

不同溫溼度指數對荷蘭泌乳牛乳產量與乳成分之影響⁽¹⁾

張俊達⁽²⁾ 蕭宗法⁽²⁾ 楊德威⁽²⁾ 林義福⁽²⁾ 李春芳⁽³⁾ 吳鈴彩⁽²⁾⁽⁵⁾ 王思涵⁽⁴⁾

收件日期：107 年 1 月 11 日；接受日期：107 年 1 月 23 日

摘 要

本研究旨在探討不同溫溼度指數 (temperature-humidity index, THI) 對荷蘭種泌乳牛產乳量與乳成分之影響。試驗期間自 2015 年至 2017 年，每天記錄畜舍溫度與相對濕度並計算 THI，試驗使用共 1,368 筆 DHI 資料，依不同 THI 程度 (THI < 72、THI 72 – 78 與 THI > 78) 下進行分析，分析項目包括乳量 (daily milk yield, DMY)、乳脂率 (milk fat percentage, MFP)、乳蛋白率 (milk protein percentage, MPP)、乳糖率 (milk lactose percentage, MLP)、乳無脂固形物 (milk solids-not-fat percentage, MSNFP)、乳總固形物 (milk total solid percentage, MTSP)、乳體細胞數 (somatic cell counts, SCC)、乳體細胞分數 (somatic cell score, SCS) 及乳蛋白質與乳脂肪之比值 (protein to fat ratio, PF)。結果顯示，畜舍每年 12 月份至隔年 3 月份 THI 皆小於 72，而每年 4 月份及 11 月份 THI 則介於 72 – 78 之間，其餘每年 5 月份至 10 月份 THI 皆大於 78。測定項目 DMY、MFP、MLP、MSNFP 及 MTSP 皆隨著 THI 增加而降低的現象。而 SCC、SCS 與 PF 則隨著 THI 增加有提高之趨勢。綜上所述，荷蘭種泌乳牛在熱環境下確實會對產乳性能產生負面的影響。因此，當 THI 大於 72 時，建議應採取減緩牛隻因熱緊迫所帶來的負面影響及可能帶來經濟上的損失之相關策略。

關鍵詞：荷蘭泌乳牛、乳組成、溫溼度指數。

緒 言

生乳是良好的營養來源，對人類的生長與能量的供應相當重要。生乳的營養價值會隨著生乳的組成分產生變異，且生乳的組成有很大程度上會決定牛乳的營養價值與製造乳酪的品質特性，因此如何維持產生良好的生乳品質相當重要 (Fox and McSweeney, 1998)。現行臺灣酪農戶也是依據生乳的品質進行計價，因此生乳的組成對所收購酪農原料的乳品加工廠影響甚鉅。生乳的部分成分不僅影響著牛乳與乳製品之營養價值 (Kefford *et al.*, 1995)，也反映乳品質與牛隻健康 (Auld *et al.*, 1996)。因此，需要探討影響生乳組成之因素，以期透過飼養管理及營養補充來改善牛乳的品質與產量。氣候為主要影響家畜動物福利與生產性能的重要因素 (Hill and Wall, 2015)。炎熱的環境可能對泌乳牛的乳產量產生負面的影響，特別是高泌乳量的牛隻 (Kadzere *et al.*, 2002)。由於牛乳合成會產生代謝熱負荷 (metabolic heat load)，故泌乳牛對熱緊迫相當敏感 (Beede and Shearer 1991)。藉由 THI 可評估飼養環境對牛隻性能的影響，且 THI 是一個獨特的指標，代表了環境溫度和濕度的綜合影響 (Kendall and Webster, 2009)。因此，本研究探討在臺灣南部於不同 THI 程度下對荷蘭泌乳牛產乳量及牛乳組成之影響。

材料與方法

I. 試驗動物與飼糧

本試驗為 2015 年 1 月至 2017 年 12 月飼養在行政院農業委員會畜產試驗所產業組之荷蘭泌乳牛群。泌乳牛飼糧依 NRC (2001) 泌乳牛營養標準配製之完全混合日糧 (total mixed ration, TMR)，飼糧組成包括盤固乾草、苜

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2585 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所產業組。

