

培地茅的氮、磷吸收與對畜牧廢水之耐受性⁽¹⁾

王紓愍⁽²⁾⁽³⁾ 陳嘉昇⁽²⁾

收件日期：94 年 5 月 17 日；接受日期：94 年 8 月 8 日

摘 要

本研究的主要目的在探討培地茅 (*Vetiveria zizanioides*) 之氮、磷吸收能力與對畜牧廢水之耐受性，以評估應用於去除畜牧廢水氮、磷之可行性。水耕培養試驗結果顯示，培地茅可長期處於浸水狀態，不需通氣即可生長良好，在四種氮磷濃度培養 14 天後，植株之氮吸收量佔水耕液氮消減量之比率分別為 93%、94%、72%、72%；植株磷吸收量為水耕液磷消減量之 26.7%、30.6%、19.1% 及 20.9%。培地茅於羊糞厭氣廢水之試驗結果顯示，培地茅對羊糞厭氣廢水之耐受性顯著高於布袋蓮 (*Eichhornia crassipes*) 及大萍 (*Pistia stratiotes*)。在高濃度廢水中培養 2 週，雖培地茅的根部組織部分變黑，生長略受抑制，但地上部外觀正常，無機氮、磷去除率高於對照組（不放植物）。以培地茅浮床漂浮於榨乳室廢水處理池上連續監測三個月的結果，廢水無機氮、磷去除效率由放置前之 51.6%、12.9% 提高至 75.4%、27.2%。試驗結果顯示培地茅對畜牧廢水之耐受性高、氮、磷吸收量大，具備應用於處理畜牧廢水氮、磷之潛力。

關鍵詞：培地茅、廢水處理、氮、磷去除。

緒 言

培地茅 (*Vetiveria zizanioides*) 又稱香根草，為原產印度之多年生禾草，起初被視為香料植物，由於其根系強大、生長勢強的特性，後來被應用於水土保持工作上。1980 年代世界銀行大力推廣培地茅工法於開發中國家，以降低表土流失，在印度、尼泊爾、泰國、南美及非洲均有應用，成效卓著 (Grimshaw, 1994; 1995)。近年來的研究發現培地茅不僅生長快、根系強，同時對逆境的忍受性強，除水土保持外，還可以應用於礦區土壤復育、攔截農地污染及垃圾掩埋場滲漏控制等許多方面 (Truong and Baker, 1998)。

畜牧廢水處理為畜牧永續經營中的重要課題。畜牧廢水的主要來源為動物糞尿、飼料、草料及清洗廢水等，含高濃度有機質以及氮、磷，目前的三段式廢水處理對於 SS、COD 及 BOD 的處理效果尚佳，但對氮、磷的消滅效率較差 (洪等, 1996；洪等, 1996；黃等, 1999；曾, 2001)。畜牧廢水中的氮、磷含量目前雖尚未訂定排放標準，然為因應未來日趨嚴格的環保標準及逐漸匱乏的自

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 1290 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所。

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

然資源，增強廢水中氮、磷的有效去除，不僅有助於降低畜牧污染、減少對自然水體為害，且可強化水資源再利用。應用植物處理於廢水處理系統中是一種省錢且管理較簡易的方式，因此本試驗進行培地茅對無機氮、磷吸收能力與對畜牧廢水耐受性試驗，以評估培地茅於畜牧廢水無機氮、磷去除處理之潛力。

材料與方法

I. 培地茅栽培：

將由田間採取之培地茅植株修去根系及大部份之葉，保留約 10 cm 長莖基，分株至適當大小，固定於水耕穴盤，每一穴盤 15 株。將穴盤架於長 40 公分、寬 35 公分、高 30 公分之塑膠箱中，加入 30 公升水耕液（1/2 倍 Hoagland 水耕液），調整穴盤高度使莖基保持潮溼以利發根。每隔 1-2 日補充水分一次，每 2 週更新一次水耕液。

