

乳牛舍風扇配置對動物佔據區空氣流之影響

Effect of Mixing Fan Installation on Airflow of Animal Occupation Zone for Dairy Barn

國立宜蘭技術學院土木工程系副教授

國立台灣大學農業工程學系教授

喻 新

王 鼎 盛

Hsin Yu

Tin-Sen Wang

摘 要

乳牛舍在台灣夏季因受高溫環境之熱緊迫而使產量降低，以風扇通風造成動物對流散熱為開放式乳牛舍主要之環境控制方法。但是如何決定風扇之配置方式以達到最佳之通風與降溫效果，則須予以確定。本研究利用乳牛舍現場試驗，以確定風扇在不同設置高度、對水平面不同傾角時之通風效果。由實驗結果顯示，風扇高度在260cm至350cm之間變化時，風扇傾角在 10° 至 30° 之間變化可得到較大之地面風速及較大之適宜風速（0.5m/s至1.0m/s）涵蓋面積。此外，實驗之地面風速與噴流理論模擬之地面風速相當一致，顯示風扇所造成之流場可以理論模擬。未來應以機械通風設備配合蒸發降溫系統達到更有效改善乳牛舍夏季高溫問題，風扇自動控制系統及理論模式模擬可使乳牛舍環境管理朝向自動化與精確化。

關鍵詞：通風，風扇，空氣流，噴流，動物佔據區。

ABSTRACT

The milk yield of dairy decrease during the summer in Taiwan because of the heat stress. The method using mixing fan to form convection cooling of animals is the main environmental control technique in open-type dairy barn. The installation method of mixing fan should be concluded to reach the best ventilation and cooling efficiency. This project evaluated the efficiency of mixing fan with different height and inclined angle from horizontal by experiments in dairy barn. The results showed the maximum floor area-averaged velocity and the maximum covered area of appropriate floor airspeed (0.5m/s to 1.0m/s) existed while the variation of fan height between 260cm and 350cm with the inclined angle between 10° and 30° . The jet airflow field from mixing fan could be simulated by analysis method resulted in the coincidence between simulated floor

airspeed and experimental data. Future study of using mechanical ventilation facility with evaporative cooling system to effectively improve the thermal environment during summer at dairy barn should proceed. Automatic control of mixing fan and theoretical simulation of airflow filed at dairy barn should also be induced.

Keywords: Ventilation, Fan, Airflow, Jet, Animal occupation zone.

一、前 言

(一) 動機

台灣因位於亞熱帶氣候地區，農業生產多依賴自然環境，而受到外氣候之影響。酪農生產雖然應用農業設施之建築為圈養環境，但多為開放形式（open-type）之畜舍，與日本，歐美等溫帶國家之密閉形式（close-type）不盡相同。此種開放形式之畜舍除以建築造型配合日照、地形、風向等條件而形成適宜之生產環境外，在自然氣候條件不佳時，亦需依賴人為手段創造良好之室內環境，其中風扇為機械通風系統中最重要的控制通風、換氣以及降溫之方式。

目前台灣乳牛舍之機械通風系統多為固定高度、固定方向與固定角度之風扇設施。風扇系統在設置時，主要考量為吹襲動物體表，以達到對流散熱之效果，而並未考量風扇方向與外部氣候（風向、風速等）之關係，亦未考慮風扇位置、角度與方向對吹風面積、地面最大風速與換氣量之影響。

依據國外學者之研究顯示，畜舍內動物佔據區應有適宜之地板風速，否則對動物會造成不適感；並建議畜舍地面風速在夏季（不論日間或夜間）為 0.4 至 1.5m/s，其他季節為 0.2 至 0.4m/s（Ogilvie et al., 1988；Ogilvie, 1995）。此外，畜舍之最低換氣量亦應達到 5ACH（Air Change per Hour），才能維持畜舍內良好之空氣品質（Zhang, 1991）。故如何決定風扇位置、角度及方向，才能配合外部氣候之影響，達到最佳通風與降溫效果，以及畜舍換氣功能，是本研究擬解決之課題。

(二) 文獻探討

在自然通風的狀況時，建築物的各邊對相同風向的風壓力即有差異，若風向轉變時，建築物各方向風壓亦隨之變化，而以垂直風向之受風面風壓最大（Baturin, 1978）。

Vladimirova et al. (1996) 曾經測試遮蔭程度、風速與風向對模型蔭棚內氣溫之影響，其結果顯示日輻射對蔭棚內氣溫之影響超過遮蔭程度、風速與風向等。但是在相同條件下，風向平行蔭棚時，內氣溫最低。

依據日本之經驗（財團法人畜產技術協會，1996），若能將乳牛舍風扇之設置方向沿外部風向調整成同一方向，舍內空氣會隨風扇之朝向而大量溢出，達到充分換氣之效果。上述研究成果對乳牛舍建築及風扇設置方向與當地自然風向之關係，極具參考價值。

對農業設施內之機械通風試驗，Bottcher et al. (1995a) 發現改變雞舍內風扇的高度及傾角，可將風扇所造成氣流射入地面後轉向成為沿地面前進之氣流，並有助於地面最大風速值、風速分佈範圍以及區域平均風速值的改變，而可達到需求之通風效果。在風扇傾角低於 20° 時，區域平均風速隨風扇高度增加而減少，隨傾角增加而增加。

Bottcher et al. (1995b) 亦比較垂直方向及水平方向風扇對雞舍通風之效果，除了瞭解地面風速變化情形外，並比較雞隻平均體重、飼料換肉率及死亡率；結果以風扇垂直吹向地面有較低死亡率，但飼料換肉率較低，雞隻平均體重變化並不明顯，但可減少畜舍熱緊迫。此外，雞隻群集風扇下方及可變風扇速率是值得注意之研究方向。

日本近來對自由牛欄（free-stall）牛舍以風扇吹乾地面設置方式之研究為主題（Ikeguchi,

1998)，風扇軸線對水平線之傾角包括 45°、60° 及 90°，結果顯示風扇傾角以 45° 較佳，此時之風扇設置間距應為 6 倍風扇之直徑。本研究同時以無因次分析及實驗結果找出地面最大風速與風扇噴流衝擊地面點距離之關係式及其參數，可對風扇機械通風之效果從事理論分析與模擬。

(三) 噴流理論分析

本省乳牛舍多為利用自然通風的開放型乳牛舍，但在夏季高溫時期亦利用風扇之機械通風系統作為降溫換氣之環境控制方式。風扇所造成之噴流會衝擊地面而形成沿地面前進之流場如圖 1 所示 (Zhivov, 1993)。

整個流場可大致分為三個區域：自由噴流 (free jet)、衝擊區 (Impingement region) 與牆面噴流 (wall jet) (圖 2)。其中自由噴流又稱傾斜空氣噴流 (inclined air jet) 或衝擊圓形噴流 (impinging circular jet)，牆面噴流又稱輻射牆面噴流 (radial wall jet)。

地面風速在衝擊區為風扇傾斜噴流直接吹襲之結果；在自由噴流區所形成之錐形體中，無論風扇傾角之大小，圓形斷面之最大風速與距離噴流出口之長度成反比 (Zhivov, 1993)。

$$v_0 = u_0 K \frac{\sqrt{A_0}}{S} \dots\dots\dots(1)$$

v_0 = 自由噴流形成之圓形斷面中最大風速 (m/s)

u_0 = 自由噴流出口處之風速 (m/s)

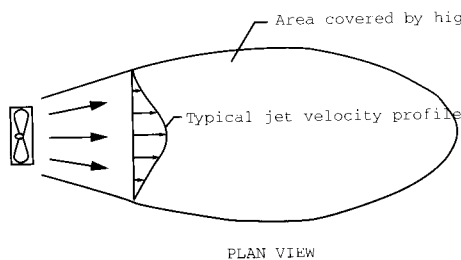


圖 1 風扇產生之水平方向空氣流型態。

K = 射程係數 (throw constant)

A_0 = 自由噴流出口處之面積 (m²)

S = 圓形斷面與噴流出口之距離 (m)

至於對地面風速影響較廣之牆面噴流，其最大風速亦與距離自由噴流衝擊點之長度成反比，Rajaratnam (1976) 以傾角為 90° 時，整理多人的研究結果而得到下列經驗公式：

$$\frac{u_m}{u_0} = 1.03 \frac{d}{r} \dots\dots\dots(2)$$

u_m = 牆面噴流之風速斷面中最大風速 (m/s)

u_0 = 自由噴流出口處之風速 (m/s)

d = 自由噴流出口處之直徑 (m)

r = 風速斷面與自由噴流衝擊地面中心點之距離 (m)

