

青割狼尾草收穫機割取與切削動力之研究

A Study on the Cutting Power of Napier Harvesters

國立臺灣大學農機系教授

馮 丁 樹

Din-sue Fon

國立臺灣大學農機系研究生

范 乾 裕

C. Y. Fan

摘 要

本研究旨在針對現有的狼尾草收穫方式進行收穫動力需求的研究，以瞭解不同進料方位及進料方式對收穫所需動力的影響。進料方位包括正常位置、偏左及偏右位置等三種，而叢生進料方式則包括雙叢連續、單叢疏植及榕株等三種。

為瞭解所需動力之分佈，本研究中並分別進行圓盤刀割取試驗及綜合動力收穫試驗，搭配前面進料方式，以分離割取部份所需之動力。

由切割實驗所得資料得知，在狼尾草之收穫過程中，切割所需的動力約略低於1kW。而綜合動力試驗結果，全部所需之動力約為23kW。故切割所需之動力約僅及5%左右，餘為拋送及摩擦所需之能量。

在連續及雙叢排列之進料方式下，其所需動力均顯著受進料速率之影響。故其最佳模式為以狼尾草進料速率為主要結構。在單叢等量但採用疏、密兩種種植之方式中，其所需之動力則直接與其單株之直徑有關，與進料或移動速率間之關係則甚小。

狼尾草的實際種植方式多以連續及多叢種植。故其收穫的動力應以連續及雙叢的模式來估計，因此直接以進料速率或前進速度的大小即可預測收穫機的動力消耗。

在相同的種植支數條件之下，進料之中心方位仍以正常或原預設之位置所需之動力最小，其收穫損失率也最小。其餘較偏左或偏右的位置均需較大的動力，且其產生之損耗情形較大。

關鍵詞：狼尾草、青飼料收穫機。

ABSTRACT

Purpose of this study was to obtain the power requirements for the harvesting of Napier grass in Taiwan. Three positions such as the normal default, right and left offsets, and three types of feeding such as the continuous double-cluster, loose and dense single-clusters were under experiments to understand how they affect the consumption of power.

To further understand the distribution of the power within individual sections, the study also includes a torque check on

the rotary cutters and the power for the whole mechanisms, accompanied by the positions and types of feeding mentioned.

The results of experiments on the cutter indicate that throughout the harvest process, only less than 1 kw of power is needed for the cutting operation. with the total power consumption of about 23 kw found during the tests, the cutting power was only a small amount, or less than 5%.

For the feeding in continuous or double-cluster ways, the feed rates was found very significant in affecting the total power demand and thus was the only factor to construct an optimum prediction model. For loose and dense arrangements in single-cluster feeding, the most significant factor for the power model was then changed to the diameter of plants.

As a result, the feed rates, or consequently the field operating speeds, become the most significant factors in predicting the power consumption of a Napier harvester.

As to the different feeding positions during test, it was found that the normal default one required less power and caused less losses on the field. Other positions such as the left and right offsets will both produce inverse results under similar conditions.

KEYWORDS: Napier, forage harvester

壹、前 言

狼尾草是一種以青割草料直接供應牧場之牧草。由於其生產量較豐，一年可收穫五至六次，故在中南部被列為推廣之草料。狼尾草以青貯或青飼料為主，故其收穫情況與一般牧草略有不同。在收割過程中，通常在將其整株切割之同時，尚需將其立即切成小段，以適應牛隻之食用。切碎後之鮮草，以拖車載運至養牛場，立即餵飼，或進行青貯，以待事後再利用。

狼尾草之切割、細段及拋送等相關作業均需密切配合，方可使其動作一貫化。本研究中將探討狼尾草收穫機在收穫過程中所需之動力以及在不同收穫型式下對收穫動力所產生的影響。實驗的方法是與建凱公司共同發展成功之狼尾草收穫機，將其裝置於實驗室中，並利用臺車的移動來模擬狼尾草收穫機在田間行進的狀況。臺車上的狼尾草以不同的種植方式進行模擬，以探討不同種植型式下收穫機所需之動力研究。實驗的項目包括狼尾草切斷所需動力及狼尾草在不同種植方式時所需的動力。

本文研究之目的可歸納如下：

- (1)進料方式對動力模式的影響。
- (2)狼尾草叢的型式對於動力模式的影響。
- (3)動力模式的建立。

貳、文獻探討

第一節、狼尾草收穫機

目前國內狼尾草收穫仍停留在人工割取階段（黃嘉，1985）。由於人力逐漸缺乏，人工費用佔牧草生產總成本之48.6%，少部分酪農已自行引進歐美旁載式青割玉米收穫頭或日本自走式專用型青割玉米收穫機湊合使用。這種配合收穫玉米之收穫頭，並不一定適合國內狼尾草之收穫條件。故有些酪農引進之後，自行修改，以適合狼尾草之收割。

國內狼尾草收穫機的研究，最早為黃清旺（1987）所提出履帶式青飼收穫機。黃氏以水稻綜合收穫機的履帶底盤改裝為狼尾草專用之青飼收穫機，可收穫平均株高為 150cm 之狼尾草。

陳添福、黃清旺等人（1989）之研究認為，在刀具轉數 600 rpm，作業速度 1.5km/hr 之作

業條件下，其動力需求與植株基部斷面積成正比例。在割高 10cm 的條件之下（陳文彬、黃清旺，1989），其割後田間的宿根基部整齊度在 $\pm 5\text{mm}$ 內，轉數 450 rpm，進料滾子 115 rpm 時，非常合理穩定。

第二節、牧草的切斷作用

就一般之文獻可知：影響收穫頭功能的參數包括切刀角度、速度、形狀、承刀的形狀及間隙。切斷角大約為 30—40 度，裝配角大約是 10—20 度。切刀速度在 30m/s 時最適合一般的牧草收穫機。

皮爾遜氏 (Persson, 1987) 認為牧草收穫機的各部份的消耗能量有 85% 消耗在切割頭，另 15% 在牧草的拾取作業。而在切割頭的消耗能量中，則有 35% 在切割牧草，另有 50% 則在加速牧草。但這些比例並非定值，細斷長度較短時其消耗在切割牧草的能量比例會提高。

就牧草之切割強度而言 (O' Dogherty, 1982)，苜蓿的張力強度約為 9—36MPa，其值與含水率呈負相關，其剪力強度 (Halyk 1968)，則大約在 0.4—18 MPa，也和含水率呈負的相關性。但阿魯格母氏 (Ahlgriem, 1970) 得到的結果是 49—79 MPa，其值較前者為高。

