

履帶式青飼收穫機之研究

Study on Track-type Forage Harvester

國立嘉義農專農業機械工程科講師

黃 清 旺

Ching-Wan Huang

摘 要

狼尾草係高經濟性高產量的高莖飼用作物，本省上千戶酪農，其收穫方面仍大部停留在人工割取階段，對發展一種同時撿拾、割取、供飼細切吹送到搬運等動作聯合一體且獨立式一貫作業組合的機械，有其市場需求。

本研究依狼尾草栽培方式及其與機械有關之生長性狀，以報廢之水稻綜合收穫機的履帶底盤做殘值之利用設計研製狼尾草青飼收穫機，並試驗改良探討其可行性。經研製分析及初步田間功能試驗結果顯示，此種獨立式聯合一體的一貫作業組合機型，不受履帶底盤掛裝限制，可換性佳。禾草的細斷長度，以進料滾筒之前進量得到最大長度數據為38.40mm，符合供飼或青貯品質要求。對飛輪刀型細切用斧刀裝配角採用30度，初步顯示應屬恰當；其動葉輪周邊速度達1,885m/min，吹送效應良好。草料細斷均度達62%，割取後整齊度在割高100mm以下佔58%，顯示本研製機型已具有60%的作業功能，應進一步研製試驗改良予以突破，做百分之九十以上的功能訴求。

Abstract

Napier grass, a tall-rough forage crop with high economic value, is one of the most important sources of feed. In harvesting, over 1000 dairy farmers in Taiwan is still cutting by hand today.

It is important to develop a Forage Combine Machine in order to satisfy the market need. According to Napier's planting method, growing character related to machine, and trade-in use of Rice Combine, the objective of study is to design for an Working Combine Forage Harvester that may finish picking up, cutting down, feeding in, chopping off, and throwing out simultaneously, and test for improvement, so as to study its functional requirements. The results are as following:

1. There are good interchangeability between independant forage harvester and power machines of different models
2. The maximum effective length of chop is 38.40mm, which is fine enough for silage or direct feed.
3. It's demonstrated in the primary field test that cutting angle of 30 degrees, and peripheral speed of impeller of 1885 m/min, is exact and effective.
4. The homogeneity of chopping length is 62%, the homogeneity of cutting Napier under 100mm is 58%, so that the working function of this machine is 60%.

一、前言

本省畜牧業快速成長，經營管理方面成果顯著，唯獨牧草收割調製作業體系上，缺乏合適之硬體配合機械化採收供飼或青貯。依七十四年版臺灣農業年報統計，牧草種植面積達 5,055 公頃，其中狼尾草佔 41.3%，且小面積栽培，年產量遠比面積佔 40.7% 的盤固草高出三倍，縱然人工收割成本甚高，對小酪農戶仍就有其吸引力，此顯示狼尾草經濟價值高，做青割收穫的機械化，在客觀環境上，已具備了潛在的市場需求。

開發一種可同時撿拾割取、供飼、細斷吹送到儲料網箱以便搬運供飼或青貯等聯合一體的單程一貫作業組合型式的機械，以適合於高莖狼尾草收穫是相當迫切的。

本省稻作機械化已達 98%，每年報廢之綜合收穫機，數量可觀，其底盤結構可資利用者如予完全拋棄，殊為可惜，本研究計畫初步開發觀點，建立在狼尾草青割的迫切需求及水稻綜合收穫機的殘值利用上，即將研製改良完成之青飼收穫作業機以獨立前置三點鏈接方式，掛裝於履帶底盤上，於行走

同時完成工作，唯一缺點是機動率差，但以經濟性能觀點，乃不失為可行的辦法。

二、材料與方法

(一)試驗材料：本研究機型之作物對象係針對狼尾草之青飼收穫，其與機械有關之性狀分析如下：

1.禾本科多年生，直立而叢生，外形及生長習性略似甘蔗，株高約 3m，如放任一年可達 4m，根深一如株高，莖葉細小柔軟，長大時粗剛並附白色蠟粉。表皮含砂份，纖維強韌，任何割刀碰上砂質，就易磨鈍。

