

# 作物野生近缘种的原生境保护

郑晓明<sup>1</sup>, 陈宝雄<sup>2</sup>, 宋 玥<sup>1</sup>, 李 飞<sup>1</sup>, 王君瑞<sup>1</sup>, 乔卫华<sup>1</sup>,  
张丽芳<sup>1</sup>, 程云连<sup>1</sup>, 孙玉芳<sup>2</sup>, 杨庆文<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; <sup>2</sup> 农业农村部农业生态与资源保护总站, 北京 100125)

**摘要:** 作物野生近缘种是作物种质创新和品种改良的天然基因库, 全球 30% 的作物增产得益于野生近缘种在作物育种中的利用。然而, 由于生境破坏和污染、资源过度利用、盲目引种和气候变化等导致大量自然群体消失和群体遗传多样性丧失, 对作物野生近缘种的繁衍和进化形成了严重威胁。原生境保护是在自然条件下对作物野生近缘种及其生态环境进行保护, 维持其进化潜力, 保护物种与环境互作的进化过程, 是保护作物野生近缘种的重要途径之一。本文在分析国内外原生境保护政策和技术手段的基础上总结了作物野生近缘种原生境保护技术路线, 综述了国内外对作物野生近缘种的原生境保护进展, 并基于中国国情提出了作物野生近缘种存在的问题, 探讨了未来作物野生近缘种原生境保护和野生近缘种可持续利用的发展方向和工作重点, 强调把基因组、表型组和环境因子相关大数据与作物野生近缘种保护、研究和利用紧密结合, 为作物野生近缘种的有效保护和高效利用提供强有力的理论和信息支撑。

**关键词:** 作物; 野生近缘种; 原生境保护; 多样性

## *In-situ* Conservation of Wild Relatives of Crops

ZHENG Xiao-ming<sup>1</sup>, CHEN Bao-xiong<sup>2</sup>, SONG Yue<sup>1</sup>, LI Fei<sup>1</sup>, WANG Jun-rui<sup>1</sup>, QIAO Wei-hua<sup>1</sup>,  
ZHANG Li-fang<sup>1</sup>, CHENG Yun-lian<sup>1</sup>, SUN Yu-fang<sup>2</sup>, YANG Qing-wen<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

<sup>2</sup> Rural Energy and Environment Agency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125)

**Abstract:** Wild relatives are natural gene pools for crop genetic enhancement and variety improvement. About 30% of crop yield growth in the global was contributed by the application of crop wild relatives. However, due to habitat destruction and pollution, overuse of resources, blinded introduction of varieties and climate change etc., the wild relatives of crops are under threat and a proportion of natural populations and genetic diversity have been lost. *In-situ* conservation is an important strategy to protect wild relatives and their nature habitats as well as protect interaction between wild relatives and environment to maintain their evolutionary potentiality. Based on the analyses of domestic and foreign policies and technical means of *in-situ* conservation, this paper summarizes the technical route of *in-situ* conservation, puts forward the problems and working focus of *in-situ* conservation of crop wild relatives in China. The large data related to genome, phenotype and environment should be closely integrated with *in-situ* conservation of crop wild relatives, which provide strong theoretical support for the *in-situ* conservation of crop wild relatives.

**Key words:** crop; wild relative; *in-situ* conservation; diversity

作物是人类对野生植物进行长期驯化和改良的产物<sup>[1]</sup>, 包括粮食作物、经济作物和园艺作物等<sup>[2-3]</sup>。

在驯化过程中, 作物遗传多样性水平下降, 限制了作物的改良潜力, 降低了其对环境的适应性, 给农业生

收稿日期: 2019-05-13 修回日期: 2019-07-21 网络出版日期: 2019-06-11

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20190513002>

第一作者研究方向为野生稻种质资源和保护生物学, E-mail: zhengxiaoming@caas.cn

通信作者: 杨庆文, 研究方向为野生稻种质资源和保护生物学, E-mail: yangqingwen@caas.cn

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31670211); 农业部财政专项(2130136)

**Foundation project:** National Natural Science Foundation(31670211), Ministry of Agriculture and Rural Affairs(2130136)

产带来了潜在的风险<sup>[4,5]</sup>。在进化过程中,作物的野生近缘种积累了丰富的表型与遗传变异,是作物种质创新和品种改良的天然基因库<sup>[5,6]</sup>。自1945年以来,全球30%的作物增产得益于野生近缘种在作物育种中的使用<sup>[7]</sup>,每年产生的收益约1150亿美元<sup>[8]</sup>,因此作物野生近缘种是保障全球粮食安全、促进农业可持续发展的战略资源<sup>[9,10]</sup>。然而,由于生境破坏和污染、资源过度利用以及盲目引种和外来种入侵等导致大量自然群体消失和群体遗传多样性丧失,对作物野生近缘种的繁衍和进化形成了严重威胁,作物野生近缘种的原生境保护日益紧迫。

