

• 生态保护红线专题 •

我国珍稀濒危植物保护红线的划定

张殷波^{1,2} 傅靖轩¹ 刘莹立² 白帆³ 桑卫国^{3*}¹ (山西大学黄土高原研究所, 太原 030006)² (山西大学环境与资源学院, 太原 030006)³ (中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

摘要: 本文依据《国家生态保护红线——生态功能基线划定技术指南(试行)》原则和植物保护的具体情况, 探讨了我国珍稀濒危植物保护红线划定的原则与方法。研究选取《国家重点保护野生植物名录》中收录的所有物种作为研究对象。将其定义为红线保护植物, 其中的I级保护植物定义为红线关键植物, 并基于文献资料及标本记录等数据建立了我国植物的属性数据库和地理分布数据库。在GIS支持下, 以建立的数据库为基础研究了我国红线保护植物的地理分布特征; 基于保护生物学理论, 结合我国自然保护区的就地保护现状进行了分析和评价; 以热点地区和GAP分析为理论基础, 在其分布地中识别具有代表性的热点区域以及不同属性植物分布的重点区域, 进而结合土地利用和人类干扰因素, 划定我国珍稀濒危植物生境整体保护的红线。通过在全国尺度上的分析, 得出我国珍稀濒危植物的整体保护红线面积为71.63万km², 占陆域国土面积的7.45%。植物生境保护红线划定的原则、方法和划定方案的研究对于更准确地划定生态安全预警红线具有重要意义, 同时可以为我国国土生态安全格局的构建提供依据。

关键词: 重点保护植物, 地理分布格局, 热点地区, GAP分析, 生态安全, 自然保护区

Delimiting protection redline of rare and endangered plants in China

Yinbo Zhang^{1,2}, Jingxuan Fu¹, Yingli Liu², Fan Bai³, Weiguo Sang^{3*}¹ Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006² College of Environmental Science and Resources, Shanxi University, Taiyuan 030006³ State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093

Abstract: According to the items of “Technical Guide of Delimiting National Ecological Protection Redline—Ecological Function Baselines” and the status of plant protection, we discussed principles and methods of delimiting protection redline of rare and endangered plants in China. We selected rare and endangered plants according to the List of Wild Plants under State Protection as protected plants to delimit protection redline, among which first level protected plants were defined as redline key plants. Based on various data sources within the literature and specimen records, we established the attribution database and geographical distribution database of rare and endangered plants in China. On the platform of GIS, the distribution of redline protected plants was studied on the basis of high precision database. Based on the theory of conservation biology, we analyzed and evaluated the *in situ* protection status of redline protected plants in reserves. Further, on the basis of hotspots and GAP analysis, we identified the typical hotspots and important buffers of plant distribution within the scope of distribution. Combining land use and human interference factors, we finally delimited the overall protection redline of rare and endangered plants in China. By the detailed analysis at national scale, redline of the rare and endangered plants was determined to be 7.163×10^5 km², which accounts for 7.45% of China's land area. The principles, methods and scheme of delimiting plant protection redline are of great significance in accurately defining the redline of ecological security, and will provide a basis for ecological security in China.

收稿日期: 2015-05-18; 接受日期: 2015-08-17

基金项目: 环保公益性行业科研专项(201209027-2)和国家自然科学基金青年基金(31100392 和 3130379)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: swg@ibcas.ac.cn

Key words: key protected plants, geographical distribution pattern, hotspots, GAP analysis, ecological security, nature reserves

生物多样性对于人类的生存至关重要。植物是生态系统第一生产力的基本来源,是生物多样性最重要的组成部分,人类社会的可持续发展需要有效保护和合理利用植物多样性(Lawton *et al.*, 1998; Caro & O'Doherty, 1999; Orme *et al.*, 2005)。当前由于人类对自然资源的掠夺式开采和利用,致使生物多样性资源正在快速丧失(Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Huang *et al.*, 2011)。据估计,当前物种灭绝的速度是自然灭绝速度的100–1000倍(Wilson & Francis, 1988)。同时,自然生境的不断减少严重破坏了许多生物的原始生存空间,更加剧了物种的丧失(Jantke *et al.*, 2011)。人类通过土地利用直接改变野生植物的生存状态(Sang *et al.*, 2011)。地球表面大约1/3到1/2的陆地面积已被人类活动所改变,在农田、城镇、工矿等土地利用类型中野生植物基本处于局部灭绝状态(Vitousek, 1997)。生物多样性丧失将严重威胁人类自身的生存与发展,如不立即采取有效措施加以遏制,人类将面临巨大的生存挑战(Whittaker *et al.*, 2005; Cyranoski, 2008)。面对生物多样性保护与利用的矛盾和冲突,如何以最小的保护代价保护更多的物种成为生物多样性保护的热点议题(李迪强和宋延龄, 2000)。

