

中国野生稻种质资源调查收集与保护

徐志健^{1,2}, 王记林³, 郑晓明², 范芝兰⁴, 汤翠凤⁵, 王新华⁶,
刘文强⁷, 朱业宝⁸, 乔卫华², 杨庆文²

(¹ 广西壮族自治区农业科学院水稻研究所, 南宁 530007; ² 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; ³ 江西省农业科学院水稻研究所, 南昌 330200; ⁴ 广东省农业科学院水稻研究所, 广州 510640; ⁵ 云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 昆明 650205;
⁶ 海南省农业科学院粮食作物研究所, 海口 571100; ⁷ 湖南省水稻研究所, 长沙 410125;
⁸ 福建省农业科学院水稻研究所, 福州 350018)

摘要: 野生稻是水稻基础研究与育种的战略性资源, 野生稻的保护与利用直接关系到国家的粮食安全。我国是世界上野生稻种质资源分布最丰富的国家之一, 由于经济的高速发展, 野生稻栖息地遭到严重破坏, 一些重要居群濒临灭绝。自 1996 年开始, 农业农村部设立专项对我国野生稻种质资源进行系统调查和收集, 并实施了异位保存和原生境保护项目。本文全面总结了全国野生稻种质资源调查、取样、异位保存与原生境保护的技术、方法和成效, 并通过对我国野生稻种质资源现状评估和未来水稻育种和生物技术研究发展趋势的分析, 提出了我国野生稻保护与利用的建议。

关键词: 野生稻; 种质资源; 调查收集; 保护

Collection and Conservation of Wild Rice Resources in China

XU Zhi-jian^{1,2}, WANG Ji-lin³, ZHENG Xiao-ming², FAN Zhi-lan⁴, TANG Cui-feng⁵,
WANG Xin-hua⁶, LIU Wen-qiang⁷, ZHU Ye-bao⁸, QIAO Wei-hua², YANG Qing-wen²

(¹ Rice Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007; ² Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ³ Rice Research Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200; ⁴ Rice Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640;
⁵ Biotechnology and Germplasm Resources Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205; ⁶ Crop Research Institute, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou 571100;
⁷ Hunan Rice Research Institute, Changsha 410125; ⁸ Rice Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350018)

Abstract: Wild rice is a strategic germplasm resource valuable for rice breeding and basic research, and its protection and practical use are important for Chinese food security. China is one of countries where abundant wild rice resources were found. Owing to the economic development over decades, the original habitat of wild rice had been seriously damaged, i.e. some populations were extinct. Since 1996, the Ministry of Agriculture and Rural Affairs initiated a serial of projects to support the survey, collection and conservation of wild rice germplasm resources in China. This article summarized the techniques, methods and achievements on investigation, collection and conservation of wild rice resources in China, especially with a focus on the implementation of *in situ* conservation. We proposed, by taking full consideration of the status on wild rice research as well as

收稿日期: 2020-04-20 修回日期: 2020-05-17 网络出版日期: 2020-06-05

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20200420003>

第一作者研究方向为野生稻种质资源和保护生物学, E-mail: xuzhijian@126.com

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

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: 中国农业科学院科技创新工程; 农业农村部财政专项 (2130136)

Foundation projects: Agricultural Science and Technology Innovation Program of Chinese Academy of Agricultural Science, Ministry of Agriculture and Rural Affairs Finance Special (2130136)

the prospects on breeding and bio-techniques, suggestions on future conservation and utilization of wild rice germplasm resources.

Key words: wild rice; germplasm resources; investigation and collection; conservation

中国是亚洲栽培稻的起源地之一,浙江余姚河姆渡、江西万年仙人洞等地的考古资料表明,最早一万多年前,我们的祖先就已学会了栽培水稻^[1-3]。作为亚洲栽培稻的祖先种,野生稻蕴藏着大量栽培稻驯化过程中丢失或者削弱了的优异基因,是水稻育种及基因组学研究的重要物质基础。中国也是世界上野生稻资源最丰富的国家之一,1978-1981年的调查发现,我国有普通、药用和疣粒3种野生稻,分布于南方7个省(区),且由于我国南方气候炎热,水源充足,野生稻分布广,数量多,类型丰富^[4]。