根據 Ikeguchi (1998) 之實驗結果，依據不同之風扇傾角 (α) 得到牆面噴流最大風速為：

$$\frac{u_0}{u_m} = 1.09 \frac{r}{d} - 2.48 \quad (\alpha = 45^\circ) \dots\dots(3)$$

$$\frac{u_0}{u_m} = 1.21 \frac{r}{d} - 1.19 \quad (\alpha = 60^\circ) \dots\dots(4)$$

$$\frac{u_0}{u_m} = 1.83 \frac{r}{d} - 0.37 \quad (\alpha = 90^\circ) \dots\dots(5)$$

牆面噴流在沿地面前進時所形成之特徵長度 $y_{1/2}$ 可依下列公式求得 (Rajaratnam, 1976)

$$y_{1/2} = 0.087r \dots\dots\dots(6)$$

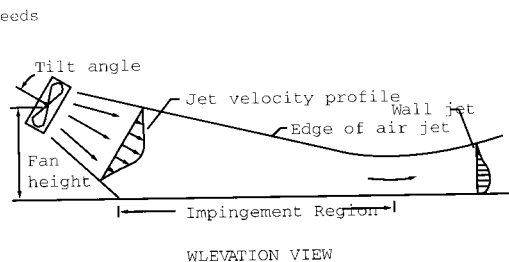


圖 2 風扇之傾斜空氣噴流衝擊地面狀況。

$y_{1/2}$ = 在牆面噴流之風速斷面中，風速為 1/2 最大風速時，距離地面之高度 (m)。

或依 Ikeguchi (1998) 之實驗結果為：

$$y_{1/2} = 0.063r - 0.372 \dots\dots\dots (\alpha = 45^\circ) \quad (7)$$

$$y_{1/2} = 0.072r - 2.99 \dots\dots\dots (\alpha = 60^\circ) \quad (8)$$

$$y_{1/2} = 0.098r - 7.62 \dots\dots\dots (\alpha = 90^\circ) \quad (9)$$

由上述最大風速及特徵長度資料，可以推估牆面噴流內任一高度 (y) 之風速如下式 (Schwarz and Cosart, 1961)：

$$\frac{u}{u_m} = \exp[-0.937(\eta - 0.14)^2] \dots\dots\dots (10)$$

u = 牆面噴流之風速斷面中，高度為 y 時之風速 (m/s)

$$\eta = y / y_{1/2}$$

綜合上述，可利用相關方程式從事風扇噴流所形成之風速場作理論分析與模擬，並作為實驗數據之檢核基礎。

(四) 研究目的

本文之研究目的為以乳牛舍為研究對象，將風扇傾角、高度依不同狀況調整，以找出其對地面最大風速、風速分佈、區域平均風速等通風效率之影響。由通風效率之評估結果，可以依當地自然環境狀況對乳牛舍風扇設置之位置、傾角及方向，提出最佳配置及建議，並可據此評估乳牛舍之通風換氣能力，以及對動物舒適性與生產力之影響。

二、材料與方法

(一) 試驗方法

本試驗選擇位於桃園縣楊梅鎮之酪農乳牛牧場，飼養頭數約為 180 頭，牛舍平面配置及立面圖如圖 3 所示。現場試驗測定無自然風影響下，機械風扇之最佳配置狀況。

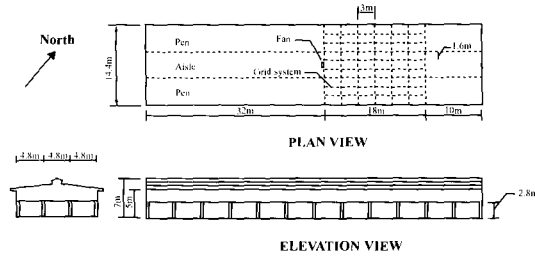


圖 3 風扇現場試驗之平面及立面配置圖

(二) 試驗設備

現場試驗所使用之風扇為木框五葉風扇 (型號 TF42-5A，全益畜牧器具有限公司，彰化縣永靖鄉)，扇葉為長 36inch 之鍍鋅鋁板，馬達出力 1/2Hp，轉速 590RPM。風速測定儀為多點計測用熱線風速儀 (Model MV-01m-6BLR, KANOMAX, Japan)，測定時間每點為 180sec，測定頻率為 16Hz。室外風速風向測定儀器為風向風速儀 (Model 05103, R. M. Young Company, Traverse City, MI U.S.A.)，測定時間為 60sec，測定頻率為 1Hz。

(三) 現場試驗

現場試驗為便於觀測，將風機安裝於中央走道上方，風扇距地面高度 H 分為 260cm、300cm、350cm 三種高度 (最低高度之選定為配合鏟斗機清糞作業，最高高度之選定為業者一般裝設高度。) ，風扇與水平面之傾角 α 則從 0° 至 40° ，間隔約 10° 之間作調整。為確定室外風速在 0.5m/s 以下之靜止狀態，實驗時間均選擇夜間，測定不同風扇高度與水平傾角時之風速分佈狀況。實驗時將實驗區域以風扇為中心，觀測其前方寬 14.4m (為乳牛舍寬度)，長 18m (為風扇製造廠額定送風長度) 範圍內風速之變化情形。觀測點之水平位置係假設風速分佈對風扇中心線為對稱情形，而選定 18 至 24 點，垂直位置則選擇距離地面 25cm (為接近乳牛乳房位置及躺臥時頭部位置) 以及距離地面 130cm 處 (為乳牛站立時頭部高度)，總計每種風扇佈置之測點數

為 36 至 48 點，以求得兩種不同高度之風速分佈情形。

(四) 分析方法

試驗結果分為 25cm 及 130cm 兩種測定高度之資料，並利用 SURFER 軟體繪製等風速線圖。在面積平均風速之分析時，將畜舍分為大面積（長度為風扇製造廠之額定影響距離 18m，寬度為整棟畜舍寬度 14.4m）、中面積（寬度為風扇製造廠之額定影響寬度約 8m，長度仍為 18m）及小面積（寬度為牛欄寬度 4.8m，長度仍為 18m）三種面積，並依各種面積求其平均風速；其他資料則以大面積為基準並以 Microsoft 之 EXCEL 軟體繪製參數關係變化圖從事分析。

三、結果與討論

(一) 等風速線圖

本研究將格子網狀測定之風速圖，利用 SURFER 軟體繪出風扇在不同高度、不同傾角時之等風速線圖如圖 4 至圖 9，可瞭解風扇配置對地面風速分佈之影響狀態。由等風速線圖可發現在 130cm 高度量測之風速分佈於傾角平緩時，高風速區域集中於風扇前方之自由噴流區，隨傾角增加，除於風扇前方之自由噴流區形成高風速區域外，另於風扇軸線較遠處之牆面噴流區亦形成高風速區域，且向遠方擴散。於 25cm 高度量測之風速分佈因靠近地面，所以不論傾角如何變化，自由噴流與牆面噴流之高風速區均連成一片，隨風扇傾角增加而向風扇軸線遠方擴散。並隨風扇高度增加，而朝風扇吹襲方向移動。一般而言，在 25cm 高度量測之高風速區面積較 130cm 高度之面積大，平均風速亦較大。

(二) 面積平均風速

測點高度為 130cm 之平均風速見圖 10 至圖 12。整體而言，不論面積如何改變，平均風速之趨勢均一致。即風扇高度為 260cm 時，傾角為 10°時可得到最大之面積平均風速，風扇高度為 300cm 及 350cm 則以傾角為 20°時平均風速為最大。

測點高度為 25cm 之平均風速見圖 13 至圖 15。由圖所示，整棟乳牛舍寬度所測之大面積平均風速在傾角為 20°至 40°間之平均風速變化不大；風扇高度為 260cm 時，因為風扇接近地面，所以傾角為 0°至 40°時平均風速僅在約 0.1m/s 之範圍變化。但是風扇高度愈高，傾角愈小時平均風速愈低；因風扇愈高，水平方向之噴流不易吹襲到地面。中面積與小面積之平均風速變化與大面積類似，在傾角小於 20°之狀況下，一般以風扇高度愈低，所得之平均風速較高，在傾角為 20°至 40°間，平均風速仍有少許增加，但變化不若傾角小於 20°那麼明顯。此一結果與 Bottcher et al. (1995a) 之研究成果類似。

