素濃度。

五、統計模式

本試驗根據重複拉丁方設計法，進行 2 次的拉丁方試驗，將所得結果合併分析。試驗結果利用 SAS (9.2) 軟體一般線性模式 (general linear model, GLM) 進行統計分析，並以 Turkey 法比較飼糧處理組平均值間的差異 (沈，2010)。數學模式如下：

$$Y_{ijkl} = \mu + L_i + D_j + G_k + P_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Y_{ijkl} : 觀測值

μ : 平均值

L_i : 重複數

D_j : 飼糧效應 (diet)

G_k : 個體效應 (goat)

P_l : 時期效應 (period)

ε_{ijkl} : 機差

結果與討論



一、鹼處理與未處理芻料纖維含量分析

分析芻料鹼處理前後乾物質 (dry matter, DM) 中洗纖維 (neutral detergent fiber, NDF)、酸洗纖維 (acid detergent fiber, ADF) 與酸洗木質素 (acid detergent lignin, ADL) 的變化, 結果列於表 8。

芻料經鹼處理後水分含量些微增加, 太陽麻乾草的乾物值含量由原本的 91.1% 下降至 90.2%, 稻草稈則由 92.5% 降至 91.0%。太陽麻乾草經鹼處理後中洗纖維、酸洗纖維與酸洗木質素的含量皆有減少的趨勢, 但是在統計結果上並沒有出現顯著差異, 反而是稻草稈在鹼處理過後, 中洗纖維的含量顯著較未處理的稻草稈少, 由 79.9% 降至 66.9%, 酸洗纖維與酸洗木質素的含量也有減少的傾向。

芻料經過 AHP 處理後, 鹼性溶液使半纖維素與木質素間的酯鍵裂解, 使細胞壁中的半纖維素及木質素的溶解度增加 (Doner and Hicks, 1997; Sun *et al.*, 2000), 又過氧化物 (H_2O_2) 在鹼性的環境下分解產生的羥基自由基 ($HO\cdot$) 與超氧陰離子自由基 ($O_2^-\cdot$) 對植物細胞壁也有相同的作用 (Doner and Hicks, 1997), 豆科牧草與禾科牧草在纖維結構上並不相同 (Buxton and Redfearn, 1997), 後者細胞壁中的矽含量較高, 且兩者的木質素結構與分布也不盡相同, 因此在鹼處理的結果有所差異。

表 8. 鹼處理與未處理太陽麻乾草及稻草釋纖維組成分析

Table 8. The fiber composition of untreated and alkaline hydrogen peroxide (AHP) treated sunn hemp (SH) and rice straw (RS)

Item	Sunn hemp		Rice straw	
	untreated	AHP treated	untreated	AHP treated
DM (%)	91.1	90.2	92.5	91.0
NDF (% of DM)	57.4	54.5	79.9 ^a	66.9 ^b
ADF (% of DM)	44.3	42.3	43.1	39.0
ADL (% of DM)	5.8	4.7	2.7	1.7

^{a,b} Values in the same row with different superscript are significantly different (n=3, P<0.05).

NDF: neutral detergent fiber, ADF: acid detergent fiber, ADL: acid detergent lignin.



二、鹼處理及未處理芻料混合比例體外消化試驗

利用體外消化試驗評估鹼處理芻料添加量對總產氣量、pH 值、乾物質消化率 (*in vitro* dry matter digestibility, IVDMD) 與體外中洗纖維消化率 (*in vitro* neutral detergent fiber digestibility, IVNDFD) 的影響 (表 9、10)。

總產氣量、IVDMD 與 IVNDFD 的結果皆因鹼處理芻料的添加比例提升而增加，Nitipot and Sommart (2003) 指出產氣量與乾物質消化及有機質消化率有高度的相關性。稻草稈經鹼處理後 IVDMD 提升 63%，太陽麻乾草提升 15%，證明鹼處理可以改善芻料的品質，且在稻草稈的處理效果較太陽麻乾草佳。鹼處理使纖維素晶體的結構改變，也使纖維素結構變的較鬆散 (Guggolz *et al.*, 1971; Klopfenstein, 1978)，較容易被瘤胃微生物降解 (Mishra *et al.*, 2000)，消化率因此上升。

總揮發性脂肪酸的生成量不受鹼處理稻草稈的添加量上影響，在 60 : 40 的組別有最高的乙酸、丙酸及丁酸產量；在鹼處理太陽麻乾草的添加量上，40 : 60 的組別在總揮發性脂肪酸、乙酸、丙酸及丁酸的生成量上皆有最好的表現。還原糖與微生物蛋白質的產量皆不受鹼處理稻草稈或太陽麻乾草的添加量影響，而氨態氮測定結果則是在鹼處理芻料比例較高的組別濃度較低。

依據累積產氣曲線圖的結果，當鹼處理稻草稈與太陽麻乾草分別添加至 80% 與 60% 時，產氣曲線明顯高出添加量較低的組別 (圖 8、9)。由累積產氣資料可得知基質的動態發酵情況 (Menke *et al.*, 1979)，可判定當鹼處理稻草稈與太陽麻乾草的添加量分別高於 80% 與 60% 時，在活體試驗時會有較佳的消化表現。因此，基於動物對養分的利用及消化率的考量，選用鹼處理：未處理為 80 : 20 的稻草稈以及 60 : 40 的太陽麻乾草作為替代性芻料，進行泌乳羊餵飼試驗 (表 3)。若此兩組混合比例在餵飼試驗的結果有不錯的消化率與生產表現，可推測當鹼處理芻料添加量繼續提高時，泌乳羊會有相似或更佳的生产表現。

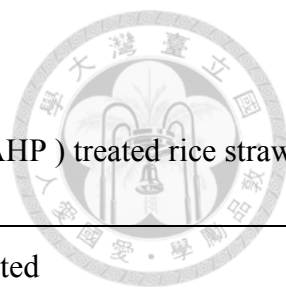


表 9. 不同比例混合未處理：鹼處理稻草稈的體外消化試驗

Table 9. Different ratios of untreated: alkaline hydrogen peroxide (AHP) treated rice straw (RS) subjected to in vitro digestion¹

Item	untreated : AHP-treated						SEM
	0 : 100	20 : 80	40 : 60	60 : 40	80 : 20	100 : 0	
Total gas production (mL/g-DM)	185.85 ^a	178.10 ^b	163.06 ^c	152.39 ^d	145.21 ^e	137.50 ^f	7.72
IVDMD (%)	64.90 ^a	60.60 ^{ab}	56.90 ^{bc}	52.70 ^c	45.50 ^d	39.80 ^e	3.84
IVNDFD (%)	54.80 ^a	50.60 ^b	46.40 ^c	41.70 ^d	36.80 ^e	33.60 ^f	3.32
pH	6.30	6.28	6.30	6.28	6.35	6.28	0.01
Total VFA (mg/mL)	0.25	0.25	0.23	0.26	0.25	0.24	<0.01
Acetate (mg/mL)	0.04 ^{ab}	0.04 ^{ab}	0.04 ^b	0.05 ^a	0.04 ^{ab}	0.04 ^{ab}	<0.01
Propionate (mg/mL)	0.04 ^b	0.04 ^{ab}	0.04 ^b	0.05 ^a	0.05 ^a	0.05 ^a	<0.01
Butyrate (mg/mL)	0.05 ^b	0.05 ^{ab}	0.05 ^b	0.06 ^a	0.06 ^a	0.07 ^a	<0.01
NH ₃ -N (mmol/L)	6.82 ^{bc}	6.69 ^c	6.74 ^{bc}	8.06 ^{ab}	8.66 ^a	9.04 ^a	0.43
Reducing sugar (mg/mL)	0.51	0.30	0.34	0.36	0.37	0.55	0.04
Microbial protein (MCP) (mg/mL)	0.13	0.14	0.14	0.12	0.13	0.13	<0.01

¹Incubate with 0.8 g substrate and 80mL buffered rumen fluid.