II. 營養鹽耐性及吸收能力調查：

由 90 年 10 月至 91 年 2 月連續三個月進行培地茅水耕試驗，以了解培地茅長時間培養於水耕狀態下之生長及對高濃度營養鹽之耐受性與養分吸收能力。取生長一致之水耕培地茅，分別置於 30 公升不同氮磷濃度之水耕液中（處理含四種氮、磷濃度變級，其餘微量元素含量相同，表 1），培養 2

表 1. 水耕培地茅使用之四種水耕液化學組成

Table 1. The chemical compositions of four group hydroponic solution for vetiver cultivation

Chemicals	Treatment			
	A	B	C	D
	mM			
KNO ₃	3	6	12	18
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	4	4	4	4
NH ₄ H ₂ PO ₄	1	2	4	6
MgSO ₄ · 7H ₂ O	1	1	1	1
KCl	0.05	0.05	0.05	0.05
H ₃ BO ₃	0.025	0.025	0.025	0.025
MnSO ₄ · H ₂ O	0.002	0.002	0.002	0.002
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.002	0.002	0.002	0.002
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
H ₂ MoO ₄	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Fe-EDTA	0.02	0.02	0.02	0.02
	mg/L			
NO ₃ ⁻ -N	154	196	280	360
NH ₄ ⁺ -N	14	28	56	86
PO ₄ ⁻³ -P	31	62	124	186

週，每週取水樣，測定水耕液之氮、磷含量（取水樣前須以水調整水耕液體積至 30 公升，混合均勻後取樣），並在試驗結束時測量植株增重及氮、磷含量，以觀察植株生長狀況及水耕液中氮、磷之移除情形。

III. 羊糞廢水耐受性及氮磷吸收能力調查：

利用羊糞浸水攪拌後靜置 2 週，調製畜牧廢水。將厭氣發酵後的羊糞廢水濾除羊糞做為高濃度廢水組之試驗廢水，低濃度組之廢水為稀釋三倍之羊糞厭氣廢水，廢水特性見表 2。選取生長狀況良好之培地茅、布袋蓮（*Eichhornia crassipes*）及大萍（*Pistia stratiotes*）為材料，分為二組，一組培養於高濃度調製廢水，另一組培養於稀釋之調製廢水中，每一水耕箱放置廢水 30 公升，每處理 3 重複，連續培養 2 週。試驗期間每二天取水樣一次（取樣前須先以水調整廢水體積至 30 公升，混合均勻後取樣），分析氮、磷含量。試驗結束後測量培地茅增重及植體氮、磷含量。

IV. 對榨乳室廢水處理池氮、磷去除之影響：

利用塑膠管及培地茅水耕盤架設培地茅浮床，漂浮於畜試所恆春分所榨乳室廢水處理設施之厭氣調整池、初沉池及放流貯池中，放置培地茅前後三個月，每二週取水樣一次，監測原生、放流水之氮、磷含量。

V. 廢水無機氮、磷含量測定：

硝酸態氮依環檢所公告之 NIEA W417.50A 馬錢子鹼呈色法測定。磷依 NIEA W427.52B 維生素丙呈色法測定。銨態氮依 Weatherburn（1967）方法，以 phenol-hydrochlorid 呈色法測定。

VI. 廢水 COD、SS 測定：

COD 依 NIEA W515.53A 重鉻酸鉀回流法測定。SS 依 NIEA W210.56A 法測定。

VII. 植體氮、磷含量測定

植體總氮之萃取測定依 AOAC 法（1984），樣品經濃硫酸高溫灰化後，以 Kjeldahl 法測定總氮含量；總磷含量測定則是先將植體灰化後，酸洗，定量，再以鉬酸銨呈色法測定含量（AOAC, 1975）。

表 2. 試驗之人工調製羊糞廢水特性

Table 2. The characters of artificial goat excrement wastewater

Treatment	pH	COD	SS	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	PO ₄ ⁻³ -P
mg/L						
Concentrated wastewater	7.11	2765	252	38.7	140.0	31.9
Diluted wastewater	7.24	1071	124	17.7	44.3	10.5

