

# 坡地農業甜柿栽培區最佳管理措施效益之研究

林明育<sup>(1)</sup> 張文彥<sup>(2)</sup> 林峻達<sup>(3)</sup>

## 摘要

本研究以 InVEST 模式配合土地利用變遷分析，探討樣區農業非點源污染最佳管理措施之配置效益。結果顯示不同管理措施營養鹽阻截效益之大小依序為濱水區配置緩衝帶、主要污染路徑草生栽培以及超限利用區之恢復造林。濱水區係因為營養鹽主要匯集處，緩衝帶配置可有效攔截營養鹽流入河川，其效益最高；農地主要污染途徑因超限利用嚴重及營養鹽超量施用，致草生栽培之效益次之；超限利用主要分布於上邊坡之陡峭區位，離河川水系較遠，其恢復造林之效益較少。若同時採用三種方式進行模擬，其營養鹽輸出量約可減少 90%。另由樣區土地利用變遷 CN 值之差異，配合 InVEST 模擬可篩選適當之水源涵養及污染物防制之重點區位，可有效阻截坡地農業非點源污染之排放，供相關單位參考使用。

(**關鍵詞**：甜柿、InVEST model、最佳管理措施)

## Benefits of Best Management Practices for Slopeland Agricultural Persimmon Plantation

*Ming-Yu Lin*<sup>(1)</sup> *Wen-Yan Zhang*<sup>(2)</sup> *Jun-Da Lin*<sup>(3)</sup>

Master student<sup>(1)</sup>, Ph.D. student<sup>(2)(3)</sup>, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, 402, R.O.C.

## ABSTRACT

InVest model coupled with landuse analysis were applied to explore the benefits of best management practices for controlling the agricultural non-point source pollution in this study. Results show that the treatment benefits is placement of vegetated buffer strips along the riparian sites, plantation of covering grass on the main polluted flow paths and reforestation at the illegal agriculture areas in order. The treatment of VBSs along the riparian sites has the best benefit because of the

---

(1)國立中興大學水土保持學系碩士班研究生(mindashops@gmail.com)

(2)國立中興大學水土保持學系博士班研究生

(3)國立中興大學水土保持學系博士班研究生

sites with characteristics of nutrient concentration, which can be intercepted and uptake efficiently by the VBSs. Following is the treatment of covering grass on the flow paths due to over landuse and/or fertilizers of the watershed. The least benefit is the treatment of illegal landuse which mostly located at the steep uplands. There will be decreased about 90% of nutrients output for adopting the whole three treatments. In addition, hotspots of water cultivation and/or pollutant control could be selected to efficiently hinder the effluents of agricultural non-point source pollutants by using the difference of CN values derived from landuse change and InVEST simulation. The results of this study can be as the references for related authorities.

(**Keywords** : Persimmon, InVEST model, best management practices)

## 前言

甜柿約在 70 年前由日本引進，在台灣約有 200 餘年的栽培歷史，肥料三要素用量為氮素 243~273 公斤/公頃，磷酐 295~360 公斤/公頃，氧化鉀 413~505 公斤/公頃，肥料使用量可隨著甜柿樹齡、著果數增加、降雨樣多寡而適度調整增減。甜柿施肥時需經常更換施肥位置，使肥料均勻分布於表土層，藉此可誘導根系深入土層中，吸收養分及水分。甜柿萌芽期施用少量氮肥有利枝條萌芽生長；開花期施用磷肥促進開花，甜柿開花早果實較肥大；果實肥大前期(6~7 月)施用鉀肥促進果實肥大；果實肥大後期(9~10 月)施用氮、鉀肥繼續提供養分，除可使果實肥大外，部分養分積蓄於樹體供翌年結果枝萌芽(賴文龍，2002)。摩天嶺甜柿栽培區，栽植面積日益增加之情況下，若無適當地肥培管理，部分地區超量施肥結果可能造成河川優養化(劉淑娟，2010)。

植生緩衝帶可有效消滅農業非點源污染，為有效的最佳管理措施之一(王嘉君，

2010)。緩衝帶效果不僅可有效控制農業非點源污染，亦能改善棲地環境，增進物種

歧異度(林昭遠等，2010; Rowan et al., 1994)。植生緩衝帶組成(composition)及配置(configuration)對生態系統功能有著決定性之影響(蕭戎雯，2013)。