2.以根株、莖苗及側芽繁殖，4~6 月雨季來臨為種植適期。行距 60~80cm，株距 40~50cm。草長 1.0~1.2m 適割期，或每隔 4（夏季）~8（春秋）季）遇收穫一次。一般割取之距地高 5~10cm，在割取次數較多地區，割高時，復生能力強，但過後如稍割低，影響復生，形成缺株。通常生長 3~4 年後，株間雜草入侵時，應行翻犁重種。

3.農時與化學成份，依 Hawaii, NORDEEL-DT 等研究顯示割期愈晚，蛋白質等養分含量愈低，而纖維含量愈高，如表一所示。

表一 狼尾草在 Hawaii 不同割草時期之化學成分之變化

割 草 週 次	濕 重 分 析 (%)		乾 量 分 析 (%)		T D N (%)	可 消 化 蛋白質 (%)
	蛋 白 質	粗 纖 維	蛋 白 質	粗 纖 維		
第 六 週	1.42	4.28	9.75	29.35	57.55	5.58
第 八 週	0.87	6.63	7.40	34.39	56.55	4.56
第 十 週	1.88	9.23	6.85	33.58	55.65	3.57
第 十 二 週	0.83	7.22	4.39	38.36	54.12	2.18
第 十 四 週	1.37	11.43	4.39	36.56	53.23	2.08
第 十 五 週	1.17	10.25	4.57	40.02	40.02	2.12

資料來源：Hawaii Agric. Expt. Sta. Techn. Bull. 1.3

可知農時之掌握，可得品質高之產品，對割取部、細切頭等刀具的磨耗估計也可降低，因纖維質含量與刀片磨耗量成正相關。

4.行距、品系、生產力與機械關係，依臺灣大學王啓柱教授之試驗，狼尾草以 A146、147 兩種品系產草量較高，本研究收穫以 A147 品系為主。行

距在可灌溉區且高肥力土壤，能寬至 100cm，但不灌溉區以密植為宜。行距寬窄對灌溉與否和施肥種類及多少有關，而後者為影響生產力之因素，行距與生產力關係不大，依王啓柱教授之研究，如表二所示，50cm 之行距，因肥力不同，反而增產。

表二 狼尾草不同行距與肥料種類之產草量 (公噸/公頃)

項 別	行 距 100cm				行 距 50 cm			
	有 機 肥 料		化 學 肥 料		有 機 肥 料		化 學 肥 料	
	堆 肥	鮮牛糞	N 30	N 60	堆 肥	鮮牛糞	N 30	N 60
1960-61總產量	85.0	84.1	88.0	118.0	117.9	143.1	121.0	131.3
年平均產量	42.5	42.1	44.0	59.0	58.9	71.6	60.5	65.6
指 數	N.30基數	96.6	100	134.0	133.9	162.6	137.5	149.1
	牛糞基數	59.4	61.5	82.5	82.4	100	84.6	91.7
有 機 肥 比 化 肥	82.1		100.0		103.4		100.0	

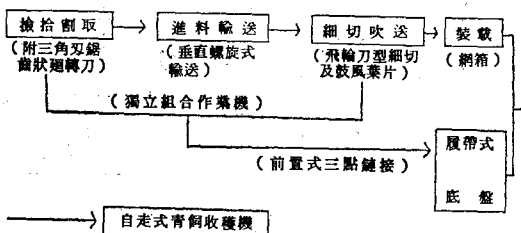
資料來源：科學農業10 (11—12)

(二)試製分析與方法

1.作業機組合型式

飼用作物的收穫有別於其他作物收穫之特質，其一，飼作係供牲畜食用，機械化不僅止於田間，應合理延伸到儲放等工程技術上；其二，收穫飼作屬於處理大量低價物料的工作，面積與機械應作調適及經濟性評估。

本省酪農戶，以狼尾草栽培而言，均屬1~2 ha小面積戶，大型機械又缺乏經濟效益，故本研究之青飼收穫機式樣，採用單程自走式，一貫作業的組合型式，包括割取同時撿拾、進料輸送、細切吹送等動作聯合一體的作業機式樣，具有獨立性並以前置式三點鏈接附掛於帶履底盤，以引擎動力經P.T.O. 傳到作業機，並以油壓控制昇降，於行走同時，完成作業。其組合流程如下：