(3) 行政院農業委員會畜產試驗所營養組。

(4) 行政院農業委員會畜產試驗所新竹分所。

(5) 通訊作者，E-mail：wlt@mail.tlri.gov.tw。

藉乾草、青貯玉米、大豆殼粒、高粱酒粕、啤酒粕及以玉米與大豆粕為主之精料，每日配製兩次，分別於上午 7：00 配製 1/3 量與下午 2：30 配製 2/3 量。另以自動給水槽供乾淨飲水及礦鹽任食。

II. 資料收集

- (i) 溫溼度指數：牛舍為開放式自由牛舍 (free stall) 設計，依牛舍長度分成 3 等份，在牛頸夾與牛床上離地 2 m 高度各設置 1 組溫溼度感應器 (HOBO pro RH/Temp, Onset Computer Corporation, MA, USA) 進行溫度與濕度測定，共計 6 組，於試驗期間連續每隔 0.5 小時測定及記錄溫溼度一次，每週將資料轉錄至電腦中以進行牛舍環境參數的累計與分析，THI 值以 National Oceanic and Atmospheric Administration (1976) 法計算。其公式 $THI = 9/5T + 32 - 0.55 \times (1 - RH) \times (9/5T - 26)$ 。式中 THI 為溫濕度指數；T 為氣溫 (單位 °C)；RH 為相對濕度。
- (ii) 乳成分：每日擠乳兩次，分別為清晨 5：00 與下午 3：30，由電腦記錄個別牛隻泌乳量 (daily milk yield, DMY)。每個月初收集乳樣並送至行政院農業委員會畜產試驗所新竹分所 DHI 乳樣檢驗中心進行分析，分析包括 MFP、MPP、MLP、MSNFP、MTSP 及 SCC 等分析。其中 SCS 則是依據 Ali and Shook (1980) 之公式為 $SCS = \log_2 (SCC/100,000) + 3$ 進行轉換計算。依據行政院農業委員會乳品加工廠收購酪農原料生乳驗收及計價要點之生乳品質分級基準，將牛乳體細胞數大於 $1 \times 10^6/\text{mL}$ 之資料剔除。共得 1,368 筆產乳量與 DHI 資料進行統計分析，所收集泌乳性狀資料，如表 1。本試驗牛群胎次之分布為第一胎 43.64% (n = 597)；第二胎 29.68% (n = 406)；第三胎 16.00% (n = 219)；第四胎 6.58% (n = 90)；第五胎 3.87% (n = 53)。

表 1. 收集 DHI 資料之分布

Table 1. Description of collected DHI data

DHI Data ¹	Average	Minimum	Maximum
Parity	1.97 ± 1.09	1.00	5.00
DMY, kg/d	26.36 ± 7.45	6.70	50.20
MFP, %	4.08 ± 0.71	2.21	7.35
MPP, %	3.13 ± 0.36	2.20	4.65
PF	0.79 ± 0.18	0.39	3.05
MLP, %	4.77 ± 0.24	3.42	5.34
MSNFP, %	8.61 ± 0.41	7.11	10.06
MTSP, %	12.68 ± 0.87	9.77	16.00
SCC, 10 ⁴ /mL	19.06 ± 21.32	0.10	99.90
SCS	3.19 ± 1.51	-3.64	6.32

¹DMY = daily milk yield; MFP = milk fat percentage; MPP = milk protein percentage; MLP = milk lactose percentage; MSNFP = milk solids-not-fat percentage; MTSP = milk total solid percentage; SCC = Somatic cell counts; SCS = Somatic cell score; PF = protein to fat ratio.

III. 統計分析

研究所得資料利用 SAS 統計分析軟體 (SAS, 1999)，以一般線性模式 (general linear model procedure, GLM) 進行統計分析，以鄧肯式新多變測定法 (Duncan's new multiple rang test) 比較不同 THI 之差異顯著性，當 $P < 0.05$ 表差異顯著， $P < 0.01$ 表差異極顯著。

結果與討論

圖 1 顯示，2015 年至 2017 年各月份平均 THI。THI 為利用氣溫及相對濕度結合之計算值，可用來警示家畜生產業及運輸業者家畜受熱緊迫之狀況 (Harrington and Bowles, 2004)。當氣候在高溫及高濕結合時，限制牛隻散去過多之體熱，此對家畜形成生產上之熱緊迫 (Hahn *et al.*, 2001; Mader, 2003)。此數值已發展為氣候安全指標 (climatic safety index) 用以確認及降低因熱緊迫所造成的損失 (Nasr and El-Taraban, 2017)。另外，West (1995) 及 Chase (2006) 也指出，當畜舍溫度大於 25°C 或 THI 值大於 72，容易使牛隻產生熱緊迫，其症狀包括減少乾物質採食量、產乳量、擾亂代謝作用、乳牛會藉由尋覓遮蔭而調整體溫，增加呼吸率及血管擴張等，進而影響採食量。由本研究近三年調

