

水田蓄水對植生環境之衝擊分析

國立台灣大學生物環境系統工程學系

副教授

吳富春

研究助理

沈易徵

摘要

本研究重點在於水田休耕與蓄洪後植生環境之改變，分別考慮水田休耕後未蓄水及蓄水兩種情況，並探討牛踏層對入滲之影響。模擬結果顯示水田區之牛踏層實為影響水田入滲量之重要機制，牛踏層使得土壤水入滲至此即產生阻力，在土壤肥沃度方面，土壤水之流動亦明顯主導土壤氮含量之變化。因此蓄水與否對於休耕田區之影響有著一定之衝擊，蓄水不僅造成本身田區之衝擊，也相對地對於周圍環境造成影響。

一、緒論

水稻田除了生產性之功能外，尚存在生態上及生活上之機能，如調蓄洪水、補注地下水增加水資源及降低洪峰流量等。而這些功能對於植生環境之影響，則須加以探討。而且在水田耕作之情況下因為長期的施肥可維持土壤肥沃度，但水田休耕蓄洪可能造成土壤養分之流失，使植生環境改變，而土壤水入滲可能會造成土壤溫度的改變，本研究乃針對這些問題加以探討。

本研究重點在於水田休耕與蓄洪後植生環境之改變，分別考慮水田休耕後未蓄水及蓄水兩種情況，針對土壤中水份、養份與溫度三個與植物生長環境息息相關之項目，討論蓄水對水田區及鄰近區域植生環境所造成之影響。

為分析水田區及鄰近區域之土壤-植生環境在水田休耕後種種情況下所受到之衝擊影響，本研究擬發展一植生環境演算模組，包括三部分：

- (1) 土壤水模式(土壤含水量及水壓勢能分佈)
- (2) 土壤氮模式(土壤水含氮量之變化)
- (3) 土壤溫度模式(土壤溫度之變化)

利用上述演算模式計算土壤含水量、含氮量與溫度之變化，並分析水田休耕蓄水對植生環境之衝擊。

二、案例探討

2.1 模擬條件

本研究利用植生環境模式模擬水稻田在休耕後之各種情況，比較水田區及周圍地區之土壤植生環境在下列情況下之差異。

案例一：水田休耕後，未蓄水。

案例二：水田休耕後，蓄水。

案例三：水田休耕後，蓄水並破壞牛踏層。

本研究之二維模擬區域如圖(1)所示，寬 80m，深 1.2m，而蓄水田寬度為 40m，蓄水深固定為 0.2m，模擬區域之底層設一負壓使其接近田間含水量，以符合土壤水重力排水特性。

土壤水模式起始條件乃根據水田之實測負壓分布[3]去計算模擬區域內之平均負壓值，利用此一負壓求出起始之含水量，設為 $0.46(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$ ，而土壤中孔隙率為 $0.49(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$ [2]，故起始含水量為接近飽和之含水量。

土壤氮模式則假設土壤中起始氮含量為 C_0 ，假如有蓄水時，蓄水之濃度為 0，則是入滲之濃度為 0。而土壤層之起始溫度為表層 30°C 至底層 10°C 呈線性變化，上層水溫度即為表層溫度 30°C 。

本研究採用彰化農田水利會社頭工作站試驗田區之實測土壤特性[3]，試驗田土壤大致可分成四層，實驗田區之牛踏層約在 20-30 公分處，牛踏層上方土壤屬於泥濘之田區，導水係數為 $1.72\text{cm}/\text{day}$ ，而牛踏層之導水係數明顯偏低，僅有 $0.055\text{cm}/\text{day}$ ，牛踏層下方 10cm 則為 $0.92\text{cm}/\text{day}$ ，而在牛踏層下方 30cm 之飽和導水係數介為 $1.6-1.9\text{cm}/\text{day}$ 之間。本研究參照試驗田區之實測負壓及含水量資料[3]，決定土壤水模式之土壤特性參數 n 及 a 。土壤溫度模式中熱導率及比熱容積之參數乃是利用水、空氣、土壤三者個別之熱導率及比熱容積[1]加權平均而得。

三、結果與討論

3.1 案例一：水田休耕未蓄水

本案例考慮水田休耕後未蓄水之情況，水田區及鄰近區域土壤會因為沒有水分入滲而產生重力排水的現象，模擬結果分述如下。

(1) 土壤水模擬結果

水田休耕為蓄水時，原有土壤水因為重力與下方非飽和土壤之負壓而造成土壤水往下滲漏之情況。模擬結果顯示土壤含水量因為重力排水而逐漸減少，隨著含水量之減少而負壓則逐漸加大，模擬結果如圖(2)至圖(3)所示，分別代表模擬 30 後之水頭及含水量，

由圖中可看出牛踏層之存在使得土壤水之重力排水受到阻礙，因而在表土下方 20-30cm 處產生水頭及含水量急遽變化之情況。

(2) 土壤氮模擬結果

因土壤在水田未蓄水之情況下，僅有重力排水，並未有入滲之水份，故計算土壤氮含量($kg - N / m^3 - soil$)之剩餘率，計算結果如表(1)所列。由表中可看出，各土壤層之氮含量均隨時間增加而減少，土壤氮因隨水份往下流失，故表層(0-5cm)之土壤氮含量為最低，底層(15-20cm)之土壤氮含量則最高，在休耕 30 天後，土壤氮含量大約流失 30%，剩餘 70%。