結 果

I. 營養鹽耐性及吸收能力調查

培地茅為陸生多年生禾草，但培養於 1/2 倍 Hoagland 水耕液中，根部不須通氣仍可生長良好，根系及地上部組織不論新根及分蘖生長皆正常。試驗期間培地茅未出現任何生長異常現象。試驗結果如表 3、表 4。植株二週之生長量在各種水耕液處理上稍有差異，介於 275-366 g fw./pot 間，處理 B、C 之生長量略高於處理 A、D，顯示培地茅對高濃度營養鹽之耐受性佳；植體之氮、磷含量在各處理間之差異也不大，然略有隨處理氮、磷含量增高而漸增之趨勢。由植體氮磷含量計算植體氮磷吸收量與水耕液每週測值相比，可以發現植體吸收為水耕液中總氮消滅的主要原因，在 A、B 兩個

表 3. 培地茅水耕生長二週後之生長量及植體氮、磷含量

Table 3. The growth, nitrogen and phosphorous contents of vetiver after two weeks of hydroponics

Treatment*	Net growth	Nitrogen content	Phosphorus content	Nitrogen uptake	Phosphorus uptake
	g fw./pot	% dry matter		g/pot	
A	280.2 ^{ab}	1.10 ^a	0.20 ^a	0.72 ^a	0.15 ^a
B	366.8 ^c	1.11 ^a	0.20 ^a	1.05 ^b	0.19 ^b
C	325.4 ^{bc}	1.29 ^a	0.21 ^a	0.93 ^{ab}	0.18 ^{ab}
D	275.7 ^a	1.30 ^a	0.25 ^a	0.86 ^{ab}	0.18 ^{ab}

* Treatment compositions listed in table 1.

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

表 4. 培養 0 天、7 天、14 天培地茅水耕液之硝酸態氮、氨態氮及磷含量變化

Table 4. Nitrate-nitrogen, ammonium-nitrogen and phosphorous content of hydroponic solutions after 0, 7, and 14 days incubation

Nutrient	Incubation days	Treatment*			
		A	B	C	D
mg/L (mean±sd)					
NO ₃ ⁻ -N	0	132.2±5.2	174.4±5.3	251.6±6.8	329.1±11.2
	7	119.7±9.4	157.2±4.7	232.4±14.1	304.6±13.8
	14	112.6±2.7	150.9±11.6	214.3±10.1	300.5±11.5
NH ₄ ⁺ -N	0	13.4±2.2	29.2±2.8	54.6±4.0	81.0±9.1
	7	8.5±0.9	19.6±1.5	48.9±8.2	72.6±9.1
	14	6.6±0.5	15.7±4.4	41.3±7.5	66.8±5.7
PO ₄ ⁻³ -P	0	30.1±1.6	59.4±3.1	118.4±9.0	167.0±10.1
	7	18.3±3.2	42.6±3.6	94.8±11.9	139.6±6.5
	14	11.5±1.1	38.8±3.5	88.7±7.8	138.4±11.5

* Treatment compositions listed in table 1.

較低濃度處理下植體吸收分別占總氮去除量之 93% 及 94%，C、D 較高處理濃度下則佔 72%；相較於氮，植體之磷含量較低，植體吸收之磷含量占總磷去除量的比率亦較低，A、B、C、D 四處理分別為 26.7%、30.6%、19.1% 及 20.9%。

II. 羊糞廢水耐受性及氮磷吸收能力調查

由於調製羊糞廢水之 COD 高達 2765 ppm、銨氮達 140 ppm，培養後二天，高濃度廢水組之布袋蓮及大萍即開始出現葉緣黃化及乾枯現象，之後植株逐漸死亡（圖 1、圖 2）。培地茅對調製廢水之耐受性明顯較布袋蓮及大萍為佳。培地茅在高濃度調製廢水組之生長略受抑制，根部出現部分組織變黑及新根粗短等現象，但地上部植株外觀及氮、磷吸收情形與低濃度調製廢水組之表現相似（圖 3，表 5）。不論畜牧廢水濃度高低，隨培養日數增加廢水之氮、磷濃度遞減，處理 14 天後除硝酸態氮外，培地茅組的去除量均較對照組為高（表 6），顯示培地茅具備應用於畜牧廢水處理系統之潛力。



圖 1. 布袋蓮培養於高濃度羊糞廢水（左）及低濃度廢水（右）之生長狀況。

Fig. 1. The growth of *Eichhornia crassipes* after incubated in concentrated (left) and diluted (right) wastewater.



