

# 應用無線感測網 (WSN) 提升乳牛場經營管理之研究<sup>(1)</sup>

王思涵<sup>(2)(3)</sup> 李國華<sup>(2)</sup> 江俊杰<sup>(2)</sup> 蕭方君<sup>(2)</sup> 張宛蓉<sup>(2)</sup> 張菊犁<sup>(2)</sup>

收件日期：102 年 12 月 23 日；接受日期：103 年 6 月 4 日

## 摘 要

本研究之目的為建立一套無線感測網系統以提升臺灣乳牛場之經營效率，本系統包括：I. 牛舍環境感測器：即時監測溫度與相對溼度，當溫度超過預設定臨界值時，便自動啟動牛舍降溫設施如風扇、噴水、噴霧等，除可精準環控外並達省水省電之效果。II. 牛隻無線型發情偵測器系統：內建震動感測器封裝成腳環形式，固定於空胎牛隻前腳，24 小時自動紀錄牛隻步伐震動數與體位之變化，並精準找出牛隻發情的時間點，再經由電腦即時發送簡訊或傳真及發送電子郵件給牛群管理者。結果顯示，應用牛舍環境感測器後，牛舍夏季用電量相較於往年約可節省 25%。牛隻無線型發情偵測器系統應用於 3 家乳牛場進行田間測試，結果指出牛隻 (n = 70) 發情偵測器之準確度平均介於 87.5 – 95%，此結果深受測試季節之影響。本研究結論認為，應用無線感測網於乳牛場，除可精準環控外並可達省水省電之效果，又可減少人力去觀察牛隻發情及提高發情判斷之準確度，進而提升乳牛場整體之經營效率。

關鍵詞：乳牛場、經營管理、無線感測網。

## 緒 言

臺灣屬於亞熱帶氣候，夏季高溫高濕，平均溫度可達 30℃ 以上 (陳等, 2009; 謝等, 2007)，故原本生長於溫帶地區之荷蘭牛，往往造成其極大之熱緊迫而導致生產性能的降低，例如牛隻採食量、產乳量、發情配種困難及受胎率的下降 (Hansen *et al.*, 2001)，尤以高產乳牛所受的影響更為明顯。荷蘭牛於氣溫 4.5 – 15℃ 時是牛隻感覺最舒適並有最佳性能表現之環境溫度，當氣溫高於 27℃ 以上時，泌乳牛會因為泌乳增加熱的產生導致採食量下降，因而降低各項性能表現，例如乳產量明顯下降 (Webster, 1991)。故如能適當地紓緩牛隻夏季熱緊迫，將可減少牧場的經濟損失。Bucklin *et al.* (1991) 在美國明尼蘇達州、肯德基州等夏季之試驗結果指出，於乳牛舍使用風扇搭配灑水系統，可以有效的降低牛舍環境溫度，並增加牛隻採食量及產乳量。雖然使用噴水及風扇吹風循環涼爽法可紓解熱緊迫 (李等, 1999)，但無法精準控制風扇的運轉時段以節能，加上現行多採以人工方式收集牛舍環境溫濕度的資料，常有以偏概全之缺失且費時費力。若能利用牛舍環境感測器 (Mizunuma *et al.*, 2003) 將溫度閾值設定於 30℃，可自動啟動風扇及灑水系統，即可更精準的達到降低牛舍溫度的效果，並同時節省電力、水等能源耗費。

發情偵測是乳牛場繁殖管理最重要之一環，觀察到乳牛發情騎乘以午夜 2 – 3 時最多，而白天正午 2 時最少，一般酪農觀察發情以上下午擠乳趕牛時各觀察一次，在上午一大清晨及傍晚 4、5 時較涼快時，或於夜晚午夜前增加 2 次發情觀察，約可觀察到 85% 的發情騎乘。觀察發情的次數與時間愈多愈正確，觀察到發情牛隻數愈多便能提高受胎率 (宋, 2006)。以往牛隻發情觀察依賴人為肉眼判定，這是一項繁瑣且高勞力成本支出的工作，目前正有許多發情觀察的方法被發展出來，研究方向多聚焦於物理性變化 (Kiddy, 1977; Liu and Spahr, 1993)、動物行為 (Dinsmore and Cattell, 1993; Gwazdauskas *et al.*, 1990)、動物生理 (Carter and Duffy, 1980; Pankowski *et al.*, 1995) 與發情訊號間的關聯性探討。以乳牛而言，最容易判定發情的行為即為發情時的駕乘動作 (Glencross *et al.*, 1981; Sprecher *et al.*, 1995)。利用無線型牛隻發情偵測器偵

