

施灌牛場沼液沼渣對盤固草及尼羅草芻料產量 與氮利用率之影響⁽¹⁾

陳勃聿⁽²⁾ 田玉娟⁽²⁾ 張世融⁽²⁾⁽³⁾

收件日期：112 年 5 月 3 日；接受日期：112 年 12 月 22 日

摘 要

禽畜廢棄物富含養分，能供作物生長。本試驗以每 10 週為一週期，分成連續施灌 2、4、6 週（分別為代號 2wk、4wk、6wk）的牛場沼液沼渣（cattle manure digestate）（牛糞尿廢水經厭氣發酵）及清水（對照組）等 4 種處理，探討牛場產生之廢水施灌於盤固草（*Digitaria decumbens* Stent.）及尼羅草（*Acroceras macrum*）牧草地，對牧草乾物產量及氮吸收量的影響。經過 2 年連續施灌牛場沼液沼渣後，盤固草草地及尼羅草草地的土壤總氮含量由 0.08% 提高至 0.4% 及 0.3%。盤固草及尼羅草的乾草產量皆會隨著施灌量增加而提高，顯示牛場沼液沼渣富含養分，確實對於作物生長有所助益。盤固草的總氮產量之變化趨勢與乾物產量相似，且尼羅草也有相同的結果，顯示增加牛場沼液沼渣施灌量可供應大量的氮，有效提高牧草產量。尼羅草的平均表觀氮回收率（apparent N recovery rate）介於 20.3 – 34.1%，略高於盤固草的 18.4 – 29.7%，且會隨著牛場沼液沼渣施灌量增加而遞減。4wk 處理組灌溉牛場沼液沼渣 32 週後，會開始造成尼羅草植體內的 NO_3^- -N 含量過高，達到產生毒害的程度，因此建議尼羅草每割次施用應以 2 週為限則較合適。盤固草植體內的 NO_3^- -N 含量除 6wk 處理組在冬季時會超過 1,000 ppm 外，其餘皆符合標準，所以建議在寒冷季節應降低盤固草之牛場沼液沼渣施用量，每割次施用應以 4 週較合適。

關鍵詞：盤固草、尼羅草、沼液沼渣、產量、氮利用率。

緒 言

禽畜廢棄物如同有機堆肥，富含有機質及養分，能供作物生長或改善土壤理化性質（Kiziloglu *et al.*, 2008; 盧及許, 2011），可被視為一項有用資源。然而禽畜廢棄物具有資源性及污染性，需妥善處理後才能轉為植物可利用的養分（Huang, 1991），以避免對環境造成污染。畜牧業產生的糞尿廢水，經過三段式廢水處理程序（固液分離、厭氣消化、好氧處理）處理後，即成為沼液沼渣（livestock manure digestate），富含農作物生長所需的肥分和水分。因此，可將之回歸農田，提供農作物肥分和水分，不但合乎循環農業的資源再利用理念，而且也是去化國內龐大禽畜有機廢棄物的可行方法（鍾, 2020；蘇, 2020）。

畜禽沼液沼渣所含的氮主要是以銨態氮（ NH_4^+ -N）形式存在，其次為有機態氮（Kumar *et al.*, 2015）。銨態氮施灌於土壤後，部分會被吸附，而部分則轉換成硝酸態氮（ NO_3^- -N），成為植物生長所需的主要氮源。氮肥是影響作物產量的重要因素（De Bona and Monteiro, 2010），但土壤在短時間內接受過多的氮素，可能導致植物奢侈型吸收，反而影響作物品質（Jacobs, 1990）。

NO_3^- -N 為植物吸收氮素的主要型態，而當植物由土壤中吸收 NO_3^- -N 後會很快轉變成 NO_2^- -N 再轉化成 NH_4^+ -N，然後於細胞內合成胺基酸及蛋白質，因此植體內很少發生 NO_3^- -N 大量累積的現象（Marschner, 1995; Britto and Kronzucker, 2002）。盧及許（2009）指出在特殊的條件下，如過量的施用氮肥，或天候不良如連續下雨、過於乾燥、或天氣太冷等，若造成植物生長受阻，就會有 NO_3^- -N 累積的現象。如果動物攝食過量的 NO_3^- -N，將導致其發生 NO_3^- -N 中毒現象，嚴重時甚至造成快速死亡（Hill, 1999; Bolan and Kemp, 2003）。

本試驗的目的在探討牛場沼液沼渣施用於盤固草（*Digitaria decumbens* Stent.）及尼羅草（*Acroceras macrum*）牧草地後，對牧草生長之影響及評估牧草對氮的利用效率，以提供農民牛場沼液沼渣施灌於牧草地之參考。

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2776 號。

(2) 農業部畜產試驗所飼料作物組。

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

材料與方法

I. 試驗材料

本試驗以多年生之尼羅草台畜草 2 號及盤固草 A254 為參試品種，種植於 36 cm × 36 cm × 35 cm 的盆栽 (每盆重量為 31 ± 0.5 kg)。盆栽內土壤經分析，砂粒、粉粒及粘粒之百分比分別為 44、34 及 22%，其土壤質地屬於壤土，土壤 pH 值 5.84、電導度值 0.65 mS cm^{-1} ，全氮量為 0.08%。