中国具有极其丰富的生物多样性资源,是世界上植物多样性最丰富的国家之一(Sang *et al.*, 2011)。据统计,我国拥有高等植物35,000多种,仅次于巴西和印度尼西亚,居世界第三位(中华人民共和国环境保护部, 2009)。中国几乎拥有温带的全部木本属,尤其是华中地区更是世界上落叶木本植物最丰富的地区(陈灵芝, 1993)。中国还是生物多样性受严重威胁的国家之一。如何提高保护效率,对我国生物多样性进行优先性保护研究已经成为保护生物学家亟待解决的关键问题(Brooks *et al.*, 2006)。

随着对生物多样性保护研究的深入,以及近60年的自然保护区实践工作,人们发现现有的保护策略面临着生物多样性保护与土地利用之间激烈的矛盾冲突(Lü *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014)。长期的就地保护实践证明,只有鉴别出保护优先性最高的保护优先区,保护各种生境条件,同时兼顾社会、

经济、文化、历史和政治等因素进行综合评估,才能建立更为合理有效的保护策略(Freudenberger *et al.*, 2013)。近年来,热点地区(hotspots)和保护生物多样性的地理学方法GAP分析已被广泛运用于生物多样性优先性保护研究中(李迪强和宋延龄, 2000)。热点地区是根据物种丰富度和特有度,探讨如何以最小的代价最大限度地保护区域内的生物多样性,是大尺度生物多样性优先保护区确定最主要的方法(李迪强和宋延龄, 2000)。GAP分析是利用GIS技术,同时结合区域植被、重要物种适宜生境的分布、土地所有权和保护区分布等各类信息进行空间叠加分析,从而寻找现有保护区网络“空缺区域”的有效方法(Jennings, 2000)。将热点地区和GAP分析两者结合起来确定生物多样性优先保护区,已成为目前生物多样性保护普遍采用的方法和途径(Estrada *et al.*, 2008)。

面对日趋严峻的生态安全形势,党中央在2013年11月召开的十八届三中全会上提出了“划定生态保护红线”的相关要求。生态红线成为中国继18亿亩耕地红线之后又一条提升为国策的红线,旨在维护国家生态安全,促进社会经济的可持续发展。在《国家生态保护红线——生态功能基线划定技术指南(试行)》^①中,提出生态红线是以保护关键物种及其生境、重要生态功能区、重要生态屏障区为3条基线,构建我国国土生态安全格局。本文依据《国家生态保护红线——生态功能基线划定技术指南(试行)》的原则和植物保护的具体情况,拟探讨我国植物物种保护红线的划定原则和方法,为更准确地划定生态安全预警红线提供相关依据和支持,同时为省级和更小尺度开展的相关研究工作提供参考。

1 方法

1.1 保护对象的选定

1999年8月4日,经国务院批准并由国家林业局和农业部发布了中华人民共和国《国家重点保护野生植物名录(第一批)》,这是我国迄今为止最具权威

^①环境保护部(2014)《国家生态保护红线——生态功能基线划定技术指南(试行)》。

性的保护植物名录。将该名录(第一批和第二批)中包括的物种全部统计到种一级水平, 共计2,261种(包括亚种及变种, 其中已正式发布的302种, 待发布的1,959种), 其中I级保护291种, II级保护1,970种。本研究选取《国家重点保护野生植物名录》中收录的所有物种作为探讨我国珍稀濒危植物保护红线划定的对象, 并将其定义为“红线保护植物”, 将I级保护植物定义为“红线关键植物”。针对选定的保护对象, 建立了物种属性信息数据库, 包括科名、属名、种加词、变种、定名人、中文名、异名、生活型、保护级别、特有性、受威胁程度等。