表(1) 牛踏層上方土壤氮含量剩餘率(案例一)

天數	0-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	0-20cm 總和
1 天	97.1(%)	97.2(%)	97.4(%)	97.5(%)	97.3(%)
7 天	85.8(%)	86.1(%)	86.4(%)	86.7(%)	86.2(%)
30 天	69.6(%)	69.8(%)	70.0(%)	70.1(%)	69.9(%)

(3) 土壤溫度模擬結果

植生環境與牛踏層上方之土壤層關係較大，故土壤溫度模擬結果僅將牛踏層上方之土壤平均溫度做一比較，案例一模擬結果如表(2)，因為土壤層之間的溫度梯度並不大而且土壤重力排水皆屬於非飽和流，流速甚緩，與擴散項約可抵銷，所以造成之影響很小，以本案例為例，土壤溫度在牛踏層上方土壤模擬開始時平均溫度約 $27.9^{\circ}C$ ，模擬 7 天後，會受到土壤重力排水影響，將上層熱量往下層帶，平均溫度會增加至 $28.9^{\circ}C$ ，當 30 天至 60 天後，此時重力排水早已結束，土壤溫度因為擴散而達成平衡，約為 $28.7^{\circ}C$ 而不會改變，所以模擬結果顯示溫度改變量雖會受到上層土壤溫度之影響，但是假如沒有明顯的溫度梯度，改變量則會非常微小，而當重力排水結束後，土壤層溫度會因擴散而達到另一新的平衡狀態。

表(2) 牛踏層上方土壤溫度(案例一)

範圍	起始溫度	1 天	7 天	30 天	60 天
0-20cm	$27.9^{\circ}C$	$28.5^{\circ}C$	$28.9^{\circ}C$	$28.7^{\circ}C$	$28.7^{\circ}C$

3.2 案例二：水田休耕，蓄水

(1) 土壤水模擬結果

本案例探討水田休耕後，維持 0.2m 蓄水深度，水流入滲土壤中並流動之情況，模擬結果如圖(4)至圖(5)所示，分別代表土壤含水量與土壤水壓勢能在 30 天後之情況。

與案例一比較下，可看出蓄水與未蓄水之流動情況明顯不同，在水田蓄水之情況下，土壤水之側向流動距離會隨著時間增加而增加，但是會越趨緩和，直到與蓄水田區上層蓄水高達到平衡之距離。而在牛踏層也產生等壓線及等含水量線緊密之現象，顯示牛踏層會

將上方飽和區與下方非飽和區做一明顯之區隔。由上述兩項結果顯示垂直入滲確實會因為牛踏層而產生阻絕作用及側向之流動，但結果顯示側向之非飽和流動並不明顯。

(2) 土壤氮模擬結果

土壤氮模擬結果以土壤氮相對濃度 $N/N_0(\%)$ 表示之， N_0 為起始土壤氮含量，蓄水田區水分入滲土壤，土壤氮含量受到擴散及水流影響而改變，模擬結果如圖(6)所示，代表蓄水 30 天後模擬區域土壤氮相對濃度之變化。圖中顯示蓄水 30 天後，牛踏層上方土壤氮皆由蓄水田區之水分往下層帶離，並且影響範圍到達表層下方 0.8m。因為土壤中側向流動皆屬於非飽和流，因此土壤氮於非蓄水田區並未被稀釋。

由氮含量剩餘率變化表(3)顯示蓄水田區土壤水之流動會造成土壤氮含量之改變，影響範圍亦隨時間增長而有加大之趨勢，土壤氮含量亦因水田區蓄水入滲而造成稀釋作用，並且會隨著土壤水之流動而逐漸被帶走。

表(3) 牛踏層上方土壤氮含量剩餘率(案例二)

蓄水田區					
天數	0-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	0-20cm 總和
1 天	4.8(%)	89.5(%)	104.6(%)	105.0(%)	76.0(%)
7 天	0(%)	8.25(%)	71.1(%)	38.8(%)	29.5(%)
30 天	0(%)	0(%)	0(%)	0(%)	0(%)
非蓄水田區					
天數	0-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	0-20cm 總和
1 天	97.1(%)	97.4(%)	97.5(%)	97.7(%)	97.4(%)
7 天	86.3(%)	86.7(%)	87.1(%)	87.5(%)	86.9(%)
30 天	70.5(%)	70.7(%)	70.9(%)	71.3(%)	70.9(%)

(3) 土壤溫度模擬結果

模擬結果如表(4)，因為蓄水之影響，使得蓄水田區下方土壤溫度與非蓄水田區下方土壤溫度造成一差距，兩者之差異恰巧為蓄水與非蓄水之影響，蓄水田區靠入滲之水分將熱量往下層帶，而在非蓄水田區僅有重力排水，但是改變量皆不大，而且當土壤中溫度梯度與穩定入滲之水流達成平衡後，溫度亦會趨於平衡。

表(4) 牛踏層上方土壤溫度(案例二)

範圍	起始溫度	1 天	7 天	30 天	60 天
0-20cm(蓄水區)	27.9°C	28.7°C	29.0°C	29.1°C	29.1°C
0-20cm(非蓄水區)	27.9°C	28.5°C	28.9°C	28.7°C	28.7°C

