

青割牧草基本物性及懸浮速度之測定

The Measurement of Physical Properties and Suspension Velocity for Forage Grass

國立嘉義農專農業機械工程科助教

連振昌

Jenn-Chang Lian¹

摘要

本研究之目的乃是以盤古拉牧草為研究對象，首先測定盤古拉牧草莖的含水率及摩擦係數兩種基本物性，其次利用一垂直式風洞試驗裝置，以量測出不同長度的盤古拉牧草莖之懸浮速度；作為牧草青割收穫機氣力輔助輸送之設計依據。由實驗的結果，可得以下結論：

1. 適割期盤古拉草之含水率在 59.5 ~ 66.4 %。
2. 盤古拉草莖由最大靜摩擦裝置量測所得之最大靜摩擦係數為 0.51 %。
3. 由風洞試驗所得的結果；盤古拉草之長徑比 K 與懸浮速度 V_s 成反比關係，其直線迴歸方程式： $V_s = 8.662 - 0.040 * K$ 。

關鍵詞：盤古拉牧草、懸浮速度。

ABSTRACT

The agricultural material of this study is pangola grass. First, the moisture content and friction coefficient of the pangola grass were tested, and then the suspension velocity of pangola grass with different length was measured by a vertical wind tunnel equipment. The experimental results are used as a design basis for forage harvester. The conclusions were shown as following:

1. The moisture content of pangola grass for harvest is between 59.5 ~ 66.4 %.
2. The maximum friction coefficient of pangola stem is 0.51.
3. The experimental data of wind tunnel test were analyzed by linear regression and the experimental formula was

$$V_s = 8.662 - 0.040 * K$$

Where K is the ratio of length to diameter of pangola stem, V_s is the suspension velocity.

Keywords: Pangola grass, Suspension velocity.

¹ Teaching Assistant, Department of Agricultural Machinery Engineering, National Chia-yi Institute of Agriculture.

一、前言

農業產品實施風選清除雜物、氣力傳送 (Pneumatic Transport) 等作業過程當中，懸浮速度 (Suspension Velocity) 或稱為終端速度 (Terminal Velocity) 扮演著一個非常重要角色，另外其基本物性如：含水率、摩擦係數等，均必須瞭解及研究以作為機器優化設計之準則。

影響農業產品懸浮速度的因素非常多；如產品的密度、體積、形狀、投影面積、表面粗糙特性等皆是，而這些當中許多因素是相互影響。這種現象造成這方面研究相當困難⁽¹⁾。

本基本物性及懸浮速度研究之對象為盤古拉牧草 (Pangola Grass)，此牧草原產於南非洲南迴歸線一帶，植株由匍匐、偃伏至直立，為多年生禾本科，莖上之節可生根，向四方延伸，株高 60 ~ 120 公分，葉長 5 ~ 7 公分。最適熱帶及副熱帶、高溫多雨之地區，在臺灣於海平面 1,000 公尺以下皆能生長，一般採用無性繁殖，以 2 ~ 3 節切莖作為種苗繁殖。開淺溝扦插，行距 30 ~ 50 公分、株距 25 ~ 50 公分，插植 30 ~ 45 天可青割一次，以促進覆蓋力，抑制雜草，每年每公頃鮮草產量 80 ~ 200 公噸⁽²⁾。

二、文獻回顧

Menzies 等人使用直立風洞裝置，量測不同長度的苜蓿草莖之懸浮速度及拉曳係數，發現草莖重量與速度平方成正比⁽¹⁰⁾。Keck 等人以光遮斷法技術，分別量測苜蓿草 (Alfalfa) 及玫瑰花 (Rose) 種子自由落體時之時間，經數學運算求出拉曳力 (Drag Force) 及終端速度⁽⁹⁾。Halle 曾利用直立風洞裝置，研究馬鈴薯及石塊的氣體動力性質，結果發現馬鈴薯及石塊的重量面積比與終端速度呈線性關係，而與外形因素關係不大⁽⁸⁾。盛君利用一直立式風洞裝置，配合相機重覆曝光方式，攝取測試物品的水平與垂直位移，水平位移用來檢視樣品是否在有效的均流區內，垂直位移用來估算速度，計算出落花生之終端速度⁽¹⁾。

研究牧草之懸浮速度對於藉氣力輔助輸送的牧草青割收穫機有其必要性^(4,5)，因為物料在輸送管內的輸送速度必須大於物料的懸浮速度或終

端速度⁽⁶⁾。

本研究之目的乃是以盤古拉牧草為研究對象，測定盤古拉牧草莖的含水率及摩擦係數兩種基本物性，其次利用一垂直式風洞試驗裝置，以量測出不同長度的盤古拉牧草莖之懸浮速度；以作為牧草青割收穫機氣力輔助輸送之設計依據。

