

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

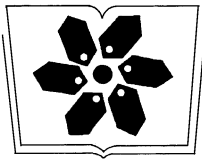
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 10 期 Vol.33 No.10 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 10 期 2013 年 5 月 (半月刊)

目次

福建长汀水土保持专题

- 福建省长汀县水土流失区的时空变化研究——“福建长汀水土保持”专题序言 徐涵秋 (2945)
- 福建省长汀县河田盆地近 35 年来地表裸土变化的遥感时空分析 徐涵秋 (2946)
- 福建省长汀县河田水土流失区植被覆盖度变化及其热环境效应 徐涵秋, 何 慧, 黄绍霖 (2954)
- 红壤侵蚀地马尾松林恢复后土壤有机碳库动态 何圣嘉, 谢锦升, 曾宏达, 等 (2964)
- 基于 RUSLE 的福建省长汀县河田盆地土壤侵蚀定量研究 杨冉冉, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2974)
- 南方红壤水土流失区土地利用动态变化——以长汀河田盆地为例 林 娜, 徐涵秋, 何 慧 (2983)
- 亚热带地区马尾松林碳储量的遥感估算——以长汀河田盆地为例 黄绍霖, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2992)
- 南方红壤侵蚀区土壤肥力质量的突变——以福建省长汀县为例 陈志强, 陈志彪 (3002)

前沿理论与学科综述

- 土壤有机质转化及 CO₂ 释放的温度效应研究进展 沈征涛, 施 斌, 王宝军, 等 (3011)
- 湖泊蓝藻水华发生机理研究进展 马健荣, 邓建明, 秦伯强, 等 (3020)

个体与基础生态

- 岩溶区不同植被下土壤水溶解无机碳含量及其稳定碳同位素组成特征 梁 轩, 汪智军, 袁道先, 等 (3031)
- 黄脊雷鳉越冬卵的滞育发育特性 朱道弘, 陈艳艳, 赵 琴 (3039)
- 香港巨牡蛎与长牡蛎种间配子兼容性 张跃环, 王昭萍, 闫喜武, 等 (3047)

种群、群落和生态系统

- 西藏珠穆朗玛峰国家级自然保护区鸟类群落结构与多样性 王 斌, 彭波涌, 李晶晶, 等 (3056)
- 采伐对长白山阔叶红松林生态系统碳密度的影响 齐 麟, 于大炮, 周旺明, 等 (3065)
- 胶州湾近岸浅水区鱼类群落结构及多样性 徐宾铎, 曾慧慧, 薛 莹, 等 (3074)
- 黄河口盐地碱蓬湿地土壤-植物系统重金属污染评价 王耀平, 白军红, 肖 蓉, 等 (3083)
- 不同起始状态对草原群落恢复演替的影响 杨 晨, 王 炜, 汪诗平, 等 (3092)
- 施肥梯度对高寒草甸群落结构、功能和土壤质量的影响 王长庭, 王根绪, 刘 伟, 等 (3103)
- 高寒退化草地狼毒种群株丛间格局控制机理 高福元, 赵成章 (3114)
- 藏东南色季拉山西坡土壤有机碳库研究 马和平, 郭其强, 刘合满, 等 (3122)
- 灵石山不同海拔米槠林优势种叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值与叶属性因子的相关性 王英姿 (3129)
- 西门岛人工秋茄林恢复对大型底栖生物的影响 黄 丽, 陈少波, 仇建标, 等 (3138)
- 喀斯特峰丛洼地土壤剖面微生物特性对植被和坡位的响应 冯书珍, 苏以荣, 秦新民, 等 (3148)
- 青藏高原高寒草甸植被特征与温度、水分因子关系 徐满厚, 薛 娴 (3158)

景观、区域和全球生态

近 60 年挠力河流域生态系统服务价值时空变化..... 赵 亮,刘吉平,田学智 (3169)

基于系统动力学的雏菊世界模型气候控制敏感性分析..... 陈海滨,唐海萍 (3177)

资源与产业生态

主要气候因子对麦棉两熟棉花产量的影响..... 韩迎春,王国平,范正义,等 (3185)

低覆盖度行带式固沙林对土壤及植被的修复效应..... 姜丽娜,杨文斌,卢 琦,等 (3192)

不同土地利用方式土下岩溶溶蚀速率及影响因素..... 蓝家程,傅瓦利,彭景涛,等 (3205)

农地保护的外部效益测算——选择实验法在武汉市的应用 陈 竹,鞠登平,张安录 (3213)

研究简报

温度、投饵频次对白色霞水母无性繁殖与螅状体生长的影响 孙 明,董 婧,柴 雨,等 (3222)

内蒙古达赉湖西岸地区大鸕巢穴特征和巢址选择..... 张洪海,王 明,陈 磊,等 (3233)

红外相机技术在鼠类密度估算中的应用..... 章书声,鲍毅新,王艳妮,等 (3241)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-05



封面图说: 色季拉山的长苞冷杉和高山杜鹃林——色季拉山高海拔处的植被主要有长苞冷杉、林芝云杉和高山杜鹃等,再高海拔地区则分布有高山灌丛、草甸等。长苞冷杉为我国特有种,属松科常绿乔木,分布于西藏东南部高山地带。树高可达 40m,树皮暗褐色,针叶较短;其球果圆柱形,直立。长苞冷杉的形态独特,与分布区内多种冷杉有密切的亲缘关系,和云杉、杜鹃的分布也彼此交叠。随着色季拉山体海拔的升高,区域气候对于山地土壤从黄壤至棕色森林土、直至高山草甸土的完整发育,以及对森林生态系统类型的形成都产生直接而深刻的影响。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201202250253

陈海滨,唐海萍. 基于系统动力学的雏菊世界模型气候控制敏感性分析. 生态学报, 2013, 33(10): 3177-3184.