1.2 地理分布数据库的建设

在选定保护对象的基础上, 进一步建立物种地理分布数据库作为红线划定的数据基础。对于全部的红线保护植物, 建立精度为县级水平的地理分布数据库; 对于I级保护的I级关键植物, 收集物种的具体分布位置并将小地名分布记录进一步转换成经纬度, 建立精度为经纬度分布点的地理分布数据库。物种分布信息的数据来源主要有: (1)各种植物志书, 包括*Flora of China*、《中国植物志》、地方植物志; (2)植物标本记录(www.cvh.org.cn); (3)野外调查的科学论著; (4)已发表的学术期刊论文; (5)自然保护区的科学考察报告集。物种分布信息有: 分布省、分布县、分布具体位置、生境、海拔、所在保护区、经纬度、数据来源等。其中物种分布数据不包含台湾地区。

1.3 就地保护现状的评价

基于GAP分析的理论与方法, 首先利用ArcGIS 10.0软件绘制自然保护区的地理分布图, 有矢量数据边界的自然保护区用实际空间边界表达; 其他没有矢量数据边界的保护区, 采用以保护区中心点经纬度为圆心, 保护区等面积圆的半径划定缓冲区进行保护区边界表达模拟, 并将保护区边界图与县级水平的行政区划图进行叠加, 以确定各保护区所分布的县。然后将物种地理分布图与保护区分布图叠加、比较, 从而进行保护植物就地保护现状的评价, 寻找保护空缺地区即需要优先保护的生物多样性丰富地区。

1.4 植物生境保护红线划定方法

1.4.1 基于保护植物的重点县筛选

利用地理分布数据库中物种分布的行政县对所有红线保护植物进行重点县的筛选。具体方法为:

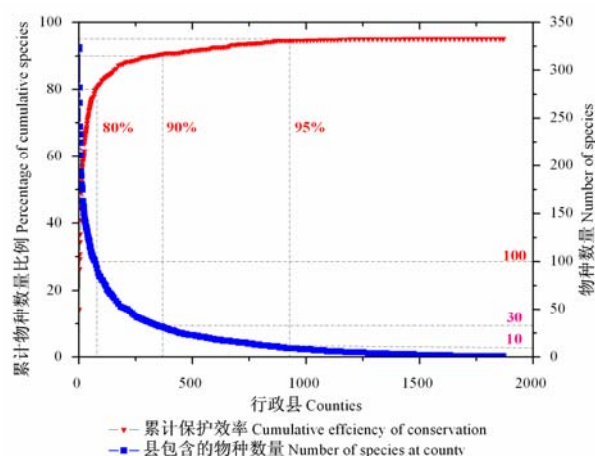


图1 行政县包含红线保护植物的物种数量和累计物种数量比例

Fig. 1 Number of species and percentage of cumulative species of counties representing redline protected plants

首先将全国分布有保护植物的各个县(市)依据包含保护植物的物种数量从多到少进行排序, 然后依次进行保护植物的物种累计, 通过评价累计保护效率(图1)对分布县进行不同保护等级的划分:

(1)当累计保护贡献率达到80%时, 如选中的县所包含的保护物种数 ≥ 100 种, 则将这些县定义为优先保护县。

(2)当累计保护贡献率达到90%时, 如选中的县所包含的保护物种数 ≥ 30 种, 则将这些县定义为次要保护县。

(3)当累计保护贡献率达到95%时, 如选中的县所包含的保护物种数 ≥ 10 种, 则将这些县定义为一般保护县。

结合累计保护贡献率和累计面积的结果, 如果将物种的保护目标设定为95%, 将导致3个保护等级包含的所有县域红线面积占国土面积比例过大。因此, 综合考虑经济发展需要、土地利用的现状以及保护的可行性等因素, 最终我们确定以90%的保护贡献率作为合理的保护目标, 即选取前两个保护等级——优先保护县和次要保护县定义为植物生境保护红线划定的重点县。