3.3 案例三：水田休耕後破壞牛踏層，並蓄水

由案例二之模擬結果得知水田蓄水時土壤水流動情況與牛踏層之存在有著密切的關係，故本案例考慮將蓄水田區之牛踏層翻整除去，以此條件模擬土壤水及土壤氮之變化。

(1) 土壤水模擬結果

案例三之土壤水模擬結果如圖(7)至圖(8)所示。將模擬結果與案例一及案例二比較，可看出土壤水流動被牛踏層阻絕之情形已經因為牛踏層之破壞而去除，土壤水迅速往下方入滲，當蓄水田區下方漸漸趨於飽和時，土壤水便以固定之滲漏率往下入滲。

(2) 土壤氮模擬結果

土壤氮含量模擬結果如圖(9)所示，與案例二之模擬結果大致相同，土壤氮因蓄水田區往下滲漏之流速加大而流失速率較快，當 30 天後，蓄水田區下方之土壤氮含量已經全部被帶離。

土壤氮含量剩餘率如表(5)所示，由蓄水田區之土壤氮含量剩餘率可看出，氮被水流往下層帶走之趨勢與案例二相比明顯變大，土壤水含氮量被稀釋之比例於牛踏層打破之情況下亦較大。

表(5) 牛踏層上方土壤氮含量剩餘率(案例三)

蓄水田區					
天數	0-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	0-20cm 總和
1 天	0(%)	58.0(%)	95.6(%)	103.5(%)	38.4(%)
7 天	0(%)	0.7(%)	1.0(%)	1.3(%)	0.7(%)
30 天	0(%)	0(%)	0(%)	0(%)	0(%)
非蓄水田區					
天數	0-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	0-20cm 總和
1 天	97.1(%)	97.3(%)	97.5(%)	97.6(%)	97.4(%)
7 天	86.3(%)	86.6(%)	87.0(%)	87.4(%)	86.8(%)
30 天	70.7(%)	70.9(%)	71.1(%)	71.4(%)	71.0(%)

(3) 土壤溫度模擬結果

模擬結果如表(6)，牛踏層去除後，蓄水田區之水份入滲速率加快，造成之影響亦較大，蓄水 30 天後，蓄水田區牛踏層上方土壤平均溫度增為 29.6℃，與入滲水份之溫度 30℃ 已相差不大，而非蓄水田區則與重力排水結果一致，為 28.7℃。

表(6) 牛踏層上方土壤溫度(案例三)

範圍	起始溫度	1 天	7 天	30 天	60 天
0-20cm(蓄水區)	27.9℃	28.9℃	29.4℃	29.6℃	29.6℃
0-20cm(非蓄水區)	27.9℃	28.5℃	28.9℃	28.7℃	28.7℃

四、結論與建議

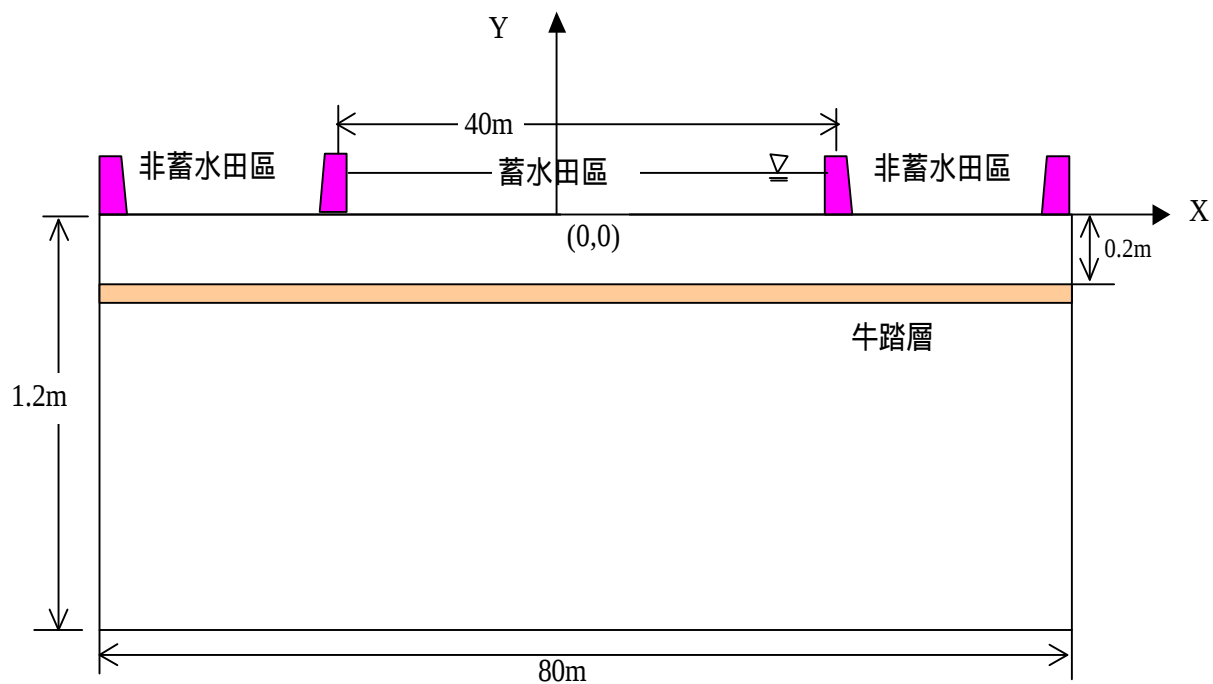
- 1、水田區之牛踏層實為影響水田入滲量之重要機制，牛踏層之影響使得土壤水入滲至此即產生阻力，對於牛踏層上方土壤之含水量並不會有影響，但因為入滲速率加快

