

# Study on the Calculation Method of Green and Efficient Agricultural Ecological Compensation Standard in Danjiangkou Water Resource Conservation Area

Xiaofei Wu, Hongyan Zheng, Zhiping Huang\*, Yuan He, Jian Ding, Hongjie Zheng

Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, TianJin  
Email: 971954108@qq.com, \*bjhuangzp@126.com

Received: Dec. 19<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jan. 7<sup>th</sup>, 2019; published: Jan. 15<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

This paper researches how to characterize the ecological compensation of the three characteristics of “green, high-efficiency and ecological” in the “green and efficient agricultural technology” of the Danjiangkou water source conservation area, and constructs corresponding calculation methods. The aim is to make the farmer’s income level of the green high-efficiency agricultural technology region not lower than that of other conventional agricultural technology regions, so as to adopt ecological compensation measures to encourage the upstream farmers in the basin to provide better environmental services for the watershed. This is of great significance for maintaining the water environment security of the Danjiangkou water source conservation area.

## Keywords

Danjiangkou, Water Conservation Area, Green and Efficient Agriculture, Ecological Compensation Standards, Measurement Method

---

# 丹江口水源涵养区绿色高效农业生态补偿标准测算方法研究

吴晓斐, 郑宏艳, 黄治平\*, 何源, 丁健, 郑宏杰

农业部环境保护科研监测所, 天津  
Email: 971954108@qq.com, \*bjhuangzp@126.com

收稿日期: 2018年12月19日; 录用日期: 2019年1月7日; 发布日期: 2019年1月15日

\*通讯作者。

**文章引用:** 吴晓斐, 郑宏艳, 黄治平, 何源, 丁健, 郑宏杰. 丹江口水源涵养区绿色高效农业生态补偿标准测算方法研究[J]. 可持续发展, 2019, 9(1): 54-63. DOI: 10.12677/sd.2019.91008

## 摘要

本文就如何表征丹江口水源涵养区“绿色高效农业技术”所具内涵的“绿色、高效、生态”这三个特征的生态补偿进行研究，并构建相应的测算方法，目的是使应用绿色高效农业技术区域的收入水平不低于其他常规农业技术区域的收入水平，以此采取生态补偿措施激励水源涵养区上游农户为流域提供更好环境服务，对于维护丹江口水源涵养区水环境安全具有重要意义。

## 关键词

丹江口，水源涵养区，绿色高效农业，生态补偿标准，测算方法

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

丹江口水库是直接关系京津饮用水安全的水源涵养敏感区，核心水源区主要位于湖北省十堰市境内，涉及丹江口等8个区县，总面积23,600 km<sup>2</sup>，总人口334万人，水土流失面积达11,905 km<sup>2</sup>，土壤侵蚀量6425万t [1]。农业是丹江口库区农民主要收入来源，控制农业面源污染、减肥减药是丹江口水库水质保护的重要措施之一 [2]。

针对丹江口水源涵养区长期过度重视农业生产功能，造成农业生态系统生物多样性降低，种养脱节，农业化学品投入强度高，土壤质量下降，农业面源污染加剧，农田生态系统综合服务功能弱化，这些环境不友好的农业生产行为导致流域水质因农业面源污染而下降。中国农业科学院于2017年立项“科技创新工程协同创新任务——丹江口水源涵养区绿色高效农业技术集成与示范”，该任务在丹江口水源涵养区以提升水质保护、水源涵养和促进高效生态农业发展为目标，实现区域经济、社会和生态效益相统一为目标，协调推进资源高效利用和生态环境保护，确保农产品质量安全，通过系统性研发区域生物多样性利用及农田生态景观构建技术、农田绿色高效种植关键技术、养殖业废弃物高效循环利用关键技术与设备研发、生态型高效设施农业技术集成、南方丘陵区分散式生活污染物控制等技术手段，创建丹江口水源涵养区绿色高效生态农业技术模式，促进水源涵养区绿色发展，提升农业可持续发展水平，确保“一江清水送北京”。

