•编者按•

长江大保护事业呼吁重视植物遗传多样性的保护和可持续利用

李 琴^{1,2,3} 陈家宽^{1,3*}

1 (南昌大学生命科学研究院流域生态研究所, 南昌 330031)

2 (南昌大学鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 南昌 330031)

3 (复旦大学生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 复旦大学生物多样性科学研究所, 上海 200438)

The primary task of watershed-scale comprehensive conservation of Yangtze River Basin: Conservation and sustainable utilization of plant genetic diversity

Qin Li^{1,2,3}, Jiakuan Chen^{1,3*}

1 Center for Watershed Ecology, Institute of Life Science, Nanchang University, Nanchang 330031

2 Key Laboratory of Poyang Lake Environment and Resource Utilization, Ministry of Education, Nanchang University, Nanchang 330031

3 Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Institute of Biodiversity Science, Fudan University, Shanghai 200438

1 植物遗传资源应当是今后生物多样性保护的重点

生物多样性是人类赖以生存和发展的物质基础, 具有巨大的生态服务功能。全球生物多样性每年为人类创造的服务价值远高于经济生产总值, 据 Costanza 等(1997, 2014)研究, 1995 年全球生态系统服务功能价值为 33 万亿美元, 当时全球国民生产总值(GNP)为 18 万亿美元; 2011 年全球生态系统服务功能价值达 125 万亿美元, 而全球 GNP 为 68.85 万亿美元。目前, 人类生存与发展主要还依赖于自然生态系统的巨大服务功能, 包括生物多样性提供的良好生态环境, 以及遗传多样性给农林牧渔新品种培育提供的物质基础。中国是世界上生物多样性最丰富的 12 个国家之一, 生物多样性的重要意义已被人们熟知。然而, 遗传多样性(遗传资源)作为生物多样性的重要组成部分及物种多样性和生态系统多样性的重要基础, 其实际和潜在价值尚未得到足够的认识和重视(中国生物多样性国情研究报告编写组,

1998, 2016; Li & Pritchard, 2009)。

本文所指的植物遗传资源包括栽培农作物、野生经济植物、野生和栽培经济林木、野生和栽培药材、花卉观赏植物和能源植物等。其中, 作物和林木遗传资源是维持农林产业可持续发展与竞争力以及粮食安全和能源的基础, 是国家重要的基础和战略资源。作物遗传资源是用于粮食和农业生产的作物及其野生近缘植物变异的综合, 包括物种多样性和遗传多样性, 是生物多样性中具有重要经济价值的部分。它们是农作物育种和技术研究的重要物质基础, 对于改良作物品种, 提高粮食和其他栽培植物的产量和质量具有十分重要的意义(Nass et al, 2012)。野生近缘种(crop wild relatives)是现有栽培植物的祖先或与之遗传关系较近的野生种, 它们含有现代栽培作物所没有的有益基因, 对于提高农业生产量和维持农业生态系统可持续发展越来越重要。林木资源可分为用材、经济林和防护林等树种。其中, 用材树种资源多样性体现在林木的种类多样性和种内遗传多样性两个层面, 丰富的野生林木资

收稿日期: 2018-03-20; 接受日期: 2018-04-16

基金项目: 鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室开放课题(PYH2015-06)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: jkchen@fudan.edu.cn

源为用材林树种培育、良种选育和林业产业发展奠定了坚实基础(郑勇奇, 2014)。栽培植物野生近缘种、野生和栽培林木遗传资源是植物遗传资源的重要组成部分, 有着巨大的直接和潜在经济和社会效益(王兵和鲁绍伟, 2009; Maxted et al, 2010)。

20世纪下半叶开始, 随着人口增长、农业扩张、工业化和城镇化加速推进以及经济、社会持续发展, 植物遗传资源面临了严重的威胁(Heywood et al, 2007)。在对植物遗传资源的保护中, 有建立种质资源库、基因库, 以及迁地、就地保护等形式, 特别是遗传资源库受到广泛关注并取得了重要成效, 迁地保护也有一定进展。但栽培植物与野生近缘种遗传多样性资源持续减少的趋势未得到根本扭转, 部分地区植物遗传资源亟待抢救。植物遗传资源保护面临的主要障碍之一是缺乏对植物遗传多样性的全面认识, 包括栽培植物与野生近缘种各自的分布模式、遗传结构、种群历史、相互关系和丧失情况等, 研究的严重滞后和信息的大量空白制约了对其制定合理有效的保护、保存和利用策略。国内外越来越重视植物遗传资源的研究和保护, 并已在认识上取得重要进展(王述民和张宗文, 2011)。《生物多样性战略计划》(2011–2020)(CBD-COP10)的战略目标B强调“减少生物多样性的直接压力和促进可持续利用”, 目标13强调“到2020年, 保持栽培植物、养殖和驯养动物及野生近缘物种, 包括其他社会经济及文化上宝贵物种的遗传多样性, 同时制定并执行减少遗传侵蚀和保护其遗传多样性的战略”。因此, 可以预见的将来, 植物遗传多样性将是保护重点。

