

臺灣水牛之現況與分子選育

陳蕙婷¹ 莊璧華¹ 謝佳容² 蘇安國¹

¹行政院農業委員會畜產試驗所花蓮種畜繁殖場

²行政院農業委員會畜產試驗所遺傳育種組

臺灣地區水牛飼養頭數於 1956 年達顛峰為 32.98 萬，但由於農業機械化日益普及，水牛逐漸失去原有之役用功能，頭數急遽減少，自 2010 年成功命名為臺灣水牛以來，頭數從 3,627 下降至今年的 2,070 頭，和全盛時期相較，實在是大幅縮減。臺灣水牛為粗放型動物，其環境適應力強，且具抗病性，對芻料與農副產品之利用效率佳，生產成本相對較低。此外，水牛經肥育後在適齡屠宰時，其肉質之官能品評不亞於牛肉，加上，水牛肉之健康性與安全性較牛肉佳，較符合現代人的飲食要求。總而言之，臺灣水牛確實潛力無窮，因此，花蓮種畜繁殖場對於臺灣水牛的保種及推廣一直不遺餘力。

關鍵語：臺灣水牛、保種、分子標幟選拔

The Current Situation And The Marker-assisted Selection Of Taiwan Swamp Buffalo

Chen Yi-Ting¹, Chuang Pi-Hua¹, Hsieh Chia-Jung², Su An-Kuo¹

¹Hualien Animal Propagation Station, COA-LRI, Executive Yuan. R.O.C

²Division of Breeding and Genetics, COA-LRI, Executive Yuan. R.O.C

In 1956, the domesticated water buffalo in Taiwan was 329.8 thousand heads and the number reached its peak. After the agricultural machinery became popular, the functions of water buffaloes were replaced and the number of water buffaloes declined rapidly. When “Taiwan swamp buffalo” was named successfully in 2010, the number of water buffaloes was 3,627 at that time and then it dropped to 2,070 in 2018 dramatically. Taiwan swamp buffalo is a kind of highly rough-tolerance livestock. They have the outstanding ability to adapt to the extreme environment and the resistance to disease. Furthermore, water buffaloes can utilize forage and agricultural by-products efficiency for decreasing the cost of production. Besides, in the optimal slaughter ages, the meat quality of fattened water buffalo is keeping up with the beef. Additionally, the health and safety of water buffalo meat are better than the beef and fit the requirement of dietary for the modern consumers. In general, Taiwan swamp buffaloes have the endless potential. Therefore, Hualien Animal Propagation Station committed to the preservation and promotion for Taiwan swamp buffalo with dedications.

Key Words : Taiwan swamp buffalo, Preservation, Marker-assisted Selection

一、前言

水牛 (*Bubalus bubalis*) 於開發中國家是非常重要的經濟動物，尤其種稻的國家，像是中國南部、印度次大陸...等，水牛不僅是農業役用的最佳工具，還可提供水牛奶及水牛肉食用 (Nanda and Nakao, 2003; Michelizzi *et al.*, 2010)。FAO 2015統計資料顯示，全世界水牛目前頭數約是2億頭，數量是排名第5名之重要家畜 (FAOSTAT, 2015)。依據水牛的外表型、行為及染色體組型 (karyotype) 可將之分為河川型和沼澤型，河川型染色體對數為 25 對，大多為乳用品系，主要分布於東歐、中東及印度次大陸，其中印度有將近九千八百萬頭河川型水牛，產乳量約佔全世界的 7 成 (FAOSTAT, 2006)；沼澤型染色體對數 24 對，役用為主，分布於中國、印度東北邊、孟加拉及東南亞國家 (Cockrill, 1981; Kumar *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2015)。