如何促进常规农户转变为绿色高效农业技术模式生产，减少农业面源氮、磷流入水体，采用生态补偿方式是当前国际公认的重要的生态环境保护激励手段 [3]，通过扭转环境外部性措施，根本原则是通过两个利益主体之间的利益输送，扭转其中一个主体的激励，使其做出更适合另一主体利益的行为，而一个完善的生态补偿机制要以生态补偿标准为基础，如何建立可量化的生态补偿测算方法是当前生态补偿研究中的一个关键问题。

## 2. 生态补偿标准测算研究进展

目前国内外应用较多的生态补偿标准测算方法主要有机会成本法、费用分析法、条件价值评估法、生态系统服务价值评估法和水资源价值法等。

## 2.1. 机会成本法

机会成本法一般指流域环境保护方为全流域生态全局放弃部分工农业发展而可能失去的最大经济效益, 并以此为流域生态补偿的标准[4]。

机会成本是一种潜在的投入, 其核算方法争议较多, 目前主要有问卷调查、实例调查和间接计算。有学者采用间接计算, 参照城乡居民可支配收入来间接反映发展权受限可能造成的经济损失[5] [6]。林秀珠等[7]将机会成本和生态系统服务价值结合, 根据理论补偿标准引入生态补偿系数, 测算了闽江流域下游城市对上游地区给予的生态补偿量, 并对补偿标准测算结果提出了相应对策措施。

对机会成本进行核算时, 一般选取与研究区区位相近但未受禁限政策影响的相邻地区作为参照地, 通过其差值来计算生态保护过程中产生的机会损失。但实践中很难找到完全符合标准或相似程度高的参照地, 而且还可能会受生态保护政策以外的其他因素的影响, 因此采用此法算出的机会成本与实际值有出入[8]。

## 2.2. 费用分析法

主要分为直接成本和间接成本, 水源保护区所在地为维护该区生态环境支付的所有费用即是生态保护的直接成本; 同时, 饮用水源保护区的政府和居民为了保护生态环境, 禁止或限制某些污染较重的行业在该区域建设, 产生的发展机会损失属于生态环境保护的间接成本。

利用费用分析法确定出来的补偿标准的最大优点就在于具有很强的说服力。张家荣等[9]根据《陕西省水资源综合规划》成果, 从水量和水质两个指标考虑, 对水源地的供水量进行分摊计算, 以陕西省多年平均水资源总量流入丹江口水库的分摊系数通过费用分析法对生态补偿标准进行了修正。毛占风等[10]在水质方面引入水质修正系数确定补偿标准。由于成本费用分析模型考虑的是生态功能区最基本的生态建设保护成本, 该模型测算结果可能偏低, 只能用作区域生态补偿额度的下限[11]。

## 2.3. 条件价值评估法

条件价值评估法(Contingent Valuation Method, CVM)是将利益相关方收入、直接成本和预期等因素整合为简单意愿, 避免调查相关基础数据, 其可调查补偿者支付意愿(Willingness To Pay, WTP), 也可调查接受补偿者受偿意愿(Willingness To Accept, WTA), 是现阶段流域生态补偿标准的确定方法之一[12]。

杨欣等[13] [14]应用条件价值评估法估算武汉市农田生态补偿标准, 还运用混合 Logit 模型和补偿剩余公式计算出丹江口农户年均支付意愿。徐大伟等[15]基于辽河中游地区居民的 CVM 调查, 在调查问卷的设计上, 采用了针对同一受访者同时测量其 WTP 和 WTA 的方法, 真实地探究受访者的真实支付或受偿的补偿意愿, 提高了测算准确程度。也有学者[16] [17] [18]在调查问卷统计数据的基础上, 根据 WTP 和 WTA 的预测频率分布, 通过离散变量的数学期望公式得到支付意愿的数学平均值。

实践表明, CVM 法估算结果受问卷设计、调查方式、调查范围、被调查对象的环保意识及对生态补偿认知程度影响较大, 由于受被调查对象的主观判断影响, 其调查结果的真实性、有效性、可靠性有待检验[19]。

## 2.4. 生态系统服务价值评估法

生态系统服务的单位价值量是根据农田生态系统的食物生产生态服务单位价值确定的, 如根据某一研究区的粮食播种面积、粮食单产、粮食全国平均价格, 计算单位面积农田食物生产生态服务价值[20]。

