



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

生态系统评估 生态系统服务评估方法

Ecosystem assessment - Methodology for ecosystem services assessment

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

征求意见稿

（本稿完成日期：2023 年 1 月）

201X – XX – XX 发布

202X – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 次

目次 I

前言 I

1 范围 2

2 规范性引用文件 2

3 术语和定义 2

4 评估内容和流程 3

5 评估指标体系 4

6 评估方法 6

附录 A（资料性）生态系统调节服务评估方法 8

附录 B（资料性）生态系统支持服务评估方法 18

附录 C（资料性）生态系统服务评估参数 20

参考文献 33

前 言

本文件根据GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

本文件由全国环境管理标准化技术委员会（SAC/TC207）提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院生态环境研究中心、中国标准化研究院。

本文件起草人：

本文件为首次发布。

生态系统评估 生态系统服务评估方法

1 范围

本文件规定了生态系统服务评估的内容、流程、指标体系、方法等内容。

本文件主要适用于全国及省、市、县级行政区域及其他自然地理区域的生态系统服务评估。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 3095 环境空气质量标准

GB 3838 地表水环境质量标准

GB/T 38582 森林生态系统服务功能评估规范

LY/T 2899 湿地生态系统服务评估规范

SL190 土壤侵蚀分类分级标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

生态系统服务 ecosystem services

人类从生态系统获得的惠益。

3.2

物质供给 provisioning services

生态系统为人类提供并被使用的物质产品，如粮食、油料、蔬菜、水果、木材、生物质能、水产品、中草药、牧草、花卉等生物质产品。

3.3

调节服务 regulating services

生态系统为维持或改善人类生存环境提供的惠益，如水源涵养、土壤保持、防风固沙、海岸带防护、洪水调蓄、空气净化、水质净化、固碳、局部气候调节、噪声消减等。

3.4

文化服务 cultural services

生态系统为提高人类生活质量提供的非物质惠益，如精神享受、灵感激发、旅游观光、休闲娱乐和美学体验等。

3.5

支持服务 supporting services

为其他生态系统服务的产生提供支撑的生态系统功能。

4 评估内容和流程

4.1 评估内容

生态系统服务功能评估内容为生态系统物质供给、调节服务、文化服务和支持服务的功能量。评估范围可以是行政地域单元，如村、乡、县、市或省；或者是功能相对完整的生态系统地域单元；或者是由不同生态系统类型组合而成的地域单元。

4.2 评估流程

生态系统服务评估的主要工作程序（见图1），主要包括：

- a) 确定评估范围。根据评估目的，确定生态系统服务评估的空间范围，如功能相对完整的生态系统地域单元（如森林、草地、湖泊、沼泽等），或由不同生态系统类型组合而成的地域单元（如流域、生态地理区等），或行政地域单元（如村、乡、县、市、省或国家）；
- b) 确定评估指标与方法。基于评估区生态系统特点，确定生态系统服务评估指标与评估方法，确定各项生态系统服务评估参数；
- c) 数据收集。收集遥感数据、地面调查和监测数据、统计资料和基础地理信息数据等，提取评价区域内生态系统空间分布图、生物量、植被覆盖度、净初级生产力（NPP）等遥感反演生态参量数据、气象数据、土壤属性数据、污染物监测数据、物质产品产量数据、旅游数据、地形数据等，为生态系统服务评估提供数据基础；
- d) 生态系统服务评估。运用所构建的生态系统服务评估指标和方法，评估各项生态系统服务，量化生态系统物质供给、调节服务、文化服务和支持服务的功能量。

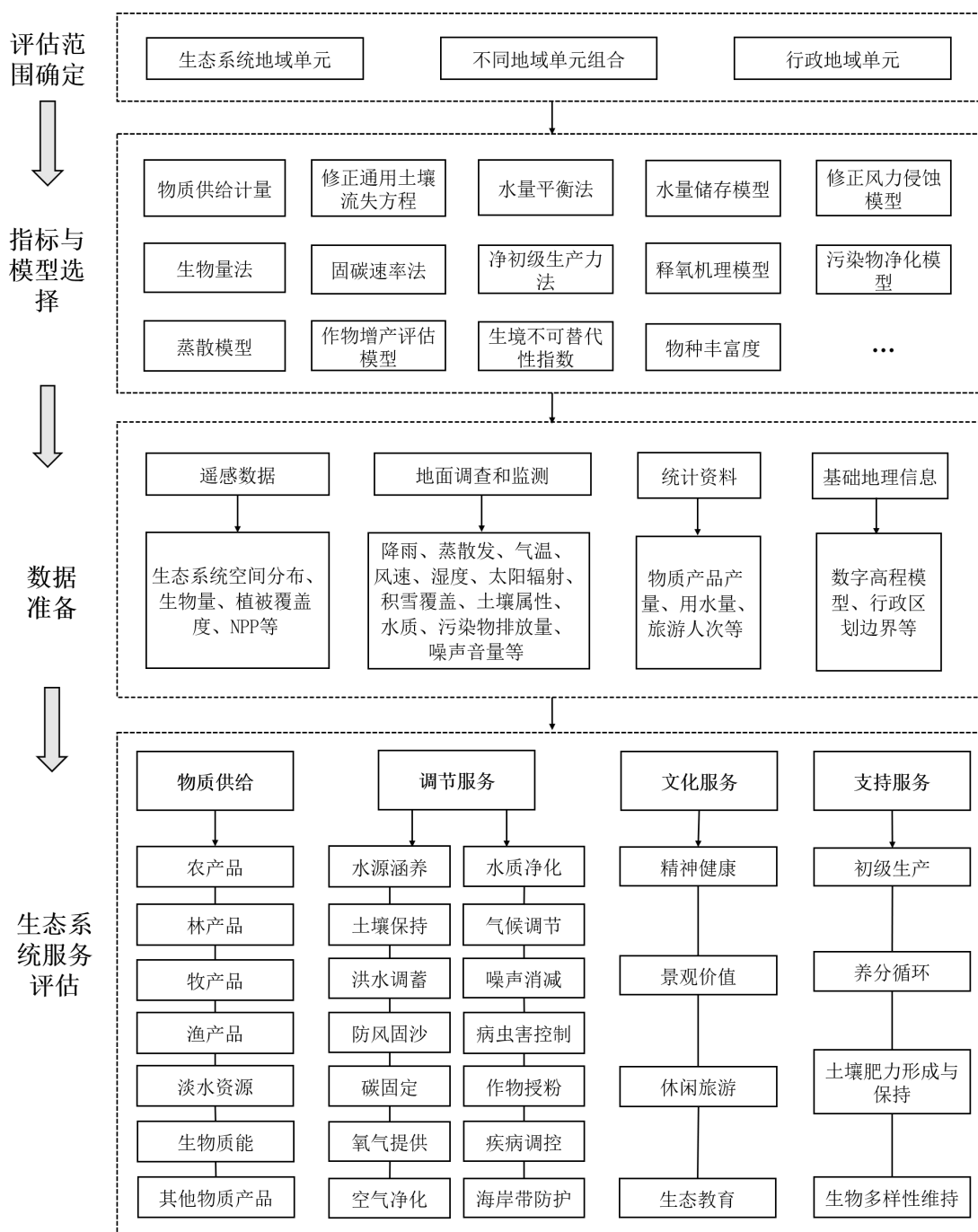


图 1 生态系统服务评估技术流程图

5 评估指标体系

从生态系统的物质供给、调节服务、文化服务以及支持服务四个大类构建生态系统服务评价指标体系（见表 1）。物质产品包括农产品、林产品、牧产品、渔产品、淡水资源、生物质能和其他物质产品。调节服务包括水源涵养、土壤保持、洪水调蓄、防风固沙、固碳、氧气提供、大气净化、水质净化、局部气候调节、病虫害控制、授粉、疾病调控、海岸带防护和噪音消减。文化服务包括精神健康、景观价值、休闲旅游和生态教育。支持服务包括初级生产、养分循环、土壤肥力形成与保持和生物多样性维持。