本試驗所用牛場沼液沼渣是來自畜產試驗所牛舍之牛糞尿廢水處理場，將牛糞尿經固液分離後之廢水先經初沉澱池沉澱，再經厭氣消化池消化後排出之沼液沼渣，其理化性質如表 1 所示，為 2 年分析資料 (共計 5 批次)。因每批牛糞尿來源有所差異，故經厭氣消化處理後之沼液沼渣所含的各項營養元素比例並不固定。每批牛場沼液沼渣用盡後才進行補充，所以施灌時間會橫跨不同的割次。因本試驗的牛場沼液沼渣施灌量大且時間長，導致無法準確記錄每割次所施灌的成分，故以成分的平均值進行相關數據計算。因牛場沼液沼渣大部分為經過沉澱之上層液體，主要以氮素為主，其次為磷及鉀，而氮素成分則以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 為多，而 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 幾乎沒有。

表 1. 牛場沼液沼渣之理化性質

Table 1. The physical and chemical properties and contents of the cattle manure digestate in this experiment (n = 5)

pH	EC*	Total- N	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	P	K	Cu	Zn
	mS cm^{-1}				mg L^{-1}			
6.80 – 8.06	2.30 – 3.18	119 – 483	120 – 210	0 – 5.1	105.0 – 161.2	177.5 – 620.5	0.7 – 2.0	10.5 – 42.5

* electrical conductivity.

II. 試驗方法

試驗期間自 2018 年 11 月 1 日至 2020 年 12 月 2 日，以每 10 週調查一次視為一個割次，共計 11 次。尼羅草及盤固草青割後待其再生二週後，才開始進行牛場沼液沼渣施灌試驗。試驗分為 4 種處理組，以連續施灌 2、4、6 週牛場沼液沼渣的 3 種處理組 (分別以代號 2wk、4wk、6wk 表示)，及全部灌溉清水 (地下水) 的對照組 (代號 CK)。每盆每週一至六進行施灌，每日施灌 1,200 mL 的清水或牛場沼液沼渣。各處理組的試驗步驟如下：對照組為連續 10 週清水；2wk 處理組首先為清水 2 週，次為牛場沼液沼渣 2 週，最後清水 6 週；4wk 處理組為清水 2 週，接續牛場沼液沼渣 4 週，最後清水 4 週；6wk 則為清水 2 週，牛場沼液沼渣 6 週，清水 2 週。試驗採完全隨機設計 (completely randomized design)，每處理組 3 重複 (盆)。

青割時調查每盆牧草的鮮重及乾重，並將樣本以 65°C 烘乾 48 小時後，磨成小於 1 mm 大小之粉粒，作為植物化學分析材料。土壤的採樣位置於表土 20 cm 深處，每次採 100 克土樣進行分析。

III. 分析方法

- 植體前處理：植體利用濃硫酸及 H_2O_2 ，於 400°C 高溫分解至澄清後，稀釋至 50 mL 成分解液，將分解液貯存於冰箱中，作為分析全氮之用 (Wolf, 1982)。硝酸態氮及銨態氮利用蒸餾水萃取 (Mills, 1980)，以 1 : 10 (樣品 : 水) 製備，震盪 30 min 後，以 Whatman No. 5 之濾紙過濾 (萃取液)，貯存於冰箱中以待分析。
- 全氮、硝酸態氮及銨態氮：利用蒸餾法測定 (Bremner and Keeney, 1965; Jones, 1987)。銨態氮測定為取前述 (i) 之分解液或萃取液各 5 mL，利用蒸餾器 (德製 Gerhardt 廠牌) 加入 5 mL 之 10 N NaOH 蒸餾 5 分鐘，以內含 Methyl red 及 Bromocresol green 混合指示劑之 4% H_3BO_3 溶液吸收，再以 0.025 N H_2SO_4 滴定，其滴定結果換算為銨態氮 (a) 之濃度。硝酸態氮之測定為 (i) 分解液或萃取液各 5 mL 先加入 3 g 之 Devard 合金粉，將硝酸態氮還原成銨態氮 (b)，再依前述銨態氮測定方法蒸餾，以測定總銨態氮 (c)。總銨態氮 (c) 減掉銨態氮 (a) 為銨態氮 (b)，銨態氮 (b) 經換算則是硝酸態氮之量。以分解液測得之銨態氮及硝酸態氮之和視為植體之全氮。
- 土壤總氮量：如植體氮分析方法，土壤樣品先以濃 H_2SO_4 及 H_2O_2 酸解至澄清，取 5 mL 酸解液以蒸餾法測定。
- 土壤 pH 值：以水與土為 1 : 1 之比例測定，取 20 g 土壤加 20 mL 蒸餾水，充分攪拌 1 h，以美國製 Satorius PB-10 pH 計及玻璃電極測定其 pH。
- 土壤電導度：以飽和土壤水測定，取若干土壤置於燒杯中，加入蒸餾水充分攪拌使土壤充滿水靜置過夜。倒去上層多餘水，利用真空馬達抽氣過濾，收集濾液利用臺製 Suntex Sc-170 電導度計測其電導度。

IV. 表觀氮回收率 (apparent N recovery rate)

(處理組植物的氮吸收量 – 對照組植物的氮吸收量) / 施用之氮量 (Burns *et al.*, 2002)

- V. 試驗所得資料利用 SPSS 統計軟體 (IBM SPSS Statistics 28.0) 進行統計分析，以廣義估計方程式 (generalized estimating equations) 進行檢定，若達顯著差異再以最小顯著差異性 (least significant difference test, LSD) 測驗比較處理組間的差異，並以 $P < 0.05$ 為顯著差異水準。由於本研究以盆栽進行試驗，因土壤採樣量問題，故以各處理之平均值表示，並標示 SEM。