本研究以台中市和平區之甜柿栽培地為樣區，利用 InVEST 模式，探討坡地農業甜柿栽培區之最佳管理措施效益，俾供相關單位之參考。

## 材料與方法

### 1. 試區概述

摩天嶺香川溪位於台中市和平區，試區地理位置如圖 1 所示，高程分佈約 500 公尺至 1000 公尺，地勢由東北向西南傾斜，如圖 2 所示。

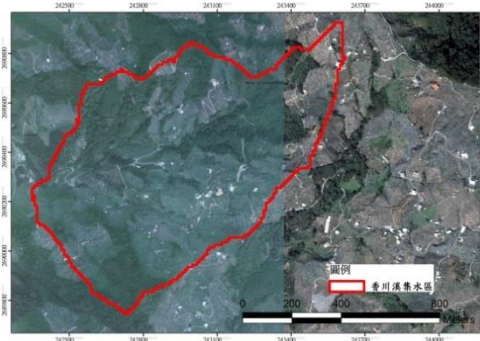


圖 1 試區地理位置  
Fig. 1 The study area

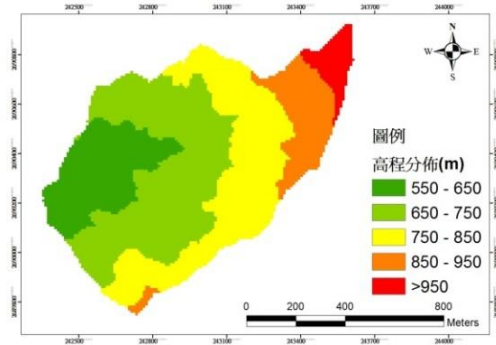


圖 2 試區高程分佈

Fig. 2 The spatial distribution of elevation

## 2. 研究流程

首先蒐集試區相關參數之資料，另針對農地超限利用、主要污染傳輸路徑及濱

水區等區位進行恢復造林、草生栽培及緩衝帶配置等情境模擬，以 InVEST 模式推估試區農業非點源污染之改善效益，研究流程如圖 3。

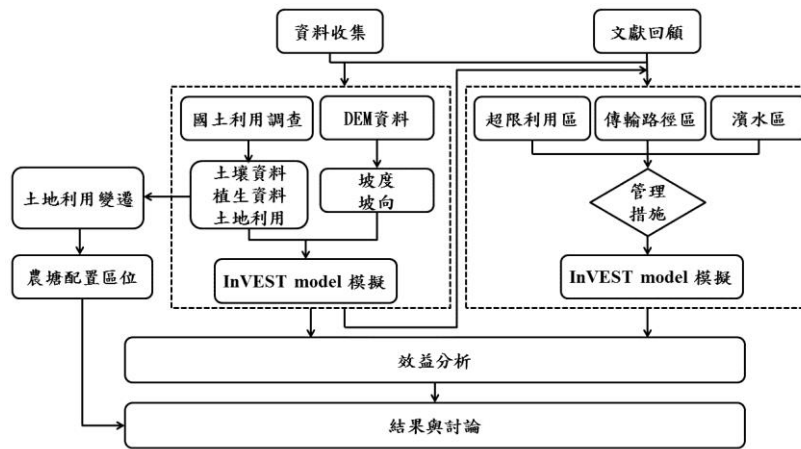


圖 3 研究流程

Fig. 3 The research flow chart

## 3. 研究方法

InVEST 係由「自然資本計畫」(The Natural Capital Project) 所研發之 GIS(Geographic Information System)應用

軟體，模式參數需考量之資訊包括：數值高程模型、年雨量、蒸發散量、土壤有效含水量、土地利用現況資訊、營養鹽負荷量、營養鹽留存率及根系深度等。

(1)數值高程模型

利用內政部地政司測繪之 DEM (解析度為 5m x 5m)，以 ERDAS 軟體進行網格處理，重新取樣成 10m x 10m 解析度供模式使用。

(2)年雨量及年蒸發散量

年雨量及年蒸發散量係採用水文年報資料，利用克利金法進行雨量及年蒸發散量之空間分佈(楊德良，2002)，測站資料如表 1。

表 1 雨量及氣象測站資料

Table. 1 Information of meteorological station and precipitation station

測站類別	名稱	TWD97	
		X	Y
雨量站	雙崎(2)	240875	2687401
	象鼻(1)	244767	2694941
	卓蘭(2)	231041	2688821
	雪嶺	252588	2685986
	新開國小	232408	2693546
	坪林國小	237460	2692227
氣象站	日月潭	239806	2642070
	台中	217063	2671397
	梧棲	200764	2683761
	新竹	250617	2746951
	花蓮	311565	2652605