查可發現，自 4 月份開始畜舍內的平均 THI 就已達到 72 以上，一直持續到 11 月份，顯示臺灣南部地區每年約有近 8 個月的時間，牛隻是在於熱緊迫的狀態。臺灣每年 3 至 5 月份為梅雨季節天氣常陰雨連綿，畜舍潮濕再加上本研究 4 月份與 5 月份所測得畜舍溫度平均高於 25°C，已超過泌乳牛之適溫範圍 -0.5 至 20°C 之間 (Johnson, 1987)，顯示臺灣除了夏(熱)季以外，南部地區梅雨期間也會對牛隻造成緊迫。因此臺灣酪農業，特別是南部地區，應提早至每年 4 月份開始須針對牛隻飼養管理進行調整，包括因應牛隻熱緊迫之營養管理以及畜舍風扇與灑水或噴霧之啟動，以儘早防範或減緩牛隻熱緊迫之產生。雖然 THI 主要用來評估牛隻熱緊迫的指標，但是 THI 若能考量風速、太陽輻射等因素並加以調整，將可較準確評估動物是否處於不舒服或熱緊迫之狀態 (Huber, 1996)。

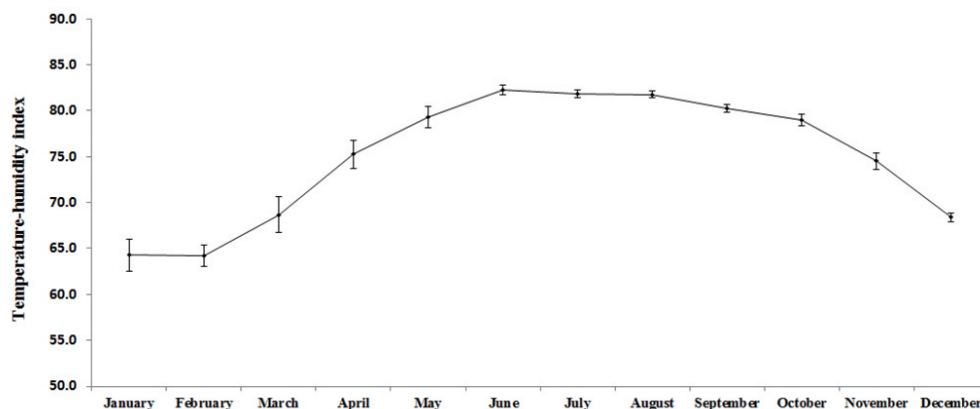


圖 1. 2015 年至 2017 年之月平均溫溼度指數。

Fig. 1. Monthly average temperature-humidity index from 2015 to 2017.

牛隻在 THI 大於 78 下，其 DMV 則顯著低於 THI 小於 72 組及 THI 72 – 78 組 ($P < 0.05$) (表 2)。而 MLP 以 THI 小於 72 情況下顯著高於 THI 72 – 78 組與 THI 大於 78 組。Kohli *et al.* (2014) 指出，高產量的泌乳牛對熱緊迫相當敏感，特別是炎熱環境。可能是因為高泌乳產量而有顯著提高動物體內代謝熱 (metabolic heat) 的產生 (West *et al.*, 2003)。在高氣溫與高濕度環境下會使牛隻體溫提高，牛隻為了減少熱的差距 (heat disparity)，其採食量、代謝、體重及產乳量會有降低的現象 (Wheelock *et al.*, 2010)。而造成產乳量的降低可能是因為，(1) 在熱環境下為了進行冷卻則轉變血液流動至周邊組織，因此可能改變營養代謝而降低乳產量 (Hossein-Zadeh *et al.*, 2013)；(2) 熱緊迫下會使肝臟葡萄糖的合成降低、葡萄糖轉化率下降以及能量需要葡萄糖量增加，而減少乳腺組織合成乳糖所需的葡萄糖。乳產量的多寡決定於乳糖，因為乳糖是最重要決定乳量的滲透調節因子，因此低的葡萄糖利用率會導致牛乳產量下降 (Baumgard and Rhoads, 2007)。暴露在高 THI 下會降低牛乳乳糖濃度 (Nardone *et al.*, 1997; Shwartz *et al.*, 2009)，可能是因為在熱緊迫下會直接與間接影響前驅物質 (即葡萄糖) 傳送到乳腺組織 (Bernabucci *et al.*, 2010)。