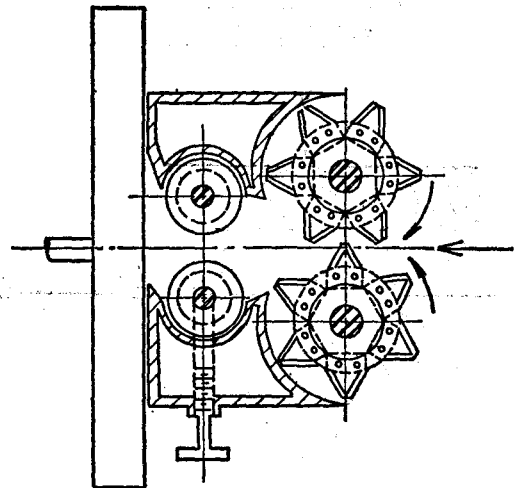


2.機構分析

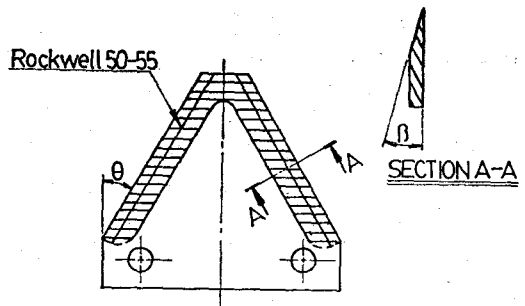
(1)割刀

一般物件切斷動作為切線與壓下二種運動之合併，其間百分比端視對象物如何而定，以狼尾草適割期之株粗程度，直立叢生不流動，則可適用切線

(迴轉)及壓下(鋸齒拉動)兩種運動，故本研究



圖一 割取部迴轉圓盤附三角鋸齒之迴轉刀



圖二 三角鋸齒刃

割刀型式採用迴轉圓盤附三角鋸齒雙的迴轉刀，如圖一、二所示，以同步反向的雙圓盤附三角鋸齒割刃研製。

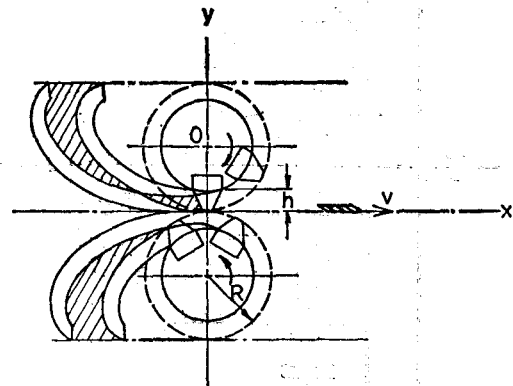
其目的擬達到：

- ①基部整齊之切割，令復生能力增強。
- ②提高割刀轉速，增加切割速度比（進饋速率 Feeder-rate）範圍，因巴里堪（Barikan）往復式受極限速度1.9m/sec之限制。
- ③針對禾草表皮矽份的適應性，於磨損後鋸齒保有鉤形（hook），不失刀片利度，符合鋸齒磨損通則，並可左右互換使用。
- ④做全面割取，理論上沒有漏割現象。

其運動方程式與軌跡如下及圖三所示

$$\left. \begin{aligned} X_a &= V_f t + R \sin \omega t \\ Y_a &= R \cos \omega t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-1)$$

V_f = 收穫機前進速度
 ω = 三角邊的角速度
 R = 三角邊尖端的迴轉半徑



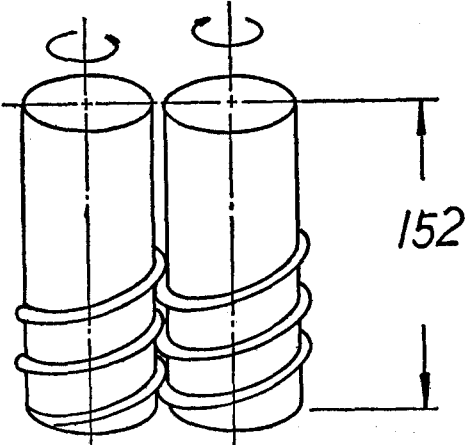
圖三 迴轉圓盤附三角鋸齒雙之運動軌跡

(2)進料輸送機構

採用左右同步且反向的垂直螺旋式滾子（Screw Feeder Roller），兩滾子周邊速率相同，左方供飼滾子並附彈簧以適應供飼壓縮的不同密度比，同時確實夾持壓牢草料，以求確實進給飛輪式切割頭細切。其型式如圖四所示。

