

# 东南亚和南亚野生稻种质资源收集与初步研究

郑晓明<sup>1,2</sup>, 周海飞<sup>2</sup>, 陈文俐<sup>2</sup>, 周廉<sup>2</sup>, 任宁宁<sup>2</sup>, 刘荣<sup>2</sup>, 孟庆霖<sup>2</sup>, 耿牧帆<sup>2</sup>, 刘开强<sup>3</sup>,  
李丹婷<sup>3</sup>, 吕荣华<sup>3</sup>, 马小定<sup>1</sup>, 乔卫华<sup>1</sup>, 朱永清<sup>4</sup>, 卢宝荣<sup>4</sup>, 杨庆文<sup>1</sup>, 葛颂<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; <sup>2</sup> 中国科学院植物研究所, 北京 100093;

<sup>3</sup> 广西农业科学院水稻研究所, 南宁 530007; <sup>4</sup> 复旦大学, 上海 200433)

**摘要:** 目前水稻遗传资源利用已经不能满足水稻现代育种的需求, 对其近缘野生种质资源的开发利用就显得尤为重要。虽然中国具有全世界最多的水稻种质资源储量, 但是近缘野生种(野生稻)种质资源较少, 且材料来源分布不均衡, 国外野生稻种质资源仅占中国水稻近缘野生种质资源保存量的 10%。与中国相比, 东南亚和南亚国家野生稻分布区物种丰富, 气候条件与我国差异明显, 这些地区的野生稻种质资源具有较高的潜在利用价值。本文总结了 2009-2019 年间对东南亚和南亚 10 个国家的普通野生稻和尼瓦拉野生稻野外考察结果, 共收集 2 个物种 66 个群体, 1504 份个体数; 分析了东南亚和南亚野生稻与中国野生稻的生态型差异及其生境特点; 提出了未来在东南亚和南亚开展普通野生稻和尼瓦拉野生稻资源收集的重点区域。

**关键词:** 东南亚; 南亚; 普通野生稻; 尼瓦拉野生稻; 收集

## Collection and Preliminary Study of Wild Rice Genetic Resources in Southeast and South Asia

ZHENG Xiao-ming<sup>1,2</sup>, ZHOU Hai-fei<sup>2</sup>, CHEN Wen-li<sup>2</sup>, ZHOU Lian<sup>2</sup>, REN Ning-ning<sup>2</sup>, LIU Rong<sup>2</sup>, MENG Qing-lin<sup>2</sup>, GENG Mu-fan<sup>2</sup>, LIU Kai-qiang<sup>3</sup>, LI Dan-ting<sup>3</sup>, LYU Rong-hua<sup>3</sup>, MA Xiao-ding<sup>1</sup>, QIAO Wei-hua<sup>1</sup>, ZHU Yong-qing<sup>4</sup>, LU Bao-rong<sup>4</sup>, YANG Qing-wen<sup>1</sup>, GE Song<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; <sup>2</sup> Institute of Botany, Chinese

Academy of Sciences, Beijing 100093; <sup>3</sup> Rice Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural

Sciences, Nanning 530007; <sup>4</sup> Fudan University, Shanghai 200433)

**Abstract:** The development and utilization of wild rice genetic resources are increasingly important given the fact that the genetic resources in cultivated rice (*Oryza sativa* L.) gene pool are insufficient to sustain the requirement in modern rice breeding. Although China hosts the world's largest collection of cultivated rice germplasm, a large-proportion of stocks were domestically collected plus the alien wild germplasm accounting for only 10%. The wild rice germplasm resources, which are locally adapted to the diversified climates and habitats in countries from South and Southeast Asia, represent the high potential value in genetic development and breeding in China. In this paper, by summarizing the field surveys and collections of wild rice (*O. rufipogon* Griff. and *O. nivara* Sharma & Shastri) in 10 South and Southeast Asian countries from 2009 to 2019, 1504 samples from

收稿日期: 2020-03-08 修回日期: 2020-03-22 网络出版日期: 2020-04-13

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20200308002>

第一作者研究方向为野生稻收集保护与利用, E-mail: zhengxiaoming@caas.cn

通信作者: 葛颂, 研究方向为植物进化生物学和保护遗传学, E-mail: gesong@ibcas.ac.cn

杨庆文, 研究方向为野生稻收集保护与利用, E-mail: yangqingwen@caas.cn

**基金项目:** 中国科学院战略性先导科技专项(XDA08020103, XDB31000000); 中国农业科学院科技创新工程; 国家自然科学基金项目(31970237, 91231201, 91731301); 农业农村部国际合作专项

**Fundation projects:** The Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences(XDA08020103, XDB31000000), Agricultural Science and technology innovation program of Chinese Academy of Agricultural Sciences, National Natural Science Foundation(31970237, 91231201, 91731301), International Cooperation Project of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs

66 populations were collected. Considering the ecotypes of *Oryza rufipogon* Griff. and *O. nivara* Sharma & Shastry as well as environmental conditions in South and Southeast Asian countries, we proposed suggestions for future collection of wild rice resources in this region.