而對於土壤氮流失率造成一定程度之影響。同樣休耕後 7 天，牛踏層上方土壤之氮容量流失量有明顯之不同，休耕未蓄水之情況下流失率為 14%，休耕蓄水之情況下約為 70%，而休耕蓄水並破壞牛踏層之情況下流失率則為 100%，由此結果顯示土壤水之流動明顯主導土壤氮含量之變化。

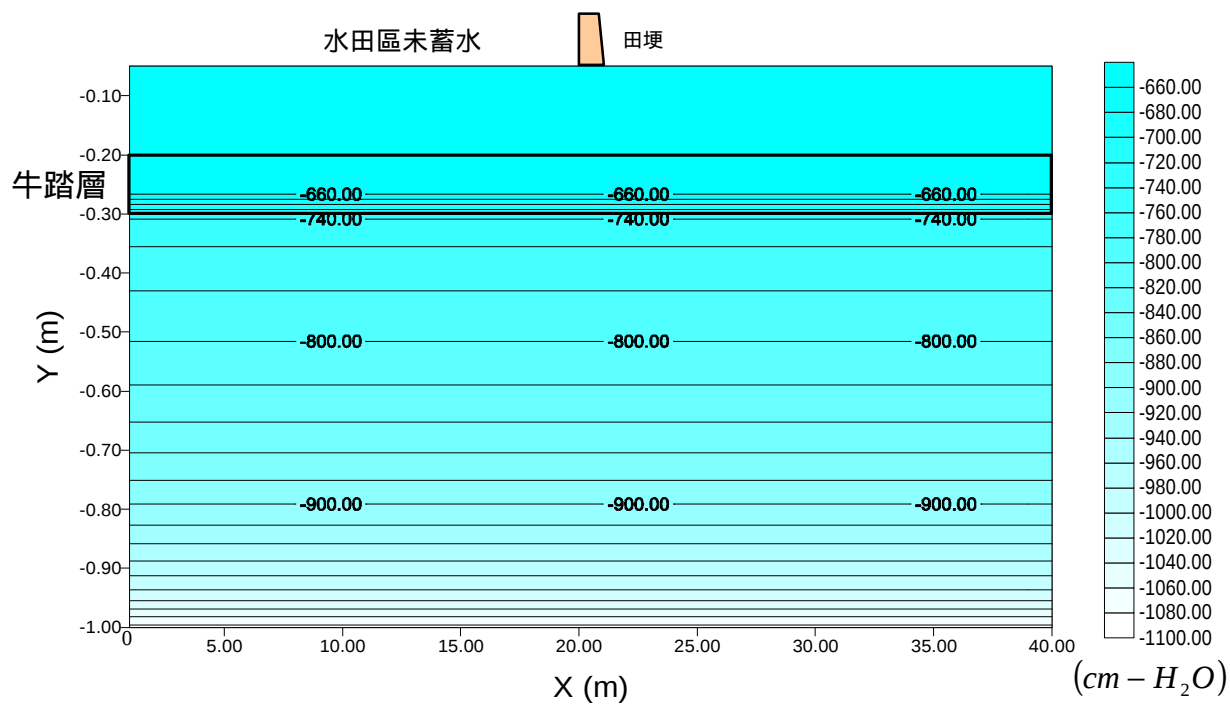
- 2、蓄水與否對於休耕田區之影響有著一定之衝擊，由案例二、案例三與案例一之比較即可得知，案例二及案例三皆是同時模擬蓄水田區與非蓄水田區之改變，蓄水不僅造成本身田區之衝擊，也相對地對於周圍環境造成影響，例如含水量在寬 40m 之水田蓄水情況下，於牛踏層上方可往側向傳遞約 3-4m 左右。蓄水造成之衝擊可由表(1)、表(3)及表(5)看出，蓄水與非蓄水之間差異甚大，顯示蓄水與否相關著氮會不會被帶走或稀釋。
- 3、由上述模擬結果及討論中可看出蓄水對於本身植生環境確實會造成重大之改變，但對於鄰近區域之影響則不顯著。由個案二來看，休耕後 30 天，蓄水田區之氮含量已經全部被帶離，而非蓄水田區則多損失 4-5%，於現階段模擬結果可推斷蓄水對於鄰近田區並沒有太大之影響。
- 4、在牛踏層上方因為溫度梯度小，所以造成之影響亦小，僅在牛踏層打破後之差距較明顯，0-20cm 土壤平均溫度會因為蓄水溫度 30°C 而從 27.9°C 增至 29.6°C。此結果顯示土壤溫度會隨著上層水溫而改變，會在一段時間後達到平衡，而改變之快慢程度則與土壤水流速率成正比。
- 5、由案例二與案例三則可看出入滲速率與土壤溫度改變率成正比關係，而土壤溫度也會因為上層水溫或氣溫改變而改變。將於往後加入實測之上層水溫變化去探討土壤溫度隨上層水溫變化之程度及速率。
- 6、本研究現階段之實測資料不足，因此模式參數與區域邊界及起始條件之設定並非完全符合實際情況，未來將以實測資料進行模式之檢定及驗證。