为保护丹江口水库水质, 减少氮、磷流入水体, 谭秋成[2]利用样本调查的农户微观数据, 估计了丹江口库区主要农作物小麦、玉米、水稻产量与化肥施用量的经验函数, 计算了库区农田平均生态补偿标

准。

生态价值评估法测算出的流域生态补偿标准存在一定的高估，且不同地区生态系统服务功能差距较大，因此得到的结果偏差较大，得到数值可作为生态补偿的上限。

## 2.5. 水资源价值法

水资源价值法主要用在上下游流域间补偿，为了避免对工业废水生产率较低的城市过度受补，工业废水生产率越高的城市过度补偿而导致逆向选择和道德风险问题，李国平等[21]选取各城市平均工业废水生产率最低的值作为排污权的参考价格计算水资源价值。

黄涛珍等[22]在通过主成份分析确定淮河流域的关键污染因子，以关键污染因子的处理成本为基础，综合考虑水质类别和污染因子的超标倍数，确定流域关键污染因子的生态补偿罚数，研究提出建立基于关键水污染因子的淮河流域生态补偿标准测算模型，以淮河流域界首沙颍河桥省界监测断面为例进行了生态补偿标准和生态补偿资金的实证分析。

## 2.6. 生态补偿机制

生态补偿机制是以保护生态环境、促进人与自然和谐为目的，根据生态系统服务价值、生态保护成本、发展机会成本，综合运用行政和市场手段，调整生态环境保护和建设相关各方之间利益关系的一种制度安排，是一种调动生态建设的积极性，促进环境保护的利益驱动、激励和协调机制[23]。

目前我国经济增长与生态保护矛盾依然尖锐，国家财政转移支付资金难以大幅度增长，可分两个阶段提高生态补偿标准[4]。第一阶段实现合理区间中的生态补偿下限标准。第二阶段逐步实施能够触及生态补偿标准合理区间的上限标准[24]。周赞等[8]认为生态补偿标准可首先采用生态系统服务价值的方法来确定水源区生态补偿标准的上限，然后采用生态保护总成本法确定水源区生态补偿标准的下限，最后取两者的中位数作为区域生态补偿的标准。

张印等[25]认为更应该考虑“实施生态补偿后污染物能减少多少，或污染物减少到什么程度才获得补偿”的问题，构建污染控制的生态补偿机制的最终目的就是污染物的消减到某种程度，故测算补偿标准还必须对污染控制目标进行明确，其选取农田氮素非点源污染控制的补偿标准作为研究对象，以农民为保护农田生态环境而应获得的补偿上限为不施用氮肥时的损失，下限为氮肥用量减少至最佳生态经济施氮量时的损失。

杨欣等对农田生态补偿定义为为了降低农田生态环境恶化状况，保障社会经济发展过程中人类对于农田生态服务或产品的正常需求，政府或社会第三方通过财政转移支付给予农田保护相关利益方的经济或社会保障补偿，其生态补偿范围为农田生态服务受益者对研究区域内产生生态服务价值外溢的所有农田[14]。曾维军等[26]依据减施化肥生态补偿耕地等级划分标准，根据农用地分等定级统计数据，分别计算出粮食作物高、中、低产田的面积，再将面积乘以粮食作物在不同耕地等级的补偿标准，得到水稻、玉米、大麦的补偿标准。

由于生态补偿标准的测算方法目前还处于探索性阶段，而流域生态补偿多由上下游政府间的行政谈判来推动，对流域内农业面源减控措施的生态补偿缺乏可靠的科学依据。因此针对丹江口水源涵养区绿色高效生态农业技术模式实施过程中亟需构建直接成本、水源区生态服务价值和环境成本科学计算方法。

## 3. 丹江口绿色高效农业生态补偿标准测算方法构建

### 3.1. 丹江口水源涵养区绿色高效生态农业技术模式框架

丹江口水源涵养区绿色高效生态农业技术模式主要有 5 个技术体系，各个体系又涵盖了各自的若干

单项技术，见表 1。

**Table 1.** Green and efficient ecological agriculture technology model in Danjiangkou water conservation area  
**表 1.** 丹江口水源涵养区绿色高效生态农业技术模式

