

加壓浮除法於養牛廢水實場處理效率之探討⁽¹⁾

鄭閔謙⁽²⁾ 蘇天明⁽³⁾ 蕭宗法⁽⁴⁾ 蕭庭訓⁽³⁾⁽⁵⁾ 程梅萍⁽³⁾

收件日期：105 年 6 月 29 日；接受日期：105 年 11 月 21 日

摘 要

乳牛糞便與廢水中含大量懸浮不可溶之纖維質，常造成廢水處理上之困難。因此，本研究為評估加壓浮除法對養牛廢水處理效率之影響。試驗一將加壓浮除系統分別設置於三段式廢水處理系統之固液分離單元後、厭氣處理單元後及好氣處理單元後，測定該系統對各階段處理水化學需氧量 (COD) 及懸浮固體物 (SS) 之去除效率。試驗二將加壓浮除系統設置於固液分離單元後，分別將浮除前與浮除後之養牛廢水注入至厭氣處理模型槽，再以溢流方式至好氣處理模型槽，連續 60 日。測定浮除前、後與比較兩者於厭氣處理後及好氣處理後之水中 COD 與 SS 之差異。試驗一結果顯示，加壓浮除法對固液分離後之 COD 與 SS 去除效率最佳，分別為 56.2 與 50.8%；對厭氣處理後之去除率分別為 4.28 與 8.80%；對好氣後之養牛廢水中之去除率分別為 4.63 與 13.7%。試驗二結果顯示，固液分離後之養牛廢水經加壓浮除後，可去除廢水中 49.8 與 55.8% 之 COD 與 SS，此處理水質經厭氣處理後，其處理水中之 COD 與 SS 濃度，分別比未經浮除者低 51.5 與 83.2%。處理水再經好氣處理後之放流水中 COD 與 SS 濃度分別比未經浮除者低 41.0 與 62.7%。雖然如此，好氣處理後之化學需氧量尚不能符合放流水標準。綜上所述，加壓浮除法可以大幅降低固液分離後之養牛廢水中 COD 與 SS，並對其後續處理後之放流水質有大幅度改善的效果。

關鍵詞：乳牛、廢水處理、加壓浮除。

緒 言

臺灣 2015 年乳牛在養頭數約 13 萬頭 (農業委員會, 2015)，如果以一頭牛每天產生 200 L 廢水量 (臺灣省畜產試驗所, 1994) 換算，每年產生約 900 百萬噸的廢水。養牛廢水通常含高濃度揮發性有機物質 (volatile solids, VS)、懸浮固體 (suspended solid, SS)、化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD) 及生物需氧量 (biochemical oxygen demand, BOD) (Sivrioğlu and Yonar, 2015)，如未經適當處理，即會造成環境污染 (Strydom *et al.*, 1993)。行政院環境保護署 (1991) 公告規定養牛事業之放流水需處理至水中 COD 與 SS 分別為 450 mg/L 與 80 mg/L，始可排放至地面水體。有許多乳牛廢水處理之方法如厭氣處理 (Vartaka *et al.*, 1997) 或活性污泥法 (Osada *et al.*, 1991)。而臺灣養牛場普遍設置之廢水處理系統使用厭氣與活性污泥法串聯之廢水處理系統，稱為三段式廢水處理系統 (臺灣省畜產試驗所, 1994)，即廢水先經機械式固液分離後，再以厭氣處理及好氣處理後沉澱放流。但養牛廢水中含大量細小的懸浮且不可溶之纖維質 (Amon *et al.*, 2007)，此纖維質因孔徑太細小，無法以物理性的固液分離機及藉由重力沉降去除，進而影響後續放流水之水質。

加壓浮除法 (dissolved air flotation, DAF) 為一種固液分離方法，能去除懸浮於廢水中不溶性的細小顆粒，以降低廢水中之 SS 與 COD 濃度 (Westerman *et al.*, 1989)。DAF 處理之原理為將高壓空氣注入溶氣槽，使空氣飽和溶於水中，當飽和水處於常壓環境時就會因為壓力差形成許多微細氣泡與廢水中之顆粒物質附著，藉此將其帶至水面，再以刮泥板 (sludge scraper) 刮除並收集處理 (Al-Shamrani *et al.*, 2002)。DAF 廣泛應用於處理事業製程廢水，包括食品產業 (Meysami and Kasaeian, 2005)、染整業 (Liua *et al.*, 2010)、造紙業 (Pokhrel and Viraraghavan, 2004)、礦業 (Rodrigues and Rubio, 2007)、煉油廠 (Hami *et al.*, 2007) 及屠宰場 (Manjunath *et al.*, 2000) 等。