**Key words:** Southeast Asia; South Asia; *Oryza rufipogon* Griff.; *O. nivara* Sharma & Shastry; collection; conservation

全球 60% 的人口以水稻 (*Oryza sativa* L.) 为主食, 水稻的高产稳产直接关系着中国的粮食安全<sup>[1]</sup>。随着经济发展和人口增多, 我国面临着资源紧缺和环境恶化等重大问题, 选育和推广良种提高水稻单产已经成为我国重大的科技战略。纵观水稻育种的历程, 每一次重大突破都离不开新技术的利用和新种质的发掘<sup>[2]</sup>。由于目前水稻栽培种遗传资源利用已趋饱和, 对其野生近缘种种质资源的开发利用尤其重要<sup>[3-4]</sup>。

野生稻资源的利用可以追溯到 20 世纪初叶, 丁颖教授从普通野生稻 (*O. rufipogon* Griff.) 与栽培稻杂交后代中选育出中山 1 号并推广了近半个世纪<sup>[5]</sup>。以杂交水稻之父袁隆平为首的中国科学家依靠采自海南的雄性不育野生稻材料成功培育了三系杂交水稻, 使水稻产量在矮化育种基础上又平均提高了 20%<sup>[6]</sup>。20 世纪 60 年代, 国际水稻研究所 (IRRI) 从尼瓦拉野生稻 (*O. nivara* Sharma & Shastry) 中发现了抗草丛矮缩病的唯一抗源, 培育出多个 IR 系列品种, 解决了水稻抗草丛矮缩病的难题<sup>[6]</sup>。野生稻中 *Xa23* 和 *Xa21* 抗病等位基因の利用更是培育出了抗多个白叶枯病小种的水稻<sup>[7]</sup>。近百年来对野生稻的研究和利用已经表明, 在长期的生存竞争和自然选择下, 野生稻积累了大量的优良特性, 包括抗病虫、耐寒、耐盐碱、耐旱、耐荫、矮秆、胞质雄性不育、大柱头、大粒、早熟、广亲和和高生物产量等, 成为水稻遗传改良的丰富基因源<sup>[5]</sup>。因此, 野生稻的收集、评价、保存和利用已引起人们的极大关注<sup>[8-12]</sup>。

国际上对野生稻遗传资源的考察和收集始于 20 世纪初, 但收集的高峰期为 20 世纪 60-80 年代。根据汤圣祥 2002 年的统计, 保存野生稻超过 1000 份的国际组织和国家机构共有 4 个, 分别是中国 5599 份、国际水稻研究所 4447 份、日本 2263 份和印度 1591 份<sup>[13]</sup>。我国对野生稻资源的考察和采集是从 20 世纪 60 年代开始的, 通过 60-80 年代两次大规模考察收集, 覆盖了中国野生稻分布的大部分地区, 取得了巨大的成就<sup>[14]</sup>。至 2002 年, 入国家长期库保存的野生稻种子 5599 份<sup>[15]</sup>。同时, 分别在

广州和南宁建立了 2 个国家级野生稻种质资源圃, 共保存野生稻种茎 8933 份<sup>[8]</sup>, 所有这些保存的野生稻资源均进行了农艺性状鉴定, 建立了种质信息数据库。2002-2011 年, 中国农业科学院作物科学研究所组织全国开展了新一轮野生稻资源收集, 共采集野生稻资源 2 万余份 (次), 除临时保存于种质圃外, 还建立了 18 个原生境保护点<sup>[16]</sup>。

虽然我国目前保存的野生稻资源全世界最多, 但是国外野生稻仅 558 份, 占总体比例不到 10%, 而且物种和地区覆盖极不均衡<sup>[8]</sup>。而一些国际机构和其他国家通过全球性考察和收集, 保存的野生稻资源范围较广。例如, 日本虽然没有野生稻的天然分布群体, 但是他们参与国际组织或者是独立考察积累了大量国外野生稻材料<sup>[13]</sup>, 尤其 60 年代到 80 年代 Oka 带领的团队不断进行材料收集, 目前日本国立遗传所 (NIG) 是世界保存野生稻种类和覆盖区最全的组织之一, 保存野生稻 2263 份, 其中还包括其他近缘野生种 620 份, 覆盖野生稻的整个分布区并具有较高的多样性<sup>[17]</sup>。

水稻的近缘野生种主要分布在中国的西南部、南亚、东南亚和澳大利亚北部。根据多个实验室的独立研究, 表明野生稻群体间遗传分化差异显著, 其他地区的野生稻群体和中国野生稻群体不共享相同的基因库<sup>[18-20]</sup>。因此, 广泛收集其他地区的野生稻资源, 对于丰富我国野生稻基因库, 弥补我国野生稻基因资源的不足均具有非常重要的战略意义。本研究系统总结了 2009-2019 年间对东南亚和南亚野生稻调查采集的资源情况及初步研究结果, 提出了未来野生稻资源收集的重点。