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2120 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所新竹分所。

(3) 通訊作者，E-mail：shwang@mail.tlri.gov.tw。

測牛隻發情的騎乘狀態，並以即時簡訊通知管理者發情之牛隻號碼與騎乘狀況之發生時間等，進而決定其配種時間，可以便利管理者全天了解牛隻發情狀況。因此，本研究旨在建立一套無線感測網系統，以期能提升臺灣乳牛產業之經營效率。

## 材料與方法

### I. 挑選試驗戶

試驗乳牛場計 3 戶，2010 年試驗初期以行政院農業委員會畜產試驗所新竹分所西湖乳牛場為主要試驗場，測試內容包含牛舍環境感測系統與牛隻發情偵測系統。2011 年則挑選到位於南投縣 H 場及桃園縣 L 場加入試驗行列，但僅進行牛隻發情偵測系統之應用測試。此 3 家試驗乳牛場之飼養牛群規模分別為 150 頭、240 頭與 300 頭荷蘭乳牛。

### II. 乳牛場無線感測網之建置

#### (i) 牛舍環境感測系統

於新竹分所西湖乳牛場裝設兩套 Weather Link (Davis Instruments, California) 無線環境監控系統 (圖 1)，包括牛舍屋頂上方之無線型風速風向感測器及牛舍內部區域高約 2.5 公尺處裝設 4 組無線型溫濕度感測器，並於牛舍各區裝設無線傳輸之中繼站以利資料回傳至管理室後端電腦。牛舍各區之溫濕度及風速風向資料可即時顯示於管理室門口上方的 LED 螢幕上，並每小時記錄風速、風向、溫度與濕度資料於電腦資料庫中作載入彙整、圖表分析與歷史資料分類等。將 Weather Link 溫度感測器軟體與風扇及灑水系統之控制箱作系統連結，設定當牛舍內溫度達 30℃ 以上時，系統即自動啟動風扇及灑水系統，以即時降低牛舍溫度。



圖 1. 牛舍環境感測器之溫濕度感測器 (A)、風速風向感測器 (B)。

Fig. 1. Temperature and humidity sensor (A), wind speed and direction sensor (B) of the cow barn environment control system.

#### (ii) 乳牛場無線型牛隻發情偵測器

##### 1. 牛隻發情偵測器系統

- (1) 牛隻發情偵測器是由包含 32 位元的中央處理器、64K 以上的記憶體及三軸加速度動能偵測器等原件所組成，無線傳輸頻率為 2.4 G (IEEE 802.15.4)、無線傳輸距離為 100 m 以上，以電池 (1,000 mA 以上鋰電池) 作為發情偵測器的主要電力來源，當電力耗盡時可更換電池並充電完成後再回收重複使用。以上原件封裝於發情偵測器內，該偵測器外觀為一長立方體 (長、寬、高分別為 9 × 6 × 3 cm)，以尼龍帶作為繫上腳帶及再以扣樁固定於牛隻前肢。
- (2) 訊號接收器主機為 RJ45 (10/100M) 或 RS232 通用介面，接收頻率 2.4 GHz、最大傳輸速率為 250 Kbps。其功能為暫存牛隻發情偵測器的訊號並再將資料繼續傳輸至系統主機。
- (3) 牛隻發情偵測系統軟體，可將發情偵測器的三軸 (前後、左右、上下) 動能象限轉換成圖表顯示，當牛隻發情駕乘時代表體位高低之 G 值會超過設定之臨界值，此時系統會自動擷取