(3)土壤有效含水量

土壤有效含水量 (available water capacity, AWC)以 GIS 圖資萃取土壤質地查表求得田間含水量(Field Capacity, FC)及永久凋萎點(permanent wilting point, PWP)，計算兩者差值可得土壤有效含水量

如表 2 (Saxton et al., 2006)。

表 2 土壤水分特性

Table. 2 Soil texture

質地	FC(%)	PWP(%)	AWC(%)
砂土	10	5	5
壤質砂土	12	5	7
砂質壤土	18	8	10
砂質黏壤土	27	17	10
壤土	28	14	14
砂質黏土	36	25	11
粉質壤土	31	11	20
粉土	30	6	24
黏質壤土	36	22	14
粉質黏壤土	38	22	16
粉質黏土	41	27	14
黏土	42	30	12

(4)土地利用

依 2008 年國土繪測中心所繪製之土地利用圖資進行萃取，試區土地利用類別如表 3 及圖 4。

表 3 集水區土地利用類別

Table. 3 Types of watershed land use

土地利用	百分比(%)
農地	57.06
森林	39.41
建地	2.07
水體	1.45
總合	100

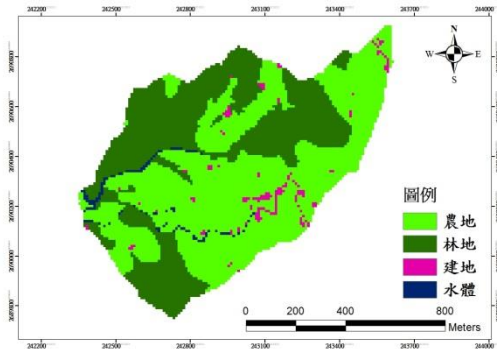


圖 4 土地利用分佈圖

Fig. 4 Land use area

(5)營養鹽參數

參考 2006 年曾文、牡丹、高屏溪及甲仙攔河堰之水質檢驗中，曾文水庫上游之營養鹽輸出係數(水利署，2006)；營養鹽留存率可參照蕭戎雯於 2013 年建議之土地利用類別(表 4)，在相同土地利用類別下，模式假設營養鹽留存率與輸出係數皆相同(Richard Sharp et al., 2015)。

表 4 土地利用類別營養鹽輸出係數及留存率

Table. 4 Export coefficient and retention rate of each land-use type

土地利用	氮輸出係數 (kg/ha*yr)	氮留存率 (%)	磷輸出係數 (kg/ha*yr)	磷留存率 (%)
農地	26	5	5	5
森林	3	80	0.2	80
建地	8.5	0	5	0
草原	4	50	1	50
荒地	4	10	2	10
水體	4	0	2	0

(6)根系深度

模式之各類根系深度值係採用下列文獻資料：甜柿根系分佈約 30cm(賴文龍，2002)，林地根系約 100cm(沈哲緯等，2009)，草地根系約 30cm(鄭泰山，1989)。

4. 模式介紹

(1)營養鹽留存模式

依不同的地覆狀況，可計算每個網格營養鹽之留存量及輸出量，如下式所示：

$$ALV_x = HSS_x \times pol_x$$

$ALV_x$ =網格 x 的營養鹽負荷量校正值 (Adjusted Loading Value)

$HSS_x$ =網格 x 的水文敏感分數(Hydrologic Sensitivity Score)

$pol_x$ =網格 x 的營養鹽輸出係數

$$HSS_x = \frac{\lambda_x}{\lambda_w}$$

$$\lambda_x = \log \left( \sum_u Y_u \right)$$

$HSS_x$ =網格 X 的水文敏感分數(Hydrologic Sensitivity Score)

$\lambda_x$ =網格 X 的逕流係數

$\lambda_w$ =集水區平均逕流係數

$\sum_u Y_u$ =河川流線上高於網格 x 的總出水量總和(包含網格 x 自身的出水量)

## (2)情境模擬

農業非點源污染之防治，可從兩種方式著手，一為總量管制，減少營養鹽之使用量，如超限利用區位恢復造林。另一種為分段攔截營養鹽，在主要污染逕流過程中攔截營養鹽，使流進河川水域之營養鹽降低（陳利頂，2006）。國內許多研究利用最佳管理措施(BMPs)進行集水區治理(陳貞樺等，2007；林昭遠等，2006)。此外，有學者談到於營養鹽主要匯流之路徑攔截，因此加入景觀生態學之源、匯概念配置草生栽培(Pionke et al., 2000；Fu et al., 2012)。