## 1 原生境保护的定义和技术路线

### 1.1 原生境保护的定义

原生境保护是在自然条件下对作物野生近缘种及其生态环境进行保护,维持其进化潜力,保护物种与环境互作的进化过程<sup>[11,12]</sup>。原生境保护让植物种群始终暴露在自然选择和适度的人类干扰作用下,不仅能够维持其自身遗传多样性,同时使其保持进化潜力<sup>[13]</sup>。同时,原生境保护可以在一个地点对多种遗传资源进行保护,不需要设置多种储存条件来满足不同种质的保护需要,而且免去了异地保存中繁杂的人工更新工作,相对投入也远远小于异地保存<sup>[9]</sup>。

在国际上,原生境保护主要有两种模式,一种是主流化(mainstreaming)方法,另一种为物理隔离(physical isolation)方法<sup>[14,15]</sup>。主流化保护法是借助作物野生近缘种所在地农牧民的积极参与,达到保护作物野生近缘种的目的。但是主流化保护方法的效果严重依赖当地农牧民的参与保护意识,因此主流化保护方法一般在环保意识比较强、经济较发达的国家和地区比较适合。物理隔离方法是在作物野生近缘种资源地建立保护区或保护点,采用物理隔离的方法有效地阻止人畜进入保护区,保护植物生境不受人类的干扰和破坏,从而起到作物野生近缘种的保护作用<sup>[9,14]</sup>。

### 1.2 作物野生近缘种原生境保护的技术路线

原生境保护由于其自身的优势已成为作物野生近缘植物保护的主要方式,广泛应用于濒危作物野生近缘种的遗传多样性保护<sup>[12]</sup>。原生境保护的基础是通过对地球上物种形成机制的了解以及调查人类活动对物种遗传变异和生态系统的影响,建立可操作的方法来保护和恢复生物群落及其生态功能,保持野生植物的遗传多样性<sup>[16]</sup>。通过多个国家的实践和应用,原生境保护已经形成了一套相对完善

的保护流程<sup>[17]</sup>(图1)。该流程一共分为六步<sup>[18]</sup>:

(1) 建立作物野生近缘种(CWR)检查表,将一个国家和地区发现的所有CWR分类群列表。

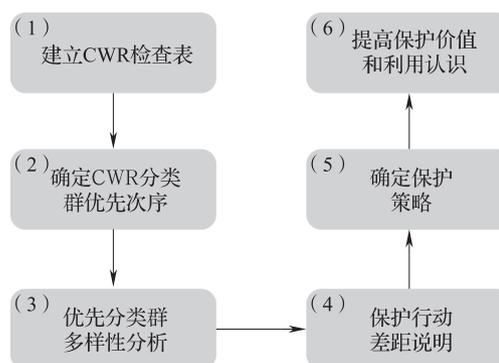
(2) 确定CWR分类群的优先次序,根据分类群的优先次序建立国家或地区CWR保护清单。该清单中不仅包括CWR分类群列表,还应包括分类群概念、生物学、生态地理学、利用情况和生长环境等辅助信息。

(3) 优先保护的CWR多样性分析,包括生态地理分布多样性和遗传多样性。

(4) 优先保护行动的差距分析与说明,包括优先保护行动的条件、保护技术评估和CWR类群优先保护行动中的差距识别。

(5) 有关机构讨论决定实施原生境或异地保护优先保护策略,提出国家原生境保护场地网络的建议。实施长期主动保护和可持续使用CWR的同时,考虑到CWR的群体异地保存备份。

(6) 提高对CWR保护价值的认识、保护的必要以及不同用户群体对CWR保护多样性的利用,是CWR保护、规划和利用之间的一个重要环节。



图中序号分别对应原生境保护流程的步骤

The number corresponds to the working steps

图1 作物野生近缘种原生境保护流程

Fig.1 Workflow of CWR in-situ conservation

## 2 国内外作物野生近缘种原生境保护现状

### 2.1 国内外原生境保护相关政策

1989年,国际粮食和农业遗传资源委员会开始呼吁建立原生境保护区来保护粮食和农业遗传资源,包括作物及其野生近缘植物。1993年生效的《生物多样性公约》(CBD, Convention on Biological Diversity)明确指出国际社会应重视作物农家品种和野生近缘种的原生境保护。2011年,粮农组织理事会通过了《第二份粮食和农业植物遗传资源保护和可持续利