## 1 材料与方法

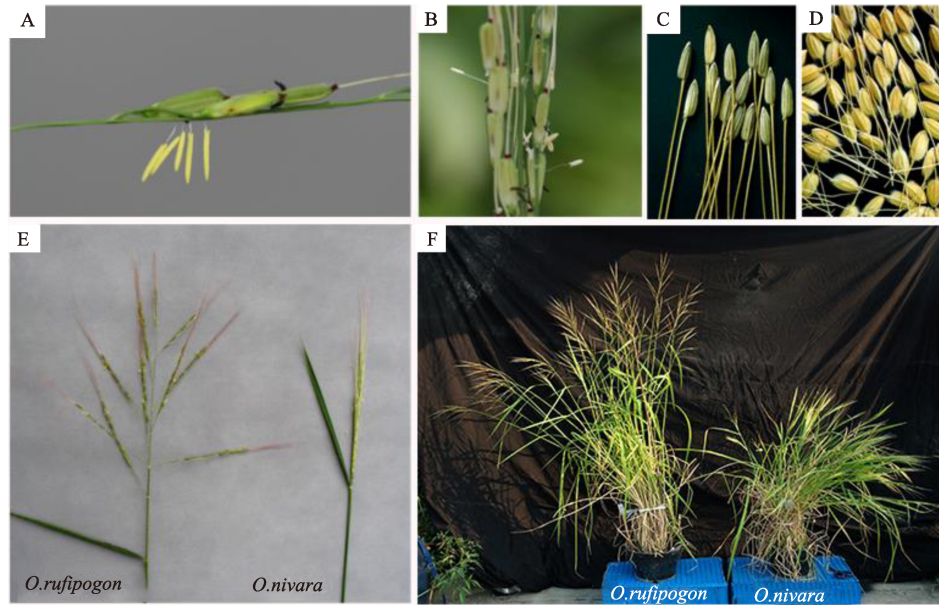
### 1.1 目标物种确定与采集方法

普通野生稻 (*O. rufipogon* Griff.) 和尼瓦拉野生稻 (*O. nivara* Sharma & Shastry) 是水稻 (*O. sativa* L.) 直接祖先种<sup>[21]</sup>, 所以, 主要采集目标物种就是这 2 个种。普通野生稻是多年生的短日照植物, 对光周期敏感; 分布在中国的西南部、南亚、东南亚和澳大利亚北部地区; 自然条件下, 10 月下旬开花, 小穗



开散,花药较大;以无性繁殖为主,产生种子少且种子比较孱弱;该种也有无性和有性混合繁殖的生态型,种子相对较多,这种生态型在那些水位变化不明显的地方比较常见。尼瓦拉野生稻分布较为局限,仅在东南亚与南亚的季节性干旱地区存在;1年生,

小穗紧凑、花药较小、结实率高、种子饱满生命力很强,自交亲和,对光周期不敏感;以种子繁殖为主,种子在雨季之初萌发,旱季开始之前植株开花结实,很快完成生活史(图1)。由于这2个种种子成熟时间差别较大,所以在采集方法上以采集种茎为主。



A: 普通野生稻的花药; B: 尼瓦拉野生稻的花药; C: 普通野生稻的种子; D: 尼瓦拉野生稻的种子; E: 2个物种的小穗; F: 2个物种的株高  
A: The anther of *O. rufipogon* Griff., B: The anther of *O. nivara* Sharma & Shastry, C: The seeds of *O. rufipogon* Griff.,  
D: The seeds of *O. nivara* Sharma & Shastry, E: The panicle of two species, F: The plant height of two species

图1 普通野生稻和尼瓦拉野生稻的形态差别

Fig.1 The phenotype variation between *O. rufipogon* Griff. and *O. nivara* Sharma & Shastry

## 1.2 采集地区确定的原则与方法

根据 Vaughan 1994 在《The Wild Relatives of Rices》对 *O. rufipogon* Griff. 和 *O. nivara* Sharma & Shastry 2个种分布的描述<sup>[22]</sup>,结合90年代IRRI在东南亚以及南亚的野外考察报告<sup>[23-27]</sup>,以及近期对这些国家野生稻的研究性文章,确定现在可能存在这2个种的区域<sup>[28-30]</sup>。然后考虑地理分布的全面性和2个种的遗传结构<sup>[31]</sup>,确定了需要采样的区域和路线,并与缅甸、尼泊尔、老挝、越南和柬埔寨的相关研究单位建立了合作关系,具体见表1。

## 1.3 样品采集的原则与方法

在每个群体的采样过程中不仅需要考虑形态性状和生境的多样,还要保证采集样品遗传多样性的完整程度,这是有效保护、利用和研究生物多样性的基础<sup>[32-33]</sup>。群体采样的方式可以深入了解物种多样性分布,历史演变过程,有利于对物种的深入研究和利用<sup>[34]</sup>。所以,在本采集过程中均采用群体遗传学的采样原则。每个群体根据居群面积大小确定采集个体数,每个群体从10到50个个体不等。根据2个种交配系统和繁殖方式的不同,对2个物种采

用了不同的间隔进行取样<sup>[16,35-36]</sup>。尼瓦拉野生稻是每隔5m采集1个样品,主要收集种子和叶片,种子和叶片的编号相对应,每个群体还收集一袋混合种子;普通野生稻是每隔10m采集1个样品,除了收集种子和叶片之外还收集根茎(与种子和叶片编号对应),每个群体也收集一袋混合种子。

## 2 结果与分析

### 2.1 东南亚和南亚野生稻收集结果

从2009–2019年,由中国农业科学院作物科学研究所、中国科学院植物研究所、广西农科院水稻所和复旦大学联合对包括老挝、越南、柬埔寨、缅甸、尼泊尔、斯里兰卡、马来西亚、泰国、印度尼西亚和菲律宾10个国家进行样品收集。收集区域覆盖整个野生稻分布区的4/5,详见表1。共收集2个物种66个群体(38个普通野生稻群体,28个尼瓦拉野生稻群体),1504份个体数(949份普通野生稻个体,555份尼瓦拉野生稻个体),每个样本采集5~30份种子,其中普通野生稻还采集了5~40份根茎,具体见表1。