Chen H B, Tang H P. Sensitivity analysis of climate control in the Daisyworld model based on system dynamics. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(10): 3177-3184.

基于系统动力学的雏菊世界模型气候控制敏感性分析

陈海滨^{2,3}, 唐海萍^{1,3,*}

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 西北农林科技大学经济管理学院, 杨凌 712100;

3. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘要: Lovelock 于 20 世纪 70 年代提出了著名的盖娅假说, 认为地球是一个由生物和非生物环境组成的“超级有机体”, 有能力调节自身的气候和化学组成, 使之适合于生物的生存。盖娅假说遭到了生物学家, 尤其是新达尔文主义者的强烈批评, 认为它是目的论; 随后, Lovelock 通过雏菊世界模型论证了该假说。模型中的黑雏菊和白雏菊通过反射较少或较多的太阳光来调节地球的温度。基于雏菊世界模型, 通过假设不同的初始条件——不同初始面积分配和不同的太阳光反射率组合, 运用系统动力学对雏菊世界的温度调节能力进行了敏感性分析。结果证明, 即使初始条件有差异, 雏菊世界仍能够通过自我调节机制调节系统稳定时的星球温度, 达到最适合生物生存的温度。雏菊世界模型对于初始面积分配、光照反射率组合条件不敏感。最后, 雏菊世界模型的优点在于系统分析思想和对地球系统的简化, 但是随着人类活动对地球系统影响的日益显著, 建议模型应包含更多的环境、生物变量以及反馈关系和人类活动因素, 将盖娅系统融入到自然-人类耦合的大系统中。

关键词: 盖娅假说; 雏菊世界模型; 系统动力学; 敏感性分析

Sensitivity analysis of climate control in the Daisyworld model based on system dynamics

CHEN Haibin^{2,3}, TANG Haiping^{1,3,*}

1 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing 100875, China

2 College of Economics & Management, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

3 College of Resources Science & Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: The Gaia hypothesis, proposed by James Lovelock in 1970s, claims that the earth is a superorganism consisting of both living organisms and a non-living environment. More specifically, the earth itself has the ability to regulate climate and chemistry, making environments on earth suitable for living organisms. The Gaia hypothesis was strongly criticized by biologists, especially Darwinists. In replying to the criticism, Lovelock and Watson developed a mathematical model called Daisyworld to test the hypothesis. The Daisyworld is a planet orbiting around the sun, which is populated by two different types of plants, black daisies and white daisies. The color of the daisies influences the albedo of the planet in a way that black daisies absorb more sunlight and warm the planet, while white daisies reflect more sunlight and cool the planet. Based on this model, we analyzed the temperature-regulating ability in the Daisyworld model under various initial conditions using the methods of system dynamics. The initial conditions that proposed in this paper included three sets of initial area distribution patterns between black and white daisies and three sets of sunlight albedo combinations of the two daisies. The software package we used here is Stella 9.0.2 developed by ISEE System, Inc. The simulation results showed that, although the initial conditions of the Daisyworld model were different, all temperatures, as the system settled down,

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(41030535); 十二五科技支撑资助项目(2011BAC07B01)

收稿日期: 2012-02-25; **修订日期:** 2012-08-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tanghp@bnu.edu.cn

eventually reached at 21.55 °C, a temperature close to the optimum for daisy growth. From the results we know that the Daisyworld model is insensitive to the initial conditions such as area distribution patterns and albedo combinations. While the temperature-regulating ability is insensitive to albedo combinations of the two daisies, our results showed that albedo combinations can affect the time length that the Daisyworld model needs to reach at a stable state. That is, when the albedo difference between black daisy and white daisy is smaller, the time length will be longer. Based on the simulation process and results, we further discussed the advantages and disadvantages of the Daisyworld model. We argued that simplification and systematic analysis are the advantages of the model. Through a simple feedback relationship between organisms (i. e. black and white daisies) and environment factors (i. e. temperature), the natural selection and competition between two daisies could lead to a balance of populations that tends to favor planetary habitability, without human intervention. Because of its simplification and systematic analysis, the Daisyworld model is now applied all over the world in both system engineering and environmental science. It inspires the researchers who are not used to system thinking, and changes their thinking habits forever. But this simplification has some disadvantage in the Daisyworld model. Compared with the real complicated earth system, this model is obviously too simple, which leads to a simple result. In order to get a more scientific result, we suggests that the model should include more detailed information of the earth such as more environmental variables, biological variables, feedback relationships, and human activities. The Gaia system should eventually be integrated into the more advanced Nature-Human Coupled System.

Key Words: Gaia hypothesis; Daisyworld model; system dynamics; sensitivity analysis

英国大气物理学家 J. E. Lovelock 于 20 世纪 60 年代受 NASA 邀请,帮助寻找火星上的生命痕迹。在任务完成之后,他继续思考生命维持所必需的条件:如地球表面的温度经历了 36 亿年后仍然保持相对不变,而同一时期的太阳温度却升高了 25%;地球是如何能够使大气中氧气浓度保持在 21% 左右,这个值是他认为的生命安全上限。Lovelock 认为解决这样的问题需要采用一个系统的观点,而不能由生物化学或生物地球化学等学科来解答,也不能由新达尔文主义生物学来解答,答案来自于生理学或控制论^[1]。

Lovelock 对于 Walter Cannon 描述的有关产生体内平衡的协同生理过程印象深刻。Cannon 认为,生命体努力维持其内部环境恒定不变^[2]。Lovelock 相信地球也遵循着 Cannon 的原理:岩石、草、鸟类、海洋和大气都齐力协力,像一个巨型的有机体一样运行来调控生存条件^[3]。地球这个“超级生命有机体”需要一个名字。Lovelock 的邻居,诺贝尔文学奖获得者 William Golding,推荐以古希腊大地女神命名,称之为盖娅^[1]。

