

陈颖翱,张勇. 基于 CVM 的宁波天童天然林碳汇贸易研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(2):178-182. Chen Ying-ao, Zhang Yong. CVM evaluation of natural forest carbon sinks in Ningbo[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(2):178-182.

# 基于CVM的宁波天童天然林碳汇贸易研究

陈颖翱<sup>1</sup>, 张勇<sup>2\*</sup>

(1.北京大学环境科学与工程学院,北京 100871; 2.华东师范大学环境科学系,上海 200062)

**摘要:**以宁波天童天然林为例,探讨了将天然林碳汇纳入碳汇贸易的方法和途径,采用条件价值评估法(CVM)估算了天童天然林碳汇价值,并探讨了天然林碳汇贸易的可行性。结果表明:(1)与人工林碳汇相比,天然林碳汇在数量、生态功能和保育价值方面具优势,将天然林碳汇纳入碳汇贸易,是对现有人工林碳汇贸易的有益补充;(2)公众对碳汇贸易普遍持支持和偏好态度,但对碳汇概念认知程度低、对相关政策态度谨慎;(3)据 CVM 法评估得到天童天然林年均贸易价值合理值约 1 379 万元/a,合 2.06 万元/t,高于人工林碳汇价格,反映公众对天然林整体生态功能和保护价值的较高支付意愿;(4)影响天然林碳汇价值因素为个人收入、概念了解度、政策支持度和责任的定位;(5)公众对天然林碳汇贸易高度关注、对保护天然林富有热情,所以天然林碳汇进行贸易具有社会基础和可行性。

**关键词:**天然林; 碳汇贸易; 条件价值评估; 宁波天童

中图分类号:X196 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1003-6504.2011.02.040 文章编号:1003-6504(2011)02-0178-05

## CVM Evaluation of Natural Forest Carbon Sinks in Ningbo

CHEN Ying-ao<sup>1</sup>, ZHANG Yong<sup>2\*</sup>

(1.School of Environmental Science and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China;

2.Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** Taking Tiantong Forest in Ningbo as an example, methods that integrated natural forest into carbon trade market by estimating its carbon sinks and politically feasibility via contingent valuation method (CVM) were discussed. Results indicated that natural forest which has advantages over planted forest in terms of quantity, ecological function and conservation value is a favorable supplement to bring natural forest into current carbon trade. The public supports and prefers natural forest while has limited knowledge of carbon sinks and conservative attitude toward relative policy. Via CVM, carbon sinks of Tiantong Forest is estimated as 13.79 million RMB, that is 20,600 RMB per ton which is higher than that of planted forest reflecting a public preference. Factors affecting WTP include personal income, understanding of related concept, support to the possible policies and awareness self-responsibility. Public awareness and support is the foundation to establish carbon trade of natural forest.

**Key words:** natural forest; carbon trade; contingent valuation method (CVM); Ningbo Tiantong

20 世纪以来,为应对由二氧化碳大量排放引起的全球变暖问题,发展低碳经济已经成为全球经济社会发展的一个必然趋势<sup>[1]</sup>。特别是清洁发展机制(Clean development mechanism, CDM)<sup>[2]</sup>的出台,通过国际间、区域间碳汇贸易的方式,为二氧化碳的控制和减排提供了一种可行途径。目前,碳汇贸易已在美、日、英等多国先后开展<sup>[3-4]</sup>。2009 年,我国也在北京和上海成立碳排放交易所。然而,目前的碳汇贸易主要集中在人工林碳汇领域<sup>[5]</sup>,还未能涉及到天然林碳汇,也缺乏对

天然林碳汇价值评估、贸易可行性的研究,事实上导致了碳汇贸易中对天然林碳汇的相对忽视,这与保护天然林的紧迫要求和发展低碳经济的碳汇需求是不相适应的。本文以宁波天童天然林为例,探讨了将天然林碳汇纳入碳汇贸易的方法和途径,采用条件价值评估法(Contingent valuation method, CVM)和问卷调查的方式对天童天然林的碳汇价值进行了估算,进而讨论了评估结果的合理性和天然林碳汇贸易的可行性,从而以碳汇贸易促进天然林保护和二氧化碳减排。