^{a,b,c,d,e,f} Values in the same row with different superscript are significantly different (n=4, P<0.05).

IVDMD: *in vitro* dry matter digestibility, IVNDFD: *in vitro* neutral detergent fiber digestibility, Total VFA : volatile fatty acid, NH₃-N: ammoniacal nitrogen.

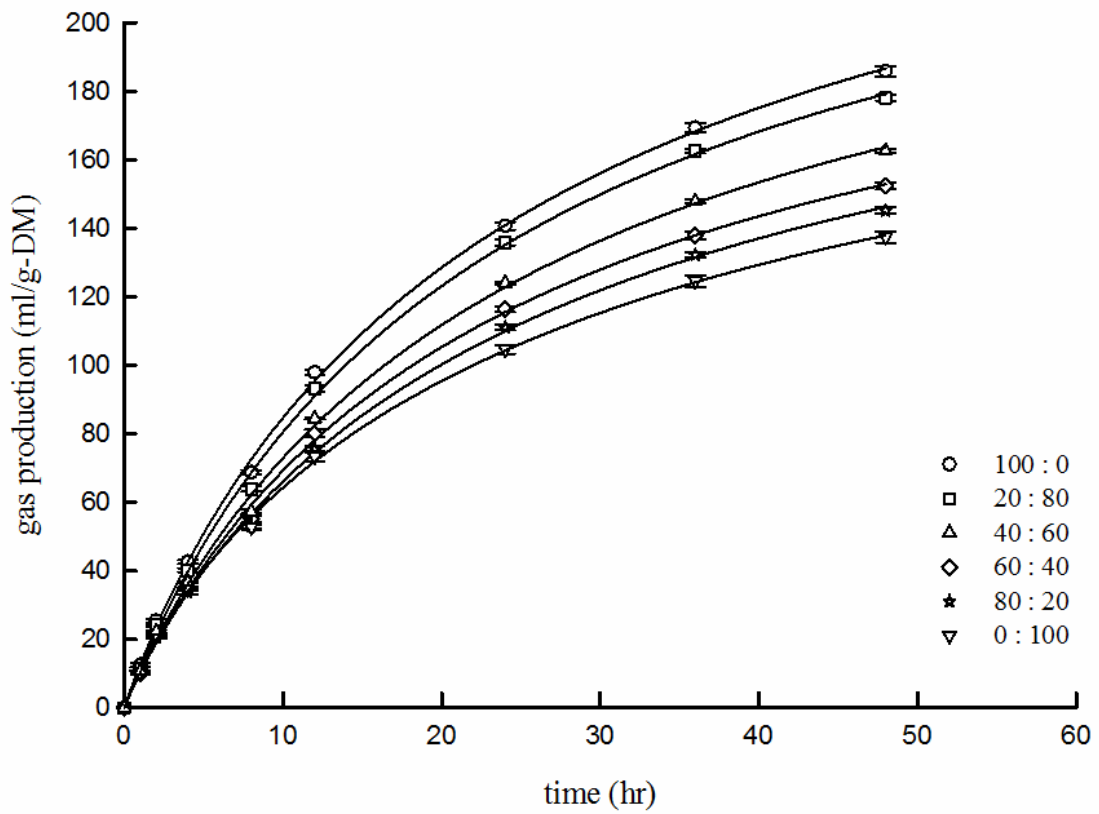


圖 8. 不同比例混合未處理：鹼處理稻草稈體外消化試驗累積產氣資料圖

Figure 8. Cumulative gas production profile of different ratios of untreated: alkaline hydrogen peroxide (AHP) treated rice straw (RS) subjected to in vitro digestion¹

¹Incubate with 0.8 g substrate and 80mL buffered rumen fluid.

Each data point shows the mean±SE (n=4) of cumulative gas production.

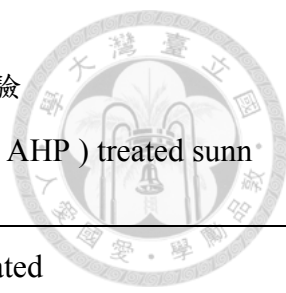


表 10. 不同比例混合未處理：鹼處理太陽麻乾草的體外消化試驗

Table 10. Different ratios of untreated : alkaline hydrogen peroxide (AHP) treated sunn* hemp (SH) subjected to in vitro digestion¹

Item	Untreated : AHP-treated						SEM
	0 : 100	20 : 80	40 : 60	60 : 40	80 : 20	100 : 0	
Total gas production (mL/g-DM)	143.47 ^a	141.46 ^a	138.51 ^{ab}	134.63 ^b	133.49 ^b	133.95 ^b	1.72
IVDMD (%)	79.60 ^a	78.50 ^{ab}	76.20 ^{bc}	75.30 ^{cd}	73.10 ^{de}	68.80 ^e	1.59
IVNDFD (%)	55.10 ^a	51.40 ^b	50.50 ^b	45.20 ^c	43.40 ^c	44.40 ^c	1.91
pH	6.61 ^a	6.56 ^a	6.56 ^a	6.57 ^a	6.62 ^a	6.42 ^b	0.03
Total VFA (mg/mL)	0.25 ^b	0.31 ^{ab}	0.36 ^a	0.35 ^a	0.34 ^a	0.30 ^{ab}	0.02
Acetate (mg/mL)	0.04 ^c	0.05 ^{bc}	0.08 ^a	0.07 ^{ab}	0.06 ^b	0.06 ^b	0.01
Propionate (mg/mL)	0.04 ^{cd}	0.05 ^c	0.08 ^a	0.07 ^b	0.06 ^{bc}	0.06 ^{bc}	0.01
Butyrate (mg/mL)	0.05 ^c	0.06 ^{bc}	0.09 ^a	0.07 ^{ab}	0.08 ^a	0.08 ^a	<0.01
NH ₃ -N (mmol/L)	15.52 ^{ab}	14.77 ^b	15.38 ^{ab}	16.11 ^a	16.02 ^a	16.10 ^a	0.22
Reducing sugar (mg/mL)	0.37	0.33	0.45	0.27	0.28	0.19	0.04
Microbial protein (MCP) (mg/mL)	0.13	0.13	0.12	0.12	0.14	0.15	0.01

¹Incubate with 0.4 g substrate and 40mL buffered rumen fluid.

a,b,c,d,e,f Values in the same row with different superscript are significantly different (n=6, P<0.05).

IVDMD: *in vitro* dry matter digestibility, IVNDFD: *in vitro* neutral detergent fiber digestibility, Total VFA : volatile fatty acid, NH₃-N: ammoniacal nitrogen.