野生稻曾为我国的粮食生产做出过重大贡献,野败不育系的成功选育为解决我国粮食短缺问题做出了不可磨灭的贡献。野生稻中蕴藏着丰富的抗病虫、抗逆境、高产、优质等优异基因,是我国水稻育种研究的重要物质基础^[4]。自20世纪80年代起,由于农田的开发,以及工业化、城镇化的快速发展,我国野生稻的自然居群遭受严重破坏甚至快速消失,数量急剧下降,面临着野外灭绝的危险^[4]。国内一些著名科学家都非常关注野生稻的保护工作,呼吁采取措施抢救和保护野生稻资源,农业农村部也先后将野生稻保护纳入《农业生物资源保护与可持续利用规划》和《农业生物资源保护工程建设规划》。自1996年起,针对我国野生稻资源濒危严重且本底不清、原生境保护技术匮乏、保护与利用脱节等问题,中国农业科学院作物科学研究所组织全国优势单位,按照“全面查清→科学保护→鉴定评价→种质创新→共享利用”的总体思路,开展野生稻种质资源调查、原生境保护和创新利用。经过20多年的努力,系统查清了分布于7个省(区)309个县的普通、药用、疣粒3种野生稻居群的本底信息,抢救性收集并异位保存了丰富的野生稻资源,调查范围、保存数量均为世界之最。通过创新野生稻原生境保护技术,建立了我国野生稻原生境保护技术体系和监测预警技术体系,确保了野生稻重要居群的自然生存繁衍,极大地丰富了我国水稻育种的基因库,也为植物进化以及分子生物学研究储备了丰富的基因资源。本文系统总结了20多年来,我国在野生稻种质资源调查收集与保存、原生境保护技术体系等方面所取得的重要进展,并对以后研究的重点进行了展望。

1 中国野生稻种质资源的调查与收集

1.1 中国野生稻种质资源的调查与收集历史

中国是世界上野生稻资源最丰富的国家之一,而且自古以来就有野生稻的记载。公元前3世纪以前的古书《山海经》中记载:“西南黑水之间,有都广之野,爰有高菽、膏稻...百谷自生,冬夏播殖。”表明早在2000年前的华南地区就有自生的野生稻存在。1917年, Roschev 和 Merrill 在广东罗浮山麓至石龙平原一带发现并收集到普通野生稻;1926年丁颖在广州市郊犀牛尾的沼泽地发现并收集到普通野生稻,随后又在广东其他各地以及海南岛、广西的西江流域等地发现普通野生稻^[5-6];1926年, Masamune 最早在台湾省发现疣粒野生稻,1932-1933年中山大学植物研究所在海南岛南山岭下及小抱山边发现疣粒野生稻,1936年王启元在云南车里县(现景洪县)橄榄坝发现疣粒野生稻,又于车里县发现药用野生稻;1935年在中国台湾的桃园、新竹两县也发现了普通野生稻,1942年在中国台湾的新竹发现疣粒野生稻;1950年在广西玉林,1954年在广东郁南县、罗定县,1960年在英德县发现药用野生稻^[7]。1963-1964年,戚经文等对广东、广西、海南、云南等省(区)小范围的考察与收集,收集到少数种质资源与标本^[7]。1978-1982年间,由中国农业科学院作物品种资源研究所主持,全国数百家单位参与,开展了全国野生稻的全面考察与收集工作,共考察了306个县、3531个公社(乡镇),共计29329人次,发现我国共分布有3种野生稻,即普通野生稻、药用野生稻和疣粒野生稻。普通野生稻分布最为广泛,分布在广东、广西、云南、海南、福建、江西、湖南等南方7个省(区);药用野生稻分布于广东、广西、云南和海南省,而疣粒野生稻因对生态条件要求较严格,仅分布于云南、海南两省^[4,8]。

1.2 中国野生稻调查与收集技术体系构建

1.2.1 野生稻调查技术 1978年之前,我国野生稻的调查基本是由科学家零星开展的,其调查方法和记载方式各不相同。1978-1982年开展全国野生稻种质资源调查与收集时,制定了统一的调查技术路线和记载标准,印制了统一的记载表格。但受当时经济技术条件限制,野生稻调查中分布点位置、面积

等只能依靠人工记载,地点只能到小地名,而资源收集也没有统一标准,基本上是每个分布点采集的种子或种茎混合成为 1 份资源。所以此次调查的 2696 个分布点仅收集到 3238 份资源^[9]。20 世纪 80 年代起,由于经济高速发展导致野生稻自然生境和群落遭受严重破坏,社会各界积极呼吁加强保护。

