

坡地固氮植物篱在农业面源污染 控制方面的作用与营建技术

张建锋¹, 单奇华¹, 钱洪涛², 徐永辉², 曹孟军²

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 宜兴市林业指导站, 江苏 宜兴 214206)

摘要: 随着我国人口不断增长和社会经济的持续发展, 耕地面积逐步减少, 水土流失十分严重。土壤中的养分进入河流、湖泊, 引发水体富营养化。为了从源头上控制农业面源污染, 必须根据土壤生物热力学原理, 以土壤为中心, 大力治理坡地。在查阅文献的同时, 结合现有的研究成果, 发现在坡地营建等高固氮植物篱是一项有效措施, 既可以利用生物固氮, 减少化肥施用量, 维持土壤一定的生产力, 又能够防止水土流失, 拦截、减缓地表径流, 吸收土壤中的养分; 氮、磷在岸边植被带的截留率分别为 89% 和 80%, 还可以带来一些经济收益。在此基础上, 提出了坡地固氮植物篱的若干关键营建技术及应注意加强抚育管理, 防治病虫害。

关键词: 农业面源污染; 植物篱; 坡地

文献标识码: B

文章编号: 1000—288X(2008)05—0180—06

中图分类号: S157.1, X592

Effects and Planting Techniques of Hedgerow Intercropping on Sloping Lands in Agricultural Non-point Source Pollution Control

ZHANG Jian-feng¹, SHAN Qi-hua¹, QIAN Hong-tao², XU Yong-hui², CAO Meng-jun²

(1. Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang, Zhejiang 311400, China;

2. Yixing Forestry Technological Extension Station, Yixing, Jiangsu 214206, China)

Abstract: Non-point source pollution is becoming more and more serious in China with population growth and socioeconomic development. Thus, sloping lands are paid a great attention in order to gain much more products. While forest coverage decreases there, when heavy raining happens, soil erosion gets worsening. In this case, much more nutrients enter rivers and lakes which result in eutrophication. For controlling non-point source pollution from the sources, sloping land management in the headwater regions is necessary. It has been approved that contour hedgerow system is the most favorable art for soil and water conservation, which is considered as a vital measure to control agricultural non-point source pollution in practice. By implementing hedgerow intercropping, it can fix nitrogen through plants so as to reduce chemical fertilizers input, prevent soil erosion, uptake soil nutrients, and hold up pollutants. Through hedgerows, N and P are reduced by 89% and 80% respectively, which provides habitats for wildlife. Moreover, the planting techniques of hedgerows in sloping lands are also discussed such as design of the system, methods of site preparation, and type of planting, as well as tending and maintaining measures.

Key words: non-point source pollution; hedgerow intercropping; sloping land

我国的国土面积有 9.60×10^6 km², 但耕地资源很少, 全国的耕地仅约 1.00×10^8 hm²。随着人口增加和城市化进程加快, 耕地面积特别是高质量的耕地逐年减少^[1]。1978—1997 年间, 每年净减少的耕地面积高达 2.50×10^5 hm², 而同期我国人口每年净增

1 450 万人。这种持续的耕地减少和人口增长的双重压力, 进一步加剧了本来就十分突出的人地矛盾。为了满足不断增长的粮食需求, 导致毁林开荒和陡坡耕作愈演愈烈, 形成大面积的坡耕地。目前, 坡耕地有约 4.00×10^7 hm², 很容易引发水土流失^[2]。

收稿日期: 2008-01-02

修回日期: 2008-07-09

资助项目: 中央级公益科研院所基本科研业务专项 (RISF060710); 国家科技支撑计划“江河滩地生态修复与综合治理技术试验示范”(2006BAD03A15); 江苏省“科技惠农工程”“水源区生态修复关键技术研究”

作者简介: 张建锋 (1966—), 男 (汉族), 山东省东阿县人, 研究员, 博士, 主要从事森林生态学和退化土地生态修复研究。E-mail: zhangk126@126.com。