技术体系	涵盖技术	主要功能
立体绿色高效生态景观体系	果园豆科牧草覆盖——鸡果共生	提高生物多样性
	茶园生草覆盖——鸡茶共生	提高生物多样性
	水稻、麻类、蔬菜、绿肥植物等轮间作	提高生物多样性
	农田绿植防护带和蜜源植物带	提高生物多样性
	生态廊道构建	提高生物多样性
.....	/	
农田绿色高效种植关键技术体系	茶树及猕猴桃等优良种质的引种选育技术	绿色农产品供给
	茶园、果园土壤保水培肥固碳生产技术	保水培肥固碳
	化肥减施增效技术	化肥减施增效
	作物水热优化配置高产增效技术	保水培肥固碳
	农田病虫害草害高效综合防控技术	农药减量化
	废弃物资源化利用技术	废弃物资源化
	农田氮磷生态拦截技术	污染物去除
.....	/	
养殖业废弃物高效循环利用关键技术体系	养殖废弃物肥料化	农田生态系统消纳废弃物
	能源化技术，废水再循环利用技术	农田生态系统消纳废弃物
	粪便中抗生素残留消解和重金属钝化技术	污染物去除
	低氮磷排放饲料	氮磷污染物减量化
	有机肥和沼液沼渣高效施用技术及相关装备	污染物去除
.....	/	
高效设施农业技术体系	化肥替代技术	化肥减量化
	水肥一体化技术	化肥减量化
	水肥药一体化技术	化肥农药减量化
	生物防治、物理防治、生态调控、矿物源及生物农药等物理生物病虫害防治技术	农药减量化
	设施蔬菜病虫害防控的轻简化技术	农药减量化
	农药精准化选用技术	农药减量化
	设施蔬菜农药减量精准施药技术	农药减量化
.....	/	
分散式生活污染物控制技术体系	农村生活垃圾分类、病原菌灭杀、预处理及肥料化技术	污染物去除

### 3.2. 绿色高效生态农业技术模式生态补偿测算方法

由表 1 可知，5 个技术体系涉及的单项技术均为农业技术，其主要功能主要提高生物多样性、减肥

减药、保水培肥、污染物去除和废弃物利用等,符合生态补偿主要考虑的“绿色、高效、生态”这三个特征,农业技术是否“高效”主要考虑技术的额外成本和技术收益(即农产品供给)的功能,而“绿色”和“生态”可归为一类,技术是否“绿色生态”主要考虑技术的生态系统服务功能和环境成本。因此,丹江口水源涵养区绿色高效生态农业技术生态补偿测算可以从额外成本、生态服务价值和环境成本 3 方面来建立其生态补偿指标,并确定其生态补偿标准。

### 1) 额外成本

额外成本主要包括建设成本、运行成本和推广成本,见公式(1)。

$$\Delta EC_t = \Delta Cc + \Delta Co + \Delta Cs \quad (1)$$

式中,  $\Delta EC_t$  ( $EC_t$ , total of extra cost)为技术应用前后的额外成本差值;  $\Delta Cc$  (cost of construction)为技术应用前后建设成本;  $\Delta Co$  (cost of operation)为技术应用前后运行成本;  $Cs$  (cost of spreading)为新技术应用推广中应有的成本。

### 2) 生态服务功能价值

生态系统服务是由生态系统提供的、能直接或间接提升人类福利的产品和服务,即人类从生态系统获得的所有好处。根据千年生态系统评估以及农业技术服务机制、类型和效用,可以把生态服务功能分为供给功能、调节功能、支持功能和文化功能四大类[27][28]。其中,供给功能指直接的农产品供给;调节功能包括固碳释氧、保持土壤养分、农田生态系统消纳废弃物价值等;支持功能包括提高生物多样性、减少土地废弃价值等;文化功能包括保留乡村文化遗址和自然文化遗产等[6],见公式(2)。

$$\Delta ESV_t = \Delta Vp + \Delta Vr + \Delta Vs + \Delta Vc \quad (2)$$

式中,  $\Delta ESV_t$  ( $ESV_t$ , total value of eco-system)为技术应用前后生态系统服务价值的差值,即生态系统服务价值总值变化量;  $\Delta Vp$  (value of price)为供给价值变化量;  $\Delta Vr$  (value of regulation)为调节价值变化量;  $\Delta Vs$  (value of supporting)为支持价值变化量;  $\Delta Vc$  (value of culture)为文化价值变化量,单位均为元/hm<sup>2</sup>。