针对野生稻自然居群分布现状不清,濒危程度不详等问题,中国农业科学院牵头组成专业调查组,对分布于我国 7 省(区)309 个县(市、区)原记载的 2696 个居群逐一进行实地核查,同时对适合 3 种野生稻生存繁衍的生态环境类似区域进行了系统调查。本次野生稻调查收集以国家级和省级科研人员为主,并进行严格的技术培训,培训内容包括考察地区的自然地理条件和社会情况、考察方法和注意事项、采集样本和标本方法、标本的制作与管理、考察物种、变种、变型的识别等。根据国内外野生植物调查技术发展趋势,在总结以往调查经验基础上,制定了野生稻调查技术规范,采用 GPS 确定居群地理分布的精准信息,详细记载形态性状、生态环境、伴生植物、威胁因子等数据,采集野生稻及其栖息地等图像信息。以 GPS 精细定位为基础、以居群的地形、气候、土壤、小生境、伴生植物以及当地民族、文化、习俗、农民认知等为技术指标,创建了地理环境信息与社会人文相结合的野生稻调查技术体系。

1.2.2 野生稻居群采集技术 鉴于以往未考虑居群大小、地下茎等因素,存在凭经验随机取样、取样单株少、代表性差等问题,利用形态和分子标记对代表性居群进行遗传多样性研究,参考地下茎和异交率等指标,设定居群遗传多样性指标阈值,以遗传多样性为基础,确定取样数量和取样距离;制定了取样间距 >12 m、每个居群采集 20~30 株的采集技术。构建了野生稻调查与收集技术体系,按照统一技术和标准获得的野生稻居群数据和信息可比性强,居群分布信息精确到 5 m 以内,信息更精准,便于跟踪监测。居群采集样本遗传多样性代表性达 85% 以上,保证了保护取样居群的基因多样性^[10]。

1.2.3 野生稻 GPS/GIS 信息系统构建技术 按照《野生稻种质资源描述规范和数据标准》,对野生稻形态性状和典型特征进行标准化,结合居群 GPS 定位信息及图像信息,研发了野生稻调查数据管理信息系统,建立了包括所有居群地理信息、生态环境、特征特性、典型特点等基本信息以及栖息地、野生稻单株及其典型特征等图像信息的 GPS/GIS 信息系统,并纳入国家农作物种质资源信息系统,实现了国

内用户的信息共享。使野生稻基础研究者和育种家在未来任何时期都能随时准确获得任一居群的全部信息,开展跟踪监测、保护生物学研究、起源进化和利用研究等,还可为农业农村部制定保护规划提供科学依据。

1.3 中国野生稻种质资源调查与收集成效

全国野生稻种质资源的本地性调查结果发现我国仍然只有 3 种野生稻,且未发现新的分布省。原记载的 3 种野生稻 2696 个居群现仅存 636 个,丧失了 76.41%。其中,普通野生稻 461 个、药用野生稻 123 个、疣粒野生稻 52 个,原记载的居群分别为 2147 个、452 个和 97 个,丧失率分别为 78.53%、72.79% 和 46.39%,濒危状况十分严重。调查发现,我国野生稻的分布范围南起海南岛的崖县(18°09' N),北至江西省东乡县(28°14' N),西达云南省盈江县(97°56' E)。在以往调查未曾到达的偏远地区新发现 3 种野生稻 58 个居群,其中云南普洱的疣粒野生稻为世界上唯一海拔超过千米的居群(1068 m),广东河源新发现的药用野生稻为我国药用野生稻分布最东限,向东扩展了 1°30' E,该居群也为目前我国分布最北的药用野生稻。本底性调查为我国野生稻长久保护与深入研究提供了第一手核心数据。对新采集的资源,利用分子标记检测技术剔除重复,获得野生稻种质资源 19153 份,其中普通野生稻 16417 份,药用野生稻 2498 份,疣粒野生稻 238 份,是我国 1996 年保存总数(5599 份)的 3.42 倍,极大地丰富了我国野生稻基因库。

2 中国野生稻种质资源保护

2.1 野生稻种质资源保护技术研究

2.1.1 异位保存技术 异位保存也称异地保存、迁地保存或非原生境保存,是指将遗传资源迁出原生地进行保存。野生稻的异位保存分为以种子形式保存的种质库保存与以植株方式保存的种质圃保存。我国先后建立了世界上规模庞大的国家种质资源库(长期库)和“国家农作物种质保存中心”(简称中期库)。由于野生稻多年生长、异质性强等特性,种茎保存能较好地保持野生稻的遗传完整性,遂在广东省农业科学院水稻研究所(广州)和广西农业科学院水稻研究所(南宁)建立了 2 个国家野生稻种质资源圃,收集野生稻种茎入圃保存,至 2019 年底,国家种质库共保存 13 种国内外野生稻种质资源 6697 份,广州圃共保存国内外 20 种野生稻种质资源 5158 份,南宁圃共保存 21 种野生稻种质资源