三、理論探討

3-1 含水率及摩擦係數

農產品屬於生物材料，由細胞組成，細胞生長狀況隨季節、氣溫、土壤、培肥管理而有差異；故農產品的水份含量均存在差異性。對青割牧草而言，含水率除為影響其調製作業與品質之重要因素外，另外在細斷與氣力輔助吹送 (Blowing) 過程中也有相當之影響，牧草含水率高，重量增加，在細斷時由於切斷及傳輸過程中產生撞擊，漿狀水份因而提高，如此不僅妨礙細斷牧草之氣力輸送，而且機件旋轉打滑及機械腐蝕程度亦相對增加，作業功能降低。本研究以溼基含水率來表示，其計算式為：

$$\text{溼基含水率 w.b. \%} = \frac{\text{水份重量}}{\text{溼物質重量}} \times 100 \% \dots\dots\dots (1)$$

牧草細斷後，受氣力輔助輸送作用沿定置之弧形投擲管路向外吹送，此時細斷草料與弧形投擲管壁會產生摩擦效應，此種摩擦必定吸收可觀的動能造成動力無謂損失，因此必須知曉細斷草料與弧形投擲管壁產生的摩擦係數，以估算由摩擦效應所損失之動力。本研究以最大靜摩擦角測定裝置，量測出最大靜摩擦角 ϕ ，由圖 1. 所示之自由體圖，即可由 2. 式計算出摩擦係數 f:

$$N = W \cos \phi, F = W \sin \phi \\ f = F/N = \tan \phi \dots\dots\dots (2)$$

式中 W: 為草料的重量；N: 接觸面法向力；F: 接觸面摩擦力

3-2 終端速度 V_t 或懸浮速度 V_s

當一物體自高處自由落入流體時，在重力影響下，將會加速度行進，因此物體速度亦增加，同時拉曳力也會增加，經過一段時間，最後的速度會達到一個定值，作等速運動，加速度為零，拉曳力、浮力、重力等作用於物體的合力達平衡狀態，此時之速度稱之為終端速度，如圖 2-A 所示

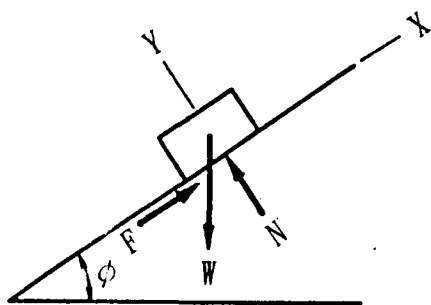
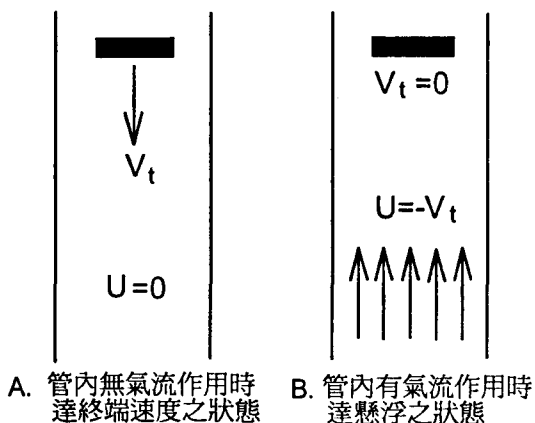


圖 1. 滑動開始時之自由體圖

(1.3.7), 亦即終端速度為落體之最大速度, 反過來說如流體的速度 U 作用在物體上, 使物體達懸浮狀態, 則此時流體速度 U 相當於物體上, 使物體達懸浮狀態, 則此時流體速度 U 相當於物體之終端速度或稱懸浮速度如圖 2-B 所示⁽¹²⁾。

又由於產品的幾何特性影響終端速度極大, 而最大垂直投影面積 A 為重要的幾何因子; 進行氣體動力特性實驗時, 最穩定的方向為受拉曳力最大的方向, 即垂直投影面積在流場方向上最大⁽¹¹⁾, 基於此因, 以盤古拉草而言; 其草葉最大的斷面積比起草莖大甚多, 於氣力輸送時其拉曳力較大, 亦即較容易輸送, 因此實驗量測時, 以盤古拉草莖為主體。