牛號、時間等狀態作為警戒，並即時以簡訊通知管理者 (圖 3 及圖 4)。

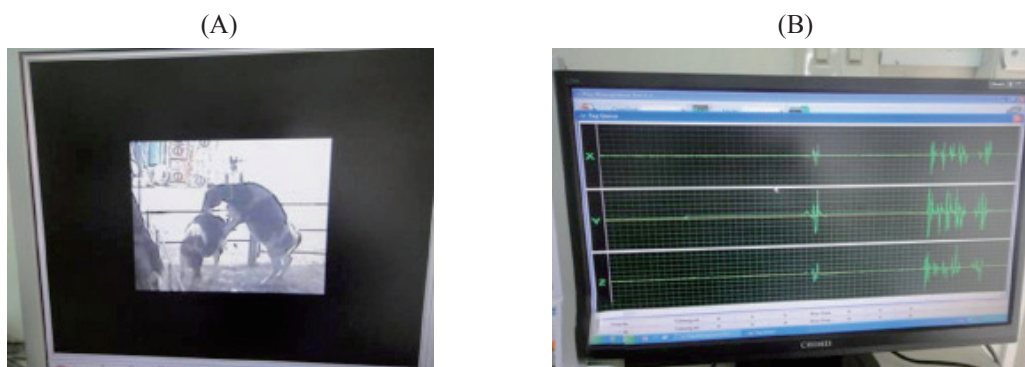


圖 2. 牛隻發情偵測器系統可將牛隻發情之騎乘行為 (A) 轉換成波峰顯示於後端控制電腦螢幕 (B)。

Fig. 2. The estrus detection system shows the cow heat standing behavior (A) and crest changes in the monitor system (B).