表 2. 溫溼度指數對荷蘭泌乳牛生乳組成分之影響

Table 2. Effect of temperature-humidity index (THI) on raw milk composition in Holstein cows

Row milk composition ¹	Temperature-humidity index (THI)			SEM
	THI < 72	THI 72-78	THI > 78	
DMY, kg/d	27.4 ^a	27.3 ^a	25.1 ^b	0.37
MLP, %	4.83 ^a	4.76 ^b	4.75 ^b	0.02
MFP, %	4.15 ^a	4.09 ^{ab}	4.02 ^b	0.03
MPP, %	3.14	3.14	3.13	0.02
PF	0.77 ^b	0.80 ^{ab}	0.81 ^a	0.01
MSNFP, %	8.67 ^a	8.60 ^b	8.59 ^b	0.02
MTSP, %	12.74 ^a	12.74 ^a	12.61 ^b	0.03
SCC, 10 ⁴ /mL	17.15 ^b	18.44 ^{ab}	20.23 ^a	1.06
SCS	2.92 ^b	3.04 ^b	3.31 ^a	0.07

¹ DMY = daily milk yield; MFP = milk fat percentage; MPP = milk protein percentage; MLP = milk lactose percentage; MSNFP = milk solids-not-fat percentage; MTSP = milk total solid percentage; SCC = Somatic cell counts; SCS = Somatic cell score; PF = protein to fat ratio.

^{a, b} Means in the same row with the different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

本研究的 MFP 則以 THI 小於 72 最高，而 THI 大於 78 顯著最低 ($P < 0.05$)。THI 小於 72 組的 MSNFP 顯著低於 THI 介於 72 - 78 組及 THI 大於 78 組 ($P < 0.05$)。MTSP 則以 THI 大於 78 組顯著最低 ($P < 0.05$)。在炎熱環境下造成乳成分降低以及改變可能是因為採食量的降低，使能量採食減少而導致牛乳的合成降低。熱緊迫也會降低唾液的產生，造成瘤胃的緩衝能力受到影響。降低瘤胃 pH 可能降低乳脂的合成 (Emery, 1978)。本研究 PF 值 (乳蛋白質率 / 乳脂肪率) 則以 THI 大於 78 組顯著最高 ($P < 0.05$)。此部分可能是因為本研究調查乳蛋白質率各組間無差異情況下，而乳脂肪隨著 THI 顯著降低，而導致 PF 值有隨著 THI 增加有提高的現象。

本研究的 SCC 及 SCS 隨著 THI 增加而有提高的現象且以 THI 大於 78 組顯著最高 ($P < 0.05$)，此結果與其他研究結果相似 (Bertocchi *et al.*, 2014; Zeinhom *et al.*, 2016)。然而生乳中的高 SCC 代表有較高的亞臨床性乳房炎 (subclinical mastitis) 發病率，且導致 SCC 增加的主要病原體為大腸桿菌和無乳鏈球菌屬 (Harmon, 1994)。在熱緊迫下，特別是 THI 大於 78 情況下，造成 SCC 增加可能主要是因為有較高的金黃色葡萄球菌和大腸桿菌比率導致 (Zeinhom *et al.*, 2016)。在暖季或在濕熱環境下，牛床墊上的環境細菌的生長與數量會增加 (Harmon, 1994)，且在這些條件下，當乳房與牛床、土壤、水和糞便接觸時，可能就會增加乳房受到病原菌污染的機會 (Jayarao *et al.*, 2004)，而造成生乳有較高的 SCC。

結 論

由本研究調查與分析結果發現，高 THI 確實與高 SCC 有相關性，並且也會降低產乳量與乳品質。因此，當 THI 大於 72 時，建議採取減緩牛隻因發生熱緊迫產生的負面反應，同時亦可改善動物福祉與牛乳的經濟收益。