提出伊始,盖娅假说的“超级生命有机体”这样略带神秘的概念遭到了科学保守主义者,尤其是新达尔文主义者的强烈批评,认为它是伪科学,是目的论。例如, Richard Dawkins 认为,“盖娅不能产生于达尔文式的生命进化,地球作为物理实体不是自然选择的单元”^[4]。为了反击对盖娅假说的批评, Lovelock 于 1983 年提出了雏菊世界模型^[5-6]。Lovelock 用简单的微分方程就揭示了,假想的世界不需要一个清晰的、公认的、可以描述其内部相互作用的数学方程就可以拥有自我平衡的性质。

在雏菊世界模型中, Lovelock 论证了光照强度不断增强时星球温度的变化情况。本文在此基础上,尝试用系统动力学方法进一步分析雏菊世界的气候条件对于不同初始面积分配、不同反射率组合条件的敏感性。一方面可以验证盖娅假说,另一方面通过探讨模型存在的不足,为下一步的模型改善以及盖娅假说的发展提供一些参考。

1 方法原理

1.1 盖娅假说

Lenton 和 Wilkinson 认为,盖娅假说的发展经历了经典的 3 个阶段:一是“它明显是错误的”;二是“它可能有些是正确的”;三是“我们都知道它是正确的”^[7]。

第一阶段 盖娅假说认为,地球有机体能调节地球系统的物理、化学成分,以使星球成为生命最优的栖息

地^[1,3]。这个阶段的盖娅假说是目的论的,因为他没有提出一个机制来解释,个体生物之间似乎需要某种秘密的共识来达成行星水平的环境自我调节^[8]。Lovelock 在其后来的文献中也承认:“20 世纪 70 年代引入的盖娅假说认为,地球的大气、海洋、气候和地壳是由生物调节处于稳定状态,并适合于生物生存。特别地,盖娅假说认为岩石和水的温度、氧化状态、酸性和其他某些方面在任何时候都保持恒定,这个自我平衡状态是由地球表面的有机体维持的。应该认识到,盖娅假说如此阐述是错误的”^[9]。

第二阶段 为了应对批评,Lovelock 引入雏菊世界模型。模型的模拟结果表明,虽然太阳辐射增强了近两倍,但是行星表面温度却能够维持在雏菊生长最优温度的几度范围之内。行星水平的温度自我调节可以产生于假定的生物个体水平的温度-增长率关系,盖娅假说不是目的论^[5-6]。但是,这仍然无法令进化生物学家满意。

第三阶段 这阶段的盖娅假说在批评与证明中不断完善,新版本的盖娅假说定义为“地球系统的物理、化学和生物组成部分可以调节星球,以维持其作为生命的栖息地”^[9]。生命有机体对气候系统有重要影响已经不再有争议^[10-11]。Lenton 在 Nature 上发文指出:“物理系统是稳定的,生物系统可不断自我增殖,因此存在一个生物生长的物理最优状态;行星自我调节的反馈机制产生于生物体的自然选择”^[12]。而进化生物学家也承认盖娅假说值得严肃思考,因为它可以解释很多重大问题^[13-16]。

当然,争议依然存在。主要原因在于复杂多变的地球系统充满了不确定性,有很多案例并不支持生物自我调节地球环境的观点^[17]。Lovelock 在《盖娅的复仇》一书中引用 William Hamilton 的话说:“正如哥白尼的发现需要牛顿来解释一样,我们也需要另一个牛顿来解释为什么达尔文的自然选择会导致一个宜居的星球”^[18]。无论如何,盖娅假说改变了科学界对自然、地球的观点,并推动了地球系统科学的发展。通过对盖娅假说的争论,促进了地质学、大气物理学、气象学、生物学等相关学科的发展,同时也促进了多学科的交叉、融合。

1.2 雏菊世界模型

为了证明盖娅假说,Lovelock 提出了一个雏菊世界的寓言。雏菊世界是一个假想的世界,它围绕着一颗辐射能量缓慢增大的恒星做轨道运动,它意图模拟太阳-地球系统。在 1983 年版的雏菊世界中,只种植着两种雏菊以代表生命形式——白雏菊和黑雏菊。白雏菊和黑雏菊通过反射较多和较少太阳光,改变着各自的局地温度,后者反过来又决定了雏菊的增长率。该模型经过模拟,追踪了当太阳辐射缓慢增强时两种雏菊的种群动态以及雏菊世界的温度变化。结果证明,在太阳辐射变化的相当大范围内(从当前辐射水平的 0.6 倍到 1.1 倍),雏菊世界的温度保持几乎恒定^[5-6]。在后来的雏菊世界模拟中,加入兔子、狐狸和其他物种。结果表明,物种数量越多,整个行星的稳定性越强;也就是说,温度调节能力越强;甚至当行星受到干扰时,系统也可以保持强健和稳定^[19]。这些发现都支持了生物多样性与地球系统稳定性存在正向关系的观点。

雏菊世界模型的优点在于它对纷繁复杂的地球系统的简化,使其成为回答“生物与环境相互作用会怎样”这类问题的杰出模型^[20]。虽然它无法解释地球内部是如何自组织的,但是它却提供了地球系统中生物与环境紧密耦合的一般经验。在雏菊世界模型出现以后的近 30 年时间里,很多文献努力通过模型的演变来证明或反对盖娅假说^[21]。进化生物学家通过引入特殊的案例来证明在真实的世界里面有些物种在干扰或破坏自我调节作用;而支持者通过引入其他案例证明地球自我调节作用的强健与稳定;当然也有很多理论研究关注的是自我调节实现与否的关键条件是什么。

当前,雏菊世界模型已经扩展到众多学科领域,包括非线性动态、生态系统与食物网、进化论、生理学、最大熵产生以及人造生命等。虽然仍然与盖娅理论紧密相关,但雏菊世界模型已经发展成为一个独立的模型^[21]。因此,在讨论雏菊世界模型与盖娅假说的关系之外,该模型也可以用于发展整合人类活动的地球系统模型的研究。