利用 BMPs 及源、匯概念進行情境模擬，主要分為三種：

### (a)超限利用區位恢復造林(SOURCE)

樣區農業非點源污染之主要來源為農地栽植果樹施用肥料，可針對邊坡超限利用區位恢復造林進行模擬，模式中超限利用區位之篩選方式以坡度大於 55% 且土地利用項目為農地者。

### (b)濱水植生緩衝帶區位(SINK)

濱水區位配置植生緩衝帶是超過土壤留存量之營養鹽進入河流前的最後一道防線，針對營養鹽流入河流前的濱水區位進行植生緩衝帶配置，選取河道兩側一單位之網格寬度(10m)進行緩衝帶配置。

### (c)營養鹽污染路徑草生栽培區位(PATH)

營養鹽主要傳輸所經過之路徑為重要之控制區位，配合逕流流向，可找出高輸出量之點位，以 BMPs 概念，將草生栽培

配置於介於超限利用區位與濱水區位之間。利用 InVEST 之營養鹽留存模式，計算網格營養鹽入流量，選取高入流量之區域進行緩衝帶配置，以期可攔截大量營養鹽。篩選集水區網格營養鹽入流量數值前 3% 之網格，篩選出之區位在模式中以草地表示。

## (3)植生緩衝帶配置效益分析

利用 InVEST 之情境模擬後，觀察不同管理措施前、後之營養鹽輸出量、留存量變化，探討其效益。以輸出量及留存量作為效益評估之依據，若營養鹽留存量增加、輸出量減少，則配置效益留存量數值為正，輸出量數值為負皆屬正面效益；反之，則屬負面效益。其公式如下：

$$R_c(\%) = \frac{w_2 - w_1}{w_1}$$
$$UR_c(\%) = \frac{R_c(\%)}{A_b(\text{ha})}$$

式中：

$w_1$ :模擬未處理前之集水區總氮、總磷之留存量、輸出量。 $w_2$ :模擬處理後之集水區總氮、總磷之留存量、輸出量。

$R_c$ :配置效益，緩衝帶配置前後總氮、總磷之留存量、輸出量變化情形。

$UR_c$ :單位面積配置效益

$A_b$ :緩衝帶配置面積

## 結果與討論

### 1. 超限利用區位農地恢復造林

超限利用區位萃取結果如圖 5，除樣區之西北方屬於河川與林地，超限利用區位大致平均分散。

模擬結果可見(表 5)恢復造林效益皆為負值，因農地恢復造林使得農地面積減少，致營養鹽輸出量及留存量皆降低。另一方面，超限利用區位主要分布於上邊坡之陡峭區位離河川水系較遠，將其恢復造林之效益不明顯，配置區位佔樣區 20%，依表 5 所示其單位面積配置效益極低。

表 5 超限利用恢復造林效益  
Table. 5 Placement efficiency of over landuse

營養鹽	留存量/ (輸出量) (kg/yr)	效益 (%)	單位面積 積效益 (%)
磷	163.1	-29.82	-1.77
	(12.54)	-45.74	-2.72
氮	906.35	-26.63	-1.58
	(65.49)	-44.88	-2.67

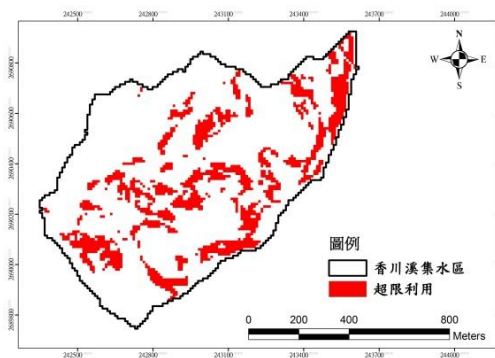


圖 5 超限利用區位分佈

Fig. 5 Spatial distribution of over landuse

### 2. 濱水區位植生緩衝帶配置

配置區位與模擬結果如圖 6 及表 6 所示，濱水區配置緩衝帶使得營養鹽留存量增加，係因緩衝帶配置之營養鹽阻截效益相當好，且試區內主要營養鹽都往河川匯集，其單位面積配置效益也十分顯著。