(3)細切吹送機構

①本機構持用飛輪刀型，對主軸垂直方向，即飛輪徑向平均裝置三片斧刀，在飛輪周邊於兩斧刀間裝有三片動葉輪葉片（Impeller Blades），共計六片，於迴轉細切同時將細斷草料經排出管吹出送入



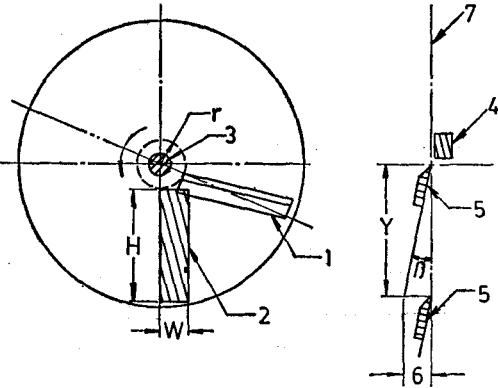
圖四 進料之垂直螺旋式滾子

裝載於底盤上所裝設之網箱。吹送拋擲作用係仰賴動葉輪葉片而非空氣之速度，飛輪外殼設計為偏心，使葉片與外殼周邊二者間之徑向間隙維持在 0.3 mm。

理論上之細切草料長度，為二斧刀間，供飼滾子供應草料之前進量的函數，即

$$L = V_f / \pi N \dots\dots\dots (2-2)$$

又依斧刀在飛輪徑向之裝配，在供應無干擾情況下，最大之理論細切長度即如 2-3 式，其裝配示意如圖五所示。



圖五 斧刀在飛輪徑向之裝配示意

$$L = \frac{y}{n} = \frac{2\pi r \tan \beta}{n} \dots\dots\dots (2-3)$$

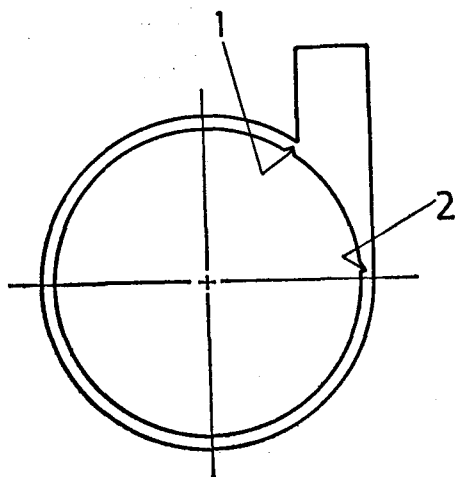
L = 最大理論細切長度（在供應無干擾情況下）
 n = 斧刀數目
 N = 飛輪每分鐘轉數

y = 兩斧刀間在以 r 為半徑的周邊距離
 $H \times W$ = 禾草細切最大斷面(機喉throat)
 r = 飛輪軸中心線到機喉內邊之距離
 β = 刀及刀架總成與旋轉平面的間隙角 (即斧刀的裝配角)

V_f = 供飼滾子的線速度

- 1、5：斧刀
- 2：最大切斷面
- 3：切割頭軸
- 4：承刀
- 6：最大理論細切長度
- 7：刀口轉動面

②葉輪拋擲禾草的流動路徑，根據 Kampf 及 Millier 二氏等之研究指出當斧刀所細切之禾草粒進入鼓風機外殼內，即被葉片所衝撞，令該草粒加速至葉片的角速度而後離心力使該草粒在葉片上向外側移動，直到該草粒觸及外殼周邊或直接由吹管送出止。如該草粒在葉片通過切風點 (cutoff)，