1.3 系统动力学与 Stella 软件概述

系统动力学是 20 世纪 50 年代末由美国麻省理工学院教授福雷斯特(J. W. Forrester)提出^[22-23]。它是一

种分析研究复杂反馈系统动态行为的科学方法,是系统科学的一个分支,也是一门沟通自然科学和社会科学领域的横向学科,实质上就是分析研究复杂反馈大系统的计算仿真方法。目前,它已经广泛应用于工业、经济、生态、环境等诸多学科领域^[24]。

生态系统也是一个复杂的动态系统,因此,许多生态学者认为应用系统动力学进行生态学研究将有极大潜力,并积极开展种群数量动态、大气组成变化、土地利用与土地覆盖变化等方面的推广应用工作,各类生态系统动力学模型应运而生。

Stella 软件是美国 Isee 公司于 1985 年开发的系统模拟工具。因其图形界面十分友好,在国外已成为一个构造系统模型和模拟复杂系统动态相互关系的良好工具,被广泛应用于科研、教学、管理等诸多研究领域^[25]。

2 模型假设与参数设定

2.1 模型假设

关于生物与环境条件的相互作用,雏菊世界模型假设:

(1) 生物影响环境条件 如上所述,由黑、白雏菊、裸地分布的星球影响了光的吸收率,因此影响了黑、白雏菊的局地温度和星球的温度。

(2) 环境条件反作用于生物 局地温度影响雏菊生长的速率。当局地温度接近于最适温度时,雏菊增长率最高;但是,如果局地温度太高或太低,雏菊覆盖的区域就会随时间减少。黑、白雏菊的年增长率与局地温度的关系表示为(1)式(图 1)。

$$R = 1 - 0.003265(22.5 - T)^2 \quad (1)$$

式中, R 为年增长率, T 为雏菊局地温度。

2.2 参数设定

- (1) 星球总表面积为 1000 英亩;
- (2) 雏菊衰败速率为 30%/a;
- (3) 为了简化模拟,假设到达地面的太阳辐射值恒定,为太阳常数值 70%,约等于 947.1 W/m^2 ;
- (4) 星球的反射率为:

$$A = \alpha_b \times A_b + \alpha_g \times A_g + \alpha_w \times A_w \quad (2)$$

式中, A 为星球反射率; α_b 为黑雏菊所占面积比例, A_b 为黑雏菊反射率; α_g 为裸地所占面积比例, A_g 为裸地反射率; α_w 为白雏菊所占面积比例, A_w 为白雏菊反射率。

- (5) 星球整体的太阳光吸收率:

$$\text{星球整体太阳光吸收率} = 1 - A \quad (3)$$

(6) 太阳光吸收率与星球平均温度之间的关系用下式表达:

$$\sigma(T_e + 273)^4 = SL(1 - A) \quad (4)$$

式中, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$, T_e 为星球平均温度; SL 为到达地面的太阳辐射; A 为星球平均反射率。其关系如图 2 所示。

(7) 由于太阳光吸收率的不同,导致黑雏菊局部升温,而白雏菊局部降温:

$$T_{b,w} = q'(A - A_{b,w}) + T_e \quad (5)$$

式中, $T_{b,w}$ 表示黑雏菊或白雏菊的局地温度; A 为星球

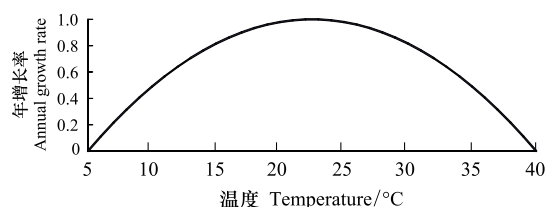


图 1 黑、白雏菊年增长率-温度关系图

Fig. 1 Annual growth rate-temperature relationship of black and white daisy

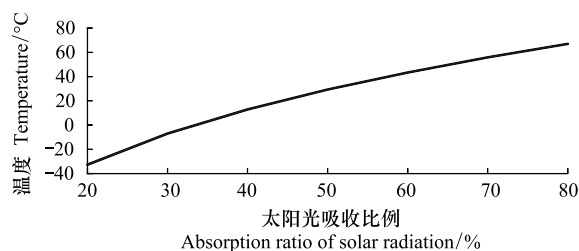


图 2 星球平均温度-太阳光吸收比率关系图

Fig. 2 Planet's average temperature-sunlight absorption ratio relationship

平均反射率; $A_{b,w}$ 表示黑雏菊或白雏菊的反射率; T_e 表示星球的平均温度。

根据 Lovelock 的模型, q' 的大小表示较高温度区域向较低温度区域的热能传导能力, 在这里 q' 取 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(8) 星球的裸地面积对于雏菊的现实增长率有限制作用, 以增长率衰减乘数来表示这个限制作用:

$$\text{增长率衰减乘数} = \text{裸地面积} / \text{星球总面积}$$

2.3 雏菊世界因果回路图

根据上述模型假设与参数关系, 绘出雏菊世界因果回路图。图 3 中共有 8 个反馈回路, 白雏菊由其中 4 个反馈回路组合控制, 黑雏菊由另外 4 个反馈回路组合控制。

白雏菊的 4 个反馈回路分别是与分布面积有关的 2 个正、负反馈回路; 另外白雏菊的增长率受剩余空地面积负反馈回路的影响, 同时也受星球平均反射率负反馈回路的影响。星球平均反射率是由黑、白雏菊的反射率与覆盖面积决定的。