用全球行动计划》,其第 4 个优先行动为“促进作物野生近缘种和野生食用植物的原生境保护和管理”。2010 年,《生物多样性公约》第 10 次缔约方大会通过了《2011-2020 年生物多样性战略计划》,其中包括 20 个生物多样性目标,第 13 个目标为“到 2020 年,保持栽培植物、养殖和驯养的动物及其野生近缘物种,包括其他社会经济以及文化上宝贵的物种的遗传多样性,制定并执行减少基因损失和保护其遗传多样性的战略”。《全球植物保护战略》第 9 个目标也指出“到 2020 年,养护 70% 的作物及其野生近缘物种以及其他具有社会经济价值的植物物种的遗传多样性,同时尊重、保留和维持相关的土著和地方知识”。

近 30 年来,中国政府也意识到作物野生近缘种原生境保护的重要性,为保护、发展和合理利用农业野生植物遗传资源,提出了一系列保护生物多样性和维护生态平衡的政策。1996 年 9 月 30 日国务院令 204 号发布《野生植物保护条例》,以规范野生植物的保护、发展和利用活动。该条例明确了野生植物的范围,指原生地天然生长的珍贵植物和原生地天然生长并具有重要经济、科学研究、文化价值的濒危、稀有植物。确定了农业野生植物遗传资源保护的管理体系,由国务院农业行政主管部门主管全国除林业野生植物以外的其他野生植物和林区外珍贵野生树木的监督管理工作。还规定了野生植物的分类分级保护及名录发布、野生植物生长环境的保护、野生植物监视和野生植物管理等内容。2002 年,农业部颁布了《农业野生植物保护办法》,规定县级以上农业主管部门负责濒危农业野生植物(含作物野生近缘种)的管理,建立农业野生植物原生境保护点(区)。2010 年,国务院发布的《中国生物多样性保护战略与行动计划(2011-2030)》明确提出在保护区外建立保护小区或保护点,对野生植物进行原生境保护。

## 2.2 中国作物野生近缘种原生境保护现状

中国是重要的栽培植物起源中心之一,也是作物野生近缘种特别丰富的国家之一<sup>[19]</sup>。我国政府从 20 世纪 50 年代以来有组织、大规模的开展农业野生资源收集、保护工作<sup>[19-20]</sup>。编辑出版了《中国作物及其野生近缘植物》丛书 9 卷,包括粮食作物、经济作物、果树、蔬菜、牧草和绿肥、观赏植物、药用植物、林木和名录<sup>[2,19]</sup>,是目前为止中国作物及其野生近缘种最为全面的记录和描述,为野生近缘植物的利用和保护奠定了良好的基础。

我国利用物理隔离方式开展作物野生近缘植物的原生境保护可以追溯至 1985 年,当时位于江西省

东乡县全球分布最北的普通野生稻分布点的 9 个居群面临被破坏的威胁,中国水稻研究所与江西省农业科学院对其进行了围墙隔离,最终使该分布点的 3 个居群都得到了保护,而其他未保护的居群已全部被破坏<sup>[14]</sup>。2001 年农业部设立专项资金,启动了利用物理隔离方式开展的作物野生近缘植物原生境保护工作。至 2018 年底,共利用物理隔离方式建设原生境保护点 205 个,保护物种 39 个,分布于 27 个省(自治区、直辖市)。

中国开展作物野生近缘植物的主流化保护较少,目前仅通过执行一个全球环境基金(GEF)项目进行了尝试<sup>[21]</sup>。该项目由联合国开发计划署和农业部共同执行,于 2007-2013 年分别在海南、广西、云南选择 3 个野生稻分布点,在河南、吉林、黑龙江选择 3 个野生大豆分布点,在新疆和宁夏选择 2 个小麦野生近缘植物分布点进行主流化保护方式示范。项目示范的主要做法是因地制宜地建立了适合不同物种、不同地点的原生境保护激励机制,这些激励机制可概括为:以政策法规为先导,通过约束人的行为减少对作物野生近缘植物及其栖息地的破坏;以生计替代为核心,切实帮助农牧民解决生计问题,降低农牧民对作物野生近缘植物及其栖息地的依赖程度;以资金激励为后盾,引导农牧民逐步适应市场经济发展模式,充分利用国家灵活的农村金融政策,持续发展生物多样性友好型家庭经济;以提高意识为纽带,通过精神和物质奖励鼓励农牧民主动参与作物野生近缘植物的保护活动。通过总结 8 个示范点的经验,项目将其推广至另外 64 个推广点。因此,我国利用主流化保护方式建立的作物野生近缘植物原生境保护点共有 72 个,保护物种 31 个,分布于 15 个省(自治区、直辖市)(表 1)。