誌 謝

試驗期間承畜產試驗所產業組一股全體同仁協助，謹致謝忱。

參考文獻

- Ali, A. K. A. and G. E. Shook. 1980. An optimum transformation for somatic cell concentration in milk. *J. Dairy Sci.* 63:487-490.
- Auldust, M. J., S. Coats, B. J. Sutherland, J. J. Mayes, G. H. McDowell and G. L. Rogers. 1996. Effects of somatic cell count and stage of lactation on raw milk composition and the yield and quality of Cheddar cheese. *J. Dairy Res.* 63: 269-280.
- Baumgard, L. H. and R. P. Rhoads. 2007. The effects of hyperthermia on nutrient partitioning. In: *Proceedings of Cornell Nutrition Conference*, Ithaca, New York, pp. 93-104.
- Beede, D. K. and J. K. Shearer. 1991. Nutritional management of dairy cattle during hot weather. *Agricul. Pract.* 12: 164-170.
- Bernabucci, U., N. Lacetera, L. H. Baumgard, R. P. Rhoads, B. Ronchi and A. Nardone. 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal* 4: 1167-1183.
- Bertocchi, L., A. Vitali, N. Lacetera, A. Nardone, G. Varisco and U. Bernabucci. 2014. Seasonal variations in the composition of Holstein cow's milk and temperature-humidity index relationship. *Animal* 8: 667-674.
- Chase, L. E. 2006. Climate change impacts on dairy science. In: *Climate change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses*, held at March 7th, Baltimore, MD, USA.
- Emery, R. S. 1978. Feeding for increased milk protein. *J. Dairy Sci.* 61: 825-828.
- Fox, P. F. and P. L. H. McSweeney. 1998. *Dairy Chemistry and Biochemistry*. London, UK: Blackie Academic and Professional. London. UK.
- Hahn, G. L., T. Mader, D. Spiers, J. Gaughan, J. Nienaber, R. Eigenberg, T. Brown-Brandl, Q. Hu, D. Griffin, L. Hungerford, A. Parkhurst, M. Leonard, W. Adams and L. Adams. 2001. Heat wave impacts on feedlot cattle: Considerations for improved environmental management. In *Proc. 6th International Livestock Environment Symposium.*, American Society of Agricultural and Engineering. St. Joseph, MI, USA. pp. 129-130.
- Harrington, J. A. and Jr. E. Bowles. 2004. A climatology of hourly THI values for livestock producers. 14th Conference on Applied Climatology. Poster Session 1-12, The 84th AMS Annual Meeting, Seattle, USA.