1.4.2 基于关键植物的重点区域的划定

为进一步明确物种保护的针对性和生境保护的完整性, 使分布在重点保护县以外的红线植物也能得到有效保护, 本研究对其中的红线关键植物进行了重点研究。利用地理分布数据库中物种分布的

经纬度数据,对I级保护的关键植物分布的重点区域进行划定。具体方法为:首先将数据库中记录的物种分布位置转换成经纬度,以坐标分布点为基础利用ArcGIS绘制物种分布点图层;然后依据物种的基本属性,包括生活型、受威胁等级、保护等级和分布特征等,基于保护生物学理论设置一定的缓冲区半径来划定其保护的重点区域。这里我们采取的缓冲区半径为1 km、5 km和10 km三个等级。(1)依据生活型,缓冲区半径应为乔木>灌木>草本;(2)依据分布特征,分布点为1个的植物属于局部分布,各分布点应具有较大面积的缓冲区; $2 \leq \text{分布点} < 10$ 个的植物属于较广泛分布,可适当控制其各分布点的缓冲区面积;分布点>10个的植物属于广泛分布,每个分布点可选择最小的缓冲区半径;(3)依据受威胁等级和保护等级来看,采用《中国生物多样性红色名录——高等植物卷》(中华人民共和国环境保护部和中国科学院,2013)的评估结果,缓冲区半径应为极危(CR)>濒危(EN)>易危(VU)/近危(NT)。最后综合以上各个属性特征,采取“高保护目标”的原则,以分布点为圆心,“宁高勿低”选取最高一级的缓冲区半径,绘制关键植物保护的重点区域。我们将其定义为植物生境保护红线划定的重点区域。

1.4.3 植物生境保护红线划定

综合以上结果,将基于保护植物划定的重点保护县和基于关键植物划定的重点区域合并为植物生境保护红线。具体方法为:首先叠加两者的分布,同时合并两者的重叠分布部分,再进一步去除分布区内的人工土地覆盖区,最终得到植物生境保护的整体红线。

2 结果

2.1 红线保护植物的地理分布

物种在县级尺度上的分布格局显示,红线保护植物片断化地分布于我国的局部山地(图2),且大多数集中在各省的交界处。从图2中可明显地鉴别出一些分布有较多物种的生物多样性热点地区,分别是:(I)横断山区;(II)云南西双版纳地区、云南东南部及广西西南部;(III)海南岛南部地区;(IV)贵州和广西二省交界山区;(V)湖北西南部和湖南北部;(VI)秦岭山区;(VII)浙江局部山地和福建武夷山地。此外,将红线关键物种经纬度分布点的地理分布与国家级自然保护区、重点生态功能区以及重要功能

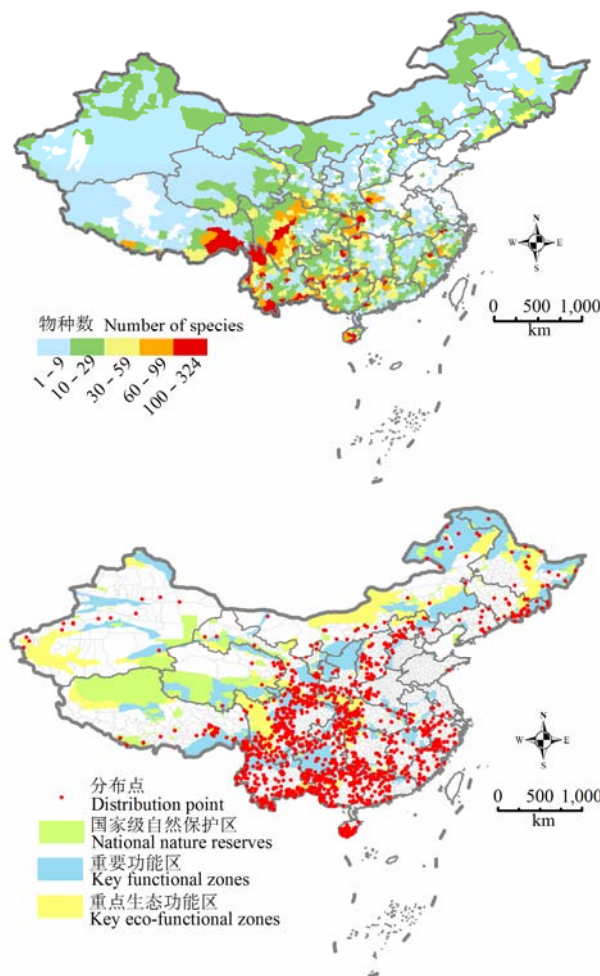


图2 红线保护植物在县级水平和红线关键植物在经纬度分布点的地理分布

Fig. 2 Geographical distribution of redline protected plants at the county scale and latitude and longitude distribution of red-line key plants