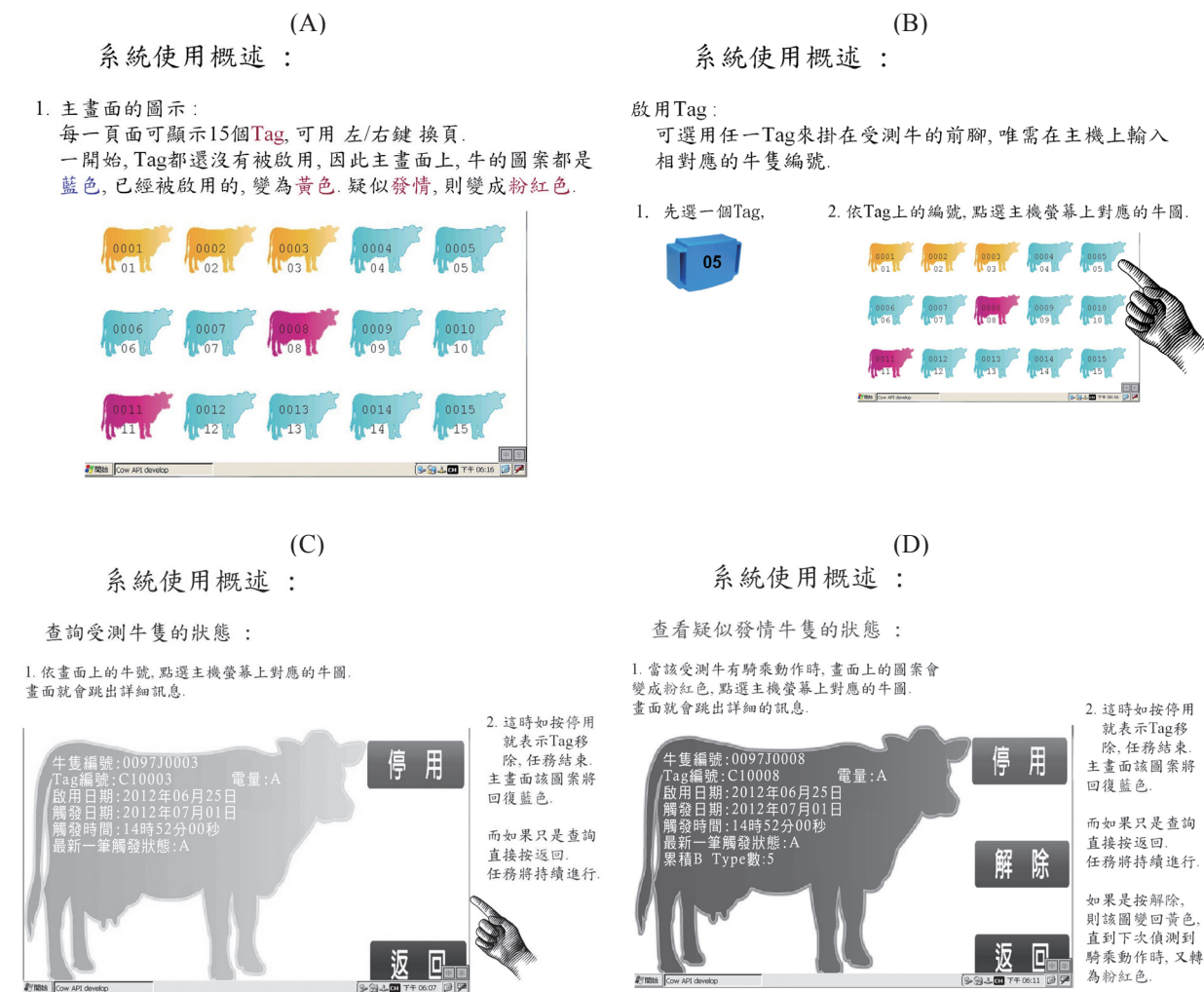


圖 3. 無線型牛隻發情偵測器觸控面板使用介面與步驟：開啓牛隻發情偵測器系統 (A)。牛隻牛號與偵測器號碼比對後輸入資料並紀錄於電腦 (B)。牛隻圖案畫面顯示橘色表示此偵測器已觸發使用 (C)。牛隻發情時則以紅色顯示 (D)。

Fig. 3. The touch panel system and procedures of the cattle estrus detection system of wireless sensor network : start the cattle estrus system (A), input cattle number and tag number input to the computer (B), orange signal indicates the detector has been activated (C) and red signal indicates the cattle was in heat (D).



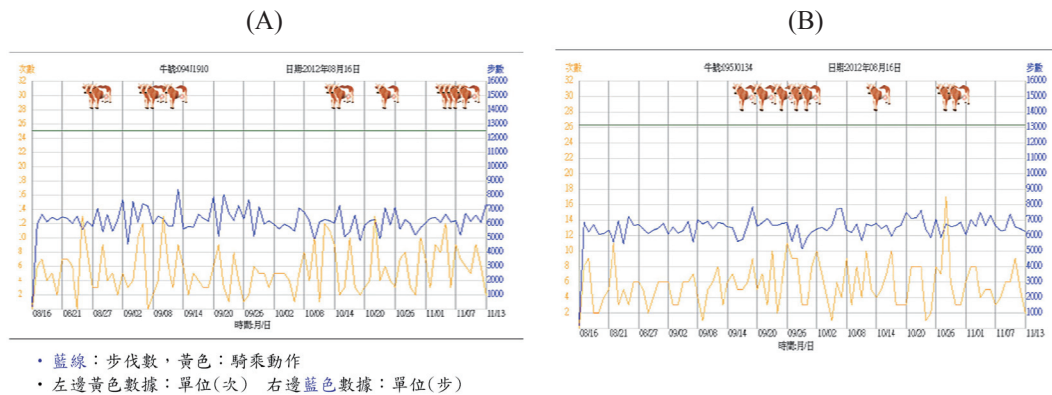


圖 4. 無線型牛隻發情偵測器軟體介面，試驗牛 (A) 系統未判定發情；試驗牛 (B) 明顯出現駕乘波峰，系統判定發情。

Fig. 4. The software interface of the cattle estrus detection system of wireless sensor network. The cattle (A) does not determine on estrus, the cattle (B) shows heat standing crest obviously, the system determines on estrus.