德尼得氏 (Dernedde, 1970) 則用剪力箱量測整叢剪力強度。所得之結果是在含水率為 20% 時，其剪力強度在 25—88 MPa 之間；而含水率為 35% 時，剪力強度為 59—128 MPa。故含水率 20% 時，其剪力的強度約增加 1.45—2.36 倍。Liljedall 等人 (1961) 則認為剪力強度和含水率呈線性的關係。含水率愈高，則其所需之剪力強度也愈大。

德尼得氏 (Dernedde, 1973) 進行切割牧草研究的結果認為剪力強度約為 25—50 kPa，且切斷的長度增加時，剪力強度也隨之增加。McRandal 與 McNulty (1978) 等人進行單株黑麥草 (rye grass) 切割時，其單位截面積的切斷能量為 3.9 mJ/mm^2 而 Brighr 與 Kleis (1964) 所獲得之苜蓿單位截面積的切斷能量為 5.3—22.8 mJ/mm^2 ，其值並隨含水率的增加而減少。

Blevins 與 Hansen (1956)、Wieneke (1956)、Dernedde (1970) 等人均對植物本身與金屬面所產生之摩擦作系統之研究。其結果與動摩擦係數大致吻合。一般言，摩擦係數之增加與作物之水分含量成正比例。但在含水率達 30% 時摩擦係數會快速增加。當含水率大於 50% 時摩擦係數

增加的速度就會減緩。

第三節、切割的能量

波森氏 (Persson, 1987) 認為，由於一般的植物都含有纖維，無法視為均質，故其切割過程相當複雜，因而實在很難針對某一種作物了解其被切割的詳細過程。

切割的過程就植物的觀點而言，可以區分為塊狀切斷、切削、塑性切割、壓縮塊狀切割、局部張力切割、彎曲切割及撕切等不同之型式。但在牧草之實際切割過程中，很難判定屬於何種切割型式。就牧草的細斷部而言，壓縮後塑性切割的成份較大。牧草收穫機的雙圓盤反向割刀的切割方式可能為局部張力切割、彎曲切割及撕切等綜合作用的結果。但以上的說法只是推斷，或許在牧草收穫機的切割過程中包括上述的七種切割。由於牧草的單支的切割不以單一過程來描述，故一般都以整體的性質進行分析。

塊狀切斷必須是用剪應力進行分析。但僅能在物料均質、彈性模數固定而且割刀的速度慢時才會準確。而牧草的切割方面，以上的三條件沒有一個符合，因此分析方法不能用塊狀切斷。

實際的牧草切割方面，都會發生壓縮的情形。由細切部拋送出來的細斷牧草來判斷，幾乎所有的牧草都有被壓縮過的痕跡，由此可以斷定牧草切割的過程中有一段的過程是屬壓縮的過程。

牧草外表含有強韌纖維，而內部具有軟質時，會產生局部張力切割的前期切刀會將外部纖維往內部壓縮，纖維乃產生局部張力。當張力夠大時就可以將牧草切斷。這種切割與壓縮後塊狀切斷的情形較不容易分別。或許在牧草的切割的過程中，壓縮後塊狀切斷及局部張力切斷會同時發生，只不過是程度不同而已。

割刀及承刀的間隙大時，彎曲力矩造成牧草破壞的可能性增高。因此在間隙大時會產生彎曲切割的情形。狼尾草在反向雙圓盤切割時可能是彎曲切割及撕切的合成。這種現象可以由狼尾草切斷後的情形來說明。因為狼尾草有撕裂及破裂的現象發生。

對於牧草收穫機的研究多在於研究動力消耗與切割長度方面。而牧草的切割長度要儘可能的一致。一般切割長度的分佈多呈對數常態分佈。

本研究的目的，是針對狼尾草收穫機在不同的收穫情形之下所需動力的差異。同時並探討影響切

割力量、能量及動力消耗之諸因子。在這裏討論的包括最大的切割力量、單位重量的切割能量、切割動力消耗等。這些研究主要的目的在於改良切割裝置、切割裝置的設計及切割各種不同的牧草對於切割裝置的影響。

動力消耗的主要原因如：物料加速、物料與外殼的摩擦、空氣流的動量、機件摩擦及進料裝置的動力等等。影響切割力量及切割動力或切割能量的因子，主要為進料量及細斷長度。而就作物的性質而言，則包括含水率、作物的成熟度及作物的品種等。就操作的模式而言，則有物料進料的厚度、預壓狀況及割刀的速度等。就割刀的設計而言則有割刀寬度、刀角度、尖銳程度、刀面及刀尖的型式、切斷角裝配角及餘隙及割刀斜角等。在諸項中，影響動力的最大因子則是進料量。

波森氏認為含水率對最大切割力量只有輕微的影響。在某一些報告中，含水率愈高其單位乾基重量之切割能量也越高。但是其單位濕基的切割能量越低而且呈線性相關。

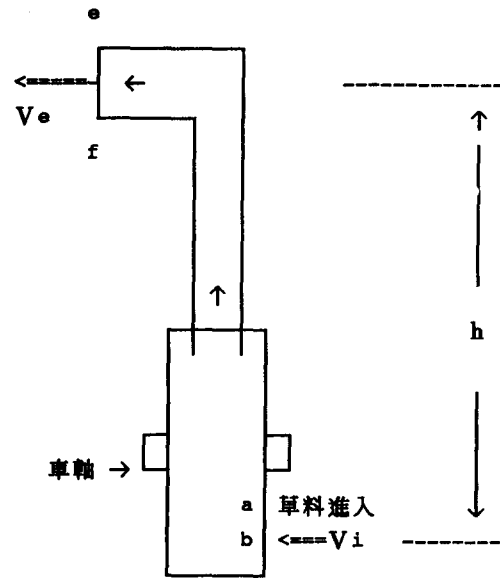
叁、理論模式推導

在一般的牧草收穫機的研究中，以單支所耗之能量較難窺及全貌。通常需採用巨觀方法方能分析狼尾草收穫機所需之動力。其原因在於狼尾草單枝的物理性質在根部及分蘗處就有相當的不同。根據黃清旺(1988)之研究，狼尾草的平均含水率的變化常由秋冬旱季的60%到夏季的90%。狼尾草的含水率不但與季節有關，而且與狼尾草的部位有關。據黃氏調查，根部含水率約為83%，而接近分蘗處的含水率約為90%。故單支討論狼尾草收穫能量較為困難。本研究乃採用整體收穫所需之能量作為討論之重點。