《环境科学与技术》编辑部:(网址)http://fjks.chinajournal.net.cn(电话)027-87643502(电子信箱)hjkxyjs@126.com

收稿日期:2010-04-17;修回 2010-08-13

基金项目:浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站开放课题项目资助(天基 200902)

作者简介:陈颖翱(1987-),女,硕士研究生,研究方向为环境经济学,(手机)15210593051(电子信箱)ciciaida@gmail.com;\* 通讯作者,(手机)13564596205(电子信箱)yzhang@des.ecnu.edu.cn。

## 1 天然林碳汇的价值分析

### 1.1 天然林与人工林的碳汇区别

森林是陆地生态系统碳库的主体,提供了陆地上最巨大、最活跃,且易受人类调控的一种碳汇资源。不同森林,尤其是天然林和人工林吸收二氧化碳的贡献是不同的,如何最大限度地利用森林的碳汇功能,同时又能促进森林生态系统,特别是天然林生态系统的保护和管理,是低碳经济形势下的一个重要课题。现行碳汇贸易中,由于人工林在木材收获、短期碳汇提供两方面的突出优势,使现有碳汇贸易多针对人工林。这客观上忽视了具有重要生态功能(包括碳汇功能)的天然林,忽略了天然林和人工林的碳汇差异。近年研究发现,天然林在碳汇方面与人工林相比有以下几方面特点:(1)成熟天然林(Old forest)能几百年不断地持续从大气中吸收二氧化碳,减轻气候变化<sup>[6-8]</sup>;(2)森林碳库主体是土壤碳库,天然林土壤碳库远优于人工林<sup>[9-10]</sup>;(3)天然林在净增长速率方面可能逊于人工林,但人工林的高度衰退会使看似高速的增长率无法维持<sup>[10]</sup>;(4)通过大量改造天然林区建设人工林、破坏土壤原有碳库、将人工林材用于造纸等,都使人工林实际上更可能成为“碳源”而远非“碳汇”<sup>[11-12]</sup>。因此,与人工林碳汇相比,天然林碳汇在数量、生态功能和保育价值等方面具有一定优势,如能纳入碳汇贸易,是对现行人工林碳汇贸易的一项有益补充。

### 1.2 天然林碳汇的评估意义及贸易可行性

开展天然林碳汇价值评估是天然林碳汇贸易的基础,通过全面评价森林生态系统产出的“碳汇”量,体现天然林的重要生态功能;在此基础上,如果将天然林碳汇纳入现有碳汇贸易体系,不仅有利于碳汇贸易的产品细分,还为购买者提供更多选择,满足低碳经济形势二氧化碳排放企业和公众的多层次碳汇需求,特别是一些生态环保意识更强、重视天然林保护的消费者购买优质天然林碳汇的需要,而且可将天然林碳汇贸易所得用于天然林的保护和管理。见图 1。

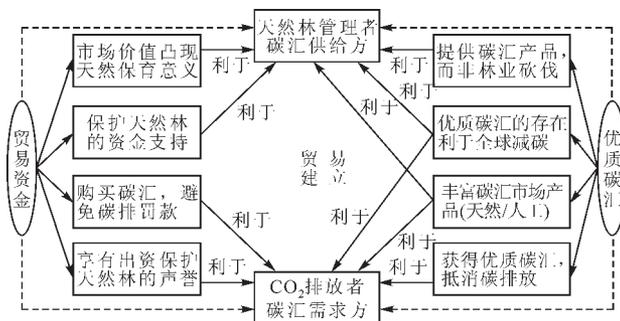


图1 天然林碳汇贸易的可行性分析

Fig.1 Feasibility analysis of the natural forest carbon trade

## 2 天童天然林碳汇贸易价值评估

### 2.1 案例选择

本文选取浙江宁波天童天然林为案例进行研究。天童天然林距宁波市区 28km,地处北纬 29°48',东经 121°47'(见图 2),位于浙江太白山麓,面积 349 hm<sup>2</sup>,属浙闽山地常绿阔叶林生态区。由于常绿阔叶林在中国分布最广、面积最大,类型最为复杂多样,是全球常绿阔叶林的主体,在世界上有独特地位。而天童天然林以栲树、木荷、米槠等为优势种,反映了中亚热带东部低海拔森林生态系统的典型特征<sup>[13-14]</sup>。同时,由于天童是首批列入保护范围之一的国家森林公园,较完好地保护于天然状态,是中国东部天然常绿阔叶林的典型代表;林区内的浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站则为本研究提供了丰富的数据基础。以天童天然林为案例,探讨和研究将天然林碳汇价值评估和碳汇贸易方式,具有较好的代表性和实际意义。