五、參考文獻

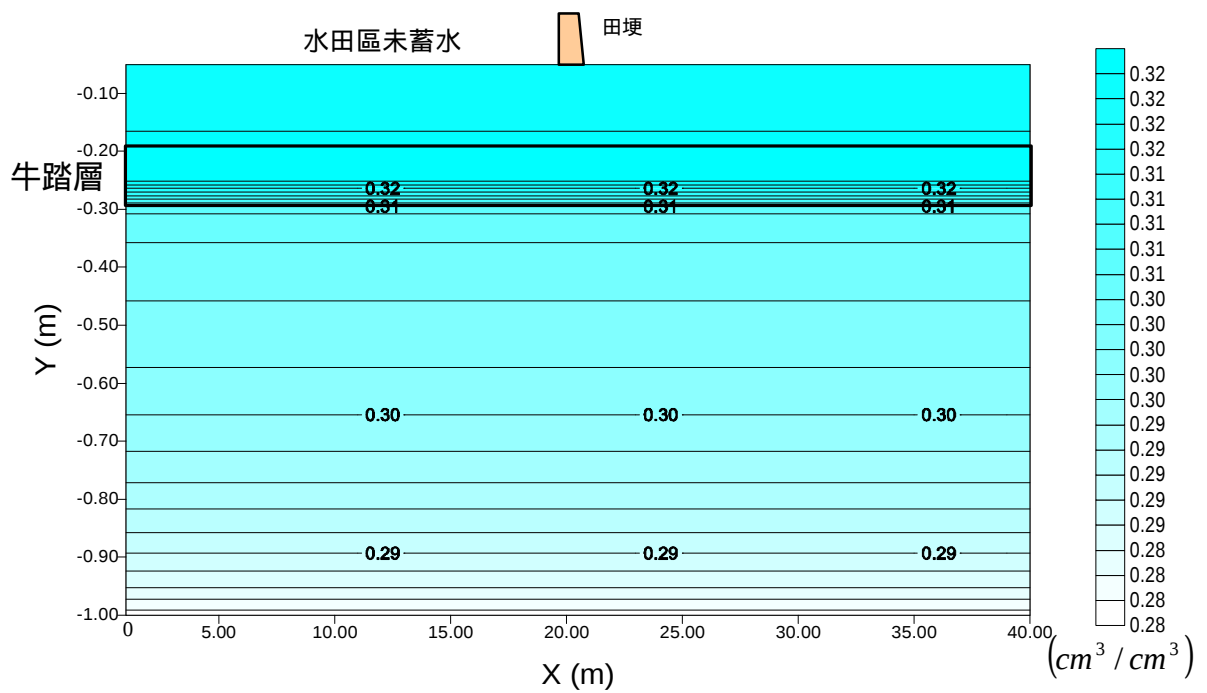
- [1] De Vries D.A., Thermal properties of soils. In Van Wijk WR (ed) Physics of Plant Environment. Northholland Publishing Co., Amsterdam, 1963.
- [2] Van Genuchten, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:892-898,1980.
- [3] 劉振宇，[水田蓄洪對地下水補注之影響]，農委會研究計畫期中報告，台大農工系，民國 86 年。