## 結果與討論

### I. 牛舍環境感測網

新竹分所西湖乳牛場牛舍內環境溫濕度偵測結果，如表 1 所示，2011 年 7 月平均溫度為 28.8℃、最高溫度為 34.2℃、最低溫度為 24.2℃ 及平均濕度為 76%；8 月平均溫度為 29.2℃、最高溫度為 37.2℃、最低溫度為 25.1℃ 及平均濕度為 74%；9 月平均溫度為 27.7℃、最高溫度為 35.4℃、最低溫度為 21.8℃ 及平均濕度為 76%。由以上資料可得知夏季 7－9 月間牛舍環境溫度並非全天皆高於 30℃。牛舍以往夏季需全日啟動風扇及灑水系統，目前以牛舍環境溫度 30℃ 作為臨界值控制風扇及灑水系統，約可減少風扇及灑水系統運轉 5－6 小時，相對可減少約 25% 的電力耗費，因此，應用無線型環境感測器同時可降低牛舍環境溫度及減少能源耗費。近年來臺灣進行牛舍溫濕度監測試驗大多採用溫濕度測定器 (HOBO Pro RH / Temp, Onset Computer Corporation, Bourne, MA) (李等，1999；陳等，2009；謝等，2007)，精準度雖高，但是需以人工方式將溫濕度測定器從牛舍取下，再以有線方式將溫濕度資料傳輸至電腦，傳輸完成再歸零繼續使用，操作較為費時費力。本試驗所採用之牛舍環境感測器則無需取下，直接透過無線傳輸方式傳輸至電腦，操作較為簡便。風速風向感測器所偵測到牛舍區之的風速及風向資料如表 2 所示，牛舍夏季主要吹南風與南南西風，最大風速可達 15.1 m/s；最低風速為 1.6 m/s。

### II. 無線型牛隻發情偵測系統

將三軸加速度動能偵測器應用於偵測牛隻各項行為觀察模式，可判定牛隻於躺臥、行走及站立等狀態 (Martiskainen *et al.*, 2009; Pastell *et al.*, 2009)，新竹分所利用三軸加速度動能偵測器開發之牛隻發情偵測器，起初利用全天 24 小時動態錄影，比對牛隻於各種狀態下的 G 值反應 (Müller and Schrader, 2003)。試驗過程中將發情偵測器施綁於施打過 PG 的牛隻前肢，在發情徵兆開始時也可觀察到部分牛群的駕乘狀況被系統判定為發情警示。經由長時間的資料收集與 G 值狀態比對，可準確的讀取出牛隻駕乘時的 G 值狀態，並於系統後端設定 G 值臨界點，當 G 值超過此點時系統會判定有發情駕乘的狀態出現，即自動將此訊息以簡訊方式通知管理者作進一步的處理。牛隻發情會以發情站立 (standing heat) 亦即被騎乘而站立不動或找發情牛進行騎乘動作表現發情，發情站立過牛即為發情終了牛，其適當授精配種時間約於 10 小時後排卵 (宋，2006)。期能利用此發情偵測器提高牛隻發情觀察的次數時間及正確性，進而提高牧場整體的受胎率。無線型牛隻發情偵測系統於乳牛場之試驗結果如下：

#### (i) 新竹分所乳牛場

2011 年熱季挑選受測經產牛頭數 10 頭，以無線型牛隻發情偵測器施綁於牛之前肢，並架設偵測器訊號接收主機及系統軟體，經多次測試結果顯示有 7 頭牛隻有發情駕乘行為出現，變化值高於設定閾值。1 頭牛隻步伐數明顯高於正常頻率，但變化值未高於閾值，後端電腦仍以發情判定。將發