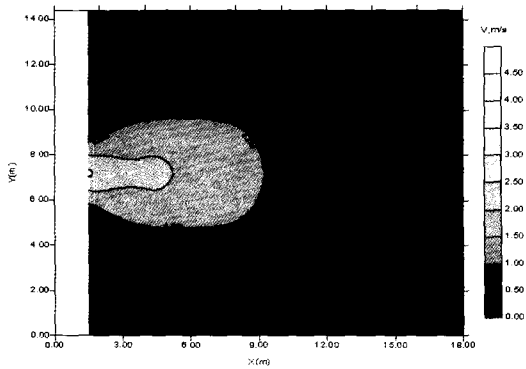
由以上結果，若以牛隻站立時之通風效果為考慮時，風扇高度愈低 (260cm)，傾角愈小 (10°) 為佳，風扇高度愈高 (300cm 至 350cm)，傾角調整至 20°最為適宜。但是若以牛隻躺臥時之通風效果為考慮因素時，則不論風扇高度，皆以傾角 20°至 40°為宜。若超過 40°傾角，風扇噴流集中直吹地面而消耗多數動能，平均風速將會降低。測試風扇高度 300cm，傾角 50°之小面積平均風速降為 1.7m/s，較傾角為 30°及 40°之平均風速減少，而與傾角 20°接近。

(三) 最大風速

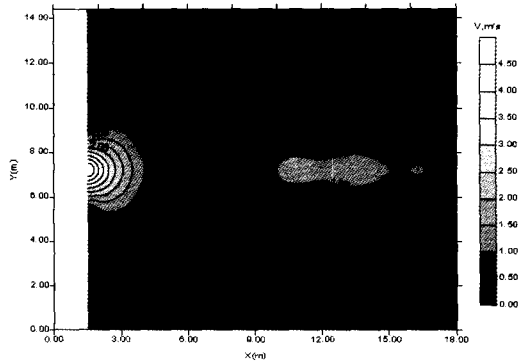
以大面積測試最大風速之結果，依測定高度分別如圖 16 及圖 17 所示。在測定高度為 130cm 之圖形中，不論風扇高度如何，傾角在 20°以下時，最大風速隨傾角增加而增加。傾角超過 20°時，最大風速發生在傾角為 20°（風扇高度為 300cm）或 30°（風扇高度為 260cm、350cm）。一般而言，風扇高度愈低則最大風速較大。在測定高度為 25cm 之圖形中，最大風速發生在傾角為 30°（風扇高度為 260cm）或 40°（風扇高度為 300cm、350cm），一般而言，風扇高度愈低傾角愈大，靠近地面(25cm)之最大風速較高。

(四) 適宜風速之涵蓋面積

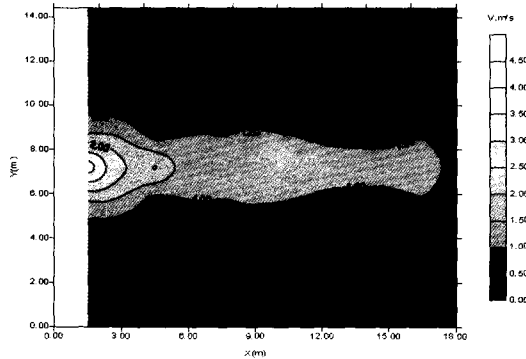
除了面積平均風速與最大風速外，風扇的另一評估指標為適宜風速的涵蓋面積；以免風速過



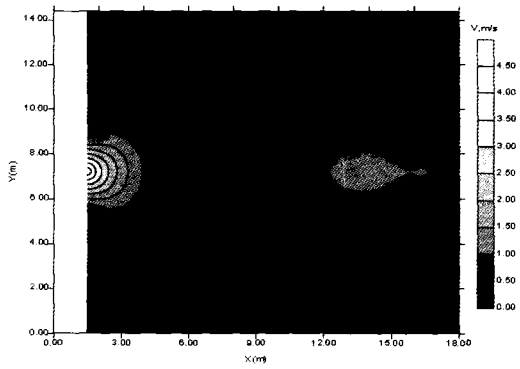
(a)



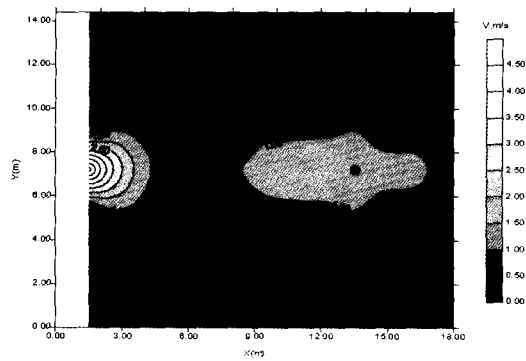
(d)



(b)



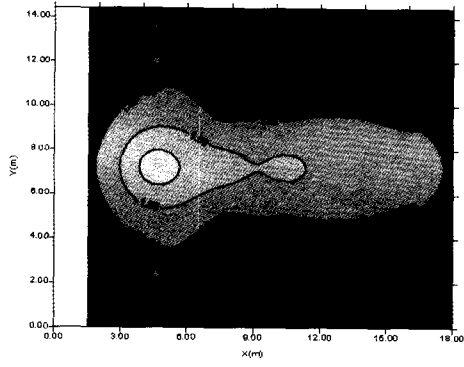
(e)



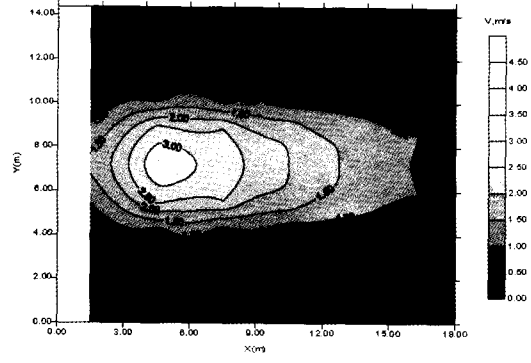
(c)

圖 4 風扇高度 260cm，測點高度 130cm 之水平面等風速圖。

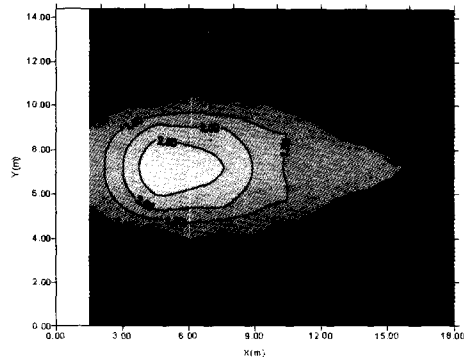
- (a) 傾角 0°
- (b) 傾角 10°
- (c) 傾角 20°
- (d) 傾角 30°
- (e) 傾角 40°



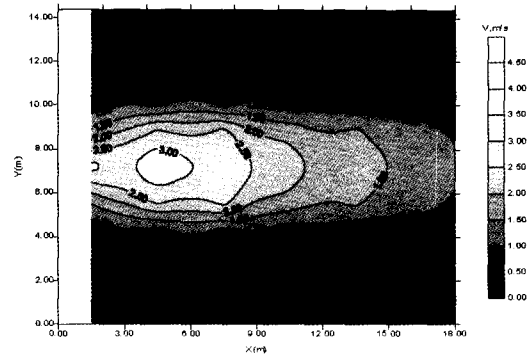
(a)



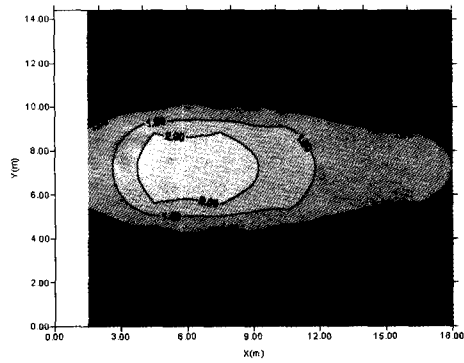
(d)



(b)



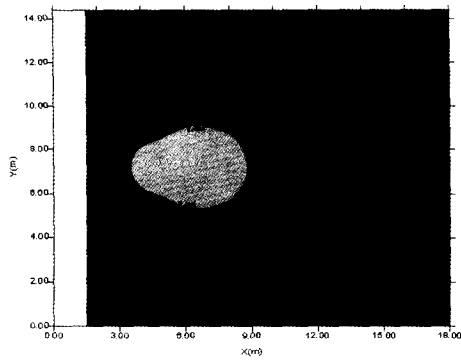
(e)



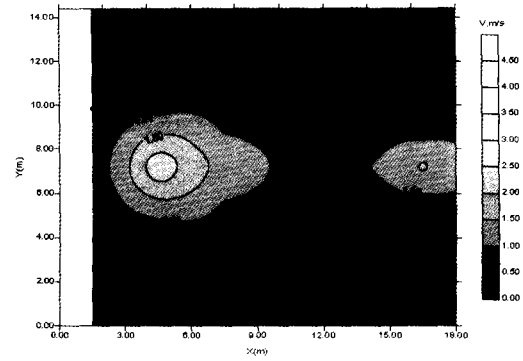
(c)