全国现有水土流失面积 $3.67 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占国土面积的 38.2%, 其中水力侵蚀面积占 49%。每年我国流失的土壤达 $5.0 \times 10^9 \text{ t}$, 每流失 1 t 土壤中, 含氮 2.55 kg, 磷 1.53 kg, 钾 5.42 kg^[3]。造成水土流失的主要原因有两个: 其一, 坡耕地面积及陡坡耕作大量增加, 又缺乏有效的水土保持措施; 其二, 地表自然植被的不断破坏和减少加剧了水土流失。水土流失使生态环境恶化, 土地生产力下降, 耕地减少, 江河、湖库淤塞, 加剧旱涝和山地灾害, 直接威胁城市和乡村的安全。水土流失的另一个直接后果是污染水质, 造成水体富营养化。

我国湖泊的总面积约为 $83\,400 \text{ km}^2$, 约占国土总面积的 0.8%。大型淡水湖泊和城市湖泊均为中度污染, 75% 以上的湖泊富营养化加剧^[4]。研究表明, 对于湖泊、水库等封闭水域, 当水体无机氮总量大于 0.2 mg/L, 磷酸盐磷浓度大于 0.01 mg/L 时, 就可能引起藻华现象的发生。据调查, 在太湖流域, 农田的农药、化肥等流失对城镇地区地表水氮氮的贡献率超过 50%, 总磷超过 30%^[5]; 以致引发影响极大的 2007 年夏季无锡太湖水污染事件。滇池污染中, 农业面源污染对于总氮、总磷含量的贡献率已分别高达 43.3% 和 37.1%; 巢湖全流域每年因大量使用化肥, 致使至少 6 000 t 氮和 2 800 t 磷入湖, 目前巢湖水的氮磷比已经接近蓝藻暴发的临界点^[6]。我国目前有近 1/2 的湖泊都处于严重的富营养化状态, 而农业面源污染是主要的原因之一^[4-5, 7]。

因此, 采取营建固氮植物篱等有效措施对坡地进行治理, 防治水土流失, 减轻农业面源污染, 对于合理利用土地, 涵养水源, 保护人民身体健康, 推动社会主义新农村建设, 构建社会主义和谐社会具有极其重要的意义^[8-9]。

1 农业面源污染源头控制原理

农业面源污染的形成有多种原因, 从本质上讲, 农业面源污染物来自于土壤中的农业化学物质, 因此, 它的产生、迁移与转化过程实质上是污染物从土壤圈向其它圈层特别是水圈扩散的过程^[10]。与工业污染、生活污染相比, 农业面源污染分布面积广, 污染在空间上、时间上的不确定性较大, 因此, 治理和控制的难度更大, 任务更艰巨^[4-5, 11]。

从农业面源污染的发生及其产生的后果来看, 有 3 种途径可以进行控制, 分别是源头控制、过程控制和末端控制(改善水质)^[12-14]。无疑, 在这些途径中, 进行源头控制是最重要的。源头控制目的是控制与削减源头的污染源, 减少面源污染物如化肥、农药等

的施用量, 改善土壤性状, 防止或减少水土流失, 从而达到控制水体的面源污染负荷量。

从这里不难看出, 源头控制的研究对象是土壤, 方法是培肥土壤, 改善土壤理化性状; 增加森林覆盖, 减少水土流失^[15-16]。根据土壤生物热力学原理, 土壤肥力不是土壤含有养分的多少, 而是调节供应养分的能力, 土壤本身有肥气, 通过代谢可以产生出作物需要养分的 40% 左右, 有时可以供应到 60%^[17], 不足的部分才需要施肥。培肥土壤, 提高农业产量, 首先要平衡施肥, 其内涵就是实行 3 个“平衡”, 即有机肥与无机肥平衡施用; 氮、磷、钾素平衡施用; 大量元素与中微量元素平衡施用。针对现在通常的肥料施用状况, 一是要增加有机肥的投入, 培肥土壤肥力; 二是要控制和减少氮肥量, 协调氮、磷、钾使用比例(最佳为 1 : 0.3 : 0.5)^[18], 增加施用硅肥、硼肥和锌肥等; 加强生物固氮, 如豆科作物和非豆科作物间作及施用含固氮菌的菌肥, 可以减少化学氮肥的施用量^[19]。