### 3) 环境成本

主要应用生命周期评价的方法对技术应用前后进行环境成本评估,主要采用 ReCiPe2008 将各种污染物统一转化为人体健康的潜在危害值这一终点(end-point)指标,用伤害因子来计算伤残生命年(Disability Adjusted Life Years, DALY),再将 DALY 用人力资本法转化为环境成本[6],见公式(3)~公式(4)。

$$DALY_i = C_{di} \times D_{osei} \quad (3)$$

$$LCEC = PCNI \times \sum DALY_i \quad (4)$$

式中,  $DALY_i$  表示第  $i$  种污染物引起的 DALY;  $D_{osei}$  表示第  $i$  种污染物的生命周期排放量;  $C_{di}$  指第  $i$  种污染物的伤害因子(DALY·kg<sup>-1</sup>·a)。

测算方法及说明见表 2。

## 3.3. 环境成本

根据文献[6][30][31]和表 2 参数,可将环境影响分为土壤、大气和水体 3 类,计算响应的污染物环境成本,列入表 3。其中废弃物 CH<sub>4</sub> 排放可以 0.044 gCH<sub>4</sub>·g<sup>-1</sup>COD 计[32],氮磷污染物产生剂量分析参考文献资料[30],见表 4。

为了更好地确定生态补偿的成本承担主体或受益主体,对各分项成本或收益分类账户分别进行政府和农户分担,见表 3。农户主要在生态系统服务价值的农产品供给、保持土壤养分和减少土地废弃价值取得收益,对于农产品供给而言,其收益一般归农户所有,这也使得农户愿意采用绿色高效农业,如有收益则无须对农户进行额外补偿。

**Table 2.** The algorithm and illustrations of ecological compensation standard  
**表 2.** 生态补偿标准测算方法及说明

一级指标	二级指标	三级指标	评估方法	计算公式	公式说明	成本承担主体或受益主体	
						政府	农户
额外成本	建设成本		直接市场法	$C_c$	$C_c$ 为单位面积建设成本, 单位: 元·hm <sup>-2</sup>	✓	✓
	运行成本		直接市场法	$C_o$	$C_o$ 为单位面积运行成本, 单位: 元·hm <sup>-2</sup>	✓	✓
	推广成本		直接市场法	$CS = (C_c + C_o) * p / (1 - p)$	根据欧盟经验, 推广成本占总额外成本的 25%~30%, P 为推广成本占总额外成本的百分数	✓	
生态系统服务价值	供给功能	农产品供给	直接市场法	$V = \sum Y \times P - PC$	V 为作物产品价值, 单位: 元·hm <sup>-2</sup> ; Y 为作物单产, 单位: kg·hm <sup>-2</sup> ; P 为农作物的市场价格, 单位: 元 kg <sup>-1</sup> ; PC 为生产成本, 单位: 元·hm <sup>-2</sup>		✓
	调节功能	固碳释氧	碳交易法	$V = 1.63 \times NPP \times C$ ; $NPP = P/H \times (1 - M)$	V 为作物固定的 CO <sub>2</sub> 价值, 单位: 元·hm <sup>-2</sup> ; NPP 为作物净初级生产量, C 为 CO <sub>2</sub> 交易价格, 国家发改委规定碳交易保护价 80 元·t <sup>-1</sup> ; P 为作物经济产量; H 作物经济系数, 作物经济系数为 0.25; M 为作物含水率	✓	
		保持土壤养分	直接市场法	$V_a = Sh(CN \times PN + CP \times PP + CK \times PK)$	V <sub>a</sub> 为养分价值, 单位: 元·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> ; Sh 为农田土壤保持量, 单位: t·hm <sup>-2</sup> ; CN, CP, CK 分别为单位面积土壤速效氮、磷、钾含量; PN, PP, PK 分别为氮, 磷, 钾市场价格, 单位: 元·t <sup>-1</sup>	✓	✓
		农田生态系统消纳废弃物	替代成本法	$VW = W \times C$	VW 为消纳废弃物价值, 单位: 元·hm <sup>-2</sup> ; W 为生产中消纳废弃物量, 单位: t·hm <sup>-2</sup> ; C 为处理成本, 单位: 元·t <sup>-1</sup>	✓	
		提高生物多样性	替代成本法	$\Delta VS = GCp$	ΔVS 为农药减量价值, 单位: 元·hm <sup>-2</sup> ; Cp 为常规农业农药用量, 单位: kg·hm <sup>-2</sup> ; G 为农药价格, 单位: 元·kg <sup>-1</sup>	✓	
	支持功能	减少土地废弃价值	机会成本法	$V_b = Sh \times B \div (H \times 10,000 \times \rho)$	V <sub>b</sub> 为经济效益; Sh 为土壤保持量; B 为单位土地年均收益; H 为表土厚度, 单位: m; ρ 为土壤容重, 单位: g·cm <sup>-3</sup>	✓	✓
		减轻泥沙淤泥	影子工程法	$V_c = Sh/\rho \times 24\% \times C$	V <sub>c</sub> 为经济效益; Sh 为土壤保持量; 24% 为全国侵蚀的泥沙 24% 淤积于江河、水库、湖泊; C 为 1 m <sup>3</sup> 库容的水库建设费用, 取 0.67 元[29]。	✓	
		文化功能	保留乡村文化遗址和自然文化遗产	旅行费用法	$V = I/R$	V 为价值, 单位为元·a <sup>-1</sup> ; I 为旅游直接收入; R 为旅游收入占社会综合收入比重	✓
环境成本			生命周期评价法	$DALY_i = Cdi \times Dose_i$ ; $LCEC = PCNI \times \sum DALY_i$	DALY <sub>i</sub> 表示第 i 种污染物引起的 DALY; Dose <sub>i</sub> 表示第 i 种污染物的生命周期排放量; Cdi 指第 i 种污染物的伤害因子 (DALY·kg <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> ); PCNI 表示某年中国人均可支配收入(单位: 元)	✓	