臺灣水牛屬於沼澤型，係先民於 16 世紀自廣東、福建引進臺灣進行耕作 (許, 1984)。最初主要用途是役用，全盛時期，水牛數量曾達 32 萬頭，但隨著農業機械化，水牛頭數日漸減少，107 年第 1 季農業統計年報顯示，目前臺灣在養水牛頭數僅 2,070 頭，且持續減少中。有鑑於水牛頭數快速下降，為保存珍貴的畜產資源，行政院農業委員會畜產試驗所花蓮種畜繁殖場 (以下簡稱花蓮場) 於 1981 至 1984 年間，自花蓮縣玉里 (1)、富里 (3)，臺東縣成功 (25)、池上 (7)，臺北縣五股 (3)，及臺南縣 (1)、新竹縣 (1) 等地共引進 39 頭母水牛及 2 頭公水牛，並於 1987 年正式成為國家級保種族群，此族群在花蓮地區封閉已 20 年，具有區域適應性及遺傳特質。自 1987 年至 2008 年，進行品種選育，結合花蓮縣境內水牛多以自然、原始、近乎野放的方式飼養，及該地區給予國人好山好水的既定印象，發展以優質、綠色、健康的訴求，發展成為具區域特色的產業。經過十年的努力，於 2010 年通過新品系命名—臺灣水牛 (Taiwan Swamp Buffalo) (行政院農業委員會畜產試驗所, 2010)，自此，花蓮場透過新興飼養管理模式及育種技術...等，持續地進行水牛保種工作。

二、花蓮場臺灣水牛之推廣

花蓮場臺灣水牛自命名以來，陸續推廣回流於民間農戶，各年度推廣頭數如圖 1，其中，2015 年推廣出售 1 公 1 母至金門縣畜產試驗所，目前已生產兩胎；今年度推廣出售了 25 頭成長水牛，部分牛隻在臺東飼養 (圖 2)。

圖 1. 花蓮場臺灣水牛自命名以來各年度推廣頭數

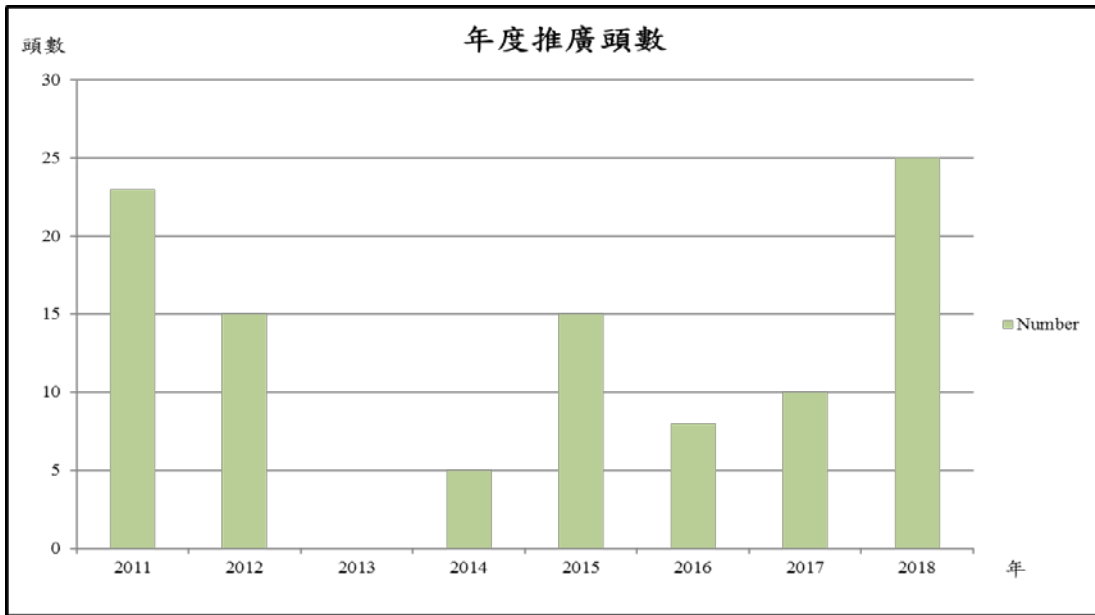


Figure 1. The number of buffalo in Hualien animal propagation station has been promoted each year since named by Taiwan Swamp Buffalo



圖2. 推廣回流農戶之水牛現況。金門縣畜產試驗所（左）；臺東吳先生（右）。

Figure 2. The situation of Taiwan Swamp Buffalo which was promoted back to local breeders. Livestock Research Institute Kinmen County (Left) ; Mr. Wu from Taitung (Right) .