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2538 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所。

(3) 行政院農業委員會畜產試驗所經營組。

(4) 行政院農業委員會畜產試驗所產業組。

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

一般工業廢水於加壓浮除處理前會加入化學混(助)凝劑,以破壞膠體與懸浮固體之穩定性,使被破壞之顆粒間彼此附著形成大片膠羽,以增加與氣泡接觸面積進而提高浮除效果,最後浮除出來之污泥再經脫水後處置(Westerman *et al.*, 1989)。但依據農糧署(2000年)訂定肥料管理法之肥料種類品目及規格規定,禽畜糞堆肥(品目5-09)不得混入污泥或經化學處理之殘渣,而化學混(助)凝劑即屬化學處理之一種,因此如果依照傳統應用化學混(助)凝劑方式,可能會造成浮除物無法再利用且需花費成本再額外做處置。鄭等(2015)以模型試驗證明,在不添加任何化學混凝劑狀況下,DAF可分別去除47.9%與27.7%之SS與COD。Green *et al.* (1995)提出DAF為收穫廢水處理池、河川及養殖池中之藻類植體最經濟有效之方式。

為了提高養牛廢水處理效率及浮除物後續得以資源化利用,本研究主要於不添加化學混凝劑狀況下,評估加壓浮除法處理各階段養牛事業廢水之效率及對其放流水質之影響。

材料與方法

I. 設備

加壓浮除系統主要由調勻槽(容積 = 2 m³)、溶氣槽(容積 = 0.8 m³, 5 kg/cm²)及浮除槽(圓形氣浮,容積 = 4.5 m³)組成。每小時最大處理水量為5公噸。

II. 試驗場地與廢水名詞定義

- i. 試驗場地:行政院農業委員會畜產試驗所養牛三段式廢水處理場。每日進水量為40 m³。厭氧處理槽與好氣處理槽之廢水停留時間大約為20天與1天。
- ii. 以下為本篇試驗之名詞定義:
 - A. 固液分離後之養牛廢水(after solid-liquid separator, ASL):養牛廢水經機械式與逕流式固液分離機處理後。
 - B. 厭氣處理後之養牛廢水(after anaerobic digestion, AAD):固液分離後之養牛廢水再經厭氣處理後。
 - C. 好氣處理後之養牛廢水(after aerobic treatment, AOT):厭氣處理後之養牛廢水再經好氣處理後。

III. 試驗設計

- i. 應用加壓浮除法對養牛廢水各階段處理水之處理效率影響
分別將加壓浮除系統分別設置於固液分離單元、厭氣處理單元及好氣處理單元後端各28日,每4日採樣一次,測定浮除前與浮除後養牛廢水中之pH、電導度(electric conductivity, EC)、COD及SS濃度。
- ii. 加壓浮除裝置於固液分離單元後對養牛廢水放流水質之影響
將加壓浮除系統設置於固液分離單元後,分別將浮除前(對照組)與浮除後(控制組)之養牛廢水以每日100 L體積注入1 m³之厭氣處理模型槽,再以溢流方式分別流入500 L之好氣處理模型槽,連續60日。設計廢水停留時間分別為厭氣處理10日與好氣處理2日,厭氣處理槽與好氣處理槽分別接種畜產試驗所養牛廢水處理場中之厭氣處理槽與好氣處理槽100 L厭氣污泥與50 L活性污泥。每3-4日採集對照組與控制組之厭氣處理前、後與好氣處理後之樣品,測定水中COD與SS的濃度。

V. 分析方法

水中pH、EC、SS、總固體(total solids, TS)、COD、VS及總氮(total nitrogen, TN)分別以環保署標準公告編號之NIEA W424.52A、NIEA W203.51B、NIEA W210.58A、NIEA W515.54A、NIEA R212.02C及NIEA W423.52C方法分析。

VI. 統計分析

試驗所得數據利用SAS套裝軟體進行統計分析(SAS, 2004),使用一般線性模式程序(General linear model procedure, GLM)進行變方分析,再以最小平方平均值法(Least square means, LSMEANS)計算並比較其差異顯著性。