A. 管內無氣流作用時達終端速度之狀態 B. 管內有氣流作用時達懸浮之狀態

圖 2. 草莖在風洞管內 (A) 無氣流作用與 (B) 受氣流作用的狀態

四、試驗裝置與方法

(一) 試驗裝置

本試驗研究所使用之設備及裝置計有：

1. ADVANTEC FC-610 強制循環定溫烘箱。
2. 最大靜摩擦角測定裝置, 其示意圖如圖 3. 所示。

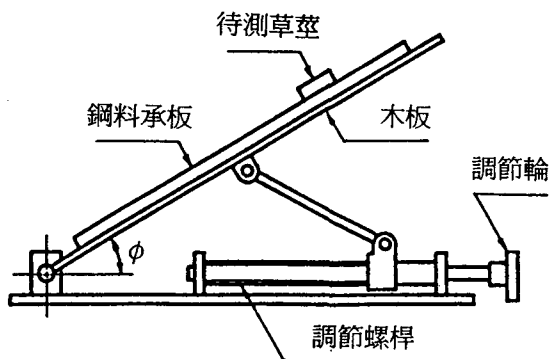


圖 3. 最大靜摩擦角測定裝置示意圖

3. 懸浮速度測定裝置

圖 4. 為試驗裝置之示意圖, 懸浮速度測定裝置由鼓風機、調速器、氣流整流器與承網、活動套管、及風速計所組成, 鼓風機之送風口直徑為 5.5 公分, 可提供草莖在透明壓克力管中懸浮之風源。調速器為一可由 0 伏特到 140 伏特之可變變

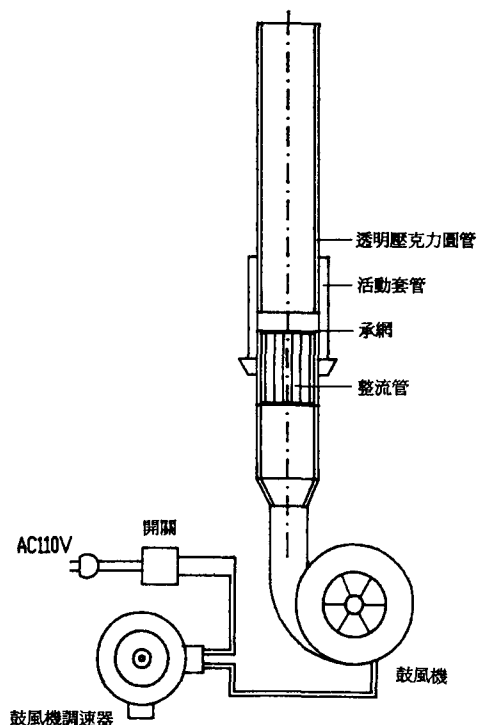


圖 4. 為試驗裝置之示意圖

壓器，利用電壓大小改變轉速而得到不同之鼓風量，鼓風機氣流吹入擴管中，初期發生紊流，為能有穩定之氣流，乃以長度 25 公分，內徑為 9mm ϕ 的薄銅圓管，紮成一束置入擴管與透明壓克力管交接處作為氣流整流用之整流器；並在其上安置一承網以防止下落之草莖落入整流管中，承網網目之大小，依草莖直徑大小選定，本試驗採用 0.8mm 孔徑，厚度 0.1mm 之銅網目篩。把活動套管往上扶開，即可取出掉落承網上的草莖，試驗時，當取樣草莖呈懸浮狀態，型式 Testo-452 的風速計置於透明壓克力管上方，量測透明壓克力管內之風速，即可獲得懸浮速度。

(一) 試驗方法

4-2-1 含水率

於適期盤古拉牧草之田間中抽樣取樣，裁剪取樣草料，先以電子秤秤鋁質罐重量，再將取樣草料 $15 \pm 2.0g$ 放置於鋁質罐內，秤其重量後，把鋁質罐放置於 $105 \sim 110^\circ C$ 的定溫烘箱中加熱乾燥 24 小時，取出後移入乾燥器中冷卻至與電子秤環境相同之溫度，秤其乾物重量，如此即可得到水份重量，扣除鋁質罐重量，代入(1)式計算溼基含水率。

4-2-2 摩擦係數

將取樣之盤古拉草莖，靜置於承板上，草莖之軸向分別與滑動方向垂直及水平兩種方向作量測，如圖 5. 示意圖。轉動調節輪，使承板提升，直到留置於承板上的盤古拉草莖待測物開始下滑瞬間，停止轉動調節輪，以角度儀量取此時之仰角，即可得最大靜摩擦角 ϕ ，代入(2)式算出摩擦係數 f 。