表 1 2009–2019 年对 10 个国家野生稻群体采集表

Table 1 The populations collected in ten countries from 2009 to 2019

种名 Species name	国家 Country	群体名称 Group	经度 (E) Longitude	纬度 (N) Latitude	个体数 Number of individuals	采集时间 (年/月/日) Collection time	备注 Note
<i>O. rufipogon</i>	老挝	VN02	18° 07' 411"	102° 30' 390"	25	2009/10/28	开花阶段, 种子未成熟
		VN03	18° 07' 411"	102° 30' 390"	23	2009/10/28	紧邻公路的窄水沟
		VN12	18° 00' 075"	102° 35' 630"	44	2009/11/1	大面积水塘, 初花期
		VN13	17° 54' 13.2"	102° 39' 37.1"	33	2009/11/1	大面积水塘, 初花期
	越南	VT1	10° 42' 14.6"	105° 32' 29.1"	24	2009/12/3	自然保护区, 盛花期
		VT2	10° 45' 28.1"	105° 30' 20.6"	34	2009/12/3	自然保护区, 盛花期
		VT3	10° 42' 44.7"	105° 30' 16.6"	30	2009/12/3	自然保护区, 盛花期
		VT4	10° 40' 49.0"	105° 32' 9.7"	33	2009/12/3	自然保护区, 盛花期
		VT5	10° 45' 10.7"	105° 43' 56.3"	40	2009/12/5	异位保护区
	尼泊尔	NEP04	28° 02' 565"	81° 37' 484"	30	2010/10/30	水塘周围, 盛花期, 结实少
		NEP05	28° 03' 564"	81° 38' 632"	40	2010/10/30	水塘周围, 盛花期, 结实少
		NEP07	27° 28' 156"	83° 16' 686"	45	2010/10/31	路边水沟, 基本干涸, 芒微红
		NEP08	27° 31' 128"	83° 16' 874"	30	2010/10/31	池塘周围, 盛花期, 结实少
		NEP09	26° 31' 506"	86° 56' 078"	30	2010/11/2	大面积河滩中, 盛花期
	柬埔寨	KHM02	11° 30' 511"	104° 49' 179"	27	2010/12/11	公路旁池塘, 部分结实落粒
		KHM03	10° 35' 765"	103° 37' 825"	22	2010/12/11	稻田附近, 有与栽培稻杂合样品
		KHM04	10° 37' 979"	104° 11' 051"	40	2010/12/12	四个不连续池塘
		KHM08	12° 21' 153"	105° 05' 217"	35	2010/12/13	池塘, 结实落粒
		KHM10	12° 33' 470"	105° 03' 380"	20	2010/12/13	稻田旁, 结实落粒
		KHM11	13° 23' 759"	103° 48' 165"	35	2010/12/14	池塘旁, 结实落粒
		KHM14	12° 42' 293"	103° 35' 141"	26	2010/12/15	部分结实
	缅甸	KHM16	12° 01' 366"	104° 43' 9"	20	2010/12/15	池塘开花期
		MMR04	17° 05' 919"	96° 03' 200"	10	2011/12/20	水塘多年生, 人为干扰严重
		MMR05	16° 56' 304"	95° 52' 005"	32	2011/12/20	水塘, 盛花期
		MMR08	16° 40' 024"	94° 58' 206"	11	2011/12/22	水塘, 未抽穗
	斯里兰卡	MMR09	17° 03' 992"	95° 20' 943"	23	2011/12/22	水塘, 未抽穗
		SL-01	06° 09' 18.64"	80° 46' 02.83"	11	2015/3/7	水塘多年生, 人为干扰严重
SL-02		06° 00' 01.60"	80° 33' 43.90"	18	2015/3/7	水塘, 盛花期	
SL-03		06° 38' 14.25"	79° 57' 9.12"	24	2015/3/8	水塘, 未抽穗	
SL-06		07° 28' 02.93"	79° 49' 40.97"	21	2015/3/8	水塘, 未抽穗	
SL-09R		09° 25' 28.2"	80° 29' 48.9"	28	2015/3/10	水塘, 盛花期	
马来西亚	SL-10R	08° 54' 36.4"	79° 57' 42.3"	28	2015/3/10	水塘, 盛花期	
	ML01	5° 41' 22.51"	102° 30' 54.67"	7	2016/1/8	水塘多年生	
	ML02	5° 42' 7.8"	102° 29' 59.76"	8	2016/1/8	水塘, 盛花期	
泰国	ML03	6° 7' 43.25"	102° 7' 1.07"	19	2016/1/10	水塘, 未抽穗	
	THA01	13° 45'	100° 31'	13	2018/11/23	水塘多年生, 人为干扰严重	
菲律宾	THA02	13° 45'	100° 31'	8	2018/11/24	水塘多年生, 人为干扰严重	
	INDO01	14° 60'	120° 98'	2	2019/12/8	稻田旁, 未开花, 人为干扰严重	

表 1(续)