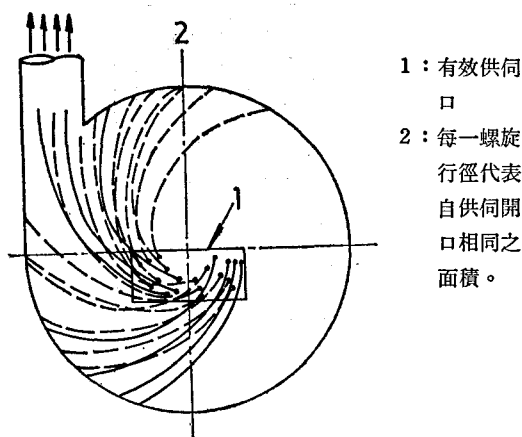
圖六 飛輪刀型附鼓風葉片之拋上點及切風點

如圖六所示，尚未到達葉片之尖端，則該草粒欲被排出前，會沿外殼周邊滑動並旋轉一週再吹出，增加摩擦損失。

1：切風點

2：拋上點

③禾草流動路徑如圖七所示，禾草粒自進入點起，經 θ 轉動角後到草粒的沿徑距離 (r)，理論上應等於草粒與葉片兩者間之初接觸半徑 (r_0)，與對轉動角 θ 的雙曲線餘弦 $[\cosh = \frac{1}{2}(e^\theta + e^{-\theta})]$ 的乘積，即如 2—4 式



- 1：有效供飼口
- 2：每一螺旋行徑代表自供飼開口相同之面積。

資料來源：Bainier, Kepner and Barger 所著

Principle of Farm Machinery

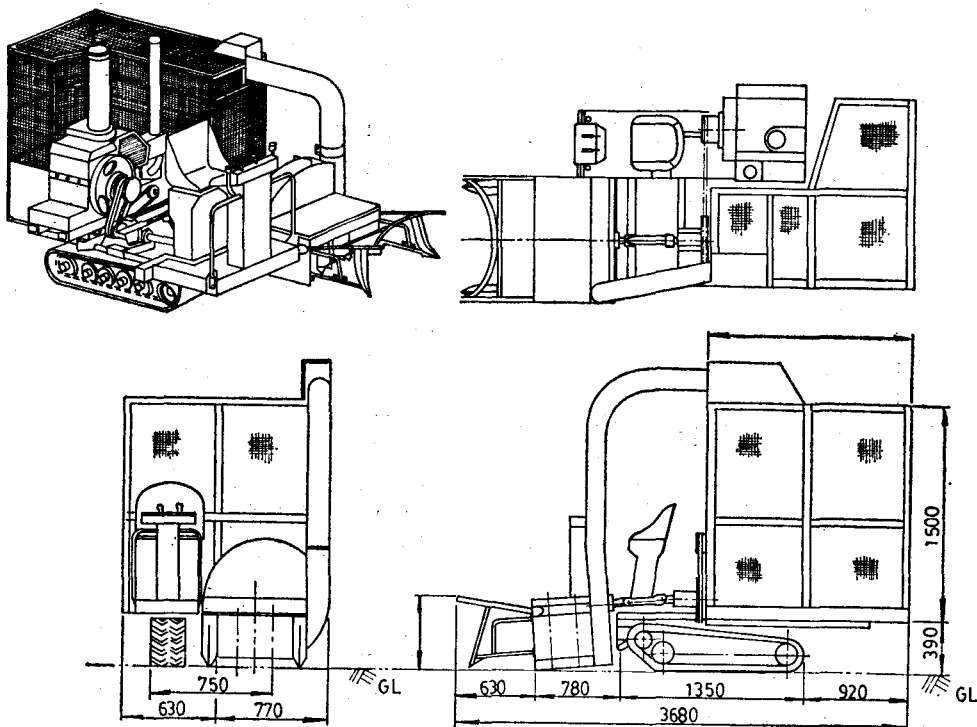
圖七 禾草粒在動葉輪內之理論流動路徑

$$r = r_0 \cosh \theta \times r_0 \times \frac{1}{2}(\ell^\theta + e^{-\theta}) \dots (2-4)$$

此式指出 r/r_0 的比率與葉輪的轉動速度，供飼率及禾草性質無關，因此假定取 r 為飛輪外殼半徑則 θ 為草粒到達周邊所需理論的轉動角度，此處空氣阻力、徑向摩擦及細切斧刀內阻力均略去。

