

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

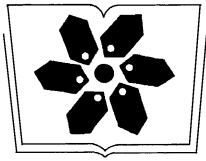
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第6期 Vol.31 No.6 **2011**

中国生态学学会
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 31 卷 第 6 期 2011 年 3 月 (半月刊)

目 次

臭氧胁迫对水稻生长以及 C、N、S 元素分配的影响	郑飞翔,王效科,侯培强,等 (1479)
高含氮稻田深层土壤的氨氧化古菌和厌氧氨氧化菌共存及对氮循环的影响	王 雨,祝贵兵,王朝旭,等 (1487)
气候年际变率对全球植被平均分布的影响	邵 璞,曾晓东 (1494)
模拟升温 and 放牧对高寒草甸土壤有机碳氮组分和微生物生物量的影响	王 蓓,孙 庚,罗 鹏,等 (1506)
广州城区生态安全岛典型植物群落结构及物种多样性	莫 丹,管东生,黄康有,等 (1515)
中亚热带湿地松人工林生长过程	马泽清,刘琪璟,王辉民,等 (1525)
潜流人工湿地中植物对氮磷净化的影响	刘树元,阎百兴,王莉霞 (1538)
模拟氮沉降对两种竹林不同凋落物组分分解过程养分释放的影响	涂利华,胡庭兴,张 健,等 (1547)
苔藓植物对贵州丹寨汞矿区汞污染的生态监测	刘荣相,王智慧,张朝晖 (1558)
三峡库区泥、沙沉降对低位狗牙根种群的影响	李 强,丁武泉,朱启红,等 (1567)
上海崇明东滩互花米草种子产量及其萌发对温度的响应	祝振昌,张利权,肖德荣 (1574)
栲-木荷林凋落叶混合分解对土壤有机碳的影响	张晓鹏,潘开文,王进闯,等 (1582)
荒漠化对毛乌素沙地土壤呼吸及生态系统碳固持的影响	丁金枝,来利明,赵学春,等 (1594)
黄土丘陵沟壑区小流域土壤有机碳空间分布及其影响因素	孙文义,郭胜利 (1604)
种间互作和施氮对蚕豆/玉米间作生态系统地上部和地下部生长的影响	李玉英,胡汉升,程 序,等 (1617)
测墒补灌对冬小麦氮素积累与转运及籽粒产量的影响	韩占江,于振文,王 东,等 (1631)
植被生化组分光谱模型抗土壤背景的能力	孙 林,程丽娟 (1641)
北方两省农牧交错带沙棘根围 AM 真菌与球囊霉素空间分布	贺学礼,陈 程,何 博 (1653)
基于水源涵养的流域适宜森林覆盖率研究——以平通河流域(平武段)为例	朱志芳,龚固堂,陈俊华,等 (1662)
黑龙江大兴安岭呼中林区火烧点格局分析及影响因素	刘志华,杨 健,贺红士,等 (1669)
大兴安岭小尺度草甸火燃烧效率	王明玉,舒立福,宋光辉,等 (1678)
长江口中华鲟自然保护区底层鱼类的群落结构特征	张 涛,庄 平,章龙珍,等 (1687)
骨顶鸡等游禽对不同的人为干扰的行为响应	张微微,马建章,李金波 (1695)
光周期对白头鹇体重、器官重量和能量代谢的影响	倪小英,林 琳,周菲菲,等 (1703)
应用稳定同位素技术分析华北部分地区第三代棉铃虫虫源性质	叶乐夫,付 雪,谢宝瑜,等 (1714)
西花蓟马对蔬菜寄主的选择性	袁成明,郅军锐,曹 宇,等 (1720)
基于 Cyt b 基因序列分析的松毛虫种群遗传结构研究	高宝嘉,张学卫,周国娜,等 (1727)
沼液的定价方法及其应用效果	张昌爱,刘 英,曹 曼,等 (1735)
垃圾堆肥基质对不同草坪植物生态及质量特征的影响	赵树兰,廉 菲,多立安 (1742)
五氯酚在稻田中的降解动态及生物有效性	王诗生,李德鹏 (1749)
专论与综述	
景观遗传学:概念与方法	薛亚东,李 丽,吴巩胜,等 (1756)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 284 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 31 * 2011-03	



封面图说:美丽优雅的新疆夏尔西里森林草地原始景观。夏尔西里国家级自然保护区建立在新疆博乐北部山区无人干扰的中哈边境上,图中雪地云杉为当地的优势树种。

彩图提供:国家林业局陈建伟教授 E-mail: cites.chenjw@163.com

景观遗传学: 概念与方法

薛亚东¹, 李丽^{2,*}, 吴巩胜², 周跃^{1,2}

(1. 昆明理工大学环境科学与工程学院, 昆明 650093; 2. 云南财经大学全球变化与流域管理中心, 昆明 650221)