表 6 濱水區位緩衝帶配置效益

Table. 6 Placement efficiency of riparian VBSs

營養鹽	留存量/ (輸出量) (kg/yr)	效益 (%)	單位面積 積效益 (%)
磷	247.47	6.49	9.83
	(5.37)	-76.76	-116.31
氮	1313.25	6.31	9.56
	(30.53)	-74.30	-112.58

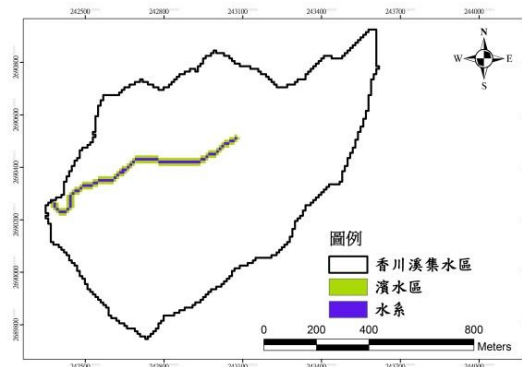


圖 6 濱水區位

Fig. 6 Spatial distribution of riparian VBSs

### 3. 傳輸污染路徑草生栽培

傳輸路徑草生栽培區位如圖 7 所示，其配置效益結果可發現(表 7)，營養鹽留存量些微降低，但輸出量有近 50%之效益，在廣泛種植果樹的狀況下，此法可以將營養鹽留住供果樹緩慢吸收，本樣區採取此配置相當合適。

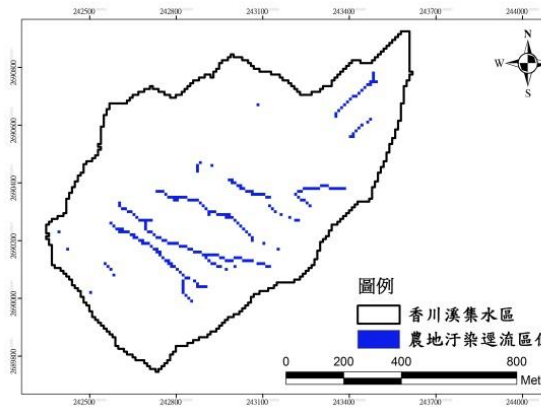


圖 7 傳輸污染路徑區位

Fig. 7 Spatial distribution of flow path  
表 7 傳輸污染路徑草生栽培區位效益

Table. 7 Placement efficiency of flow path

營養鹽	留存量/ (輸出量) (kg/yr)	效益 (%)	單位面積 積效益 (%)
磷	228.98 (12.04)	-1.49 -47.90	-0.62 -20.38
氮	1216.33 (62.2)	-1.53 -47.65	-0.65 -20.28

#### 4. 情境配置綜合分析

整合超限利用區位農地恢復造林、濱水區植生緩衝帶配置及傳輸污染路徑區位草生栽培等處理加以模擬，結果如表 8 所示，在整合之情境模擬下，營養鹽的輸出量可降低近 90%，效果極為顯著。

不同的處理措施之面積與比率整理如表 9，可見超限利用區位使用近 20%之樣區土地，整治難度頗高，濱水區植生緩衝帶配置及傳輸路徑污染草生栽培，則僅用少量土地即可有相當的效益。

表 8 集水區綜合情境配置效益

Table. 8 Placement efficiency of three treatments

營養鹽	留存量/ (輸出量) (kg/yr)	配置 效益 (%)	單位面積 配置效益 (%)
磷	156.90 (1.69)	-32.48 -92.69	-1.68 -4.79
氮	879.63 (11.81)	-28.79 -90.06	-1.49 -4.66

表 9 不同處理之面積比較

Table. 9 Area comparison of different treatment

處理	面積(ha)	比率(%)
超限利用	16.81	20.37
濱水區	0.66	0.8
傳輸路徑	2.35	2.85
綜合	19.33	23.43

#### 5. 農塘配置區位

土地利用變遷影響試區之水源涵養量，由土地開發後 CN 值變化計算得知，開發後試區之水源涵養量約減少 13,600 m<sup>3</sup>(表 10)。配合 InVEST 模式之主要污染路徑草生栽培及濱水區位，可規劃農塘之最佳配置區位如圖 8 所示，其功能為攔阻流出主要污染傳輸路徑之營養鹽可經栽植適生之水生植物吸附過濾後再排出，可有效減少營養鹽之輸出量。