表三 行走部規格

驅 動 方 式		橡 膠 履 帶 爬 行							
速 度 行 走		前 進 6 段，後 退 2 段							
變 速 段 數	低(m/s)	1	0.75	2	0.32	3	0.74	後	0.40
	高(m/s)	檔	0.45	檔	0.58	檔	1.34	退	0.72
履帶寬度(mm)		250							
履帶接地長度(mm)		950							
履帶中心線距離(mm)		700							



圖八 本研製完成之機型

3.研製裝配組合

(1)有關設計配置尺寸

①大明牌 TM-RC789 型水稻綜合收穫機

A. 本機

長寬高一3180mm×1870mm×2090mm

B. 行走部

規格如表三

C. 引擎

規格如表四

表四 三菱牌 M-11 型引擎規格

機	型	水冷單缸臥式四衝程
內徑×行程(mm)	92×95	
排氣量(cc)	631	
常用馬力/轉速(Ps/rpm)	8.0/2200	
最大馬力/轉速(Ps/rpm)	11.0/2200	
燃料及油箱容重(ℓ)	柴油, 11.0	
重 量(kg)	110	

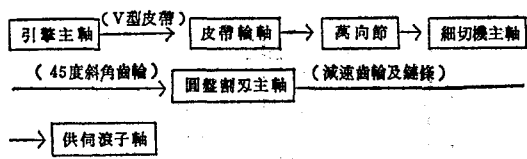
②研製型作業機設計尺寸

狼尾草適割期設定草高 1200mm，栽種行距 600mm。

表五 本研究研製之作業機設計尺寸

全長、全寬、全高(mm)		3680×1350×2050
割 取 部	割 寬(mm)	450
	迴轉雙半徑(mm)	110
	三角雙片數(支)	左右同步各 6
	轉 速(rpm)	750
進 料 部	供飼滾子外徑(mm)	110
	滾子轉數(rpm)	250
	螺旋高度(mm)	152
	滾子進料間隙(mm)	50(min)~100(max)
部	進料壓縮密度	12~6

細切及吹送部	斧刀數目 (支)	3
	動葉輪片數 (片)	6
	斧刀內端半徑 (mm)	70
	飛輪外徑	800
	斧刀裝配角 (度)	30
	吹送管內徑 (mm)	156
	驅動主軸外徑 (mm ϕ)	35
	飛輪轉數 (rpm)	750
	喉口斷面積 (mm ²)	320×50
	動葉輪周邊速度 (m/min)	1885



三、結果與討論

(一)草料細斷長度

1.依 (2-2) 式分析,就本機實際進料供飼速度

$$\pi D_f N_f = \pi \times 110 \text{mm} \phi \times 250 \text{rpm}$$

及飛輪斧刀數目與轉速下,其草料細斷長度為

$$L_p = \frac{V_f}{nN} = 38.40 \text{mm}$$

符合理論上供飼或青貯品質。據此之草料細斷長度,斧刀在飛輪上的裝配角應是

$$\beta = \tan^{-1} \frac{L}{Y} = \tan^{-1} \frac{38.40}{2\pi \times 70 / 3} = 14.67^\circ$$

但飛輪刀型斧刀由迴轉軸到內端與外端距離之不同形成內端線速度

$$V_i = \pi D_i N = 329.87 \text{m/min}$$

外端線速度

$$V_o = \pi D_o N = 1837.84 \text{m/min}$$

差異達5.57倍,此外斧刀在飛輪徑向重量分佈亦不同其慣性力矩

$$J = \frac{\sum \omega_i r_i^2}{g}$$

成二次方之懸殊,故斧刀經機喉 (throat) 時外端應先行接觸草料,其徑向裝配角,設計時應大於 $\beta = 14.67^\circ$ 。

本研製斧刀設計之裝配角採用30度,故其理論之最大細斷長度,依 (2-3) 式知

$$L_t = \frac{2\pi r \tan \beta}{n} = \frac{2\pi \times 70 \times \tan 30}{3} = 84.64 \text{mm}$$