## 2.3 国外作物野生近缘种原生境保护现状

1999 年,美国国家植物种质系统(NPGS)发布了美国 CWR 原位保护指南。2010 年,美国植物种质保护委员会内成立了 CWR 原生境保护小组委员会。2012 年,NPGS 种质资源信息网络(GRIN)根据育种和交叉性研究评估,编制了一个列有 CWR 的作物基因库数据库。在过去的 10 年中,NPGS 支持 61 项美国 CWR 原生境保护项目的探索,包括粮食作物、饲料作物以及木本景观和观赏性作物等<sup>[22]</sup>。美国现有 985 属和 194 个植物科的 4600 个分类群,包括通过育种具有潜在价值的 CWR,以及直接用于食品、饲料、医药、草药、观赏和环境恢复目的的野生物种被美国列为保护清单实施保护<sup>[23-25]</sup>。

表 1 中国利用主流化方式建设的原生境保护点数量和物种类别

Table 1 Number of *in-situ* conservation sites and species categories with mainstreaming approach in China

省(市、自治区) Provinces ( City, Autonomous region )	保护点数 Protection sites	被保护目标物种 Protected species
天津	2	野生大豆、野生软枣猕猴桃
河北	3	野生胡桃、野生猕猴桃、一把伞南星
内蒙古	3	沙芦草
吉林	7	刺五加、野生大豆、小花蜻蜓兰、野生软枣猕猴桃
黑龙江	7	野生刺五加、野生五味子、野生大豆
安徽	6	野生中华猕猴桃、野生茶、明党参、蕙兰、野生金荞麦
河南	5	野生中华猕猴桃、绞股蓝、野生大豆
湖北	5	野生莲、中华猕猴桃、野生金荞麦、野生八角莲
湖南	5	野生金荞麦、野生莲、绞股蓝、野生兰花、野生中华猕猴桃
广西	5	普通野生稻、野生荔枝
海南	3	普通野生稻、野生猕猴桃、野生茶
云南	6	普通野生稻、药用野生稻、疣粒野生稻、野生茶
甘肃	3	野生中华羊茅、野生中华猕猴桃、甘肃桃
宁夏	5	沙冬青、甘草、发菜、野生草麻黄、野生枸杞、小麦野生近缘植物
新疆	7	小麦野生近缘植物(大赖草)、罗布麻、木贼麻黄、胀果甘草、新疆紫草、新疆野苹果
合计 Total	72	31 个物种

2007年,欧洲启动了作物野生近缘种原生境保护概念<sup>[26]</sup>。ECPGR概念确定了欧洲对CWR有效和系统地就地保护多样性的需要和战略规划。英国在作物野生近缘植物(CWR)保护方面做出了重要举措,是欧洲第一个制定了CWR保护策略的国家。英国在摸清CWR资源遗传多样性和数量的基础上,划定优先保护CWR物种多样性,针对优先保护CWR开展生态地理和遗传学分析,以明确CWR多样性的受威胁情况,研发原生境保护策略,确定并建立重点保护区域<sup>[16]</sup>。到2017年,英国已经建立了17个原生境保护区(点),包括9个特定保护区和8个科研保护点,保护了226个物种,占英国CWR清单的67%<sup>[16,24]</sup>。

北非使用欧洲和地中海作物野生亲缘分类目录获得了北非5780个作物野生亲缘分类群的清单,清单包含5588个(约97%)本地分类群和192个引进分类群。约9%(502)CWR分类群通过4个标准确定为北非保护的优先事项,即作物的经济价值、野生亲缘关系与其作物的相关性程度、使用国际自然保护联盟红色名录评估的威胁状态,以及最终确定作物的起源和多样性中心<sup>[25]</sup>。21个分类群被评定为极度濒危、53个被评定为濒危,并建立了相应