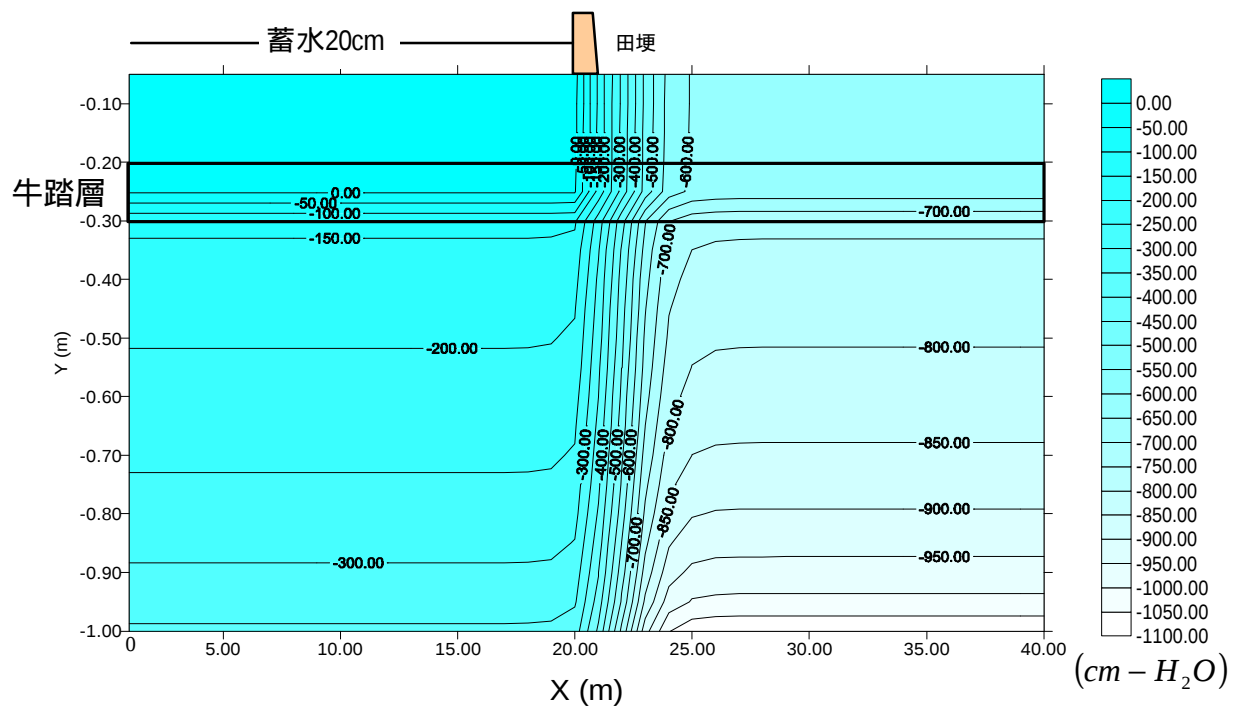
圖(1) 模擬區域



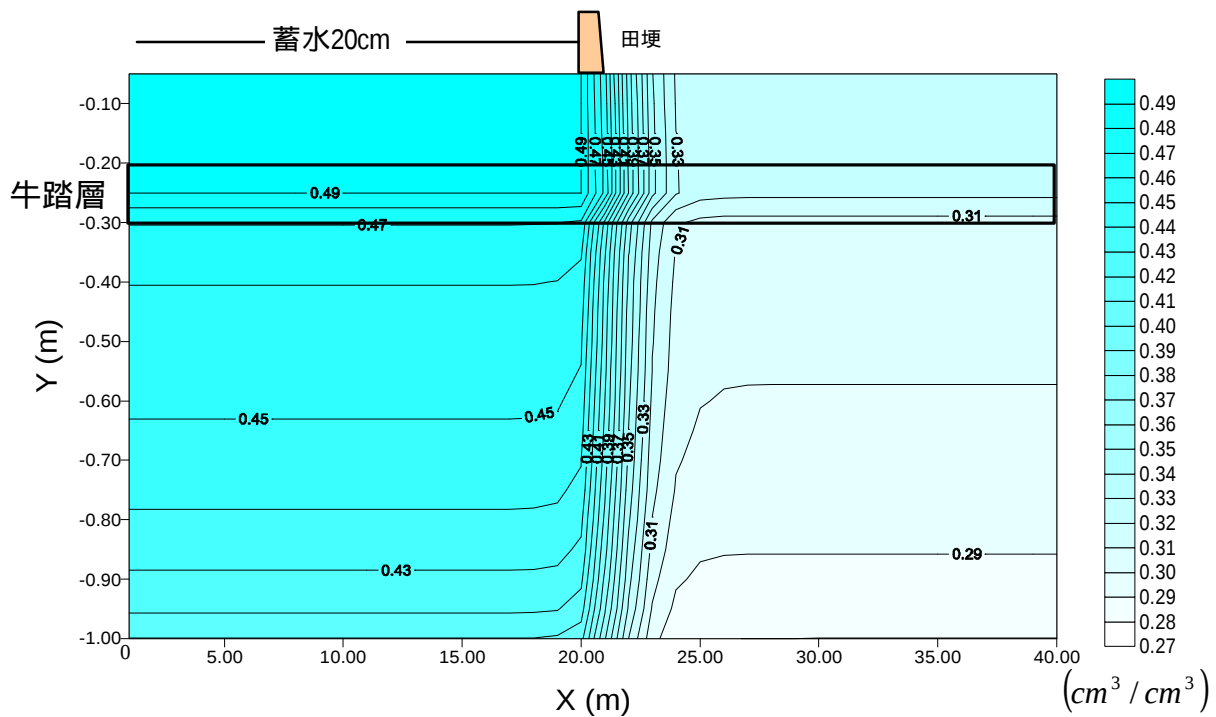
圖(2) 30 天後之水頭分佈圖(案例一)