一般的评价土壤肥力的指标有 N, P, K 养分含量, 土壤有机质含量和土壤结构状况等静态指标。这些指标可以从土体性质的不同侧面说明土壤肥力的高低。但是, 土壤肥力是一个动态的变化过程, 静态指标不能全面、综合地评价土壤肥力状况。有鉴于此, 人们又提出了土壤系统熵的概念^[17, 20]。

$$\text{土壤系统熵可表示为: } S = \frac{dH}{G}$$

式中: G ——单位面积上因能源物质分解形成的有效物质或人工输入的物质; dH ——相应的物质势能损失。

在土壤中, 有机质和土壤腐殖质是能源物质, 在没有人工施肥的土壤中, 农作物的经济输出是以消耗土壤腐殖质能量为代价的。由于腐殖质的 C/N 接近于一个常量, 一定氮素的矿化相应的分解一定量的腐殖质。土壤系统熵可以通过下式来定量计算。

$$S = \frac{\text{单位面积腐殖质量} \times D_N \times N - \text{单位面积产量} \times K_1}{\text{单位面积全氮重量} \times D_N}$$

式中: D_N ——腐殖质和有机氮的矿化率; N , K_1 ——分别为腐殖质和农作物种子的折能系数。按此, 熵的意义就是不施肥的土壤每消耗单位重量土壤有机氮所带来的能源物质势能的损失, 它是物质能量转换效率的表现。

根据土壤生物热力学原理, 培肥土壤, 提高农产品产量的措施主要有: (1) 营造农田防护林, 改善农田环境; (2) 种植绿肥, 进行复合经营, 促进生物固氮; (3) 施有机肥和固氮菌肥; (4) 自然免耕等。

为此, 应当结合当地社会经济发展状况与气候、土壤等自然条件, 因地制宜, 调整农业生产结构, 大力

发展坡地农林复合经营,以林促农,减少对土壤的扰动和化肥、农药、除草剂等施用量;在沟坡和水岸构建植被缓冲带,减少水土流失,涵养水源,控制农业面源污染^[21-22]。

2 坡地固氮植物篱的作用与效益

在农业面源污染中,土地具有两面性,一方面,它直接遭受危害,导致理化性状、肥力水平等变差;另一方面,土地受到污染后,含较高浓度污染物的表土容易在风力和水力的作用下分别进入到大气和水体中,导致大气污染、地表水污染、地下水污染和生态系统退化等其它次生生态问题。

河流、湖泊、水库等的上游地区基本是以农业生产为主。为了追求更高的经济效益,在不断改进良种的情况下,耕作也更加精细,经营更加集约。化肥、农药、除草剂等施用量逐年加大,土壤处于过营养状况^[4, 23]。而这些地区又以坡地为主,下雨时,容易发生水土流失,使土壤中的养分进入水系,导致水体富营养化。在这种情况下,进行坡地等高固氮植物篱建设是非常必要的。

等高固氮植物篱是一种农林复合经营方式,或称为植物篱间作(hedgerow intercropping),是将木本固氮植物在坡耕地上沿等高线带状密植,通过生物固氮,减少化肥施用量,保持土壤一定的生产力;进行适时修剪,将其控制在适当高度,避免与农作物发生光热竞争,同时刈割枝叶作为绿肥或覆盖物施入相邻的作物种植带^[24-26]。