摘要: 全球变化下的物种栖息地丧失和破碎化给生物多样性保护带来了新的问题和挑战, 生物多样性保护必须由单纯的物种保护上升到栖息地景观的保护。景观遗传学是定量确定栖息地景观特征对种群遗传结构影响的一门交叉学科, 在生物保护及自然保护区管理方面有着巨大的潜力。从生物多样性保护的角度评述了景观结构与遗传多样性的关系, 介绍了景观遗传学的基本概念, 研究尺度和方法, 并对景观遗传学当前的研究焦点及面临的挑战做了总结。

关键词: 景观遗传学; 生物多样性; 概念; 方法

Concepts and techniques of landscape genetics

XUE Yadong¹, LI Li^{2,*}, WU Gongsheng², ZHOU Yue^{1,2}

1 Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China

2 Global Change and River Management Center, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China

Abstract: Biodiversity conservation is becoming more challenging and imminent due to rapid habitat loss and fragmentation under ever growing global natural resource demanding. Habitat loss and fragmentation can lower migration rate between populations of a species, thereby reducing gene flow and genetic variability, leading to increased risk of extinction. Because of the relationship between genetic diversity and landscape characters, biodiversity conservation should involve the study of landscape characteristics and their changes. Thus, conservation efforts should not only focus on single species but also should consider all components of its habitats. We here discussed the relationship between landscape structure and genetic diversity, and outlined the scale, major concepts and techniques of landscape genetics.

Landscape genetics is the interdisciplinary of population genetics, landscape ecology, and spatial statistics. It is used to quantify the effects of landscape characters on population genetic structures. Results from such studies may have great implications for biodiversity conservation and reserve management. There are five major research categories: (1) quantifying influence of landscape variables on genetic variation; (2) identifying barriers to gene flow; (3) identifying source-sink dynamics and movement corridors; (4) understanding the spatial and temporal scale of ecological processes; and (5) testing species-specific ecological hypotheses. Nowadays, landscape genetics is becoming a popular research area, because it opens the possibility to investigate ecological processes through genetic data and to analyses how these processes operate in the real world. Landscape genetics have heuristic, as well as practical, values in encouraging landscape ecologists to think more about biological processes rather than spatial patterns, and in encouraging population geneticists to consider the quality of a landscape instead of mere spatial distance. The use of molecular genetic is a new research method in testing landscape ecological hypotheses.

It is new to use molecular genetic data to test specific landscape ecological hypotheses. This paper presented some suggestions for landscape ecologists in conducting their researches on landscape genetics: (1) do not confound neutral and adaptive genetic variation; (2) do not confound recent and historic gene flow; (3) test hypothesis and make it a truly landscape-related hypothesis; (4) check whether suitable genetic markers already exist or can easily be developed. The

基金项目: 国家科技支撑计划子专题资助项目(2007BAC03A08-5); 林业科技支撑计划子专题资助项目(2008BADB0B0203-1)

收稿日期: 2010-04-15; **修订日期:** 2011-01-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lilyzu@gmail.com

paper also explained to population geneticists the wealth of analyses that can be done with landscape ecological data, and then made these suggestions: (1) a landscape approach should go beyond testing the effect of distance; (2) disturbance and landscape change can be incorporated into the study design; (3) simulation model may help establish a mechanistic link; (4) the spatial and temporal variability of site conditions may be as important for explaining quantitative traits as are differences in their means.

Under the influence of social and economic development, natural ecosystems are increasingly threatened by anthropogenic disturbances, such as habitat degradation, climatic changes, and invasive species etc. It is believed that landscape genetics will bridge researchers from micro- to macro-ecology, and it is conducive to articulation between academic arena and natural resource management community. The current focus of the research is landscape connectivity combining with genetic data. Interdisciplinary communication should be encouraged and facilitated in the study process.

Key Words: landscape genetics; biodiversity; concept; technique

在全球变化的背景下,不断加剧的物种栖息地丧失和破碎化给生物多样性保护带来了新的问题和挑战。生境丧失及破碎化使斑块面积减少和空间隔离度增加,同时导致种群遗传多样性水平的降低及遗传分化的增加,当种群被孤立到不同的斑块,基因交流受阻,种群遗传连通性的降低就会导致这些种群极易灭绝^[1-2]。生境丧失及破碎化已成为生物多样性最主要的威胁之一。遗传多样性是生物多样性的基础,代表着物种适应环境变异的能力。由于物种遗传多样性水平与景观特征的质量密切相关,生物多样性保护必须对物种栖息地景观及环境的改变加以考虑。