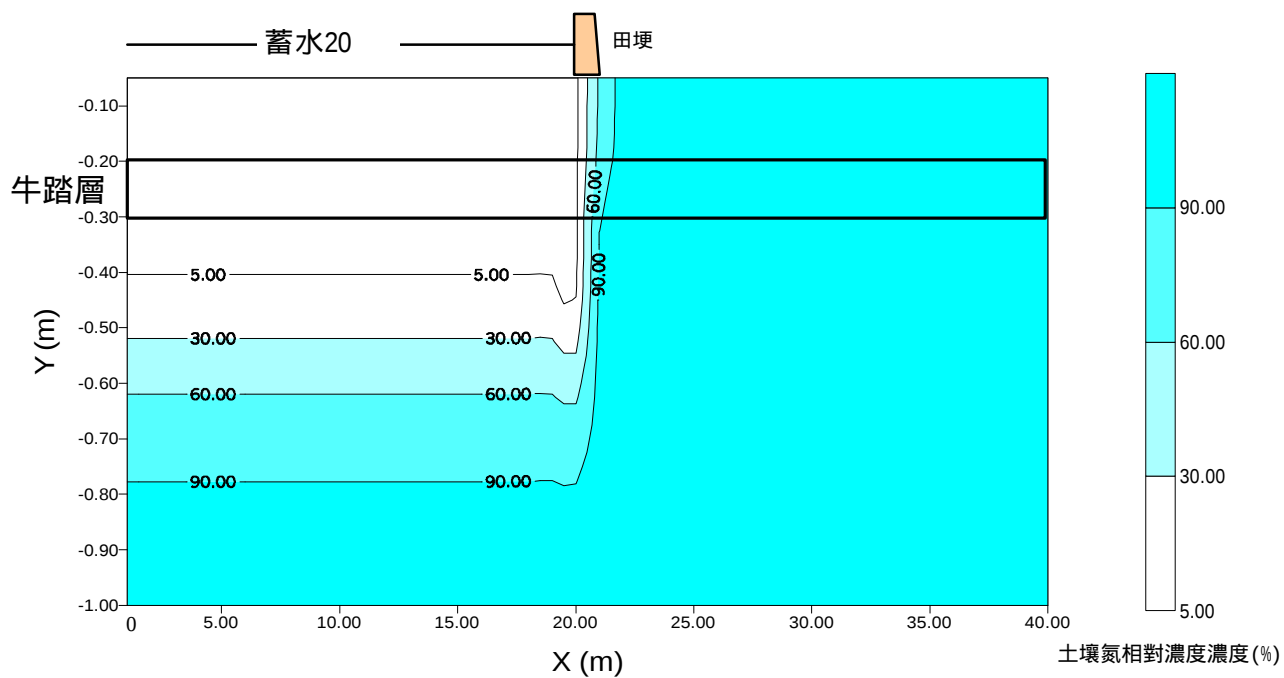
圖(3) 30 天後之含水量分佈圖(案例一)



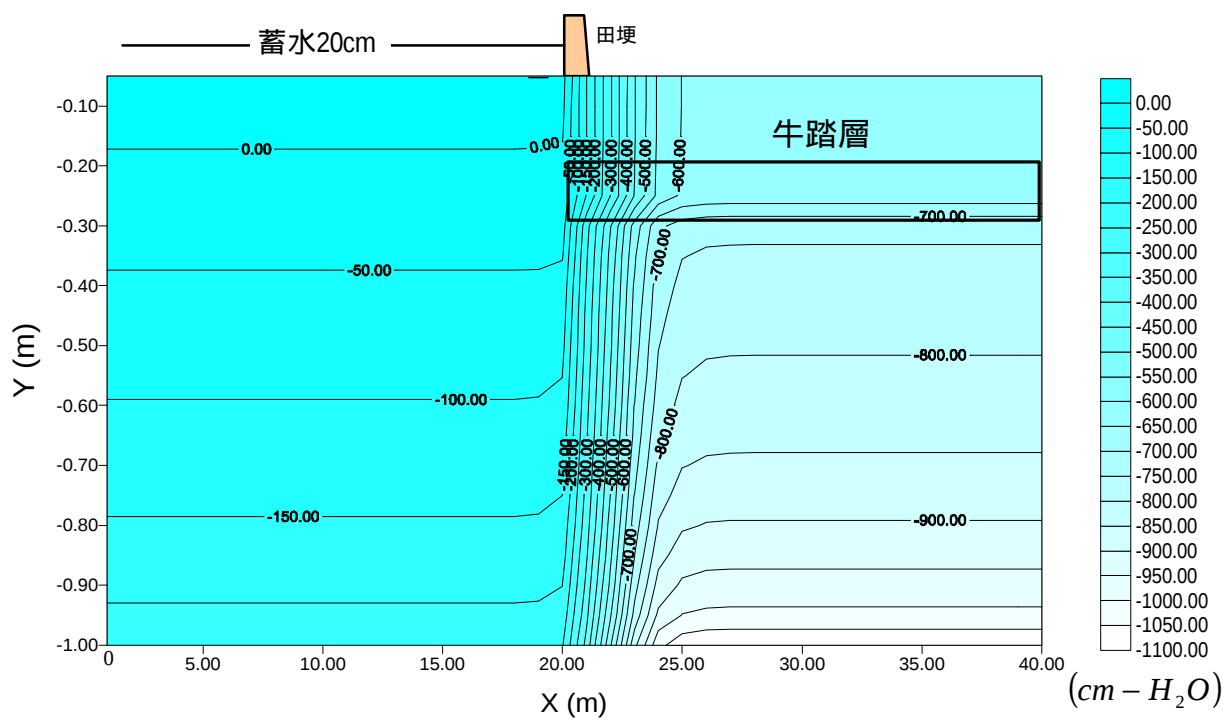
圖(4) 30 天後之水頭分佈圖(案例二)