区分布图进行图层叠加,发现两者存在明显的不一致,许多红线关键植物并没有获得保护。

2.2 红线保护植物的保护现状评价

将红线保护植物丰富度分布图与自然保护区分布图叠加后对就地保护现状进行统计,发现有1,770种重点保护植物已得到国家级自然保护区的保护(图3),占2,261种保护植物的78.28%。其中,已获得国家级自然保护区保护的I级保护植物有250种,占I级保护植物总数(291种)的85.91%;II级保护植物有1,520种,占II级保护植物总数(1,970种)的77.16%。尽管大部分的保护植物以及生物多样性热点地区已经包括在保护区内,但是还有一些关键物种和热点地区仍然没有得到保护。许多空缺地区分

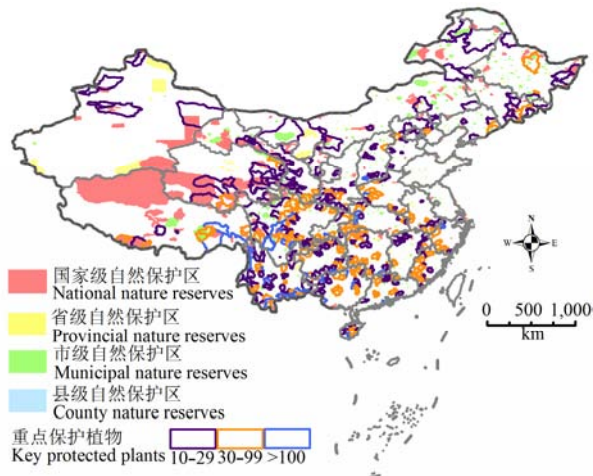


图3 红线保护植物地理分布与就地保护现状
Fig. 3 The distribution and *in situ* conservation status of red-line protected plants

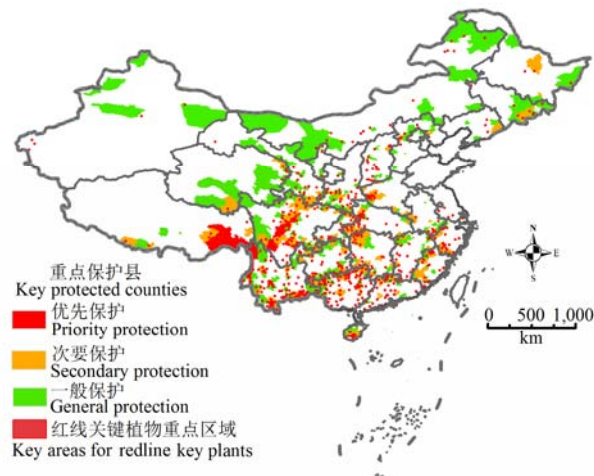


图5 红线关键植物的重点分布区域与重点县的叠加分布
Fig. 5 The distribution of superposing the key areas for red-line key plants and key counties

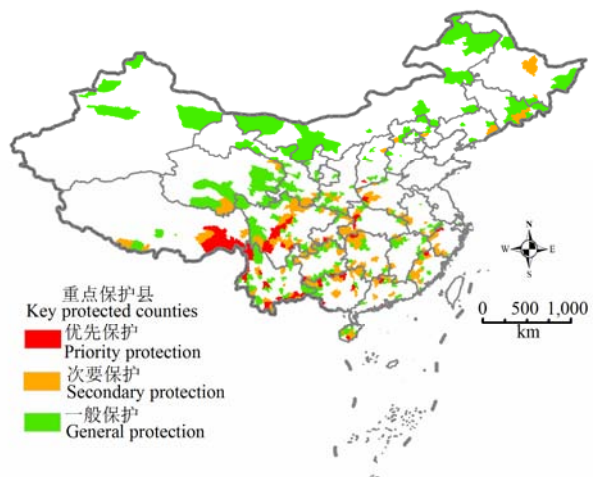


图4 红线保护植物不同保护级别的重点县分布
Fig. 4 The distribution of key counties representing redline protected plants at different levels