圖 2. 大萍培養於高濃度羊糞廢水（左）及低濃度廢水（右）之生長狀況。

Fig. 2. The growth of *Pisyia stratiotes* after incubated in concentrated (left) and diluted (right) wastewater.

由於廢水中硝酸態氮含量不高，對照與培地茅處理之去除率均為 100%，銨態氮及磷之去除率則以培地茅組顯著高於對照。培地茅在低濃度畜牧廢水處理下植體吸收之氮、磷量為 1.2 g/pot、0.19 g/pot 分占總氮、磷去除量之 66.3%、76%，但在高濃度廢水處理下植體吸收之氮、磷量為 1.0 g/pot、0.17 g/pot 僅占總氮、磷去除量之 20.8%、22.4%，顯示培地茅在高濃度廢水下氮、磷吸收能力略為下降，而此處理下的氮、磷去除率仍達 90.3%、79.2%，應是廢水中微生物作用之故。



圖 3. 培地茅培養於高濃度羊糞廢水（左）及低濃度廢水（右）之生長狀況。

Fig. 3. The growth of vetiver after incubated in concentrated (left) and diluted (right) wastewater.

表 5. 培地茅於調製羊糞廢水中培養 2 週後之植株生長與氮、磷吸收

Table 5. Plant growth, nitrogen and phosphorus uptake of vetiver after 2-week incubation in artificial goat excrement wastewater

Treatment	Net growth	Nitrogen uptake		Phosphorus uptake	
	g fresh wt./pot	g /pot		g /pot	
Diluted wastewater	420 ^a	1.2 ^a		0.19 ^a	
Concentrated wastewater	336 ^b	1.0 ^a		0.17 ^a	

表 6. 培地茅於調製羊糞廢水 2 週後之氮、磷去除量與去除率

Table 6. The removal amount and rate of nitrogen and phosphorus of vetivar in artificial goat excrement wastewater after 2 weeks of treatment

Treatment	Nutrient removal amount			Nutrient removal rate		
	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ⁻³ -P	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ⁻³ -P
	g/pot			%		
Diluted wastewater						
Control*	0.45 ^a	0.53 ^a	0.16 ^a	35.4	100	54.8
Vetiver	1.27 ^b	0.54 ^a	0.25 ^b	98.7	100	76.3
Concentrated wastewater						
Control	1.91 ^a	1.16 ^a	0.57 ^a	43.7	100	58.6
Vetiver	3.66 ^b	1.15 ^a	0.76 ^b	90.3	100	79.2

*Control : no vetiver incubated.

III. 培地茅對榨乳室廢水處理池氮、磷去除率之影響

由於培地茅長期生長於水耕狀態下可維持旺盛的生長，且對廢水之耐受性強，因此本試驗進而以培地茅浮床，放置於榨乳室廢水處理設施之厭氣調整池、初沉池及放流貯池中，調查培地茅放置前後之氮、磷去除效率，連續監測三個月，結果如圖 4。放置培地茅之後，榨乳室廢水處理設施之氮、磷去除率分別由放置培地茅前之 51.6%、12.9% 明顯提高至放置後之 75.4%、27.2。觀察發現培地茅的生長隨放置地點不同而有顯著差異，放置於厭氣調整池的培地茅地上部外觀正常，株高及分蘗均增加，但生長量較置於放流貯池者略低，根系部分變黑，新根粗短，放置於放流貯池者地上部之株高及分蘗同樣都增加，生長極茂盛，根部生長正常，有新根發生，然根長未顯著增加。