表 1 生态系统服务评价指标

一级指标	二级指标		指标说明
物质产品	农产品	野生农产品	从自然生态系统中获得的野生初级农产品，如药材、蔬菜、水果等。
		集约化种植农产品	从集约化种植的生态系统中收获的初级农产品，如稻谷、玉米、豆类、油料、棉花、糖料作物、烟叶、茶叶、药材、蔬菜、水果等。
	林产品	野生林产品	从自然生态系统中获得的林木产品、林产品以及与森林资源相关的初级产品，如木材、竹材、松脂、生漆、油桐籽等。
		集约化种植林产品	从集约化管理的生态系统中获得的林木产品、林产品以及与森林资源相关的初级产品，如木材、竹材、松脂、生漆、油桐籽等。
	牧产品	放养牧产品	利用放牧获得的牧产品，如牛、羊、奶类、野生禽蛋、蜂蜜等。
	渔产品	野生渔产品	在陆域自然水体中通过捕捞获取的水产品，如鱼类、贝类、其他水生动物等。
		集约化养殖渔产品	在人工管理的水生态系统中，养殖生产的水产品，如鱼类、贝类、其他水生动物等。
	淡水资源		生态系统对人类淡水供应产生综合贡献的资源。
	生物质能		来自于生态系统的秸秆、薪柴等。
	其他物质产品		从自然生态系统中获得的一些其他装饰产品和花卉、苗木、种子等。 从集约化管理的生态系统中获得的一些其他装饰产品和花卉、苗木、种子等。
调节服务	水源涵养		生态系统通过其结构和过程拦截滞蓄降水，增强土壤下渗，涵养土壤水分和补充地下水、调节河川流量，增加可利用水资源量的功能。
	土壤保持		生态系统通过其结构与过程保护土壤，降低雨水的侵蚀能力，减少土壤流失的功能。
	防风固沙		生态系统通过植被增加土壤抗风能力，降低风力侵蚀和风沙危害的功能。
	固碳		生态系统吸收二氧化碳合成有机物质，将碳固定在植物和土壤中，降低大气中二氧化碳浓度的功能。
	洪水调蓄		生态系统通过调节暴雨径流、削减洪峰、减轻洪水危害的功能。
	氧气提供		生态系统通过光合作用释放出氧气，维持大气氧气浓度稳定的功能。
	空气净化		生态系统吸收、阻滤大气中的污染物，如 SO ₂ 、NO _x 、粉尘等，降低空气污染浓度，改善空气环境的功能。
	水质净化		生态系统通过物理和生化过程对水体污染物吸附、降解以及生物吸收等方式，降低水体污染物浓度，净化水环境的功能。
	局部气候调节		生态系统通过植被蒸腾作用和水体蒸发过程吸收能量，调节温湿度的功能。
	噪声消减		森林、灌丛等生态系统通过植物反射和吸收声波能量，消减交通噪音的功能。
	病虫害控制		生态系统通过提高物种多样性水平增加天敌而降低病虫害危害的功能。
	作物授粉		通过昆虫的授粉服务，提高作物的座果率、结实率和结籽率，增加产量、改善品质。
	疾病调控		生态系统通过自身变化改变人类病原体及带菌媒介的多度，影响人类传染性疾病发病率的功能。
文化服务	海岸带防护		生态系统减低海浪，避免或减小海堤或海岸侵蚀的功能。
	精神健康		生态系统对人类大脑结构与认知产生影响，从而改善人类精神健康的功能。
	景观价值		生态系统为人类提供美学体验、精神愉悦，从而提高周边土地、房产价值的功能。
	休闲旅游		生态系统的美学景观及与其共生的人文景观为人类提供休闲娱乐的功能。
支持服务	生态教育		生态系统及其组分和过程为正式的和非正式的教育提供基本素材的功能。
	初级生产		生态系统年有机质产量。
支持服务	养分循环		营养元素通过生态系统进行循环，并在生态系统的不同组分中维持着

一级指标	二级指标	指标说明
		不同的浓度。
	土壤肥力形成与保持	生态系统对土壤肥力形成与保持的贡献。
	生物多样性维持	生态系统为野生动植物提供栖息地，以维持物种多样性水平的功能。

6 评估方法

6.1 物质供给

物质供给评估方法见公式（1）。

$$Y_p = \sum_i Y_{pi} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Y_p ——物质产品总产量（t/a）；

Y_{pi} ——i类产品的产量（t/a）。

表 2 物质供给评估方法

评估指标	评估量	评估方法
农产品	农产品量	统计调查
林产品	林产品量	统计调查
牧产品	牧产品量	统计调查
渔产品	渔产品量	统计调查
淡水资源	淡水资源量	统计调查
生物质能	生物质获取量	统计调查
其他物质产品	其他物质产品量	统计调查

6.2 调节服务

调节服务评估量及评估方法见表3。具体评估方法及参数见附录A和C。

表 3 调节服务评估方法

评估指标	评估量	评估方法
水源涵养	水源涵养量	水量平衡法、水量供给法
土壤保持	土壤保持量	修正通用土壤流失方程（RUSLE）
	减少面源污染	
	减少泥沙淤积量	
洪水调蓄	植被洪水调蓄量	水量储存模型
	湖泊洪水调蓄量	
	库塘洪水调蓄量	
	沼泽洪水调蓄量	
防风固沙	防风固沙量	修正风力侵蚀模型（RWEQ）
碳固定	固定二氧化碳量	固碳机理模型
氧气提供	氧气提供量	释氧机理模型
空气净化	净化二氧化硫量	污染物净化模型

	净化氮氧化物量	
	净化粉尘量	
水质净化	净化COD量	污染物净化模型
	净化总氮量	
	净化总磷量	
局部气候调节	植被蒸腾消耗能量	蒸散模型
	水面蒸发消耗能量	
噪声消减	噪声消减量	噪声消减模型
病虫害控制	病虫害减少发生率	统计调查
作物授粉	作物增产量	作物增产评估模型
疾病调控	传染疾病发生减少率	统计调查
海岸带防护	海岸带防护长度	统计调查

6.3 文化服务

文化服务评估量及评估方法见表4。

表 4 生态系统文化服务评估方法

指标	评估量	评估方法
精神健康	精神改善者数量	调查统计评估区域内受到生态系统影响精神健康得到改善的受益者数量。
景观价值	景观受益面积	调查统计受生态系统自然景观影响产生溢价的土地与小区房产面积。
休闲旅游	旅游人次	调查统计评估区域生态系统美学景观及与其共生的人文景观的旅游总人次。
生态教育	受生态教育人次	调查统计评估区域内接受生态教育的总人次。

6.4 支持服务

支持服务评估量及评估方法见表5。具体评估方法及参数见附录B。

表 5 生态系统支持服务评估方法

类别	评估指标	评估量	评估方法
支持服务	初级生产	净初级生产力	基于CASA光能利用率模型计算
	养分循环	养分年周转量	基于生态系统生物量与生产力估算
	土壤肥力形成与保持	土壤有机质含量	实验测定
		土壤养分保持量	基于土壤保持量计算
	生物多样性维持	生物多样性保护重要性	物种栖息地评估

附录 A

(资料性)

生态系统调节服务评估方法

A.1 水源涵养

选用水源涵养量，作为生态系统水源涵养的评价指标。采用水量平衡法计算，即生态系统水源涵养量是降水输入量与地表径流输出量和生态系统自身水分消耗量的差值。计算方法见公式 (A.1)。

$$Q_{wr} = \sum_{i=1}^n A_i \times (P_i - R_i - ET_i) \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

Q_{wr} ——生态系统水源涵养量 (m^3/a)；

A_i ——第 i 类生态系统面积 (km^2)；

P_i ——降雨量 (mm/a)；

R_i ——地表径流量 (mm/a)；

ET_i ——蒸散发量 (mm/a)，是指水文循环中自降水到达地面后由液态或固态转化为水汽返回大气的过程，包括水面、土壤、冰雪的蒸发和植物的散发；

i ——生态系统类型， $i=1, 2, 3, \dots, n$ ；

n ——生态系统类型数量。

A.2 土壤保持

选用土壤保持量，即因生态系统作用减少的土壤侵蚀量，作为生态系统土壤保持量的评价指标。计算方法见公式 (A.2)。

$$Q_{sr} = \sum_{i=1}^n [R_i \times K_i \times L_i \times S_i \times (1 - C_i) \times A_i \times 10^2] \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

Q_{sr} ——生态系统土壤保持量 (t/a)；

A_i ——评估单元 i 的面积 (km^2)；

i ——评估单元， $i=1, 2, 3, \dots, n$ ；

n ——评估单元数量；

R_i ——评估单元 i 的降雨侵蚀力因子 ($\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$)，指降雨引发土壤侵蚀的潜在能力，用多年平均年降雨侵蚀力指数表示；

K_i ——评估单元 i 的土壤可蚀性因子 ($\text{t} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h}/(\text{hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})$)，指土壤颗粒被水力分离和搬运的难易程度，主要与土壤质地、有机质含量、土体结构、渗透性等土壤理化性质有关，通常用标准样方上单位降雨侵蚀力所引起的土壤流失量表示；

L_i ——评估单元 i 的坡长因子 (无量纲)，反映坡长对土壤侵蚀的影响；

S_i ——评估单元 i 的坡度因子 (无量纲)，反映坡度对土壤侵蚀的影响；

C_i ——评估单元 i 的植被覆盖因子 (无量纲)，反映生态系统对土壤侵蚀的影响，大小取决于生态系统类型和植被覆盖度的综合作用；

以上参数的具体计算方法见附录 C。

A.3 洪水调蓄

A.3.1 植被调蓄水量

植被的洪水调蓄量与暴雨降水量、暴雨地表径流量和植被覆盖类型等因素密切相关。计算方法见公式（A.3）。

$$C_{vc} = \sum_{i=1}^n (P_h - R_{fi}) \times S_{iv} \times 10^3 \quad \text{..... (A.3)}$$

式中：

C_{vc} ——植被洪水调蓄量（ m^3/a ）；

P_h ——暴雨降雨量（ mm/a ）；

R_{fi} ——第 i 种自然植被生态系统的暴雨径流量（ mm/a ）；

S_{iv} ——第 i 种自然植被生态系统的面积（ km^2 ）；

i ——自然植被生态系统类型， $i=1, 2, \dots, n$ ；

n ——自然植被生态系统类型数量，无量纲。

A.3.2 湖泊调蓄水量—方法 1：

通过汛期湖泊入湖、出湖流量随时间的变化计算湖泊在某一段时间内洪水调蓄量，计算方法见公式（A.4）。

$$C_{lc} = \int_{t_1}^{t_2} (Q_I - Q_O) dt \quad (Q_I > Q_O) \quad \text{..... (A.4)}$$