結果與討論

I. 牧草產量

表 2 為盤固草施灌牛場沼液沼渣的 2 年產量資料。盤固草平均乾草產量以 6wk 處理組顯著最高，為 $2,873 \text{ g m}^{-2}$ ，4wk 處理組的 $2,655 \text{ g m}^{-2}$ 次之，2wk 處理組的 $1,727 \text{ g m}^{-2}$ 再次之 ($P < 0.05$)，顯示牛場沼液沼渣因富含植物生長所需養分，確實對牧草產量有效提升。盧及許 (2011) 於尼羅草地施用豬糞尿消化廢水之試驗亦顯示相似結果，隨著廢水施灌量的增加，牧草產量也會提高。

表 2. 盤固草在牛場沼液沼渣之不同施灌量下各割次的乾物產量

Table 2. The dry matter yields of pangolagrass at different cuttings under different irrigation treatments of cattle manure digestate

	Year	2019					2020							
Treatment	Month	01	03	05	07	10	12	02	05	07	09	12	SEM	Mean
		----- g m ⁻² -----												
CK*		344	359	568	981	942	490	350	240	920	837	390	84	583
2wk		374	400	1,103	3,417	3,475	1,476	1,104	1,576	1,990	2,621	1,468	320	1,727
4wk		537	1,855	3,272	4,602	4,226	2,059	2,472	2,241	2,758	3,325	1,859	349	2,655
6wk		575	1,854	3,865	4,480	4,516	2,456	2,639	2,997	2,727	3,044	2,454	344	2,873
LSD _{0.05} **		187	176	500	560	765	279	180	259	382	388	260		

* no irrigated by cattle manure digestate.

** Fisher's least significant difference (LSD) test; $P \leq 0.05$.

盤固草 4wk、6wk 處理組的乾草產量會隨著牛場沼液沼渣施灌時間增長而呈現提高趨勢，在 2019 年 7 月 31 日 (分別為 $4,602$ 、 $4,482 \text{ g m}^{-2}$) 至 10 月 9 日 (分別為 $4,226$ 、 $4,516 \text{ g m}^{-2}$) 達到最高後開始下降，雖然在 2020 年同時期有所回升，但產量僅及最高時的 68% (表 2)。張等 (2002) 指出，南部地區之盤固草以夏天生長較速，但冬季氣溫緩和，盤固草仍能繼續生長。然而，同一地點每年各季生長之牧草產量不盡相同，在固定栽培作法下，主要原因可能是氣象環境變化所致。林 (2002) 指出，各種禽畜糞堆肥之最高施用量亦因土壤條件及作物種類之不同而異，超出此最高施用量上限，對各作物均有減產之趨勢，且在長期連續施用之情況下，最高施用量上限亦有逐年調降之趨勢。因此，盤固草的牧草產量除受氣候因素影響外，亦受牛場沼液沼渣施灌量之影響，當灌溉過量時將對盤固草產量造成減產之效。

尼羅草的平均乾草產量也會隨著牛場沼液沼渣施灌量的增加而提高 (表 3)，以 4wk 的 $1,462 \text{ g m}^{-2}$ 顯著最高，6wk 的 $1,324 \text{ g m}^{-2}$ 次之，2wk 的 $1,223 \text{ g m}^{-2}$ 再次之 ($P < 0.05$)。牛場沼液沼渣灌溉時間也會影響尼羅草的乾草產量，4wk 及 6wk 處理組的乾草產量由 108 年 1 月的 419 及 422 g m^{-2} 逐次增加，在 2019 年 10 月 9 日達到最高 (分別為 $2,439$ 及 $2,420 \text{ g m}^{-2}$) 後則逐漸下降，此趨勢與盤固草相同。然而尼羅草 6wk 處理組的乾草產量在此之後降幅巨大，至 2020 年 5 月 6 日收穫時僅剩 93.0 g m^{-2} ，之後植株則呈現死亡現象。在 2020 年 2 月及 5 月尼羅草 6wk 處理組的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量達 207 及 233 ppm (圖 4)，顯著高於 4wk 處理組的 (分別為 170 及 163 ppm)，顯示植株內有 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 大量累積的現象，Britto and Kronzucker (2002) 指出植物體內若含有過高的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度，將會降低其代謝能力並造成毒害現象。

II. 牧草的氮吸收量

表 4 及表 5 分別為盤固草及尼羅草在牛場沼液沼渣之不同施灌量時的氮素吸收量表現，兩者的氮素吸收量皆

會隨著施灌量的增加而提高，且都以 6wk 處理組顯著最高 ($P < 0.05$)。氮素的吸收量是直接影響植物生長重要的因素，許多研究報告指出，提高施肥量會提高牧草的氮素吸收量 (盧及許, 2011; 盧等, 2017)，而牧草中粗蛋白質含量也隨著氮肥的增加而提高 (盧等, 2017; Shahin *et al.*, 2013)。盤固草的氮素吸收量與乾物產量 (表 2) 之變化趨勢相似，而尼羅草 (表 3) 也有相同的結果，顯示氮素的供應量及吸收量會影響牧草的乾物產量。因此，增加牛場沼液沼渣灌溉量時確實可有效提高牧草產量，此與農民大量施用化學氮肥以增加牧草產量的方法相同。嚴 (1989) 指出，豬糞尿液的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在適合條件下可取代 75% 化學氮肥，故施灌牛場沼液沼渣確實可以替代化學氮肥施用量。

表 3. 尼羅草在牛場沼液沼渣之不同施灌量下各割次的乾物產量

Table 3. The dry matter yields of nilegrass at different cuttings under different irrigation treatments of cattle manure digestate

Year		2019						2020							
Treatment	Month	01	03	05	07	10	12	02	05	07	09	12	SEM	Mean	
		----- g m ⁻² -----													
CK		270	177	312	682	589	358	242	300	524	584.9	369.3	50	401	
2wk		407	931	1,599	1,687	1,824	1,212	855	1,022	1,308	1,421.2	1,192.4	124	1,223	
4wk		419	1,256	1,821	2,147	2,439	1,406	709	1,304	1,490	1,620.1	1,466.6	173	1,462	
6wk		422	1,322	2,020	2,198	2,420	1,574	545	93	—	—	—	311	1,324	
LSD _{0.05}		147	308	273	311	320	233	164	209	246	190	213			

* no irrigated by cattle manure digestate.