由此可见坡地固氮植物篱有如下特点。(1)应用固氮植物配肥土壤。与化学固氮相比,生物固定的氮能全部为植物利用。据估算,2 t 化肥纯氮的效果才相当于 1 t 生物固定的氮,即 1 t 生物固定的氮至少相当于 4.4 t 尿素。全球年生物固氮量为 $1.40 \times 10^7 \sim 1.70 \times 10^7$ t^[27],即相当于 $6.16 \times 10^7 \sim 7.48 \times 10^7$ t 尿素,而且更重要的是,生物固定的氮及其过程不会污染环境。(2)控制水土流失。通过植物篱的拦截和对土壤物理性质的改善,能有效减少养分流失,提高土壤生物活性。(3)产生一定的经济效益。植物篱常由多年生常绿固氮植物组成,许多固氮植物嫩枝叶含有丰富的粗蛋白,如新银合欢(*Leucaena leuccephala*)枝叶干物质粗蛋白含量达 18%~24%,是优良的牲畜饲料,可以通过发展养殖业提高农民经济收入,促进山区产业结构的转变。(4)植物篱还可提供薪柴。例如在坡耕地上间距 4 m 的新银合欢等高植物篱,每年提供枝叶可以达到 14~30.5 t/hm²,可以缓解当地居民的生活能源问题,从而有利于保护植被^[28-29]。

在控制农业面源污染方面,在河流、湖泊、水库等的上游或岸带,通过建设以坡地植物篱为主的生态沟渠、生态拦截系统,一是可以通过减缓地表径流,阻截大部分农田损失的养分;二是可以利用不同植被对土壤养分吸收能力的互补性,吸收、利用土壤中过量的氮、磷等物质,加强氮、磷等在陆地生态系统内的循环,从而在根本上减少对水体的污染^[30-31]。

早在 20 世纪 50 年代,美国农业部水土保持局就提出了应用植物篱。1991 年美国开展了用植物篱控制水土流失的研究。结果表明,植物篱可减少 60% 的地表径流和 75% 的泥沙^[32]。1994 年以来,植物篱已作为一种有效的水保措施在美国得到广泛应用。

国外研究发现,氮在岸边植被带的截留率为 89%,而农田作物的截留率仅为 8%;磷的截留率分别为 80% 和 41%^[18, 32]。可见乔木植被带截留和调节控制氮、磷的能力比农作物强得多。孙辉等^[26, 33-34]在四川的研究表明,不同等高固 N 植物篱模式中,植物篱下面及两侧 20 cm 以下土层有效磷含量均低于种植带中部 20 cm 以下土层,表明植物篱根系吸收土壤中有效磷效果明显。

在坡耕地上种植植物篱后,缩短了地表径流在坡上运动的长度,能降低径流的流速,而且坡耕地的地表径流通过植物篱的层层拦截,一方面延长了地表径流的下渗时间,另一方面也大大降低了地表径流的速度,加上土壤水分入渗率的逐年改善,因而能使坡耕地的水土流失得到十分有效的控制。廖晓勇等^[35-36]通过定位研究,发现地表径流降低的幅度在种植植物篱 3 a 后可达 50%~70%,降低土壤侵蚀的幅度达 97%~99%,使土壤流失得到完全控制。

经过几年的常规耕作,植物篱之间的耕作带可形成梯地,而且这种梯地与工程修建的梯地相比,具有明显的优越性,既能起到坡改梯的作用,在减少化肥用量的情况下又能保持土壤肥力,而且还能够生产饲料、果品等,带来一定的经济效益,基本上达到了坡耕地治理的目标。

因此,在控制农业面源污染中,应以改良土壤性状,防治水土流失为中心。其中,发展坡地农林复合经营,构建植物篱是十分有效的措施^[13, 37]。

3 坡地固氮植物篱营建技术

植物篱为无间断式或接近连续的狭窄带状植物群,由木本植物或一些茎干坚挺、直立的草本植物组成。它具有一定的密集度,在地面或接近地面处是密闭的。一般是在土壤或坡地上种植多年生且有一定经济效益的木本或草本植物,从而控制水土流失和增