种名 Species name	国家 Country	群体名称 Group	经度(E) Longitude	纬度(N) Latitude	个体数 Number of individuals	采集时间 (年/月/日) Collection time	备注 Note	
<i>O. nivara</i>	老挝	VN01	18° 05' 109"	102° 31' 109"	14	2009/10/28	稻田旁的浅水塘, 部分成熟	
		VN04	18° 04' 35"	102° 44' 11"	21	2009/10/29	公路旁稻田, 部分种子接近成熟	
		VN05	18° 04' 13"	102° 45' 48.5"	12	2009/10/29	干涸小沟, 有红芒和白芒两种	
		VN06	17° 13' 57.0"	105° 19' 43.9"	30	2009/10/30	无水沟内, 混有杂交类型	
		VN07	17° 26' 32.4"	104° 51' 30.5"	24	2009/10/30	公路旁水塘	
		VN08	16° 31' 32.3"	104° 56' 18.1"	16	2009/10/31	公路旁水塘	
		VN09	16° 31' 32.3"	104° 56' 18.1"	22	2009/10/31	田埂小沟内	
		VN10	16° 38' 9.2"	105° 00' 59.4"	5	2009/10/31	稻田旁	
		VN11	16° 38' 9.2"	105° 00' 59.4"	11	2009/10/31	稻田旁	
		VN14	17° 52' 56.7"	102° 42' 06.8"	19	2009/11/1	干涸水沟, 已结实	
		尼泊尔	NEP01	28° 12' 070"	81° 40' 654"	30	2010/10/29	
			NEP02	28° 02' 867"	81° 36' 871"	30	2010/10/30	公路两旁, 红芒
			NEP06	27° 28' 182"	83° 16' 460"	30	2010/10/31	干涸沟内, 大多结实落粒, 死亡
		柬埔寨	KHM01	11° 27' 578"	104° 53' 391"	22	2010/12/11	浅水干涸, 大部分结实开花
	KHM05		11° 21' 840"	104° 44' 648"	21	2010/12/12	稻田旁, 开花没有结实, 分蘖多	
	KHM09		12° 33' 470"	105° 03' 380"	23	2010/12/13	较深的池塘, 开花	
	KHM13		13° 31' 245"	103° 34' 67"	28	2010/12/14	结实半干枯	
	KHM15		12° 12' 403"	104° 39' 902"	23	2010/12/15	结实大部分个体干枯	
	缅甸	MMR01	16° 50' 084"	96° 15' 409"	23	2011/12/18	路边, 结实大部分已枯萎	
	斯里兰卡	SL04	07° 33' 24.88"	80° 29' 41.96"	13	2015/3/7	路边, 人为干扰严重	
		SL05	08° 02' 15.5"	80° 45' 48.36"	5	2015/3/7	公路两旁	
		SL07	08° 07' 44.95"	80° 33' 46.87"	11	2015/3/8	公路旁水塘	
		SL08	08° 51' 06.0"	80° 29' 06.04"	28	2015/3/8	公路旁	
		SL09	09° 25' 55.2"	80° 29' 56.5"	19	2015/3/10	公路旁水塘	
SL10		08° 54' 36.4"	79° 57' 42.3"	23	2015/3/10	公路旁		
SL11		07° 30' 33.1"	81° 43' 55.1"	26	2015/3/11	公路旁		
SL12		06° 53' 48.8"	81° 41' 22.9"	26	2015/3/11	公路旁水塘		

考察过程中在印度尼西亚未发现普通野生稻和尼瓦拉野生稻群体

No wild rice (*O. rufipogon* and *O. nivara*) populations were found indonesia

## 2.2 南亚东南亚收集的野生稻初步研究结果

### 2.2.1 采集地野生稻与中国野生稻的生态型差异

Barbier<sup>[37-38]</sup>对泰国野生稻群体的观察以及近期利用分子标记均证明水稻近缘野生种存在 2 种生态类型<sup>[18, 31]</sup>, 即普通野生稻(多年生)和尼瓦拉野生稻(一年生)。在中国的多年野外考察中也存在中国是否有 2 种类型的争论<sup>[39]</sup>, 多年的收集结果表明中国只有普通野生稻这 1 种生态型<sup>[9, 14, 16]</sup>。通过野外观察, 发现两个物种在生殖方式和开花物

候上也存在着明显区别。普通野生稻在深水区中匍匐生长, 根茎会不断地发芽长出新的幼株; 而尼瓦拉野生稻主要以种子繁殖, 在旱季来临时种子成熟脱落(图 2、3)。10-11 月, 尼瓦拉野生稻群体进入结实末期, 大部分植株结实后叶子开始枯黄, 正在结实的小穗主要分布在后期产生的分蘖或者二级分支; 而此时普通野生稻群体还在开花初期, 植株较绿, 12 月时普通野生稻群体进入盛花期并开始结实。