** Fisher's least significant difference (LSD) test; $P \leq 0.05$.

表 4. 盤固草在牛場沼液沼渣之不同施灌量下各割次氮的吸收量

Table 4. The nitrogen uptakes of pangolagrass at different cuttings under different irrigation treatments of cattle manure digestate

	Year	2019					2020								
Treatment	Month	01	03	05	07	10	12	02	05	07	09	12	SEM	Mean	
		----- g m ⁻² -----													
CK		2.3	3.0	4.8	7.4	6.3	4.0	3.2	1.7	5.1	3.9	2.9	0.5	4.1	
2wk		2.5	4.4	10.7	20.0	27.1	10.1	12.8	10.0	13.2	12.9	12.1	2.0	12.3	
4wk		3.9	19.3	36.1	40.3	48.1	21.1	24.7	20.6	29.9	27.2	24.5	3.6	26.9	
6wk		4.0	24.5	52.2	47.6	65.3	34.4	33.2	33.8	41.4	36.8	38.0	4.7	37.4	
LSD _{0.05}		1.7	1.9	11.0	5.3	8.9	1.9	3.8	2.0	9.0	6.4	4.0			

* no irrigated by cattle manure digestate.

** Fisher's least significant difference (LSD) test; $P \leq 0.05$.

表 5. 尼羅草在牛場沼液沼渣之不同施灌量下各割次氮的吸收量

Table 5. The nitrogen uptakes of nilegrass at different cuttings under different irrigation treatments of cattle manure digestate

Year		2019						2020							
Treatment	Month	01	03	05	07	10	12	02	05	07	09	12	SEM	Mean	
		----- g m ⁻² -----													
CK		2.1	1.8	2.6	7.0	4.5	3.6	2.4	2.1	3.6	3.8	3.4	0.4	3.3	
2wk		4.3	10.6	16.2	19.1	19.6	13.0	15.7	9.4	16.2	16.3	17.0	1.4	14.3	
4wk		4.2	20.8	20.5	29.6	37.3	24.5	15.5	21.8	23.6	27.5	31.4	2.6	23.3	
6wk		4.2	28.1	34.2	40.7	49.9	36.4	9.9	2.2	—	—	—	6.4	25.7	
LSD _{0.05}		2.5	7.9	5.7	5.7	6.3	4.8	4.3	2.2	5.8	1.9	2.6			

* no irrigated by cattle manure digestate.

** Fisher's least significant difference (LSD) test; $P \leq 0.05$.

III. 氮表觀回收率

表 6 為盤固草在牛場沼液沼渣之不同施灌量的氮表觀回收率，盤固草的平均回收率介於 18.4 – 29.7%。盧及許 (2004) 的試驗結果顯示，盤固草施用堆肥的處理中，扣除由化學肥料而來的氮素，則堆肥的氮利用率在 10 – 38%。尼羅草施灌牛場沼液沼渣組的平均回收率介於 19.2 – 27.9%，會隨著施灌廢水量增加而減少，此趨勢與盧及許 (2011) 結果相似。Ree 等 (1993) 的研究報告指出，有機肥濃度在土壤中超過 1.5% 時，其氮的淨礦質化效率大幅降低。有機肥施用於土壤後必先經過一段時間的分解及礦質化作用才能為植物所利用，故尼羅草前 2 次的氮回收率僅介於 0 – 17.1%，之後數值才逐步提升至 20.3 – 34.1% (表 7)，盧及許 (2000) 的豬糞尿汙泥的試驗也呈相似結果，隨著時間的增長，回收率也會提高。許多研究指出，作物對植物性有機肥的氮表觀回收率低，僅約 15 – 25% (Waggar *et al.*, 1985; Muller and Sundan, 1989)，而動物性堆肥亦小於 30% (Kirchman, 1989; Ree *et al.*, 1993)，本試驗中牧草對牛場沼液沼渣的回收率亦有相似的表現。

表 6. 盤固草在牛場沼液沼渣之不同施灌量下的氮表觀回收率

Table 6. The apparent N recovery rate of pangolagrass at different cuttings under different irrigation treatments of cattle manure digestate

Year		2019											2020	
Treatment	Month	01	03	05	07	10	12	02	05	07	09	12	SEM	Mean
----- % -----														
2wk		0.5	2.4	7.7	15.5	25.3	24.3	25.1	25.1	25.1	25.4	25.7	3.0	18.4
4wk		2.5	13.9	25.4	31.9	38.5	36.5	36.1	35.2	35.6	35.7	35.5	3.5	29.7
6wk		1.7	12.0	24.4	28.7	35.2	34.6	34.1	34.0	34.4	34.3	34.5	3.4	28.0

表 7. 尼羅草在牛場沼液沼渣之不同施灌量下的氮表觀回收率

Table 7. The apparent N recovery rate of nilagrass at different cuttings under different irrigation treatments of cattle manure digestate