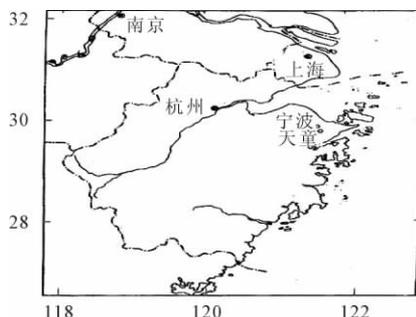


图2 天童地理位置示意图

Fig.2 Location of Tiantong Forest

### 2.2 研究方法

CVM 作为近 10 余年来国内外生态与环境经济学中最重要的和应用最广泛的关于公共物品价值评估的方法,利用效用最大化原理,采用问卷调查方式,直接询问人们在模拟市场中对某项服务功能改善的支付意愿(Willingness to pay, WTP)或受偿意愿(Willingness to accept, WTA),揭示被调查者对环境物品和服务的偏好,最终得到商品或服务的价值<sup>[15]</sup>。本文采用支付意愿法,以社会公众对森林碳汇功能的支付意愿的总额作为碳汇贸易服务的价值。具体步骤包括:建立碳汇贸易假想市场→获得支付意愿→估计平均支付意愿→将支付意愿与其影响因素进行定性分析及回归拟合→将样本数据分析结果扩展到总体。

### 2.3 调查问卷设计

调查问卷主要包括 4 部分:(1)被访者的基本信息,包括学历、职业、个人收入等;(2)被访者对碳汇的基本了解和态度,包括对碳汇了解度、对天然林的偏

好、对减排中公民责任定位、对可能的贸易政策的态度等；(3) 引导被访者回答其支付意愿；(4) 核心估值问题(见表 1)，以支付卡式问卷为被调查者提供了支付金额范围，以得到对天然林碳汇的支付意愿。

表 1 天然林碳汇支付卡式问卷的核心估值问题

Table 1 Key valuation question in the payment card questionnaires

项目	问卷设计
核心问题	如果用“碳汇交易”的方式，将天童天然林的“碳汇功能”卖给宁波市二氧化碳的排放者，以抵消其碳排放，并将所得资金用于天童天然林保护，则您年均愿意为天童天然林吸收的 CO <sub>2</sub> 捐款的数额是多少？
支付金额	A.0~5 元；B.5~20 元；C.20~30 元；D.30~50 元；E.50~100 元；F.100~200 元；G.200 以上

### 3 调查统计与分析

#### 3.1 样本分析

样本针对不具备森林和碳汇专业知识的社会公众展开，包括天童游客和宁波市民。调查地点为天童天然林及其旅游区域、宁波以天一广场为核心的市中心、宁波以城隍庙为核心的市中心、宁波火车站。设计发放问卷 550 份，实际回收问卷 500 份，其中有效问卷为 466 份(93.2%)，无效问卷 23 份(4.6%)，3 份(0.6%)回答相同问卷，5 份(1%)回答不完整问卷，1 份(0.2%)抗议性回答。其中男性占 52.58%，女性占 47.42%；受教育程度初中及以下占 14.81%，高中或技校职校占 25.96%，大专或本科占 53.23%，本科以上占 4.72。其平均受教育程度略高于当地水平，但仍可认为取样具有一定代表性。其中，应答者个人月收入结构为表 2 所示。

表 2 样本应答者月收入结构

Table 2 The monthly income structure of samples

月收入/元	比例/%	月收入/元	比例/%
无	0.43	3000~5000	19.31
<1000	6.22	5000~8000	13.73
1000~2000	24.03	8000~10000	8.37
2000~3000	19.96	>10000	7.95