加经济效益。主要有两种形式:一是经济植物篱+农作物,二是经济植物篱+经济作物^[38]。

3.1 设计原则

在实践中设计上强调对面源污染的控制,合理地设置等高固氮植物篱的位置是其有效拦截雨水径流,发挥作用的先决条件。根据实际地形确定,一般设置在坡地的下坡位置,与径流流向垂直布置。在坡地长度允许的情况下,一般沿等高线设置多条等高固氮植物篱,以削减水流的能量^[39]。如果选址不合理,大部分径流会绕过等高固氮植物篱,直接进入受纳水体,其拦截面源污染物的作用就会大幅降低。水体周边等高固氮植物篱一般沿河道、湖泊水库周边设置,利用植物或植物与土木工程相结合,对河道坡面进行防护,为水体与陆地交错区域的生态系统形成一个过渡缓冲,强调对水质的保护功能,达到控制水土流失,有效过滤、吸收泥沙及化学污染,降低水温,保证水生生物生存,稳定岸坡的作用。

坡面防水蚀植物篱要根据坡面坡度、坡形、土壤物理学性质等具体情况,在坡耕地上每隔3~7 m,沿等高线高密度种植单行、双行或多行生长快,耐平茬,萌芽力强,根系发达,固土能力强的木本植物或草本植物。草本或小灌木株距5~10 cm,行距20~60 cm,其它树种株行距根据实际情况来确定^[40]。生态效益好,经济效益佳的木本或草本植物(包括农作物、经济树种或目标用材树种)种植在两层植物篱之间。在此种植物篱的建设中,尤其要注重有固氮能力,可以培肥土壤的树种或草种的应用。

3.2 整地

3.2.1 整地方法

(1) 带状整地。这种整地方法适合在山地、丘陵或者北方草原区的植物篱建设时应用。山地丘陵带状整地要沿等高线进行。带状整地宽度多在30 cm以上,根据实际地形等条件可以适当进行调节。带长根据地形确定,不能过长,每隔一定距离保留1.0 m左右的自然植被^[16,22]。

(2) 穴状整地。穴状整地是山地、丘陵、平原地区广泛采用的整地方法。山地陡坡、水蚀和风蚀严重地带更应该用采用此种方法。整地规格,穴的口径10~60 cm,植物篱为灌木及草本植物时,穴口径要适当小些。在山区或丘陵地,一般不提倡全面整地或高规格整地措施的应用。

3.2.2 整地深度 针叶树种造林整地密度应达到30 cm,北方干旱、半干旱地区应达到40 cm。阔叶树种造林整地深度应大于40 cm^[8,37]。经济林和灌木、草本植物整地深度,根据造林树种和苗木大小确定。

3.2.3 整地时间 一般应在造林一个月前整好地。有冻拔害地区,可不预先整地,造林时挖穴栽植。干旱、半干旱地区造林整地应在雨季前或雨季进行。

3.3 建植技术

3.3.1 植苗方法

(1) 挖穴栽植。穴的大小和深度应略大于苗木根系。苗木要竖直,根系要舒展,深浅要适当,填土一半踩实,再填土踩实,最后覆上虚土。应用带状整地或开缝栽植方式植苗。松柏类小苗造林,在整好的造林地上用锄或锹开缝,放入苗木,深浅适当,不窝根,拔出工具,踏实土壤。

(2) 栽植深度。根据立地条件、土壤墒情和树各确定栽植深度。一般应略超过苗木根颈部。干旱地区、沙质土壤和能产生不定根的树种可适当深栽。

(3) 苗木处理。造林前根据树种、苗木特点和土壤墒情,对苗木进行剪梢、截干、修根、剪叶、摘芽、苗根浸水、蘸泥浆等处理;也可采用促根剂、生根粉、蒸腾抑制剂和菌根制剂等新技术处理苗木。苗木都要分级造林。容器育苗须拆除根系不易穿透的容器。

(4) 分殖栽培。

插条造林。穗条应采用1~2 a生优良萌条,插穗长度30~50 cm,直径1.5~2.0 cm。干旱地区应深埋少露。竹类主要采用分蘖造林方法。

插干栽培。插干材料应采用截根苗木、萌生枝其长度应为3~3.5 cm,干径3 cm以上。栽植深度在50 cm以上。干旱地区,地下位2 m左右的宜林地,杨柳类树种可以钻孔插干深栽^[25,41]。