Year		2019											2020	
Treatment	Month	01	03	05	07	10	12	02	05	07	09	12	SEM	Mean
----- % -----														
2wk		7.0	17.1	25.5	28.5	32.2	31.7	33.1	31.8	32.6	33.3	34.1	2.6	27.9
4wk		3.3	16.4	20.3	24.0	29.4	29.9	28.6	28.8	29.1	29.8	31.1	2.5	24.6
6wk		0.0	0.1	20.7	24.3	28.9	29.7	26.6	23.3	—	—	—	4.3	19.2

盧及許 (2011) 於尼羅草地施灌豬場沼液沼渣 (相當每年每公頃 400、600、800 及 1,200 kg 氮素) 的氮表觀回收率介於 50.6 – 101.9%，明顯高於本試驗的平均值，分析原因為牛場沼液沼渣的灌溉量換算成氮素用量比建議量為高所致。盧及許 (2011) 指出，由於廢水中氮主要以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 及 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的型式存在，所以植物對氮的吸收相當快，但施灌量增加後，植物若不及吸收， $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 很容易流失，並可能對地下水的污染考量。由盤固草及尼羅草的土壤總氮含量僅增加 0.3 – 0.4% (圖 3、4)，而氮回收率最高只有 29.7% 及 27.9%，顯示部分氮素有流失可能，故未來須再進行牧草地土層滲漏水的監測試驗。

IV. 硝酸鹽含量

圖 1 及 2 為盤固草及尼羅草在牛場沼液沼渣之不同施灌量對其植體 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量之影響。不同的牛場沼液沼渣施灌量明顯影響尼羅草的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量，4wk 及 6wk 處理組的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量則隨著連續施用牛場沼液沼渣的時間增加而逐步提高，在冬季收穫 (2019 年 12 月 18 日) 時達到最高 3,681 ppm，而後隨著溫度提高於夏季收穫 (2020 年 5 月 6 日至 9 月 23 日) 時又會降低至 1,000 ppm 以下。2wk 處理組的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量均在 1,000 ppm 內，縱然在夏季及冬季也連續施用牛場沼液沼渣，但由於提供的氮素較少，使得尼羅草可以有效的代謝，不至於造成植體內 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的累積，此與盧等 (2007) 試驗相似。尼羅草的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量會隨著氮肥的增加而提高，且冬季 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的累積較夏季更明顯，而盧等 (2008) 亦顯示相似的試驗結果。

通常植物體內很少發生 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 大量累積的現象，然在特別因素的影響下，如施用過量的氮肥，或者氣候不良如氣溫太冷、連續大雨等，造成植物生長受阻就會產生 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 累積。蕭等 (2013) 研究結果指出，栽培期間若

遇低溫及低日射量，葉菜類蔬菜將可能累積過多的硝酸鹽，而高日射量及高溫能促使植體硝酸鹽降低，此現象與尼羅草及盤固草在不同環境下植體內 NO_3^- -N 的累積趨勢相似。因此，牧草的 NO_3^- -N 含量若超過 1,000 ppm，餵飼動物可能會產生 NO_3^- -N 中毒現象 (Takahashi *et al.*, 1998)。Lenz *et al.* (2019) 認為單年生芻料作物較容易因肥培管理或天候等問題而發生 NO_3^- -N 含量過高的現象，而多年生牧草則較無此慮。不過，本試驗中尼羅草 4wk 及 6wk 的牛場沼液沼渣處理組，除 2020 年夏季外， NO_3^- -N 含量皆明顯達到毒害程度。因此，尼羅草較不適合大量灌溉牛場沼液沼渣，於每割次之牛場沼液沼渣施灌宜以 2 週較為合適。盤固草則是除 6wk 處理組在冬季時 NO_3^- -N 含量會超過 1,000 ppm 外，其餘皆符合標準，無 NO_3^- -N 毒害的危險性。但也顯示冬季溫度低會造成盤固草代謝降低，導致植體內 NO_3^- -N 的累積量增加，所以在寒冷季節應酌以降低牛場沼液沼渣施灌量，於每割次之牛場沼液沼渣施灌宜以 4 週較為合適。本試驗結果建議，利用牛場沼液沼渣灌溉多年生牧草地，當氣溫下降及日照不足時應調降施灌量與縮短施灌期，並且必須定期取樣監測牧草植體之 NO_3^- -N 含量。

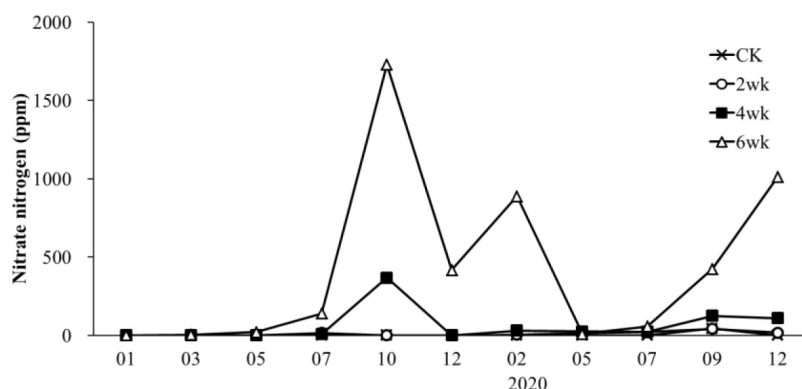


圖 1. 牛場沼液沼渣之不同施灌量對盤固草硝酸態氮含量之影響。(n = 3, 各處理的 SEM 分別為 4.0、4.0、33.4、169.7)。

Fig. 1. The effects of irrigation treatments of cattle manure digestate on the content of nitrate nitrogen in pangolagrass plant. (n = 3. The SEM values of each treatment are 4.0, 4.0, 33.4, 169.7).