12000 份。

集成国内外野生稻种质库、种质圃保存技术,并根据国际发展趋势,优化各项技术指标,制定了野生稻异位保存技术规程,对采集的野生稻进行农艺性状及分子鉴定,经梯级聚类分析,研究重复单株的检测技术,形成了野生稻种质库和种质圃相结合的异位保存体系。以此研究为基础,根据农业农村部农业野生植物保护需求,制订国家农业行业标准《农业野生植物异位保存技术规程》(NY/T 2217.1—2012),由农业农村部发布实施。

2.1.2 原生境保护技术 野生稻资源丰富的遗传多样性是自然进化的结果,与自然环境相互作用使得野生稻的遗传特性不断加强,一些优异的抗性性状才能得以保存并与环境协同进化。异位保存所收集的材料无法代表野生稻居群完整的遗传多样性。农业农村部于 2001 年启动了野生稻原生境保护工作。在野生稻资源调查过程中,对野生稻居群的威胁因素进行了系统分析,结合对野生稻居群分布、生态环境、交配系统、遗传侵蚀、外来入侵物种、人畜活动、伴生植物、当地农民素质等因素的综合分析,研制了威胁因素评估技术,阐明了导致野生稻不同居群的致濒因素。创立了适宜不同生态环境和社会经济条件、以消除主要威胁因素为导向的原生境保护技术。关键技术要点包括:(1)普通野生稻为常异花授粉植物,水稻花粉漂移距离可达 100 m 以上,周围农田种植的水稻或野生稻分布区周边有假稻、李氏禾等稻属近缘植物分布,且距离在 100 m 内,其花粉传播易造成野生稻的遗传侵蚀,应采用能够有效防止花粉传播的技术。(2)野生稻集中分布区外 100 m 范围内没有水稻种植或近缘植物分布,但人为破坏和近交衰退等威胁野生稻正常生存繁衍,应采用有效阻止人畜进入且又能保证野生稻分布区与外界温、光、水、气自由交换,并使野生稻自由扩展、保持其正常生存繁衍并避免自交衰退的技术。(3)对于受外来物种入侵、伴生植物消长等复杂因素威胁的居群,宜采用综合保护技术,特别是通过建立多种激励机制,鼓励农民参与,实现野生稻保护与农民利益的可持续发展^[11]。

由于我国野生稻分布广泛,在野生稻原生境保护点的选择上,综合野外生态学考察、各居群取样进行遗传多样性分析研究,制定选点原则:(1)野生稻分布集中,面积大,遗传多样性丰富;(2)分布区特殊或能代表某一特殊的生态系统;(3)致濒因素复杂,濒危状况严重;(4)农民和地方有一定的生物多

样性保护意识,积极配合野生稻保护工作;(5)保护点建成后能够长期维持,并对未来的生物多样性保护有积极的推动作用^[11]。对原生境保护点的管理主要采用封闭式管理和农民参与的开放式管理两种方式。封闭式管理采用生物或物理屏障把保护点与外界隔离,使外界人畜不能随便进入,资源的安全性高,但保护点建设、维护成本也高。农民参与的开放式管理通过政府帮助村民建立村规民约来约束农民毁坏野生稻的行为,同时通过宣传教育和激励机制来提高村民参与野生稻资源保护的自觉性;这种方式对村民生产生活影响小,保护点建设和维护成本低,有利于人与自然的和谐相处,但安全性不如封闭式管理^[12]。

2.1.3 原生境保护点监测预警技术 原生境保护点建成当年,对保护点内的植物资源和环境状况进行调查,获得保护点资源与环境的基础数据信息。此后,每年相同时期按照相同的方法,持续对保护点内资源和环境状况进行调查。在原生境保护点外不设置监测点,但应对其周边可能影响目标物种生长的环境因素和人为活动进行监测,如水体、林地、荒地、耕地、道路、村庄、厂(矿)企业、养殖场、污染物或污染源等。在原生境保护点内,根据保护点面积,随机设置 20~30 个监测点。每个监测点样方正方形,边长宜为 1 m。每年定期监测两次,选择在野生稻生长盛期和成熟期进行。选择野生稻居群的密度指数、伴生植物种类数、伴生植物数量、目标物种丰富度、遗传多样性指数、环境影响因子(温、光、水)等 21 项监测指标对保护点进行跟踪监测。每年对调查获得的数据和信息进行整理,并与保护点建成当年获得的数据和信息进行比较,对差异明显的监测项目需重复监测,如确有差异,要分析造成差异的原因及预测其是否对目标物种构成威胁。根据监测与评价结果,将预警划分为一般性预警和应急性预警两类。一般性预警为针对监测发现的问题,提出应对策略和采取措施的具体建议,并逐级上报。上级主管部门对上报信息进行分析,提出处理意见和建议。应急性预警为遇突发事件,如地震、滑坡、泥石流、火灾等或极端天气情况如旱灾、冻灾、水灾、台风、暴雨等,每天对监测数据和信息进行分析,直接上报至国家主管部门,国家主管部门及时对上报信息进行分析,提出处理意见和应急措施,并及时指导实施应急措施。