3.3.2 播种方法 种子来源较充足,易于发芽生根并有一定抗旱性能的树种,可采用播种造林。人工播种造林,一般要先整地,墒情较好时采用穴播或条播,在操作困难的地段,可在雨季采用撒播。播种量根据种子质量、立地条件和造林密度确定。穴播、条播覆土厚度,一般为种子直径的3~5倍,土壤黏重的可适当薄些,沙性土壤可适当厚些^[12,19],也可以覆盖火烧土或狼粪。

3.3.3 造林季节

(1) 春季造林。应根据树种的物候期和土壤解冻情况适当安排造林,一般在树木发芽前完成。南方造林,土壤墒情好时应尽早进行。北方造林,土壤解冻到适宜深度即可进行。

(2) 雨季造林。小粒种子播种造林和容器苗造林。要注意雨情动态,适时造林。

(3) 秋季造林。冬季无冻拔危害的地区,可在秋末和冬初造林,秋季适宜阔叶树植苗造林和大粒、硬壳、休眠期长、不耐贮藏种子的播种造林。

容器苗和带土坨苗木可不受季节限制,适时造林。造林季节天气干旱,土壤含水率过低,又无灌溉条件的,可延期造林。

3.4 抚育管护技术

(1) 松土除草。植物篱建成后应根据实际需要及时进行松土除草,与扶苗,除蔓等结合进行,做到除早,除小,除了。对穴外影响幼苗生长的高密杂草,要及时割除。连续进行 3~5 a,每年 1~3 次。有冻害的地区,第一年以除草为主,可减少松土次数。松土除草应做到里浅外深,不伤害苗木根系,深度一般为 5~10 cm,干旱地区应深些,丘陵山区可结合抚育进行扩穴,增加营养面积^[21]。

(2) 补植、补播。植苗成活率不合格的地段,应及时进行补植或重新栽植。补植应用同龄大苗。

(3) 幼苗田间管理。播种后至以幼树生长稳定前,应进行 1~2 次间苗定株,使单位面积株数达植物篱密度的要求。

(4) 平茬复壮。对具有萌芽能力的树种,因干旱、冻害、机械损伤以及病虫害危害造成生长不良的,应及时平茬复壮。

(5) 病虫害防治。病虫害防治应贯彻预防为主,综合防治的原则,及时、准确地做好病虫害的预测预报,采取生物、化学、物理等防治措施。剪除病虫枝、叶、果,挖掉危害严重的病虫植株,并给以烧毁,严格控制病虫蔓延。加强苗木检疫,禁止到疫区调动苗木。防治病虫害要选用高效低残毒农药品种,以及适宜的剂量和施药方法。经济作物果实上农药的残留不得超过国家规定的标准。提倡使用生物农药。提倡生物防治措施,保护和利用害虫天敌,改善害虫敌的繁衍和生存环境。

对新建植的植物篱要进行适当保护,防止人为破坏,可以有计划地割草;易受冻、旱害的针叶树种,当年冬季应采取覆土,盖草等防寒(旱)措施^[31, 42]。

4 结论

针对我国主要水域水体营养负荷过大,水质下降的状况,农业面源污染源控制方法,就是根据土壤生物热力学原理,以土壤作为主体研究对象,围绕发展生态农业,进行农林复合经营,依靠生物措施培肥土壤,减少农业化学品的投入,改善农业生产环境,从根本上控制农业面源污染。

鉴于农业面源污染主要是由地表径流而引起,因而治理水土流失是解决水体污染的根本之策^[43]。水土保持措施可从 2 个方面来探讨:一方面是使表土稳定化或以植被覆盖来减少雨点对表土的冲击;另一方