2 长江流域植物遗传资源的战略地位和面临的威胁

中国的植物遗传资源及保存数量位于世界前列。我国是最大的、独立的世界栽培植物形态建成中心和栽培植物起源地(起源中心), 初生和次生起源于中国的作物有136种, 占全世界667种的20.4%(瓦维洛夫, 1982)。在全球约50,000个栽培植物野生近缘种(Maxted et al, 2012)中, 我国达24,000多个(于燕波等, 2013)。我国有作物840种, 栽培作物物种1,251个, 作物野生近缘种3,308个, 隶属176科619属(郑殿生等, 2011)。虽然我国野生近缘种的遗传多样性极为丰富, 但栽培种的遗传多样性却十分贫乏, 作物野生近缘种的研究与保护亟待重视(马

克平, 2012)。

长江流域是生物多样性极为丰富的区域。这是全流域自然地理、地质历史和人类文明史及其相互作用的综合结果(陈家宽等, 1997), 在我国乃至全球的生物多样性中独具特色。因其独特的地理位置和复杂的地质构造过程, 形成了多样的地形地貌, 并有着世界上同纬度地区最大的通江、浅水和草型湖泊群以及密集的支流, 发育了森林、草地、灌丛、湿地、荒漠多种自然生态系统(李琴和陈家宽, 2017), 特别是具有广泛分布的亚热带湿润森林区。流域内物理条件和地质演变历史以及光照、气温和降雨量等生态要素差异极大, 且各要素之间合理配置, 孕育了极为丰富的生物多样性, 包括各种生物类群, 植物或动物, 高等或低等, 原始或进化, 古老或现代分类群中的关键类群; 生态系统、物种、遗传的多样性水平极高(傅萃长, 2003; 于晓东等, 2005; 徐卫华等, 2006); 主要栽培植物、家养动物和淡水鱼类的种质资源丰富。长江及其周围湖群被列为“全球200”优先保护热点生态区之一(Olson & Dinerstein, 1998)。《中国生物多样性国情研究报告》确定的17个具有全球意义的生物多样性保护关键区域中有10个全部或部分位于长江流域(中国生物多样性国情研究报告编写组, 1998)。《中国生物多样性保护战略与行动计划(2011–2030)》确定的35个生物多样性保护优先区域中有11个全部或部分位于长江流域。可见, 长江流域生物多样性具有重要的战略地位。

长江流域与黄河流域同为世界四大农耕文明起源地之一。大量考古资料证明, 中国的原始农业和农耕文明起源于约1万年前的长江流域和黄河流域, 流域内具备生态要素的合理配置, 以及生物多样性提供的农作物野生近缘种、林木资源和家养动物野生种资源(陈家宽和李琴, 2014)。长江流域的作物遗传资源具有明显的地域性, 在流域自然条件演变和近万年农耕文明耕作制度下, 经历了漫长的自然选择和人工选择, 形成了丰富的遗传多样性。H. И. 瓦维洛夫的栽培植物起源中心学说认为, 中国中部和西部山区及其毗邻的低地(主要位于长江流域)是全球第一个最大的独立的世界农业发源地和栽培植物起源地, 是世界八大作物起源中心之一。全流域的栽培植物数量极大, 初生和次生中心植物种群变异大, 异型和野生近缘种多, 遗传多样性丰富, 特别是长江流域亚热带的栽培植物区系极为奇特