的原生境保护区<sup>[25-26]</sup>。

印度虽然也同样建立了CWR清单,但是受保护的物种还是比较少。但是印度对国家主要粮食作物水稻的近缘野生种比较重视。20世纪80年代,印度科学家在国际项目的支持下利用物理隔离方式建设了3处野生稻原生境保护区,但由于未考虑主要威胁因素的大象的巨大破坏力,围栏设施均遭受大象破坏,野生稻又回归到自生自灭状态<sup>[27]</sup>。21世纪初,印度科学家在印度北部通过对柑橘类植物的调查,发现5个柑橘种的多样性急剧下降,于是提出了利用主流化方式进行原生境保护的提议,并且采取了宣传和培训的方式鼓励农民进行保护<sup>[27-28]</sup>。

### 3 展望

#### 3.1 中国作物野生近缘种原生境保护存在的问题

截至2017年底,我国利用物理隔离和主流化两种保护方式已建成各类农业野生植物原生境保护点261个,保护物种52个,分布于27个省(自治区、直辖市)。虽然我国作物及其近缘野生种的保护工作起步比较早且取得了一定的成效,然而,随着社会发展,有许多农业野生植物正面临灭绝的危险,也给我国农业野生植物保护工作带来了一系列的

问题。

第一,我国作物野生近缘种的原生境保护物种少,多样性低,管理缺失严重。据估计,在过去 20 年里,全球大约有 25%~35% 的植物遗传多样性丧失<sup>[29]</sup>,我国情况也类似。与此形成对照的是,我国一方面列入保护对象的作物野生近缘种比例较低,已查明的 1930 个作物野生近缘种中仅有 202 个被列入《国家重点保护野生植物名录》,另一方面已列入保护对象的物种只有 52 个实施了原生境保护,仅约四分之一。在已保护的物种中,有些物种建立的保护点较多(如野生稻、野生大豆等),有些物种保护点较少(如小麦野生近缘植物等),但都与应保护的居群数量相差甚远,多样性都较低。有些针对作物野生近缘种的保护点在管理上也存在很多问题,特别是地方政府重建设轻管理的意识较重,管理缺失较为严重<sup>[9]</sup>。据农业农村部 2018 年组织的调查结果表明,已建的 205 个保护点约三分之一缺少有效管理,很难实现保护目标。同时,由于资金和政策不能保证长期支持,缺乏长期跟踪调查与评估,难以制定合理的作物野生近缘种原生境保护和可持续利用策略。

第二,大多数已建立的作物野生近缘种的原生境保护区内资源精准鉴定不够深入,尚未建立高效运行的、针对产业需求的野生资源鉴定评价体系。由于深度鉴定的不足以及鉴定评价体系的不完善,无法针对大量资源开展规模化挖掘研究,严重阻碍了作物野生近缘种资源利用。同时,由于作物野生近缘种直接利用难度大,在未经深度鉴定的情况下难以满足品种选育的需求。

第三,作物野生近缘种原生境保护理论研究比较薄弱。现有的作物野生近缘种原生境保护还基于少数的分子标记,传统原生境保护中的很多科学问题很难用经典遗传学技术加以解决,特别是群体结构、居群间的基因流和进化动态及居群间的亲缘关系等受到遗传和环境因素的双重影响而难以被精确估算。但是深度研究被保护对象的遗传多样性特点、交配系统以及种群动态等,不但是对其进行有效保护的前提,也是开展种质资源动态保护的基础性工作<sup>[30-31]</sup>。

第四,在传统的野生植物保护与管理规划中,忽略了全球气候变化将给野生植物及其生境带来的深刻而长远的影响。全球气候变化的地域之广阔,影响之深远,已使野生植物受到前所未有的冲击<sup>[32]</sup>。同时,气候变化也对作物产生了重要的影

响,如何利用野生近缘种对外界的环境变化积累的有利变异,需要深入研究。

### 3.2 中国作物野生近缘种原生境保护重点

尽管近年来我国在作物野生近缘种原生境保护方面作出了大量努力,但是,仍有大量的作物野生近缘种受到栖息地资源过度开发、农业现代化和环境污染、入侵物种和气候变化的威胁,作物野生近缘种原生境保护工作刻不容缓。根据我国作物野生近缘种的保护现状,我国作物野生近缘种原生境保护的重点应包括以下几个方面。

首先,科研单位和政府部门积极配合,制定保护规划。原生境保护者和相关政府组织共同加强作物野生近缘种原生境保护,对全国作物野生近缘种优先保护清单内物种实施长期跟踪调查与评估,制定合理的植物资源保护和可持续利用规划,并建立稳定的资金支持机制,减小当前物种灭绝速率,保证作物野生近缘种生存环境的可持续发展。