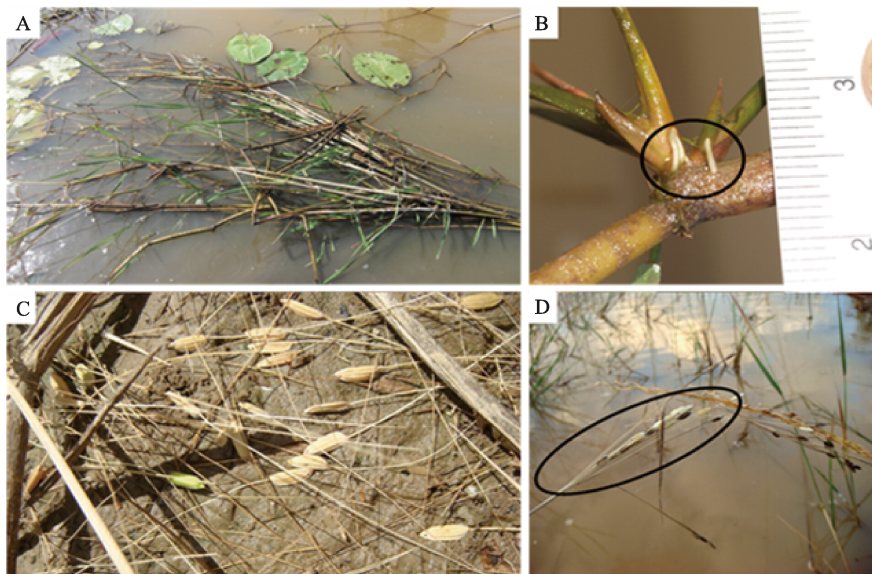


A: 普通野生稻生长在深水区; B: 长年繁殖的普通野生稻需要定期清理; C: 尼瓦拉野生稻生长在浅水区; D: 干旱季节尼瓦拉野生稻开花后会自然枯死

A: *O. rufipogon* Griff. was found in deepwater fields, B: The *O. rufipogon* Griff. plant need clean up regularly, C: *O. nivara* Sharma & Shastry was found in shallow water fields, D: The *O. nivara* Sharma & Shastry plant dies after flowering in dry season

图 2 普通野生稻和尼瓦拉野生稻的野外生境差别

Fig.2 The habitats of *O. rufipogon* Griff. and *O. nivara* Sharma & Shastry



A、B: 普通野生稻以无性繁殖为主; C、D: 尼瓦拉野生稻以种子繁殖为主

A, B: *O. rufipogon* Griff. Plant was vegetatively reproductive, C, D: The *O. nivara* Sharma & Shastry plant was sexually reproductive

图 3 普通野生稻和尼瓦拉野生稻的生殖方式差别

Fig.3 The reproductive strategy of *O. rufipogon* Griff. and *O. nivara* Sharma & Shastry

**2.2.2 采集地野生稻的生境特点** 根据陈成斌等<sup>[40]</sup>多年对中国野生稻生态环境及现状研究发现,中国野生稻主要分布在三大生境:深水区、浅水区和干旱交替区。我们调查考察的老挝、越南、

尼泊尔、柬埔寨、缅甸和斯里兰卡 6 个国家也存在着深水区、浅水区和干旱交替区,这与中国的情况相同。但是在水旱交替区,中国和其他国家分布的野生稻生态型存在着较大的区别。考察的越南、尼



泊尔、柬埔寨、缅甸和斯里兰卡这 5 个国家该生态系统内均生长着 1 年生的尼瓦拉野生稻群体, 群体广泛地分布在稻田旁或公路边浅水区, 在 10-11 月调查期间大部分群体的生境处于枯水状态, 所长植株具有典型的 1 年生形态特征; 而中国同样的生态区内生长的是完全匍匐的低矮的普通野生稻<sup>[40-41]</sup>。我国西南部属于东亚植物区系, 而南亚和东南亚这些国家属于古热带植物区系, 2 个区系温度和水份存在着明显的差异, 所以同是干湿交替的区域, 但是不同长度早期以及温度, 可能导致产生了不同的生态型演变结果。

**2.2.3 采集地野生稻的保存现状** 在考察的过程中, 发现这些国家的野生种群已经出现不同程度的生境片断化和被水稻杂交渐渗的状况(图 4)。而且与以前考察记录的群体数量相比, 发现有 1/5 的记录群已经消失。比较严重的区域是缅甸的仰光, Shishido 等<sup>[28]</sup>2006 年的报道中在仰光记录有 6 个群体, 此次考察范围虽覆盖了仰光省 4/5 的区域, 但只发现了 1 个尼瓦拉群体, Shishido 文中有确切地址的群体均已消失。但是, 发现面积在百公顷以上且保存完好的野生稻群体(图 5), 而中国 20 世纪 80 年代发现的这类群体已经完全灭绝。