人们已逐渐认识到生物多样性保护必须由单纯的物种保护上升到其栖息地景观的保护,但如何将景观尺度的研究与遗传、种群、群落等各层次生物多样性的研究联系起来,仍缺少一个有力的工具。由景观生态学和种群遗传学结合而成的景观遗传学,很好的将景观尺度的研究与遗传多样性联系起来,在定量确定栖息地景观特征对种群遗传结构的影响方面是一个有力的工具,并且在生物多样性保护和自然保护区管理方面有很大的潜力。景观遗传学已成为当前相关科学领域研究的一个趋势,吸引了众多研究者的注意,因为它提供了一个可能性,即通过利用遗传数据来研究一个生态过程,并且通过对景观生态数据的评估来分析这一生态过程在现实世界的运行。本文通过对景观遗传学的基本概念和方法的总结,进一步探讨了景观遗传学当前的研究焦点及面临的挑战,为我国利用景观遗传学这一学科开展生物多样性保护及自然保护区管理研究工作提供一定的参考。

1 景观结构与遗传多样性

遗传多样性代表着物种适应环境变异的能力,是生物多样性的基础。种群遗传结构作为进化上具有重要意义的单元,是生物多样性保护的基本单元^[3]。就个体而言,基因多样性被认为与大多数物种适合度呈正相关,当某一物种的基因多样性消失后,就再不可能恢复了,而当基因多样性降至某一阈值后,近交衰退导致物种“涡旋”式灭绝则难以避免^[4]。

遗传多样性水平的高低与种群适应性和对环境改变响应的进化能力有直接关系^[5]。栖息地斑块面积,质量和连通性的改变都会影响到个体的迁移及扩散的成功。因此,景观组分的变化是威胁局部种群长期生存的主要因素^[6-8]。景观破碎化对种群遗传结构的影响体现在:(1)在小种群中,由于个体数目少,遗传漂变的作用将比较突出;(2)种群内近交将增大;(3)种间隔离增大,影响种群间基因流。以上3种遗传后果将对种群的遗传多样性、适合度和种群分化有着深刻影响^[9-10]。考虑环境改变的适应性对策已成为生物多样性保护的一个重要议题,而综合考虑景观尺度研究与遗传多样性的景观遗传学正是在这一背景下产生的。

2 景观遗传学

景观遗传学是在最近才被定义为一门独立的研究领域,其目的在于通过研究遗传与环境变化之间的相互作用来进一步深入对基因流和局部适应性的了解^[11]。景观遗传学是一门融合了种群遗传学,景观生态学和

空间统计学的新的研究领域,研究者可以通过结合高分辨率的遗传标记和空间数据,利用多种统计方法来评价景观特征在遗传多样性和种群格局形成过程中所起的作用^[12]。

景观遗传学旨在提供景观特征和微进化过程之间相互作用(基因流,遗传漂变和选择)的信息,同时帮助确定阻断种群间基因流的隐藏边界,和孤立种群间的二次接触^[13],其核心问题是景观空间异质性与种群空间遗传结构及种群进化之间的关系。景观遗传学能量化研究景观结构、配置、基质对基因流、空间遗传变异的影响^[14],其研究内容可以归结为5大类:(1)定量研究景观要素和景观格局对遗传变异的影响;(2)辨识基因流中的障碍因素;(3)理解源汇动态机理、生境质量变异和廊道设计;(4)理解生态过程时空尺度;(5)验证种群生态假说^[12]。

景观遗传学的典型应用包括动植物流行病调查和风险评估、生物多样性变化的微观机理和管理策略的规划设计。分子水平上的微观分析手段与功能强大的景观生态学宏观统计工具结合,促进了景观遗传学的飞速发展,并且对理解景观和环境对基因流、种群结构和适应有很大帮助。但它本身不是目的,我们可以借助景观遗传学更好地描述空间遗传格局,并探索造成这种格局的过程,为基因及物种等的宏观管理提供科学依据^[14]。

景观遗传学有利于人们了解在种群及个体水平上地理及环境特征对遗传变异的影响,并且对生态学、生物演变和保护有重要意义^[15]。生物保护学家及管理者关注的是种群间的自然阻隔,要确定进化重要单元,管理单元及保护单元就必须依赖于探测种群的细分^[16-17]。因此,不管是研究者或自然资源管理者都可以借助景观遗传学这一工具。

3 景观遗传学研究的时空尺度

结合了景观生态学和种群遗传学的景观遗传学是从景观的尺度进行遗传多样性层次上的研究。不同于生物地理学主要研究较大的时空尺度上的物种多样性格局^[18],景观遗传学能在一个更好的分类水平上研究不同地理尺度的种群亚结构^[19]。收集于更精确尺度上的景观遗传学数据,有助于了解空间上产生遗传结构的微进化过程。

景观遗传学研究需要确定适当的时空尺度,但是当前存在的一个挑战是景观与遗传数据时空尺度上的匹配。遗传格局是历史和当代相互作用的融合,而所用的景观数据通常只反映当代的结构,却被用来解释历经几十年,上百年乃至千年所形成的遗传格局。因此,研究者需要选择合适的遗传标记,找出使景观与遗传数据匹配的有效方法,并且辨别历史影响所起的作用^[20]。