圖一所示為狼尾草收穫機的流程示意圖。狼尾草自入口 AB 進入。狼尾草收穫機之前進速率為 V_i ，經過拋送的作用，狼尾草升高了 h ，並且在出口 ef 處以 V_e 的速度拋出。

狼尾草收穫過程，主要是在於切斷、細斷及拋送的作用。假設在進料過程中相當順利，則挾持所需要的能量便很小。就連續進料而言，若由地面上開始，完整的狼尾草進入，經割取、細切並拋送到離地 h 的高度，且以速度 V_e 排出。

因此輸入能量減去切斷與拋送能量應等於其它消耗的能量，其方程式如下：



圖一、狼尾草收穫機之流程示意圖。

$$W_i = W_c + W_b + W_l \quad (1)$$

式中， W_i 輸入能量， W_c ：切斷能量， W_b ：拋送能量， W_l ：其它消耗能量。

若單位時間內進料 n 枝狼尾草，平均長度為 L ，細斷長度為 L_c ，則單枝細斷次數為 n_1 可以下式表示之：

$$n_1 = L/L_c \quad (2)$$

總細斷的能量則為

$$W_c = n n_1 E_c \quad (3)$$

式中， E_c 為切斷一次所需要的能量。

將切斷後之牧草往上拋送所需之能量， W_b 則可由其位能及動能之和進行計算，設單位時間之牧草進料量為 m ，則：

$$W_b = mgh + \frac{1}{2} m V_e^2 \quad (4)$$

假設整個物料之流程為連續之穩定流，並將上式(2)、(3)、及(4)式代入第一式，則輸入切割機部位之總能量可轉變如下：

$$W_l + n_1 n E_c + mgh + \frac{1}{2} m V_e^2 \quad (5)$$

整理之後可得下式：

$$W_i = W_l + n_1 [n E_c] + m [gh + \frac{1}{2} V_e^2] \quad (6)$$

由此可知單位時間所需之能量或切割機所需之馬力應與每株切斷之次數及進料量成正比。

肆、實驗設備與方法

第一節、狼尾草割取試驗

一、裝置：

本實驗僅做切割狼尾草基部的能量試驗，相關之實驗裝置係借用嘉義農專現有的狼尾草測試設備，包括測試臺及相關儀器。此批儀器係在農業委員會之研究計畫下購置。

切割能量試驗為切割裝置如圖二所示。具機座、兩個反向圓盤割刀及傳動系統。切割裝置的主軸中貼有應變規，以量測割取時的扭力。

待測之狼尾草則固定於一臺車上(圖三)。臺車之尺寸為長 203cm，寬 90cm 植深 15cm，車架裝置四個直徑 19.1cm 軌輪，並以 2ps 的無段變速馬達帶動，其轉速範圍 112-450 rpm。以模擬田間狼尾草生長的狀況及收穫機之前進情形。臺車上有木製的夾板，以固定狼尾草。每一夾板長 90cm，厚度 2.58 cm、高 15cm。在夾板上有 11 個孔，兩個孔的間距為 6cm 第六個孔到兩滾筒中心之距離為 1.4cm。

二、割取試驗之步驟

狼尾草割取時之排列，以 48 支狼尾草分為四組，每組 12 支，每 12 支為一叢種植於臺車上。其排列的方式如圖四所示。根據設定，本試驗之狼尾草叢寬為 18cm，叢距為 50cm，叢中心偏離兩個反向迴轉切刀中心 1.56cm 共計有四叢。在試驗之前將狼尾草種植的位置，標於臺車上。

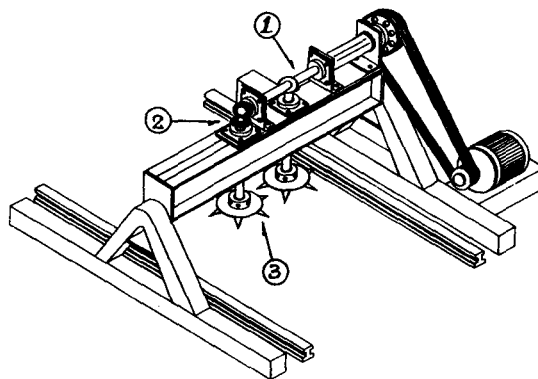
為獲得扭力及相關馬力之數值，先在切割裝置的主軸貼上應變規，並經過適當校正。當臺車與佈置於其上之狼尾草移動至切割位置時，可測得所需之扭力及當時之迴轉數。扭力與迴轉數的乘積即是根部切斷的動力消耗。

第二節、收穫機綜合試驗

在綜合試驗主要目的在探討種植型式對於同一狼尾草收穫機的影響。其所用之設備為實際田間使用之狼尾草收穫機。此機型係與建凱公司共同開發而成。全長為 1580mm、全寬為 2450mm 及全高為 3000mm。功能包括割取、進料、細切及拋送等四部份。割取裝置為同步反向圓盤附三角鋸齒刃，進料方式採同步反向雙滾筒，其外觀如圖五所示。

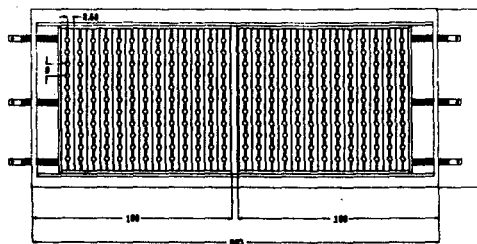
收穫動力之試驗裝置則是原來狼尾草收穫機之收穫頭加裝馬達，以進行其所需之動力測定。在馬

達與切刀傳動軸間則以應變規測定其所需之扭矩。其主要部份為切割部、拋送部及皮帶動力傳送系統。狼尾草則由臺車依所需之排列方式假植其上，並由臺車之滑動模擬狼尾草收穫機在田間實際前進時之收穫情形。