式中：

C_{lc} ——湖泊 t_1 - t_2 时间段内洪水调蓄量（ m^3/a ）；

Q_I ——入湖流量（ m^3/s ）；

Q_O ——出湖流量（ m^3/s ）。

A.3.3 湖泊调蓄水量—方法 2：

考虑区域气候条件的差异，根据《中国湖泊志》，将全国湖泊划分为东部平原、蒙新高原、云贵高原、青藏高原、东北平原与山区 5 个湖泊区，基于湖面面积与湖泊换水次数建立湖泊洪水调蓄量评价模型。计算方法见公式（A.5-A.9）。

东部平原区：

$$C_{lc} = e^{4.924} \times A^{1.128} \times 3.19 \quad \text{..... (A.5)}$$

蒙新高原区：

$$C_{lc} = e^{5.653} \times A^{0.680} \times 0.26 \quad \text{..... (A.6)}$$

云贵高原区：

$$C_{lc} = e^{4.904} \times A^{0.927} \times 0.36 \quad \text{..... (A.7)}$$

青藏高原区：

$$C_{lc} = e^{6.636} \times A^{0.678} \times 0.14 \quad \text{..... (A.8)}$$

东北平原与山区：

$$C_{lc} = e^{5.808} \times A^{0.866} \times 0.98 \quad \text{..... (A.9)}$$

式中：

C_{lc} ——湖泊洪水调蓄量（ m^3/a ）；

A ——湖泊面积（ km^2 ）。

A.3.3 水库洪水调蓄量—方法 1：

将全国划分为东部平原、蒙新高原、云贵高原、青藏高原、东北平原与山区 5 个区，基于已有防洪库容与总库容之间的数量关系分区建立经验方程，以通过水库总库容构建防洪库容评价模型。计算方法见公式（A.10-A.14）。

东部平原区：

$$C_{rfm} = 0.29C_t \quad \text{..... (A.10)}$$

蒙新高原区:

$$C_{rfm} = 0.16C_t \dots\dots\dots (A.11)$$

云贵高原区:

$$C_{rfm} = 0.20C_t \dots\dots\dots (A.12)$$

青藏高原区:

$$C_{rfm} = 0.11C_t \dots\dots\dots (A.13)$$

东北平原与山区:

$$C_{rfm} = 0.22C_t \dots\dots\dots (A.14)$$

式中:

C_{rfm} ——水库防洪库容 (m^3/a);

C_t ——水库总库容 (m^3)。

A.3.4 水库洪水调蓄量—方法 2:

通过洪水期水库的进出水总量进行计算, 见公式 (A.15)。

$$C_{rc} = C_i - C_o \dots\dots\dots (A.15)$$

式中:

C_{rc} ——水库防洪库容 (m^3/a);

C_i ——洪水期水库进水总量 (m^3/a);

C_o ——洪水期水库出水总量 (m^3/a)。

A.3.5 沼泽洪水调蓄量:

基于沼泽土壤蓄水量和地表滞水量模型评估沼泽湿地洪水调蓄量, 计算方法见公式 (A.16)。

$$C_{mc} = C_{sws} + C_{sr} \dots\dots\dots (A.16)$$

式中:

C_{mc} ——沼泽洪水调蓄量 (m^3/a);

C_{sws} ——沼泽土壤蓄水量 (m^3/a);

C_{sr} ——沼泽地表滞水量 (m^3/a)。

沼泽土壤蓄水量的计算方法见公式 (A.17)。

$$C_{sws} = S \times h \times \rho \times (F - E) \times 10^6 / \rho_w \dots\dots\dots (A.17)$$

式中:

S ——沼泽总面积 (km^2);

h ——沼泽湿地土壤蓄水深度 (m/a);

ρ ——沼泽湿地土壤容重 (t/m^3);

ρ_w ——水的密度 (t/m^3);

F ——沼泽湿地土壤饱和含水率 (无量纲);

E ——沼泽湿地洪水淹没前的自然含水率 (无量纲)。

沼泽地表蓄水量的计算方法见公式 (A.18)。

$$C_{sr} = S \times H \times 10^6 \dots\dots\dots (A.18)$$

式中:

H ——沼泽湿地地表滞水高度 (m/a)。

A.4 防风固沙

选用防风固沙量，即通过生态系统减少的风蚀量（潜在风蚀量与实际风蚀量的差值），作为生态系统防风固沙量的评价指标。计算方法见公式（A.19）。

$$Q_{sf} = \sum_{i=1}^n [0.1699 \times (WF_i \times EF_i \times SCF_i \times K_i')^{1.3711} \times (1 - C_i^{1.3711}) \times A_i] \dots\dots\dots (A.19)$$

式中：

Q_{sf} ——生态系统防风固沙量（t/a）；

A_i ——评估单元 i 的面积（km²）；

i ——评估单元， $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ；

n ——评估单元数量；

WF_i ——评估单元 i 的气候侵蚀因子（kg/m），指风速、温度及降雨等各类气象因子对风蚀的综合影响；

EF_i ——评估单元 i 的土壤侵蚀因子（无量纲），指一定土壤理化条件下土壤受风蚀影响的大小；

SCF_i ——评估单元 i 的土壤结皮因子（无量纲），指一定土壤理化条件下土壤结皮抵抗风蚀能力的大小；

K_i' ——评估单元 i 的地表糙度因子（无量纲），指地形引起地表粗糙程度对风蚀的影响；

C_i ——评估单元 i 的植被覆盖因子（无量纲）。

各参数详细计算方法见附录 C。

A.5 固碳

选用固定二氧化碳量，作为生态系统固碳量的评价指标。生态系统通过吸收大气中二氧化碳合成有机质将碳固定在植物或土壤中所固定的二氧化碳量。固碳量的计算方法主要有三种，根据数据可得性，优先选择生物量法、其次选择固碳速率法，最后选择净生态系统生产力法（NEP法）。

a) 生物量法：

生物量法计算方法见公式（A.20）。

$$Q_{tCO_2} = \sum_{i=1}^n M_{CO_2}/M_C \times A_i \times C_{C_i} \times (VB_{i,t} - VB_{i,t-1}) \times (1 + \beta_i) \dots\dots\dots (A.20)$$

式中：

Q_{tCO_2} ——生态系统固碳量（t·CO₂/a）；

$M_{CO_2}/M_C=44/12$ ——C 转化为 CO₂ 的系数；

A_i ——第 i 类生态系统面积（hm²）；

C_{C_i} ——第 i 类生态系统生物量-碳转换系数；

i ——生态系统类型， $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ；

n ——生态系统类型数量；

$VB_{i,t}$ ——第 i 类生态系统第 t 年的生物量（t/hm²），生物量指某一时刻单位面积内存存生活的有机物质（干重，包括生物体内所存食物的重量）总量，可通过生物量因子法、遥感解译和根冠比结合等方式确定；

$VB_{i,t-1}$ ——第 i 类生态系统第 $t-1$ 年的生物量（t/hm²）；

β_i ——第 i 类生态系统土壤和植被固碳比。

b) 固碳速率法：

固碳速率法计算方法见公式（A.21）。

$$Q_{tCO_2} = M_{CO_2}/M_C \times (FCS + GSCS + WCS + CCS) \cdots \cdots (A.21)$$

式中:

Q_{tCO_2} ——生态系统二氧化碳总固定量 (tCO₂/a) ;

FCS ——森林 (及灌丛) 固碳量 (tC/a) ;

GCS ——草地固碳量 (tC/a) ;

WCS ——湿地固碳量 (tC/a) ;

CCS ——农田固碳量 (tC/a) ;

M_{CO_2}/M_C 同上。

1) 森林 (及灌丛) 固碳量:

森林 (及灌丛) 计算方法见公式 (A.22)。

$$FCS = (FVCSR + FSCSR) \times SF \cdots \cdots (A.22)$$

式中:

$FVCSR$ ——森林及灌丛生态系统植被固碳速率 (tC/(hm²·a)) ;

$FSCSR$ ——森林及灌丛生态系统土壤固碳速率 (tC/(hm²·a)) ;

SF ——森林及灌丛生态系统面积 (hm²)。

2) 草地固碳量:

草地固碳量计算方法见公式 (A.23)。

$$GCS = (GVCSR + GSCSR) \times SG \cdots \cdots (A.23)$$

式中:

$GVCSR$ ——草地生态系统植被固碳速率 (tC/(hm²·a)) ;

$GSCSR$ ——草地生态系统土壤固碳速率 (tC/(hm²·a)) ;

SG ——草地生态系统面积 (hm²)。

由于草地植被每年都会枯落,其固定的碳又返还回大气或进入土壤中,因此草地土壤固碳是草地生态系统固碳的主体部分。当草地植被固碳速率数据无法获取时,可考虑将草地的土壤固碳量作为草地生态系统固碳量。

3) 湿地固碳量:

湿地固碳量计算方法见公式 (A.24)。

$$WCS = \sum_{i=1}^n SCSR_i \times SW_i \times 10^{-2} \cdots \cdots (A.24)$$

式中:

$SCSR_i$ ——第 i 类湿地生态系统的固碳速率 (g C/(m²·a)) ;

SW_i ——第 i 类湿地生态系统面积 (hm²) ,

i ——湿地生态系统类型, $i=1, 2, 3, \dots, n$;

n ——湿地生态系统类型数量。

4) 农田土壤固碳量:

由于农田植被每年都会被收获,其固定的碳又返还回大气或者进入土壤中,故不考虑农田植被的固碳量,只考虑农田的土壤固碳量。计算方法见公式 (A.25)。

$$CCS = BSS \times SC + SCSR_N \times SC_N + SCSR_S \times SC_S \cdots \cdots (A.25)$$

式中:

BSS ——无固碳措施条件下的农田土壤固碳速率 (tC/(hm²·a)) ;

$SCSR_N$ ——施用化学氮肥和复合肥的农田土壤固碳速率 (tC/(hm²·a)) ;

$SCSR_S$ ——秸秆全部还田的农田土壤固碳速率 (tC/(hm²·a)) ;

SC ——无固碳措施的农田面积 (hm²) ;

SC_N ——施用化学氮肥和复合肥的农田面积 (hm²) ;

SC_S ——秸秆全部还田的农田面积 (hm²)。

无固碳措施条件下的农田土壤固碳速率计算方法见公式 (A.26)。

$$BSS = NSC \times BD \times H \times 0.1 \dots\dots\dots (A.26)$$

式中:

NSC ——无化学肥料和有机肥料施用的情况下,我国农田土壤有机碳的变化($\text{g C}/(\text{kg}\cdot\text{a})$);

BD ——土壤容重(g/cm^3);

H ——土壤厚度(农田耕作层厚度)(cm)。

施用化学氮肥、复合肥的土壤固碳速率计算方法见公式 (A.27-A.30)。

东北农区: $SCSR_N = 1.7385 \times TNF - 0.104 \dots\dots\dots (A.27)$

华北农区: $SCSR_N = 0.5286 \times TNF + 0.002 \dots\dots\dots (A.28)$

西北农区: $SCSR_N = 0.6352 \times TNF - 0.001 \dots\dots\dots (A.29)$

南方农区: $SCSR_N = 1.5339 \times TNF - 0.267 \dots\dots\dots (A.30)$

式中:

TNF ——单位面积耕地化学氮肥、复合肥总施用量($\text{tN}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$),计算方法见公式 (A.31)。

$$TNF = (NF + CF \times 0.3) / S_p \dots\dots\dots (A.31)$$

式中:

NF ——化学氮肥施用量(t/a);

CF ——复合肥施用量(t/a);

S_p ——耕地面积(hm^2)。

秸秆还田的土壤固碳速率计算方法见公式 (A.32-A.35)。

东北农区: $SCSR_S = 0.040 \times S + 0.340 \dots\dots\dots (A.32)$

华北农区: $SCSR_S = 0.041 \times S + 0.182 \dots\dots\dots (A.33)$

西北农区: $SCSR_S = 0.017 \times S + 0.031 \dots\dots\dots (A.34)$

南方农区: $SCSR_S = 0.043 \times S + 0.375 \dots\dots\dots (A.35)$

式中:

S ——单位耕地面积秸秆还田量($\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$),计算方法见公式 (A.36)。

$$S = \sum_{j=1}^n CY_j \times SGR_j / S_p \dots\dots\dots (A.36)$$

式中:

CY_j ——作物 j 在当年的产量(t/a);

S_p ——耕地面积(hm^2);

SGR_j ——作物 j 的草谷比;

j ——作物类别, $j=1, 2, 3, \dots, n$;

n ——作物类别数量。

c) 净生态系统生产力法:

森林、草地和湿地固碳计算方法见公式 (A.37)。

$$Q_{tCO_2} = M_{CO_2} / M_C \times NEP \dots\dots\dots (A.37)$$

式中:

Q_{tCO_2} ——生态系统固碳量($\text{t}\cdot\text{CO}_2/\text{a}$);

M_{CO_2}/M_C 同上;

NEP ——净生态系统生产力(tC/a)。

1) NEP 计算方法 1:

NEP 计算方法见公式 (A.38)。

$$NEP = NPP - RS \dots\dots\dots (A.38)$$

式中:

NEP——净生态系统生产力 (t·C/a)；

NPP——净初级生产力 (t·C/a)，指绿色植物在单位时间单位面积内积累的有机物质的总量，是由光合作用所产生的有机质总量中扣除植物用于维持性呼吸和生长性呼吸消耗后的剩余部分；

RS——土壤异氧呼吸消耗碳量 (t·C/a)，指土壤释放二氧化碳的过程，包括三个生物学过程（土壤微生物呼吸、根系呼吸、土壤动物呼吸）和一个非生物学过程（含碳矿物质的化学氧化作用）。

2) *NEP* 计算方法 2：

NEP 计算方法见公式 (A.39)。

$$NEP = \alpha \times NPP \cdots \cdots (A.39)$$

式中：

NEP——净生态系统生产力 (t·C/a)；

α ——*NEP* 和 *NPP* 的转换系数；

NPP——净初级生产力 (t·C/a)。

A.6 氧气提供

生态系统中的植物通过光合作用释放出的氧气总量。根据光合作用化学方程式可知，植物每生产吸收 1 mol 二氧化碳，就会释放 1 mol 氧气。根据生态系统固碳量测算出生态系统释放氧气的量，见公式 (A.40)。

$$Q_{op} = M_{O_2}/M_{CO_2} \times Q_{tCO_2} \cdots \cdots (A.40)$$

式中：

Q_{op} ——生态系统释氧量 (t 氧气/年)；

$M_{O_2}/M_{CO_2}=32/44$ ——二氧化碳转化为氧气的系数；

Q_{tCO_2} ——生态系统固碳量 (tC/a)。

A.7 空气净化

依据污染物浓度是否超过环境空气功能区质量标准，选用污染物排放量或空气净化能力，作为生态系统空气净化量的评价指标。

a) 大气污染物排放量

如果污染物浓度未超过环境空气功能区质量标准，选用各类大气污染物排放量估算，见公式 (A.41)。

$$Q_{ap} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdots \cdots (A.41)$$

式中：

Q_{ap} ——生态系统空气净化量 (t/a)；

Q_i ——第*i*类大气污染物排放量 (t/a)；

i——大气污染物类别，*i*=1, 2, 3, ..., *n*；

n——大气污染物类别数量。

b) 空气净化能力空气净化能力

如果污染物浓度超过环境空气功能区质量标准，选用生态系统空气净化能力估算，见公式 (A.42)。

$$Q_{ap} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{ij} \times A_j \cdots \cdots (A.42)$$

式中：

Q_{ap} ——生态系统空气净化量 (t/a)；

Q_{ij} ——第 j 类生态系统对第 i 类大气污染物的单位面积净化量 ($t/(km^2 \cdot a)$) ;

i ——大气污染物类别, $i=1, 2, 3, \dots, n$;

n ——大气污染物类别数量;

j ——生态系统类型, $j=1, 2, 3, \dots, m$;

m ——生态系统类型数量;

A_j ——第 j 类生态系统面积 (km^2) 。

A.8 水质净化

依据污染物浓度是否超过地表水水域环境功能和保护目标,选用水体净化能力或水体污染物排放量,作为生态系统水质净化量的评价指标。

a) 生态系统水体净化能力

如果污染物浓度超过地表水水域环境功能标准限值,选用生态系统水体净化能力估算,见公式 (A.43)。

$$Q_{wp} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} \times A_j \dots\dots\dots (A.43)$$

式中:

Q_{wp} ——水体污染物净化量 (t/a) ;

P_{ij} ——第 j 类生态系统对第 i 类水体污染物的单位面积净化量 ($t/(km^2 \cdot a)$) ;

i ——水体污染物类别, $i=1, 2, 3, \dots, n$;

n ——水体污染物类别数量;

A_j ——第 j 类生态系统面积 (km^2) ;

j ——生态系统类型, $j=1, 2, 3, \dots, m$;

m ——生态系统类型数量。

b) 水体污染物排放量

如果污染物浓度未超过地表水水域环境功能标准限值,根据质量平衡模型,选用水体污染物排放量估算,见公式 (A.44)。

$$Q_{wp} = \sum_{i=1}^n (Q_{ei} + Q_{ai}) - (Q_{di} + Q_{si}) \dots\dots\dots (A.44)$$

式中:

Q_{wp} ——水体污染物净化量 (t/a) ;

Q_{ei} ——第 i 类污染物入境量 (t/a) ;

Q_{ai} ——区域内第 i 类污染物 (包括农村生活、城市生活、农业面源污染、养殖污染以及工业生产等) 排放量 (t/a) ;

Q_{di} ——第 i 类污染物出境量 (t/a) ;