种群空间遗传格局的形成是一个复杂的过程,历史的景观因素和当代的景观因素在空间遗传格局的形成过程中起着不同的作用。Pavlacky^[21]通过重建历史的景观,使之与遗传数据相匹配,定量描述了动态的景观,即历史的和当代不同的景观异质性对一种雨林鸟遗传连通性的影响。当代景观的变化是影响迁移率的主要因素,欧洲殖民以前的景观异质性是促进基因流的,但是当代森林的退化正成为雨林鸟扩散的重要障碍。

4 景观遗传学的研究方法 with 焦点

综合当前的景观遗传学研究,景观遗传学研究有两个关键步骤:一是探测种群遗传的不连续性,即种群空间遗传格局的确定;二是检测种群遗传不连续性与景观或环境特征不连续性的关联^[15]。探测遗传的不连续性有助于生物学家和生态学者理解个体的迁移及生物接合体对种群遗传结构的影响,对基因流的理解则是确定形成或阻止局部适应因素的基础^[22-23]。

4.1 确定空间遗传格局

在对研究对象进行采样后,首先使用遗传学和统计学工具来确定空间遗传格局。确定空间遗传格局的统计方法包括 Mantel's 检验和回归分析;空间自相关分析;贝叶斯聚类方法;多元分析和合成图;“Monmonier's algorithm”计算几何学算法和溯源的方法。

遗传分异和地理距离间的 Mantel's 检验用于检验个体间距离导致隔离格局的存在^[24]。空间自相关分析可以检验在一个位置所观测到的个体基因型是否由相邻位置的个体基因型所决定。并且帮助确定渐变群格

局。虽然空间自相关分析能确定空间格局的尺度,但却不能确定遗传不连续性的特殊位置(如河流,山脉等)^[25]。贝叶斯聚类方法起源于传统的归类检验,通过使用个体多位点基因型将个体归于种群之中,并以种群边界位置的最小假设来确定种群。但要对未知起源的个体归类则需要先对目标种群进行采样^[26]。而使用多元分析的主成分分析方法总结了研究区域内多位点的所有变化,再基于 PAC 的主要成分插值成合成图。这种方法并不能检验空间格局的存在,但对有关的空间格局有深入的了解。基于“Monmonier's algorithm”计算几何学算法和溯源的方法在描述遗传边界方面有着巨大的潜力^[25]。

4.2 遗传格局与景观特征的相关性分析

确定空间遗传格局后,再利用 Mantel's 检验;典范相应分析;GIS 等方法对遗传格局与景观或环境特征进行相关性分析,从而检测出其关联。Mantel's 检验同时可以用于衡量遗传距离和环境变量间的关系。标准 Mantel 检验仅能做两个变量的比较,而局部 Mantel 检验则可用于多变量的比较。但是,不管是 Mantel 检验还是局部 Mantel 检验都不能定量由环境因素导致的变化。而典范相应分析能把遗传多样性与环境因素联系起来,并检验环境因素对遗传多样性变化的贡献率^[27-28]。利用 GIS 可以将景观变量叠加于遗传数据上,使空间遗传格局可视化,并对由于遗传边界的原因所造成的格局做出假设。

基于上述景观遗传学基本方法的研究已经有了很多应用。Stephen^[29]利用地理信息系统结合局部 Mantel's 检验和 BIOENV 程序来定量分析景观特征与遗传分异之间的关系,检测了地理距离,海拔,湿地可能性,植被类型及溪流等景观变量与遗传分异水平的关系。刘志瑾^[30-31]做了滇金丝猴景观遗传学研究,确定了滇金丝猴的管理单元,同时指出耕地,公路及人类栖息地严重阻断了滇金丝猴亚群间的基因流,并利用局部 Mantel 检验进行了验证。景观遗传学应用十分广泛,在动物保护方面其研究物种涵盖了昆虫^[32]、鱼类^[33]、两栖类^[29]以及哺乳动物^[34],在植物研究方面,我国也有相关实验室在关注油松和沙棘的景观遗传学研究。对空间遗传格局及其与景观格局的相关性研究和进展,王红芳,葛剑平等做过详细的论述^[35]。

4.3 景观与遗传连通性

在生境破碎化的背景下,当前景观遗传学研究的焦点是通过关联基因流构型与景观结构,来评估景观对物种运动的促进程度(景观连通性)。生境丧失及破碎化已成为生物多样性最主要的威胁之一,生境丧失及破碎化会降低种群的迁移率和遗传连通性,减少遗传变异性并且增加物种的灭绝率。遗传连通性及多样性的丧失会阻碍种群适应生态混乱的能力,而这种生态混乱一般是与城市化,生境退化,气候变化和生物入侵等相联系的^[36]。因此保持和恢复景观连通性对于生物多样性保护是非常重要的。