結果與討論

I. 加壓浮除法對養牛廢水各階段處理水處理效率之影響

加壓浮除法對經ASL、AAD與AOT之養牛廢水中SS與COD之去除率,如表1所示。加壓浮除系統設置在ASL後端,對養牛廢水中SS與COD去除效率最佳,分別為52.6與46.8%;設置在厭氣處理後端對養牛廢水中SS與COD之去除率分別為8.80與4.28%;設置在好氣處理後端對養牛廢水中SS與COD之去除率則為13.7

與 4.63%。此結果指出加壓浮除法對固液分離後之養牛廢水處理效果最佳，鄭等 (2015) 應用模型試驗證明加壓浮除法對各階段養牛廢水之懸浮固體物之去除率，以固液分離後之養牛廢水為最佳 (47.9%)，此結果與本試驗相符。此現象可能因固液分離後之養牛廢水中含較多不可溶之 SS (5,575 mg/L)，萬等 (2008) 調查養牛廢水水質案例指出，養牛場廢水原水之 COD 與 SS 分別為 9,147 與 6,040 mg/L，與本試驗固液分離後之養牛廢水水質類似。厭氣後與好氣後之養牛廢水則因廢水已經過厭氣處理 (SS 去除率 93.2%) 與好氣處理 (SS 去除率 31.8%) 階段，部分之 SS 藉由沉降留在槽體或經微生物分解而溶於水體，致使浮除效率較低。de Nardiet al. (2008) 應用加壓浮除法不添加化學混凝劑處理家禽屠宰廠廢水 (COD = 3,124 ± 594 mg/L ; SS = 861 ± 204 mg/L)，其 COD 與 SS 之去除效率分別為 43 ± 9% 與 43 ± 15%。

加壓浮除法對各階段之養牛處理水中之 pH 與 EC 則無顯著之影響 (圖 2)。可能為加壓浮除法屬物理性去除方式，在不添加任何化學藥劑狀況下，並不會影響水中 pH 與 EC，符合現行放流水標準。

表 1. 加壓浮除法對各階段養牛處理水中 COD 與 SS 之影響

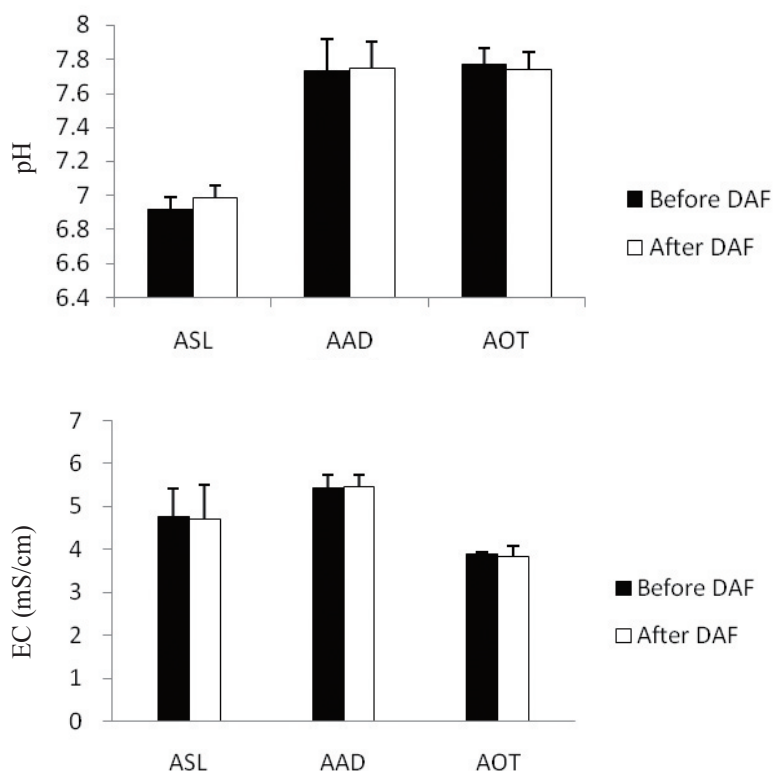
Table 1. Effect of applying dissolved-air floatation system on the treating different stage of wastewater on COD and SS from dairy cattle farms

Items	COD				SS			
	Influent	Effluent	SE	Removal	Influent	Effluent	SE	Removal
	mg/L			%	mg/L			%
ASL ¹	11,221 ^a	5,967 ^b	749	46.8	5,589 ^a	2,650 ^b	562	52.6
AAD ²	1,144	1,095	60.3	4.28	381	348	34.4	8.8
AOT ³	1,088	1,038	62.4	4.63	260	224	19.0	13.7

n = 7

¹ ASL: After solid-liquid separator; ²AAD: After anaerobic digestion; ³AOT: After aerobic treatment.