2.2 野生稻种质资源保护成效

基于野生稻种质资源安全保存理论,创建了较

为完善的、规范的中国野生稻种质资源安全保存技术体系(图1)。目前为止,3种野生稻均被列为国

家二级保护植物,为野生稻优异基因发掘、种质创新以及持久利用储备了丰富的遗传资源。

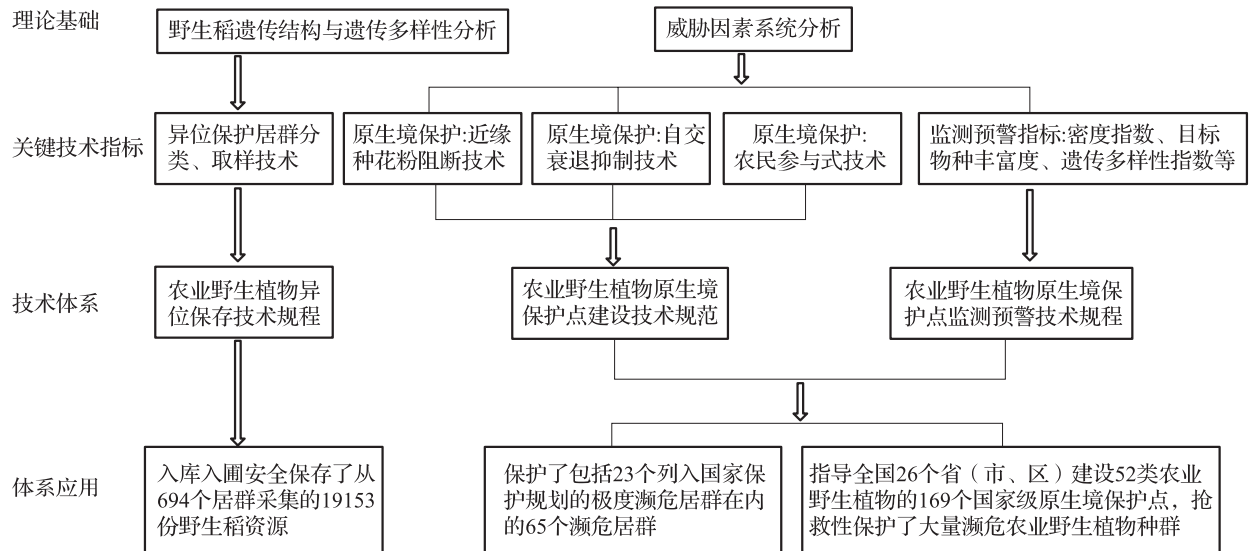


图1 中国野生稻种质资源保护技术体系

Fig.1 The systematic technologies of conservation of Chinese wild rice germplasm resources

由于野生稻分布范围广,生态环境复杂,确定重点区域和重要居群是资源保护的关键。以遗传多样性丰富度为基础,开展了遗传结构和生态环境特点研究,研究发现每种野生稻居群遗传结构与地理隔离、流域分布关系密切^[13]。确定了广东广西南部 and 海南北部为我国普通野生稻和药用野生稻的遗传多样性中心,海南和云南西南部为疣粒野生稻遗传多样性中心,北回归线以南的珠江流域为我国水稻起源中心^[14-16]。野生稻遗传结构受山体阻隔且具有典型的流域特征等特点,3种野生稻对气候和生态环境适应性差异显著。江西东乡、湖南茶陵、云南元江等野生稻分布的边缘居群,生态环境非常脆弱。基于遗传多样性的居群采集和异位保存技术,按规程入库入圃安全保存了从694个居群采集的19153份野生稻资源,最大限度地保证了野生稻的遗传多样性,保存量居世界第一。

阐明了生态环境、交配系统、遗传侵蚀、伴生植物等对野生稻的致濒机理,制定了以消除主要威胁因素为导向的原生境保护技术。明确了野生稻居群的优先保护次序,确定了以广东、广西南部和海南北部为重点区域、其他区域按山体和流域确定重点居群、优先保护边缘居群的原生境保护策略。依据原生境保护点选点原则,应用原生境保护技术,指导建立了65个野生稻原生境保护点(30个国家级、35个