物种个体中不确定的遗传变异和当前基因流的评估在统计上是与景观特征相关的,例如假设屏障的存在或物种斑块间迁移的最小费用路径分析^[37]。复杂景观下种群连通性的预测需要更好的工具,最小费用距离模型是普遍应用的方法之一。通过对不同的生境类型赋予扩散费用,利用地理信息系统(GIS)计算生境斑块间的最小费用扩散路径。由于往往缺乏足够的扩散数据,扩散费用通常是由专家知识赋予的,而高精度的遗传数据则能够用于推断动物运动的变化,从而优化最小费用距离模型^[38]。例如,Wang^[39]运用 GIS 提取了研究区域的生境类型,然后利用最小费用路径分析测定了通过不同生境类型运动的相关费用。结果表明通过草原扩散的费用是丛林的二倍,橡树林是横越费用最多的生境类型。随着分子资源及 GIS 数据的增多,这一方法会有更广泛的运用,尤其是行为难以直接观测物种的研究。

连通性与小种群的遗传多样性有着必然的联系,但对大种群的多样性则没有明显的影响^[40]。国外基于高度破碎化景观中小种群的濒危物种的景观遗传学研究已经有了很多尝试^[41-45],而国内在这方面的研究则偏于基础,多集中于空间管理和行动单元的确定^[46]以及景观特征对基因流的影响方面。并且景观遗传学的应用领域有待扩展,基于景观遗传学的景观连通性研究还有待深入。

5 结语

虽然景观遗传学是在最近才被定义为一门独立的研究领域,但无论是其理论还是应用都已有了很大的发展。景观遗传学在确定栖息地景观特征对种群遗传结构的影响方面有巨大的潜力,并且为生物多样性保护提

供了新的方法和工具。景观遗传学为科学研究带来的益处在于它启发式及实践性的价值^[47],它使景观生态学家在研究中更多的考虑生态过程而不是空间格局,同时使种群遗传学家明白生态过程不仅仅受单纯的空间距离的影响,而且受景观质量的影响。

景观遗传学的研究设计很重要,选择能够反映并且易于量化生态过程的适宜尺度、合理整合景观空间数据与种群遗传数据、基于个体或种群的遗传信息获取值得引起关注^[14]。未来景观遗传学研究的4个主要挑战包括:(1)适当的空间和时间尺度的确定;(2)景观-遗传关系分析的局限性;(3)景观遗传学当前关注焦点的进一步扩展;(4)各学科间的交流^[20]。在物种生境丧失和破碎化的背景下,当前景观遗传学研究的焦点是结合遗传数据的景观连通性研究。

中国是世界12个生物多样性最丰富的国家之一,同时又是世界八大作物起源中心之一,遗传资源十分丰富。随着经济社会的高度和人类活动的强烈干扰,城市化、气候变化、生境丧失及破碎化,生物入侵等导致的生态混乱使我国生物多样性和生态系统保护的形势日益严峻。野生动植物遗传资源和栖息地的保护,管理需要引起足够的重视。景观遗传学的出现和发展为我们的研究和管理提供了一个工具,从微观层面的机理研究到宏观上的管理策略,景观遗传学都可以为景观管理和生物保护提供有意义的参考。总的来说我国景观遗传学方面的研究处于起步阶段,相关的理论及应用的研究仍有待深入,今后的研究应进一步扩展景观遗传学的研究和应用领域,研究者和自然资源管理者可以充分利用景观遗传学这一工具对我国的野生动植物遗传资源和栖息地进行更好的研究和保护。

致谢:感谢中国林业科学研究院李迪强研究员,大自然保护协会中国部首席科学家龙勇诚,云南大学黄衡芝博士的帮助。

References:

- [1] Lande R. Genetics and demography in biological conservation. *Science*, 1988, 241(4872):1455-1460.
- [2] Honnay O, Coart E, Butaye J, Adriaens D, van Glabeke S, Roldán-Ruiz I. Low impact of present and historical landscape configuration on the genetics of fragmented *Anthyllis vulneraria* populations. *Biological Conservation*, 2006, 127(4):411-419.
- [3] Ge S, Hong D Y. Genetic diversity and measurement//Chinese Academy of Science Biodiversity Committee. *Principle and Methods of Biodiversity Studies*. Beijing: Chinese Scientific&Technological Press, 1994:123-140.
- [4] Soule M E. Introduction//Soule M E, ed. *Viable Population for Conservation*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987:1-9.
- [5] Reed D H, Frankham R. Correlation between fitness and genetic diversity. *Conservation Biology*, 2003, 17(1):230-237.
- [6] Debinski D M, Holt R D. A survey and overview of habitat fragmentation experiments. *Conservation Biology*, 2000, 14(2):342-355.
- [7] Hanski I, Erälahti C, Kankare M, Ovaskainen O, Sirén H. Variation in migration propensity among individuals maintained by landscape structure. *Ecology Letters*, 2004, 7(10):958-966.
- [8] Vandewoestijne S, Martin T, Liegeois S, Baguette M. Dispersal, landscape occupancy and population structure in the butterfly *Melanargia galathea*. *Basic and Applied Ecology*, 2004, 5(1574):581-591.
- [9] Rhodes O E, Chesser R K. Genetic concepts for habitat conservation: the transfer and maintenance of genetic variation. *Landscape and Urban Planning*, 1994, 28(1):55-62.
- [10] Chen X Y. Landscape ecology and biodiversity conservation//The Proceedings of Secondary Landscape Ecology Conference. Beijing: International Association of Landscape Ecology-China, 1996:5.
- [11] Manel S, Segelbacher G. Perspectives and challenges in landscape genetics. *Molecular Ecology*, 2009, 18(9):1821-1822.
- [12] Storfer A, Murphy M A, Evans J S, Goldberg C S, Robinson S, Spear S F, Dezzani R, Delmelle E, Vierling L, Waits L P. Putting the 'landscape' in landscape genetics. *Heredity*, 2007, 98(3):128-142.
- [13] Tamra C M, Kerry L S. Genetic and behavioral components of the cryptic species boundary between *Laupala cerasina* and *L. kobalensis* (Orthoptera:Gryllidae). *Genetica*, 2002, 116(2):301-310.
- [14] Fu B J, Lu Y H, Chen L D, Su C H, Yao X L, Liu Y. The latest progress of landscape ecology in the world. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2):798-804.
- [15] Manel S, Schwartz M K, Luikart G, Taberlet P. Landscape genetics: combining landscape ecology and population genetics. *Trends in Ecology and Evolution*, 2003, 18(4):189-197.