圖 5 風扇高度 260cm，測點高度 25cm 之水平面等風速圖。

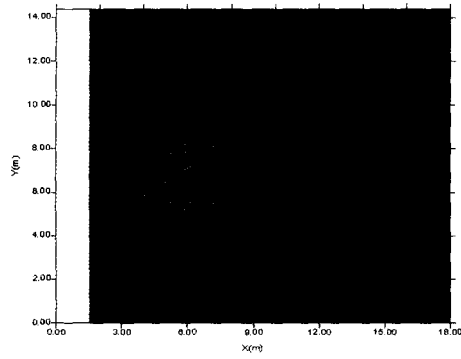
- (a) 傾角 0°
- (b) 傾角 10°
- (c) 傾角 20°
- (d) 傾角 30°
- (e) 傾角 40°



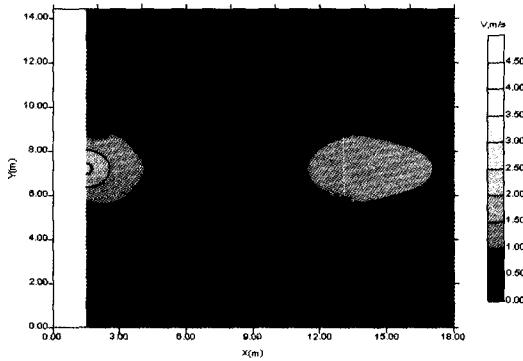
(a)



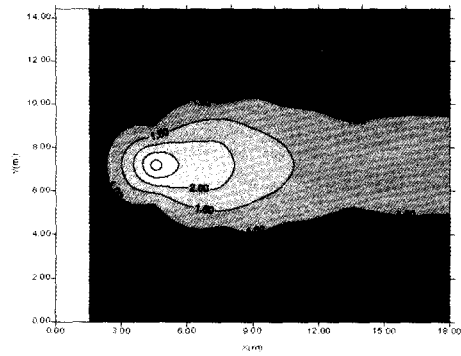
(d)



(b)



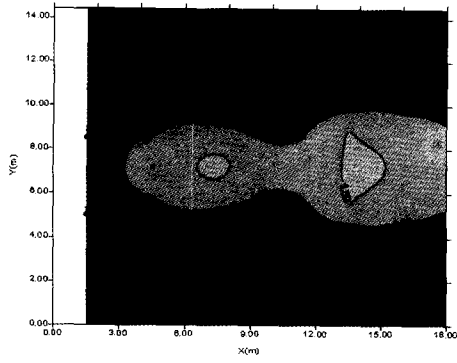
(e)



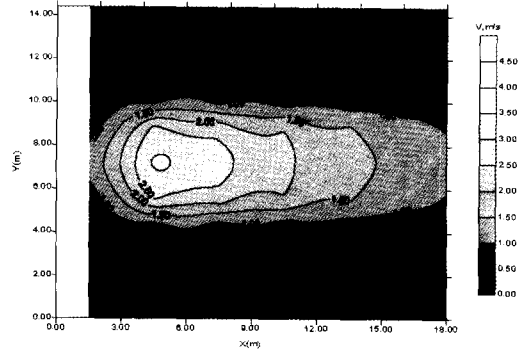
(c)

圖 6 風扇高度 300cm，測點高度 130cm 之水平面等風速圖。

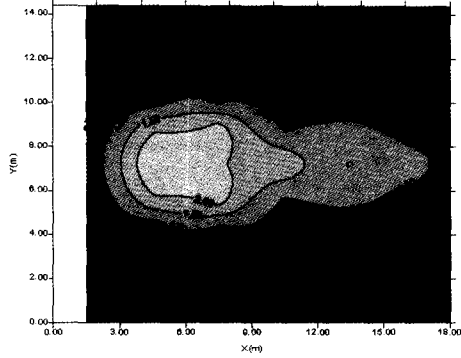
- (a) 傾角 0°
- (b) 傾角 10°
- (c) 傾角 20°
- (d) 傾角 30°
- (e) 傾角 40°



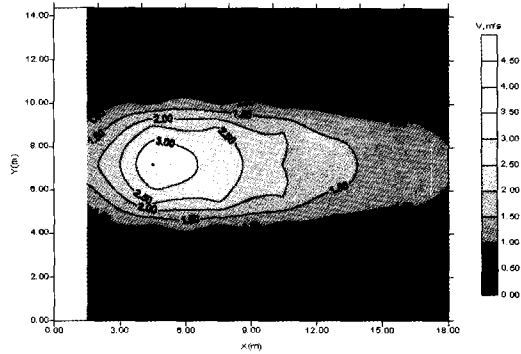
(a)



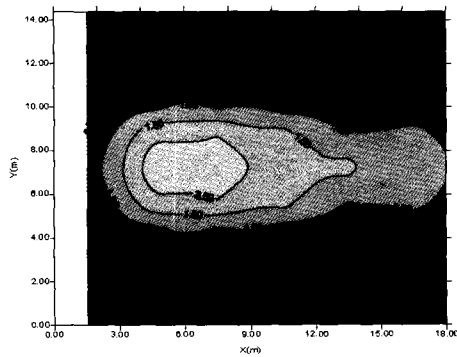
(d)



(b)



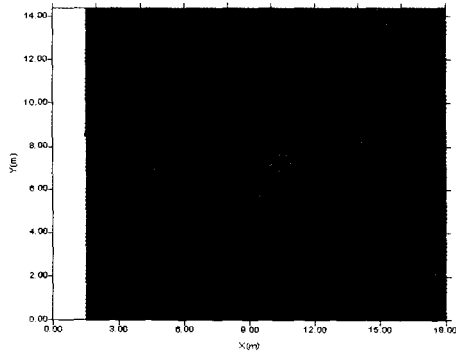
(e)



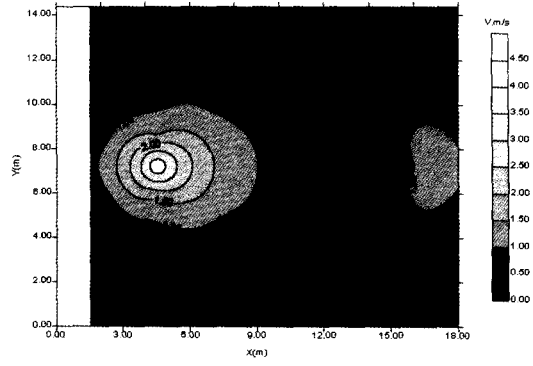
(c)

圖 7 風扇高度 300cm，測點高度 25cm 之水平面等風速圖。

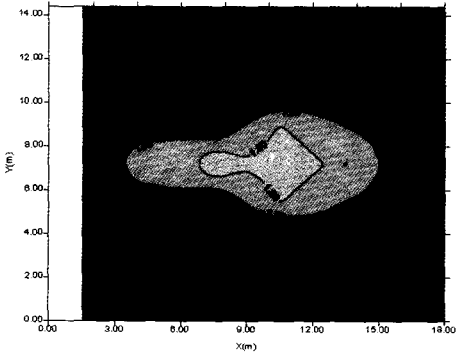
- (a) 傾角 0°
- (b) 傾角 10°
- (c) 傾角 20°
- (d) 傾角 30°
- (e) 傾角 40°



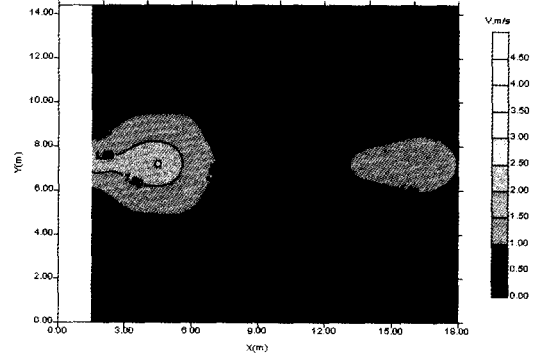
(a)



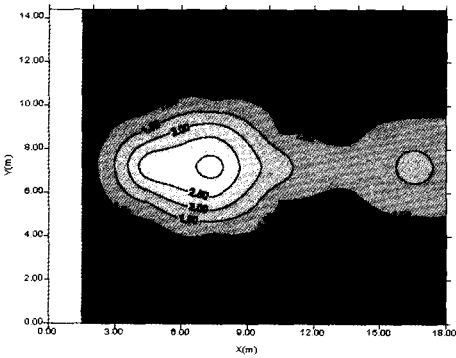
(d)



(b)