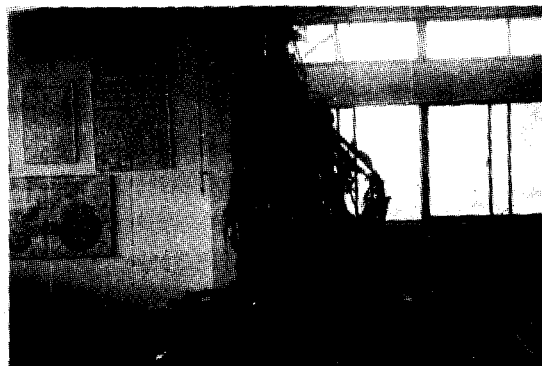


圖二、割取裝置之切削圓盤。

1-主軸，2-傘形齒輪，3-同步反向圓盤切刀。

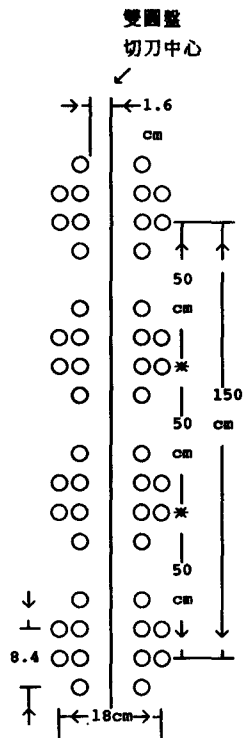


a) 臺車之相關尺寸。夾板度為 2.54 公分，夾板上有 11 孔、間距六公分。第六孔至兩滾筒中心距為 1.4 公分。



b) 臺車與待切割之狼尾草固定情形。

圖三、固定狼尾草之臺車及其相關尺寸。



圖四、進行割取試驗時之排列方式。每臺車共種四叢，叢長及叢寬分別為8.4及18公分。



圖五、狼尾草收穫測試裝置之外觀。
長×寬×高=1580×2450×300(mm)。

為量測收穫時總需要能量，動力之傳遞路線是由狼尾草收穫機的輸入軸及扭力轉換器的軸上分別裝上皮帶輪連接。收穫狼尾草時在扭力轉換器上的訊號輸到放大器及紀錄器紀錄。經過轉換之後可得收穫時的扭力，並且量取迴轉數。將所測之扭力乘以迴轉數即可得狼尾草收穫機在收穫時所須的動力。

為模擬田間狼尾草之實際種植情形及不同形式對動力之影響，室內之試驗仍採用臺車模擬的方式

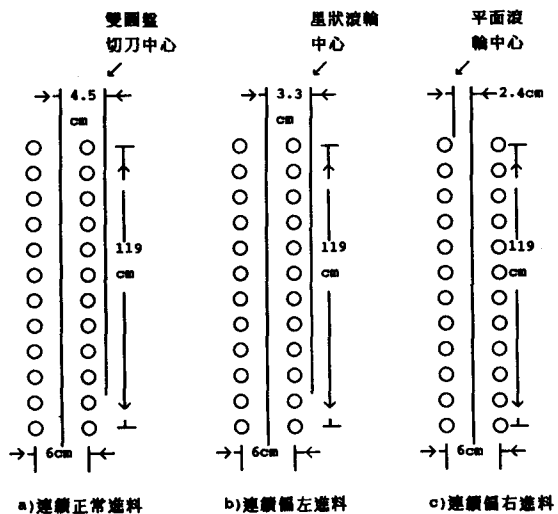
。在臺車上種植的方式依進料之連續性及進料方位分為有六種，即：

1. 連續正常進料。
2. 連續偏左進料。
3. 連續偏右進料。
4. 雙叢進料。
5. 單叢疏植料。
6. 單叢密植進料。

連續進料係將狼尾草24枝分成兩排，每排12枝，種植在臺車上，長度約為119cm。依進料位置與切削中心之位置關係可分為正常進料、偏左進料及偏右進料等三種方式進行試驗，以瞭解其對動力及切削工作所產生之影響，如圖六所示。三者間之差異只在狼尾草於臺車上橫向的平移位置。偏左進料（圖六b）是種植在收穫機星狀滾筒左外側。而偏右進料種植在平面滾筒的右外側（圖六c）。正常連續進料的種植情形則以目前常用之收穫方式為基準。

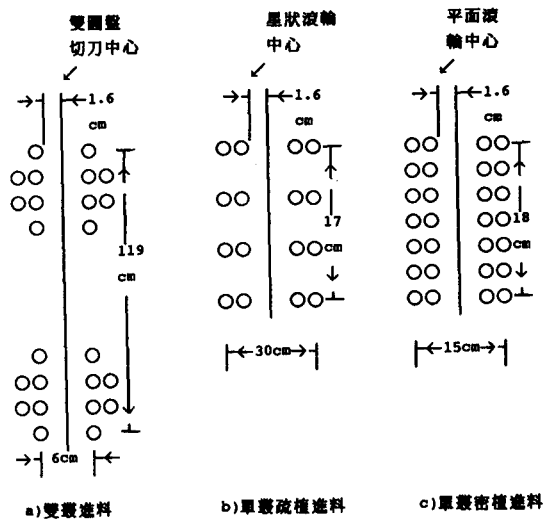
雙叢進料則是將廿四枝狼尾草分成二叢，每叢為12枝，其排列如圖七a所示。單叢進料是以24枝狼尾草為一叢，並依其分佈情形分為疏植及密植的進料方式，如圖七b及七c。其中1.6cm為偏心距離。