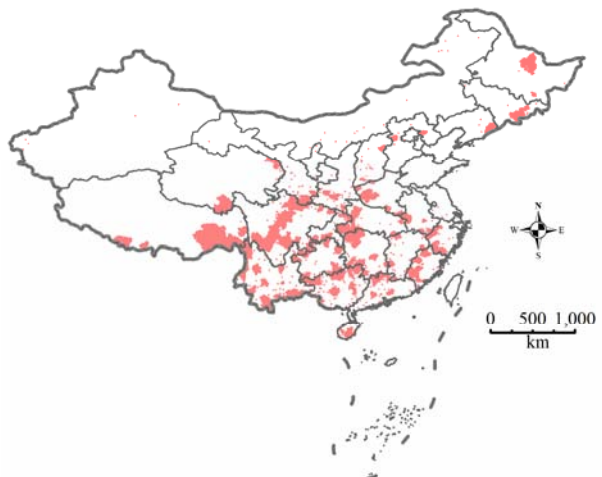


图6 我国珍稀濒危植物的整体保护红线分布图
Fig. 6 The whole distribution of protection redline for the rare and endangered plants in China

布在各省的分界处, 主要是云南和四川交界地, 四川北部, 贵州和广西交界处等。

2.3 植物生境保护红线划定结果

2.3.1 重点县

基于保护植物的分布数据库统计得到各行政县所包含的保护植物的数量, 并依据确定的分布县保护等级划分标准进行分类。结果为: 优先保护县63个, 总面积24.74万km²; 次要保护县375个, 总面积57.33万km²; 一般保护县891个, 总面积140.88万km² (图4)。其中保护植物总数最多的是云南省勐腊县, 分布有保护植物324种, 其次是云南省贡山独龙族怒族自治县, 分布有保护植物322种。

2.3.2 重点区域

为了更有效地保护植物, 尤其是关注那些筛选的重点县内还没有涵盖的关键物种, 我们又进一步进行了针对性研究。因为植物分布的特点是可以通
过标本采集点明确该物种的实际分布位置, 所以我们首先明确了红线关键植物的具体分布位置, 然后依据其基本属性(生活型、受威胁等级和分布特征等), 采取“高保护目标”的原则, 对每一物种设置相应等级的缓冲区半径, 最终划定了其保护的重点区域, 具体分布状况见图5。

2.3.3 植物生境整体保护红线

将重点县与重点区域叠加并合并重复部分, 得

到总体面积之和为91.13万km², 占全国陆域国土面积的9.48%。考虑社会、经济和民生因素, 对图上红线范围内的人工界面进行剔除。被剔除的土地类型有人工林地、人工草地、人工水面和耕地等, 覆盖总面积为19.50万km², 占全国陆域面积的2.03%。最终确定了我国珍稀濒危植物生境保护的整体红线分布, 面积为71.63万km² (图6), 占陆域国土面积的7.45%。

3 讨论

针对我国目前面临的严峻的环境污染和生态退化问题, 在党的十八届三中全会明确提出“划定生态保护红线”的背景下, “国家生态安全关键植物物种生境保护红线划定”项目组基于《国家生态保护红线——生态功能基线划定技术指南(试行)》, 对生态红线的概念、内涵以及如何划定生态红线并构建生态安全格局进行了科学系统的研究, 明确了生态红线以保护关键物种及其生境、重要生态功能区、重要生态屏障区为主要对象, 通过构建三条基线共同实现我国国土生态安全格局。本研究以该指南理论基础为重要依据, 以保护珍稀濒危植物为目标探讨了如何划定植物生境保护的生态红线。