黑雏菊的 4 个反馈回路中, 2 个也是与分布面积有关的正、负反馈回路; 另外 2 个是与增长率相关的负反馈回路。

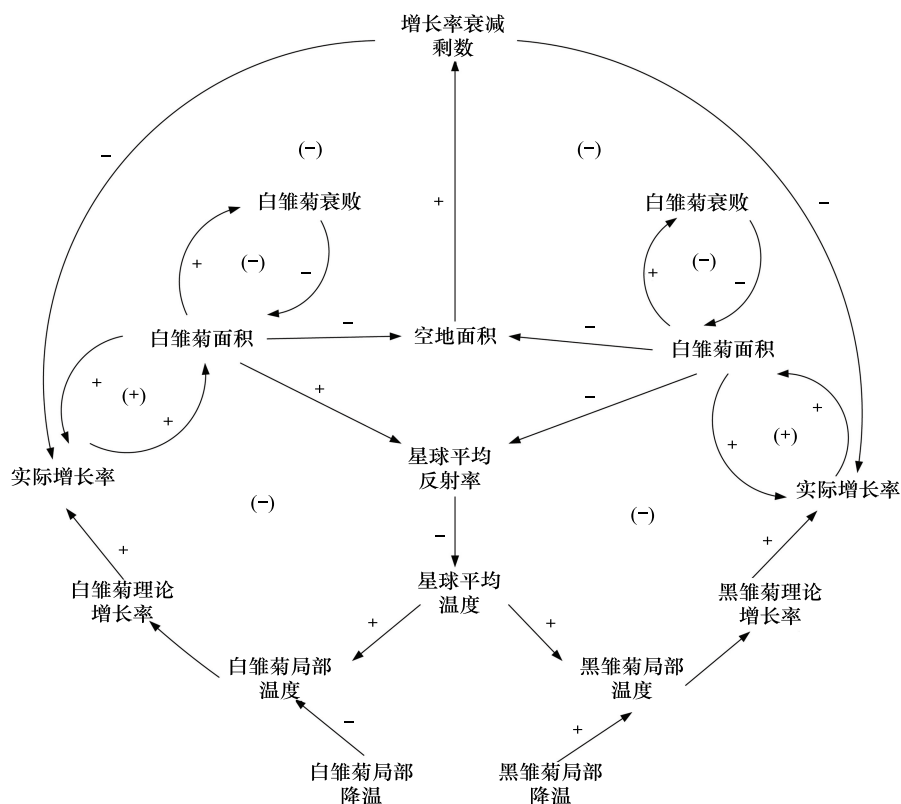


图 3 雏菊世界因果反馈回路图(改自安德鲁·福特^[26])

Fig. 3 Causality feedback loop diagram of Daisyworld(revised from Fort, 2011^[26])

3 敏感性分析

3.1 初始面积的敏感性分析

假设不同的地面覆盖物的反射率分别为: 白雏菊 0.75; 裸地 0.5; 黑雏菊 0.25。

在 Stella 软件环境下, 模拟不同初始面积分配条件下的雏菊世界温度变化情况, 得到结果如图 4 所示。结果显示, 在 A、B、C 三种初始面积组合条件下, 虽然起始星球平均温度不同, 但达到稳定状态后的星球平均温度均为 $21.55\text{ }^{\circ}\text{C}$, 表明雏菊世界稳定时的星球平均温度对于初始面积分配不敏感。

3.2 反射率的敏感性分析

在 Stella 软件环境下, 模拟 3 组不同地面覆盖物反射率条件下的雏菊世界温度变化情况, 得到结果如图

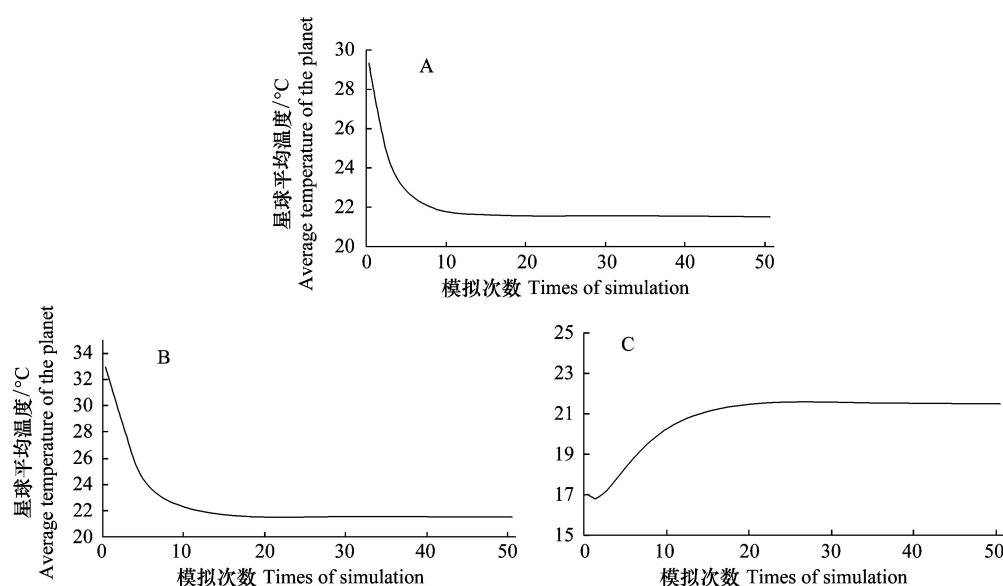


图4 雏菊世界温度调节初始面积敏感性分析

Fig. 4 Initial area sensibility analysis of Daisyworld's temperature regulation

假设 α_w 代表白雏菊的初始面积, α_b 代表黑雏菊的初始面积, α_g 代表裸地的初始面积, 则图中, A 的面积组合为: $\alpha_w = 250$, $\alpha_b = 250$, $\alpha_g = 500$ (单位: 英亩); B 的面积组合为: $\alpha_w = 500$, $\alpha_b = 400$, $\alpha_g = 100$; C 的面积组合为: $\alpha_w = 100$, $\alpha_b = 400$, $\alpha_g = 500$