連續進料在台車上種植及經試驗切削後之情形如圖八所示，其狼尾草之株高為200公分。雙叢進料實際在臺車上之種植及收割後之殘留根之情形如圖八b所示。



a) 連續正常進料 b) 連續偏左進料 c) 連續偏右進料

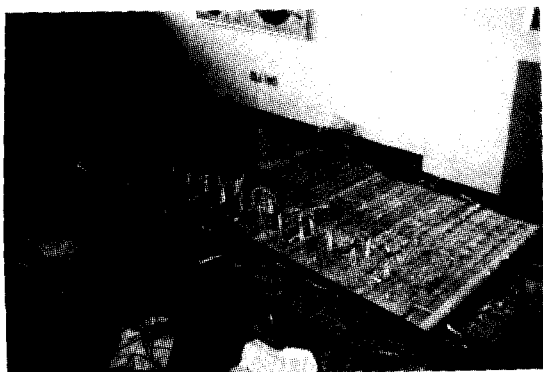
圖六、依進料與滾筒中心相關位置產生之不同排列方式。



圖七 叢式排列之切削方式。



a) 連續排列，株高約為 2m。



b) 切割後之殘留根部。

圖八、臺車上連續進料排列種及切割後的情形。

伍、結果及討論

第一節、反向雙厘盤割取的動力消耗
在割取試驗中最主要的目的就是量測切割時的

動力消耗。利用雙圓刀切割所需之動力與臺車之行進速度及切刀本身之迴轉速度相互之關係存在。表六與圖九所示為此種情況下之情形。

就整個情形而言，僅切割部份所需之馬力不及 1kW。其總平均 0.724 kW，故所需之動力甚小。臺車之速率亦為實際在田間作業時之速度。圓盤迴轉速度之快慢，對所需之動力具有決定性的影響。就圖九中所顯示之趨勢可知，迴轉速愈高，其所需之動力愈小。若就其扭力之變化而言，此種趨勢更為明顯。圓盤之迴轉速愈高，其所需之扭力愈小。主要可能因圓盤切割時，若迴轉速愈大其所獲之慣性力亦愈大之故，因而可以輕易克服切削的阻力，並獲得良好的連續動作效果。

在不同的圓盤刀迴轉速下，臺車速度對所需動力及扭力之影響則有不同的情況出現。在圓刀迴轉速低的範圍下，較快的臺車速度其所需之動力或扭力有變小的趨勢，如 700 rpm 是。但圓盤刀迴轉速在較高轉速時，此種情況之變化則相反，如 900 rpm 是。這種現象是否仍由於慣性力之緣故則無法證實。

由上述各種因素對切割作業所需之對應動力值可知，其所佔的比例仍然甚小。就整個動力消耗量而言，約僅佔 5% 而已。故在本研究中理論的分析

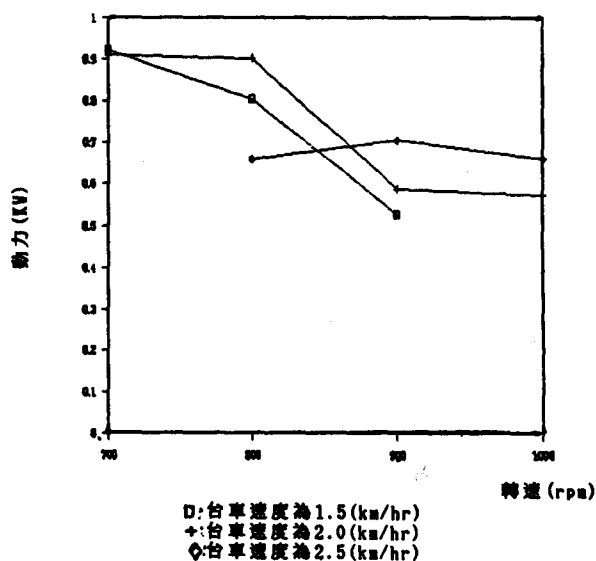
表六、不同臺車速度及所需之割取動力間的關係。

臺車速度 (kmh)	圓刀轉速 (rpm)	所需動力 (kw)	扭 力 (N.m)*
1.5	700	0.923	0.0126
	800	0.803	0.00956
	900	0.527	0.00559
	1,000	—	—
2.0	700	0.911	0.01243
	800	0.901	0.01076
	900	0.578	0.00623
	1,000	0.571	0.00545
2.5	700	—	—
	800	0.656	0.00783
	900	0.703	0.00746
	1,000	0.657	0.00627

平均 0.724

* 註：其換算公式為扭力 (N.m) = $(60) \times (kw) / [2\pi \times rpm]$ 。

部份，提到狼尾草收穫過程所包括之割取、夾持、細斷及拋送等作業中，割取部份所需之動力均假設為定值，應屬合理之事。

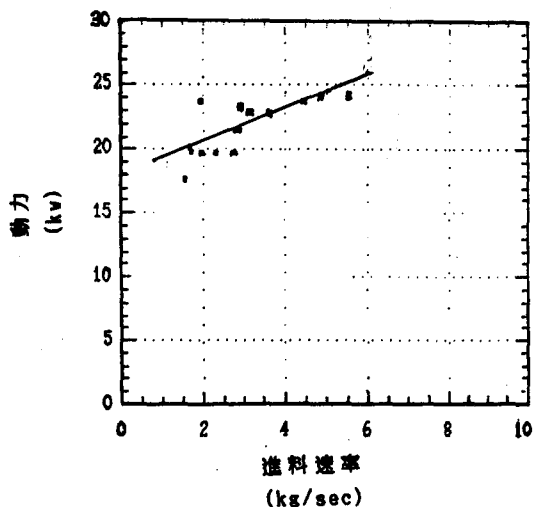


圖九 反向雙圓盤切刀的切斷動力與迴轉速間之關係。

第二節、不同進料方位之分析

一、正常進料分析及模式建立

由實驗所得進料速率、細斷次數、根部斷面直徑及含水率等四個變數對收穫動力之影響最大。故在試驗過程中，亦將就其相對應之資料進行迴歸分析。為瞭解上述各參數對整個動力需求之重要性，



圖十 正常連續進料的動力及進料速率的關係圖。

本研究乃啓用逐步迴歸 (stepwise) 分析法，以期在迴歸因子相互間複共線性高時，決定最有效的迴歸方程式。由於影響狼尾草收穫的四個因子中，其相互間可能有複共線性。如細斷次數與切刀數及進料速率有直接的關係。爲了得到最有效的迴歸方程式，所以決定用逐步迴歸分析來做爲本研究的分析方法。在本研究中係採用套裝統計軟體『統計繪圖』 (STATGRAPHICS)。

表七、正常進料不同參數及所需動力之資料。

進料速率 (Kg/秒)	細斷次數	含水率 %	基部斷面直徑 (mm)	動力 (kw)
1.24	61.80	73	12.23	20.24
1.87	57.69	77	11.56	20.68
4.84	71.60	83	17.80	26.84
4.72	82.15	74	14.70	27.28
3.97	80.10	80	12.44	25.08
1.43	68.97	67	12.37	15.40
1.76	74.14	79	12.63	19.80
3.01	82.39	81	14.43	22.88
2.85	65.93	75	13.71	23.32
4.21	83.36	75	12.72	24.20
1.27	57.87	90	12.36	11.44
2.67	70.30	83	14.68	25.08
2.79	68.05	85	13.23	25.52
2.96	76.14	84	12.43	22.88
3.07	66.11	79	12.41	22.44