情偵測器後端電腦紀錄之資料與牛舍現場牛隻監視錄影畫面資料進行比對 (圖 2)，發現於電腦判定發情時間前後約 1 小時可於監視錄影畫面看到牛隻明顯的駕乘行為，其中有 7 頭牛隻有完整的駕乘動作出現，1 頭有試圖駕乘其他牛隻但未能成功，只有抬起前肢但未駕跨至另一牛隻臀上。其餘 2 頭牛隻於錄影畫面中並未出現發情駕乘之行為 (表 3)。此結果顯示新竹分所無線型牛隻發情偵測器之準確度穩定且可準確的判定發情，因此可進一步開始酪農戶之田間試驗。

表 1. 2011 年夏季新竹分所西湖乳牛場牛舍內環境溫濕度紀錄

Table 1. The temperature and humidity on Hsinchu branch dairy farm in summer 2011

2011	Temperature (°C )			Average humidity (%)
	Average	Maximum	Minimum	
June	28.8	36.4	23.5	76
July	28.8	34.2	24.2	76
August	29.2	37.2	25.1	74
September	27.7	35.4	21.8	76

表 2. 2011 年夏季新竹分所西湖乳牛場之風速風向紀錄

Table 2. The wind speed and wind direction on cow barn at Hsinchu branch dairy farm in summer 2011

2011	Wind direction	Wind speed (m/s)	
		Maximum	Minimum
June	SSW	15.1	2.6
July	S	10.5	2.4
August	SW	11.1	1.8
September	S	10.6	1.6

Remarks: S: South; W: West.

表 3. 牧場使用無線型牛隻發情偵測器之準確度

Table 3. The accuracy of cattle estrus detection system of wireless sensor network on Farm S

Items	Farm S (n = 10)
In heat	7/10
Proestrus / Metestrus	1/10
Not in heat	2/10
Accuracy (%)	100

#### (ii) 桃園 L 乳牛場試驗結果

於 L 牧場畜舍架設 2 組偵測器訊號接收主機及牛隻發情偵測專用電腦與軟體，於經產牛前肢施綁無線型牛隻發情偵測器，當系統通知偵測到發情時，會先於觸控面板顯示牛號及觸發時間 (圖 3)，酪農戶即進行發情觀察與發情觸診判定。2012 年熱季與涼季分別挑選受測經產牛 20 頭，結果顯示涼季時，有 15 頭牛隻在排卵周期內且有明顯的駕乘行為，3 頭因被駕乘或是趨近於發情期導致步伐數超出設定閾值，而其餘 2 頭則未有發情徵兆出現；熱季時則有 10 頭牛隻有駕乘行為，9 頭未出現駕乘行為但步伐數超出設定閾值，1 頭未有發情徵兆出現。

#### (iii) 南投 H 乳牛場試驗結果

於 H 牧場畜舍架設 2 組偵測器訊號接收主機及牛隻發情偵測專用電腦與軟體，於受測經產牛前肢施綁無線型牛隻發情偵測器，當系統通知偵測到發情時會先於觸控面板顯示牛號及觸發時間，酪農戶即進行發情觀察與發情觸診判定。2012 年熱季與涼季分別挑選受測經產牛 40 頭結果顯示，涼季時有 32 頭牛隻在系統觸發發情後觀察，確實有明顯的追逐其他牛隻與駕乘行為；另外 5 頭牛隻

無明顯駕乘行為，但外陰部有出現發情黏液，其餘 3 頭則未有發情徵兆出現；熱季時則有 28 頭牛隻有駕乘行為，7 頭未出現駕乘行為但步伐數超出設定閾值，5 頭未有發情徵兆出現。

表 4. 各試驗牧場使用無線型牛隻發情偵測器之準確度

Table 4. The accuracy of wireless sensor network cattle estrus detection system in different farms

Items	Farm L (n = 20)		Farm H (n = 40)	
	Season			
	Cool	Hot	Cool	Hot
In heat	15/20	10/20	32/40	28/40
Proestrus / Metestrus	3/20	9/20	5/40	7/40
Not in heat	2/20	1/20	3/40	5/40
Accuracy rate (%)	90	95	92.5	87.5

Remarks: “Cool season” means January to May in 2012; “Hot season” means June to October in 2012.