三、新興飼養管理及育種技術

(一) 自動化管理系統

無線射頻系統（Radio Frequency Identification, RFID）是利用射頻訊號，以無線方式傳送及接收數據資料。目前被認定為21世紀10大重要技術發明之一。臺灣最早是利用於動物身分辨識，而現行多種 RFID 產品如捷運悠遊卡、門卡等亦屬 RFID 於生活上之應用。除生活上之應用外，目前 RFID 以大規模使用於倉儲庫存管理、資產管理以及商品追蹤之農產品產銷履歷等用途。現今亦有將此系統導入

動物飼養管理之例，期望以更精準的方式達到生產效率之提升（Pires, 2002）及減少人為管理錯誤與疏失（Samad *et al.*, 2010; Vou-lodimos *et al.*, 2010）。本場導入 RFID 並配合個人數位助理（Personal Digital Assistant, PDA）、RFID 多目標搜尋感測系統、RFID 電子磅秤及視訊辨視系統等設備，建立自動化之飼養管理以提升水牛之飼養效率。

1. RFID 及 PDA 軟體管理系統之建置

以 RFID 超高頻電子耳標作為水牛個體識別系統，並研發客製化電腦軟體，有效掌握動物頭數及其生長性狀等資料。而 PDA 可於距水牛電子耳標約1.5至2米處判讀，其設計可為單機操作或遠端連線（圖3），以便進行體型及疫苗注射等記錄更新，資料收集之精確性及穩定性為100%。



圖3. 個人數位助理（PDA）資料畫面。

Figure 3. The screen monitor of PDA.

資料來源：花蓮場未發表資料（莊璧華等）

2. RFID 自動電子地磅系統

本場建置之 RFID 自動電子地磅系統，採用4組電子式荷重元配合調整盒，其地磅主體的可承受牛隻重量高達1.2噸，結合 RFID 電子辨識系統，可有效判讀水牛 RFID 電子耳標，同時擷取過磅牛隻照片及過磅重量，並與後端 SQL 資料庫連線，自動化記錄水牛平均體重如圖4，並即時傳輸至牧場室內之「牛隻管理系統」，精確性及穩定性為100%。



圖4. 自動電子地磅系統。

Figure 4. Automatic electronic scales system.

資料來源：花蓮場未發表資料（莊璧華等）

3. RFID 多目標搜尋感測系統

本場所建構之 RFID 多目標搜尋感測系統，係採閘門式通道方式，牛群經過閘門時，前端辨識軟體功能，可同時讀取多組電子耳標訊息，並顯示於軟體畫面如圖5，已讀取之電子耳標訊息可於牛隻全數通過後，回傳至後端 SQL 資料庫，軟體記錄並讀取牛隻電子耳標的日期，時間，號碼，試驗調查結果顯示，在感測器半徑 2 米範圍內，水牛緩步或以時速 2.2-3.6 公里通過閘門，其辨識準確率可達 95-100%。牛群通過頭數 10-20 隻以內，前端辨識判讀率均可達 95% 以上，RFID 多目標搜尋感測系統可與「牛隻管理系統」結合，有效管理牧區動物頭數。



圖5. RFID 多目標搜尋感測系統。

Figure 5. Multi-target sensing system.