在正常進料所需動力試驗中，各參數及相關值如表七所示。經以逐步迴歸方式進行分析的結果，仍以進料速率一項參數對所需動力之影響最爲顯著。其情況如圖十所示。原則上，進料速率愈高，其所需之動力需求也愈大。而其他參數如細斷次數、含水率及基部斷面直徑等則對動力之影響較微。細斷次數事實上與進料速率有相互的關係，但其與基部斷面直徑對動力之影響僅屬微量，仍未達 5% 之顯著水準。在此方面，狼尾草之含水率對動力需求之影響更小。

在進料速率每秒爲 4 公斤之情況下，無論其他參數如何變化，其所需之動力約爲 23 kW。其所形成之最佳關係模式如下：

所需動力， Y (kW) = 17.922 + 1.282x (進料速率, kg/s)

$$R^2=0.5401$$

二、偏左連續進料分析及模式的建立

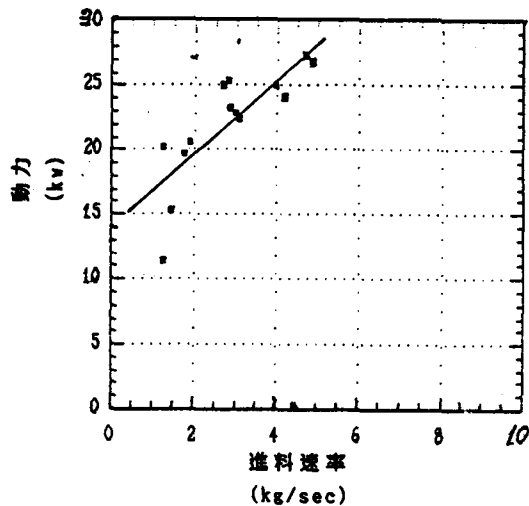
偏左進料的方式代表狼尾草收穫機在田間的行駛偏左。主要目的在與正常進料收穫動力做一比較。看看正常進料及偏左進料之間其收穫動力的模式是否有差異。偏左連續進料的模式分析方法與前節方法相同。所使用的軟體也是統計繪圖。

由圖十一可知，對動力之影響仍以進料速率一項參數最為顯著。故進料速率愈高，其所需之動力需求也愈大。這種情形與正常連續進料者略同，惟其變化率較大。而其他參數如細斷次數、含水率及基部斷面直徑等則對動力之影響亦甚微。

同樣，在進料速率每秒為 4 公斤之情況下，其所需之動力約為 25.6 kW。其所形成之最佳關係模式如下：

所需動力， Y (kW) = 13.906 + 2.918x (進料速率, kg/s)

$$R^2=0.6385$$



圖十一、偏左連續進料的動力及進料速率的關係圖

三、偏右連續進料分析及模式的建立

偏右連續進料實驗的目的在與前二節進行比較。以討論進料位置對狼尾草收穫機的動力消耗之影響。

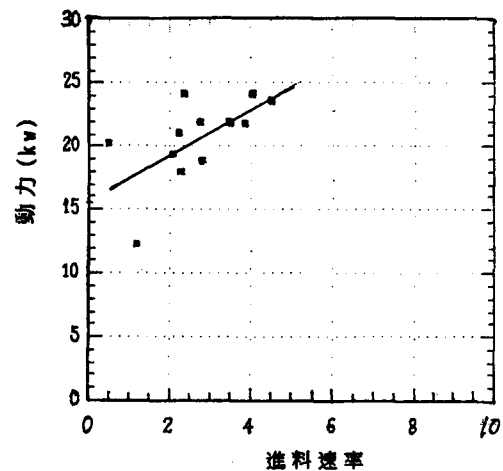
經過逐步迴歸分析之後，仍以進料速率對所需動力之影響較大，但其決定係數則較低。根據實驗現場的觀察，其主要原因可能是偏右進料時，其進料位置位於光面滾筒的外側，光面滾筒並無狼尾草抓取的功能，故在兩個滾筒間產生進料不順利的情

形。進料不順利導致扭力增加。但這種不順利的進料情形並不是每次實驗都發生，因此，造成量測資料跳動的現象，降低決定係數值。

有關需求動力與進料速率間之關係如圖十二所示。而在進料速率每秒為 4 公斤之情況下，其所需之動力約為 23 kW。其所形成之最佳關係模式如下：

所需動力， Y (kW) = 16.020 + 1.759x (進料速率, kg/s)

$$R^2=0.3262$$



圖十二 偏右連續進料的動力及進料速率的關係圖

四、三種進料方式所需動力比較

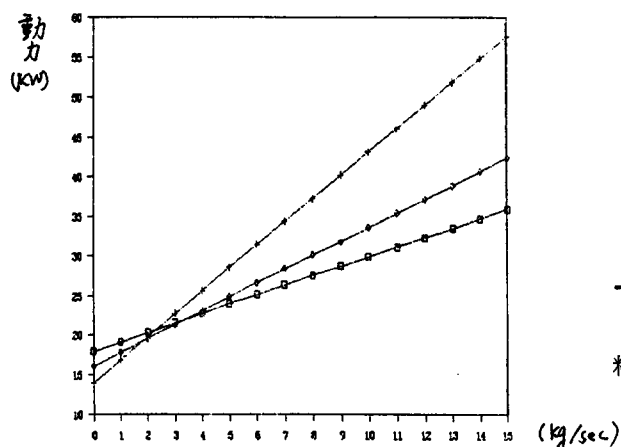
為進一步了解連續正常、偏左及偏右進料對於狼尾草收穫機的動力影響，將三種型式的迴歸方程式置於一圖中時（如圖十三），可以看出三種進料方位對所需動力之不同。在進料速率接近每秒 2.5 公斤時，三種方位所需之動力大約相等，其值約為 21 kW。進料速率高於此值時，正常進料均比其餘兩者為低。顯然在正常進料位置時，其設計之位置相當正確，故動力需求較小。而偏左及偏右的進料方式之間亦有其差異存在，其原因是反向雙滾筒的左右兩個滾筒的結構並不相同，左邊的滾筒有挾持板而右邊的滾筒沒有，即右滾筒為光面滾筒。

進料速率低於 2.5 公斤每秒時，其動力需求之情況則有相反之趨勢。原來偏左進料所需之動力為最高者，反而變為最低；而正常進料者反而維持較高之需求。由此亦可知，在正常進料時，其對進料速率之變化敏感度較低，較不會產生負載變化劇烈