5: 在 A、B、C3 种反射率组合条件下, 虽然起始星球平均温度不同, 但达到稳定状态后的星球平均温度均为 21.55 °C, 表明雏菊世界稳定时的星球温度对于地面覆盖物反射率条件不敏感。

值得一提的是, 在 C 反射率组合下, 星球平均温度经过约 500 次模拟 (即约 500a) 才达到稳定状态, 而其他两种组合只需要几十次模拟就可以达到稳定状态。究其原因, 是因为 C 组合中, 黑、白雏菊的反射率与裸地差别不大, 导致黑、白雏菊面积变化相对较慢。表明, 虽然雏菊世界稳定状态时的星球温度对于地面覆盖物反射率条件不敏感, 但是覆盖物反射率组合却影响雏菊世界达到稳定状态的时间。

4 讨论

本文基于雏菊世界模型, 运用系统动力学的方法, 通过 stella 软件求解不同初始面积分配与反射率组合条件下星球温度的稳定值, 用简单且易于操作的方法论证了盖娅假说。结果证明, 雏菊世界的星球温度对于初始面积分配、光照反射率条件均不敏感, 在不同的初始面积分配以及不同的反射率条件下, 雏菊世界稳定状态时最终都达到 21.55 °C。同时, 通过模拟发现, 星球覆盖物反射率组合影响星球达到稳定状态所需要的时间。

雏菊世界模型的优点在于通过简单的反馈关系揭示了在没有人为控制的情况下, 地球系统水平的环境条件可以通过生物个体水平的自然选择与竞争实现自我调节, 保持稳定, 从而使环境条件有利于生物的群体生长。这对于那些没有受过系统分析训练, 或不习惯系统思考的人, 确实是个很好的启示, 能够改变人们的思维习惯。因此, 雏菊世界模型现在被广泛地用做教学案例。

然而, 相比复杂的真实地球系统, 雏菊世界模型还是过于简单。综合体现在以下 5 个方面:

(1) 在雏菊世界原型中, 太阳光照强度是不断增强的, 但在本研究中, 为了简化模拟, 假定太阳辐射值为恒定。因此, 本研究没有模拟太阳辐射强度变化对星球温度的长期 (几十亿年) 影响。

(2) 只有温度一个环境变量。现实世界中, 对生物有影响的环境变量还有水文、地形、地貌、养分、大气组成等, 这些变量模型都没有包含进去。

(3) 调节环境变量的生物只考虑非常简单的黑、白雏菊, 不包含其他植物、动物、微生物。在现实世界中, 黑雏菊很少见, 而且单黑、白两种雏菊很难代表所有植物对光的反映, 更不用说用雏菊来代表动物和微生物。而从调节大气温度的角度考虑, 微生物所起的作用更关键。即使修正后的模型把兔子、狐狸等考虑进去, 但比

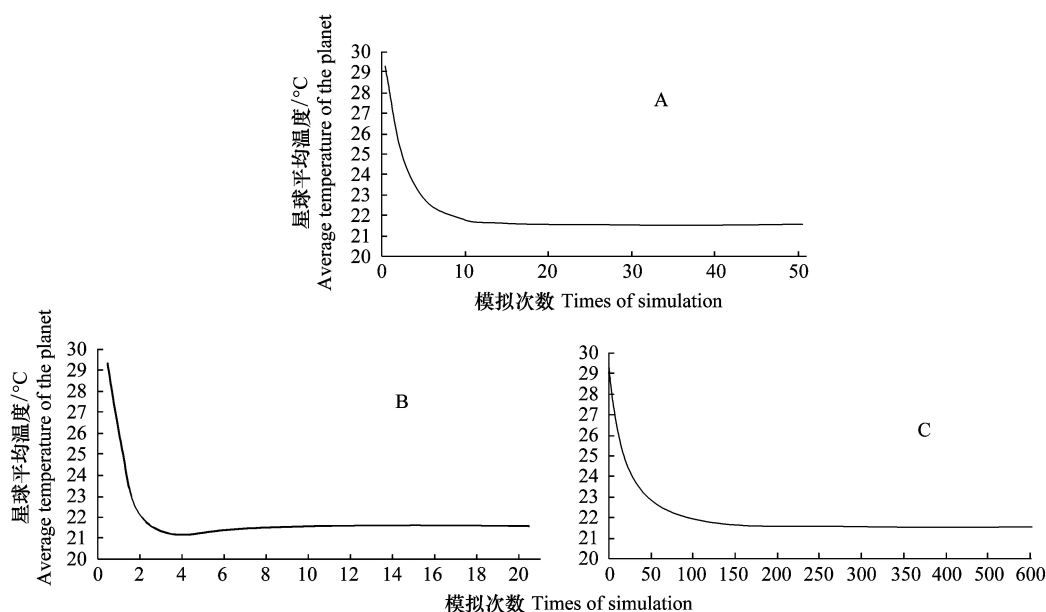


图5 雏菊世界温度调节反射率敏感性分析

Fig.5 Albedo sensibility analysis of Daisyworld's temperature regulation

设 A_w 为白雏菊反射率; A_b 为黑雏菊反射率; A_g 为裸地反射率,则图中,A 的反射率组合为: $A_w = 0.75$, $A_g = 0.5$, $A_b = 0.25$;B 的反射率组合为: $A_w = 0.9$, $A_g = 0.5$, $A_b = 0.1$;C 的反射率组合为: $A_w = 0.6$, $A_g = 0.5$, $A_b = 0.4$

初始面积假设为:白雏菊 250 英亩;裸地 500 英亩;黑雏菊 250 英亩

起真实地球系统的复杂性,显然远远不够。

(4)生物与环境反馈关系过于简单。雏菊模型只包含一个温度-生长的反馈关系,现实世界中则存在着多种环境变量与不同的生物之间的高度复杂的反馈关系。生物的某些行为,例如呼吸、新陈代谢、应激反应、生殖等,显然与环境变化也有重要关系。另外,生物多样性与环境调节功能的反馈关系也是未来需要进一步研究的焦点问题。