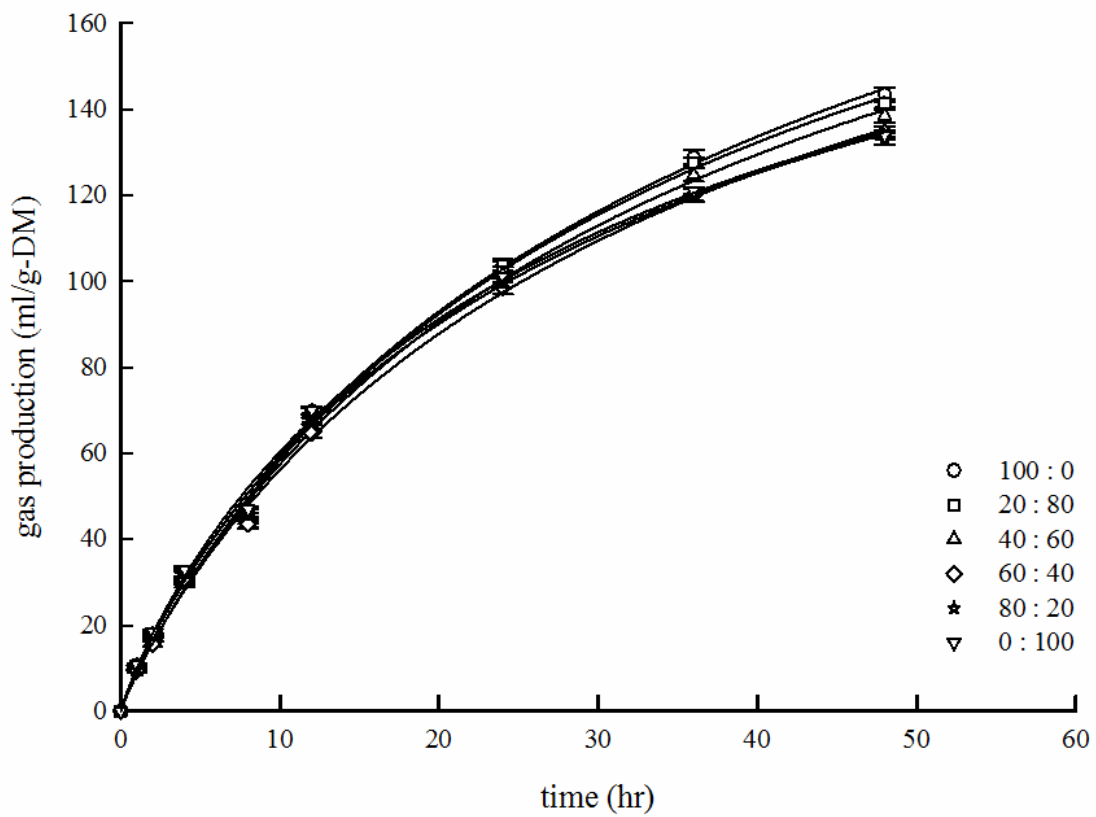


圖 9. 不同比例混合未處理：鹼處理太陽麻乾草體外消化試驗累積產氣資料圖

Figure 9. Cumulative gas production profile of different ratios of untreated : alkaline hydrogen peroxide (AHP) treated sunn hemp (SH) subjected to in vitro digestion¹

¹Incubate with 0.4 g substrate and 40mL buffered rumen fluid.

Each data point shows the mean±SE (n=6) of cumulative gas production.



三、飼糧組成分分析

試驗期間採集的 TMR 飼糧樣品的分析結果如表 11。三處理組的乾物質含量介於 60.86-65.49% 之間，粗蛋白質含量在三組飼糧間相似。稻草組的中洗纖維含量 (34%) 些微低於對照組與太陽麻組飼糧 (36%)，而太陽麻組飼糧的酸洗纖維含量最低。

表 11. 對照組、稻草組與太陽麻組飼糧組成分

Table 11. Chemical composition for the control, rice straw, and sun hemp treatment diets

Item	Diet		
	Control	Rice straw	Sun hemp
DM (%)	60.9	66.5	65.5
	% DM		
OM	93.4	91.5	92.6
CP	21.9	21.7	22.2
NDF	36.1	34.1	36.0
ADF	18.2	19.4	17.9
ADL	3.1	3.0	2.7
NFC	31.1	32.0	30.6
EE	3.8	3.2	3.3
Ash	6.6	8.5	7.4

DM: dry matter, OM: organic matter, CP: crude protein, NDF: neutral detergent fiber, ADF: acid detergent fiber, ADL: acid detergent lignin, EE: ether extract, NFC: non-fiber carbohydrate, $NFC = OM - (NDF + CP + EE)$.



四、飼糧的體外消化試驗

表 12 為三處理組飼糧經 48 小時體外消化後的結果。在總產氣量與乾物質消化率方面太陽麻組及稻草組飼糧與對照組飼糧相似沒有顯著差異，與累積產氣資料圖的結果相符（圖 10）。太陽麻處理組的 pH 值顯著低於其他兩處理組，但三組飼糧的 pH 值皆小於 6.0。一般來說，當 pH 值小於 6.0 會抑制纖維在瘤胃的消化率 (Weimer, 1996; Russell and Rychlik, 2001)。中洗纖維的消化率的部分，稻草組飼糧 (52.1%) 顯著高於對照組飼糧 (49.4%)；太陽麻組 (49.9%) 與對照組沒有顯著差異。飼糧中的纖維消化速度緩慢且不能完全被消化 (Buxton and Redfearn, 1997)，因此，NDF 含量相對較少的稻草組有較好的消化表現，而太陽麻處理組的 NDF 含量雖然較高，但酸洗木質素含量是三組中最低的，ADL 被認為是限制纖維消化的主要因素 (Buxton and Redfearn, 1997)，這或許是 IVNDFD 與稻草組飼糧沒有顯著差異的原因。而與芻料的體外消化的結果（表 9、10）相較下，的 IVNDFD 表現較差，可能略微受到 pH 值小於 6 的影響；或者是微生物優先對於可溶性的部分進行發酵 (Van Milgen *et al.*, 1993)，使得屬於結構性碳水化合物消化的程度較低。總揮發性脂肪酸、乙酸、丙酸及丁酸的濃度在太陽麻組顯著較稻草與控制組高，而在氨態氮、還原糖與微生物蛋白質濃度的部分則沒有出現顯著差異。

由體外消化結果可初步判定，部分鹼處理的稻草稈與太陽麻乾草可作為替代性芻料，分別取代百慕達草及苜蓿乾草而不會使消化率降低，繼續進行泌乳羊試驗以實際了解羊隻對這三種飼糧的採食、消化與生產表現。



表 12. 對照組、稻草組與太陽麻組飼糧的體外消化試驗

Table 12. In vitro digestion of control, rice straw, and sunn hemp diets¹

Item	Diet			
	Control	Rice straw	Sunn hemp	SEM
Total gas production (mL/g-DM)	217.97 ^b	219.55 ^{ab}	220.75 ^a	0.80
IVDMD (%)	72.30	74.40	73.80	0.64
IVNDFD (%)	49.40 ^b	52.10 ^a	49.90 ^{ab}	0.85
pH	5.88 ^a	5.92 ^a	5.69 ^b	0.07
Total VFA (mg/mL)	0.22 ^c	0.29 ^b	0.40 ^a	0.05
Acetate (mg/mL)	0.11 ^c	0.16 ^b	0.21 ^a	0.03
Propionate (mg/mL)	0.04 ^c	0.05 ^b	0.07 ^a	0.01
Butyrate (mg/mL)	0.03 ^b	0.04 ^b	0.07 ^a	0.01
NH ₃ -N (mmol/L)	20.90	22.80	21.19	0.59
Reducing sugar (mg/mL)	0.12	0.18	0.05	0.04
Microbial protein (MCP) (mg/mL)	0.16	0.17	0.16	<0.01

¹Incubate with 0.8 g substrate and 80 mL buffered rumen fluid.

^{a,b} Values in the same row with different superscript are significantly different (n=5, P<0.05).

IVDMD: *in vitro* dry matter digestibility, IVNDFD: *in vitro* neutral detergent fiber digestibility, Total VFA : volatile fatty acid, NH₃-N: ammoniacal nitrogen.