和丰富,在组成上与世界其他农业初始起源地有明显不同。在栽培植物种和属的潜力和优势上,也超出了其他起源地(瓦维洛夫,1982)。长江中上游地区是许多中国起源的栽培作物野生近缘种的多样性中心,而现在的长江中下游地区是水稻(*Oryza sativa*)、油菜(*Brassica campestris*)、桑(*Morus alba*)、茶(*Camellia sinensis*)、油茶(*Camellia oleifera*)、柑橘(*Citrus reticulata*)等的集中产区。长江流域亚热带森林生态系统的林木资源大多处于野生状态,分布极为广泛,生境多样,经过长期的适应和进化,也形成了丰富的种内遗传多样性。这一区域的主要用材林树种有杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、毛竹(*Phyllostachys edulis*)等几十种,存在显著或极显著的群体内或群体间遗传变异,表现出显著的种源地理变异趋势(顾万春,2001),对育种和遗传改良有较高开发利用价值。

长期以来,由于长江流域具备符合全球经济生产力适宜温度的气候要素条件(Burke et al, 2015),一直是我国经济社会高速发展、人口密集的区域。随着长江经济带建设和长江大保护战略的推进,长江流域更成为我国经济社会发展、自然资源利用和生物多样性保护最具冲突的区域之一。目前,长江流域已建立的生物多样性自然保护体系中,学界和决策部门在物种多样性和生态系统多样性两方面已开展大量科研和保护工作,取得了卓有成效的保护成就。针对重要保护植物物种、哺乳动物、鸟类、两栖类、爬行类、水生生物、草地、荒漠、湿地、森林等生态系统的各类自然保护区约738个,总面积约47.3 km²,占全流域面积的22%(欧阳志云和朱春全,2011)。但是,对中华农耕文明史的生态学解读以及与人类生存和生产密切相关的植物遗传资源的研究和严格保护的战略意义,及其在全世界的重要地位尚没有引起人们足够的重视!

长江流域植物遗传资源保护还面临巨大威胁。目前,随着城镇化进程对土地利用格局的大幅改变、人类活动对湿地和森林生态系统的干扰以及生境片段化,流域内野生近缘种遗传资源丧失严重。主要表现在:(1)野生近缘种因栖息地被破坏、过度采挖、过度放牧等因素而消失;(2)作物种植品种单一化程度突出而导致遗传多样性逐渐丢失;(3)珍稀作物野生近缘植物分布居群或居群系统萎缩或消失,如江西东乡原有的9处野生稻保护居群仅剩2个

(王述民等,2011)。魏伟等(2008)提出9种中国应优先利用却被忽视或未被充分利用的首批植物资源名单,其中猕猴桃(*Actinidia chinensis*)、荞麦(*Fagopyrum esculentum*)、香橼(*Citrus medica*)、枇杷(*Eriobotrya japonica*)起源于长江流域,黄花菜(*Hermodactylis citrina*)的主产区位于长江流域。除了主要和次要作物,其他一些具有潜在用途的作物遗传资源由于文化或历史等原因,很少被研究和开发利用,但它们能为社会发展带来巨大机遇(Williams & Haq, 2002)。从2001年至2014年,我国已建立189个物理隔离保护方式和72个主流化保护方式的农业野生植物原生境保护点,约1/3位于长江流域(中国生物多样性国情研究报告编写组,2016),但这种简单围墙式的保护措施缺少生态学原理与方法的科学支撑,其保护有效性如何和所保护种群的生存生长状态亟需开展跟踪和监测(于燕波等,2013)。另外,还有很多重要的作物及其野生近缘种遗传资源没有纳入自然保护区或成为重要的保护对象。而且,部分针对遗传资源的保护小区在管理上存在缺失,对保护对象缺乏科学的认识和研究,使保护工作难以发挥应有的成效。长江流域林木遗传资源在自然保护区、森林公园、风景名胜区等保护地内受到较好的保护,但在其他区域的保护难度较大,尤其是在大面积结构单一的人工林区域,原始天然林片段化、大量减少甚至消失,林木遗传资源原生性和完整性较差,其遗传多样性急剧下降。目前尚没有针对种质资源或遗传资源保护的立法,仅农业部《农作物种质资源管理办法》(2003)对植物种质资源的收集、整理、保存、利用等进行了规范,不足以依法有效保护。

3 长江流域植物遗传资源保护和可持续利用是长江大保护的主要任务之一

2016年,习近平总书记在推动长江经济带发展座谈会上强调:长江、黄河都是中华民族的发源地,都是中华民族的摇篮。当前和今后相当长一个时期,要把修复长江生态环境摆在压倒性位置,共抓大保护,不搞大开发。资源分布的时空格局决定了人类文明起源和经济社会发展的空间格局。历史上,文明的发端和兴衰都是与温度适宜、生态要素优势配置的湿地密切相关,长江流域的生物多样性资源是中华古文明起源、发展和繁荣的最重要物质基础之