Q_{si} ——污水处理厂处理第 i 类污染物的量 (t/a) ;

i ——水体污染物类别, $i=1, 2, 3, \dots, n$;

n ——水体污染物类别数量。

A.9 局部气候调节

选用生态系统蒸腾蒸发过程中消耗的能量,作为生态系统局部气候调节量的评价指标,也可使用实际测量的生态系统内外温差转化为生态系统吸收的大气热量估算,优先选择实际测量的方法,其次根据数据可得性,选取生态系统的总蒸散量方法。

a) 生态系统的总蒸散量法

选用生态系统蒸腾蒸发消耗的总能量,作为生态系统气候调节量的评价指标。计算方法见公式 (A.45-A.47)。

$$E_{tt} = E_{pt} + E_{we} \dots\dots\dots (A.45)$$

$$E_{pt} = \sum_i^n EPP_i \times S_i \times D \times 10^6 / (3600 \times r) \dots\dots\dots (A.46)$$

$$E_{we} = E_{wt} \times \rho_w \times q \times 10^3 / (3600 \times r) + E_{wh} \times y \dots\dots\dots (A.47)$$

式中:

E_{tt} ——生态系统蒸腾蒸发消耗的总能量 (kW·h/a) ;

E_{pt} ——生态系统植被蒸腾消耗的能量 (kW·h/a) ;

E_{we} ——生态系统水面蒸发消耗的能量 (kW·h/a) ;

EPP_i ——第 i 类生态系统单位面积植被蒸腾消耗热量 (kJ/(m²·d)) ;

S_i ——第 i 类生态系统面积 (km²) ;

r ——空调能效比, 无量纲;

D ——开放空调降温的天数(d/a);

i ——生态系统类型, $i=1, 2, 3, \dots, n$;

n ——生态系统类型数量;

E_{wt} ——开放空调降温期间水面蒸发量 (m³/a) ;

E_{wh} ——开放加湿器增湿期间水面蒸发量 (m³/a) ;

ρ_w ——水的密度 (g/cm³) ;

q ——挥发潜热, 即蒸发 1 克水所需要的热量 (J/g) ;

y ——加湿器将 1m³ 水转化为蒸汽的耗电量 (kW·h/m³) 。

b) 实际测量法

选用实际测量的生态系统内外温差, 转化为生态系统吸收的大气热量, 作为生态系统气候调节量的评价指标, 见公式 (A.48) 。

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta T_i \times \rho_c \times V \dots\dots\dots (A.48)$$

式中:

Q ——生态系统吸收的大气热量 (J/a) ;

ρ_c ——空气的比热容 (J/(m³·°C)) ;

V ——生态系统内空气的体积 (m³) ;

ΔT_i ——开放空调降温的第 i 天生态系统内外实测温差 (°C) ;

n ——开放空调降温的总天数。

A. 10 病虫害控制

计算森林草地区域中, 除人工防治外, 通过生态系统病虫害控制达到自愈的面积, 见公式 (A.49) 。

$$A_{bc} = A_{forest\ bc} + A_{grass\ bc} \dots\dots\dots (A.49)$$

式中:

A_{bc} ——生态系统病虫害控制的总面积 (km²) ;

$A_{forest\ bc}$ ——森林病虫害自愈面积 (km²) ;

$A_{grass\ bc}$ ——草地病虫害面积 (km²) 。

A. 11 授粉服务

选用昆虫对各类虫媒传粉作物实物产量的贡献总和 (增产总量和), 作为生态系统授粉服务的评估指标。结合作物对昆虫传粉依赖程度 (或授粉昆虫对作物的增产效果) 与作物产量的关系来估算。计算方法见公式 (A.50) 。

$$Q_{ps} = \sum_i [Y_i \times D_i] \dots\dots\dots (A.50)$$

式中:

Q_{ps} ——授粉服务作物增产量 (kg/a)；

Y_i ——第 i 种作物的产量 (kg/a)；

D_i ——第 i 种作物对昆虫授粉的依赖程度 / 授粉昆虫对第 i 种作物的增产效果 (%)。

A.12 疾病调控

生态系统通过自身各种机制的变化改变人类病原体（如病毒）以及带菌媒介（如蚊子）的多度来影响传染性疾病的发病率。基于传染性疾病爆发疫点资料，通过调查计算传染性疾病的发病率变化来进行评估。

A.13 海岸带防护

海岸带防护是滨海盐沼、红树林、珊瑚礁等生态系统减低海浪，避免或减小海堤或海岸侵蚀的功能。选用滨海盐沼、红树林、珊瑚礁等生态系统防护或替代海堤等防护工程的长度，作为生态系统海岸带防护功能的评价指标。计算方法见公式 (A.51)。

$$D_{cl} = \sum_{i=1}^n D_{cli} \dots\dots\dots (A.51)$$

式中：

D_{cl} ——生态系统防护的海岸带总长度 (km)；

D_{cli} ——第 i 类生态系统防护的海岸带长度 (km)；

i ——生态系统类型， $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ；

n ——生态系统类型数量。

A.14 噪声消减

噪声消减是城市绿地通过植物体反射、吸收等降低道路交通噪声的作用。选用噪声消减量，作为生态系统噪声消减功能的评价指标。计算方法见公式 (A.52)。

$$Q_{NA} = \sum_{i=1}^n R_i \times NA_i \dots\dots\dots (A.52)$$

式中：

Q_{NA} ——城市生态系统噪声消减量 (db)；

NA_i ——第 i 类道路两侧的平均降噪分贝 (db/km)，降噪分贝数由绿化带近路侧和远路侧噪声差值确定；

R_i ——第 i 类道路的长度 (km)；

i ——城市道路类型， $i=1, 2, 3, \dots, n$ ；

n ——城市道路类型数量。

附录 B

(资料性)

生态系统支持服务评估方法

B.1 初级生产

选用生态系统净初级生产力进行估算。

B.2 养分循环

以植被净初级生产力为基础，对氮、磷、钾三种营养元素的循环量进行评估。计算方法见公式 (B.1-B.4)。

$$V = V_N + V_P + V_K \dots\dots\dots (B.1)$$

$$V_N = \sum_{i=1}^n NPP_i \times \mu_{N_i} \dots\dots\dots (B.2)$$

$$V_P = \sum_{i=1}^n NPP_i \times \mu_{P_i} \dots\dots\dots (B.3)$$

$$V_K = \sum_{i=1}^n NPP_i \times \mu_{K_i} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

V ——养分循环量；

V_N ——氮元素循环量；

NPP_i ——第 i 类生态系统的净初级生产力 ($\text{g}\cdot\text{C}/\text{a}$)；

μ_{N_i} ——氮元素在第 i 类生态系统的有机物中的分配率 (gN/gC)；

V_P ——磷元素循环量；

μ_{P_i} ——磷元素在第 i 类生态系统的有机物中的分配率 (gP/gC)；

V_K ——钾元素循环量。

μ_{K_i} ——钾元素在第 i 类生态系统的有机物中的分配率 (gK/gC)。

B.3 土壤肥力形成与保持

选用土壤养分保持量，作为生态系统土壤肥力形成与保持功能的评价指标。计算方法见公式 (B.5)。

$$Q_{fc} = \sum_{i=1}^n Q_{sr} \times C_i \dots\dots\dots (B.5)$$

式中：

Q_{fc} ——土壤养分保持量；

Q_{sr} ——土壤保持量；

C_i ——土壤中第 i 种养分元素（如氮、磷）的含量 (%)。

B.4 生物多样性维持

采用生物多样性保护重要程度作为生物多样性维持功能的量化指标。首先，选取世界自然保护联盟红色名录或中国红色名录中受威胁物种为指示物种，收集指示物种的潜在栖息地分布的空间栅格图。分别将极危、濒危、易危物种的潜在栖息地所在栅格赋值 3、2、1。然后，将指示物种分为五大类群：植物、哺乳动物、鸟类、两栖动物、爬行动物。对每一类群，将各指示物种栖息地进行空间叠加，将空间栅格值进行求和，采用最小最大归一化方法对求和之后的值进行标准化，使最终值的范围在 0-100 之间，作为该类群的生物多样性保护重要值，其中 100 表示最重要，0 表示最不重要。最后，将 5 个类群的生物多样性保护重要值进

行空间叠加，取最大值作为生物多样性保护重要值。

附录 C

(资料性)

生态系统服务评估参数

C.1 土壤保持评估参数

降雨侵蚀力因子 R、土壤可蚀性因子 K、坡长因子 L、坡度因子 S 和植被覆盖因子 C 的计算方法如下。

a) 降雨侵蚀力因子 R

降雨引发土壤侵蚀的潜在能力，计算方法见公式 (C.1-C.2)。

$$\bar{R} = \sum_{k=1}^{24} \bar{R}_{\text{半月}k} \dots\dots\dots (C.1)$$

$$\bar{R}_{\text{半月}k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^m (\alpha \cdot P_{i,j,k}^{1.7265}) \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