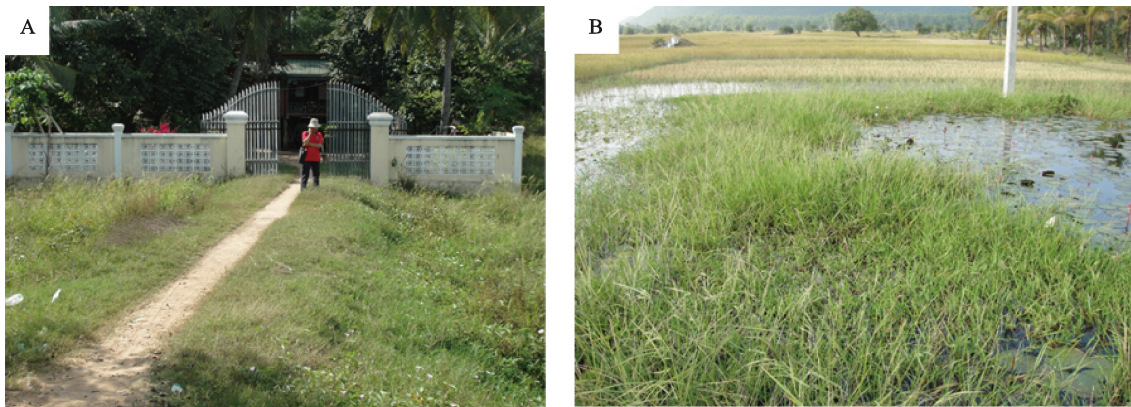


图 4 被人为干扰的野生稻群体  
Fig.4 The disturbed populations of wild rice



图 5 保存完好的野生稻群体  
Fig.5 Well-preserved wild rice populations

**2.2.4 采集时间横向变化对群体采集和后期应用的影响** 在多年连续的采样过程中发现 10 月以及 11 月上旬尼瓦拉野生稻群体正是盛花期,生殖性状明显,但普通野生稻没有完全抽穗开花,所以是尼瓦拉野生稻群体容易被发现而普通野生稻的群体即使能根据生境发现,但不易确认以及采样的原因。进入到 12 月尤其是 12 月下旬很难观测到尼瓦拉野生稻群体,尼瓦拉野生稻群体已经结实落粒后枯萎死亡。这时采到的尼瓦拉野生稻群体中的个体是该群体中物候较晚的样品,如果利用这些样品进行后续的抽穗期和感光性等性状的研究可能会出现偏差。所以,由于 2 个物种的物候差别,不同时间采样会影响物种的发现和后期形态性状观测结果。

## 4 结论与展望

1949 年以来,我国经历了早期普通野生稻的收集、整理、以及与栽培稻的杂交育种,后期对普通野生稻种间关系及居群遗传多样性、资源保存、优异基因的挖掘利用等研究。现已基本查清我国野生稻的分布情况,并且在保护和利用方面取得了较大进展。国家种质库中现存其他国家野生稻 558 份,占整个野生稻种质资源的 9.9%<sup>[15]</sup>,远落后于世界其他发达国家外来种和本土种的比例(美国 84%、日本 80% 和欧洲各国 86%~80%),甚至低于世界平均水平(45%)<sup>[11-12]</sup>。在已收集的资源中还存在着物种代表性差和覆盖区域少,均不利于野生稻研究和利用。与中国相比,其他野生稻分布区物种丰富;气候条件与中国差异明显,像南亚和东南亚属热带稻作区,病虫害严重,生理小种变异多,因而抗源广泛,抗性强;这些地区还可能是水稻潜在的两个起源中心之一,所以该地区的野生稻与中国野生稻具有不同的基因库;这些都表明南亚和东南亚的野生稻具有重要的收集和研究价值。所以,未来我国应该积极与稻种资源丰富的国家,包括印度、澳大利亚和巴布亚新几内亚,尤其应与第三世界的产稻国家或国际农业研究机构合作,组织或参与双边或多边联合考察队,争取共同搜集某国或某地区的边远山区和交通不发达地区的稻种资源,搜集到的种质资源共享,召开野生稻的研究会议,建立联合鉴定国际体系。

致谢:感谢中国科学院植物研究所张志耘和张慧、斯里兰卡 Disna Ratnasekera 博士和越南 Nguyen Tien Hiep 博士在野外考察和采样过程中给予的

帮助。

## 参考文献

- [1] 程式华,胡培松.中国水稻科技发展战略.中国水稻科学,2008,22(3):223-226  
Cheng S H, Hu P S. Development strategy of rice science and technology in China Chinese rice science, 2008, 22(3): 223-226
- [2] 王建康,李慧慧,张学才,尹长斌,黎裕,马有志,李新海,邱丽娟,万建民.中国作物分子设计育种.作物学报,2011,37(2):191-201  
Wang J K, Li H H, Zhang X C, Yin C B, Li Y, Ma Y Z, Li X H, Qiu L J, Wan J M. Molecular design and breeding of crops in China. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(2): 191-201
- [3] 卢宝荣,葛颂,桑涛,陈家宽,洪德元.稻属分类的现状存在问题.植物分类学报,2001,39(4):373-388  
Lu B R, Ge S, Sang T, Chen J K, Hong D Y. *Oryza* current situation and problems of classification. Acta Phytotaxonomica Sinica, 2001, 39(4): 373-388
- [4] 杨庆文,余丽琴,张万霞.东乡普通野生稻(*Oryza rufipogon* Griff.)原位保存群体的遗传分化和保护策略研究.中国农业科学,2007,40(6):1085-1093  
Yang Q W, Yu L Q, Zhang W X. Study on genetic differentiation and protection strategy of dongxiang ordinary wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.). Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(6): 1085-1093
- [5] 金杰,李绍清,谢红卫,李能武,黄文超,胡骏,王坤,朱仁山,朱英国.野生稻优良基因资源的发掘、种质创新及利用.武汉大学学报:理学版,2013,59(1)10-16  
Jin J, Li S Q, Xie H W, Li N W, Huang W C, Hu J, Wang K, Zhu R S, Zhu Y G. Germplasm development, discovery and utilization of valuable genes from wild relatives of *Oryza* Genus. Journal of Wuhan University: science edition, 2013, 59(1)10-16.
- [6] 鄂志国,王磊.野生稻有利基因的发掘和利用.遗传,2008,30(11):1397-1405  
E Z G, Wang L. Discovery and utilization of favorable genes in wild rice. Hereditas, 2008, 30(11): 1397-1405
- [7] Wang G L, Song W Y, Ruan D L, Sideris S, Ronald P C. The cloned gene Xa21 confers resistance to multiple *Xanthomonas oryzae* isoate in transgenic plants. Molecular plant-microbe interactions, 1996, 9: 850
- [8] 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. Collection, identification and conservation of wild rice in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2003, 4(4): 369-373
- [9] 陈成斌.野生稻资源在育种上的应用.广西农业科学,2004,35(4):274-278  
Chen C B. Application of wild rice resources in breeding. Guangxi agricultural science, 2004, 35(4): 274-278
- [10] 陈雨,潘大建,杨庆文,范芝兰,陈建西,李晨.中国野生稻多样性的评价与保护研究进展.广东农业科学,2009(5):9-15  
Chen Y, Pan D J, Yang Q W, Fan Z L, Chen J Y, Li C.