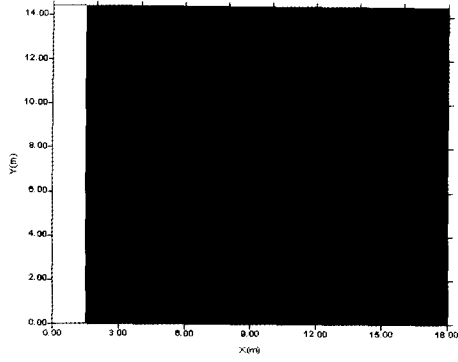
(e)



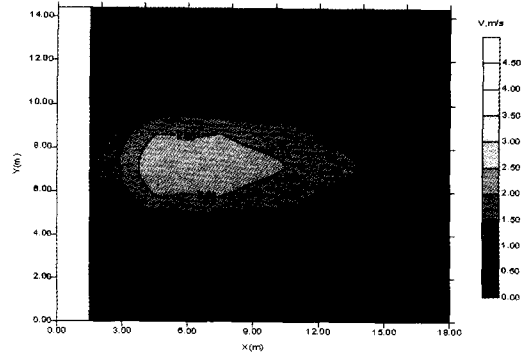
(c)

圖 8 風扇高度 350cm，測點高度 130cm 之水平面等風速圖。

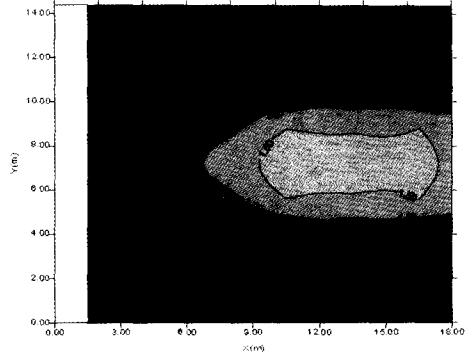
- (a) 傾角 0°
- (b) 傾角 10°
- (c) 傾角 20°
- (d) 傾角 30°
- (e) 傾角 40° 。



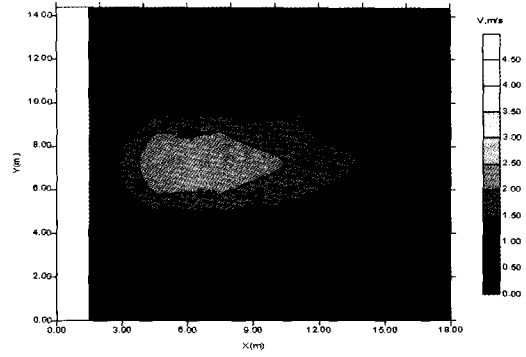
(a)



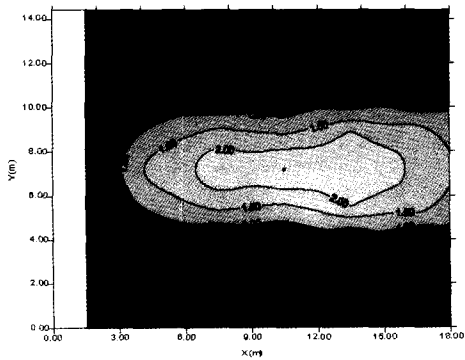
(d)



(b)



(e)



(c)