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



ASL: After solid-liquid separator; AAD: After anaerobic digestion; AOT: After aerobic treatment.

圖 1. 加壓浮除法對各階段養牛處理水中 pH 與 EC 之影響。

Fig. 1. Effect of applying dissolved-air floatation system on the treating different stage of wastewater on pH and EC from dairy cattle farms.

養牛廢水中富含植物所需的營養分，加壓浮除時會將水中之懸浮固體物轉換為浮除物，該浮除物可用來做為作物肥分來源使用，其中固液分離後之養牛廢水有最佳之懸浮固體去除率，其浮除物之總氮含量可達 $0.14 \pm 0.02\%$ (表 2)，有機質含量為 2.68%，較高於經加壓浮除處理後之厭氣處理與好氣處理之養牛廢水所產生之浮出物 (資料未顯示)，適合用來作為有機質肥料之原料，與目前農民所自製之高氮液肥濃度相似 (臺南區農業改良場，2014)。

II. 加壓浮除系統裝置於固液分離單元後端對放流水質之影響

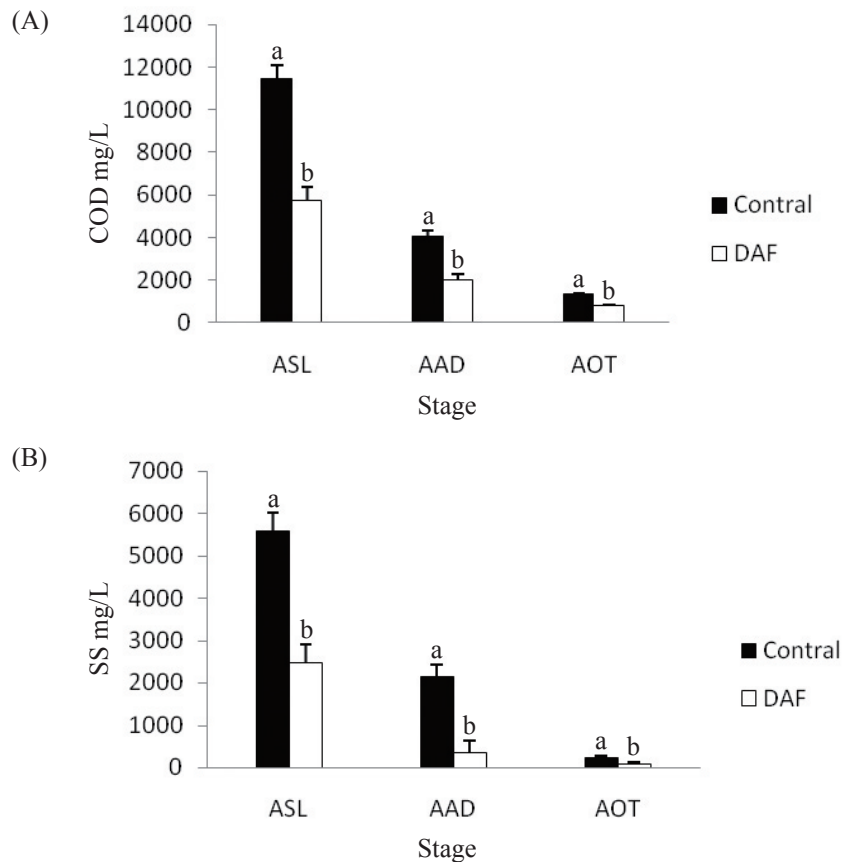
利用三段式廢水處理模型槽探討經加壓浮除後之固液分離養牛廢水對其後續厭氣與好氣處理效率結果如圖 2，結果顯示，加壓浮除系統能去除固液分離後之養牛廢水水中 49.8% 與 55.8% 之 COD 與 SS，使後續厭氣處理後之廢水中 COD 與 SS 較未經浮除處理者之厭氣水低 51.5% 與 83.2%。放流水中之 COD 與 SS 亦較未經浮除處理者低 41.0% 與 62.7%。比較各階段廢水處理效率發現，經加壓浮除處理者，其 SS 於厭氣處理階段之去除效率為 85.4%，高於未經浮除者 61.5%，文獻指出厭氣處理槽能去除養牛廢水中 64 – 70% 之 SS (張鎮南，2005)。浮除能提高厭氣處理時之 SS 去除效率，可能為較難被微生物所分解之纖維物質已先被浮除。但雖然如此放流水中 COD 尚不能符合養牛事業放流水標準。