中国拥有极其丰富的植物资源(Sang *et al.*, 2011), 在划定植物红线的过程中, 难以实现对所有植物进行红线划定, 因此我们首先确定了以珍稀濒危植物为保护对象的研究目标。《国家重点保护野生植物名录》(已发布302种, 待发布1,959种)中所收录的物种均为我国需要保护的珍稀濒危植物, 且该名录与我国野生植物保护的相关法律相配套, 以此探讨植物保护红线的划定对于保护我国植物多样性具有十分重要的意义。如何确定红线划定的保护对象, 选定的原则如何设定, 这是划定红线的基础。除了受威胁程度较高的物种, 一些分布区极为狭小的狭域种、地方特有种、经济价值较高但未受到保护的野生物种资源、未被科学家关注的地方特殊物种等, 也都应该受到足够的重视。这些领域也是保护生物学研究的一个非常重要的议题。在全国尺度上进行的红线划定研究中未能考虑到的这类物种, 我们建议在省级尺度以及更小尺度的生态红线划定工作中, 可以给予更充分的考虑和保护。

在红线划定的过程中, 物种的地理分布是研究的数据基础, 对红线的划定过程和结果至关重要。

一般来说, 在全国尺度的研究中植物的分布记录可以精确到以行政县为单位(张殷波等, 2014)。本研究中, 对于所有保护植物全部收集小地名的工作难度过大, 因此我们针对红线关键植物(即I级保护植物)建立了精度达到地理坐标经纬度的分布数据, 通过县级分布和关键植物经纬度分布两种精度数据互相补充的方法, 有效地保证了数据分析的精度, 达到物种保护的针对性和生境保护的完整性。这为下一步鉴别重要物种的分布区域提供了重要的数据支持。但是, 我们在对物种分布的历史采集记录进行地理坐标标记和经纬度转换的过程中遇到了各种各样的困难, 致使最后仍有一些采集信息未能利用。因此我们建议在更小尺度的区域红线划定研究工作中, 进一步加强这部分物种分布数据的工作。

有关物种优先保护的理论研究中, 热点地区与GAP分析是被广泛采用的有效方法。本研究以此为理论基础, 提出通过计算累计保护效率和累计保护面积来评价和筛选重要物种分布县的方法, 从而鉴别出优先保护县、次要保护县和一般保护县。对于重要物种的具体分布位置, 基于保护生物学原理, 考虑不同属性的植物物种所需的最小生存面积不同(Jennings, 2000), 我们依据生活型、分布范围和受威胁程度对关键植物的重点保护区域划定了不同等级的缓冲区。将两者叠加后, 最后得到我国珍稀濒危植物生境保护红线。

目前, 我国的自然保护区规划面积分布存在空间不均衡的特征, 西部省份的保护区面积远大于东部省份。此外, 保护区规划还缺乏全国尺度的系统分析, 建设体系仍以濒危物种和特定生态系统片断保护为主, 许多保护地面积太小以至于无法保证物种的生存和生态系统功能的维持。结合我国已建立的2,641个各级自然保护区, 对保护植物的保护现状进行分析和评价, 发现已有1,770种(~78%)的重点保护植物得到就地保护, 但仍然有一些关键物种和热点地区没有受到保护。相较于保护区物种名录对比的就地保护评价方法(苑虎等, 2009), 这种基于保护空缺分析的保护区现状评价方法可以更直观地得到保护空缺地区, 这将为我们划定生态红线和进一步完善保护区规划提供重要支持。同时, 我们也必须明确, 生态红线划定和自然保护区规划的最终目标不尽相同, 两者的结果无须完全一致, 可以互相补充、互相促进。生态红线的划定不仅可以更

好地平衡发展与保护之间的矛盾(Lü *et al.*, 2013), 实现生态环境保护的更高要求, 而且能够为决策者在填补保护空缺以及优化现有保护区网络布局方面提供更为科学、实际的理论依据。