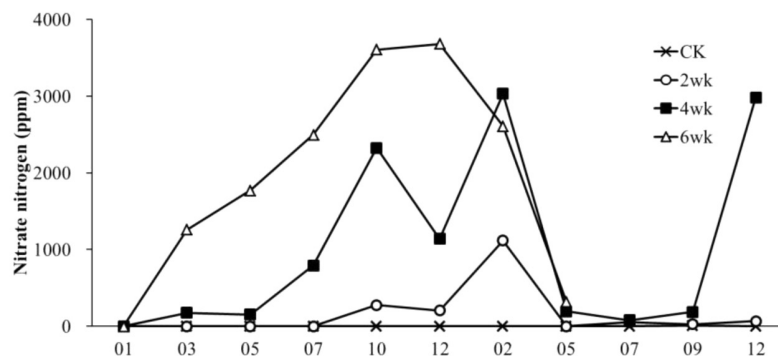


圖 2. 牛場沼液沼渣之不同施灌量對尼羅草硝酸態氮含量之影響。(n = 3, 各處理的 SEM 分別為 0.5、100.0、362.3、490.1)。

Fig. 2. The effects of irrigation treatments of cattle manure digestate on the content of nitrate nitrogen in Nilegrass plant. (n = 3. The SEM values of each treatment are 0.5, 100.0, 362.3, 490.1).

V. 土壤的總氮含量

國內種植牧草的土地大部分位於非灌溉區內，故生產所需的水源主要依賴雨水，因此牧草的產量高低深受氣候之影響。禽畜廢水為另一項可利用之水資源，施灌牛場沼液沼渣於牧草地時，作物除能得到水分補充亦可獲得生長所需的氮源 (盧及許, 2011)。盤固草地及尼羅草地經過 2 年的施灌牛場沼液沼渣後，廢水組的土壤總氮含量均有增加 (圖 3、4)，此與 Rusan *et al.* (2007) 的試驗結果相似，長期灌溉廢水會提高牧草地土壤的養分。盧及許 (2009) 指出當豬糞尿廢水施灌量越高時，牧草地土壤的總氮含量也越高，而本研究也有相同趨勢。盤固草及尼羅草每年氮肥的施用推薦量皆為 $320 - 480 \text{ kg ha}^{-1}$ ，而將各施灌處理組所施用的牛場沼液沼渣量換算成氮素量，2wk、4wk、6wk 相當於 1,930、3,860、5,790 kg/year。因此，4wk 及 6wk 處理組每年施用的牛場沼液沼渣量，有效的將種植盤固草及尼羅草之土壤總氮含量由 0.08% 分別提高至 0.4% 及 0.3%。盤固草地的土壤氮

素含量均會隨著灌溉量的增加，也會隨之提高，以 6wk 處理組增加 5 倍為最多（圖 3），而尼羅草地的 4wk 處理組也增加約 3.75 倍（圖 4）。盧及許 (2009) 試驗結果顯示，當豬糞尿廢水施灌量越高時，牧草地的土壤總氮含量也越高，此與本研究結果相似。周等 (2015) 指出長期施用化學肥料無法在耕土中累積氮，然而僅施有機質肥料，或有機質肥料配合三要素化學肥料適當施用，均可使土壤中的氮增加。

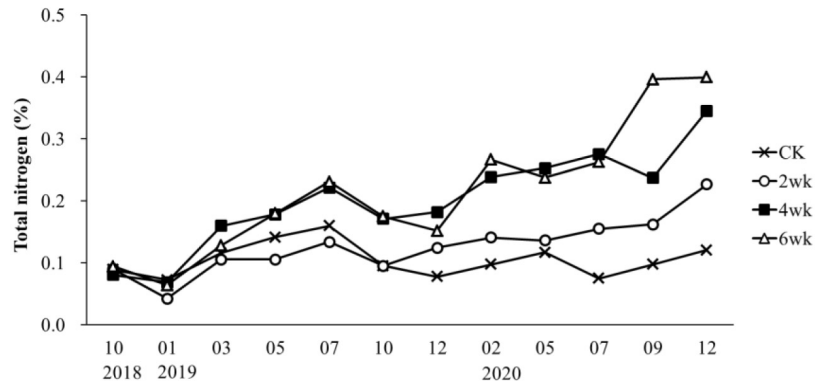


圖 3. 盤固草地施灌牛場沼液沼渣後之土壤總氮含量變化。(n = 3, 各處理的 SEM 分別為 0.01、0.02、0.03、0.01)。
Fig. 3. The changes of Total-N in pangolagrass pasture soil under irrigation treatments of cattle manure digestate. (n = 3. The SEM values of each treatment are 0.01, 0.02, 0.03, 0.01).

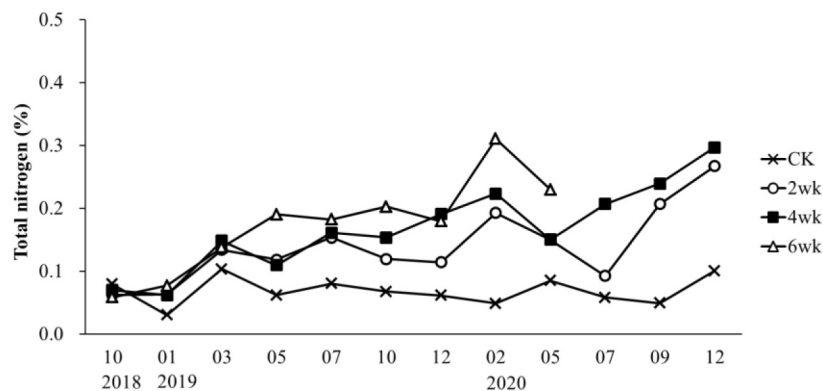


圖 4. 尼羅草地施灌牛場沼液沼渣後之土壤總氮含量變化。(n = 3, 各處理的 SEM 分別為 0.02、0.02、0.02、0.01)。
Fig. 4. The changes of Total-N in Nilegrass pasture soil under irrigation treatments of cattle manure digestate. (n = 3. The SEM values of each treatment are 0.02, 0.02, 0.02, 0.01).