**Table 3.** The environmental cost of high efficient green agriculture  
**表 3.** 高效绿色农业技术环境成本核算

分类账户	污染物类型(kg·t <sup>-1</sup> )	具体危害类型	影响强度 (a·kg <sup>-1</sup> ) DALY	是否 响应	技术应用 后影响剂 量(kg)	技术应用前 影响剂量 (kg)	处理后 伤残年(a)	处理前 伤残年(a)	技术应用后 环境成本 (元·hm <sup>-2</sup> )	技术应用前 环境成本 (元·hm <sup>-2</sup> )
大气	CO	光化学氧化物	1.78 × 10 <sup>-9</sup>							
	CO <sub>2</sub>	气候变化	1.40 × 10 <sup>-6</sup>							
	CH <sub>4</sub>	气候变化	3.50 × 10 <sup>-5</sup>							
	SO <sub>2</sub>	微粒物质	5.20 × 10 <sup>-5</sup>							
	NH <sub>3</sub>	酸雨, 呼吸系统	8.32 × 10 <sup>-5</sup>							
	N <sub>2</sub> O	温室效应, 气候 变化	4.17 × 10 <sup>-4</sup>							
	NO <sub>x</sub>	温室效应, 呼吸 系统	5.72 × 10 <sup>-5</sup>							
农药(空气)	人体毒性	4.34 × 10 <sup>-6</sup>								
土壤	农药(土壤)	人体毒性	1.58 × 10 <sup>-6</sup>							
	As	人体毒性	1.04 × 10 <sup>-2</sup>							
	Cu	人体毒性	7.33 × 10 <sup>-6</sup>							
	Zn	人体毒性	3.09 × 10 <sup>-4</sup>							
	Cd	人体毒性	6.66 × 10 <sup>-2</sup>							
	Pb	人体毒性	4.20 × 10 <sup>-4</sup>							
	硝酸盐	地下水污染, 盐 渍化	4.90 × 10 <sup>-5</sup>							
	硫酸盐	土壤酸化, 土壤 板结	1.70 × 10 <sup>-6</sup>							
	Cd	重金属污染	6.09 × 10 <sup>-4</sup>							
	水体	农药(水体)	人体毒性	7.76 × 10 <sup>-6</sup>						
硝态氮		富营养化, 致癌 效应	3.05 × 10 <sup>-5</sup>							
铵态氮		富营养化	1.67 × 10 <sup>-5</sup>							
磷酸盐		富营养化	3.60 × 10 <sup>-6</sup>							
SUM										
小计	LCEC (元·hm <sup>-2</sup> )									
合计	LCEC (元·hm <sup>-2</sup> )									