資料來源：花蓮場未發表資料（莊璧華等）

4. 放牧區光電式感測輪牧系統

本場利用已建置之無線射頻辨識系統、RFID 多目標搜尋感測系統、太陽能電牧器及視訊辨視系統等設備，配合紅外線掃瞄器，進一步建構放牧區光電式感測輪牧系統，並將各項設備與財產管理軟體，以客製化軟體做一有效的銜接，除能掌握動物頭數之變化、即時管控財產數量外，可適度調節放牧草區放牧強度，維持草相之健康。初步試驗結果顯示，此放牧區光電式感測輪牧系統能以自動化感測方式，監控放牧區草量並啟動自動輪牧系統，減少放牧區之人力管理，有效達成降低勞力、分群管理、自動化輪牧管理及合理利用牧地之目的。並長期進行本草區之大氣及土壤溫濕度變化統計，分析此牧區肥力，以進一步評估草相生長與環境因素之相關聯性。

(二) 族群結構分析

為避免本土生物臺灣水牛遺傳特色消失，除維持一定數量之保種小族群的保種工作項目外，有關臺灣水牛遺傳性狀基因資料亦著手進行研究，利用基因分子標幟（如微衛星、數量性狀基因座等）進行監控族群多樣性，避免因小族群而造成過度近親。

1. 微衛星

微衛星標幟（Microsatellite Marker），又稱簡單重複序列（Simple Sequence Repeats, SSRs）或稱短縱列重複序列（Short Tandem Repeats, STRs），因其具有高度個體特異性且穩定遺傳，於家畜遺傳育種之研究應用廣泛，如豬、羊、牛等（廖等，2014；Moioli *et al.*, 2001；Dixit *et al.*, 2012）。FAO 推薦使用於水牛的微衛星標幟有數組（FAO, 2004；FAO, 2011），可應用於微衛星之檢測分析。

根據文獻推薦之微衛星標記分析本場臺灣水牛之結果顯示（表 1），微衛星基因標幟平均多態性訊息含量（PIC）為 0.45，族群呈現中度多態性。然與於 2008 及 2013 年利用數組微衛星標幟進行族群多樣性分析，其 PIC 值介於 0.48-0.56（行政院農業委員會會畜產試驗所，2010；林等，2013）相較，顯示花蓮場水牛保種族群遺傳多樣性正逐漸下降。原因可能與 2013 年牛群進行計畫性淘汰，種公及種母水牛數量減少有關。

族群內懷特氏固定指數 F_{is} 平均值 0.1261，顯示族群目前為近親配種狀態。 F_{st} 平均值為 0.1077，顯示族群間的分化程度為中等。利用軟體分析花蓮場水牛群最適分群數為 3 群。為避免水牛族群過度近親，可考慮引進外場種公或種母牛，以維持族群之遺傳多樣性。

表1. 花蓮場水牛微衛星標記多樣性分析

Table 1. Analysis of genetic polymorphism of 11 microsatellite markers (loci) in Hualien water buffalo population

Locus	Observed fragment size (bp)	Na*	HE**	HO***	PIC****	Fis
AGLA293	188~194	3	0.3056	0.3171	0.2669	-0.0377
BMC1009	277-291	3	0.6666	0.6585	0.5898	0.0121
BMC1013	207~241	4	0.6313	0.6423	0.5623	-0.0174
CSSM022	205~209	3	0.4671	0.2033	0.3774	0.5659
CSSM029	176~194	3	0.5341	0.4706	0.4457	0.1195
CSSM036	163~173	6	0.6611	0.6179	0.5962	0.0656
CSSM046	153~159	3	0.6431	0.2602	0.5674	0.5964
CYP21	176~186	4	0.6352	0.6504	0.5800	-0.0241
ETH121	183~189	3	0.4225	0.4065	0.3622	0.0379
TGLA126	99~101	2	0.2150	0.1951	0.1912	0.0929
TGLA227	71~79	2	0.3575	0.3659	0.2927	-0.0235
Average		3.3	0.5036	0.4352	0.4539	0.1261