面是降低坡度,以渠道化手段分散径流或降低流速,以减弱径流的侵蚀力,并减少雨水在地面溢流的数量。围绕这 2 个方面,许多水土保持技术都在水体污染防治中发挥着重要作用。如我国发展起来的在坡耕地上种植植物篱,由于缩短了地表径流在坡上运动的长度,能降低径流的流速,而且坡耕地的地表径流通过植物篱的层层拦截,一方面延长了地表径流的下渗时间,另一方面也大大降低了地表径流的速度,加上土壤水分入渗率的逐年改善,能使坡耕地的水土流失得到十分有效的控制。

通过在水源区建设以固氮植物篱为主的生态沟、生态拦截系统,注重培育河流、湖泊、水库等的上游或岸带地区森林资源,提高土地资源利用率,增加群众收入;充分发挥森林多种功能,改善环境,减少水土流失,涵养水源;拦截大部分农田损失的养分,减轻土壤污染;吸收、利用农村生活污水中的氮、磷、有机物等物质,可以起到净化农业径流中的氮磷及有机物,加强氮磷等物质在陆地生态系统内的循环,吸收土壤中营养物质的作用,从而缓解土壤过营养化的状况,控制水土流失,减少对水体的污染。

[参 考 文 献]

- [1] 朱兆良,孙波,杨林章,等. 我国农业面源污染的控制政策和措施 [J]. 科技导报, 2005 (2): 3—6.
- [2] 柴世伟,裴晓梅,张亚雷,等. 农业面源污染及其控制技术研究 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 192—195.
- [3] 全为民,严力蛟. 农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施 [J]. 生态学报, 2002, 22(3): 291—299.
- [4] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 [J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008—1017.
- [5] 国家统计局中国环境统计专题组. 中国环境统计(2000) [M]. 北京:中国环境科学出版社, 2003: 35—60.
- [6] 鲍全盛. 我国水环境非点源污染研究进展 [J]. 环境科学进展, 1995, 3(3): 31—36.
- [7] 赵永秀,刘世海,张暄. 农业面源污染及防治对策 [J]. 内蒙古环境科学, 2007, 19(1): 9—12.
- [8] Zhang Jianfeng, Fang Minyu, Li Sheng, et al. Developing agroforestry in slopelands to combat non-point pollution in China [J]. Chinese Forestry Science and Technology, 2007, 6(4): 67—72.
- [9] 李文华. 长江洪水与生态建设 [J]. 自然资源学报, 1999, 14(1): 1—8.
- [10] 席承藩,徐琪,马毅杰,等. 长江流域土壤与生态环境建设 [M]. 北京:科学出版社, 1994: 87—107.
- [11] 李秀彬. 中国近 20 年来耕地面积的变化及其政策启示 [J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 329—333.
- [12] US Environmental Protection Agency. Non-Point Sour