**Table 4.** The flow of nutrients and contamination dose  
**表 4.** 营养物质流向和污染物产生剂量估算

化肥养分运移转化	系数/%	流向	剂量分析
N 肥	35	作物利用率	作物利用率 20%~50%，平均 35%
	20	大气流失率	大气流失率 10%~30%，平均 20%
	11		氮肥挥发产生 $\text{NH}_3$
	0.67		氮肥在微生物作用下转化为 $\text{N}_2\text{O}$
	0.5		氮肥通过微生物硝化或反硝化作用产生氮氧化物
	34.50	土壤残留率	流向土壤约 30%~40%，平均土壤残留率 34.5%
	0.50	地下淋溶率	氮肥淋溶增加地下水硝酸盐含量
	2	地表径流率	硝态氮在地表水中富集
P 肥	5	地表径流率	铵态氮在地表水中富集
	11	作物利用率	植物吸收 7%~15%，平均 11%
	5	大气扩散率	
	65	土壤吸附固定	吸附固定 55%~75%，平均 65%
	1	地下水流失	小于 1%
	7.50	地表径流率	5%~10%

对于公益性事业的建设成本，其建设一般由政府投资，因此政府主要是额外成本的承担方，其受益主要在于生态系统服务价值中的调节功能中的消纳废弃物和固碳释氧、支持功能的提高生物多样性和减轻泥沙淤积、文化功能以及减轻了当地的环境成本，有效解决了水源涵养区水体对下游的影响，对当地生态环境的改善也起到积极的影响。由于生态补偿是解决流域水污染问题的有效措施之一，在确定了上游地区生态环境保护成本等生态补偿标准的核心内容，则下游地区应该对上游地区给予的生态补偿量就基本得到确定[7]。

#### 4. 结语

本文就如何表征丹江口水源涵养区“绿色高效农业技术”所具内涵的“绿色、高效、生态”这三个特征的生态补偿进行研究，并构建相应的测算方法，目的是使应用绿色高效农业技术区域的收入水平不低于其他常规农业技术区域的收入水平，以此采取生态补偿措施激励水源涵养区上游农户为流域提供更好环境服务，对于维护丹江口水源涵养区水环境安全具有重要意义。

#### 基金项目

中国农业科学院科技创新工程协同创新任务——丹江口水源涵养区绿色高效农业技术创新集成与示范(CAAS-XTCX2016015)资助。

#### 参考文献

- [1] 张君, 张中旺, 李长安. 跨流域调水核心水源区生态补偿标准研究[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(6): 153-156.
- [2] 谭秋成. 丹江口库区化肥施用控制与农田生态补偿标准[J]. 中国人口资源与环境, 2012, 22(3): 124-129.
- [3] 官冬杰, 龚巧灵, 刘慧敏, 等. 重庆三峡库区生态补偿标准差别化模型构建及应用研究[J]. 环境科学学报, 2016,