一。今后,长江流域的资源不但是长江经济带和生态文明建设最重要的自然资本,而且长江流域和我国海岸带一起成为我国能否实现中国梦最为关键的自然地理区域。作物遗传资源是将来长江流域甚至全国农业可持续发展的命脉。因此,长江流域植物遗传战略资源的整体保护非常紧迫,需加大保护、研究、开发和可持续利用工作的力度,尽快全面系统地开展长江流域作物和林木遗传多样性的调查工作,摸清家底和尚未引起重视的遗传资源的濒危情况,基于它们的调查编目来制定完善和合理有效的遗传资源多样性研究、评估、保护、监测和可持续利用体系。

综上,长江流域植物遗传资源的保护和可持续利用是长江大保护战略的重要切入点和突破点之一。为此,复旦大学和南昌大学设计并组织出版了“长江大保护与植物遗传多样性”专辑,得到主编马克平先生的大力支持。本专辑包括本文在内共9篇文章,首先从长江流域农作物起源、农耕文明形成和发展着手,从历史与生态视角探讨了其与流域尺度上生物多样性的内在逻辑关系;在此基础上,选择了长江流域最有代表性并对全人类生存与发展有重要影响力的粮食作物——水稻和荞麦,经济作物——茶、油茶、猕猴桃,以及与人类生存、生活息息相关的林木资源,分别阐述了它们的发展历史以及遗传多样性现状、保护、可持续利用的紧迫性和策略;进而就长江流域的栽培植物野生近缘种的动态保护与可持续利用进行粗浅的讨论。

首先,赵耀和陈家宽(2018)梳理了长江流域起源的农作物信息,旨在厘清长江流域植物资源利用的动态变化,探讨栽培植物与生物多样性的关联;通过与其他农作物起源中心的比较,发现长江流域具有更优越的生态要素配置,其驯化作物类型表现出典型的亚热带湿润森林植被区特征;分析了长江流域农作物驯化相关的自然与人为因素,有助于更好地理解长江流域农耕文明的起源,推进长江流域的生态文明建设和可持续发展。

宋志平等(2018)综述了有关长江流域的水稻即亚洲栽培稻驯化起源的考古学和遗传学的研究进展,讨论了水稻驯化与稻作文化及长江文明的关系。最新的遗传学分析结果倾向认为栽培水稻(粳稻)最早起源于中国华南地区,考古学证据则表明水稻最先于12,000–10,000年前在中国长江流域被驯化。

水稻驯化和稻作农业的发展催生了长江文明。这些进展促进了我们对水稻驯化、稻作文化和长江文明的认识,对长江流域的重要植物资源的保护也有启示意义。张文驹等(2018)总结了近年茶的栽培类型的驯化起源的相关进展,综述关于栽培茶起源的文献学、语音学、遗传学和考古学证据,推测在茶知识及栽培品种的传播过程中,各地野生近缘植物的基因渗入到栽培类型中,或各地居民直接用当地野生茶培育出新的栽培茶类型,从而导致遗传上的复杂性和语言上的一致性并存。茶树的祖先类型、起源地点、起源时间以及栽培品种的演变历程都需要更为明确的证据,未来应该以整个茶组植物为对象,开展茶文化、群体遗传学、谱系地理、人类学、气候变化、考古等多学科的整合分析。王玉国等(2018)回顾了栽培猕猴桃的驯化简史与猕猴桃属植物系统分类的研究进展,对长江流域野生猕猴桃资源的潜在价值、现状和保护进行了分析,并提出相应的保护策略:建立长效的保护机制、加强遗传资源的基础科研调查和系统评价,以及健全种质资源保存规范和促进可持续利用。秦声远等(2018)梳理了油茶的栽培历史和普通油茶野生近缘种,统计分析了普通油茶野生近缘种——山茶属油茶组和短柱茶组物种的分布地,并与野生普通油茶的潜在分布区进行了比较,发现长江流域与珠江流域分水岭地区是油茶组和短柱茶组物种多样性最高的地区;并对普通油茶及其野生近缘种的保护、挖掘和利用提出建议。吴凌云和黄双全(2018)论述了荞麦的栽培历史、种植现状及经济药用价值;梳理了荞麦属的分类地位、野生种质资源的分布、种间系统关系和栽培荞麦的起源与祖先的研究进展,孢粉学和考古学的证据显示4,500年前在长江流域就有荞麦种植;指出要加强对荞麦属的基础生物学特性研究,进一步来论证荞麦的起源,保护、挖掘和利用这一种质资源。叶俊伟等(2018)在阐述长江流域林木资源现状的基础上,通过对长江流域早期文明孕育和发展以及国内现代木材产业发展历史和未来规划的分析,阐述了林木(种质)资源的重要性,并针对目前林木种质资源保护存在的家底不清和保存体系不完善的问题,提出应尽快完成林木种质资源的全面调查和重要树种的多样性分析,并完善原地、异地和设施保存相结合的保存体系。