黃等 (2021) 指出應用畜牧廢水資源化再利用時，如未經妥善處理及管理可能對環境產生潛在的污染風險。盧及許 (2011) 指出，由於豬糞尿廢水中氮主要以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 及 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的型式存在，所以植物對氮的吸收相當快，但灌施量增加後，植物若不及吸收，很容易以 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 型態流失，可能對地下水的污染。然盧及許 (2011) 亦指出廢水施灌尼羅草地，其土層滲漏水硝酸態氮的濃度均小於 4 mg L^{-1} 尚未達危害程度。Fried *et al.* (1976) 以長期施用氮肥的觀念來探討硝酸鹽的污染問題，若進入土壤的氮素能被植物吸收，則進入地下水的機會不大。黃等 (2021) 將厭氧發酵處理後之牛場廢水施灌於盤固拉草地，經 3 年監測結果其土壤性狀及地下水水質成分皆與背景值無明顯差異，皆在高限範圍內。因此，未來須再進行盤固草地及尼羅草地土層滲漏水的監測試驗，以測試施灌大量的廢水是否會對環境造成影響。國內的牧草生產區主要位於非灌溉區，故水源主要依賴雨水，因此水源的充足與否，將影響牧草產量高低。所以合理的利用禽畜廢水，牧草除可獲得生長所需的氮源，亦可得到水分補充。

參考文獻

- 林滄澤。2002。禽畜糞堆肥對不同作物之肥效評估。臺南區農業改良場研究彙報 40：68-77。
周恩存、戴順發、鍾仁賜。2015。兩種輪作制度下不同的施肥管理經十六年後土壤之氮與磷劃份之變化。高雄區農業改良場研究彙報 26：27-46。

- 張芳銘、楊純明、洪國源、施意敏、許福星、卜瑞雄、金文蔚。2002。氣象因子對盤固草產量之影響分析。中華農業研究 51：15-24。
- 黃雅玲、劉主欣、蘇天明、蕭庭訓、李欣蓉。2021。養牛廢水施灌盤固拉草地對土壤性狀及地下水水質之影響。畜產研究 54：282-291。
- 盧啟信、許福星。2000。豬糞尿汙泥對盤固草氮的吸收及產量之影響。畜產研究 33：111-122。
- 盧啟信、許福星。2004。堆肥施用對狼尾草及盤固草產量及氮利用率之影響。畜產研究 37：351-358。
- 盧啟信、張世融、許福星。2007。氮肥對尼羅草及狼尾草硝酸態氮累積之影響。中華農藝學會作物科學講座研究成果發表會第 102 頁。
- 盧啟信、張世融、許福星。2008。尼羅草及狼尾草不同割期對硝酸態氮累積之影響。中華農藝學會作物科學講座研究成果發表會第 116 頁。
- 盧啟信、許福星。2009。施灌經厭氣發酵豬糞尿廢水對狼尾草生長及牧草地土壤與滲漏水性質之影響。作物、環境與生物資訊 6：113-123。
- 盧啟信、許福星。2011。施灌厭氣發酵豬糞尿廢水對尼羅草生長、牧草地土壤及滲漏水之影響。畜產研究 44：81-93。
- 盧啟信、李姿蓉、張世融。2017。氮肥對狼尾草硝酸態氮含量之影響。畜產研究 50：7-14。
- 嚴式清。1989。畜牧廢棄物在有機農業之利用。有機農業研討會專輯。pp. 229-242。
- 鍾承訓。2020。畜牧場廢水處理及操作管理。科學發展 565：6-11。
- 蘇天明。2020。利用沼液沼渣施灌農地。科學發展 565：28-33。
- 蕭巧玲、楊純明、何佳勳、蔡淑珍、林毓雯、劉滄琴。2013。氮肥及氣象環境對設施葉萵苣生長及硝酸鹽含量之影響。作物、環境與生物資訊 10：284-289。
- Bolan, N. S. and P. D. Kemp. 2003. A review of factors affecting and prevention of pasture-induced nitrate toxicity in grazing animals. Proceedings of the New Zealand Grassland Association 65: 171-178.
- Bremner, J. M. and D. R. Keeney. 1965. Steam distillation method for determination of ammonium, nitrate and nitrite. Anal. Chem. Acta. 32: 485-495.
- Britto, D. T. and H. J. Kronzucker. 2002. NH_4^+ -toxicity in higher plants: a critical review. J. Plant Physiol. 159: 567-584.
- Burns, D. T., K. Danzer, and A. Townshend. 2002. Use of the terms “recovery” and “apparent recovery” in analytical procedures. Pure Appl. Chem. 74: 2201-2205.
- De Bona, F. D. and F. A. Monteiro. 2010. Marandu palisadegrass growth under nitrogen and sulphur for replacing signal grass in degraded tropical pasture. Sci Agric. 67: 570-57.
- Fried, M., K. K. Tanji, and R. M. Van De Pol. 1976. Simplified long-term concept for evaluating leaching of nitrogen from agricultural land. J. Environ. Qual. 5: 197-200.
- Hill, M. J. 1999. Nitrate toxicity: myth or reality? Bri. J. Nut. 81: 343-344.
- Huang, S. N. 1991. The application of pig waste manure on the production of crops. (in Chinese with English abstract). In: Proceedings of a Symposium on pig waste treatment, compose use and making and management. Taiwan Livestock Research Institute, pp.1-18. ROC.
- Jacobs, L. W. 1990. Potential hazards when using organic materials as fertilizers for crop production. Food and Fertilizer Technology Center, No. 313:1-29. USA.
- Jones, J. B. Jr. 1987. Kjeldahl nitrogen determination. J. Plant Nutr. 10: 1675-1682.
- Kirchmann, H. 1989. A 3-year N balance study with aerobic, anaerobic and fresh ^{15}N -labelled poultry manure. In: Nitrogen in organic wastes applied to soil. Academic Press, pp. 113-125. London.
- Kiziloglu, F. M., M. Turan, U. Sahin, Y. Kuslu, and A. Dursun. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. Agric Water Manag. 95: 716-724.
- Kumar, S., L. Malav, M. K. Malav, and S. Khan. 2015. Biogas slurry: source of nutrients for eco-friendly agriculture. Int. J. Extensive Res. 2: 42-46.
- Lenz, M. E., R. J. Kern, C. E. Orvis, and M. E. Drewnoski. 2019. Nitrate Concentrations of Annual Forages Grown for Grazing in Nebraska. Nebraska Beef Cattle Reports v1035. (<http://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/1035>).
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, pp. 889. London.
- Mills, A. H. 1980. Nitrogen specific ion electrode for soil, plant and water analysis. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 63: 797-801.