$\bar{R}$ ——多年平均年降雨侵蚀力 ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$)；

$\bar{R}_{\text{半月}k}$ ——第 k 个半月的降雨侵蚀力 ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$)；

k——一年的 24 个半月，即 $k=1,2,\dots,24$ ；

i——所用降雨资料的年份，即 $i=1,2,\dots,n$ ；

j——第 i 年第 k 个半月侵蚀性降雨日的天数，即 $j=1,2,\dots,m$ ；

$P_{i,j,k}$ ——第 i 年第 k 个半月第 j 个侵蚀性日降雨量 (mm)；

α 为参数，暖季 $\alpha=0.3937$ ，冷季 $\alpha=0.3101$ 。

b) 土壤可蚀性因子 K

土壤可蚀性因子计算方法见公式 (C.3-C.4)。

$$K = (-0.01383 + 0.51575 K_{EPIC}) \times 0.1317 \dots\dots\dots (C.3)$$

$$\begin{aligned} K_{EPIC} = & \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 m_s (1 - m_{silt}/100)]\} \times [m_{silt} / (m_c + m_{silt})]^{0.3} \\ & \times \{1 - 0.25 \text{orgC} / [\text{orgC} + \exp(3.72 - 2.95 \text{orgC})]\} \\ & \times \{1 - 0.7(1 - m_s/100) / \{(1 - m_s/100) + \exp[-5.51 + 22.9(1 - m_s/100)]\}\} \dots (C.4) \end{aligned}$$

式中：

K——土壤可蚀性因子 ($\text{t} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$)；

m_c ——粘粒百分含量 (%)；

m_{silt} ——粉粒百分含量 (%)；

m_s ——砂粒百分含量 (%)；

orgC——有机碳的百分含量 (%)。

c) 坡长因子 L 和坡度因子 S

坡长因子计算方法见公式 (C.5-C.7)。

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \dots\dots\dots (C.5)$$

$$m = \beta / (1 + \beta) \dots\dots\dots (C.6)$$

$$\beta = (\sin \theta / 0.089) / [3.0 \times (\sin \theta)^{0.8} + 0.56] \dots\dots\dots (C.7)$$

式中：

L——坡长因子；

m——坡长指数；

θ ——坡度（°）；

λ ——坡长（m）。

坡度因子计算方法见公式（C.8）。

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin \theta + 0.03 & \theta < 5.14^\circ \\ 16.8 \sin \theta - 0.5 & 5.14^\circ \leq \theta < 10.20^\circ \\ 21.91 \sin \theta - 0.96 & 10.20^\circ \leq \theta < 28.81^\circ \\ 9.5988 & \theta \geq 28.81^\circ \end{cases} \dots\dots\dots (C.8)$$

式中：

S——坡度因子；

θ ——坡度（°）。

d) 植被覆盖因子 C

水田、湿地、城镇和荒漠的植被覆盖因子分别赋值为 0, 0, 0.01 和 0.7，其余各生态系统类型按不同植被覆盖度进行赋值（表 C.1）。旱地的植被覆盖因子计算方法见公式（C.9）。

$$C = 0.221 - 0.595 \log c \dots\dots\dots (C.9)$$

式中：

C——旱地的植被覆盖因子；

c——小数形式的植被覆盖度。

表C.1 不同植被覆盖的C值

生态系统类型	植被覆盖度（%）					
	<10	10~30	30~50	50~70	70~90	>90
森林	0.10	0.08	0.06	0.02	0.004	0.001
灌丛	0.40	0.22	0.14	0.085	0.040	0.011
草地	0.45	0.24	0.15	0.09	0.043	0.011
乔木园地	0.42	0.23	0.14	0.089	0.042	0.011
灌木园地	0.40	0.22	0.14	0.087	0.042	0.011

C.2 防风固沙评估参数

气象因子、地表糙度因子、土壤可蚀因子、土壤结皮因子、植被覆盖因子的计算方法如下。

a) 气象因子 WF

气象因子的计算方法见公式（C.10）。

$$WF = Wf \times \frac{\rho}{g} \times SW \times SD \dots\dots\dots (C.10)$$

式中：

WF——气象因子（kg/m）；

Wf——多年平均风力因子（(m/s)³）；

ρ ——空气密度（kg/m³）；

g——重力加速度 (m/s^2) ;
 SW——多年平均土壤湿度因子;
 SD——雪盖因子。
 风力因子的计算方法见公式 (C.11) 。

$$Wf = \frac{\sum u_2(u_2 - u_t)^2 \times N_d}{N} \dots\dots\dots (C.11)$$

式中:
 u_2 ——日平均监测风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);
 u_t ——临界起沙风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);
 N_d ——一年中风速大于 5m/s 的天数;
 N ——一年总天数。
 空气密度的计算方法见公式 (C.12) 。

$$\rho = 348 \times \left(\frac{1.013 - 0.1183EL + 0.0048EL^2}{T} \right) \dots\dots\dots (C.12)$$

式中:
 EL——海拔高度(km);
 T——绝对温度($^{\circ}\text{C}$)。
 土壤湿度因子的计算方法见公式 (C.13) 。

$$SW = \frac{ET_p - (R+I) \frac{R_d}{N}}{ET_p} \dots\dots\dots (C.13)$$

式中:
 ET_p ——潜在蒸散发量($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$);
 R——年降雨量(mm);
 I——年灌溉量(mm);
 R_d ——年降雨或灌溉天数(mm);
 N——年总天数 (天)。
 潜在蒸散发量的计算方法见公式 (C.14) 。

$$ET_p = 0.0135 \times \left(\frac{SR}{58.5} \right) \times (DT + 17.8) \dots\dots\dots (C.14)$$

式中:
 SR——年总太阳辐射($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2}$);
 DT——年平均气温($^{\circ}\text{C}$)。
 雪盖因子的计算方法见公式 (C.15) 。

$$SD = 1 - P \dots\dots\dots (C.15)$$

式中:
 P——积雪覆盖天数与总天数的比值。

b) 土壤可蚀因子 EF

土壤可蚀因子的计算方法见公式 (C.16) 。

$$EF = \frac{29.09 + 0.31sa + 0.17si + 0.33(sa/cl) - 2.59OM - 0.95caco_3}{100} \dots\dots (C.16)$$

式中:
 EF——土壤可蚀因子;

sa——土壤粗砂含量（%）；
 si——土壤粉砂含量（%）；
 cl——土壤粘粒含量（%）；
 OM——土壤有机质含量（%）；
 CaCO₃——碳酸钙含量（%）。

c) 土壤结皮因子 SCF

土壤结皮因子的计算方法见公式（C.17）。

$$SCF = \frac{1}{1+0.0066 \times cl^2 + 0.021 \times OM^2} \dots\dots\dots (C.17)$$

式中：

SCF——土壤结皮因子；

cl——土壤粘粒含量（%）；

OM——土壤有机质含量（%）。

d) 植被覆盖因子 C

植被覆盖因子计算方法见公式（C.18）。

$$C = e^{a_i(SC)} \dots\dots\dots (C.18)$$

式中：

C——植被覆盖因子；

SC——植被覆盖度（%）；

a_i——不同植被类型的系数，分别为：林地取-0.1535，草地取-0.1151，灌丛取-0.0921，裸地取-0.0768，沙地取-0.0658，农田取-0.0438。

e) 地表糙度因子 K'

地表糙度因子的计算方法见公式（C.19-C.20）。

$$K' = e^{(1.86 K_r - 2.41 K_r^{0.934} - 0.127 C_{rr})} \dots\dots\dots (C.19)$$

$$K_r = 0.2 \bullet \frac{(\Delta H)^2}{L} \dots\dots\dots (C.20)$$

式中：

K_r——土垄糙度（cm）；

C_{rr}——随机糙度因子（cm）；

L——地势起伏参数；

ΔH——距离 L 范围内的海拔高程差。

C.3 水源涵养评估参数

地表径流量可通过计算降雨量与地表径流系数的乘积得到。各类生态系统地表径流系数见表C.2。

表 C.2 各类生态系统地表径流系数

生态系统类型			径流系数
森林生态系统	阔叶林	常绿阔叶林	2.67%
		落叶阔叶林	1.33%
	针叶林	常绿针叶林	3.02%
		落叶针叶林	0.88%
	针阔混交林	针阔混交林	2.29%
	稀疏林	稀疏林	19.2%

灌丛生态系统	阔叶灌丛	常绿阔叶灌木林	4.26%
		落叶阔叶灌木林	4.17%
	针叶灌丛	常绿针叶灌木林	4.17%
	稀疏灌丛	稀疏灌木林	19.2%
草地生态系统	草甸	草甸	8.20%
	草原	草原	4.78%
	草丛	草丛	9.37%
	稀疏草地	稀疏草地	18.27%
农田生态系统	耕地	水田	34.7%
		旱地	46.96%
	园地	乔木园地	9.57%
		灌木园地	7.9%
城市生态系统	城市绿地	乔木绿地	19.2%
		灌木绿地	19.2%
		草本绿地	18.27%
	城市水体	城市水体	0
湿地生态系统	沼泽	森林沼泽	0
		灌丛沼泽	0
		草本沼泽	0
	湖泊	湖泊	0
		水库/坑塘	0
	河流	河流	0
		运河/水渠	0

C.4 洪水调蓄评估参数

中国各省份汛期前后沼泽土壤含水率差值见表C.3。日暴雨标准见表C.4。各类生态系统暴雨径流回归方程见表C.5。各湖泊区湖泊换水次数见表C.6。各水库区水库库容转换为防洪库容的系数见表C.7。中国各省所属的湖泊、水库分区见表C.8。