(5)雏菊模型只考虑生物-环境关系,没有考虑人为活动的影响。当前,人类活动显著改变着地球陆地、海洋、大气、岩石等圈层,并影响生物组成、结构与分布。在这样的背景下,盖娅假说如果不考虑人为因素的影响,其得出的结论往往与现实相悖。例如,盖娅假说预测大气组成将受生物过程的调节,并保持适合生物生存的水平。但自从工业革命以来,地球大气 CO_2 浓度已经上升了 35%,生物圈吸收 CO_2 的速度却只提高了 2%^[27]。上述现象,Lovelock 在《盖娅的复仇》和《盖娅消失的面孔:最后的警告》中也提到了,他认为“地球即将进入一个长达 10 万年的病态发热期”^[18,28]。

因此,如前演示,这样一个极度简化的雏菊世界模型必然呈现简单的系统行为。由于盖娅假说主要考虑生物-环境的关系,没有将人类活动考虑进去,最近全球变化的许多事实都在盖娅假说的讨论范围之外。为了使模型与现实世界更相符,迫切需要设计更为精细的模型,包含更多的环境、生物变量以及反馈关系和人类活动因素,最终能够将盖娅系统融入到自然-人类耦合的大系统中。

References:

- [1] Lovelock J E. Gaia, A New Look at Life on Earth. Oxford: Oxford University Press, 1979.
- [2] Cannon W B. The Wisdom of the Body. New York: W. W. Norton & Company, Inc, 1932.
- [3] Lovelock J E, Margulis L. Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis. Tellus, 1973, 26(1/2): 2-10.
- [4] Dawkins R. The Extended Phenotype: The Long Reach of the Gene (Popular Science). Revised Edition. Oxford: Oxford University Press, 1999: 236-236.
- [5] Lovelock J E. Daisy World-a cybernetic proof of the Gaia hypothesis. The Co-evolution Quarterly Summer, 1983: 66-72.

- [6] Watson A J, Lovelock J E. Biological homeostasis of the global environment; the parable of Daisyworld. *Tellus B*, 1983, 35B(4): 284-289.
- [7] Lenton T M, Wilkinson D M. Developing the Gaia Theory: *a response to the criticisms of Kirchner and Volk*. *Climatic Change*, 2003, 58(1/2): 1-12.
- [8] Doolittle W F. Is Nature Really Motherly? *Spring: The CoEvolution Quarterly*, 1981: 58-63.
- [9] Lovelock J E. *The Ages of Gaia: A Biography of Our Living Earth*, 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 1995: 213-216.
- [10] Kirchner J W. The Gaia Hypothesis: fact, theory, and wishful thinking. *Climatic Change*, 2002, 52(4): 391-408.
- [11] Lawton J. Earth system science. *Science*, 2001, 292(5524): 1965-1965.
- [12] Lenton T M. Gaia and natural selection. *Nature*, 1998, 394(6692): 439-447.
- [13] Hamilton W D. Ecology in the large: Gaia and Genghis Khan. *Journal of Applied Ecology*, 1995, 32(3): 451-453.
- [14] Wilkinson D M. Is Gaia really conventional ecology? *Oikos*, 1999, 84(3): 533-536.
- [15] Cohen J E, Rich A D. Interspecific competition affects temperature stability in daisyworld. *Tellus*, 2000, 52(3): 980-984.
- [16] Dagg J L. Unconventional bed mates; Gaia and the selfish gene. *Oikos*, 2002, 96(1): 182-186.
- [17] Kirchner J W. The Gaia Hypothesis: conjectures and refutations. *Climatic Change*, 2003, 58(1/2): 21-45.
- [18] Lovelock J E. *The Revenge of Gaia*. New York: Basic Books, 2006.
- [19] Lovelock J E. A numerical model for biodiversity. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 1992, 338(1286): 383-391.
- [20] Lenton T M, Lovelock J E. Daisyworld revisited: quantifying biological effects on planetary self-regulation. *Tellus b*, 2001, 53(3): 288-305.
- [21] World A J, Ackland G J, Dyke J G, Williams W T P, Lenton T M. Daisyworld: a review. *Reviews of Geophysics*, 2008, 46, RG1001, doi: 10.1029/2006RG000217.
- [22] Forrester J W. Industrial dynamics; a major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*, 1958, 36(4): 37-66.
- [23] Forrester J W. *Industrial Dynamics*. Cambridge Mass: MIT Press, 1961.
- [24] Wang Q F. *System Dynamics, Revised Edition*. Beijing: Tsinghua University Press, 1994.
- [25] Richmond B. *An Introduction to Systems Thinking*. Isee Systems, ISBN 0-9704921-1-1.
- [26] Andrew F. *Modeling the Environment: An Introduction To System Dynamics Modeling Of Environmental Systems*, 2nd edition. Translated by Tang H P, Shi P J. Beijing: Science Press, 2011.
- [27] Schimel D S, House J I, Hibbard K A, Bousquet P, Ciais P, Peylin P, Braswell B H, Apps M J, Baker D, Bondeau A, Canadell J, Churkina G, Cramer W, Denning A S, Field C B, Friedlingstein P, Goodale C, Heimann M, Houghton R A, Melillo J M, Moore B III, Murdiyarso D, Noble I, Pacala S W, Prentice I C, Raupach M R, Rayner P J, Scholes R J, Steffen W L, Wirth C. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature*, 2001, 414(6860): 169-172.
- [28] Lovelock J E. *The Vanishing Face of Gaia: A Final Warning*. New York: Basic Books, 2009.