注：无月收入人数实际为 2 人，均为天童寺僧人。

#### 3.2 对碳汇贸易的态度分析

根据问卷调查结果，对碳汇贸易的态度分析见图 3~5。

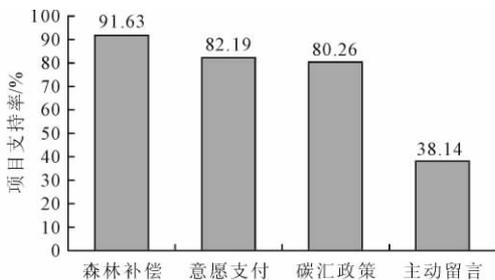


图 3 对碳汇贸易政策态度

Fig.3 Public attitude toward the carbon trade policy

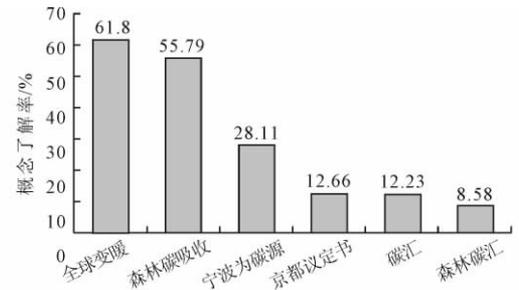


图 4 碳汇基本概念认知度

Fig.4 Cognition of the basic conception of carbon sinks

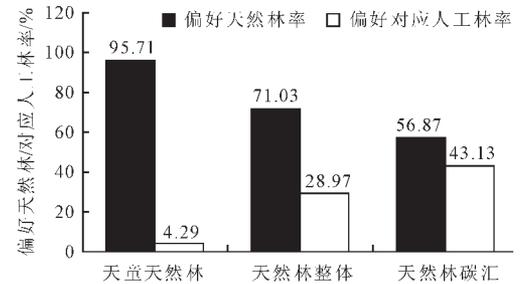


图 5 对天然林、天然林碳汇及天童森林贸易的偏好

Fig.5 Preferences to Tiantong Natural Forest

由图可见，公众对碳汇贸易的态度有 5 个特点：(1) 对碳汇贸易参与热情高：支持森林补偿、碳汇潜在政策并愿意支付率均超过 80%，说明应充分认识和发挥好公众对森林保护和碳汇事业的热心和支持。(2) 对碳汇知识了解贫乏：对碳汇、碳汇贸易、《京都议定书》等概念，分别有 91.42%、87.77%和 87.34%的受访者不了解，其中分别有 60.95%、47.21%和 42.49%的受访者之前从未听说这一概念，即大多数的公众对碳汇基本不了解。(3) 强调减排中的政府责任：93.57%的受访者认为政府在减排中负有责任，56.87%的受访者认为政府应负首要责任。(4) 对天然林存在偏好：71.03%的受访者认为天然林整体生态功能优于人工林，56.65%的受访者认为天然林的固碳功能也优于人工林。(5) 支付意愿存在空间：91.63%的受访者认为森林的生态功能应当得到经济补偿，82.16%的受访者愿意为天然林的保护和碳汇功能付款。(6) 对碳汇贸易积极中带有谨慎：80.26%的受访者支持或强烈支持宁波的区域碳汇贸易模式，但个别市民(19.74%)由于担心政府无法实现严格公平管理、巧立名目收费或天然林碳汇市场缺乏容量等原因，对天然林碳汇持谨慎态度。

#### 3.3 支付意愿分析

对全部样本的支付意愿(WTP)值进行统计于表 3，在 466 名有效应答者中有 383 人表示愿意支付，占 82.16%，支付额度平均值为 44.04 元。由于支付额度的差异较大，平均值产生的误差较高。参考国内外研究的普遍做法，本文采用调查统计得出中位值 23.87 元，由此得