参考文献

- Brooks TM, Mittermeier RA, da Fonseca GAB, Gerlach J, Hoffmann M, Lamoreux JF, Mittermeier CG, Pilgrim JD, Rodrigues ASL (2006) Global biodiversity conservation priorities. *Science*, **313**, 58–61.
- Caro TM, O'Doherty G (1999) On the use of surrogate species in conservation biology. *Conservation Biology*, **13**, 805–814.
- Chen LZ (陈灵芝) (1993) *China's Biodiversity: Status and Protection Countermeasures* (中国的生物多样性: 现状及其保护对策). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Cyranoski D (2008) Visions of China. *Nature*, **454**, 384–387.
- Estrada A, Real R, Vargas JM (2008) Using crisp and fuzzy modelling to identify favourability hotspots useful to perform gap analysis. *Biodiversity and Conservation*, **17**, 857–871.
- Freudenberger L, Hobson P, Schluck M, Kreft S, Vohland K, Sommer H, Reichle S, Nowicki C, Barthlott W, Ibsch PL (2013) Nature conservation: priority-setting needs a global change. *Biodiversity and Conservation*, **22**, 1255–1281.
- Huang JH, Chen B, Liu CR, Lai JS, Zhang JL, Ma KP (2011) Identifying hotspots of endemic woody seed plant diversity in China. *Diversity and Distributions*, **18**, 673–688.
- Jantke K, Schleupner C, Schneider UA (2011) Gap analysis of European wetland species: priority regions for expanding the Natura 2000 network. *Biodiversity and Conservation*, **20**, 581–605.
- Jennings MD (2000) Gap analysis: concepts, methods, and recent results. *Landscape Ecology*, **15**, 5–20.
- Lawton JH, Bignell DE, Bolton B, Bloemers GF, Eggleton P, Hammond PM, Hodda M, Holt RD, Larsen TB, Mawdsley NA, Stork NE, Srivastava DS, Watt AD (1998) Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Nature*, **391**, 72–76.
- Li DQ (李迪强), Song YL (宋延龄) (2000) The research progress on hotspots and GAP analysis. *Biodiversity Science* (生物多样性), **8**, 208–214. (in Chinese with English abstract)
- Lü YH, Ma ZM, Zhang LW (2013) Redlines for the greening of China. *Environmental Science and Policy*, **33**, 346–353.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China (中华人民共和国环境保护部) (2009) *China's Fourth National Report on Implementation of "The Convention of Biological Diversity"* (中国履行《生物多样性公约》第四次国家报告). <http://www.zhb.gov.cn/>. (in Chinese) (accessed December, 2009)
- Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China (中华人民共和国环境保护部), Chinese Academy of Sciences (中国科学院) (2013) *China's Red List of Biodiversity—Higher Plants* (中国生物多样性红色名录——高等植物卷). <http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201309/W020130917614244055331.pdf/>. (in Chinese) (accessed September, 2013)
- Orme CDL, Davies RG, Burgess M, Eigenbrod F, Pickup N, Olson VA, Webster AJ, Ding TS, Rasmussen PC, Ridgely RS, Stattersfield AJ, Bennett PM, Blackburn TM, Gaston KJ, Owens IPF (2005) Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat. *Nature*, **436**, 1016–1019.
- Sang WG, Ma KP, Axmacher JC (2011) Securing a future for China's wild plant resource. *BioScience*, **61**, 720–725.
- Vitousek PM (1997) Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, **278**, 21–21.
- Whittaker RJ, Araújo MB, Jepson P, Ladle RJ, Watson JEM, Willis KJ (2005) Conservation biogeography: assessment and prospect. *Diversity and Distributions*, **11**, 3–23.
- Wilson EO, Francis MP (1988) *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, DC.
- Yuan H (苑虎), Zhang YB (张殷波), Qin HN (覃海宁), Liu Y (刘燕), Yu M (喻梅) (2009) The *in situ* conservation of state key protected wild plants in national nature reserves in China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **17**, 280–287. (in Chinese with English abstract)
- Zhang L, Xu WH, Ouyang ZY, Zhu CQ (2014) Determination of priority nature conservation areas and human disturbances in the Yangtze River Basin, China. *Journal of Nature Conservation*, **22**, 326–336.
- Zhang YB (张殷波), Guo LL (郭柳琳), Wang W (王伟), Tian Y (田喻), Li JS (李俊生) (2014) Spatial distribution patterns of species richness and hotspots of protected plants in Qinling Mountain. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **34**, 2109–2117. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 薛达元 责任编辑: 黄祥忠)