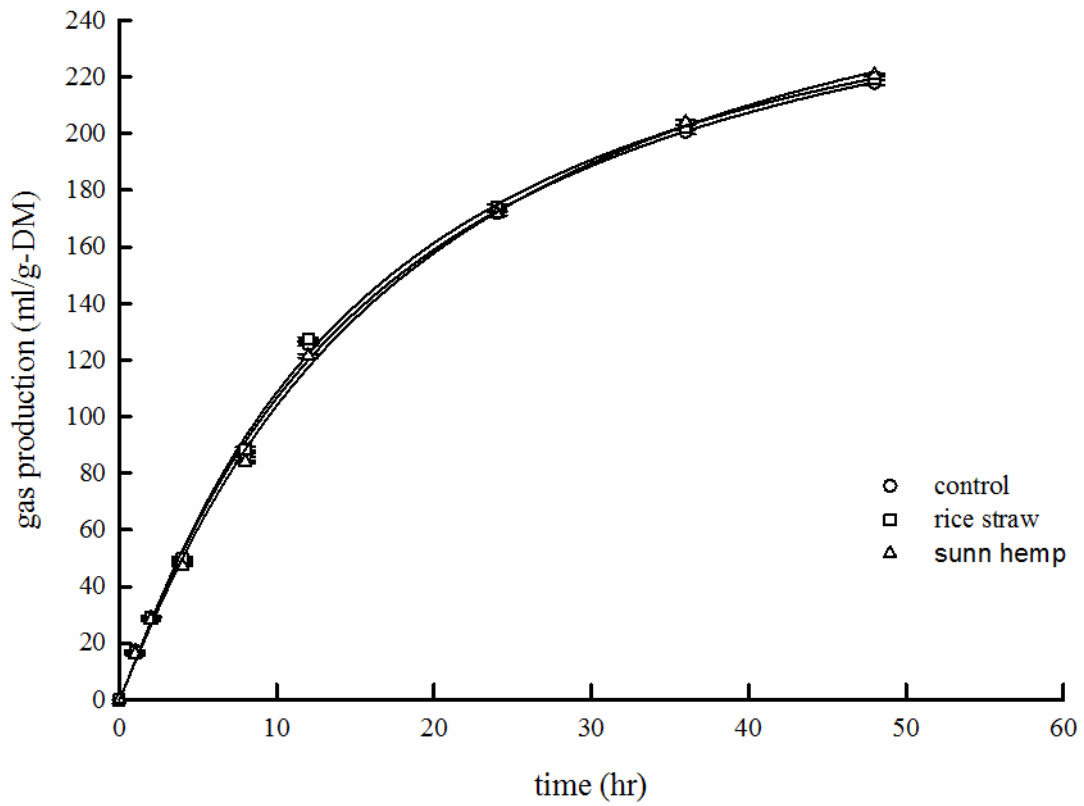


圖 10. 對照組、稻草組與太陽麻組飼糧的體外消化試驗累積產氣資料圖

Figure 10. Cumulative gas production profile of control, rice straw, and sunn hemp diets to in vitro digestion ¹

¹Incubate with 0.8 g substrate and 80mL buffered rumen fluid.

Each data point shows the mean±SE (n=5) of cumulative gas production.



五、飼糧養分採食量

泌乳羊對於三處理組飼糧的營養分採食表現列於表 13。以稻草組飼糧餵飼的羊隻有最高的乾物質採食量 (2136 g/head/d)，接著是對照組 (2041.9 g/head/d)，太陽麻組的 DM 採食量最低 (1877 g/head/d)，三組飼糧的乾物質採食量在統計上沒有顯著差異。三組飼糧在有機質、粗蛋白質、非纖維碳水化合物與粗脂肪的採食量都沒有出現顯著差異，但是在太陽麻處理組的採食量皆為三處理組中最低的，這可能與較低的乾物質採食量有關。

在纖維採食量方面，太陽麻處理組的中洗纖維採食量顯著小於對照組與稻草組，酸洗纖維的採食量在三處理組間沒有顯著差異，而對照組飼糧有最高的酸洗木質素採食量，顯著高於稻草組及太陽麻處理組。

中洗纖維含量與乾物質採食量成反比 (Dado and Allen, 1995)，並且 Jackson (1977) 提出飼糧中若含有經 NaOH 鹼處理之芻料會使瘤胃通過速率提升，因而使採食量提高。稻草組飼糧的 NDF 含量為三處理組中最低的，飼糧中鹼處理芻料的比例也較高，因此，羊隻在餵飼稻草組時會有較高自願採食量。太陽麻乾草中有部分的堅硬、粗糙且適口性不佳的莖梗，在試驗期間觀察到採食太陽麻組飼糧的羊隻，每日的剩料中有許多太陽麻乾草的莖梗殘留，影響到纖維的採食量。

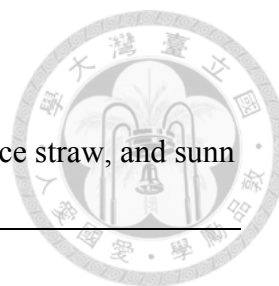


表 13. 泌乳羊各營養分採食量

Table 13. The nutrient intakes (g/head/d) of the goats fed control, rice straw, and sunn hemp diets

Item	Diet			SEM
	Control	Rice straw	Sunn hemp	
DM	2041.9	2136.0	1877.0	75.7
OM	1911.0	1985.3	1713.9	81.0
CP	414.9	449.0	391.5	16.7
NDF	805.7 ^a	846.8 ^a	653.7 ^b	58.7
ADF	403.6	411.1	380.8	9.1
ADL	71.3 ^a	60.7 ^b	63.5 ^b	3.2
NFC	618.8	620.0	616.5	1.0
EE	71.6	69.6	64.4	2.2

^{a,b} Values in the same row with different superscript are significantly different (n=6, P<0.05).

DM: dry matter, OM: organic matter, CP: crude protein, NDF: neutral detergent fiber, ADF: acid detergent fiber, ADL: acid detergent lignin, EE: ether extract, NFC: non-fiber carbohydrate, $NFC = OM - (NDF + CP + EE)$.



六、飼糧營養分採食比例

飼糧採食營養分比例列於表 14。與飼糧組成分（表 11）相比，對照組有較高的中洗纖維、酸洗纖維與酸洗木質素採食比例，而粗蛋白質、非纖維碳水化合物與粗脂肪的採食比例則較飼糧組成分低，顯示餵飼對照組飼糧的羊隻在採食的過程中，採食芻料的比例較飼糧配方中芻料比例（40%）高，而相同的情況也出現在餵飼稻草處理組的羊隻，對於中洗纖維的採食比例高於原飼糧組成（表 11），粗蛋白質與 NFC 的採食比例則些微降低；在太陽麻處理組方面，與飼糧組成（表 11）相比，羊隻有較高的 NFC 採食比例，推測出餵飼太陽麻處理組的羊隻採食精料的比較飼糧配方中精料的比較（60%）高。

與對照組相比，稻草處理組的有機質與酸洗木質素的採食比例顯著較低，其他營養分採食比例皆相似，推測為原飼糧組成（表 11）對照組在有機質與 ADL 含量上已高於稻草處理組，又羊隻在此兩處理組的採食芻料的比較高，而稻草稈的 OM 與 ADL 含量較百慕達草低，飼糧成分與芻料的差異造成此結果。

相較於對照組飼糧，太陽麻處理組有較低的中洗纖維採食比例，NFC 的採食比例則較高。



表 14. 泌乳羊各營養成分採食比例

Table 14. The composition of nutrient intakes of the goats fed control, rice straw, and sunn hemp diets

Item	Diet			SEM
	Control	Rice straw	Sunn hemp	
DMI, g/d	2041.9	2136.0	1877.0	75.70
	% DM			
OM	93.5 ^a	93.0 ^b	91.2 ^c	0.69
CP	19.6	20.8	20.1	0.33
NDF	40.7 ^a	40.3 ^a	36.1 ^b	1.47
ADF	20.4	19.6	21.1	0.45
ADL	3.6 ^a	2.9 ^b	3.5 ^a	0.22
NFC	29.9 ^b	28.7 ^b	32.5 ^a	1.12
EE	3.3	3.2	3.2	0.04

^{a,b} Values in the same row with different superscript are significantly different (n=6, P<0.05).

DM: dry matter, OM: organic matter, CP: crude protein, NDF: neutral detergent fiber, ADF: acid detergent fiber, ADL: acid detergent lignin, EE: ether extract, NFC: non-fiber carbohydrate, $NFC = OM - (NDF + CP + EE)$.