*Na: Number of observed alleles

**HE: Expected heterozygosity

***HO: Observed heterozygosity

****PIC: Polymorphic information content

資料來源：花蓮場未發表資料（莊璧華等）

2. 粒線體基因

粒線體 DNA (Mitochondrial DNA, mtDNA) 為封閉的環狀雙股 DNA，經由卵細胞遺傳給子代，可自行複製，具有演化快速，種間差異大，族群內穩定性高，母系遺傳等特性，可用來探討動物種族或族群間之歧異度、親緣關係及物種演化上之關聯性。以本場臺灣水牛進行粒線體 DNA 上的控制區 (Displacement loop, D-loop)、細胞色素 b 基因 (Cytochrome b gene, *Cyt b* gene) 以及 12S 核糖體 RNA 基因 (12S ribosomal RNA gene, *12S rRNA* gene) 序列之多態性分析。結果顯示，D-loop 控制區序列 (661 bp) 有 25 個單核苷酸多態性 (Single-nucleotide polymorphism, SNP)；*Cyt b* 基因 (1140 bp) 有 11 個 SNP 位點；*12S rRNA* 基因 (444 bp) 有 2 個 SNP 位點。將三段序列進一步分析，發現 D-loop 控制區具有 7 種單套型 (haplotype)，*Cyt b* 及 *12S rRNA* 基因各有 3 種單套型。以鄰近連接法 (Neighbor-joining method) 繪製的親緣關係樹可將本場臺灣水牛分為三個次族群 (圖6)，所佔比例依次為 90%、6% 以及 4%。