其次,在未来作物野生近缘种原生境保护研究中,需首先考虑居群取样原则,同时充分利用基因组、表型组以及环境信息等大数据体系,进行原生境保护理论研究。有效监测原生境保护群体等位基因频率的变化,评估遗传漂变、选择和基因流对原生境保护群体的影响。结合环境气候因子的变化,阐明群体适应环境变化的遗传因素,揭示物种灭绝与濒危机制。在此基础上,分析现有原生境保护群体结构特征、阐明生物群落遭受破坏的机理和恢复基础等,为作物野生近缘种制定保护计划和应用策略提供依据,从而提高对作物野生近缘种原生境保护区(点)管理的能力。

再次,加大力度完善作物野生近缘种的鉴定评价体系,推动资源的开发与利用。对现有作物野生近缘种原生境保护区(点)内的资源进行有效鉴定,积累现有资源的性状鉴定数据,鉴定出一批具有某些优良性状的育种材料,同时把性状的鉴定、性状的分子功能以及其相关基因的变异和进化规律的研究结合起来,弄清楚性状的基因控制及其分子遗传进化规律,从而有效的进行利用,实现在保护中利用、以利用促保护的良性循环。

最后,作物野生近缘种原生境保护与管理中,增强气候变化对作物野生近缘种生物群落影响的认识,充分考虑作物野生近缘种适应气候变化的能力,将气候变化的理念融入到作物野生近缘种原生境保护机制中。确定对我国气候变化敏感的植物多样性关键区,重点关注对气候变化敏感的植物类群,加强

气候要素改变对作物野生近缘种及其生物群落影响研究。在气候变化的大背景下,利用基因组数据对作物野生近缘种的遗传多样性及其变化进行系统调查研究,系统的追踪监测,建立有效的数据库,发展作物野生近缘种的信息网络,发展有关作物野生近缘种对气候变化响应的量化指标及相应的模型,为作物应对气候变化的动态育种做好充足的准备。