圖 9 風扇高度 350cm，測點高度 25cm 之水平面等風速圖。

- (a) 傾角 0°
- (b) 傾角 10°
- (c) 傾角 20°
- (d) 傾角 30°
- (e) 傾角 40°

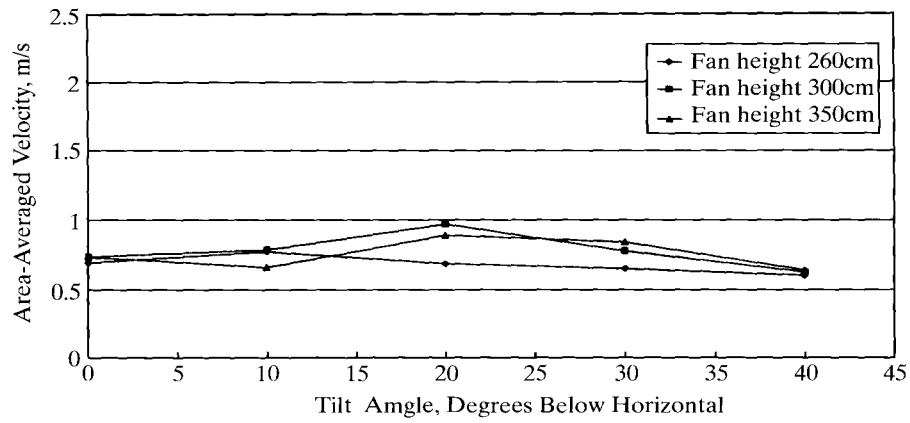


圖 10 面積為 14.4m×18m，測點高度 130cm 之水平面積平均風速。

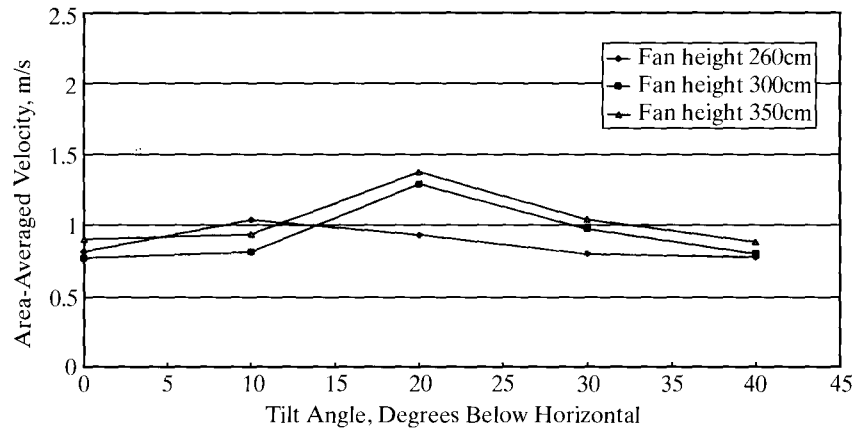


圖 11 面積為 8m×18m，測點高度 130cm 之水平面積平均風速。

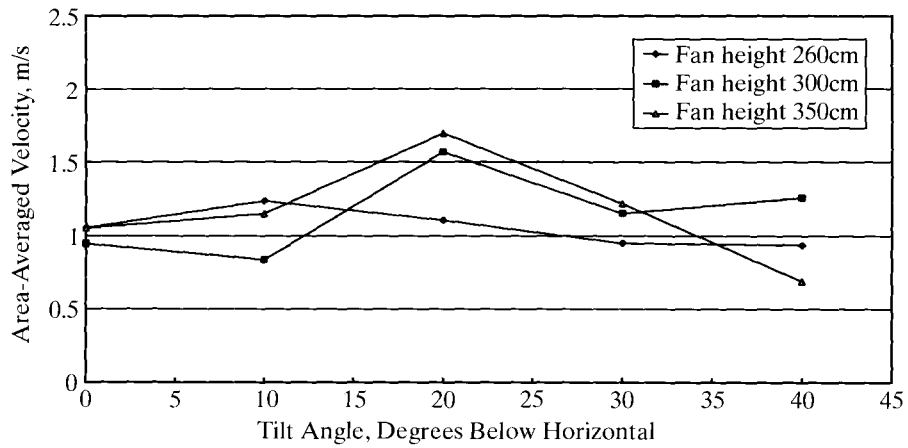


圖 12 面積為 4.8m×18m，測點高度 130cm 之水平面積平均風速。

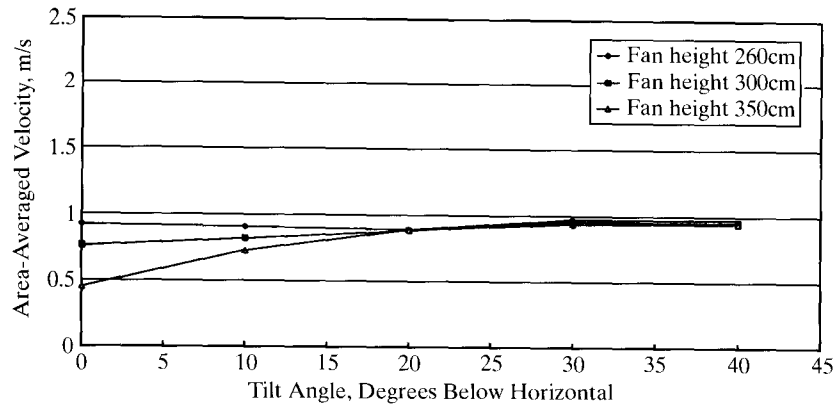


圖 13 面積為 14.4m×18m，測點高度 25cm 之水平面積平均風速。

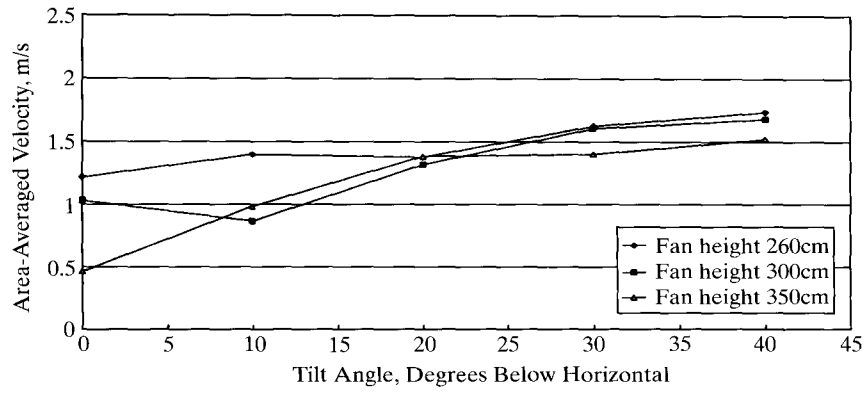


圖 14 面積為 8m×18m，測點高度 25cm 之水平面積平均風速。

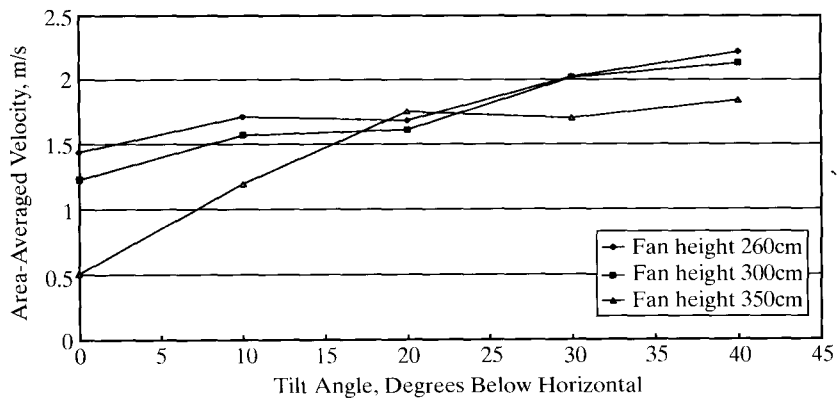


圖 15 面積為 4.8m×18m，測點高度 25cm 之水平面積平均風速。

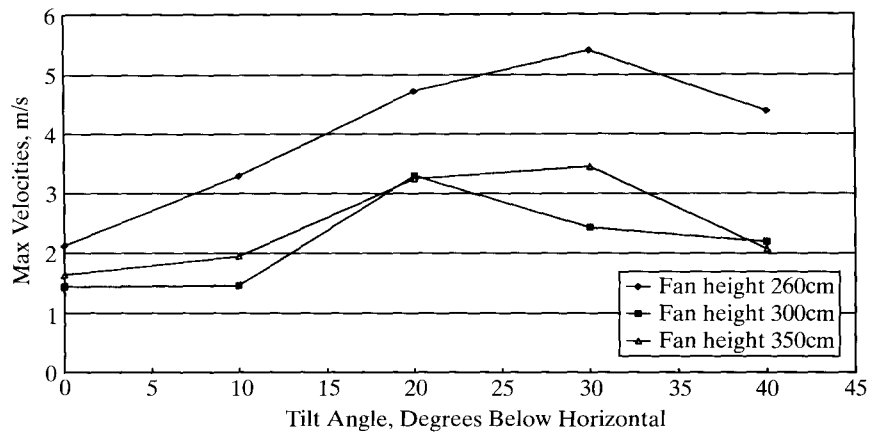


圖 16 面積為 14.4m×18m，測點距地面 130cm 之最大風速。

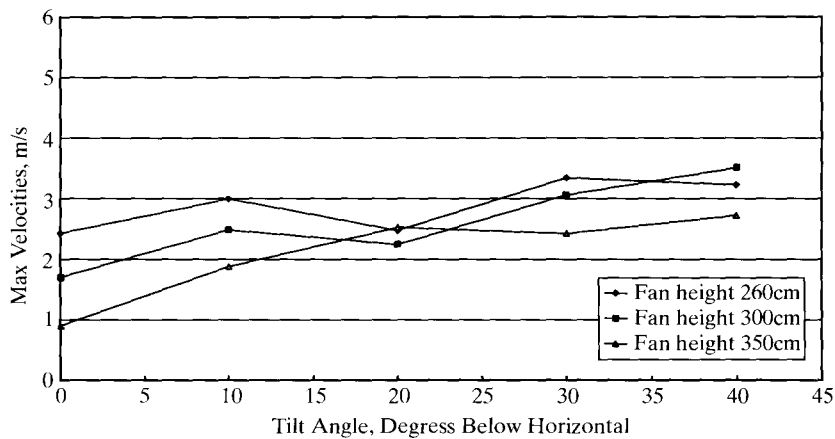


圖 17 面積為 14.4m×18m，測點距地面 25cm 之最大風速。

大，造成動物不適，風速過小則對通風及對流散熱沒有效果。依 Ogilvie(1995)之建議，夏季畜舍地面風速宜為 0.4m/s 至 1.5m/s 之間，本研究之適宜風速訂為 0.5m/s 至 1.5m/s。經由等風速線圖之整理分析得到結果如圖 18 及圖 19 所示。

在測點高度為 130cm 之圖形，得到適宜風速之涵蓋面積在風扇高度為 260cm 時以傾角 10° 為最大，風扇高度 350cm 時則以傾角 30° 時最大，風扇高度為 300cm 時，傾角從 0° 至 30° 之涵蓋面積相當，但傾角增加至 40° 時涵蓋面積則變小。由此可見高度愈低 (250cm) 傾角平緩 (10°) 或高度愈高 (350cm)、傾角愈大 (30°) 可得較大

面積之適宜風速。

在測點高度為 25cm 之圖形觀察，風扇高度在 260cm 及 300cm 時傾角在 0° 至 20° 時較大，超過 20° 呈現下降趨勢。風扇高度為 350cm 時，則以傾角 30° 之涵蓋面積最大。故在風扇高度較低時 (260cm 至 300cm)，傾角以不超過 20° 為宜，風扇高度較高時 (350cm) 則以傾角 30° 為最佳。

(五) 風速剖面變化

將地面測定之風速依測定位置分為兩部分，分析風速沿風扇噴流之中心線變化情形。

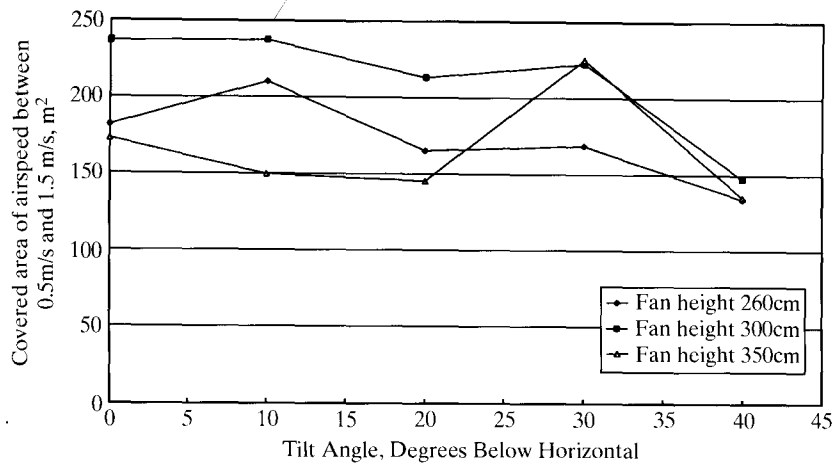


圖 18 測點高度 130cm，風速為 0.5m/s 至 1.5m/s 之涵蓋面積。

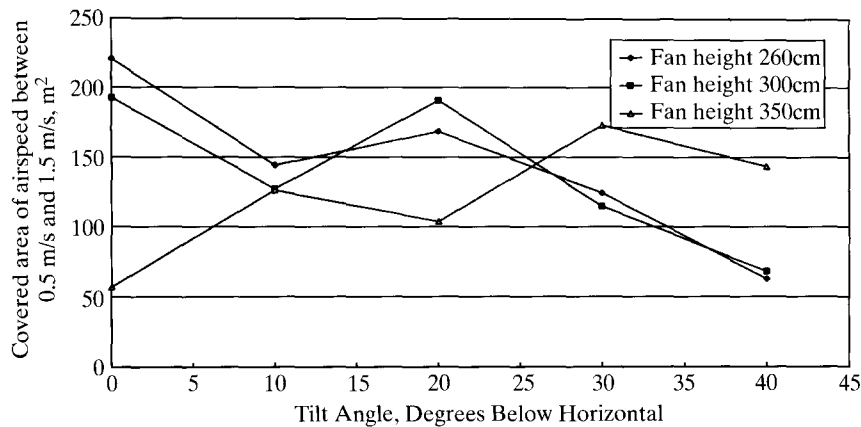


圖 19 測點高度 25cm，風速為 0.5m/s 至 1.5m/s 之涵蓋面積。

測點高度為 130cm 之風速剖面變化情形，在風扇高度定為 300cm 時依傾角不同之變化如圖 20 所示，傾角愈大時因風扇噴流所形成之高峰值愈靠近風扇，且在遠離風扇處易由牆面噴流形成第二高峰區；傾角較大時風扇噴流造成之風速亦較高。若將風扇傾角固定為 20° 時，風速剖面依不同高度之變化如圖 21 所示。由圖可見風扇高度愈高時，由風扇噴流所造成之高風速區愈遠。