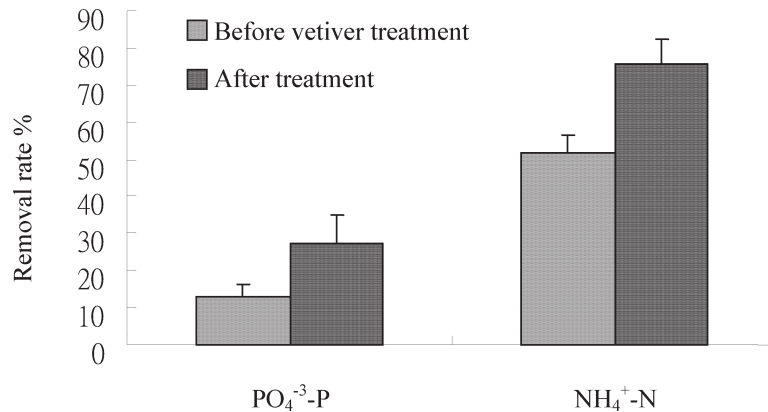


圖 4. 培地茅對羊榨乳室廢水處理設施氮、磷去除率之影響。

Fig. 4. The effects of vetiver on nitrogen and phosphorus removal rate in wastewater treatment plant of goat milkhouse.

討 論

Wagner *et al.* (2003) 的試驗發現培地茅之生長隨氮、磷施用量增加而增加，氮磷肥效間有交互作用存在，氮之施用量增加至 6000 kg/ha/year 時植株之生長增加趨勢趨緩，然在 10000 kg/ha/year 的極端高氮肥下培地茅仍生長正常；磷肥則在 250 kg/ha/year 的施用量下即已達飽和，而高至 1000 kg/ha/year 植株生長仍正常。植體之氮含量變動範圍為 0.3%~2.5%，植體磷含量變化較小，介於 0.07%~0.17%。在低氮肥處理下培地茅對氮之回收率極高，高氮肥處理下之回收率略低，而磷之回收率都不高，結果與本報告相近。然本試驗中培地茅生長未見明顯隨水耕液處理濃度增高而增高的趨勢，可能與本試驗中處理之 N、P 最低濃度即相當於 373 kg/ha 及 69 kg/ha，已接近或超過其施肥反應飽和量之故。由試驗結果估算培地茅之生長量可達 12~24 kg dry matter/m²/year，若以平均植體氮含量 1% 及磷含量 0.15% 計算，則每年每平方公尺之氮吸收量可達 120~240 g/m²/year、磷吸收量可達 18~36 g/m²/year。

Liao *et al.* (2003) 表示培地茅及傘草 (*Cyperus alternifolius*) 對養豬場厭氣廢水之 COD、BOD、銨氮及磷去除效率較對照顯著。本試驗同樣顯示培地茅處理組對羊糞廢水之氮、磷去除率顯著高於對照。培地茅對畜牧廢水之耐受性雖較布袋蓮、大萍等常應用於廢水植物處理水生植物為高，但長

期處於高濃度廢水的情形下仍可能抑制其生長潛力，特別是根系的生長，因而降低其對廢水氮、磷去除能力，如本試驗中高濃度羊糞廢水處理下與放置於厭氣調整池與初沉池之培地茅。但畜牧廢水 COD 濃度若低於 1000 mg/L 以下，水耕培地茅的生長應不受影響。Kong *et al.* (2003) 表示培地茅置於 COD < 400 mg/L、BOD < 150 mg/L 的廢水中，至少可持續生長達一年。

綜合本試驗結果培地茅具備 (1) 可長期於浸水狀態，不須通氣仍生長良好 (2) 耐高氮、磷，對氮、磷吸收力強 (3) 對畜牧廢水之耐受性強等特性，同時，試驗也顯示培地茅確可增強現有廢水畜牧處理設施之氮、磷去除率，極具推廣應用價值。