表 C.3 各省份汛期前后沼泽土壤含水率差值

省份	汛期前后沼泽土壤含水率差值	省份	汛期前后沼泽土壤含水率差值
全国	0.273294	河南	0.25644
北京	0.258812	湖北	0.230517
天津	0.366517	湖南	0.251077
河北	0.370869	广东	0.254068
山西	0.258812	广西	0.392205
内蒙古	0.248565	海南	0.254068
辽宁	0.324188	重庆	0.284171
吉林	0.245936	四川	0.24476
黑龙江	0.232907	贵州	0.254068
上海	0.201131	云南	0.209935
江苏	0.294765	西藏	0.240368
浙江	0.254068	陕西	0.258812
安徽	0.19855	甘肃	0.327406
福建	0.283691	青海	0.272922
江西	0.286933	宁夏	0.258812
山东	0.400147	新疆	0.256604

注：洪水期沼泽土壤蓄水深度 0.4m，洪水期沼泽地表滞水高度 0.3m。

表 C.4 日暴雨标准

等级	12 小时降雨量 (mm)	24 小时降雨量 (mm)
暴雨	30.0~69.9	≥50

注：暴雨等级可采用当地行业标准。

表 C.5 生态系统暴雨径流回归方程

生态系统类型	暴雨径流
落叶阔叶林	$R = 1.4288 \times \ln(P) - 4.3682$
常绿阔叶林	$R = 7.7508 \times \ln(P) - 27.842$
落叶针叶林	$R = 7.2877 \times \ln(P) - 26.566$
常绿针叶林	$R = 13.36 \times \ln(P) - 49.257$
针阔混交林	$R = 2.264 \times \ln(P) - 6.7516$
灌丛	$R = 3.482 \times \ln(P) - 7.9413$
草原	$R = 5.4037 \times \ln(P) - 8.6156$
草甸	$R = 8.9121 \times \ln(P) - 23.462$
草丛	$R = 6.1564 \times \ln(P) - 13.351$

注：R 是暴雨径流量 (mm/a)，P 是暴雨降雨量 (mm/a)。

表 C.6 湖泊换水次数

湖泊区	湖泊水量调节量评价模型	换水次数 (次/年)
东部平原区	$C_{lc} = e^{4.924} \times A^{1.128} \times 3.19 \times 10^4$	3.19
蒙新高原区	$C_{lc} = e^{5.653} \times A^{0.680} \times 10^4$	1
云贵高原区	$C_{lc} = e^{4.904} \times A^{0.927} \times 10^4$	1
青藏高原区	$C_{lc} = e^{6.636} \times A^{0.678} \times 10^4$	1
东北平原与山区	$C_{lc} = e^{5.808} \times A^{0.866} \times 10^4$	1

注： C_{lc} 是湖泊调节水量 (m³/a)，A 是湖泊面积 (km²)。

表 C.7 水库库容转换为防洪库容的系数

水库区	水库的实际洪水调蓄库容	库容转换为防洪库容的系数
东部平原区	$C_{rc} = 0.29 \times C_t$	0.29
蒙新高原区	$C_{rc} = 0.16 \times C_t$	0.16
云贵高原区	$C_{rc} = 0.20 \times C_t$	0.20
青藏高原区	$C_{rc} = 0.11 \times C_t$	0.11
东北平原与山区	$C_{rc} = 0.22 \times C_t$	0.22

注： C_{rc} 为水库防洪库容 (m³/a)； C_t 为水库总库容 (m³)。

表 C.8 各省所属的湖泊、水库分区

省份	分区	省份	分区	省份	分区
----	----	----	----	----	----

北京	东部平原区	安徽	东部平原区	重庆	云贵高原区
天津市	东部平原区	福建	东部平原区	四川	云贵高原区
河北	东部平原区	江西	东部平原区	贵州	云贵高原区
山西	蒙新高原区	山东	东部平原区	云南	云贵高原区
内蒙	蒙新高原区	河南	东部平原区	西藏	青藏高原区
辽宁	东北平原与山区	湖北	东部平原区	陕西	蒙新高原区
吉林	东北平原与山区	湖南	东部平原区	甘肃	蒙新高原区
黑龙江	东北平原与山区	广东	东部平原区	青海	青藏高原区
上海市	东部平原区	广西	东部平原区	宁夏	蒙新高原区
江苏	东部平原区	海南	东部平原区	新疆	蒙新高原区
浙江	东部平原区				

C.5 空气净化评估参数

各类生态系统对各类大气污染物单位面积净化量见表C.9。环境空气污染物浓度限值见表C.10。

表 C.9 各类生态系统对各类大气污染物单位面积净化量

生态系统类型			SO ₂ 净化量	NO _x 净化量	粉尘净化量
一级	二级	三级	t/(km ² ·a)	t/(km ² ·a)	t/(km ² ·a)
森林生态系统	阔叶林	常绿阔叶林	5.75	3.52	11.76
		落叶阔叶林	3.38	2.35	8.41
	针叶林	常绿针叶林	5.04	3.52	20.18
		落叶针叶林	3.38	2.35	10.08
	针阔混交林	针阔混交林	5.09	2.46	16.80
	稀疏林	稀疏林	3.60	2.26	10.76
灌丛生态系统	阔叶灌丛	常绿阔叶灌木林	4.03	2.64	11.76
		落叶阔叶灌木林	2.94	1.57	7.88
	针叶灌丛	常绿针叶灌木林	3.73	2.35	10.08
	稀疏灌丛	稀疏灌木林	2.81	1.75	7.93
草地生态系统	草甸	草甸	3.60	2.56	10.60
	草原	草原	2.94	1.57	8.41
	草丛	草丛	2.94	1.57	8.41
	稀疏草地	稀疏草地	2.54	1.52	7.18
湿地生态系统	沼泽	森林沼泽	4.03	1.97	10.08
		灌丛沼泽	3.11	1.52	7.41

	湖泊	草本沼泽	2.85	1.32	6.73
		湖泊	7.06	0.00	10.08
		水库/坑塘	7.06	0.00	10.08
	河流	河流	7.06	0.00	10.08
		运河/水渠	7.06	0.00	10.08
农田生态系统	耕地	水田	4.03	2.75	8.87
		旱地	2.50	1.57	8.41
	园地	乔木园地	3.38	2.56	8.41
		灌木园地	3.16	2.17	6.17
城镇生态系统	城市绿地	乔木绿地	3.60	2.26	10.76
		灌木绿地	2.81	1.75	7.93
		草本绿地	2.54	1.52	7.18

表 C.10 环境空气污染物浓度限值

污染物	平均时间	年平均浓度限制		单位
		一级	二级	
二氧化硫	年平均	20	60	ug/m ³
二氧化氮	年平均	40	40	
颗粒物 PM ₁₀	年平均	40	70	
颗粒物 PM _{2.5}	年平均	15	35	

注：环境空气功能区分为两类，一类区为自然保护区、风景名胜区和需要特殊保护的区域；二类区为居住区、商业交通居民混合区、文化区、工业区和农村地区。一类区适用一级浓度限值，二类区适用二级浓度限值。评估过程中，将评估区域大气污染物监测点位的算术平均值与所在功能区的空气浓度限值进行比较，来确定评估方法。

C.4 水质净化评估参数

地表水污染物浓度限值见表C.11。单位面积湿地对各类水体污染物的净化量见表C.12。

表 C.11 地表水污染物浓度限值

污染物	I类	II类	III类	IV类	V类
化学需氧量	15	15	20	30	40
总氮	0.15	0.5	1	1.5	2

注：地表水水环境功能分为五类：I类适用于源头水、国家自然保护区；II类适用于集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、仔稚幼鱼的索饵场等；III类适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区；IV类适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区；V类适用于农业用水区及一般景观要求水域。评估过程中，将评估区域水质监测断面的污染物浓度算术平均值与所在功能区的污染物浓度限值进行比较，来确定评估方法。

表 C.12 单位面积湿地对各类水体污染物的净化量

污染物类型	净化量
COD	110.43 t/(km ² ·a)

总氮	8.56 t/(km ² ·a)
总磷	8.56 t/(km ² ·a)

C.5 固碳评估参数

生物量-碳转换系数 C_c ：森林和灌丛的转化系数为 0.5，草地的转化系数为 0.45。
森林及灌丛的固碳速率 $FCSR$ 由森林清查数据计算获得，可参考表 C.13。

表 C.13 各植被分区森林（及灌丛）生态系统固碳速率

植被分区	森林(及灌丛) 植被固碳速率 (tC · hm ⁻² ·a ⁻¹)	森林(及灌丛) 土壤固碳速率 (tC·hm ⁻² ·a ⁻¹)
南寒温带落叶针叶林地带	0.574	0.386
温带北部针阔混交林地带	0.551	0.586
温带南部针阔混交林地带	0.584	0.629
暖温带北部落叶栎林地带(华北)	0.758	0.448
暖温带南部落叶栎林地带	0.996	0.378
北亚热带落叶常绿阔叶林混交林地带	0.870	0.384
东部中亚热带常绿落叶林地带	0.815	0.213
东部南亚热带常绿阔叶林地带	0.554	0.118
西部中亚热带常绿阔叶林地带	0.769	0.254
西部南亚热带常绿阔叶林地带	0.784	0.253
西部亚热带亚高山针叶林地带	0.657	0.226
东部北热带季节性雨林地带	0.573	0.114
西部北热带季节性雨林地带	0.717	0.235
温带北部草原地带(东部)	0.589	0.347
温带南部草原地带	0.687	0.507
温带北部草原地带(西部)	1.120	1.153
温带半灌木小乔木荒漠地带	1.120	1.153
温带灌木半灌木荒漠地带	0.734	0.640
暖温带灌木半灌木荒漠地带	1.119	1.145
高寒灌丛草甸地带	0.641	0.469
高寒草甸地带	0.645	0.541
高寒草原地带	0.676	0.353
温性草原地带	0.690	0.225
高寒荒漠地带	0.802	0.826
温性荒漠地带	0.690	0.225
暖温带北部落叶栎林地带(东北)	0.807	0.879