出天童天然林碳汇的人均 WTP 值为 23.87 元/a。

表 3 全部样本支付意愿额度的频度分布表

Table 3 WTP frequency distribution of all samples

支付意愿 /元	绝对频数 /人	相对频数 /%	调整频数 /%	累计频率 /%
(0~5)2.5	66	14.16	17.23	17.23
(5~20)12.5	105	22.53	27.42	44.65
(20~30)25	53	11.37	13.84	58.49
(30~50)40	58	12.45	15.14	73.63
(50~100)75	58	12.45	15.14	88.77
(100~200)150	20	4.29	5.22	93.99
(>200)350	23	4.94	6.01	100
拒绝(0)	83	17.81		
样本总数	466	100	100	100

### 3.4 天童天然林年均碳汇价值估算

分别以 2008 年天童旅游总人次、宁波市总人口数、宁波市区居民数、天童所属东吴镇人口数(即天童居民数)4 组数据作为总体人群,以 23.87 元/a 为人均 WTP 值、以 82.16%作为平均支付率,估算得到天童天然林碳汇价值见表 4。

表 4 天童天然林碳汇年度价值估算

Table 4 Annual value of Tiantong forest carbon sinks

样本类型	样本总量/万人	估算值/万元
天童旅游总人次	70.31	1 379
宁波市总人口数	568.09	11 141
宁波市区居民数	220.12	4 317
天童所属东吴镇人口	1.69	33.14

参考国内外 CVM 案例研究的一般做法,结合天童天然林碳汇的市场定位,根据游客的职业、地域构成、实际支付能力等因素,本文认为以天童旅游总人次 70.31 万人作为总体人群,估算出的年均碳汇贸易价值 1379 万元最具有说服力与代表性。同时,可以宁波市总人口数、天童东吴镇人口数作为天童天然林年均碳汇价值的上限和下限,分别为 1.11 亿元和 33.14 万元。根据浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站用生物量法对天童天然林碳汇的初步估计,2008 年天童天然林固碳量约为  $670.324 \text{ t}^{[9-12]}$ ,则天童天然林碳汇的单价上下限范围可认为是:494.39 元/(t·a)~16.62 万元/(t·a)。根据天童旅游总人数为总体估算得到的天童天然林价格较合理的单价为 2.06 万元/(t·a)。

## 4 讨论

### 4.1 天然林与人工林碳汇的价格差异

根据国际碳汇贸易实例,人工林碳汇平均价格为 15~20 美元/t<sup>[4]</sup>,折合人民币 120~160 元/t。本文计算得到的天童天然林碳汇的价格为 2.06 万元/(t·a),远高于人工林碳汇。其原因可能有三方面:(1)CVM 法可

能使 WTP 偏高,且所得的碳汇价值是以单年计,但天然林单年固碳量一般小于人工林,则由此获得的天然林碳汇单价会偏高;(2)由于对碳汇知识的缺乏,社会公众对天然林碳汇功能的支付意愿(WTP)客观上是被泛化为了对森林整体保护和多种生态功能的价值,使 CVM 的最后估计偏大;(3)由于宁波属于人口密集的发达旅游城市,选择的样本总体人数较多、支付意愿较强,导致评估得到碳汇价值较高。由上可见,公众普遍认识到了天然林和人工林在碳汇价值上存在差异和天然林整体生态功能的重要性,对天然林碳汇普遍具有较高支付意愿,表现出了社会公众对天然林保护和促进碳汇减排的强烈愿望,说明天然林碳汇进入贸易是有一定社会基础和可行性的。

### 4.2 CVM 法的偏差控制

CVM 方法本身存在的误差主要源于假设市场不存在、非市场物品定价的合理性、调查者支付意愿的真实性、样本的数量和代表性等。考虑到误差的产生,本文通过预调研进行规避,调整了可能由支付意愿范围引起的起点偏差、由碳汇知识缺乏引起的信息偏差等问卷表述。由于尚未检索到针对宁波天童天然林的碳汇价值评估的其它相关研究,也没有类似的天然林碳汇的案例可供参照,且本文没有针对不同对象设计不同问卷,因此,本文研究结果目前还缺乏精细性和可比性,可为政府和社会公众初步认知天然林碳汇价值提供一个粗略的参考值。