参考文献:

- [24] 王其藩. 系统动力学(修订版). 北京: 清华大学出版社, 1994.
- [26] 安德鲁·福特著. 环境模拟-环境系统的系统动力学模型导论(第二版). 唐海萍, 史培军译. 北京: 科学出版社, 2011: 265-277.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 10 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Soil and Water Conservation of County Changting, Fujian Province

- Spatiotemporal dynamics of the bare soil cover in the Hetian basinal area of County Changting, China, during the past 35 years XU Hanqiu (2946)
- Analysis of fractional vegetation cover change and its impact on thermal environment in the Hetian basinal area of County Changting, Fujian Province, China XU Hanqiu, HE Hui, HUANG Shaolin (2954)
- Dynamic of soil organic carbon pool after restoration of *Pinus massoniana* in eroded red soil area HE Shengjia, XIE Jinsheng, ZENG Hongda, et al (2964)
- RUSLE-based quantitative study on the soil erosion of the Hetian basin area in County Changting, Fujian Province, China YANG Ranran, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2974)
- Land use changes in a reddish soil erosion region of Southern China: Hetian Basin, County Changting LIN Na, XU Hanqiu, HE Hui (2983)
- Remote-sensing estimate of the carbon storage of subtropical *Pinus massoniana* forest in the Hetian Basin of County Changting, China HUANG Shaolin, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2992)
- Mutation of soil fertility quality in the red eroded area of southern China: A case study in Changting County, Fujian Province CHEN Zhiqiang, CHEN Zhibiao (3002)

Frontiers and Comprehensive Review

- The temperature dependence of soil organic matter decomposition and CO₂ efflux: a review SHEN Zhengtao, SHI Bin, WANG Baojun, et al (3011)
- Progress and prospects on cyanobacteria bloom-forming mechanism in lakes MA Jianrong, DENG Jianming, QIN Boqiang, et al (3020)

Autecology & Fundamentals

- Characteristics of concentrations and carbon isotope compositions of dissolved inorganic carbon in soil water under varying vegetations in karst watershed LIANG Xuan, WANG Zhijun, YUAN Daoxian, et al (3031)
- The traits of diapause development of overwinter eggs in *Rammeacris kiangsu* Tsai (Orthoptera: Arcypteridae) ZHU Daohong, CHEN Yanyan, ZHAO Qin (3039)
- Analysis of gamete compatibility between *Crassostrea hongkongensis* and *C. gigas* ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (3047)

Population, Community and Ecosystem

- Avifaunal community structure and species diversity in the Mt. Qomolangma National Nature Reserve, Tibet, China WANG Bin, PENG Boyong, LI Jingjing, et al (3056)
- Impact of logging on carbon density of broadleaved-Korean pine mixed forests on Changbai Mountains QI Lin, YU Dapao, ZHOU Wangming, et al (3065)
- Community structure and species diversity of fish assemblage in the coastal waters of Jiaozhou Bay XU Binduo, ZENG Huihui, XUE Ying, et al (3074)
- Assessment of heavy metal contamination in the soil-plant system of the *Suaeda salsa* wetland in the Yellow River Estuary WANG Yaoping, BAI Junhong, XIAO Rong, et al (3083)
- The effects of different original state on grassland community restoration succession YANG Chen, WANG Wei, WANG Shiping, et al (3092)
- Effects of fertilization gradients on plant community structure and soil characteristics in alpine meadow WANG Changting, WANG Genxu, LIU Wei, et al (3103)
- Pattern-controlling mechanics of different age classes of *Stellera chamaejasme* population in degraded alpine grassland GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (3114)

- Soil organic carbon pool at the western side of the sygera mountains, southeast Tibet, China MA Heping, GUO Qiqiang, LIU Heman, et al (3122)
- Correlation between foliar $\delta^{13}\text{C}$ and foliar trait factors of dominant species in *Castanopsis carlessii* forests in Lingshishan National Forest Park WANG Yingzi (3129)
- Influences of artificial *Kandelia obovata* mangrove forest rehabilitation on the macrobenthos in Ximen Island HUANG Li, CHEN Shaobo, CHOU Jianbiao, et al (3138)
- Responses of soil microbial properties in soil profile to typical vegetation pattern and slope in karst-cluster depression area FENG Shuzhen, SU Yirong, QIN Xinmin, et al (3148)
- Correlation among vegetation characteristics, temperature and moisture of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (3158)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The temporal and spatial variation of the value of ecosystem services of the Naoli River Basin ecosystem during the last 60 years ZHAO Liang, LIU Jiping, TIAN Xuezhi (3169)
- Sensitivity analysis of climate control in the Daisyworld model based on system dynamics CHEN Haibin, TANG Haiping (3177)
- Resource and Industrial Ecology**
- Analysis of key climatic factors influencing on seed cotton yield in cotton-wheat double cropping HAN Yingchun, WAN Guoping, FAN Zhengyi, et al (3185)
- The effect of low-covered sand-fixing forest belts on restoration of the soil and vegetation JIANG Lina, YANG Wenbin, LU Qi, et al (3192)
- Dissolution rate under soil in karst areas and the influencing factors of different land use patterns LAN Jiacheng, FU Wali, PENG Jingtao, et al (3205)
- Measuring external benefits of agricultural land preservation: an application of choice experiment in Wuhan, China CHEN Zhu, JU Dengping, ZHANG Anlu (3213)
- Research Notes**
- Effect of temperature and feeding frequency on asexual reproduction and polyp growth of the scyphozoan *Cyanea nozakii* Kishinouye SUN Ming, DONG Jing, CHAI Yu, LI Yulong (3222)
- The research on *Buteo hemilasius* nest-site selection on the west bank of Dalai Lake in Dalai Lake Natural Reserve ZHANG Honghai, WANG Ming, CHEN Lei, et al (3233)
- Estimating rodent density using infrared-triggered camera technology ZHANG Shusheng, BAO Yixin, WANG Yanni, et al (3241)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 高玉葆

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 10 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 10 (May, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元