- Muller, M. and V. Sundman. 1989. The fate of nitrogen (^{15}N) released from different plant materials during decomposition under field condition. *Plant Soil*. 105: 133-139.
- Ree, R. M., L. Yan, and M. Ferguson. 1993. The release and plant uptake of nitrogen from some plant and animal manures. *Abiol. Afertil. Asoils*. 15: 285-293.
- Rusan, M. J. M., S. Hinnawi, and L. Rousan. 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination* 215: 143-152.
- Shahin, M. G., R. Th. Abdrabou, W. R. Abdelmoemn, and M. M. Hamada. 2013. Response of growth and forage yield of pearl millet (*Pennisetum galucum*) to nitrogen fertilization rates and cutting height. *Ann. Agric. Sci.* 58: 153-162.
- Takahashi, J., M. Ikeda, S. Matsuoka, and H. Fujita. 1998. Prophylactic effect of L-cysteine to acute and subclinical nitrate toxicity in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 74: 273-280.
- Wagger, M. G., D. E. Kissel, and S. J. Smith. 1985. Mineralization of nitrogen from nitrogen-15 labelled crop residues under field condition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1220-1226.
- Wolf, B. 1982. A comprehensive system of leaf analysis and its use for diagnosing crop nutrient status. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 13: 1035-1059.

Effects of irrigation with cattle manure digestate on the forage yields and N uptake efficiency for pangolagrass and nilegrass ⁽¹⁾

Po-Yu Chen ⁽²⁾ Yu-Chuang Tien ⁽²⁾ and Shyh-Rong Chang ⁽²⁾⁽³⁾

Received: May. 3, 2023; Accepted: Dec. 22, 2023

Abstract

Livestock manure digestate, generated from the livestock wastes through the anaerobic fermentation, are rich in nutrients like organic compost, which can be used for crop growth. This experiment used cattle manure digestate as irrigating source, and the treatments were pastures of pangolagrass (*Digitaria decumbens* Stent.) or nilegrass (*Acroceras macrum*) that continuous irrigated by cattle manure digestate for 2, 4, and 6 weeks (respectively coded as 2wk, 4wk, and 6wk), while those irrigated by clean water were as control. The application effects of cattle manure digestate on forage yields and nitrogen uptakes for the pastures were discussed. After 2-year continuous irrigation, the total nitrogen content of the soil in both pangolagrass pasture and nilegrass pasture increased effectively from 0.08% to 0.4% and 0.3%, respectively. The hay yield of pangolagrass and nilegrass increased as the irrigation of cattle manure digestate increased, showing that the cattle manure digestate was indeed beneficial to crop growth. Furthermore, the changing tendencies of the total nitrogen yield for both pangolagrass pasture and nilegrass pasture were similar to that of hay yield, indicating that increasing the input of cattle manure digestate might supply much more nitrogen which enhanced forage yield effectively. The average apparent N recovery rates of nilegrass ranged from 20.3-34.1%, slightly higher than those of pangolagrass (18.4-29.7%), and they would decrease as the irrigation of cattle manure digestate increased. The more irrigation of cattle manure digestate would cause the higher plant NO_3^- -N content of nilegrass, which might reach the level of toxicity. Accordingly, the application of cattle manure digestate on nilegrass pasture should be limited to 2 weeks each time. As to pangolagrass, the plant NO_3^- -N contents of both 2wk and 4wk treatments were below 1,000 ppm, except that of the 6wk treatment in winter. Therefore, it is suggested that the application of cattle manure digestate on the pangolagrass pasture need to be reduced in cold season, while the application of cattle manure digestate on nilegrass pasture need to be limited to 4 weeks every time.

Key words: Pangolagrass (*Digitaria decumbens* Stent.), Nilegrass (*Acroceras macrum*), Livestock manure digestate, Yield, Nitrogen uptake efficiency.

(1) Contribution No. 2776 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Forage Crops Division, MOA-TLRI, HsinHua, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

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