- Harmon, R. J. 1994. Physiology of mastitis and factors affecting somatic cell counts. *J. Dairy Sci.* 77: 2103-2113.
- Hill, D. L. and E. Wall. 2015. Dairy cattle in a temperate climate: the effects of weather on milk yield and composition depend on management. *Animal* 9: 138-149.
- Hossein-Zadeh, G. N., A. Mohit and N. Azad. 2013. Effect of temperature-humidity index on productive and reproductive performances of Iranian Holstein cows. *Iranian J. Vet. Res.* 14: 106-112.
- Huber, J. T. 1996. Amelioration of heat stress in dairy cattle. In: *Progress in Dairy Science* Ed. C. J. C. Philips. CAB International, Oxon, UK.
- Jayarao, B. M., S. R. Pillai, A. A. Sawant, D. R. Wolfgang and N. V. Hegde. 2004. Guidelines for monitoring bulk tank milk somatic cell and bacterial counts. *J. Dairy Sci.* 87: 3561-3573.
- Johnson, H. D. 1987. Bioclimates and livestock. *Bioclimatology and the Adaptation of Livestock*. World Animal Science. H. D. Johnson, ed. Elsevier Science Publ. Co., New York.
- Kadzere, C. T., M. R. Murphy, N. Silanikove, and E. Maltz. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 77: 59-91.
- Kefford, B., M. P. Christian, B. J. Sutherland, J. J. Mayes and C. Grainger. 1995. Seasonal influences on Cheddar cheese manufacture: Influence of diet quality and stage of lactation. *J. Dairy Res.* 62: 529-537.
- Kendall, P. E. and J. R. Webster. 2009. Season and physiological status affects the circadian body temperature rhythm of dairy cows. *Livest. Sci.* 125: 155-160.
- Kohli, S., U. K. Atheya and A. Thapliyal. 2014. Assessment of optimum thermal humidity index for crossbred dairy cows in Dehradun district, Uttarakhand, India. *Vet. World* 7: 916-921.
- Mader, T. L. 2003. Environmental stress in confined beef cattle. *J. Anim. Sci.* 81: E110-E119.
- Nasr, M. A. and M. S. El-Tarabany. 2017. Impact of three THI levels on somatic cell count, milk yield and composition of multiparous Holstein cows in a subtropical region. *J. Therm. Biol.* 64: 73-77.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. 1976. Livestock hot weather stress. *Regional Operations Manual Letter C-31-76*. US Dep. Commerce, Natl. Oceanic and Atmospheric Admin., Natl. Weather Service Central Region, Kansas City, Missouri, USA.
- National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 7th ed. Washington, D. C. National Academy Press. USA.
- Nardone, A., N. Lacetera, U. Bernabucci and B. Ronchi. 1997. Composition of colostrum from dairy heifers exposed to high air temperatures during late pregnancy and the early postpartum period. *J. Dairy Sci.* 80: 838-844.
- SAS Institute. 1999. *SAS System for Windows*. Release 8.01. SAS Institute, Cary, NC. USA.
- Shwartz, G., M. L. Rhoads, M. J. VanBaale, R. P. Rhoads and L. H. Baumgard. 2009. Effects of a supplemental yeast culture on heat-stressed lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 92: 935-942.
- West, J. W. 1995. Managing and feeding lactating dairy cows in hot weather. *Bulletin 956/1995*. The University of Georgia and Ft. Valley State College, the U.S.D.A. and counties of the state cooperating, USA.
- West, J. W., B. G. Mullinix and J. K. Bernard. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86: 232-242.
- Wheelock, J. B., R. P. Rhoads, M. J. VanBaale, S. R. Sanders and L.H. Baumgard. 2010. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 93: 644-655.
- Zeinhom, M. M. A., R. L. Abdel Aziz, A. N. Mohammed and U. Bernabucci. 2016. Impact of seasonal conditions on quality and pathogens content of milk in Friesian cows. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 29: 1207-1213.

Impact of different THI levels on milk yield and composition of Holstein dairy cows ⁽¹⁾

Chun-Ta Chang ⁽²⁾ Tzong-Faa Shiao ⁽²⁾ Der-Wei Yang ⁽²⁾ Yih-Fwu Lin ⁽²⁾
Churng-Faung Lee ⁽³⁾ Ling-Tsai Wu ⁽²⁾⁽⁵⁾ and Szu-Han Wang ⁽⁴⁾

Received: Jan. 11, 2018; Accepted: Jan. 23, 2018

Abstract

This study aimed at assessing the impact of temperature-humidity index (THI) on milk yield and composition of Holstein dairy cows. Experiment animals were carried out inside the barn and in a dairy farm. Daily ambient temperature and relative humidity were recorded and used to calculate the daily THI from 2015 to 2017. A total of 1,368 sets of complete Dairy Herd Improvement data were obtained and grouped by THI levels (THI < 72, THI 72-78, and THI > 78). These data included daily milk yield (DMY), milk fat percentage (MFP), milk protein percentage (MPP), milk lactose percentage (MLP), milk solids-not-fat percentage (MSNFP), milk total solid percentage (MTSP), somatic cell counts (SCC), somatic cell score (SCS), and protein to fat ratio (PF). The results showed that THI were less than 72 from December to March between 72 and 78 in April and November, and greater than 78 from May to October for each year. DMY, MFP, MLP, MSNFP, and MTSP were decreased with the increase of THI, but SCC, SCS and PF tended to increase with the THI. In conclusions, the results of this study indicated the seriousness of the negative effects of hot conditions on milk yield and composition. Thus, when the THI is greater than 72, measures should be taken to alleviate negative consequences of heat stress in dairy cows and related economic losses.

Key words: Holstein dairy cows, Milk composition, Temperature-humidity index.

(1) Contribution No. 2585 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Animal Industry Division, COA-LRI, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

(3) Nutrition Division, COA-LRI, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

(4) Hsinchu Branch, COA-LRI, Miaoli 36841, Taiwan, R. O. C.

(5) Corresponding author, E-mail: wlt@mail.tli.gov.tw.