表 2. 固液分離後之養牛廢水經加壓浮除處理後浮出物成分

Table 2. The composition of floating residue was analysis

	pH	EC*	COD	SS	TS	VS	Cu	Zn	TN
		mS/cm	----- mg/L -----			----- % -----			
Mean	6.91	4.17	26,957	30,514	34,650	26,777	0.13	1.05	0.14
SD	0.04	0.37	6,030	4,810	1,520	836	0.02	0.07	0.02

EC: electric conductivity; COD: chemical oxygen; SS: suspended solid; TS: total solids; VS: volatile solids; Cu: copper; Zn: zinc; TN: total nitrogen.



ASL: After solid-liquid separator; AAD: After anaerobic digestion; AOT: After aerobic treatment.

圖 2. 固液後之養牛廢水經加壓浮除對厭氣與好氣處理後水中 COD (A) 與 SS (B) 之影響。

Fig. 2. Effect of applying DAF treatment in ASL effluent on the COD (A) and SS (B) of AAD and AOT effluents.

結 論

應用加壓浮除系統於固液分離後端且不添加混凝劑，能有效去除養牛廢水中 50% 以上之 SS，並降低放流水中之 COD 與 SS 50% 以上，有效提升廢水處理系統處理效率。未來可研發將浮除物進一步發酵濃縮技術，以製成液態有機質肥料，使廢棄物資源化。

致 謝

本試驗承農委會科技計畫 (104 農科 -2.4.1- 畜 -L1) 經費補助，試驗期間承同仁陳珮珊與顏孟娟小姐協助工作，特此誌謝。

參考文獻

- 鄭閔謙、蘇天明、蕭宗法、程梅萍、蕭庭訓。2015。加壓浮除法於養牛廢水處理之應用。畜產研究。48(4)：272-279。
- 張鎮南。2005。東海大學乳牛場處理實例。飼料營養雜誌 5：90-92。
- 萬騰州、吳遵文、莊松林、廖鑫淼。2008。畜牧方式對養牛廢水水質影響案例探討。第五屆畜牧污染防治技術研討會論文集。臺北市。臺灣。
- 臺灣省畜產試驗所。1994。養牛場規劃與糞尿處理設施工程建造手冊。臺南，p. C。
- 行政院農業委員會。2015。農業統計年報。臺北，p. 120。
- 臺南區農業改良場。2014。有機液肥製作與應用。臺南區農業改良場技術專刊。臺南，p. 3。
- Al-Shamrani, A. A., A. James and H. Xiao. 2002. Separation of oil from water by dissolved air flotation. *Colloid. Surf. A. Physicochem. Eng. Asp.* 209: 15-26.
- Amon, T., B. Amon, V. Kryvoruchko, W. Zollitsch, K. Mayer and L. Gruber. 2007. Biogas production from maize and dairy cattle manure: Influence of biomass composition on the methane yield. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118: 173-182.
- Hami, M. L., M. A. Al-Hashimi and M. M. Al-Doori. 2007. Effect of activated carbon on BOD and COD removal in a dissolved air flotation unit treating refinery wastewater. *Desalination.* 216: 116-122.
- Green, F. B., T. J. Lundquist and W. J. Oswald. 1995. Energetics of advanced integrated wastewater pond systems. *Water Sci. Technol.* 31: 9-20.
- Liua, S., Q. Wanga, H. Maa, P. Huang, J. Lib and T. Kikuchic. 2010. Effect of micro-bubbles on coagulation flotation process of dyeing wastewater. *Sep. Sci. Technol.* 71: 337-346.
- Manjunath, N. T, I. Mehrotra and R. P. Mathur. 2000. Treatment of wastewater from slaughterhouse by DAF-UASB system. *Water Res.* 34: 1930-1936.
- Meysami, B. and A. B. Kasaeian. 2005. Use of coagulants in treatment of olive oil wastewater model solutions by induced air flotation. *Bioresour. Technol.* 96: 303-307.
- de Nardi, I. R., T. P. Fuzi and V. D. Nery. 2008. Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater. *Resour. Conserv. Recy.* 52: 533-544.
- Osada, T., K. Haga and Y. Harada. 1991. Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process. *Water Res.* 25: 1377-1388.
- Pokhrel, D. and T. Viraraghavan. 2004. Treatment of pulp and paper mill wastewater: A review. *Sci. Total Environ.* 333: 37-58.
- Rodrigues, R. T. and J. Rubio. 2007. DAF-dissolved air flotation: Potential applications in the mining and mineral processing industry. *Int. J. Miner. Process.* 82: 1-13.
- SAS Institute. 2004. SAS/STAT Guide for personal Computers. Version 9.01. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Sivrioğlu, Ö. and T. Yonar. 2015. Determination of the acute toxicities of physicochemical pretreatment and advanced oxidation processes applied to dairy effluents on activated sludge. *J. Dairy Sci.* 98: 2337-2344.
- Strydom, J. P., J. F. Mostert and T. J. Britz. 1993. Effluent production and disposal in the South African dairy industry: A postal survey. *Water S. A.* 19: 253-258.
- Vartaka, D. R., C. R. Engler, M. J. McFarland and S. C. Ricke. 1997. Attached-film media performance in psychrophilic anaerobic treatment of dairy cattle wastewater. *Bioresour. Technol.* 62: 79-84.
- Westerman, P. W., W. L. Hankins and L. M. Safley. 1989. Nitrogen availability from poultry processing plant DAF sludge. *ASABE (American Society of agricultural and biological engineers).* 32: 1287-1294.