省级),同时总结建设经验,结合全国农业野生植物原生境保护需求,制定了《农业野生植物原生境保护点建设技术规范》(NY/T1688-2008)国家农业行业标准,对全国农业野生植物原生境保护点建设提供技术支持。在30个国家级保护点中,结合濒危状况调查,筛选23个极度濒危的野生稻居群,列入了农业农村部生物资源保护规划^[17-21]。保护了包括23个列入国家保护规划的极度濒危居群在内的65个濒危居群。建立了原生境保护点监测预警技术体系,发现各保护点主要威胁因素下降趋势明显,野生稻资源状况指数显著上升,遗传多样性保持基本稳定。2003年、2010年和2015年对江西东乡野生稻的监测结果表明,其遗传多样性指数分别为0.47、0.5和0.5,基本保持稳定,说明野生稻原生境保护技术正确,监测指标合理^[22-23](图2)。制定的野生稻原生境保护点监测预警技术规范,推广应用于野生稻及野生大豆等其他农业野生植物原生境保护实践中,经综合评估和反复论证,提升为农业行业标准《农业野生植物原生境保护点监测预警技术规程》(NY/T2216-2012)。至2018年底,指导全国27个省(市、区)建设205个农业野生植物原生境保护点,保护物种39个,抢救性保护了大量濒危农业野生植物种群^[24]。

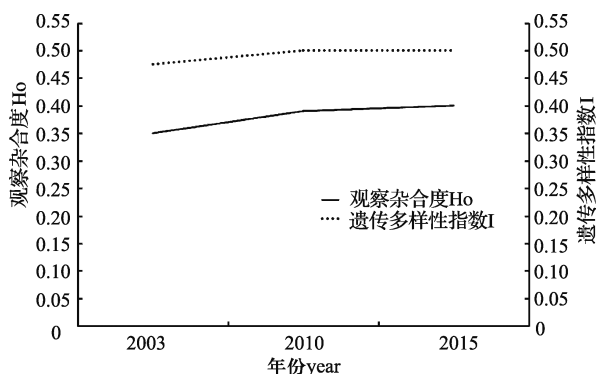


图2 原生境保护的野生稻种质资源遗传多样性变化

Fig.2 Chart of change trend of genetic diversity of Chinese wild rice resources by *in situ* conservation

3 展望

3.1 加强对国外野生稻种质资源的收集引进

国外野生稻可能含有我国稻种资源中没有的优异性状或优异基因,是我国稻种资源中不可或缺的补充资源,对我国水稻育种、产业发展,以及维护我国粮食安全,提升我国资源储备的战略地位都有极其重要的作用。我国国家种质保存的国外野生稻资源仅占5%,而且多个国家的野生稻资源都没有收集保存,存在空白。野生稻主要分布在东南亚和南亚地区的发展中国家,根据国际上通过的“遗传资源获取与惠益分享”的《名古屋议定书》,发展中国家对种质资源的保护力度正在加强,收集这些国家种质资源的难度越来越大。随着这些发展中国家的经济发展,野生稻资源遭到大量破坏,很多居群已经丧失或濒临灭绝。加强国外野生稻种质资源的收集与引进,不仅能够抢救濒临灭绝的野生稻资源,而且能够丰富我国作物种质资源,为我国农业可持续发展储备基因资源。

3.2 进一步完善异位保护与原生境保护相结合的野生稻保护体系

野生稻种质资源保护工作是一项公益性、长期性任务。需要从国家层面上进一步完善我国野生稻种质资源的保护技术体系。完善种质库与种质圃互为备份的异位保存设施体系;采取主流化(农民参与式)保护与物理隔离有机结合的方式,布局我国的野生稻原生境保护点。加强原生境保护点监测预警体系的建设。建立覆盖全国的野生稻保护点动态监测网络,及时掌握保护点准确的物种消长和生态环境变化信息。通过种质库、种质圃和原生境保护点来整体保存野生稻这一重要种质资源的基因源。