At-Taras and Spahr (2011) 指出，熱季會影響牛隻發情駕乘行為表現與駕乘行為之時間長度，進而影響人為肉眼判定出發情的比例。因此將田間測試時段區分為涼季與熱季分別進行試驗，結果顯示涼季時 L 場與 H 場之無線型牛隻發情偵測器準確度分別為 90% 與 92.5%；熱季時則為 95% 與 87.5% (表 4)。比較 L 場與 H 場之牛隻發情偵測器準確度及結果，可以發現熱季時牛隻駕乘行為比例較低，但系統仍可藉由牛隻步伐數明顯增加且超過設定閾值而判定出牛隻發情。牛隻發情偵測優劣會直接影響到牛群之產犢間距，提高發情的偵測率可以顯著提升牛隻產乳量與牧場整體之經營利潤 (Pecsok *et al.*, 1994)。

## 結 論

本試驗利用牛隻發情時，會出現追逐、駕乘與被駕乘等動物行為作為基礎，開發出無線型牛隻發情偵測器系統，此系統可以全天候即 24 小時均可進行牛隻發情行為的偵測，所偵測到的訊號經處理過後預警牛隻發情，其準確度可達 90% 以上，可以節省以往酪農需要長時間進行牛隻行為觀察所耗費的時間，並且增加發情的被觀察率。架設牛隻發情偵測器訊號接收器主機時，需依據酪農戶畜舍場地因地制宜，比對測試最適合安裝的位置與數量，以達到最佳的訊號傳遞效果。無線型牛隻發情偵測器系統可準確判定牛隻發情的時間點，酪農可依據系統的判定即時進行配種，對於懷孕率有明顯提升的助益。

## 致 謝

本研究承行政院農業委員會資訊中心 (100 農科 -6.1.2- 畜 -L1) 經費支持，特此致謝。試驗期間感謝畜產試驗所新竹分所同仁洪蒼佑、謝炎東、劉振昌、蔡平原及王斌財等，以及 2 家酪農戶牧場之大力協助與資料收集始克完成。

## 參考文獻

- 宋永義。2006。新編乳牛學。華香園，臺北，pp.583-586。
- 李善男、劉振發、許義明、楊德威、陳得財、古兆和、梁宗寶。1999。熱季應用噴水及吹風循環涼爽法對乳牛生理與繁殖之效應。畜產研究 32 (2)：137-146。
- 陳志毅、葉家舟、李國華、張菊犁、蕭宗法、謝昭賢、江欣蓉、姜延年。2009。不同季節牛舍溫濕度指數與乳牛生產性狀之關係。畜產研究 42 (1)：1-12。
- 謝昭賢、蕭宗法、楊德威、陳志成。2007。臺灣地區溫濕度指數之分布。畜產研究 40 (4)：269-278。