七、飼糧消化率

飼糧消化率的結果列於表 15，乾物質表面消化率的結果與體外消化（表 12）的結果不同，太陽麻處理組飼糧的 DM 消化率顯著高於稻草處理組，與對照組相似。乾物質採食量由大到小依序為稻草組、對照組及太陽麻組（表 13），採食量增加會加快飼糧通過瘤胃的速度 (Kammes and Allen, 2012)，飼糧的消化程度受到瘤胃停留時間的長短影響 (Alwash and Thomas, 1971)，食物通過瘤胃的速度減緩，讓微生物有較多的時間進行降解 (Abouheif *et al.*, 2012)，使消化率提高；此外，太陽麻處理組羊隻選食較多的 NFC 也會使消化率提升。

酸洗纖維的消化率在太陽麻處理組有最好的表現 (62.2%)，而稻草組則與對照組的結果相似。太陽麻處理組飼糧是以含有部分鹼處理的太陽麻乾草取代對照組的首蓆乾草，在進行鹼處理前太陽麻乾草經過截切成較小的片段，增加微生物附著面積及酵素作用的機會 (Bowman and Firkins, 1993)，此外經過 AHP 處理後，藉由細菌的定植與附著增加，結構性碳水化合物的消化速度及消化程度皆有所提升 (Kerley *et al.*, 1985)。

非纖維性碳水化合物有許多可溶性營養分組成，包含糖類、澱粉、果膠等 (Ishler and Varga, 2001)，當瘤胃內容物離開瘤胃的速度加快，NFC 的消化率就會受到影響，餵飼稻草處理組的羊隻乾物質採食量為三處理組中最高，瘤胃內容物須加快其離開瘤胃的速度以容納較高的採食量，因此稻草處理組的 NFC 消化率顯著低於對照組與太陽麻處理組。

總可消化養分與泌乳淨能的分析結果在三處理組間沒有顯著差異，雖然太陽麻處理組的乾物質採食量稍微較低，但因羊隻選擇採食較容易消化的飼糧部分，留下難被消化的莖梗，在養分消化率方面沒有一項三處理組中最低的，因此能提供泌乳羊不低於對照組及稻草處理組的泌乳淨能。

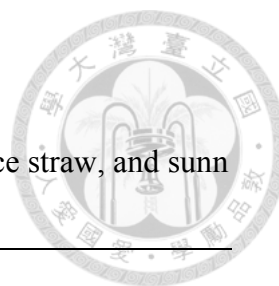


表 15. 泌乳羊各營養成分表面消化率

Table 15. The apparent digestibility (%) of the goats fed control, rice straw, and sunn hemp diets

Item	Diet			SEM
	Control	Rice straw	Sunn hemp	
DM	68.3 ^{ab}	66.8 ^b	70.8 ^a	1.15
OM	70.0	69.9	72.0	0.68
CP	69.4	69.8	71.3	0.58
NDF	61.1	63.2	61.5	0.64
ADF	55.4 ^b	52.2 ^b	62.2 ^a	2.95
ADL	26.6	21.8	35.0	3.85
NFC	80.1 ^a	77.0 ^b	82.0 ^a	1.43
EE	84.2	88.4	88.2	1.38
TDN ¹	69.8	68.7	69.7	0.34
NE _L ²	3.3	3.3	3.2	0.04

¹TDN = digestible (CP + 2.25 x EE + NDF + NFC).

²NE_L = (0.0245 x TDN - 0.12) x DMI.

a,b Values in the same row with different superscript are significantly different (n=6, P<0.05).

DM: dry matter, OM: organic matter, CP: crude protein, NDF: neutral detergent fiber, ADF: acid detergent fiber, ADL: acid detergent lignin, EE: ether extract, NFC: non-fiber carbohydrate, NFC = OM - (NDF + CP + EE).



八、乳產量與乳組成

乳產量與乾物質採食量有關 (NRC, 2001)，雖然乳產量在三個處理組飼糧間沒有顯著差異 (表 16)，但由結果可看出乳產量的多寡隨採食量增減，稻草處理組的乳產量最高，而太陽麻處理組為三組中最低。乳成分的分析結果顯示 (表 16)，以部分鹼處理的稻草稈與太陽麻乾草分別取代傳統泌乳羊飼糧中常使用的百慕達草及苜蓿乾草，對於乳脂肪、乳蛋白質、乳糖及乳固形物含量等不會造成影響。對照組、稻草處理組與太陽麻處理組的飼糧利用效率皆為 1.2，表示本試驗所使用之替代性芻料能被泌乳羊妥善的消化利用。

採樣期間有進行乳中的體細胞數 (somatic cell count, SCC) 與總生菌數 (total bacterial count, TBC) 的分析，因分析結果較美國 A 級巴氏殺菌乳與乳製品管理法規 (Grade A pasteurized Milk Ordinance, PMO) 中明訂的山羊乳 SCC 與 TBC 之標準 (1×10^6 /mL 與 1×10^5 CFU/mL) 高出 2 至 5 倍，但試驗期間並未觀察到羊隻有臨床性乳房炎之特徵，因此未將數據列於表中。推測可能的原因與羊隻個體差異、泌乳期長短、代謝架周圍環境及擠乳器管線清潔有關。



表 16. 泌乳羊乳產量、乳組成與飼料利用效率

Table 16. Dry matter intake, milk yield, milk composition of goat fed control, rice straw, and sun hemp diets¹

Item ¹	Diet			SEM
	Control	Rice straw	Sun hemp	
DMI (g/head/d)	2041.9	2136.0	1877.0	89.41
Milk yield (g/head/d)	2518.0	2788.7	2296.9	142.21
4% fat corrected milk (g/head/d)	2249.0	2485.1	2130.0	104.34
Fat (%)	3.5	3.4	3.6	0.04
Protein (%)	3.2	3.2	3.2	0.02
Lactose (%)	4.2	4.3	4.2	0.01
SNF (%)	8.2	8.2	8.2	<0.01
Total solid (%)	11.7	11.6	11.7	0.04
Urea (mg/dL)	28.8	29.6	27.7	0.55
SCC (10 ³ /mL)	5556.6	2457.2	1893.1	1138.87
TBC (10 ³ /mL)	285.2	354.0	339.6	20.94
Feed efficiency ²	1.2	1.2	1.2	0.02

¹4% fat corrected milk = milk yield x 0.4 + milk fat yield x 15.

² Feed efficiency: Milk yield / DMI.

n=6

SNF : solid not fat.



九、血液生化質與電解質平衡

血血液生化質的測定結果，血糖濃度符合 Stevens *et al.* (1994) 的測定結果 (51-71.6 mg/dL)，總蛋白質與血中尿素氮含量則較高 (6.4-8 g/dL ; 12.1-23.1 mg/dL)； Ololade and Mowat (1975) 指出，餵飼經氫氧化鈉處理之飼糧，會使血液中的尿素含量下降，而本試驗的測定結果顯示，血液中尿素氮含量不受三飼糧處理組以及餵飼 AHP 處理芻料影響。

血漿中鈉、鉀、氯的濃度以及電解質平衡不受三處理組飼糧的影響。採食過量的鈉會經由尿液排出 (Choung and McManus, 1976)，血漿中的鈉含量不會因為採食含有 AHP 處理芻料之飼糧而上升 (Voigt and Piatkowski, 1974)。

表 17. 泌乳羊血液生化質與血漿鈉、鉀、氯濃度

Table 17. The amount of blood biochemistry and plasma sodium, potassium and chloride concentration of the goats fed control, rice straw, and sun hemp diets

Item	Diet			SEM
	Control	Rice straw	Sun hemp	
Glucose (mg/dL)	63.8	63.8	61.7	0.7
Total protein (g/dL)	8.9	9.2	8.9	0.1
BUN (mg/dL)	32.8	31.8	30.3	0.7
Sodium (mmol/L)	133.8	139.8	158.5	7.4
Potassium (mmol/L)	4.0	4.1	4.6	0.2
Chloride (mmol/L)	83.6	98.8	109.8	4.1
Electrolyte balance (meq/L)	41.2	45.1	53.3	3.6

n=6

BUN: blood urea nitrogen.