測點高度為 25cm 之風速剖面變化情形，在固定風扇高度為 300cm 依風扇傾角之變化如圖 22 所示，高風速區隨傾角愈大而靠近風扇，但距

離差異不大。風速剖面亦隨傾角愈大而變大，且趨勢明顯。固定風扇角度之風速剖面依風扇高度之變化如圖 23 所示，高風速區隨風扇高度增加而遠離風扇。

(六) 地面風速理論與實驗值之比較

依據前述噴流理論分析結果，選擇相類似之邊界條件與配置情形，檢定本實驗之部分數據。

理論之預測值依 Ikeguchi (1998) 及 Rajaratnam (1976) 之模式可分別求得牆面噴流距離風扇衝擊點之最大風速，再依 Schwarz and

Cosart (1961) 之風速分佈理論求得距地板 25cm 處之風速如圖 24 所示。依據 Ikeguchi (1998) 之實驗結果噴流在衝擊點向前行約 5 倍風扇直徑的距離間，最大風速並不穩定，推測應是在衝擊區影響範圍內而牆面噴流尚未穩定之故。所以在風扇高度為 300cm，風扇對水平面傾角為 45°之狀況下，距離風扇前方約 7m 以後方為牆面噴流區域，此時依 Ikeguchi 或 Rajaratnam 兩種理論預測值相差為 0.5m/s，而隨距離風扇愈遠而逐漸趨近。

該項預測值與實驗值之平均預測誤差平方值 (MSPR mean squared prediction error) 依下式

計算 (Neter et al., 1990)

$$MSPR = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{measured} - \text{predicted})^2}{n}$$

n = 檢驗預測模式之資料數目

若以風扇前方 7m 以後所測得之數據檢驗，依 Ikeguchi 及 Rajaratnam 之預測模式所得 MSPR 值分別為 0.07 及 2.16，可見前者之誤差較小，亦即預測值較接近實驗值。

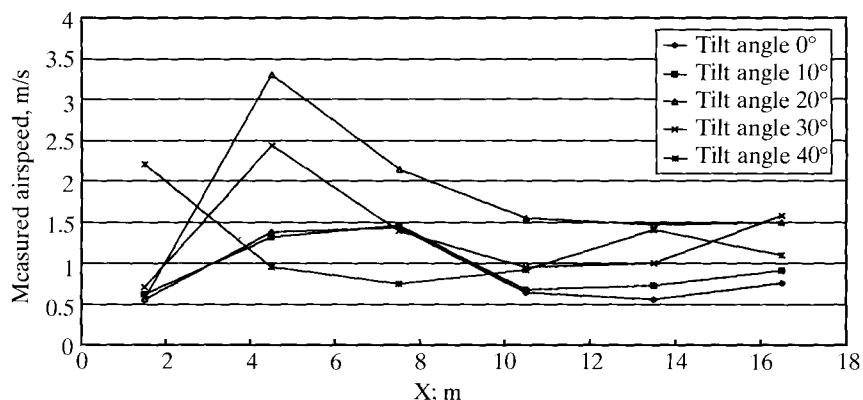


圖 20 風扇高度 300cm，測點高度 130cm 之風扇噴流中心線風速變化。

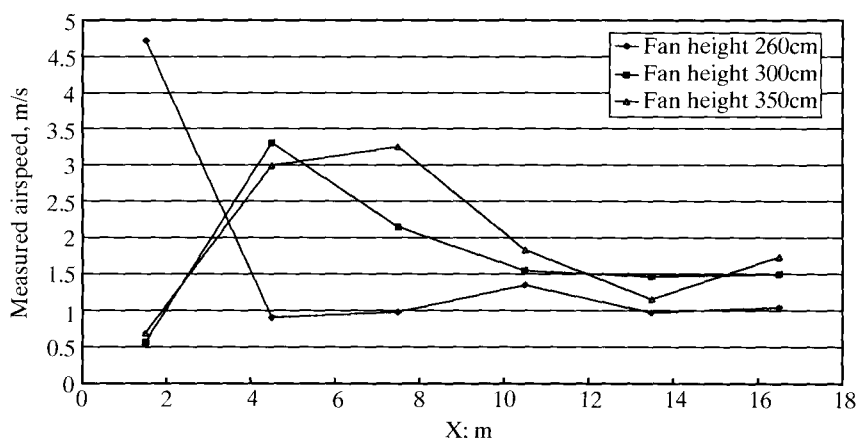


圖 21 風扇傾角 20°，測點高度 130cm 之風扇噴流中心線風速變化。

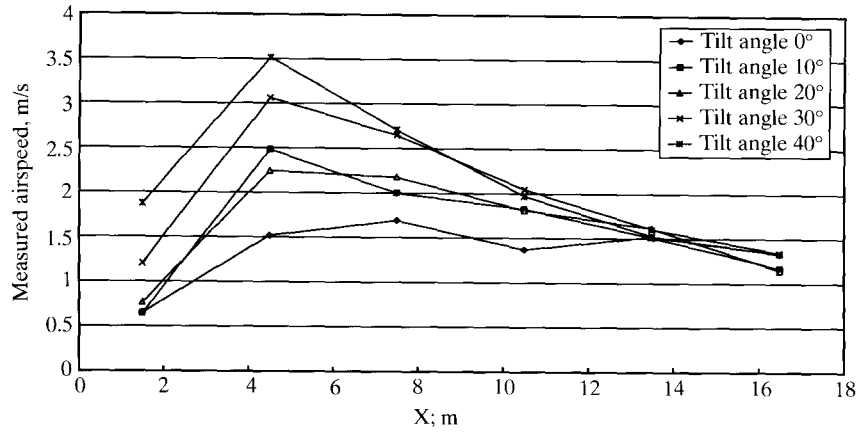


圖 22 風扇高度 300cm，測點高度 25cm 之風扇噴流中心線風速變化。

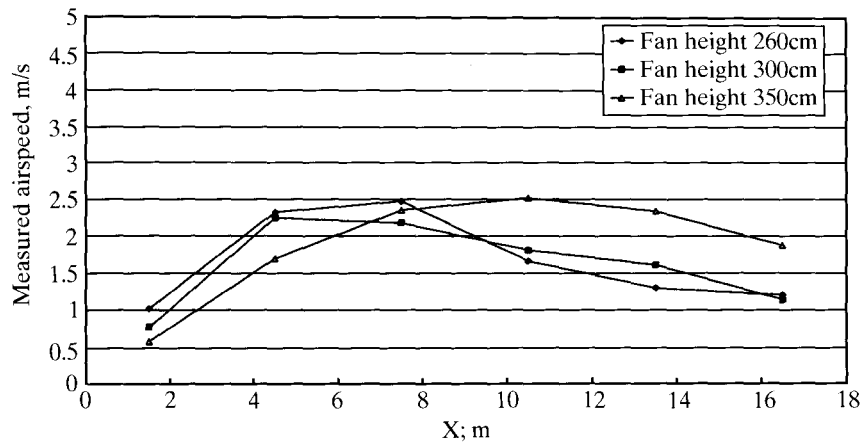


圖 23 風扇傾角 20°，測點高度 25cm 之風扇噴流中心線風速變化。

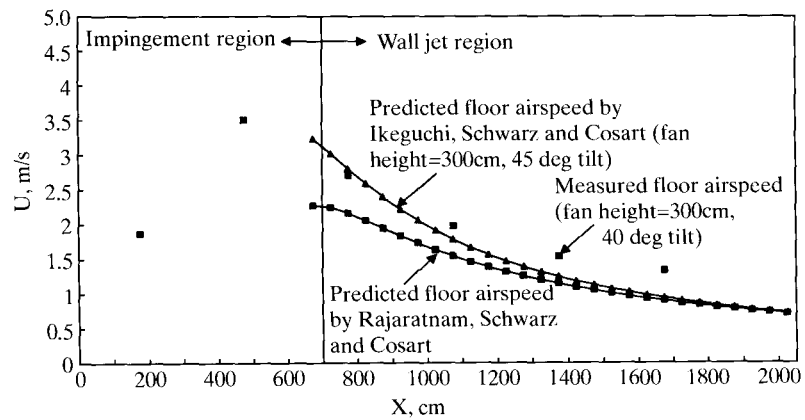


圖 24 風扇造成之輻射牆面噴流在測點高度 25cm 之預測地面風速值與量測值。

四、結論與建議

(一) 結論

本研究利用格子狀之測試系統測定乳牛舍風扇機械通風設備在不同高度、傾角時之地面風速分佈情形，再利用地面平均風速、適宜風速涵蓋面積等評估適宜的風扇配置方式，綜合研究結果討論如下：