### 4.3 WTP 的回归分析

以学历、碳汇概念了解度、减排公民责任的认定、可能的贸易政策支持度、对天然林偏好及收入对数为自变量,以支付意愿 WTP 为应变量,采用 SPSS 12.0 试图拟合线性回归方程,其系数得表 6。但综合  $R^2$ 、 $F$  值及  $t$  检验值,该线性回归方程不能很好地拟合公众对天童天然林碳汇的支付意愿。但从显著水平来看,仍可以得出一些规律。影响天童天然林碳汇价值的因素依次为个人收入、碳汇概念了解度、对可能的贸易政策支持度和对减排中公民责任的定位,且社会公众对碳汇贸易高度的关注和参与热情都应受到充分重视,而个人学历、对天然林偏好则没有显著的结论。

表 6 基于 WTP 影响因素的样本有效性  
Tab.6 Sample validity based on WTP influencing factors

自变量	线性回归方程系数		标准化系数
	系数值	误差	Beta
学历	0.565	3.658	0.008
概念了解度	14.414	5.873	0.118
自身责任认定	3.367	2.849	0.055
政策支持度	4.928	6.015	0.038
对天然林偏好	0.208	4.471	0.002
收入对数	21.366	9.834	0.108

以问卷发放量、回收率和有效定性结论来看,调研是基本合理的。然而就回归分析的可靠性,SPSS 统计显示其核算误差  $r^2$  数值始终与可接受值相差甚远(0.037),甚至完全不符合线性分布性。产生拟合误差的原因主要原因可能在于公众的了解度过低。由于“碳汇”这一概念对于公众极其陌生,仅“碳汇”这一概念,自认为有所了解的民众仅占到了 12.23%,且部分市民在问卷中明显暴露出碳汇知识的缺乏,故在高学历、高收入阶层,由于更多谨慎的思考而对碳汇贸易的支持度未能按假想中升高,而是出现了分化。这种分化可能就是公众认知度低的直接结果,也对 CVM 法的评估体系提出了挑战。

#### 4.4 社会公众对碳汇价值建立的推动

调查结果表明,82.19%的被访者愿意为天然林的碳汇功能付款。公众对碳汇工作参与热情相对较高、对保护天然林的支付意愿留有空间、对天然林的碳汇功能心存偏好,这却与对碳汇相关认识极度缺乏形成明显对比。由于对碳汇知识的缺乏,这些数据的真实意愿性还留有质疑,但应充分重视公众参与、舆论营造、制度监督在促进碳汇贸易建立的作用。

## 5 结论

在低碳经济形势下,探讨将天然林碳汇纳入碳汇贸易的方法和途径,从而以碳汇贸易促进全球二氧化碳减排和天然林的保护,具有重要意义<sup>[6]</sup>。本文以宁波天童天然林为例,探讨了将天然林碳汇纳入碳汇贸易的方法和途径,采用 CVM 和问卷调查的方式对天童天然林的碳汇价值进行了估算,进而讨论了评估结果的合理性和天然林碳汇贸易的可行性。结果表明:(1)与人工林碳汇相比,天然林碳汇在数量、生态功能和保育价值等方面具有一定优势,将天然林碳汇纳入碳汇贸易,是对现有人工林碳汇贸易的有效补充;(2)公众对碳汇贸易普遍持支持和偏好态度,但存在对碳汇概念认知程度低、对相关政策持谨慎态度等问题;(3)据 CVM 法评估得天童天然林年均贸易价值总额上限和下限分别为 1.11 亿元和 33.14 万元,合理估值约 1379 万元/a,折合 2.06 万元/(t·a),远高于人工林碳汇现行贸易价格,这更大程度上反映的是公众对天然林整体生态功能和保护价值的支付意愿;(4)影响天然林碳汇价值大小估计的因素依次为个人收入、对碳汇概念了解度、对可能政策的支持度和对减排中公民责任的定位;(5)公众对天然林碳汇贸易高度关注、对保护天然林富有热情,说明天然林碳汇进行贸易具有一定的社会基础和可行性。由此,选择典型的天然林开