十、飼糧氮的利用

動物採食的氮量多於維持與生產所需時，會經由糞便及尿液排出，排出的氮會對環境造成影響 (Kohn *et al.*, 2005)。本試驗中，氮的採食量與尿液氮及糞便氮的排出量在三個處理組間沒有顯著差異 (表 18)，Bierman (1995) 指出反芻動物經由尿液及糞便排出的氮佔氮採食量的 60-100%，而本試驗三個處理的氮排泄佔採食量的比例介於 64-68% 之間。雖然乳蛋白質含量在三處理組之間沒有顯著差異 (表 18)，但因稻草處理組有較高的乳產量，因此羊乳中氮量顯著高於太陽麻處理組。氮滯留的分析結果，氮的滯留量在三處理組間沒有顯著差異，與乳產量及乳組成的分析結果相符，透過增加飼糧氮的滯留量可提升動物的生產表現 (Cole, 1999)。三個處理組的氮滯留量皆為正值，表示泌乳羊在試驗期間採食的氮量足夠用於產乳及維持正常生理機能，雖然採食稻草組與太陽麻組飼糧的羊隻，在 21 天試驗期後的體重變化率為負值，推測可能與羊隻個體對於代謝架的適應能力不同，造成不同程度的緊迫壓力使體重下降。

在活體試驗中，尿液中尿囊素排出量與瘤胃微生物的合成量有高度的相關性 (Südekum *et al.*, 2006)。尿囊素為嘌呤的代謝產物 (Borchers, 1977)，與微生物的核酸有關，因此，可藉由尿囊素隨尿液的排出量得知瘤胃微生物的生長狀況。試驗結果，尿囊素每日隨尿液的排出量在三組飼糧間沒有顯著差異，與體外發酵微生物蛋白質 (表 12) 測定結果相符合。

表 18. 泌乳羊體重、體重變化率、氮採食量、氮排出量、氮滯留量與尿囊素
 Table 18. The amount of body weight, rate of weight change, N intake, fecal N, urinary N, milk N, N retention, and allantoin of the goats fed control, rice straw, and sun hemp diets

Item	Diet			SEM
	Control	Rice straw	Sun hemp	
Weight (kg)	70.1	69.4	67.7	0.7
Rate of weight change (%)	1.1 ^a	-0.7 ^{ab}	-6.1 ^b	2.2
Intake N (g/head/d)	66.4	71.8	62.6	2.7
Fecal N (g/head/d)	20.6	21.9	17.9	1.2
Urinary N (g/head/d)	24.7	26.0	22.4	1.1
Metabolizable protein (MP) ¹ (g/head/d)	21.1	23.9	22.3	0.8
Milk N (g/head/d)	11.7 ^{ab}	12.6 ^a	10.8 ^b	0.5
N retention (NR) ² (g/head/d)	9.4	11.2	11.5	0.7
Urine				
Allantoin (mg/100mL)	3.6	4.3	3.6	0.3

¹MP = feed N - fecal N - urinary N.

²NR = feed N - fecal N - urinary N - milk N.

^{a,b} Values in the same row with different superscript are significantly different (n=6, P<0.05).



十一、 飼糧成本與收益

表 19 為對照組、稻草組與太陽麻組的飼糧成本與收益評估。依據每頭羊隻每日的平均乾物質採食量與乳產量，計算平均每頭羊每的飼糧花費及產乳所得。飼糧花費上，對照組每頭每日的平均花費為 NT\$ 32.4 元，較稻草組的 NT\$ 28.1 元與太陽麻組的 NT\$ 24.7 元高；而每頭羊每日的平均產乳所得依序為稻草組 NT\$ 94.4 元、對照組 NT\$ 85.3 元與太陽麻組 NT\$ 77.8 元。將產乳收益扣除飼糧花費可得粗收益，稻草組有最高的粗收益（NT\$ 66.3 元），之後依序為太陽麻組與對照組。

表 19. 飼糧成本與收益評估

Table 19. The estimation of dietary cost and profit of goats fed control, rice straw, and sunn hemp dets

Item	Diet		
	Control	Rice straw	Sunn hemp
Feed cost (NT\$/head/day)	32.4	28.1	24.7
DM intake (kg/head/day)	2.0	2.1	1.9
Feed price (NT\$/kg)	15.9	13.2	13.2
Milk income (NT\$/head/day)	85.3	94.4	77.8
Milk yield (kg/head/day)	2.4	2.6	2.1
Goat milk price (NT\$/kg)	36.3	36.3	36.3
Profit ¹ (NT\$/head/day)	52.9	66.3	53.1

¹Profit = milk income - feed cost. Labor and other indirect costs were not deducted.

結論



以乾基 5% 氫氧化鈉與 2.5% 過氧化氫分別對太陽麻乾草與稻草稈進行鹼處理兩週，體外消化乾物質消化率分別提高 15% 與 63%。

在泌乳羊餵飼試驗中，與芻料為苜蓿乾草與百慕達草之飼糧相比較的結果，以含 60% 鹼處理的太陽麻乾草取代苜蓿乾草及含 80% 鹼處理的稻草稈取代百慕達草之兩飼糧，對於泌乳羊的乾物質採食量、乳產量與乳組成並不會造成影響，且有較高的粗收益。

綜合上述，經鹼處理提高品質的稻草稈與太陽麻乾草，具有作為替代性芻料的價值。

參考文獻



- 王喆宣。2009。多年生花生、花生藤及太陽麻於替代泌乳羊芻料之應用。國立臺灣大學動物科學技術學研究所碩士論文。
- 胡同嘉。2011。不同成熟度太陽麻或花生藤分別和玉米混合製作青貯替代泌乳羊芻料之應用。國立臺灣大學動物科學技術學研究所碩士論文。
- 行政院農業委員會。2012。101年農業統計年報。
- 沈明來。2010。試驗設計學第四版。九州圖書文化有限公司。
- 吳正宗、陳仁炫。2006。綠肥作物栽培手冊。行政院農業委員會農糧署。
- 信富食油行。<http://newandrich.wordpress.com/>
- 楊价民。1997。瘤胃生態系統與反芻動物對養分的利用。藝軒圖書出版社。
- 鄭梨櫻。2010。台灣綠肥作物種類與應用。臺中區農業改良場特刊: 431-433.
- Abouheif, M. A., Y. Mohamed, Al-Saiady, I. Saud. Al-Mufarrej, M. Aziz, A. Hafiz, Ibrahim and Riyadh S. Aljumaah. 2012. Effect of physical form of diet and frequency of feeding on digesta retention time and digestion in Najdi lambs. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 11: 1774-1779.
- Al-Suwaiegh, S., K. Fanning, R. Grant, C. Milton, and T. J. Klopfenstein. 2002. Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle. *Journal of Animal Science* 80: 1105-1111.
- Allen, M. S. 1996. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science* 74: 3063-3075.
- Alwash, A., and P. Thomas. 1971. The effect of the physical form of the diet and the level of feeding on the digestion of dried grass by sheep. *Journal of the Science*

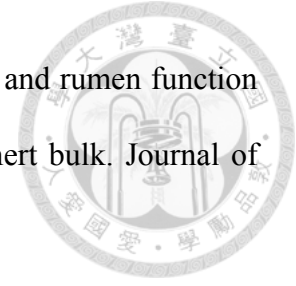


- of Food and Agriculture 22: 611-615.
- Association of official Analytical Chemists. 2000. Official Method of Analysis. 18th Ed. Association of official Analytical Chemists. AOAC International, Arlington, Virginia, USA.
- Bastawde, K. 1992. Xylan structure, microbial xylanases, and their mode of action. World journal of microbiology and biotechnology 8: 353-368.
- Belibasakis, N., and D. Tsirgogianni. 1996. Effects of wet brewers grains on milk yield, milk composition and blood components of dairy cows in hot weather. Animal Feed Science and Technology 57: 175-181.
- Beuvink, J., and S. Spoelstra. 1992. Interactions between substrate, fermentation end-products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms in vitro. Applied Microbiology and Biotechnology 37: 505-509.
- Bierman, S. J. 1995. Nutritional Effects on Waste Management. MS thesis. University of Nebraska, Lincoln, Nebr.
- Bilba, K., H. Savastano Junior, and K. Ghavami. 2013. Treatments of non-wood plant fibres used as reinforcement in composite materials. Materials Research 16: 903-923.
- Borchers, R. 1977. Allantoin determination. Analytical Biochemistry 79: 612-613.
- Bowman, J., and J. Firkins. 1993. Effects of forage species and particle size on bacterial cellulolytic activity and colonization in situ. Journal of Animal Science 71: 1623-1633.
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical



- Biochemistry 72: 248-254.
- Buxton, D. R., and D. D. Redfearn. 1997. Plant limitations to fiber digestion and utilization. *The Journal of Nutrition* 127: 814S-818S.
- Cameron, M., G. Fahey, J. Clark, N. Merchen, and L. Berger. 1991. Effects of feeding alkaline hydrogen peroxide-treated wheat straw-based diets on intake, digestion, ruminal fermentation, and production responses by mid-lactation dairy cows. *Journal of Animal Science* 69: 1775-1787.
- Carro, M., S. López, J. Gonzalez, and F. Ovejero. 1994. Comparison of laboratory methods for predicting digestibility of hay in sheep. *Small Ruminant Research* 14: 9-17.
- Chabannes, M., K. Ruel, A. Yoshinaga, B. Chabbert, A. Jauneau, J.P. Joseleau and A. M. Boudet. 2001. In situ analysis of lignins in transgenic tobacco reveals a differential impact of individual transformations on the spatial patterns of lignin deposition at the cellular and subcellular levels. *The Plant Journal* 28: 271-282.
- Chaudhry, A. 2000. Rumen degradation in sacco in sheep of wheat straw treated with calcium oxide, sodium hydroxide and sodium hydroxide plus hydrogen peroxide. *Animal Feed Science and Technology* 83: 313-323.
- Coelho, M., F. Hembry, F. Barton, and A. Saxton. 1988. A comparison of microbial, enzymatic, chemical and near-infrared reflectance spectroscopy methods in forage evaluation. *Animal Feed Science and Technology* 20: 219-231.
- Cole, N. A. 1999. Nitrogen retention by lambs fed oscillating dietary protein concentrations. *Journal of Animal Science* 77: 215-222.
- Crooker, B., C. Sniffen, W. Hoover, and L. Johnson. 1978. Solvents for soluble nitrogen measurements in feedstuffs. *Journal of Dairy Science* 61: 437-447.

Dado, R., and M. Allen. 1995. Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk. *Journal of Dairy Science* 78: 118-133.



De Boever, J., B. Cottyn, F. Buysse, F. Wainman, and J. Vanacker. 1986. The use of an enzymatic technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of compound feedstuffs for ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 14: 203-214.

Dewhurst, R., D. Hepper, and A. Webster. 1995. Comparison of in sacco and in vitro techniques for estimating the rate and extent of rumen fermentation of a range of dietary ingredients. *Animal Feed Science and Technology* 51: 211-229.

Djajanegara, A., B. Molina, and P. Doyle. 1985. The utilization of untreated and calcium hydroxide treated wheat straw by sheep. *Animal Feed Science and Technology* 12: 141-150.

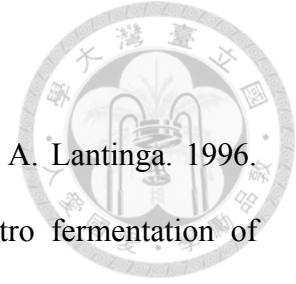
Doner, L. W., and K. B. Hicks. 1997. Isolation of hemicellulose from corn fiber by alkaline hydrogen peroxide extraction. *Cereal Chemistry* 74: 176-181.

Dowman, M. G., and F. C. Collins. 1982. The use of enzymes to predict the digestibility of animal feeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 33: 689-696.


Freeman, S., M. Poore, G. Huntington, and T. Middleton. 2008. Evaluation of secondary protein nutrients as a substitute for soybean meal in diets for beef steers and meat goats. *Journal of Animal Science* 86: 146-158.

Gandhi, J., and M. Holtzaple. 1998. Calcium hydroxide treatment of millet straw to improve its rumen digestibility. *Animal Production in Australia* 22: 122-124.

Getachew, G., M. Blümmel, H. Makkar, and K. Becker. 1998. In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. *Animal Feed*



- Science and Technology 72: 261-281.
- Groot, J. C., J. W. Cone, B. A. Williams, F. Debersaques, and E. A. Lantinga. 1996. Multiphasic analysis of gas production kinetics for in vitro fermentation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology* 64: 77-89.
- Guggolz, J., R. Saunders, G. Kohler, and T. Klopfenstein. 1971. Enzymatic evaluation of processes for improving agricultural wastes for ruminant feeds. *Journal of Animal Science* 33: 167-170.
- Haddad, S., R. Grant, and T. Klopfenstein. 1994. Digestibility of alkali-treated wheat straw measured in vitro or in vivo using Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 72: 3258-3265.
- Hendriks, A., and G. Zeeman. 2009. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* 100: 10-18.
- Illius, A., and N. Jessop. 1996. Metabolic constraints on voluntary intake in ruminants. *Journal of Animal Science* 74: 3052-3062.
- Ishiwaki, N., H. Murayama, H. Awayama, O. Kanauchi, and T. Sato. 2000. Development of high value uses of spent grain by fractionation technology. *Technical quarterly-Master Brewers Association of the Americas* 37: 261-265.
- Ishler, V., and G. Varga. 2001. Carbohydrate nutrition for lactating dairy cattle. Department of Dairy and Animal Science. The Pennsylvania State University, Code #: DAS 01-29, pp: 1-11.
- Israilides, C., G. Grant, and Y. Han. 1978. Sugar level, fermentability, and acceptability of straw treated with different acids. *Applied and Environmental Microbiology* 36: 43-46.
- Jackson, M. 1977. Review article: the alkali treatment of straws. *Animal Feed Science*

- 
- and Technology 2: 105-130.
- Jung, H., and M. Allen. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *Journal of Animal Science* 73: 2774-2790.
- Jung, H. G., and D. A. Deetz. 1993. Cell wall lignification and degradability. In: H. G. Jung, D. R. Buxton, R. D. Hatfield, and J. Ralph (Ed.) *Forage Cell Wall Structure and Digestibility*. p 315. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.
- Kammes, K., and M. Allen. 2012. Nutrient demand interacts with grass particle length to affect digestion responses and chewing activity in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 95: 807-823.
- Karunanandaa, K., and G. Varga. 1996. Colonization of crop residues by white-rot fungi: cell wall monosaccharides, phenolic acids, ruminal fermentation characteristics and digestibility of cell wall fiber components in vitro. *Animal Feed Science and Technology* 63: 273-288.
- Kendall, C., C. Leonardi, P. Hoffman, and D. Combs. 2009. Intake and milk production of cows fed diets that differed in dietary neutral detergent fiber and neutral detergent fiber digestibility. *Journal of Dairy Science* 92: 313-323.
- Kerley, M., G. Fahey Jr, L. Berger, J. M. Gould, and L. Baker. 1985. Alkaline hydrogen peroxide treatment unlocks energy in agricultural by-products. *Science* 230: 820-822.
- Khare, S., K. Jha, and A. Gandhi. 1995. Citric acid production from okara (soy-residue) by solid-state fermentation. *Bioresource Technology* 54: 323-325.
- Klemm, D., B. Heublein, H. P. Fink, and A. Bohn. 2005. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie International Edition* 44: 3358-3393.

Klopfenstein, T. 1978. Chemical treatment of crop residues. *Journal of Animal Science* 46: 841-848.

Kohn, R., M. Dinneen, and E. Russek-Cohen. 2005. Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs, and rats. *Journal of Animal Science* 83: 879-889.

Kononoff, P., A. Heinrichs, and H. Lehman. 2003. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86: 3343-3353.

Krause, K., D. Combs, and K. Beauchemin. 2002. Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. II. Ruminant pH and chewing activity. *Journal of Dairy Science* 85: 1947-1957.

Maeng, W., and T. Chung. 1989. Nutritive values and growth response of cattle fed ammonia treated rice straw. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*: 1-6.