Investigation of the effect of dissolved air flotation on dairy wastewater treatment ⁽¹⁾

Min-Chien Cheng ⁽²⁾ Tein-Ming Su ⁽³⁾ Tzong-Faa Shiao ⁽⁴⁾
Ting-Hsun Hsiao ⁽³⁾⁽⁵⁾ and Mei-Ping Cheng ⁽³⁾

Received: Jun. 29, 2016; Accepted: Nov. 21, 2016

Abstract

The wastewater treatment system of dairy cattle in Taiwan is usually a sequential process from solid-liquid separation (ASL), anaerobic digestion (AAD), aerobic treatment (AOT) and final precipitation to discharge. Dairy cattle are herbivorous animal, so there is large amount of suspended fiber in its manure and wastewater. Some fiber cannot be removed with the solid-liquid separator and precipitated in wastewater treatment system. Therefore, the purpose of this study was to investigate the effect of applying a dissolved air flotation system (DAF) on the efficiency of dairy cattle wastewater treatment system by on-site experiments with continuous flow. The DAF was set up behind the ASL, AAD and AOT processes, respectively, then those of move efficiency of DAF for different stage of dairy cattle wastewater were determined in trial I. The DAF was set up after ASL process, then the COD and SS of influents and effluents of DAF, AAD and AOT were analyzed - in trial II and the data were compared to those of treatments without DAF. The results of trial I revealed that the removal efficiency of SS and COD on ASL was 50.8 and 56.2%, respectively. The removal efficiency of SS and COD on AAD was 8.80 and 4.28%, respectively. The removal efficiency of SS and COD on AOT was 13.7 and 4.63%, respectively. In trial II revealed that the removal efficiency of COD and SS of DAF were 49.8 and 55.8%, respectively. The COD and SS concentrations of AAD effluent with DAF were lower than those without DAF at 51.5 and 83.2%, respectively. The COD and SS concentrations of AOT effluent with DAF were lower than those of without DAF at 41.0 and 62.7%, respectively. In conclusion, DAF could be applied to reduce the COD and SS of dairy wastewater after solid-liquid separation, so the discharge water quality could be improved by the following treatment.

Key words: Dairy cattle, Wastewater treatment, Dissolved air flotation.

(1) Contribution No.2538 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Hengchun Branch, COA-LRI, Pingtung 94644, Taiwan, R.O.C.

(3) Livestock Management Division, COA-LRI, Hsinhua, Tainan 71246, Taiwan, R.O.C.

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

(5) Corresponding author, E-mail hsaosir@mail.tlri.gov.tw.