展更为精细和深入的碳汇核算和价值评估研究,选择典型区域进行天然林碳汇的贸易试点,协助出台合理高效的天然林碳汇贸易管理政策和运作模式则是将来进一步的工作。

#### [参考文献]

- [1] 陶波,葛全胜,李克让,等. 陆地生态系统碳循环研究进展[J]. 地理研究,2001,20(5):564-575.  
Tao Bo, Ge Quan-sheng, Li Ke-rang, et al. Progress in the studies on carbon cycle in terrestrial ecosystem[J]. Geographical Research, 2001, 20(5):564-575.(in Chinese)
- [2] 刘文燕,蒋悦. 在《京都议定书》框架下实现温室气体减排的具体措施分析[J]. 科技创新导报,2008(6):81.  
Liu Wenyan, Jiang Yue. Measures analysis of the greenhouse gas reduction under the framework of Kyoto Protocol [J]. Science and Technology Innovation Herald,2008(6):81. (in Chinese)
- [3] 胥卫平,李括. 城市雨洪资源利用经济价值评价研究[J]. 环境科学与技术,2009,32(7):43-47.  
Xu Wei-ping, Li Kuo. Economic value evaluation of utilization of urban rainwater resource [J]. Environmental Science & Technology,2009,32(7):43-47.(in Chinese)
- [4] 林德荣,李智勇,支玲. 森林碳汇市场的演进及展望[J]. 世界林业研究,2005,18(1):1-5.  
Lin De-rong, Li Zhi-yong, Zhi Ling. The evolvement and prospect of forest carbon sinks market[J]. World Forestry Research, 2005, 18(1):1-5.(in Chinese)
- [5] 何英,张小全,刘云仙. 中国森林碳汇交易市场现状与潜力[J]. 林业科学,2007,43(7):106-111.  
He Ying, Zhang Xiao-quan, Liu Yun-xian. Status and potential of forest-carbon-sinks market in China[J]. Forestry Science, 2007, 43(7):106-111.(in Chinese)
- [6] 陈威,李娟文. 武汉东湖风景名胜区长可持续发展障碍与对策研究[J]. 环境科学与技术,2005,28(6):56-58.  
Chen Wei, Li Juan-wen. Sustainable developmental of East Lake Scenic Spots:Obstacle and its countermeasures[J]. Environmental Science & Technology,2005,28(6):56-58.(in Chinese)
- [7] 王礼茂. 几种主要碳增汇减排途径的对比分析[J]. 第四纪研究,2004,24(2):191-197.  
Wang Li-mao. Comparison of some major ways reducing carbon emission via increasing carbon sink[J]. Quaternary Sciences,2004,24(2):191-197.(in Chinese)
- [8] Luyssaert S, Schulze ED. Old-growth forests as global carbon sinks[J]. Nature,2008,455:213-215.
- [9] 李光耀,王希华. 天童常绿阔叶林次生演替过程中土壤的有机碳库及其归还特征[D]. 上海:华东师范大学,2007.