- [16] Crandall K A, Bininda-Emonds O R P, Mace G M, Wayne R K. Considering evolutionary processes in conservation biology. *Trends in Ecology and Evolution*, 2000, 15(7):290-295.
- [17] Moritz C. Strategies to protect biological diversity and the evolutionary processes that sustain it. *Systematic Biology*, 2002, 51(2):238-254.
- [18] Brown J H, Lomolino M V. *Biogeography*. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates, 1998.
- [19] Smouse P E, Peakall R. Spatial autocorrelation analysis of individual multiallele and multilocus genetic structure. *Heredity*, 1999, 82(5):561-573.
- [20] Balkenhol N, Gugerli F, Cushman S A, Waits L P, Coulon A, Arntzen J W, Holderegger R, Wagner H H. Identifying future research needs in landscape genetics: where to from here? *Landscape Ecology*, 2009, 24(4):455-463.
- [21] Pavlacky D C, Goldizen A W, Prentis P J, Nicholls J A, Lowe A J. A landscape genetics approach for quantifying the relative influence of historic and contemporary habitat heterogeneity on the genetic connectivity of a rainforest bird. *Molecular Ecology*, 2009, 18(14):2945-2960.
- [22] Sork V L, Nason J, Campbell D R, Fernandez J F. Landscape approaches to historical and contemporary gene flow in plants. *Trends in Ecology and Evolution*, 1999, 14(6):219-224.
- [23] Reed D H, Frankham R. How closely correlated are molecular and quantitative measures of genetic variation? A meta-analysis. *Evolution*, 2001, 55(6):1095-1103.
- [24] Mantel N. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research*, 1967, 27(2):209-220.
- [25] Barbujani G. Geographic patterns: how to identify them and why. *Human Biology*, 2000, 72(1):133-153.
- [26] Cornuet J M, Piry S, Luikart G, Estoup A, Solignac M. New methods employing multilocus genotypes to select or exclude populations as origins of individuals. *Genetics*, 1999, 153(4):1989-2000.
- [27] Angers B, Magnan P, Plante M, Bernatchez L. Canonical correspondence analysis for estimating spatial and environmental effects on microsatellite gene diversity in brook charr (*Salvelinus fontinalis*). *Molecular Ecology*, 1999, 8(6):1043-1053.
- [28] Gram W K, Sork V L. Association between environmental and genetic heterogeneity in forest tree populations. *Ecology*, 2001, 82(7):2012-2021.
- [29] Spear S, Peterson C R, Matocq M D, Storfer A. Landscape genetics of the blotched tiger salamander (*Ambystoma tigrinum melanostictum*). *Molecular Ecology*, 2005, 14(8):2553-2564.
- [30] Liu Z J, Ren B P, Wei F W, Long Y C, Hao Y L, Li M. Phylogeography and population structure of the Yunnan snub-nosed monkey (*Rhinopithecus bieti*) inferred from mitochondrial control region DNA sequence analysis. *Molecular Ecology*, 2007, 16(16):3334-3349.
- [31] Liu Z J, Ren B P, Wu R D, Zhao L, Hao Y L, Wang B S, Wei F W, Long Y C, Li M. The effect of landscape features on population genetic structure in Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) implies an anthropogenic genetic discontinuity. *Molecular Ecology*, 2009, 18(18):3831-3846.
- [32] Holzhauer S I J, Ekschmitt K, Sander A C, Dauber J, Wolters V. Effect of historic landscape change on the genetic structure of the bush-cricket *Mettiopetra roeseli*. *Landscape Ecology*, 2006, 21(6):891-899.
- [33] Neville H M, Dunham J B, Peacock M M. Landscape attributes and life history variability shape genetic structure of trout populations in a stream network. *Landscape Ecology*, 2006, 21(6):901-916.
- [34] Broquet T, Ray N, Petit E, Fryxell J M, Burel F. Genetic isolation by distance and landscape connectivity in the American marten (*Martes americana*). *Landscape Ecology*, 2006, 21(6):877-889.
- [35] Wang H F, Ge J P, Wu J G. An Introduction to Landscape Genetics// The Third International Symposium on Modern Ecology Corpus. Beijing: National Nature Science Foundation of China, 2005:251-267.
- [36] Vandergast A G, Bohonak A J, Weissman D B, Fisher R N. Understanding the genetic effects of recent habitat fragmentation in the context of evolutionary history: phylogeography and landscape genetics of a southern California endemic *Jerusalem cricket* (Orthoptera: Stenopelmatidae: Stenopelmatus). *Molecular Ecology*, 2007, 16(5):977-992.
- [37] Holderegger R, Wagner H H. Landscape genetics. *Bioscience*, 2008, 58(3):199-207.
- [38] Epps C W, Wehausen J D, Bleich V C, Torres S G, Brashares J S. Optimizing dispersal and corridor models using landscape genetics. *Journal of Applied Ecology*, 2007, 44(4):714-724.
- [39] Wang I J, Savage W K, Shaffer H B. Landscape genetics and least-cost path analysis reveal unexpected dispersal routes in the California tiger salamander (*Ambystoma californiense*). *Molecular Ecology*, 2009, 18(7):1365-1374.
- [40] Vandepitte K, Jacquemyn H, Roldán-Ruiz I, Honnay O. Landscape genetics of the self-compatible forest herb *Geum urbanum*: effects of habitat age, fragmentation and local environment. *Molecular Ecology*, 2007, 16(19):4171-4179.
- [41] Cook W M, Lane K T, Foster B L, Holt R D. Island theory, matrix effect and species richness patterns in habitat fragments. *Ecology Letters*, 2002, 5(5):619-623.
- [42] Krauss J, Schmitt T, Seitz A, Steffan-Dewenter I, Tschamtk T. Effects of habitat fragmentation on the genetic structure of the monophagous