的現象。表八所示為三種不同速率，即4、7及14公斤每秒下之三種進料方位所需之動力。

表八、不同進料速率下切割狼尾草時所之動力。

進料速率	收穫動力，kw		
進料方位	4 Kg/s	7 Kg/s	14 Kg/s
正常進料	23.1	26.9	35.9
偏左進料	25.6	34.3	54.8
偏右進料	23.1	28.3	40.7



圖十三 連續進料方式，不同進料方位對所需動力之迴歸比較。

+ 偏左進料 ◇ 偏右進料 □ 正常進料

第三節、叢生進料方式所需之動力分析

一、雙叢進料之動力分析

雙叢進料係將狼尾草48枝平均分置於兩叢，並採用正常進料之方式進行試驗而得之資料（如表九）。其所需之動力依然是以實驗所得進料速率、細斷次數、基部斷面直徑及含水率等四個變數來做分析。

經分析結果，在雙叢的正常進料的模式中僅剩下進料速率一項變數較為顯著，可由此構成最佳模式組合。以進料量為其變化參數之情形如圖十四。進料速率愈高其所需之動力也愈大。這是連續多叢進行試驗時，一般所顯現之情形。與正常在田間之操作情況十分類似。

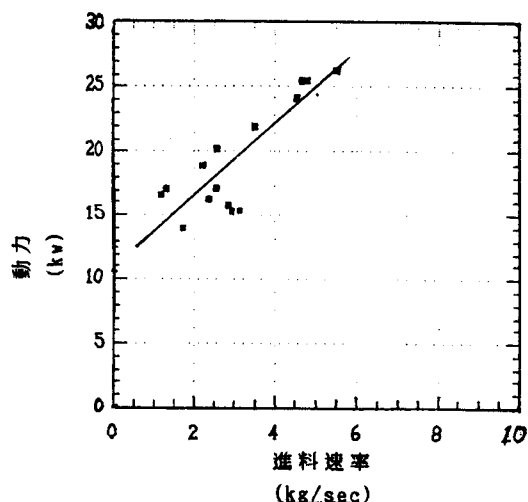
由圖十四之變化情形可知，在進料速率每秒為4公斤之情況下，其所需之動力約為22 kW。其所形成之最佳關係模式如下：

表九、正常雙叢進料方式所需之動力資料。

進料速率 (Kg/秒)	細斷次數	含水率 %	基部斷面直徑(mm)	動力 (kw)
1.31	63.20	79	13.54	17.16
1.72	75.47	79	11.97	14.08
3.13	69.88	73	14.04	15.40
4.66	64.80	78	16.50	25.52
3.52	59.34	79	12.38	22.00
2.57	87.29	85	17.57	17.16
2.36	70.55	86	13.58	16.20
2.90	66.03	73	14.89	25.84
5.51	72.80	81	16.25	26.40
4.57	77.92	79	14.20	24.20
1.20	59.33	78	11.79	16.72
2.21	63.34	80	13.06	18.92
2.94	71.15	76	13.70	15.40
2.55	61.50	84	11.33	20.24
4.77	86.28	82	14.03	25.52

所需動力，Y (kW) = 10.993 + 2.740x (進料速率，kg/s)

$$R^2 = 0.6873$$



圖十四、偏右連續進料的動力及進料速率的關係圖

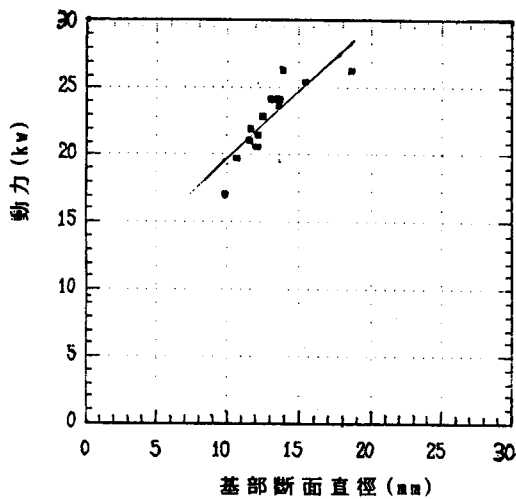
二、單叢疏植：

單叢進料並不在於模擬實際田間之狀況，而在於瞭解同樣枝數下，其生長密度對動力的影響。種植的範圍為30 cm x 17 cm。其參數仍以上述四種為主要測定對象。亦即進料速率、細斷次數、含水

率及基部斷面直徑等項目。基部斷面直徑則以每株狼尾草基部直徑之粗細為基準。在前面之多項試驗結果，基部直徑並非一個影響切割動力之主要參數。但在以單叢之試驗中，其情形則有改變。以疏植方式其所得之試驗資料如表十所示。

表十、正常單叢疏植狼尾草所需之動力資料

進料速率 (Kg/秒)	細斷次數	含水率 %	基部斷面 直徑(mm)	動力 (kw)
2.43	75.54	82	18.60	26.40
2.17	84.46	75	13.80	24.20
2.25	88.43	80	12.18	21.56
2.42	71.89	79	11.92	20.68
5.53	86.01	83	15.47	25.52
0.76	83.21	79	9.86	17.16
1.22	57.70	76	10.63	19.80
2.26	74.63	75	12.53	22.88
3.08	67.62	78	13.08	24.20
3.29	69.56	79	12.22	20.68
1.37	74.00	76	13.61	23.76
2.43	80.36	77	13.93	26.40
2.31	70.93	79	11.73	22.00
2.53	60.94	79	11.58	21.12
4.89	80.84	75	13.48	24.20



圖十五 單叢疏植所需之動力與基部斷面直徑之關係

經分析結果，獲得最佳模式之參數為基部斷面直徑。其所需動力與基部斷面直徑之關係則如圖十五所示。亦即直徑愈大，其所需之動力亦愈高。其平均值約在 23 kW 之範圍。其模式之關係式則可表示如下：

所需動力， Y (kW) = $8.778 + 1.073x$ (基部直徑，mm)