表 10 開發前後蓄水量之差異

Table. 11 The difference of water cultivation for landuse change

土地利用	蓄水量(M <sup>3</sup> )
開發前	126810.73
開發後	113161.83
差異	13648.90



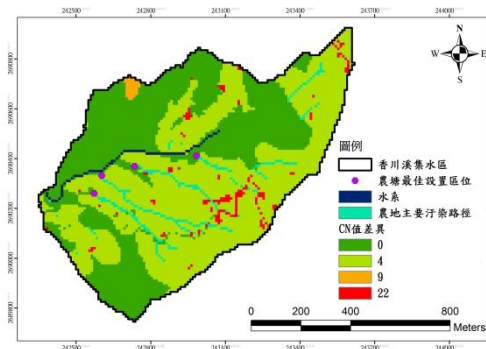


圖 8 農塘最佳配置區位  
Fig. 8 Optimal placement of farm ponds

## 結論

台灣坡地農業發展迅速，高經濟作物之栽植可能因肥料不當施用及超限利用嚴重等經營管理易造成毗鄰水域優養化，要均衡農業發展又不造成環境汙染，可善用農業非點源污染防治之相關模式。利用 InVEST 模式，可針對不同的管理措施比較其單位面積之效益，能提供一簡易量化有效方法，供未來坡地農業管理規劃之參考。

## 參考文獻

1. 王嘉君(2010)，「濱水質生緩衝帶設計隊營養鹽削減效益之研究」，國立台北科技大學土木與防災研究所碩士論文。
2. 沈哲緯、曹鼎志(2009)，「邊坡防護工程中植物根系固土機制與穩定分析初探」，水土保持技術，第 4 卷，第 1 期，第 47-55 頁
3. 林昭遠、賴威任、莊智璋(2010)，「水庫集水區植生緩衝帶配置區位及效益評估之研究」，水土保持學報，第 42 卷，第 1 期，第 15-34 頁。
4. 林昭遠、鍾圻璇、周文杰(2006)，「鯉魚潭水庫集水區最佳管理作業成效評估之研究」，水土保持學報，第 38 卷，第 2 期，第 195-206 頁。
5. 財團法人成大研究發展文教基金會(2006)「95 年度曾文、牡丹、高屏溪及甲仙攔河堰水質檢驗分析計畫總報告」，經濟部水利署南區水資源局。
6. 陳利頂、傅伯杰、趙文武(2006)，「“源”“匯”景觀理論及其生態學意義」，生態學報，第 26 卷，第 5 期，第 1444-1449 頁。
7. 陳貞樺、劉昌文、林家榮、林昭遠(2007)，「集水區農業非點源污染評估系統之建立-以霧社水庫為例」，水土保持學報，第 38 卷，第 3 期，第 303-318 頁。
8. 楊德良(2002)，「蒸發皿係數」，國家教育研究院。
9. 劉淑娟(2010)，「情人湖水質優養化評估」，國立台灣海洋大學海洋環境資訊系碩士論文。
10. 鄭泰山(1989)，「水土保持草類根系研究」，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
11. 蕭戎雯(2013)，「不同單元尺度對土地利用及生態系統服務模擬之影響-以大屯河流域為例」，國立臺灣大學生農學

- 院生物環境系統工程學研究所碩士論文。
- 
- 104 年 06 月 17 日收稿
12. 賴文龍(2002),「甜柿肥培管理之研究」, 國立中興大學土壤環境科學系碩士論文。 104 年 06 月 24 日修改
- 104 年 06 月 29 日接受
13. BARLING, Rowan D. and IAN D. MOORE (1994), “Role of Buffer Strips in Management of Waterway Pollution: A Review” , Environmental Management, 18: 543 – 558.
14. Fu, B., Y. K Wang, P Xu. and K Yan. (2012), “Modelling nutrient retention function of ecosystem – a casestudy in Baoxing County, China” Procedia Environmental Sciences, 13: 111-121.
15. Pionke, Harry B., William J. Gburek and Andrew N. Sharpley (2000), “Critical source area controls on water quality in an agricultural watershed located in the Chesapeake Basin,” Ecological Engineering, 14: 325-335
16. Saxton, K. E. and W. J. Rawls (2006) “Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions” , SOIL SCI. SOC. AM. J., VOL. 70, SEPTEMBER – OCTOBER 2006
17. Sharp, Richard, Rebecca Chaplin-Kramer, Spencer Wood, Anne Guerry, Heather Tallis, Taylor Ricketts(2015), “InVEST 3.1.1 User’ s Guide.” , The Natural Capital Project, Stanford.