- butterfly Polymmatius coridon* along its northern range margin. *Molecular Ecology*, 2004, 13(2):311-320.
- [43] Lienert J, Diemer M, Schmid B. Effects of habitat fragmentation on population structure and fitness components of the wetland specialist *Suertia perennis* L. (Gentianaceae). *Basic and Applied Ecology*, 2002, 3(2):101-114.
- [44] Schmitt T, Varga Z, Seitz A. Forests as dispersal barriers for *Erebia medusa* (Nymphalidae, Lepidoptera). *Basic and Applied Ecology*, 2000, 1(1):53-59.
- [45] Schweiger O, Frenzel M, Durka W. Spatial genetic structure in a metapopulation of the land snail *Cepaea nemoralis* (Gastropoda: Helicidae). *Molecular Ecology*, 2004, 13(12):3645-3655.
- [46] Wan Q H, Fang S G, Wu H, Fujihara T. Genetic differentiation and subspecies development of the giant panda as revealed by DNA fingerprinting. *Electrophoresis*, 2003, 24(9): 1353-1359.
- [47] Holderegger R, Wagner H H. A brief guide to landscape genetics. *Landscape Ecology*, 2006, 21(6):793-796.

参考文献:

- [3] 葛颂,洪德元. 遗传多样性及其检测方法//中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性研究的原理和方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994:123-140.
- [10] 陈小勇. 景观生态学与生物多样性保护//第二届景观生态学学术讨论会论文集. 北京: 国际景观生态学会中国分会,1996: 5.
- [14] 傅伯杰,吕一河,陈利顶,苏常红,姚雪玲,刘宇. 国际景观生态学研究新进展. *生态学报*,2008,28(2):798-804.
- [35] 王红芳,葛剑平,邬建国. 景观遗传学概论//第三届现代生态学讲座暨国际学术研讨会论文集. 北京: 国家自然科学基金委员会,2005: 251-267.