此結果可當作臺灣水牛生物多樣性流失風險之評估指標，防止近親衰退。

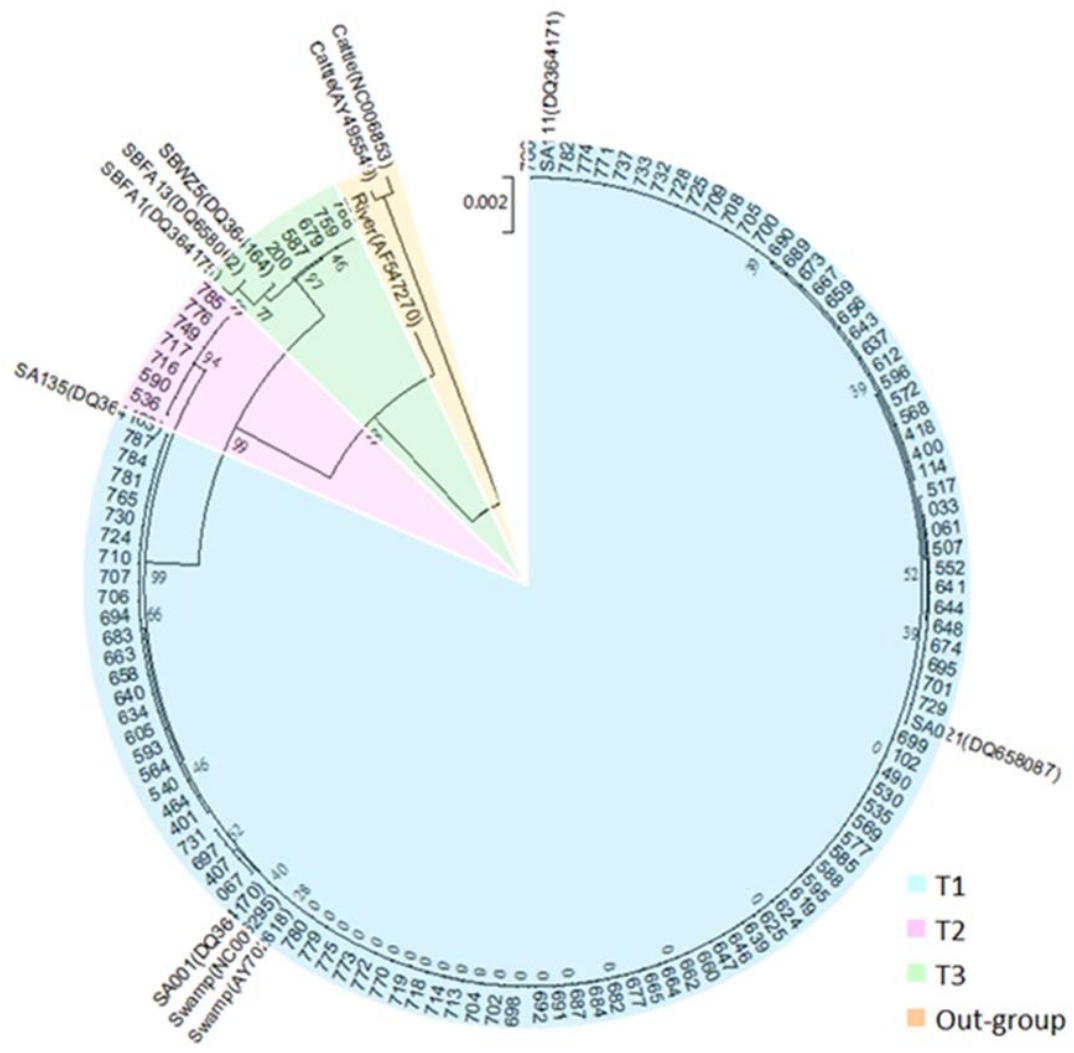


圖 6. 以鄰近連接法利用 D-loop 控制區序列多型性建構之 116 頭臺灣水牛親緣關係樹。在各分支上的數字是 1,000 次靴帶式重複取樣的靴帶式支持度。

Figure 6. The phylogenetic tree constructed on the alignment sequences of mtDNA D-loop control region among 116 Taiwan water buffaloes using the neighbor-joining method. Numbers on the branches are bootstrap values based on 1,000 replications.

資料來源：花蓮場未發表資料（陳蕙婷等）

(三)分子標幟

利用個體基因組變異分析，並配合已建立的自動化系統，了解特定基因標幟並評量與特定表現性狀之間的關聯性（如生長性狀、抗病性及產乳量等），除了依表現型進行育種的傳統法，輔以新興技術的分子標幟選拔（Marker-assisted Selection, MAS），得以加速育種速度並維持保種族群之多樣性。

1. 繁殖性狀

本場針對水牛繁殖性狀表現與目標基因型態之相關性研究，選擇了水牛激卵濾泡素受體 (*Follicle Stimulating Hormone Receptor, FSHR*)、排卵素受體 (*Luteinizing Hormone Receptor, LHR*) 及動情素受體 α (*Estrogen Receptor- α , Era*) 等基因片段進行研究。結果顯示，*FSHR* exon 10 基因上第 304、610 及 617 個鹼基有 C>T 同類置換，進一步分析發現，*FSHR* exon 10 C304T 之多態性對母水牛的產犢間距及犢牛出生體重表現無顯著差異，然而，具 *FSHR* exon 10 C304T 純合子基因型之母水牛產公犢牛比例最高。在 *LHR* exon 11 (827bp) 及 *Era* 啟動子 exon C 基因 (248bp) 等標的位點於試驗族群中尚未發現單核苷酸多態性 (Single-nucleotide polymorphism, SNP) (花蓮場未發表資料，莊璧華等)。

2. 生長性狀

本場針對水牛生長表現與目標基因型態之相關性研究，選擇了水牛 *IGF-1*、*Leptin (LEP)* 與 *Myostatin (MSTN)* 三個基因為標的，他們分別調控了整體的生長、脂肪的堆積與肌肉的生成。結果顯示在所選取的 *IGF-1* 與 *LEP* 基因片段中具有 SNP，並且在 *LEP* 基因上第 351 個鹼基的改變 (C>T) 與生長牛的增重有關，以 T 取代 C 的牛隻有顯著較高的年增重。而在血清濃度試驗中，結果顯示，不同生長階段牛群血液中 *Leptin* 的濃度在不同月份有顯著的變化，而 *IGF-1* 的濃度則與經產母牛的年增重有正相關 (花蓮場未發表資料，謝佳容等)。

四、結語

近年來，陸續建立了花蓮場臺灣水牛族群分布情況、生長及繁殖性狀紀錄、分子標幟之選育...等資料，發現花蓮場水牛隻生長及繁殖性狀經選拔後，表現逐漸穩定且正向成長，然而，目前族群的遺傳多樣性逐漸降低，可能是因場內近親配種導致，亦可能由於水牛頭數逐年下降，遺傳多樣性因牛隻淘汰而隨之降低。因此花蓮場將遺傳結構研究結果當作臺灣水牛生物多樣性流失風險之評估指標，並引進外場種公或種母水牛進行血源交換，配合輪換雜交之配種制度以防止近親衰退。