2.草料細斷長度均度分析

於第一次田間功能初步試驗時,在裝載之儲料箱內,隨機採500節細斷草料,以0~10mm; 11~20mm; 21~29mm; 30~38mm; 39~50mm; 51~62mm; 63~74mm; 75~85mm; 86~100mm; 100mm 以上等10組,經測定統計結果如圖十一所示。

(2)研製組合型式

①研製完成之組合機型及田間初步作業功能試驗如圖八、九、十所示。

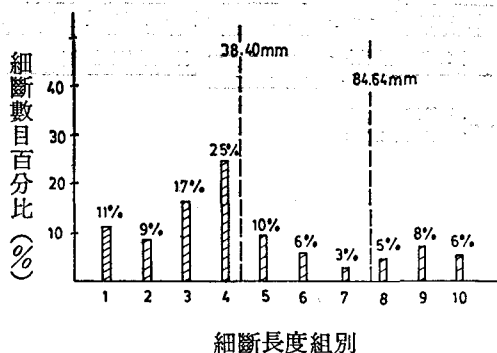


圖九 本機性能試驗



圖十 本機田間初步試驗

②動力傳導流程

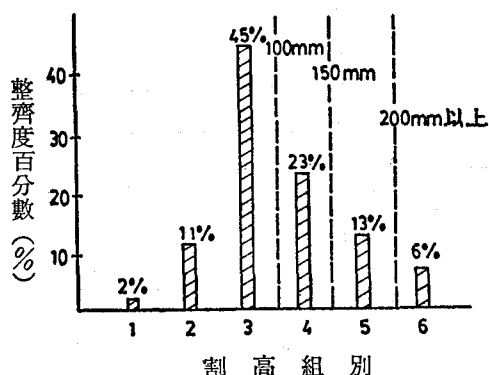


圖十一 細斷長度均度統計

可知在實際進料供飼速度下的細斷長度 38.40mm 以下佔62%，在飛輪斧刀裝配角30度的設計下，得到理論最大細斷長度 84.64mm，而超過 84.64mm，僅佔14%，表示本機進料供飼及飛輪斧刀細斷作業功能已達62%以上。

(二) 割取後狼尾草基部的整齊度

本機以 900m/hr 的速度(低速一檔)及70mm 的割高所做田間作業功能試驗觀察割取後，狼尾草基部的整齊度，以500支逢機採樣分析，並以0~30 mm；31~70mm；71~100mm；101~105mm；151~200；200mm 以上等 6 組統計，得到初步結果如圖十二所示。



圖十二 基部整齊度統計

可知在100mm以下佔58%，超過 150mm以上佔19%，顯示本機割取整齊度方面尚需做進一步分析，因田間變異因素太多，包括狼尾草栽培畦面因施用有機肥料中耕覆土關係而不平整。本機試驗時履帶部分壓過割取後之狼尾草基部，畦面、溝底形成傾斜現象，因此本資料顯示之整齊度百分數，可信度

不高，擬進一步試驗統計分析。

(三) 本研製機作業性能

1. 本機所搭載的引擎常用馬力僅 8ps，初步田間作業試驗時，即發現馬力嚴重不足，此部分擬繼續做進一步測定本作業機適當之動力，以供配備。

2. 功能試驗，在進料供飼滾筒發現有少數纏繞現象，經瞭解其夾持力不足，已予改良。

3. 使用 TM-RC789Rice Combine Harvester 的油壓缸做本作業機之升降，力量不足(本作業機淨重720kg)。

4. 割寬設計大小，且裝置時無法配合履帶距中心，應予設法克服並適應狼尾草目前一般栽培行距 60~80cm。

5. 本機行走機動性太差。

6. 割取部之性能分析，擬進一步探討，並建立基本理論資料。

7. 作業能量估算

本機以低速一檔0.25m/s之速度作業，割取部每片三角鋸齒割刃的割取行走量為

$$S = \frac{V_f}{n_1 N_1} = \frac{250 \times 60}{6 \times 750} = 3.33 \text{ mm}$$

$$\text{依據 } Ct = W \times V$$

得到之理論作業能量如表六所示。

表六 理論作業能量

項 目	作業速度 (m/s)	作業能量 (ha/hr)	每公頃 作業時間 (hr)	每片三角鋸 齒割刃的割 取行走量 (mm)
低 速	1	0.25	0.0405	24.69
	2	0.32	0.0518	19.31
	3	0.74	0.1199	08.34
高 速	1	0.45	0.0729	13.72
	2	0.58	0.0939	10.65
	3	1.34	0.2171	4.61