- 2002, 167(1):62-67.
- [6] Chen H M, Zheng Ch R. Combined pollution and pollution index of heavy metal in red soil[J]. *Pedosphere*, 2000, 10(2): 117-12.
- [7] Conesa H M, Robinson B H, Schulin R, et al. Growth of *Lygeum spartum* in acid mine tailings: response of plants developed from seedlings, rhizomes and at field conditions[J]. *Environmental Pollution*, 2006: 1-8.
- [8] Deng H, Yea Z H, Wong M H. Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China[J]. *Environmental Pollution*, 2004(132): 29-40.
- [9] Ju X T, Kou C L, Christie P, et al. Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China Plain[J]. *Environmental Pollution*, 2007(145): 497-506.
- [10] Khan M J, Jones D L. Effect of composts, lime and diammonium phosphate on the phytoavailability of heavy metals in a copper mine tailing soil[J]. *Pedosphere*, 2009, 19(5): 631-641.
- [11] Qian Y, Zheng M H, Gao L, et al. Heavy metal contamination and its environmental risk assessment in surface sediments from Lake Dongting, People's Republic of China[J]. *Bull Environment Contamination Toxicology*, 2005(75): 204-210.
- [12] 刘衍君, 汤庆新, 白振华, 等. 基于地质累积与内梅罗指数的耕地重金属污染研究[J]. *中国农学通报*, 2009(20): 174-178.
- Liu Y J, Tang Q H, Bai Z H, et al. The research of heavy metal pollution in soil based on the connection of geo-accumulation index and Nemero index[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009(20): 174-178(in Chinese).
- [13] 丁园, 宗良纲. 不同土壤重金属复合污染有效态离子冲量表征[J]. *污染与防治*, 2003(25): 173-175, 178.
- Ding Y, Zong L G. Expression of heavy metals contamination by available ion impulse in different soils[J]. *Pollution and Control*, 2003(25): 173-175, 178.(in Chinese)
- [14] Haskanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach[J]. *Water Resource*, 1980, 14(8): 975-1001.
- [15] 丁园, 魏立安, 宗良纲, 等. 土壤中铜、镉植物可利用性的表征[J]. *环境科学与技术*, 2010, 33(2): 27-30.
- Ding Yuan, Wei Li-an, Zong Liang-gang, et al. Expression of copper and cadmium plant availability in soils[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 33(2): 27-30. (in Chinese)
- [16] 刘影, 黄耀. 水稻籽粒镉积累模型[J]. *安全与环境学报*, 2007, 7(1): 4-7.
- Liu Ying, Huang Yao. New statistical model for quantifying Cd content in brown rice granis[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2007, 7(1): 4-7.(in Chinese)
- [17] Sanchez Martin M J, Sanchez Camazano. Adsorption and mobility of cadmium in natural, uncultivated soils[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1993, 22: 737-742.
- [18] Appel Chip, Lena Ma. Concentration, pH and surface charge effects on cadmium and lead sorption in three tropical soils [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2002, 31: 581-589.
- (上接第 182 页)
- Li Guang-yao, Wang Xi-hua. Soil Carbon Pool and Its Regression during the Secondary Succession of Tiantong's Evergreen Broad-leaved Forest[D]. Shanghai: East China Normal University, 2007.(in Chinese)
- [10] 阎恩荣, 王希华, 陈小勇. 浙江天童地区常绿阔叶林退化对土壤养分库和碳库的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(4): 1646-1655.
- Yan En-rong, Wang Xi-hua, Chen Xiao-yong. Impacts of evergreen broad-leaved forest, degradation carbon pools in Tiantong, Zhejiang Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4): 1646-1655.(in Chinese)
- [11] 杨同辉, 达良俊, 宋永昌, 等. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林生物量研究[J]. *浙江林业学院学报*, 2005, 22(4): 363-369.
- Yang Tong-hui, Da Liang-jun, Song Yong-chang, et al. Biomass of evergreen broad-leaved forest in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province[J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2005, 22(4): 363-369.(in Chinese)
- [12] 李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被和土壤碳贮量[J]. *中国科学*, 2003, 33(1): 72-80.
- Li Ke-rang, Wang Shao-qiang, Cao Ming-kui. China's vegetation and soil carbon storage[J]. *Science in China*, 2003, 33(1): 72-80.(in Chinese)
- [13] 宋永昌, 陈小勇. 中国东部受损常绿阔叶林生态系统的退化机制与生态恢复[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 85-87.
- Song Yong-chang, Chen Xiao-yong. Degradation Mechanism and Ecological Restoration of Evergreen Broad Leaved Forest Ecosystem in East China[M]. Beijing: Science Publishing House, 2007: 85-87(in Chinese)
- [14] 宋永昌, 王祥荣. 浙江天童国家森林公园的植被和区系[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1995: 1-16.
- Song Chang-yong, Wang Xiang-rong. Vegetation and Distribution of Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Literature Publishing House, 1995: 1-16.(in Chinese)
- [15] 曹建华, 王红英, 郭小鹏. CVM 方法确定环境价值有效性的分析研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2005, 15(2): 48-52.
- Cao Jian-hua, Wang Hong-ying, Guo Xiao-peng. Analysis on availability of using CVM to assess environmental value[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2005, 15(2): 48-52.(in Chinese)
- [16] 张永生, 房靖华. 森林与大气污染[J]. *环境科学与技术*, 2003, 26(4): 61-63.
- Zhang Yong-sheng, Fang Jing-hua. Forest and air pollution[J]. *Environmental Science & Technology*, 2003, 26(4): 61-63.(in Chinese)