Makkar, H., O. Sharma, R. Dawra, and S. Negi. 1982. Simple determination of microbial protein in rumen liquor. *Journal of Dairy Science* 65: 2170-2173.

Mansoer, Z., D. W. Reeves, and C. Wood. 1997. Suitability of sunn hemp as an alternative late-summer legume cover crop. *Soil Science Society of America Journal* 61: 246-253.

McAllister, T., H. Bae, G. Jones, and K. Cheng. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *Journal of Animal Science* 72: 3004-3018.


Mehrez, A., and E. Ørskov. 1977. A study of artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *The Journal of Agricultural Science* 88: 645-650.

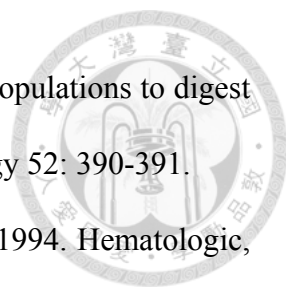
Menke, K., L. Raab, A. Salewski, H. Steingass, D. Fritz and W. Schneider. 1979. The



estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *The Journal of Agricultural Science* 93: 217-222.

- Mirzaei-Aghsaghali, A., and N. Maheri-Sis. 2008. Nutritive value of some agro-industrial by-products for ruminants-A review. *World Journal of Zoology* 3: 40-46.
- Mishra, A., O.H. Chaturvedi, A. Khali, R. Prasad, A. Santra, A.K. Misra, S. Parthasarathy, R.C. Jakhmola. 2000. Effect of sodium hydroxide and alkaline hydrogen peroxide treatment on physical and chemical characteristics and IVOMD of mustard straw. *Animal Feed Science and Technology* 84: 257-264.
- Mtui, G. Y. 2009. Recent advances in pretreatment of lignocellulosic wastes and production of value added products. *African Journal of Biotechnology* 8.
- Ngongoni, N., M. Mwale, C. Mapiye, M. T. Moyo, H. Hamudikuwanda and M. Titterton. 2007. Evaluation of cereal-legume intercropped forages for smallholder dairy production in Zimbabwe. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 19, Article #129. Retrieved August 22, 2014, from <http://www.lrrd.org/lrrd19/9/ngon19129.htm>.
- Nitipot, P., and K. Sommart. 2003. Evaluation of ruminant nutritive value of cassava starch industry by products, energy feed sources and roughages using in vitro gas production technique. In: *Proceeding of Annual Agricultural Seminar for Year*. p 27-28.
- NRC. 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*. National Academy Press, Washington, DC.
- Oba, M., and M. Allen. 1999. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on dry

- 
- matter intake and productivity of high yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science* 82: 135-142.
- Ololade, B., and D. Mowat. 1975. Influence of whole-plant barley reconstituted with sodium hydroxide on digestibility, rumen fluid and plasma metabolism of sheep. *Journal of Animal Science* 40: 351-357.
- Ørskov, E. 1993. Comparison of in vitro gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting feed intake in cattle. *Animal Feed Science and Technology* 40: 109-119.
- Pérez, J., J. Munoz-Dorado, T. de la Rubia, and J. Martinez. 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *International Microbiology* 5: 53-63.
- Ratanakhanokchai, K., R. Waeonukul, P. Pason, C. Tachaapaikoon, K. L. Kyu, K. Sakka, A. Kosugi and Y. Mori. 2013. *Paenibacillus curdlanolyticus* Strain B-6 multienzyme complex: A novel system for biomass utilization. In *Biomass Now - Cultivation and Utilization*, edited by Miodrag Darko Matovic.
- Ross, J., J. Spears, and J. Garlich. 1994. Dietary electrolyte balance effects on performance and metabolic characteristics in growing steers. *Journal of Animal Science* 72: 1842-1848.
- Russell, J. B., and J. L. Rychlik. 2001. Factors that alter rumen microbial ecology. *Science* 292: 1119-1122.
- Südekum, K. H., F. Brüsemeister, A. Schröder, and M. Stangassinger. 2006. Effects of amount of intake and stage of forage maturity on urinary allantoin excretion and estimated microbial crude protein synthesis in the rumen of steers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 90: 136-145.

- 
- Slyter, L. L. 1986. Ability of pH-selected mixed ruminal microbial populations to digest fiber at various pHs. *Applied and Environmental Microbiology* 52: 390-391.
- Stevens, J., K. Anderson, M. Correa, T. Stewart, and W. Braselton. 1994. Hematologic, blood gas, blood chemistry, and serum mineral values for a sample of clinically healthy adult goats. *Veterinary Clinical Pathology* 23: 19-24.
- Su, A.-K., and H.-C. Station. 1996. Utilization of agricultural by-products in Taiwan. <http://www.fftc.agnet.org/library/article/eb422.html>; pp. 1-6.
- Sun, R., J. Tomkinson, P. Ma, and S. Liang. 2000. Comparative study of hemicelluloses from rice straw by alkali and hydrogen peroxide treatments. *Carbohydrate Polymers* 42: 111-122.
- Sun, R., J. Tomkinson, F. Mao, and X. Sun. 2001. Physicochemical characterization of lignins from rice straw by hydrogen peroxide treatment. *Journal of Applied Polymer Science* 79: 719-732.
- Sun, Y., and J. Cheng. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology* 83: 1-11.
- Sung, H. G., Y. Kobayashi, J. Chang, A. Ha, I. H. Hwang, and J. K. Ha. 2007. Low ruminal pH reduces dietary fiber digestion via reduced microbial attachment. *Asian Australasian Journal of Animal Science*. 20: 200-207
- Tejada, M., J. Gonzalez, A. García-Martínez, and J. Parrado. 2008. Application of a green manure and green manure composted with beet vinasse on soil restoration: Effects on soil properties. *Bioresource Technology* 99: 4949-4957.
- Tilley, J., and R. Terry. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass and Forage Science* 18: 104-111.
- Tomme, P., R. Warren, and N. Gilkes. 1995. Cellulose hydrolysis by bacteria and fungi.



- Advances in Microbial Physiology 37: 1-81.
- Van der Riet, W., A. Wight, J. Cilliers, and J. Datel. 1989. Food chemical investigation of tofu and its byproduct okara. Food Chemistry 34: 193-202.
- Van Milgen, J., L. L. Berger, and M. R. Murphy. 1993. An integrated, dynamic model of feed hydration and digestion, and subsequent bacterial mass accumulation in the rumen. British Journal of Nutrition 70: 471-483.
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Cornell University Press, Ithaca, United States.
- Van Soest, P. v., J. Robertson, and B. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74: 3583-3597.
- Voigt, J., and B. Piatkowski. 1974. Untersuchungen zum Aufschluß von Getreidestroh. Archives of Animal Nutrition 24: 589-599.
- Wanapat, M., and A. Cherdthong. 2009. Use of real-time PCR technique in studying rumen cellulolytic bacteria population as affected by level of roughage in swamp buffalo. Current Microbiology 58: 294-299.
- Wanapat, M., S. Polyorach, K. Boonnop, C. Mapato, and A. Cherdthong. 2009. Effects of treating rice straw with urea or urea and calcium hydroxide upon intake, digestibility, rumen fermentation and milk yield of dairy cows. Livestock Science 125: 238-243.
- Wang, H.L., and Cavins, J.F. 1989. Yield and amino acid composition of fractions obtained during tofu production. Cereal Chemistry. 66: 359-361.
- Weimer, P. J. 1996. Why don't ruminal bacteria digest cellulose faster? Journal of Dairy Science 79: 1496-1502.

Westendorf, M. L., and J. E. Wohlt. 2002. Brewing by-products: Their use as animal feeds. *Veterinary Clinics of North America Food Animal Practice* 18: 233-252.

Wilson, R., and W. Pigden. 1964. Effect of a sodium hydroxide treatment on the utilization of wheat straw and poplar wood by rumen microorganisms. *Canadian Journal of Animal Science* 44: 122-123.

Wolin, M. J. 1960. A theoretical rumen fermentation balance. *Journal of Dairy Science* 43: 1452-1459.