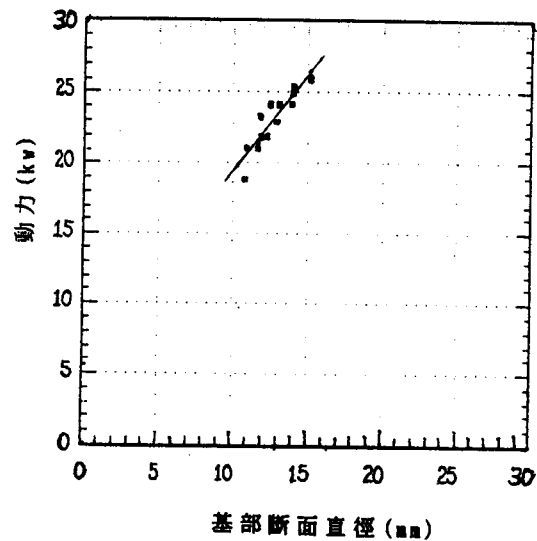
$$R^2 = 0.7252$$

三、單叢密植進料：

單叢密植仍為48枝，但固定於 15 cmx18cm 之範圍內。採正常進料方位進料。其分析用之參數仍以狼尾草之進料速率、細斷次數、根部斷面直徑影響最為顯著。其所需動力與基部斷面直徑之關係則如圖十六所示。其平均值亦在 23 kW 之範圍，但變化幅度較大。其模式之關係式則可表示如下：

所需動力， Y (kW) = $5.140 + 1.408x$ (基部直徑，mm)

$$R^2 = 0.8230$$



圖十六、單叢密植所需之動力與基部斷面直徑之關係。

四、疏植與密植所需動力之比較

表十一為不同狼尾草基部斷面直徑下所需動力之比較。以密植方式所需之動力比疏植方式為大。但在每株直徑較小的場合，其差異不大。單株直徑在 14 mm 以上時，其所需馬力相差在一 kW 以上。

表十一、不同狼尾草基部斷面直徑下所需之動力。
單株直徑 收穫動力, kW

種植密度	10 mm	12 mm	14 mm
疏植	19.5	21.7	23.8
密植	19.2	22.0	24.9

第四節、六種進料方式的損失比較

表十二中列出六種實驗種植型式的損失量及其佔總重量的百分比。由表中可以看出在偏右進料時狼尾草的田間損失會增加。而相對的狼尾草收穫所需的動力因為進料速率的減少而減少。這種現象表示在狼尾草收穫機收穫時，如行進的方向偏植株的右邊時狼尾草的田間損失會增加。

表十二、六種進料方式之損失量比較

進料方式	拋送量(kg)	損失量(g)	比例(%)
1.連續正常進料	6.36	83.97	1.3
2.連續偏左進料	6.12	144.53	2.3
3.連續偏右進料	5.96	682.63	10.3
4.雙叢進料	6.61	40.23	0.6
5.單叢疏植進料	5.61	57.70	1.0
6.單叢密植進料	5.15	72.36	1.4

陸、結 論

由切割實驗所得資料得知，在狼尾草之收穫過程中，切割所需的動力較低，約在 1 kW 以下。而整個狼尾草收穫部所需之動力約為 23 kW。職是之故，切割部份實際所佔之動力約僅及 5% 左右。

在連續及雙叢排列之進料方式下，其所需動力均顯著受進料速率變化之影響。其他因子如水分含量、細斷次數及單株之基部直徑等之影響則甚小。故其最佳模式均以狼尾草進料速率為主要變化參數。

在單叢等量但採用疏、密兩種種植之方式中，其所需之動力則直接與其單株之直徑有關，與進料或移動速率間之關係則甚小。

狼尾草的實際種植方式多以連續及多叢種植。故其收穫的動力應以連續及雙叢的模式來估計，故

直接以進料速率或前進速度的大小即可預測收穫機的動力消耗。

在相同的種植支數條件之下，進料之中心方位仍以正常或原預設之位置所需之動力最小，其收穫損失率也最小。其餘較偏左或偏右的位置均需較大的動力，且其產生之損耗情形亦較大。

柒、誌 謝

本研究承國科會之計畫補助經費編號：(NSC 79-0409-002-78) 及農委會先前計畫提供之設備，謹誌謝意。並蒙嘉義農專黃清旺副教授及研究生范乾裕先生等協助及資料整理，方得以成，一併誌謝。

捌、參考文獻

1. 王啓柱, 1975。飼用作物學。正中。p327-377。
3. 周宗武譯, 1981。農業機械學。科技圖書, 臺北。p236-237。初版。
4. 黃清旺, 1988。狼尾草機械青割收穫有關之物性研究。嘉義農專學報: 217-213。
5. 黃嘉, 1985。稻田轉作青割玉米及牧草之檢討。中國畜牧雜誌, 第十六卷, 第九期: p81-48。
6. 黃清旺, 1987。狼尾草青割收穫機之研究。中國農業工程學報。第三十三卷, 第四期。p62-81。
7. 黃清旺, 1987。履帶式青飼收穫機之研究。中國農業工程學報。第三十三卷, 第二期。p69-77。
8. 陳添福與黃清旺, 1989。雙圓盤附三角鋸齒刀同步反向之割刀收割特性試驗。紅豆出版社。
9. 傅治天、陶冶中與林定玉譯。1988。工程機率與統計。曉園出版社。p366-367。
10. 村田利男, 1971。農業トラクター 用作業機。東京博友社。改訂增版。
11. Blevins, F. Z. and J. Hansen. 1956. Analysis of forage harvester design. Agr. Eng. 37(1): 21-26,29.
12. Bright, R. E. and R. W. Kleis. 1964. Mass shear strength of haylage. Trans. ASAE 7(2): 100-101.
13. Halyk, R.M. and Hurlbut. 1968. Tensile and shear strength characteristics of alfalfa stems. Trans. ASAE 11(2): 256-257.
14. Mcrandal, K. M. and P. B. McNulty.

1978. Impact cutting behaviour of forage crops.
15. Part I. Mathematical models and Laboratory tests. Part II. Field tests. Journ. Agr. Engng. Research 23(3)313-328,329-338 London.
16. O'Dogherty, M. J. 1982. A review of research on forage chopping. NIAE Report R. 37.51 pp.
17. Persson, s., 1987. Mechanics of Cutting Plant Material. ASAE Monograph. St. Joseph, Michigan.
18. Liljedahl, J. B., G. L. Jackson. R. P. Degraff and M. E. Schoreder. 1961. Measurement of shearing energy. Agr.: 298-301.

收稿日期：民國80年 7月 6日

修正日期：民國80年 7月22日

接受日期：民國80年 9月 2日



瀚暉企業有限公司

地 址：台北市吉林路150號11F之6
電 話：(02)5223302 • 5815351