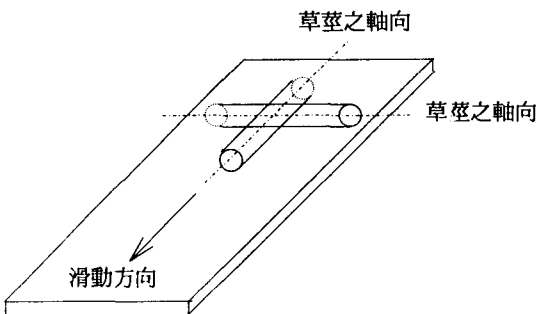


圖 5. 盤古拉草莖最大靜摩擦角試驗示意圖

4-2-3 懸浮速度

1. 以剪刀裁剪四種不同長度的草莖，量取其長度 L_i 、重量 W_i 及平均直徑 d_0 ，並加以編號，草料體積約略以圓柱體體積 V_i 計算，長徑比 K 、投影面積 A 、草料密度 ζ ，亦皆可計算得到。
2. 往上扶開活動套管，將不同長度的取樣草莖，以夾子夾取置於承網上，慢慢調整鼓風機調速器，增加透明壓克力管內氣流速度，直到取樣草莖懸浮於透明壓克力管內為止，此時以風速計量測管內氣流速度而得懸浮速度 V_s 。整個實驗流程，如圖 6. 所示。

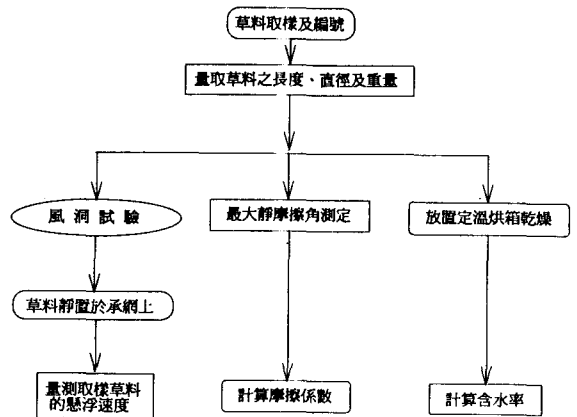


圖 6. 實驗流程圖

五、結果與討論

(一) 含水率及摩擦係數

盤古拉牧草的水份含量隨季節、土壤、培肥管理等因素的不同而有差異，牧草含水率愈高，重量愈重，對氣力輔助輸送效應而言，也就愈不利。就本省而言，夏季時，高溫濕潤，雨量豐沛，生育快速，是故牧草的含水率均較冬季時為高。表 1. 為在 11 ~ 12 月份期間，不同田間取樣的盤古拉草莖量測所得之含水率，由表中吾人可看出其含水率在 59.5 ~ 66.4 %

牧草青割細斷後，在氣力輸送過程中，細斷草莖與投擲管內表面金屬間之摩擦效應所消耗之能量，為動力的損失部份，一般為減少動力損失，通常投擲管路製作成弧形管，以避免草料積壓堵塞，且投擲管內壁金屬表面儘可能光滑，以

表 1. 盤古拉草莖之含水率

區號別	濕物重		乾物重		含水率 (%)
	鋁質罐重 (g)	鋁質罐重 (g)	鋁質罐重 (g)	鋁質罐重 (g)	
A1	8.4	22.2	13.2	65.2	
A2	8.3	20.9	12.6	65.8	
A3	8.2	22.4	13.3	64.0	
A4	8.1	20.7	12.4	65.8	
A5	8.3	25.4	14.5	63.7	
B1	8.3	21.4	12.7	66.4	
B2	8.5	25.4	14.3	65.9	
B3	8.2	22.6	13.5	63.2	
B4	8.4	25.5	14.7	63.1	
B5	8.4	25.8	14.4	65.5	
C1	8.2	27.5	14.8	65.8	
C2	8.2	22.0	13.1	64.5	
C3	8.3	23.6	14.2	61.4	
C4	8.1	23.5	13.8	62.9	
C5	7.9	20.5	13.0	59.5	
D1	8.2	25.5	14.7	62.4	
D2	7.9	26.5	14.7	63.4	
D3	7.9	23.0	13.3	64.2	
D4	8.2	22.6	13.7	61.8	
D5	8.3	24.0	13.8	64.9	