參考文獻

- 行政院環境保護署環境檢驗所。2005。水質檢驗方法彙編。<http://www.niea.gov.tw/analysis/method/ListMethod.asp?methodtype=WATER>。
- 洪嘉謨、林晉卿、沈韶儀、張武莉。1996。三段式豬糞尿處理系統之改良研究 (I)。畜產研究 29：297~306。
- 洪嘉謨、蘇清全、郭猛德、林財旺、徐彩煥、李啟忠、沈韶儀。1997。三段式豬糞尿處理系統之評估—放流水質與 87 年環保標準比較 (I)。畜產研究 30：379~386。
- 曾四恭。2001。無氧 / 好氧處理程序去除養豬廢水中 COD 及氮之研究。畜產研究 34：105~114。
- 黃汝賢、謝國強、紀長國。1999。單一污泥系統去除豬糞尿廢水中之有機物、氮及磷。畜產研究 32：33~54。
- 郭文健。2002。台灣養豬廢水處理技術之現況與展望。2002 年豬糞尿低污染管理技術與再利用國際研討會論文集 p.2-47~2-62。
- A.. O. A. C. 1975. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. Washington DC. pp. 399.
- A.. O. A. C. 1984. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. Washington DC. pp. 125~142.
- Grimshaw, R. G. (ed.) 1994. Vetiver Grass - Its Use for Slope and Structures Stabilization under Tropical and Semi-tropical Conditions. In: Vegetation and Slopes, Institution of Civil Engineers, London.
- Grimshaw, R. G. (ed.) 1995. Vetiver Grass for Soil and Water Conservation. World Bank Technical Paper No. 173, Washionton, D. C., USA.
- Kong, X., W. Lin, B. Wang and F. Luo. 2003. Study on vetiver's purification for wastewater from pig farm. Proceedings of the third international conference on vetiver and exhibition, Guangdong, China. pp. 170~173.
- Liao, X., S. Luo, Y. Wu and Z. Wang. 2003. Studies on the abilities of *Vetiveria zizanioides* and *Cyperus alternifolius* for pig farm wastewater treatment. Proceedings of the third international conference on vetiver and exhibition, Guangdong, China. pp. 174~181.
- Truong, P. and D. Baker. 1998. Vetiver grass for environmental protection. Tech. Bull. No. 1998/1, PRVN, RDPB, Bangkok, Thailand.
- Vieritz, A., P. Truong, T. Gardner and C. Smeal. 2003. Modeling monto vetiver growth and nutrient uptake for effluent irrigation schemes. Proceedings of the third international conference on vetiver and

- exhibition, Guangdong, China. pp. 87~99
- Wagner, S., P. Truong, A. Vieritz and C. Smeal. 2003. Response of vetiver grass to extreme nitrogen and phosphorus supply. Proceedings of the third international conference on vetiver and exhibition, Guangdong, China. pp. 100~108.
- Weatherburn, M. W. 1967. Phenol-hydrochloride reaction for determination of ammonia. Anal. Chem. 39: 971~974.

The capacity of vetiver for absorption of nitrogen and phosphorus and its tolerance to livestock wastewater ⁽¹⁾

Shu-Min Wang ^{(2) (3)} and Chia-Sheng Chen ⁽²⁾

Received : May 17, 2005 ; Accepted : Aug. 8, 2005

Abstract

The capacity of nitrogen and phosphorus absorption and tolerance of vetiver to livestock wastewater (*Vetiveria zizanioides*) were investigated in this study to evaluate the possibility of using vetiver in livestock wastewater treatment. The results of hydroponic experiment showed that vetiver adapted well in dipping condition without aeration. After incubating the vetiver in hydroponic solution of four levels of salt concentration, the ratios of plant absorption to total removal quantity from solutions were 93%, 94%, 72%, and 72% for nitrogen, and 26.7%, 30.6%, 19.1% and 20.9% for phosphors, respectively. Comparison test showed that vetiver was more tolerant to goat excrement wastewater than were *Eichhornia crassipes* and *Pisytia stratiotes*. After incubating the vetiver in dense goat wastewater for two-weeks, its up-ground part looked normal though its growth was retarded with some roots turning black. Results also showed that nitrogen and phosphorus removal rates in vetiver treatments were higher than in the control (no plant incubated). Further, we applied the vetiver raft directly in the regulation pools of goat milking house wastewater treatment system for three months to monitor the changes of salts before and after plant treatment. The removal rate increased from 51.6% to 75.4% for nitrogen and from 12.9% to 27.2 % for phosphors after vetiver treatment. The results showed that vetiver would be a good candidate for removal of nitrogen and phosphorus in livestock wastewater treatment.

Key words : Vetiver, Wastewater treatment, Removal of nitrogen and phosphorus.

(1) Contribution No.1290 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Hengchun Branch, COA-LRI, Pingtung 946, Taiwan, R. O. C.

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