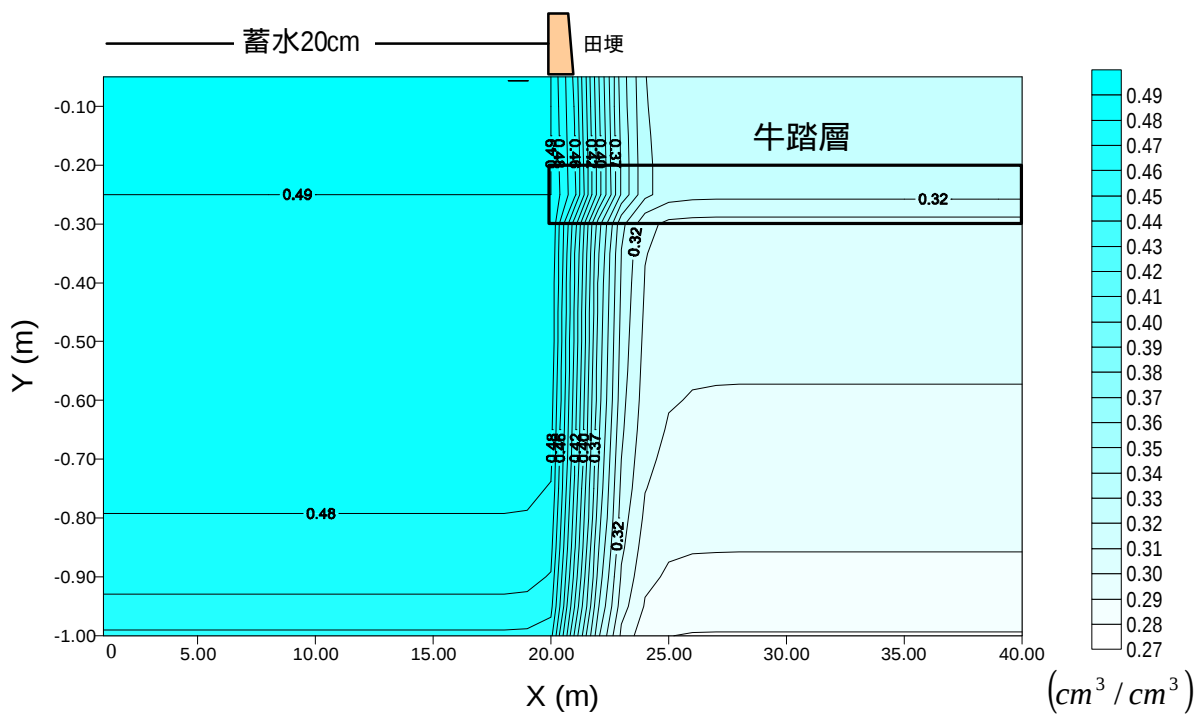
圖(5) 30 天後之含水量分佈圖(案例二)



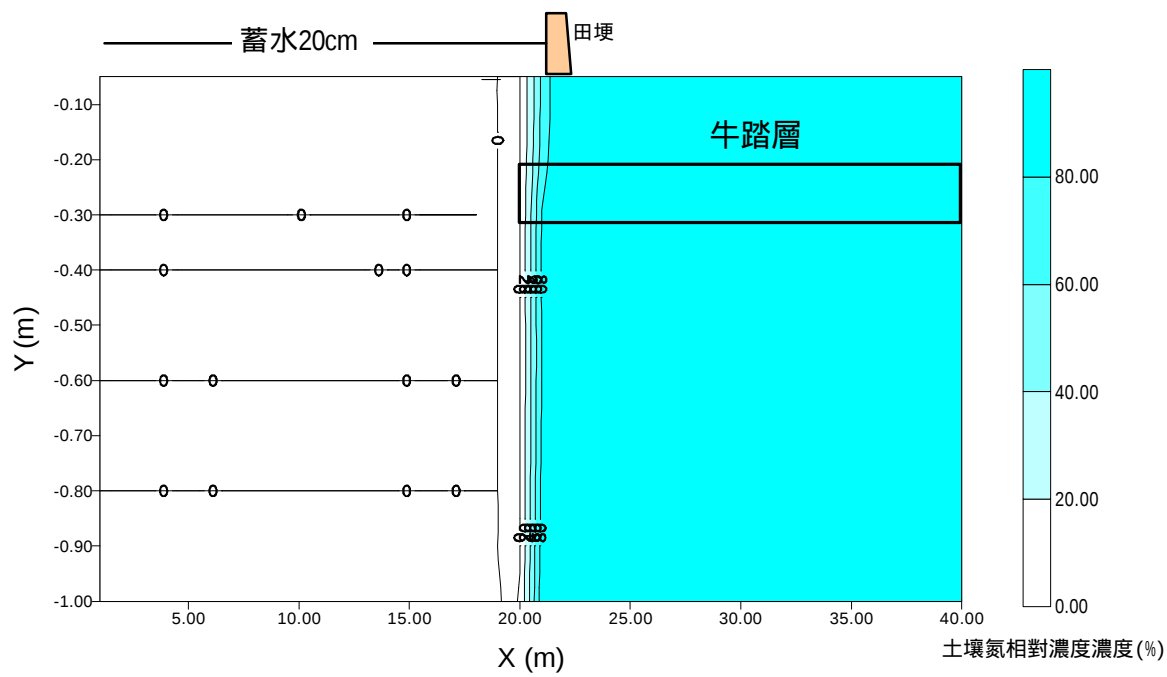
圖(6) 30 天後之土壤氮相對濃度分佈圖(案例二)



圖(7) 30 天後之水頭分佈圖(案例三)



圖(8) 30 天後之含水量分佈圖(案例三)



圖(9) 30 天後之土壤氮相對濃度分佈圖(案例三)