降低摩擦效應，減少無謂的動力損失。表 2. 為以最大靜摩擦角裝置量測所得盤古拉草莖之摩擦係數，表中可看出草莖之軸向與滑動方向在水平時之摩擦係數較垂直時為高，這是因為草莖之軸向與滑動方向在垂直時，草莖下滑瞬間，有滑動及滾動效應產生，而當草莖之軸向與滑動方向在水平時，草莖下滑瞬間，僅有滑動效應，因此可推知草莖之軸向與滑動方向在水平時之摩擦係數較垂直時為高。

表 2. 盤古拉草莖之摩擦係數

編 號	最大靜摩擦角 ϕ	
	草莖之軸向與滑動方向垂直時	草莖之軸向與滑動方向平行時
01	20.5	31.5
02	25.0	27.0
03	18.5	33.0
04	17.5	24.0
05	23.5	22.5
06	15.5	26.0
07	18.0	30.5
08	21.5	25.5
09	16.5	23.5
10	17.0	27.5
11	22.5	24.5
12	18.5	29.5
最大靜摩擦角平均值 ϕ	19.2	27.1
靜摩擦係數 = $\tan \phi$	0.36	0.51

(二) 盤古拉草之懸浮速度

測試物的懸浮速度與其本身的幾何及物理特性有很密切之關係，影響的因子有測試物之形狀、重量、體積、密度、投影面積等，本試驗採用 40、50、60、70mm 四種不同長度的盤古拉草莖進行試驗，表 3. 為盤古拉草取樣草莖之幾何及

表 3. 盤古拉草取樣草莖之幾何及物理特性

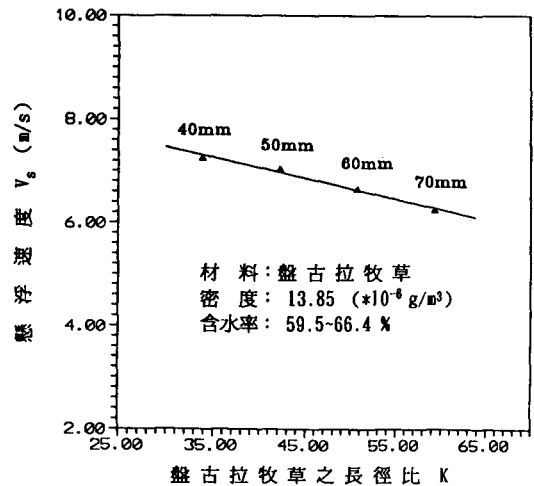
編號	草料取樣長 L_i (mm)	長徑比 $K=L_i/d_0$	投影面積 A_i ($10^{-5}m^2$)	草料取樣重 W_i (g)	草料取樣體積 V_i ($10^{-6}m^3$)	草料取樣密度 ρ_p ($\pm 10^{-6}g/m^3$)
E01	70	59.3	8.26	1.06	7.65	13.85
E02						
E03						
E04						
E05						
E06	60	50.8	7.08	0.91	6.56	
E07						
E08						
E09						
E10	50	42.4	5.90	0.76	5.47	
E11						
E12						
E12	40	33.9	4.72	0.61	4.37	

(註)表中計算關係為取樣總長 $L_0=198$ mm，取樣總重 $W_0=3.0$ g，草料平均直徑 $d_0=1.18$ mm，草料取樣重 W_i ($W_0 \cdot L_i$) / L_0 。

物理特性。表 4. 為盤古拉草莖以風洞試驗量測所得之懸浮速度 V_s ，表中的懸浮速度 V_s 為 6 次的量測值，扣除最大及最小值後總合之平均值。圖 7. 為盤古拉草莖的長莖比 K 對懸浮速度 $V_s = 8.662 - 0.040 \cdot K$ ，圖中可看出懸浮速度 V_s 與草莖長莖比 K 成反比關係，亦即懸浮速度 V_s 隨草莖長莖比 K 的增加而減小，由表 4. 中可知這是因為較小的長莖比 K ，會有較小的草莖投影面積 A ，因而產生較小的拉曳力 D (Drag Force)，所得的懸浮速度 V_s 當然也就較高。

表 4. 盤古拉草莖之懸浮速度 V_s

草料取樣長 L_i (mm)	長徑比 $K=L_i/d_0$	投影面積 A_i ($10^{-5}m^2$)	懸浮速度 V_s (m/sec)
70	59.3	8.26	6.25
60	50.8	7.08	6.65
50	42.3	5.90	7.04
40	33.9	4.72	7.25



直線迴歸方程式 $V_s = 8.662 - 0.040 \cdot K$

圖 7. 為盤古拉草長莖比 K 對懸浮速度 V_s 之關係