五、參考文獻

- 行政院農業委員會畜產試驗所。2010。臺灣水牛申請登記審查資料。網址:http://www.angrin.tlri.gov.tw/cow_all.htm。
- 林德育、賴芳裕、魏良原、郭曉芸、涂柏安、賴永裕、吳明哲、王佩華。2013。利用微衛星標幟進行臺灣水牛保種族群遺傳變異分析。中國畜牧學會會誌。42(4): 275-294。
- 許登造。1984。台灣畜牧獸醫事業養牛篇。肉牛、役(肉)牛經營型態。台灣省政府農林廳編印。
- 廖仁寶、黃鈺嘉、賴永裕、吳明哲、張秀鑾。2014。豬第6號染色體微衛星遺傳標記與經產母豬產仔性能之相關性研究。畜產研究47(2): 71-82。
- Cockrill, W. R. 1981. The water buffalo: a review. *Br. Vet. J.* 137: 8-16.
- Dixit, S. P., N. K. Verma, R. A. K. Aggarwal, M. K. Vyas, J. Rana, A. Sharma. 2012. Genetic diversity and relationship among Indian goat breeds based on microsatellite markers. *Small Rumin. Res.* 105: 38-45.
- FAO. 2004. Measurement of domestic animal diversity-a review of recent diversity study. Third section. Rome.
- FAO. 2011. Molecular genetic characterization of animal genetic resources. FAO Animal Production and Health Guidelines. No. 9. Rome.
- FAOSTAT. 2006. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- FAOSTAT. 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Kumar, S., M. Nagarajan, J. S. Sandhu, N. Kumar and V. Behl. 2007. Phylogeography and domestication of Indian river buffalo. *BMC Evol. Biol.* 7: 186
- Michelizzi, V. N., M. V. Dodson, Z. Pan, M. E. Amaral, J. J. Michal, D. J. McLean, J. E. Womack and Z. Jiang. 2010. Water buffalo genome science comes of age. *Int. J. Biol. Sci.* 6: 333-349.
- Moioli, B., A. Georgoudis, F. Napolitano, G. Catillo, S. Lucioli, Ch. Ligda and J. Boyazoglu. 2001. Genetic diversity between Italian and Greek buffalo populations. *Italian and Greek buffalopopulations.* 29: 31-40.
- Nanda, A. S. and T. Nakao. 2003. Role of buffalo in the socioeconomic development of rural Asia, current status and future prospectus. *Anim. Sci. J.* 74: 443-455.
- Pires, P. P. 2002. Electronic identification and management of cattle. First virtual global conference on organic beef cattle production, 2nd September-15th October, 2002.
- Samad, A., P. Murdeshwar and Z. Hameed. 2010. High-credibility RFIDbased

- animal data recording system suitable for small-holding rural dairy farmers. *Comput. Electron. Agric.* 73: 213–218.
- Voulodimos, A. S., C. Z. Patrikakis, A. B. Sideridis, V. A. Ntafis and E. M. Xylouri. 2010. A complete farm management system based on animal identification using RFID technology. *Comput. Electron. Agric.* 70: 380-388.
- Zhang, Y., Y. Lu, M. Yindee, K. Y. Li, H. Y. Kuo, Y. T. Ju, S. Ye, M. O. Faruque, Q. Li, Y. Wang, V. C. Cuong, L. D. Pham, B. Bouahom, B. Yang, X. Liang, Z. Cai, D. Vankan, W. Manatchaiworakul, N. Kowlim, S. Duangchantrasiri, W. Wajjwalku, B. Colenbrander, Y. Zhang, P. Beerli, J. A. Lenstra and J. S. F. Barker. 2015. Strong and stable geographic differentiation of swamp buffalo maternal and paternal lineages indicates domestication in the China/Indochina border region. *Mol. Ecol.* 25: 1530-1550.