- At-Taras, E. E. and S. L. Spahr. 2011. Detection and characterization of estrus in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 84: 792-798.
- Bucklin, R. A., L. W. Turner, D. K. Beede, D. R. Bray and R. W. Hemken. 1991. Methods to relieve heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Appl. Eng. Agric.* 7: 241-247.
- Carter, P. D. and J. H. Dufty. 1980. Assessment of vaginal impedance measurements as an indicator of oestrus in cattle. *Austr. Vet. J.* 56: 321-323.
- Dinsmore, R. P. and M. B. Cattell. 1993. Field trial of a radiotelemetry estrous detection system. *J. Dairy Sci.* 76 (Suppl. 1): 227 (Abstr.)
- Glencross, R. G., R. J. Esslemont, M. J. Bryant and G. S. Pope. 1981. Relationships between the incidence of preovulatory behaviour and the concentration of oestradiol -  $17\beta$  and progesterone in bovine plasma. *Appl. Anim. Ethol.* 7: 141-148.
- Gwazdauskas, F. C., R. L. Nebel, D. J. Sprecher, W. D. Whittier and M. L. McGilliard. 1990. Effectiveness of rump-mounted devices and androgenized females for detection of estrus in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 73: 2965-2970.
- Hansen, P. J., M. Drost, R. M. Rivera, F. F. Paula-Lopes, Y. M. al-Katanani, C. E. Krininger 3rd and C. C. Chase, Jr. 2001. Adverse impact of heat stress on embryo production: causes and strategies for mitigation. *Theriogenology* 55: 91-103.
- Kiddy, C. A. 1977. Variation in physical activity as an indication of estrus in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 60: 235-243.
- Liu, X. and S. L. Spahr. 1993. Automated electronic activity measurement for detection of estrus in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 76: 2906-2912.
- Mizunuma, M., T. Katoh and S. Hata. 2003. "Applying IT to Farm Fields--A Wireless LAN," *NTT Technical Review*, Vol. 1, No. 2, pp.56-60.
- Martiskainen, P., M. Järvinen, J. P. SkÖn, J. Tiirikainen, M. Kolehmainen and J. Mononen. 2009. Cow behaviour pattern recognition using a three-dimensional accelerometer and support vector machines. *Appl. Anim. Behave. Sci.* 119: 2-38.
- Müller, R. and L. Schrader. 2003. A new method to measure behavioural activity levels in dairy cows. *Appl. Anim. Behave. Sci.* 83: 247-258.
- Pankowski, J. W., D. M. Galton, H. N. Erb, C. L. Guard and Y. T. Gröhn. 1995. Use of prostaglandin  $F_{2\alpha}$  as a postpartum reproductive management tool for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78: 1477-1488.
- Pastell, M., J. Tiusanen, M. Hakojärvi and L. Hänninen. 2009. Wireless accelerometer system with wavelet analysis for assessing lameness in cattle. *Biosyst. Eng.* 104: 545-551.
- Pecsok, S. R., M. L. McGilliard and R. L. Nebel. 1994. Conception rates. 1. Derivation and estimates for effects of estrus detection on cow profitability. *J. Dairy Sci.* 77: 3008-3015.
- Sprecher, D. J., J. A. Farmer, R. L. Neel and E. C. Mather. 1995. The educational implications of reproductive problems identified during investigations at Michigan dairy farms. *Theriogenology* 43: 373-380.
- Webster, A. J. F. 1991. Metabolic responses of farm animals to high temperature. *EAAP Publ.* 5: 15-22.

# Establishment of wireless sensor network based system to improve the dairy farm management<sup>(1)</sup>

Szu-Han Wang <sup>(2)(3)</sup> Kuo-Hua Lee <sup>(2)</sup> Chun-Chieh Chiang <sup>(2)</sup> Fang-Chun Hsiao <sup>(2)</sup>  
Wan-Jung Chang <sup>(2)</sup> and Chu-Li Chang <sup>(2)</sup>

Received: Dec. 23, 2013; Accepted: Jun. 4, 2014

The purpose of this study was to establish a wireless sensor network system of dairy farm in Taiwan. Those systems were composed of barn environment sensors and wireless cattle heat detector system. The environment sensor system can be used for detecting ambient temperature and relative humidity. The system starts the barn cooling facilities such as fans and water spray when the ambient temperature exceeds the maximum setting. According to the power consumption data in summer 2011, the environment sensor system reduced about 25% of electricity costs. The cattle estrus detection system of wireless sensor network was applied on two dairy farms in Taoyuan and Natou country to do field tests. The results showed that accuracy of cattle estrus detection sensors were between 87.5-95%. It seemed that accuracy of cattle estrus detection sensors was mainly effected by temperature in different season. Results proved that wireless sensor network can applied to dairy farms, not only can save costs but also reduce visual observation time and can improve the accuracy of estrus judgment. This wireless sensor network system had superior benefits on saving barn power and keeping cattle estrus detection accuracy, and further to improve farm management efficiency.

Key words: Dairy farm, Management, Wireless sensor network.

---

(1) Contribution No. 2120 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Hsinchu Branch, COA-LRI, Shihwu 36841, Taiwan, R.O.C.

(3) Corresponding author, E-mail: shwang@mail.tlri.gov.tw.