#### 参考文献

- [1] Doebley J. Plant science. Unfallen grains: how ancient farmers turned weeds into crops. *Science*, 2006, 312 ( 5778 ): 1318-1319
- [2] 董玉琛, 刘旭. 中国作物及其野生近缘植物. 北京: 中国农业出版社, 2008: 25-47  
Dong Y C, Liu X. Crops and their wild relatives in China. Beijing: China Agriculture Press, 2008: 25-47
- [3] 郑殿升. 中国粮食作物的野生近缘植物及其保存概况. 中国野生植物资源, 2006 ( 5 ): 5-7  
Zheng D S. Wild relatives of Chinese food crops and their conservation profiles. *Chinese Wild Plant Resources*, 2006 ( 5 ): 5-7
- [4] Zhu Q, Zheng X, Luo J, Gaut B S, Ge S. Multilocus analysis of nucleotide variation of *Oryza sativa* and its wild relatives: severe bottleneck during domestication of rice. *Molecular Biology and Evolution*, 2006, 24 ( 3 ): 875-888
- [5] Zhang H, Mittal N, Leamy L J, Barazani O, Song B H. Back into the wild: Apply untapped genetic diversity of wild relatives for crop improvement. *Evolutionary Applications*, 2017, 10: 5-24
- [6] 卢宝荣. 杂交-渐渗的遗传进化效应与栽培作物野生近缘种多样性保护. 科学通报, 2014, 59 ( 6 ): 479-492  
Lu B R. Genetic evolution effects of hybridization-introgression and conservation of wild relatives of cultivated crops. *Chinese Science Bulletin*, 2014, 59 ( 6 ): 479-492
- [7] Pimentel D, Wilson C, McCullum C, Huang R, Dwen P, Flack J, Tran Q, Saltman T, Cliff B. Economic and environmental benefits of biodiversity. *Bioscience*, 1997, 47 ( 11 ): 747-757
- [8] Maxted N, Kell S, Toledo Á, Dulloo E, Heywood V, Hodgkin T, Hunter D, Guarino L, Jarvis A, Ford-Lloyd B. A global approach to crop wild relative conservation: Securing the gene pool for food and agriculture. *Kew Bulletin*, 2010, 65 ( 4 ): 561-576
- [9] 杨庆文, 秦文斌, 张万霞, 乔卫华, 于寿娜, 郭青. 中国农业野生植物原生境保护实践与未来研究方向. 植物遗传资源学报, 2013, 14 ( 1 ): 1-7  
Yang Q W, Qin W B, Zhang W X, Qiao W H, Yu S N, Guo Q. *In-situ* conservation practices and future development of wild relatives of crops in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2013, 14 ( 1 ): 1-7
- [10] 于燕波, 王群亮, Shelagh Kell, Nigel Maxted, Brian V. Ford-Lloyd, 魏伟, 康定明, 马克平. 中国栽培植物野生近缘种及其保护对策. 生物多样性, 2013, 21 ( 6 ): 750-757  
Yu Y B, Wang Q L, Kell S, Maxted N, V. Ford-Lloyd B, Wei W, Kang D M, Ma K P. Crop wild relatives and their conservation strategies in China. *Biodiversity Science*, 2013, 21 ( 6 ): 750-757
- [11] Meilleur B A, Hodgkin T. *In situ* conservation of crop wild relatives: Status and trends. *Biodiversity and Conservation*, 2004, 13: 663-684
- [12] Dulloo M E, Hunter D, Borelli T, Hamon S, Pamfil D, Sestras R. *Ex situ* and *in situ* conservation of agricultural biodiversity: Major advances and research needs. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2010, 38: 114-122
- [13] Jarvis D I, Myer L, Klemick H, Guarino L, Smale M, Brown A H D, Sadiki M, Sthapit B, Hodgkin T A. Training guide for *in situ* conservation on-farm. Version 1. Rome, Italy: International Plant Genetic Resource Institute, 2000: 1-10
- [14] 郑殿升, 杨庆文. 中国作物野生近缘植物资源. 植物遗传资源学报, 2014, 15 ( 1 ): 1-11  
Zheng D S, Yang Q W. Genetic resources of wild relatives of crops in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, 15 ( 1 ): 1-11
- [15] 徐海明. 中国农业野生植物原生境保护实践研究. 农业与技术, 2016, 36 ( 8 ): 22  
Xu H M. Study on the practice of *in situ* conservation of Chinese agricultural wild plants. *Agriculture and Technology*, 2016, 36 ( 8 ): 22
- [16] Muñoz-Rodríguez P, Draper Munt D, Moreno Saiz J C. Global strategy for plant conservation: inadequate *in situ*, conservation of threatened flora in Spain. *Israel Journal of Plant Sciences*, 2016, 63: 1-12
- [17] Labokas J, Maxted N, Kell S, Brehm J M, Iriondo J M. Development of national crop wild relative conservation strategies in European countries. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2018, 65: 1385-1403
- [18] Phillips J, Magos Brehm J, van Oort B, Asdal Å, Rasmussen M, Maxted N. Climate change and national crop wild relative conservation planning. *Ambio*, 2017 ( 6 ): 630-643
- [19] 刘旭, 郑殿升, 董玉琛, 朱德蔚, 方嘉禾, 费砚良, 贾敬贤, 蒋尤泉, 杨庆文, 王述民, 黎裕, 曹永生. 中国农作物及其野生近缘植物多样性研究进展. 植物遗传资源学报, 2008, 9 ( 4 ): 411-416  
Liu X, Zheng D S, Dong Y S, Zhu D W, Fang J H, Fei Y L, Jia J X, Jiang Y Q, Yang Q W, Wang S M, Li Y, Cao Y S. Advances in research on diversity of Chinese crops and their wild relatives. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2008, 9 ( 4 ): 411-416
- [20] 侯向阳, 高卫东. 作物野生近缘种的保护与利用. 生物多样性, 1999 ( 4 ): 327-331  
Hou X Y, Gao W D. Protection and utilization of crop wild relatives. *Chinese Biodiversity*, 1999 ( 4 ): 327-331
- [21] Yang Q W, Wang J C, Wang Q H. Incentive practices in the conservation of wild relatives of crops in China. Beijing: China Agriculture Press, 2015: 37-44
- [22] USDA-ARS National Genetic Resources Program. GRIN ( Germplasm Resources Information Network ) taxonomy for plants. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, MD. ( 2012-09-21 ) [ 2019-05-13 ]. <http://www.ars-grin.gov/~sbnljw/cgi-bin/index.pl?language=en>
- [23] Flora of North America Association ( FNA ). Flora of North America. Flora of North America Association, Harvard University Herbaria, Cambridge, MA. ( 2008-09-22 ) [ 2019-05-13 ]. <http://floranorthamerica.org/>
- [24] Flora of North America Association ( FNA ). Flora of North