最后,赵耀等(2018)总结了国内外对栽培植物

野生近缘种进行原生境保护与迁地保护所取得的进展,并基于我国实际情况提出了栽培植物野生近缘种的保护建议。对栽培植物野生近缘种利用技术进行了梳理,探讨了其可持续利用的新思路,并以长江流域几种代表性栽培植物为案例,对主要作物类型的保护和利用情况进行了探讨。

对于长江流域生物多样性和植物遗传多样性研究和保护,本专辑只是管中窥豹。通过本专辑,我们呼吁决策部门和学界对栽培作物及其野生近缘种的遗传资源给予更多的关注与思考,高度重视这类战略资源保护、挖掘与利用的科学研究与战略布局,要在国家重大研发计划与保护地建设上尽快安排,并率先在长江流域取得突破。长江流域是中国植物遗传资源和作物野生近缘种分布的最重要区域之一,也是承载中华文明过去和未来的关键地区,遗传多样性保护、开发和利用任重而道远!

致谢: 本文承蒙叶俊伟博士提出重要修改建议,特此感谢。

参考文献

- Burke M, Hsiang SM, Miguel E (2015) Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 527, 235–239.
- Chen JK, Li B, Wu QH (1997) Biodiversity of Yangtze River Basin and countermeasure to the coordinated development of economy. *Chinese Biodiversity*, 5, 217–219. (in Chinese with English abstract) [陈家宽, 李博, 吴千红 (1997) 长江流域的生物多样性及其与经济协调发展的对策. *生物多样性*, 5, 217–219.]
- Chen JK, Li Q (2014) *Ecological Civilization: The Inevitable Choice of Human History Development*. Chongqing Publishing Group, Chongqing. (in Chinese) [陈家宽, 李琴 (2014) 生态文明: 人类历史发展的必然选择. 重庆出版社, 重庆.]
- Compilation Group of China's Biodiversity: A Country Study (1998) *China's Biodiversity: A Country Study*. China Environmental Science Press, Beijing. (in Chinese) [中国生物多样性国情研究报告编写组 (1998) 中国生物多样性国情研究报告. 中国环境科学出版社, 北京.]
- Compilation Group of China's Biodiversity: A Country Study (2016) *China's Biodiversity: A Country Study (II)*. China Environmental Science Press, Beijing. (in Chinese) [中国生物多样性国情研究报告编写组 (2016) 中国生物多样性国情研究报告(II). 中国环境科学出版社, 北京.]
- Costanza R, D'Arge R, Groot RD, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill, RV, Paruelo J (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 3–15.
- Costanza R, Groot RD, Sutton P, Ploeg SVD, Anderson SJ, Kubiszewski I, Farber S, Turner RK (2014) Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152–158.
- Fu CC (2003) *Spatial Pattern and Resource Analysis of Fish Diversity in Yangtze River Basin*. PhD dissertation, Fudan University, Shanghai. (in Chinese with English abstract) [傅萃长 (2003) 长江流域鱼类多样性空间格局与资源分析——兼论银鱼的生物多样性与系统发育. 博士学位论文, 复旦大学, 上海.]
- Gu WC (2001) *China Planting: Forestry*. China Agricultural Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese) [顾万春 (2001) 中国种植业大观·林业卷. 中国农业科技出版社, 北京.]
- Heywood V, Casas A, Ford-Lloyd B, Kell S, Maxted N (2007) Conservation and sustainable use of crop wild relatives. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 121, 245–255.
- Li DZ, Pritchard HW (2009) The science and economics of *ex situ* plant conservation. *Trends in Plant Science*, 14, 614–621.
- Li Q, Chen JK (2017) Theoretical thinking of the Great Yangtze River Protection: Natural capital, tracing civilization and protection countermeasures of the Yangtze River Basin. *Science*, 69, 29–32. (in Chinese) [李琴, 陈家宽 (2017) 长江大保护的理論思考: 长江流域的自然资本、文明溯源及保护对策. *科学*, 69, 29–32.]
- Ma KP (2012) Studies and conservation of crop wild relatives should be promoted. *Biodiversity Science*, 20, 641–642. (in Chinese) [马克平 (2012) 作物野生近缘种的研究与保护需要重视. *生物多样性*, 20, 641–642.]
- Maxted N, Kell S, Álvaro T, Dulloo E, Heywood V, Hodgkin T, Hunter D, Guarino L, Jarvis A, Ford-Lloyd B (2010) A global approach to crop wild relative conservation: Securing the gene pool for food and agriculture. *Kew Bulletin*, 65, 561–576.
- Maxted N, Kell S, Fordlloyd B, Dulloo E, Álvaro T (2012) Toward the systematic conservation of global crop wild relative diversity. *Crop Science*, 52, 774.
- Nass LL, Sigrist MS, Ribeiro CSDC, Reifschneider FJB (2012) Genetic resources: The basis for sustainable and competitive plant breeding. *Crop Breeding & Applied Biotechnology*, 12, 75–86.
- Olson DM, Dinerstein E (1998) The Global 200: A representation approach to conserving the earth's most biologically valuable ecoregions. *Conservation Biology*, 12, 502–515.
- Ouyang ZY, Zhu CQ (2011) *Atlas of Biodiversity and Conservation in the Yangtze River Basin*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [欧阳志云, 朱春全 (2011) 长江流域生物多样性格局与保护图集. 科学出版社, 北京.]
- Qin SY, Rong J, Zhang WJ, Chen JK (2018) Cultivation history of *Camellia oleifera* and its genetic resources in the Yangtze River Basin. *Biodiversity Science*, 26, 384–395. (in