- 36, 11: 4218-4227.
- [4] 李国平, 李潇. 国家重点生态功能区的生态补偿标准——支付额度与调整目标[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2017, 37(2): 1-9.
- [5] 常书铭. 汾河水库上游水源涵养区水生态补偿标准研究[J]. 人民黄河, 2016, 38(9): 56-58.
- [6] 赵桂慎, 李彩恋, 彭澎, 等. 生态敏感区有机板栗生态补偿标准及其估算——以北京市密云水库库区为例[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(6): 50-56.
- [7] 林秀珠, 李小斌, 李家兵, 等. 基于机会成本和生态系统服务价值的闽江流域生态补偿标准研究[J]. 水土保持学报, 2017, 24(2): 314-319.
- [8] 周赞, 孙世军, 崔朋. 饮用水源保护区生态补偿标准修正核算方法[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(4): 94-100.
- [9] 张家荣. 南水北调中线高洛水源地生态补偿标准研究[J]. 中国水土保持, 2014(2): 51-53.
- [10] 毛占锋, 王亚平. 跨区域调水水源地生态补偿定量标准研究[J]. 湖南工程学院学报, 2008, 18(2): 15-18.
- [11] 王艳霞, 徐全洪, 张素娟. 生态功能区生态补偿标准测算模型及对比分析[J]. 中国科技成果, 2014(22): 41-42.
- [12] 张乐勤, 宋慧芳. 条件价值法和机会成本法在小流域生态补偿标准估算中的应用——以安徽省秋浦河为例[J]. 水土保持通报, 2012, 32(4): 158-163.
- [13] 杨欣, 蔡银莺. 基于农户受偿意愿的武汉市农田生态补偿标准估算[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 212-216.
- [14] 杨欣, Michael Burton, 张安录. 基于潜在分类模型的农田生态补偿标准测算——一个离散选择实验模型的实证[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(7): 27-36.
- [15] 徐大伟, 刘春燕, 常亮. 流域生态补偿意愿的WTP与WTA差异性研究: 基于辽河中游地区居民的CVM调查[J]. 自然资源学报, 2013, 28(3): 402-409.
- [16] 林姣. 基于条件价值评估法的淮河流域生态补偿标准研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [17] 乔蕻强, 程文仕, 刘学录. 基于条件价值评估法的农业生态补偿意愿及支付水平评估[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 291-297.
- [18] 熊凯, 孔凡斌, 陈胜东. 鄱阳湖湿地农户生态补偿受偿意愿及其影响因素分析——基于CVM和排序Logistic模型的实证[J]. 江西财经大学学报, 2016(1): 28-35.
- [19] 谭秋成. 度量生态服务价值的选择实验方法介绍及案例研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(7): 46-52.
- [20] 周晨, 丁晓辉, 李国平, 等. 南水北调中线工程水源地生态补偿标准研究——以生态系统服务价值为视角[J]. 资源科学, 2015, 37(4): 792-804.
- [21] 李国平, 王奕淇, 张文彬. 南水北调中线工程生态补偿标准研究[J]. 资源科学, 2015, 37(10): 1902-1911.
- [22] 黄涛珍, 宋胜帮. 基于关键水污染因子的淮河流域生态补偿标准测算研究[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2013, 13(6): 109-118.
- [23] 车环平. 我国生态补偿机制存在的问题及对策[J]. 重庆科技学院学报(社会科学版), 2009(7): 53-54.
- [24] 朱九龙. 南水北调中线水源地生态补偿标准与资金分配方式[J]. 水电能源科学, 2017, 35(4): 157-160.
- [25] 张印, 周羽辰, 孙华. 农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准——以江苏省宜兴市为例[J]. 生态学报, 2012, 32(23): 7327-7335.
- [26] 曾维军, 李建华, 张耿杰, 等. 粮食作物减施化肥处理生态补偿标准定量研究[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(3): 810-817.
- [27] Van Jaarsveld, A.S., Biggs, R., Scholes, R.J., *et al.* (2005) Measuring Conditions and Trends in Ecosystem Services at Multiple Scales: The Southern African Millennium Ecosystem Assessment (SAfMA) Experience. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, **360**, 425-441.
- [28] Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2003) Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment. Island Press, Washington DC, 56-70.
- [29] 孙新章, 谢高地, 陈升魁, 等. 中国农田生产系统土壤保持功能及其经济价值[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 156-159.
- [30] 赖力, 黄贤金, 王辉, 等. 中国化肥施用的环境成本估算[J]. 土壤学报, 2009, 46(1): 63-69.
- [31] Jacob, G.M. (2001) The Ecoindicator-99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment: Methodology Annex.
- [32] 蔡博峰, 高庆先, 李中华, 等. 中国污水处理厂甲烷排放研究[J]. 中国环境科学, 2015, 35(12): 3810-3816.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2160-7540，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[sd@hanspub.org](mailto:sd@hanspub.org)