- America-Introduction. Flora of North America Association, Harvard University Herbaria, Cambridge, MA. (2008-09-22) [2019-05-13]. <http://floranorthamerica.org/introduction>
- [25] Khoury C K, Greene S, Wiersema J, Maxted N, Jarvis A, Struik P C. An inventory of crop wild relatives of the united states. *Crop Science*, 2013, 53(4): 1496
- [26] Maxted N, Avagyan A, Frese L, Iriondo J, Brehm J M, Singer A, Kell S. ECPGR concept for *in situ* conservation of crop wild relatives in Europe. European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources, 2015
- [27] Aguirre-Gutiérrez J, Van Treuren R, Hoekstra R. Crop wild relatives range shifts and conservation in Europe under climate change. *Diversity and Distributions*, 2017: 1-12
- [28] V. Ford-Lloyd B, Schmidt M, Armstrong S J, Barazani O, Engels J, Hadas R, Hammer K, Kell S P, Kang D, Khoshbakht K, Li Y H, Long C L, Lu B R, Ma K P, Nguyen V T, Qiu L J, Ge S, Wei W, Zhang Z W, Maxted N. Crop wild relatives-Undervalued, underutilized and under threat? *BioScience*, 2011, 61: 559-565
- [29] Maxted N, Kell S, Toledo Á, Dulloo E, Heywood V, Hodgkin T, Hunter D, Guarino L, Jarvis A, Ford-Lloyd B. A global approach to crop wild relative conservation: Securing the gene pool for food and agriculture. *Kew Bulletin*, 2010, 65: 561-576
- [30] 黎磊, 陈家宽. 气候变化对野生植物的影响及保护对策. *生物多样性*, 2014, 22(5): 549-563
- Li L, Chen J K. Influence of climate change on wild plants and the conservation strategies. *Biodiversity Science*, 2014, 22(5): 549-563
- [31] 黎裕, 李英慧, 杨庆文, 张锦鹏, 张金梅, 邱丽娟, 王天宇. 基于基因组学的作物种质资源研究: 现状与展望. *中国农业科学* 2015, 48(17): 3333-3353
- Li Y, Li Y H, Yang Q W, Zhang J P, Zhang J M, Qiu L J, Wang T Y. Genomics-based crop germplasm research: Advances and perspectives. *Scientia Agricultura Sinica* 2015, 48(17): 3333-3353
- [32] Wolkovich E M, Cook B I, Allen J M, Crimmins T M, Betancourt J L, Travers S E, Pau S, Regetz J, Davies T J, Kraft N J, Ault T R, Bolmgren K, Mazer S J, McCabe G J, McGill B J, Parmesan C, Salamin N, Schwartz M D, Cleland E E. Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change. *Nature*, 2012, 485(7399): 494-497

## 欢迎订阅 2020 年《中国水稻科学》、《Rice Science》

《中国水稻科学》(ISSN 1001-7216, CN 33-1146/S)为中国水稻研究所主办的全国性学术期刊,主要报道以水稻为研究对象的未经发表的原始论文。所设栏目包括研究报告、研究简报、研究快报、研究简讯、实验技术、学术专论、文献综述等。读者对象为国内外从事水稻科研、教学、生产和管理的有关人员。同时,还办有《Rice Science》。

《中国水稻科学》为中文核心期刊、中国科学引文索引数据库核心期刊,中国科技核心期刊,也是国内外 30 多种数据库和检索期刊的文献源。在全国和地方期刊评比中,《中国水稻科学》多次获优秀期刊奖,曾两度被评为全国优秀科技期刊,荣获第三届国家期刊奖(百种重点期刊),并入选中国期刊方阵双百期刊、中国精品科技期刊、百种中国杰出学术期刊和中国百强报刊。

《中国水稻科学》为双月刊,大 16 开,96 页,每期定价 20.00 元(全年 120.00 元),邮发代号 32-94,国外代号 Q6533。读者可在各地邮政局订阅,也可向编辑部订阅。

《Rice Science》(水稻科学,ISSN 1672-6308, CN 33-1317/S)于 1990 年创刊,原名为 Chinese Rice Research Newsletter(CNRRN),主要报道水稻研究简报及简讯。2003 年改为学术期刊,主要发表水稻科研领域的原创性论文。

《Rice Science》为中国科技核心期刊,中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊,“中国最具国际影响力学术(TOP5%)期刊”,自 2017 年起被 SCIE(Science Citation Index Expanded)数据库收录,2019 年影响因子为 2.370。《Rice Science》为双月刊,大 16 开,60 页,每期定价 15.00 元(全年 90.00 元),境外 15 美元(全年 90 美元),自办发行,请读者直接向编辑部订阅。

地址:杭州市富阳区水稻所路 28 号中国水稻研究所内

邮编:311401

电话:0571-63370278, 63371017

E-mail: cjrs@263.net, li@ricescience.org, rs@ricescience.org