3.3 面向水稻产业发展进一步加强野生稻的基础性研究

我国收集保存的野生稻数量世界第一,原生境保护技术国际领先,在野生稻提供利用方面已取得显著成绩,共享利用信息平台健全,优异资源、创新种质符合生产发展需要。但是,受全球气候变化的影响,部分野生稻居群可能应对气候变化的适应性较弱增加了灭绝的风险,需要密切关注全球气候变化趋势,加强野生稻对气候变化的适应性研究。利用分子生物学手段充分发掘野生稻丰富的优异基因,创制生产中亟需的,如耐低氧、适合机械收获等种质;加强野生稻基因组学和表型组学研究,从进化的角度解析水稻的重要性状。同时,需要关注气候变化所导致的水稻新的病虫害,及时掌握水稻育种发展趋势及重大需求,筛选符合未来水稻育种目标和生产急需的优异资源,为水稻育种和生产服务。

参考文献

- [1] 丁颖. 中国水稻栽培学. 北京: 农业出版社, 1961: 13-16
Ding Y. Rice cultivation in China. Beijing: Agricultural Press, 1961: 13-16
- [2] Oka H I. Experimental studies on the origin of cultivated rice. Genetics, 1974, 78: 475-486
- [3] 黄国勤. 江西万年稻作文化系统的特征、价值与保护. 遗传与保护研究. 遗产与保护研究, 2019, 4(1): 17-22
Huang G Q. Characteristics, value and protection of Wannian rice culture system in Jiangxi Province. Research on Heritages and Preservation, 2019, 4(1): 17-22
- [4] 张万霞, 杨庆文. 中国野生稻收集、鉴定和保存现状. 植物遗传资源学报, 2003, 4(4): 369-373
Zhang W X, Yang Q W. Collecting, valuation and conservation of wild rice resources in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2003, 4(4): 369-373
- [5] 庞汉华, 杨庆文, 赵江. 中国野生稻资源考察、鉴定和保存概况. 植物遗传资源学报, 2000, 1(4): 52-56
Pang H H, Yang Q W, Zhao J. Exploration, collection, evaluation and conservation of wild rice resources in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2000, 1(4): 52-56
- [6] 丁颖. 广东野生稻及由野生稻育成之新种 // 丁颖稻作论文选集. 北京: 农业出版社, 1983, 421-426
Ding Y. Wild rice in Guangdong and its new species bred from wild rice // Selected papers of Ding Ying rice. Beijing: Agricultural Press, 1983, 421-426
- [7] 全国野生稻资源考察协作组. 我国野生稻资源的普查和考察. 中国农业科学, 1984, 17(6): 27-34
The Cooperative Team of Wild Rice Resources Survey and Exploration of China. A general survey and exploration of wild rice germplasm in China. Scientia Agricultura Sinica, 1984, 17(6): 27-34
- [8] 广东农林学院农学系. 我国野生稻的类型及其地理分布. 遗传学报, 1975, 2(1): 31-35
Department of Agronomy, Guangdong University of Agriculture and Forestry. Types and geographical distribution of wild rice in