CONTENTS

Influences of elevated ozone on growth and C, N, S allocations of rice	ZHENG Feixiang, WANG Xiaoke, HOU Peiqiang, et al (1479)
Coexistence, biodiversity and roles of ammonia-oxidizing archaea and anaerobic ammonium-oxidizing bacteria in deep soil layer of high nitrogen loaded paddy field	WANG Yu, ZHU Guibing, WANG Chaoyu, et al (1487)
The impact of interannual climate variability on the mean global vegetation distribution	SHAO Pu, ZENG Xiaodong (1494)
Labile and recalcitrant carbon and nitrogen pools of an alpine meadow soil from the eastern Qinghai-Tibetan Plateau subjected to experimental warming and grazing	WANG Bei, SUN Geng, LUO Peng, et al (1506)
The structure and species diversity of plant communities in ecological safety islands of urban Guangzhou	MO Dan, GUAN Dongsheng, HUANG Kangyou, et al (1515)
The growth pattern of <i>Pinus elliottii</i> Plantation in central subtropical China	MA Zeqing, LIU Qijing, WANG Huimin, et al (1525)
The effect of two wetland plants on nitrogen and phosphorus removal from the simulated paddy field runoff in two small-scale Subsurface Flow Constructed Wetlands	LIU Shuyuan, YAN Baixing, WANG Lixia (1538)
Effect of simulated nitrogen deposition on nutrient release in decomposition of several litter fractions of two bamboo species	TU Lihua, HU Tingxing, ZHANG Jian, et al (1547)
Ecological monitoring of bryophytes for mercury pollution in Danzhai Mercury Mine Area, Guizhou Province, China	LIU Rongxiang, WANG Zhihui, ZHANG Zhaohui (1558)
Influence of silt deposition and sand deposition on <i>Cynodon dactylon</i> population in low-water-level-fluctuating zone of the Three Gorges Reservoir	LI Qiang, DING Wuquan, ZHU Qihong, et al (1567)
Seed production of <i>Spartina alterniflora</i> and its response of germination to temperature at Chongming Dongtan, Shanghai	ZHU Zhenchang, ZHANG Liquan, XIAO Derong (1574)
Effects of decomposition of mixed leaf litters of the <i>Castanopsis platyacantha</i> - <i>Schima sinensis</i> forest on soil organic carbon	ZHANG Xiaopeng, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (1582)
Effects of desertification on soil respiration and ecosystem carbon fixation in Mu Us sandy land	DING Jinzhi, LAI Liming, ZHAO Xuechun, et al (1594)
The spatial distribution of soil organic carbon and its influencing factors in hilly region of the Loess Plateau	SUN Wenyi, GUO Shengli (1604)
Effects of interspecific interactions and nitrogen fertilization rates on above- and below- growth in faba bean/maze intercropping system	LI Yuying, HU Hansheng, CHENG Xu, et al (1617)
Effects of supplemental irrigation based on measured soil moisture on nitrogen accumulation, distribution and grain yield in winter wheat	HAN Zhanjiang, YU Zhenwen, WANG Dong, et al (1631)
Anti-soil background capacity with vegetation biochemical component spectral model	SUN Lin, CHENG Lijuan (1641)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin of <i>Hippophae rhamnoides</i> L in farming-pastoral zone from the two northern provinces of China	HE Xueli, CHEN Cheng, HE Bo (1653)
Study on optimum forest coverage for water conservation: a case study in Pingtonghe watershed (Pingwu section)	ZHU Zhifang, GONG Gutang, CHEN Junhua, et al (1662)
Spatial point analysis of fire occurrence and its influence factor in Huzhong forest area of the Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province, China	LIU Zhihua, YANG Jian, HE Hongshi, et al (1669)
Combustion efficiency of small-scale meadow fire in Daxinganling Mountains	WANG Mingyu, SHU Lifu, SONG Guanghui, et al (1678)
Community structure of demersal fish in Nature Reserve of <i>Acipenser sinensis</i> in Yangtze River estuary	ZHANG Tao, ZHUANG Ping, ZHANG Longzhen, et al (1687)
Behavioral responses of the Common Coots (<i>Fulica atra</i>) and other swimming birds to human disturbances	ZHANG Weiwei, MA Jianzhang, LI Jinbo (1695)
Effects of photoperiod on body mass, organ masses and energy metabolism in Chinese bulbul (<i>Pycnonotus sinensis</i>)	NI Xiaoying, LIN Lin, ZHOU Feifei, et al (1703)
Larval host types for the 3 rd <i>Helicoverpa armigera</i> in Bt cotton field from North China determined by $\delta^{13}\text{C}$	YE Lefu, FU Xue, XIE Baoyu, et al (1714)
Selectivity of <i>Frankliniella occidentalis</i> to vegetable hosts	YUAN Chengming, ZHI Junrui, CAO Yu, et al (1720)
Genetic structure of <i>Pine caterpillars</i> (<i>Dendrolimus</i>) populations based on the analysis of Cyt b gene sequences	GAO Baojia, ZHANG Xuwei, ZHOU Guona, et al (1727)
Pricing method and application effects of biogas slurry	ZHANG Changai, LIU Ying, CAO Man, WANG Yanqin, et al (1735)
Effects of compost from municipal solid waste on ecological characteristics and the quality of different turfgrass cultivars	ZHAO Shulan, LIAN Fei, DUO Li'an (1742)
Degradation kinetics and bioavailability of pentachlorophenol in paddy soil-rice plant ecosystem	WANG Shisheng, LI Depeng (1749)
Review and Monograph	
Concepts and techniques of landscape genetics	XUE Yadong, LI Li, WU Gongsheng, ZHOU Yue (1756)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 6 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 6 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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		