Chinese with English abstract) [秦声远, 戎俊, 张文驹, 陈家宽 (2018) 油茶栽培历史与长江流域油茶遗传资源. 生物多样性, 26, 384–395.]

Song ZP, Chen JK, Zhao Y (2018) Rice domestication and the Yangtze River civilization. *Biodiversity Science*, 26, 346–356. (in Chinese with English abstract) [宋志平, 陈家宽, 赵耀 (2018) 水稻驯化与长江文明. 生物多样性, 26, 346–356.]

Vavilov NI (translated by Dong YC) (1982) Origin and Geography of Cultivated Plants. China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese) [H. Ё. 瓦维洛夫(董玉琛译) (1982) 主要栽培植物的世界起源中心. 中国农业出版社, 北京.]

Wang B, Lu SW (2009) Evaluation of economic forest ecosystem services in China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20, 417–425. (in Chinese with English abstract) [王兵, 鲁绍伟 (2009) 中国经济林生态系统服务价值评估. 应用生态学报, 20, 417–425.]

Wang SM, Li LH, Li Y, Lu XX, Yang QW, Cao YS, Zhang ZW, Gao WD, Qiu LJ, Wan JM, Liu X (2011) Status of plant genetic resources for food and agriculture in China (I). *Journal of Plant Genetic Resources*, 12, 167–177. (in Chinese with English abstract) [王述民, 李立会, 黎裕, 卢新雄, 杨庆文, 曹永生, 张宗文, 高卫东, 邱丽娟, 万建民, 刘旭 (2011) 中国粮食和农业植物遗传资源状况报告(I). 植物遗传资源学报, 12, 1–12.]

Wang SM, Zhang ZW (2011) The state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. *Journal of Plant Genetic Resources*, 12, 325–338. (in Chinese with English abstract) [王述民, 张宗文 (2011) 世界粮食和农业植物遗传资源保护与利用现状. 植物遗传资源学报, 12, 325–338.]

Wang YG, Yang J, Chen JK (2018) Potential value, status analysis, and protection strategy of wild kiwifruit genetic resources in the Yangtze River Basin. *Biodiversity Science*, 26, 373–383. (in Chinese with English abstract) [王玉国, 杨洁, 陈家宽 (2018) 长江流域野生猕猴桃遗传资源的潜在价值、现状分析与保护策略. 生物多样性, 26, 373–383.]