- rice Pollution from Agriculture[OL]. [2003-09-26]. <http://www.Epa.gov/region8/water/nps/npsurb.html>.
- [13] Young R A. A non-point source pollution model for evaluating agricultural watershed [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1989, 44(2):168—173.
- [14] Schultz R C. Agroforestry opportunities for the United States of America [J]. *Agroforestry Systems*, 1995, 31: 117—132.
- [15] Magette W L. Monitoring[C]// Ritter WF, Shirmohammadi A. Agricultural non-point source pollution. London: LEWIS Publishers, 2000: 205—228.
- [16] Zhang Jianfeng, Qin Guanghua. Poplar-based agroforestry in China and its economic analysis [M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 2007: 3—12.
- [17] The Fertilizer Institute. Fertilizer Facts and Figures[M]. US: Washington, D. C. Press, 1990.
- [18] Daniel T C, Sharpley A N, Lemunyou J L. Agricultural phosphorus and eutrophication: A symposium overview [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1998, 27(1):251—257.
- [19] Lena B V. Nutrient preserving in riverine transitional Strip [J]. *Journal of Human Environment*, 1994, 3(6): 342—347.
- [20] Mander U, Ain K, Valdo K, et al. Nutrient runoff dynamics in a rural catchment: influence of landuse changes, climatic fluctuations and ecotechnological measures [J]. *Ecological Engineering*, 2000, 14:405—417.
- [21] 钟冰,唐治诚. 三峡库区水土流失及其防治[J]. *水土保持研究*, 2001, 8(2):147—149.
- [22] 邢尚军, 张建锋. 黄河三角洲土地退化机制与植被恢复技术[M]. 北京:中国林业出版社, 2006:5—15.
- [23] 文军, 骆东奇, 罗献宝, 等. 千岛湖区域农业面源污染及其控制对策 [J]. *水土保持学报*, 2004, 18(3): 126—129.
- [24] Zhang Jianfeng, Sunqixiang. Review on agroforestry systems in China [J]. *Chinese Forestry Science and Technology*, 2005, 4(3): 80—84.
- [25] 刘学军, 李秀彬. 高线植物篱提高坡地持续生产力研究进展 [J]. *地理科学进展*, 1997, 16(3):69—78.
- [26] 孙辉, 唐亚, 谢嘉穗. 植物篱种植模式及其在我国的研究和应用[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(2):114—117.
- [27] 唐亚, 陈克明, 谢嘉穗. 等. 论固氮植物在山区农业持续发展中的应用[J]. *地理研究*, 1999, (13):73—78.
- [28] 孙辉, 唐亚, 王春明, 等. 等高固氮植物篱技术:山区坡耕地保护性开发利用的有效途径[J]. *山地学报*, 2001, 19(2):125—129.
- [29] 孙辉, 唐亚, 陈克明, 等. 固氮植物篱防治坡耕地土壤侵蚀效果研究[J]. *水土保持通报*, 1999, 19(6):1—5.
- [30] 尹澄清. 水陆交错带的功能保护与利用[J]. *生态学报*, 1995, 15(3):331—336.
- [31] 许晓鸿, 王跃邦, 刘明义, 等. 江河堤防植物护坡技术研究成果推广应用 [J]. *中国水土保持*, 2002(1):17—18.
- [32] 钟勇. 美国水土保持中的缓冲带技术 [J]. *中国水利*, 2004(10):63—65.
- [33] 孙辉, 唐亚, 何永华, 等. 等高固氮植物篱模式对坡耕地土壤养分的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2002, 10(2):79—82.
- [34] 孙辉, 唐亚, 陈克明, 等. 固氮植物篱改善退化坡耕地土壤养分状况的研究[J]. *应用与环境生物学报*, 1999, 5(5):473—477.
- [35] 廖晓勇, 罗承德, 陈治谏. 三峡库区植物篱技术对坡耕地土壤肥力的影响[J]. *水土保持通报*, 2006, 26(6):1—3.
- [36] 陈治谏, 廖晓勇, 刘邵权, 等. 坡地植物篱农业技术效益评价[J]. *水土保持学报*, 2003, 17(4):125—127.
- [37] Peterjohn W T, Carrell D L. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: Observation on the role of a riparian forest [J]. *Journal of Ecology*, 1984, 65:1460—1475.
- [38] 申元村. 三峡库区植物篱坡地农业技术提高土地生产潜力的研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2002, 11(1):56—59.
- [39] 许峰, 蔡强国, 吴淑安, 等. 坡地等高植物篱带间距对表土养分流失的影响[J]. *水土保持学报*, 1999, 5(2):23—29.
- [40] 唐亚, 谢嘉穗, 陈克明, 等. 等高固氮植物篱技术在坡耕地可持续耕作中的应用[J]. *水土保持研究*, 2001, 8(1):104—109.
- [41] 孙辉, 谢嘉穗, 唐亚. 坡耕地等高固氮植物篱复合经营系统根系分布格局研究[J]. *林业科学*, 2005, 41(2):8—15.
- [42] 袁远亮, 孙辉, 唐亚. 固氮植物篱梯埂套种桑树效益初探[J]. *生态农业研究*, 2000, 8(2):69—71.
- [43] 史德明. 长江流域水土流失与洪涝灾害关系剖析[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1999, 5(1):1—7.