1. 理想之風扇配置高度與角度

若考慮牛隻站立之通風效果（約離地板130cm），則風扇高度為260cm至350cm時，風扇軸心對水平線傾角為10°至20°可得最大面積平均風速及最大適宜風速（0.5m/s至1m/s）涵蓋面積。但若以牛隻躺臥之效果為考慮時，風扇高度為260cm及300cm時傾角以20°為宜，風扇高度升高至350cm時則以傾角30°為最佳。綜合而言，風扇高度較低時（260cm）風扇傾角可在10°至20°之間，風扇高度較高時（350cm），風扇傾角在20°至30°之間變化，可使整個畜舍通風空間（包括離地板25cm至130cm之間）得到較高之通風效率。

2. 乳牛舍風扇系統之配置

乳牛舍中常見之風扇系統配置多在中央走道或在乳牛休息區，但是酪農業者在安裝時除了考慮風扇傾角與高度外，亦須考慮數量與間隔。由前述之研究結果，雖然沿風扇中心線延伸至風扇製造廠之額定距離（18m），風速衰減後測點高度在25cm及130cm處均高於0.5m/s，但是因風扇噴流係依錐形體向外擴散，所以風扇兩側尤其是接近地面處較容易成為低風速之靜止區。此外，亦須考慮乳牛舍內部隔欄及矮牆等障礙物對通風擴散之影響，所以風扇之吹襲寬度應以5m至8m之範圍為宜，而無法照顧到整棟乳牛舍之寬度（14.4m）。綜上所述，在適宜之風扇高度與傾角配置狀況，每台風扇可吹襲之寬度為5m至8m（以無隔欄及矮牆阻擋為宜），長度為18m，面積約27坪至44坪。

3. 風扇配置方向與外部風向之配合方式

由文獻得知外部風向若以風扇配置方向愈趨一致時，不但內部風速會因外風速之影響而增

加，而且對內部風速之增加效果亦較其他角度之外風向而更大。所以畜舍建築時，建築開口部及建築軸線應配合當地夏季之盛行風向，而風扇配置之軸線亦應與夏季盛行風向平行，才能獲致更佳之通風效果。

(二) 建議

乳牛舍若僅以風扇之機械通風方式來克服夏季高溫環境，實際上只有利用對流散熱之方式使牛隻在受風扇吹襲時，能加速體內熱量散失。但因牛隻屬於汗腺不發達之動物，所以散熱效果仍屬有限；更積極之作法應是降低牛隻周圍的空氣溫度，使其呼吸散熱較易達成。所以未來之研究方向應朝向機械通風配合蒸發冷卻等方式，以降低乳牛舍內部氣溫，並將冷空氣快速均勻的分佈於牛隻生長環境，以改善乳牛舍之熱環境。此外，利用理論模式及計算流體力學（Computational Fluid Dynamics）對各種風扇配置方式從事數值模擬，可得到風場流速分佈之理論預測結果，提供現場實驗及系統配置之參考；若能對機械通風系統加裝自動控制裝置，以達到控制風扇高度、傾角及方向等自由度，將有助於乳牛舍環境管理之自動化與精確化；均是值得研究之方向。

五、誌謝

本計畫承蒙財團法人中正農業科技社會公益基金會贊助（計畫編號：87-中基-農-23），謹此致謝。本計畫研究期間，承蒙桃園縣楊梅鎮酪農戶胡文烈先生全家鼎力支持現場實驗工作，並給予協助；國立台灣大學農業工程學系研究生陳介文、李立偉、邱坤宏、研究助理林可欣小姐、國立師範大學數學系學生林哲宇、國立宜蘭技術學院土木工程系學生洪瑜辰等協助調查及實驗工作，才使本計畫得以順利完成，在此一併致謝。

參考文獻

1. 王鼎盛，1995。台灣乳牛管理作業之研究。中華民國行政院農業委員會，84年自動化-

- 牧-01(4-6)(一)計畫。國立台灣大學農業工程學系。
2. 王鼎盛, 1995。台灣乳牛舍室內輻射熱之研究。中華民國行政院農業委員會, 84 年自動化-牧-01(4-6)(二)計畫。國立台灣大學農業工程學系。
 3. 王鼎盛, 1996。自動化乳牛舍空間配置之研究。中華民國行政院農業委員會, 85 年自動化-牧-02(4-7)計畫。國立台灣大學農業工程學系。
 4. 王鼎盛, 1997。乳牛夏季熱緊迫現象抒解與乳牛舍最佳化設計。中華民國行政院農業委員會, 86 年自動化-牧-01(15-2)計畫。國立台灣大學農業工程學系。
 5. 方煒, 1995。乳牛夏季熱緊迫現象舒解與牛舍設計之探討。中華民國行政院農業委員會, 84 年自動化-牧-01 (4-6-1) 計畫。國立台灣大學農業機械工程學系。
 6. Albright, L. D. 1989. Slotted inlet baffle control based on inlet jet momentum numbers. *Transactions of the ASAE* 32(5):1764-1768.
 7. ASHRAE. 1993. *ASHRAE Handbook: Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
 8. Awbi, H. B. 1991. *Ventilation of buildings*. Chapman Hall, London.
 9. Baturin, V. V. 1972. *Fundamentals of Industrial Ventilation*. 3rd Edition, Pergamon Press, London.
 10. Bottcher, R. W., J. S. Young and G. R. Baughman. 1995a. Effects of tilt angles on airflow for poultry house mixing fans. *Applied Engineering in Agriculture* 11(5):721-730.
 11. Bottcher, R. W., J. Brake, G. R. Baughman and J. R. Magura. 1995b. Vertically directed mixing fans for cooling floor-raised poultry. *Applied Engineering in Agriculture* 11(4):591-599.
 12. Ikeguchi, A. 1998. Mixing fan installation method for drying wet floors in free-stall houses. *Transactions of the ASAE* 41(4):1119-1124.
 13. Neter, J., W. Wasserman and M. H. Kutner 1990. *Applied Linear Statistical models*. 3rd edition. Richard D. Irwin, Inc., Homewood, IL.
 14. Ogilvie, J. R., E. M. Barber, N. Clarke and V. Pavlicik. 1988. Design of recirculation air ducts for swine barn ventilation systems. *In Proceedings, III International Livestock Environment Symposium*. 51-58. St. Joseph, MI:ASAE.
 15. Ogilvie, J. R. 1995. Measurable indicator of ventilation system performance. ASAE paper No.95-4644. St. Joseph, MI.
 16. Rajaratnam, N. 1976. *Turbulent jets*. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam.
 17. Schwarz, W. H. and W. P. Cosart. 1961. The two-dimensional turbulent wall-jet. *Journal of Fluid Mechanics*. 10:481-495.
 18. Vladimirova, S. V., R. A. Bucklin and D. B. Mcconnell. 1996. Influence of shade level, wind velocity, and wind direction on interior air temperatures of model shade structure. *Transactions of the ASAE* 39(5):1825-1830.
 19. Zhang, J. S. 1991. A fundamental study of two dimensional room ventilation flows under isothermal and non-isothermal condition. Unpublished Ph.D. dissertation. University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.
 20. Zhivov, A. 1993. Theory and practice of air distribution with inclined jets. *ASHRAE Transactions* 99(1):1152-1159.
 21. 財團法人畜產技術協會, 1996。新搾乳系統定著化手冊。畜產再編總合對策補助事業平 7A-2。財團法人畜產技術協會。

收稿日期：民國 88 年 8 月 24 日
 接受日期：民國 88 年 9 月 15 日