Wei W, Qiu LJ, Zhang ZY, Zhou HF, Li HY (2008) Neglected and underutilized plant species: First recommendation list for China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 9, 406–410. (in Chinese with English abstract) [魏伟, 邱丽娟, 张增艳, 周海飞, 李英慧 (2008) 被忽视和未被充分利用植物物种: 中国首批推荐名单. 植物遗传资源学报, 9, 406–410.]

Williams JT, Haq N (2002) Global research on underutilized crops. An assessment of current activities and proposals for enhanced activities. International Centre for Underutilised Crops.

Wu LY, Huang SQ (2018) Insect-pollinated cereal buckwheats: Its biological characteristics and research progress. *Biodiversity Science*, 26, 396–405. (in Chinese with English abstract) [吴凌云, 黄双全 (2018) 虫媒传粉的谷物类作物——荞麦的生物学特性与研究进展. 生物多样性, 26,

396–405.]

Xu WH, Ouyang ZY, Huang H, Wang XK, Miao H, Zheng H (2006) Priority analysis on conserving China's terrestrial ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 26, 271–280. (in Chinese with English abstract) [徐卫华, 欧阳志云, 黄璜, 王效科, 苗鸿, 郑华 (2006) 中国陆地优先保护生态系统分析. 生态学报, 26, 271–280.]

Ye JW, Zhang YF, Wang XJ, Cai L, Chen JK (2018) The significance of forest resources and the conservation of germplasm resources in the Yangtze River Basin. *Biodiversity Science*, 26, 406–413. (in Chinese with English abstract) [叶俊伟, 张云飞, 王晓娟, 蔡荔, 陈家宽 (2018) 长江流域林木资源的重要性及种质资源保护. 生物多样性, 26, 406–413.]

Yu XD, Luo TH, Wu YM, Zhou HZ (2005) A large-scale pattern in species diversity of amphibians in the Yangtze River Basin. *Zoological Research*, 26, 565–579. (in Chinese with English abstract) [于晓东, 罗天宏, 伍玉明, 周红章 (2005) 长江流域两栖动物物种多样性的大尺度格局. 动物学研究, 26, 565–579.]

Yu YB, Wang QL, Kell S, Maxted N, Ford-Lloyd BV, Wei W, Kang DM, Ma KP (2013) Crop wild relatives and their conservation strategies in China. *Biodiversity Science*, 21, 750–757. (in Chinese with English abstract) [于燕波, 王群亮, Kell S, Maxted N, Ford-Lloyd BV, 魏伟, 康定明, 马克平 (2013) 我国栽培植物野生近缘种及其保护对策. 生物多样性, 21, 750–757.]

Zhang WJ, Rong J, Wei CL, Gao LM, Chen JK (2018) Domestication origin and spread of cultivated tea plants. *Biodiversity Science*, 26, 357–372. (in Chinese with English abstract) [张文驹, 戎俊, 韦朝领, 高连明, 陈家宽 (2018) 栽培茶树的驯化起源与传播. 生物多样性, 26, 357–372.]

Zhao Y, Chen JK (2018) The origin of crops in the Yangtze River basin and its relevance for biodiversity. *Biodiversity Science*, 26, 333–345. (in Chinese with English abstract) [赵耀, 陈家宽 (2018) 长江流域农作物起源及其与生物多样性特征的关联. 生物多样性, 26, 333–345.]

Zhao Y, Li GY, Yang J (2018) Conservation and utilization of wild relatives of cultivated plants. *Biodiversity Science*, 26, 414–426. (in Chinese with English abstract) [赵耀, 李耕耘, 杨继 (2018) 栽培植物野生近缘种的保护与利用. 生物多样性, 26, 414–426.]

Zheng DS, Yang QW, Liu X (2011) Diversity of crop germplasm resources in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 12, 497–500. (in Chinese with English abstract) [郑殿升, 杨庆文, 刘旭 (2011) 中国作物种质资源多样性. 植物遗传资源学报, 12, 497–500.]

Zheng YQ (2014) The State of Forest Genetic Resources in China. China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese) [郑勇奇 (2014) 中国林木遗传资源状况报告. 中国农业出版社, 北京.]

(责任编辑: 周玉荣)