- China. Journal of Genetics and Genomics. 1975, 2(1): 31-35
- [9] 庞汉华, 陈成斌. 中国野生稻资源. 南宁: 广西科学技术出版社, 2002: 15
- Pang H H, Chen C B. Wild rice resources in China. Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 2002: 15
- [10] 王效宁, 杨庆文, 云勇, 孟卫东. 普通野生稻居群异位保护取样策略研究. 中国农学通报, 2010, 26(7): 303-306
- Wang X N, Yang Q W, Yun Y, Meng W D. Studies on the sampling strategy for *Ex-Situ* conservation of *Oryza rufipogon* Griff. Chinese Agricultural Science Bulletin. 2010, 26(7): 303-306
- [11] 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, Q 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
- [12] 陈成斌. 广西野生稻资源原生境保存探讨. 中国农学通报, 2003, 19(5): 106-109
- Chen C B. Discussion on *in situ* conservation of wild rice resources in Guangxi. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2003, 19(5): 106-109
- [13] Wei X, Qiao W H, Chen Y T, Wang R S, Cao L R, Zhang W X, Yuan N N, Li Z C, Zeng H L, Yang Q W. Domestication and geographic origin of *Oryza sativa* in China: insights from multilocus analysis of nucleotide variation of *O. sativa* and *O. rufipogon*. Molecular Ecology. 2012, 21: 5073-5087
- [14] Wei X, Qiao W H, Yuan N N, Chen Y T, Wang R S, Cao L R, Zhang W X, Yang Q W, Zeng H L. Domestication and association analysis of Hd1 in Chinese mini-core collections of rice. Genetic Resource and Crop Evolution, 2014, 61: 121-142
- [15] 黄娟, 杨庆文, 陈成斌, 梁世春, 张万霞, 乔卫华, 王家祥. 广西普通野生稻的遗传多样性及分布特征. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2633-2642
- Huang J, Yang Q W, Chen C B, Liang S C, Zhang W X, Qiao W H, Wang J X. Genetic diversity and the geographical characteristics of wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.) in Guangxi. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(8): 2633-2642
- [16] Huang X H, Kurata N, Wei X H, Wang Z X, Wang A H, Zhao Q, Zhao Y, Liu K Y, Li J Y, Han B. A map of rice genome variation reveals the origin of cultivated rice. Nature, 2012, 490: 497-501
- [17] 任民, 陈成斌, 荣廷昭, 张万霞, 盖红梅, 杨庆文. 桂东南地区普通野生稻遗传多样性研究. 植物遗传资源学报, 2005, 6(1): 31-36
- Ren M, Chen C B, Rong T Z, Zhang W X, Gai H M, Yang Q W. Genetic diversity of *oryza rufipogon* Griff. in southeast region in Guangxi. Journal of Plant Genetic Resources, 2005, 6(1): 31-36
- [18] 盖红梅, 陈成斌, 沈法富, 张万霞, 任民, 王玉薇, 杨庆文. 广西武宣濠江流域普通野生稻居群遗传多样性及保护研究. 植物遗传资源学报, 2005, 6(2): 156-162
- Gai H M, Chen C B, Shen F F, Zhang W X, Ren M, Wang Y W, Yang Q W. Genetic diversity and conservation strategy of *Oryza rufipogon* along the Haojiang River in Guangxi Zhuang Autonomous Region. Journal of Plant Genetic Resources, 2005, 6(2): 156-162
- [19] 李亚非, 陈成斌, 张万霞, 梁世春, 杨庆文. 我国北回归线区域普通野生稻遗传多样性和遗传结构研究. 植物遗传资源学报, 2007, 8(3): 280-284
- Li Y F, Chen C B, Zhang W X, Liang S C, Yang Q W. Studies on genetic diversity and population structure of *Oryza rufipogon* near the tropic of cancer in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2007, 8(3): 280-284
- [20] 梁新霞, 郑晓明, 刘莎, 王君瑞, 乔卫华, 张丽芳, 齐兰, 公婷婷, 苏龙, 丁鹰宾, 许睿, 程云连, 高爱农, 杨庆文. 云南及周边普通野生稻遗传多样性及其分布特征研究. 植物遗传资源学报, 2017, 18(3): 390-395
- Liang X X, Zheng X M, Liu S, Wang J R, Qiao W H, Zhang L F, Qi L, Gong T T, Su L, Ding Y B, Xu R, Cheng Y L, Gao A N, Yang Q W. Analysis on genetic diversity and the Origin of *Oryza rufipogon* in Yunnan Province. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(3): 390-395
- [21] 杨庆文, 余丽琴, 张万霞, 陈大洲, 时津霞, 任军方, 苗哈. 原、异位保存普通野生稻种质资源的遗传多样性比较研究. 中国农业科学, 2005, 38(6): 1073-1079
- Yang Q W, Yu L Q, Zhang W X, Chen D Z, Shi J X, Ren J F, Miao H. Comparative studies on genetic diversities between *in-situ* and *ex-situ* conserved germplasm of *Oryza rufipogon*. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(6): 1073-1079
- [22] 王家祥, 陈友桃, 黄娟, 乔卫华, 张万霞, 杨庆文. 中国普通野生稻 (*Oryza rufipogon* Griff.) 原生境保护与未保护居群的遗传多样性比较. 作物学报, 2009, 35(8): 1474-1482
- Wang J X, Chen Y T, Huang J, Qiao W H, Zhang W X, Yang Q W. Comparison of genetic diversity between *in-situ* conserved and non-conserved *Oryza rufipogon* population in China. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(8): 1474-1482
- [23] Liu S, Zheng X, Yu L, Feng L, Wang J, Gong T, Liang X, Qi L, Su L, Ding Y, Xu R, Qiao W, Cheng Y, Zhang L, Yang Q. Comparison of the genetic structure between *in situ* and *ex situ* populations of Dongxiang wild rice. Crop Science, 2017, 57: 3075-3084
- [24] 郑晓明, 陈宝雄, 宋玥, 李飞, 王君瑞, 乔卫华, 张丽芳, 程云连, 孙玉芳, 杨庆文. 作物野生近缘种的原生境保护. 植物遗传资源学报, 2019, 20(5): 1103-1109
- Zheng X M, Chen B X, Song Y, Li F, Wang J R, Qiao W H, Zhang L F, Cheng Y L, Sun Y F, Yang Q W. *In-situ* conservation of wild relatives of crops. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(5): 1103-1109