四、結

論

狼尾草為高經濟性飼用作物，本省一千多酪農戶其收穫方式，大部分仍停留在手工割取、捆紮運回，再以切草機細斷，費時費工，供飼或青貯極其

不便，農時更無法確實掌握。本研究初步研製初型機加以試驗，旨在將撿拾、割取、進料、細切吹送等動作聯合完成一獨立式的單程作業組合機型，並以三點鏈接前置方式掛裝於報廢的水稻綜合收穫機上，探討其組合型式及作業功能的可行性，初步研製並做作業功能試驗得到以下結果：

(一)禾草的細斷長度，以進料供飼滾筒的前進量得到最大長度的理論數據為 38.40mm，符合供飼及青貯品質要求的設計，經田間初步試驗結果有62%在此數以下，顯示本機具已具有62%的功能。

(二)獨立式作業機可與動力底盤本機分離，可換性佳。唯掛裝於履帶底盤上機動性太差，如改以寬胎低輪式底盤可增加機動率，則作業中，如儲料箱滿載後，可分離作業機，本機兼搬運車使用。

(三)飛輪刀型細切用斧刀裝配角採用30度，初步試驗結果應屬恰當。動葉輪周邊速度達 1,885m/min，吹送效應良好。

(四)狼尾草於割取後，基部之整齊度在 100mm 割高以下佔58%。

(五)由草料細斷均度及割取後整齊度顯示本研製機型已具有60%以上的作業功能，應進一步研製實驗機，做室內模擬作業試驗改良突破，以期達到百分之九十以上的功能訴求。

誌 謝

本階段研究試驗之完成，承蒙本科鮑主任其美教授悉心指導及農委會經費提供，謹申致謝忱，試驗期間，又蒙本校畜牧科李主任應煌之鼓勵及提供試驗牧草場地，本科同學黃國祥、李炫秉、黃麗華等熱心協助，此外本校李主任明仁博士之惠賜教示，謹一併致由衷之謝忱。

參考文獻

1. 關昌揚譯。1982。收穫機械。初版。徐氏。臺北。
2. 王啓柱。1981。飼用作物學。臺三版。正中。臺北。
3. 陳勝生。1981。改良式水稻綜合收穫機收割機構切割特性之研究。臺灣大學農業工程研究所碩士論文。臺北。
4. 小栗富士雄。1972。標準機械設計圖表便覽。訂正二版。臺隆。臺北。
5. 陳克紹、曹永偉。1986。感測器原理與應用技術。初版。全華。臺北。
6. 陸志鴻。1979。金屬材料試驗法。11版。正中。臺北。
7. 黃嘉。1985。稻田轉作青割玉米及牧草之檢討。中國畜牧雜誌。16卷9期。p81-64。
8. 川村 登等。1984。農作業機械學。三版。文永堂。東京。
9. 細川 明等。1985。農產機械學。三版。文永堂。東京。
10. 江崎春雄等。1985。新版農業機械學ハンドブック。農業機械學會編。コロナ社。
11. William H. Beyer. 1978. Standard Mathematical Tables. 25th Edition.
12. Kepner, R.A., and Roy Bainer., and E. L. Barger. 1978. Principle of Farm Machinery. 3th Edition.
13. Preedy, C.C., and H. R. Lissner. 1955. The Strain Gage Primer.
14. Harris Pearson Smith, A.E., and M. S. Lambert Henry Wilkes. 1976. Farm Machinery and Equipment: Forage Harvesting Equipment.
15. Claude Culpin. 1976. Farm Machinery. 9th Edition.
16. Kepner, R.A. 1952. Analysis of the Cutting Action of a Mower. Agric. Engng. 33(11).

專營土木、水利、建築等工程

鴻田營造股份有限公司

地 址：新竹縣竹北鄉十興村十興路228號

電 話：(035) 552130 • 555239