森林及灌丛土壤和植被固碳速率比值 β 取值参考表 C.14 所示。

表 C.14 各植被分区森林（及灌丛）生态系统土壤和植被固碳速率比值

植被分区	森林（及灌丛）生态系统土壤 和植被固碳速率比值
南寒温带落叶针叶林地带	0.672

温带北部针阔混交林地带	1.063
温带南部针阔混交林地带	1.087
暖温带北部落叶栎林地带(华北)	0.544
暖温带南部落叶栎林地带	0.323
北亚热带落叶常绿阔叶混交林地带	0.359
东部中亚热带常绿落叶林地带	0.258
东部南亚热带常绿阔叶林地带	0.210
西部中亚热带常绿阔叶林地带	0.323
西部南亚热带常绿阔叶林地带	0.322
西部亚热带高山针叶林地带	0.341
东部北热带季节性雨林地带	0.213
西部北热带季节性雨林地带	0.325
温带北部草原地带(东部)	0.594
温带南部草原地带	0.715
温带北部草原地带(西部)	1.030
温带半灌木小乔木荒漠地带	1.030
温带灌木半灌木荒漠地带	0.870
暖温带灌木半灌木荒漠地带	1.030
高寒灌丛草甸地带	0.731
高寒草甸地带	0.852
高寒草原地带	0.527
温性草原地带	0.326
高寒荒漠地带	0.860
温性荒漠地带	0.326
暖温带北部落叶栎林地带(东北)	1.087

全国草地（除青藏高原外）土壤的固碳速率为 $0.02 \text{ t}\cdot\text{C}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ ，青藏高原区域为 $0.03 \text{ t}\cdot\text{C}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 。草地土壤固碳速率 *GSR* 参考表 C.15。

表 C.15 各植被分区草地土壤固碳速率

植被分区	草地土壤固碳速率 ($\text{tC}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)
南寒温带落叶针叶林地带	0.052
温带北部针阔混交林地带	0.030
温带南部针阔混交林地带	0.020
暖温带北部落叶栎林地带(华北)	0.020
暖温带南部落叶栎林地带	0.020
北亚热带落叶常绿阔叶混交林地带	0.022
东部中亚热带常绿落叶林地带	0.024
东部南亚热带常绿阔叶林地带	0.018
西部中亚热带常绿阔叶林地带	0.029
西部南亚热带常绿阔叶林地带	0.030
西部亚热带高山针叶林地带	0.030

东部北热带季节性雨林地带	0.020
西部北热带季节性雨林地带	0.030
温带北部草原地带(东部)	0.058
温带南部草原地带	0.040
温带北部草原地带(西部)	0.030
温带半灌木小乔木荒漠地带	0.030
温带灌木半灌木荒漠地带	0.036
暖温带灌木半灌木荒漠地带	0.030
高寒灌丛草甸地带	0.029
高寒草甸地带	0.030
高寒草原地带	0.030
温性草原地带	0.030
高寒荒漠地带	0.030
温性荒漠地带	0.030
暖温带北部落叶栎林地带(东北)	0.020

湿地的固碳速率 $SCSR_i$ 取值参考表 C.16。

表 C.16 湿地固碳速率

类型	固碳速率 ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
湖泊湿地类型	——
东部平原地区湖泊湿地	56.67
蒙新高原地区湖泊湿地	30.26
云贵高原地区湖泊湿地	20.08
青藏高原地区湖泊湿地	12.57
东北平原与山区湖泊湿地	4.49
沼泽湿地类型	——
泥炭和苔藓泥炭沼泽	24.80
腐泥沼泽	32.48
内陆盐沼	67.11
沿海滩涂盐沼	235.62
红树林沼泽	444.27

无化学肥料和有机肥料施用的情况下，我国农田土壤有机碳的变化 NSC 取 $-0.06 \text{ g} \cdot \text{C}/(\text{kg} \cdot \text{a})$ ，土壤厚度取 20cm，不同作物的草谷比 SGR_j 取值参考表 C.17。

表 C.17 不同作物的草谷比

作物	草谷比 SGR_j	作物	草谷比 SGR_j
水稻	0.623	油菜	2
小麦	1.366	向日葵	2
玉米	2	棉花	8.1
高粱	1	甘蔗	0.1

马铃薯	0.5	——	——
-----	-----	----	----

各植被分区森林、灌丛、草地 NEP-NPP 转换系数见表 C.18。

表 C.18 各植被分区森林、灌丛、草地 NEP-NPP 转换系数

植被分区	森林	灌丛	草地
南寒温带落叶针叶林地带	0.3158	0.1826	0.1940
温带北部针阔混交林地带	0.2500	0.1804	0.1655
温带南部针阔混交林地带	0.1517	0.1088	0.1822
暖温带北部落叶栎林地带(华北)	0.3599	0.3731	0.2565
暖温带南部落叶栎林地带	0.2546	0.2435	0.1956
北亚热带落叶常绿阔叶混交林地带	0.2006	0.1695	0.2223
东部中亚热带常绿落叶林地带	0.1346	0.0936	0.1611
东部南亚热带常绿阔叶林地带	0.1349	0.0903	0.0820
西部中亚热带常绿阔叶林地带	0.2285	0.1522	0.1532
西部南亚热带常绿阔叶林地带	0.2153	0.1219	0.1062
西部亚热带亚高山针叶林地带	0.3422	0.2179	0.3069
东部北热带季节性雨林地带	0.1439	0.1379	0.0985
西部北热带季节性雨林地带	0.2002	0.0664	0.1961
温带北部草原地带(东部)	0.2909	0.1551	0.1920
温带南部草原地带	0.2554	0.1745	0.1565
温带北部草原地带(西部)	0.0775	0.0010	0.1574
温带半灌木小乔木荒漠地带	0.1612	0.0010	0.0574
温带灌木半灌木荒漠地带	0.1798	0.0010	0.0095
暖温带灌木半灌木荒漠地带	0.0363	0.0010	0.0265
高寒灌丛草甸地带	0.3155	0.2229	0.2730
高寒草甸地带	0.2489	0.2995	0.3308
高寒草原地带	0.2609	0.0214	0.3026
温性草原地带	0.1698	0.0127	0.2285
高寒荒漠地带	0.0268	0.0000	0.1576
温性荒漠地带	0.1530	0.0000	0.1375
暖温带北部落叶栎林地带(东北)	0.1390	0.1455	0.1313

C.6 局部气候调节评估参数

各省水面蒸发折算系数见表C.19。

表 C.19 各省水面蒸发折算系数

省份	水面蒸发折算系数	省份	水面蒸发折算系数
全国	0.618	河南	0.633
北京	0.577	湖北	0.649
天津	0.575	湖南	0.641
河北	0.610	广东	0.665
山西	0.631	广西	0.648
内蒙古	0.562	海南	0.685

辽宁	0.561	重庆	0.632
吉林	0.549	四川	0.641
黑龙江	0.552	贵州	0.671
上海	0.616	云南	0.624
江苏	0.631	西藏	0.618
浙江	0.633	陕西	0.627
安徽	0.611	甘肃	0.589
福建	0.676	青海	0.552
江西	0.655	宁夏	0.646
山东	0.636	新疆	0.586

注：折算系数是小型蒸发器观测的蒸发量与自然水体蒸发量的比值。加湿器将 1m³ 水转化为蒸汽的耗电量：120 kW·h。

参 考 文 献

- [1] 国家发展与改革委员会, 国家统计局. 生态产品总值核算规范. 人民出版社, 2022.
- [2] 欧阳志云, 徐卫华, 肖焱. 中国生态系统格局、质量、服务与演变. 科学出版社, 2017.
- [3] Ouyang Z Y, Zheng H, Xiao Y, Polasky S, Liu J G, Xu W H, Wang Q, Zhang L, Xiao Y, Rao E M, Jiang L, Wang X K, Yang G B, Gong S H, Wu B F, Zeng Y, Yang W, Daily G C. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 2016, 352(6292): 1455-1459.
- [4] Xu W H, Xiao Y, Zhang J J, Yang W, Zhang L, Hull V, Wang Z, Zheng H, Liu J G, Polasky S, Jiang L, Xiao Y, Shi X W, Rao E M, Lu F, Wang X K, Daily G C, Ouyang Z Y. Strengthening protected areas for biodiversity and ecosystem services in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2017, 114(7): 1601-1606.
- [5] 欧阳芳, 王丽娜, 闫卓, 门兴元, 戈峰. 中国农业生态系统昆虫授粉功能量与服务价值评估. *生态学报*, 2019, 39(1): 131—145.
- [6] 侯淑涛, 郑绪玲, 邸延顺, 王语檬, 于晓雷. 哈尔滨市生态资产遥感测量评估. *水土保持研究*, 2015, 22(02): 305-309.
-