- Research progress on evaluation and conservation of wild rice diversity in China. *Guangdong Agricultural Science*, 2009 ( 5 ): 9-15
- [ 11 ] 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. 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*, 2011, 12 ( 1 ): 1-12  
Wang S M, Li L H, Li Y, Lu X X, Yang Q W, Cao Y S, Zhang Z W, Gao W D, Qiu L J, Wan J M, Liu X. Report on the state of plant genetic resources for food and agriculture in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, 12 ( 1 ): 1-12
- [ 12 ] 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. 中国粮食和农业植物遗传资源状况报告 ( II ). *植物遗传资源学报*, 2011, 12 ( 2 ): 167-177  
Wang S M, Li L H, Li Y, Lu X X, Yang Q W, Cao Y S, Zhang Z W, Gao W D, Qiu L J, Wan J M, Liu X. Report on the state of plant genetic resources for food and agriculture in China ( II ). *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, 12 ( 2 ): 167-177
- [ 13 ] 张乃群, 李运贤, 祝莉莉, 何光存. 稻属分类研究综述. *中国水稻科学*, 2003, 17 ( 4 ): 104-108  
Zhang N Q, Li Y X, Zhu L L, He G C. A review of taxonomic studies on the genus *Oryza*. *Chinese Journal of Rice Sciences*, 2003, 17 ( 4 ): 104-108
- [ 14 ] 陈成斌, 李杨瑞, 黄一波. 广西野生稻种质资源原位保护示范区资源现状调查研究. *广西农业科学*, 2005, 36 ( 3 ): 269-272  
Chen C B, Li Y R, Huang Y B. Investigation and research on the current status of Guangxi wild rice germplasm resources in situ conservation demonstration area. *Guangxi Agricultural Science*, 2005, 36 ( 3 ): 269-272
- [ 15 ] 韩龙植, 曹桂兰. 中国稻种资源收集、保存和更新现状. *植物遗传资源学报*, 2005, 6 ( 3 ): 359-364  
Han L Z, Cao G L. Current status of rice seed resource collection, preservation and updating in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2005, 6 ( 3 ): 359-364
- [ 16 ] 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
- [ 17 ] 魏兴华, 汤圣祥, 余汉勇, 王一平, 袁筱萍, 徐群. 中国水稻国外引种概况及效益分析. *中国水稻科学*, 2010, 24 ( 1 ): 5-11  
Wei X H, Tang S X, Yu H Y, Wang Y P, Yuan X P, Xu Q. Introduction and benefit analysis of rice introduced from abroad in China. *Chinese Journal of Rice Science*, 2010, 24 ( 1 ): 5-11
- [ 18 ] Zheng X M, Ge S. Ecological divergence in the presence of gene flow in two closely related *Oryza* species ( *Oryza rufipogon* and *O. nivara* ). *Molecular Ecology*, 2010, 19: 2439-2454
- [ 19 ] Cai H W, Wang X K, Morishima H. Comparison of population genetic structures of common wild rice ( *Oryza rufipogon* Griff. ), as revealed by analyses of quantitative traits, allozymes, and RFLPs. *Heredity*, 2004, 92: 409-417
- [ 20 ] 孙希平, 杨庆文. 中国与东南亚三国 ( 越、老、柬 ) 普通野生稻遗传多样性的比较研究. *作物学报*, 2009, 35 ( 4 ): 679-684  
Sun X P, Yang Q W. Comparative study on genetic diversity of common wild rice in China and three Southeast Asian countries ( Vietnam, Laos and Cambodia ). *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35 ( 4 ): 679-684
- [ 21 ] 孙传清, 王象坤, 吉村淳, 岩田伸夫. 普通野生稻和亚洲栽培稻遗传多样性的研究. *遗传学报*, 2000, 27 ( 3 ): 227-234  
Sun C Q, Wang X K, Ji Cun C, Yan Tian S F. Study on genetic diversity of common wild rice and Asian cultivated rice. *Chinese Journal of Genetics*, 2000, 27 ( 3 ): 227-234
- [ 22 ] Vaughan DA. The wild relatives of rice: a genetic resources handbook. Los Banos, The Philippines: International Rice Research Institute, 1994
- [ 23 ] Lu B R. A report on collecting of wild *Oryza* species in Lao PDR and Cambodia. Philippines Laguna: International Rice Research Institute, 1996
- [ 24 ] Lu B R. A report on IRRI-BRRI cooperative collecting of wild *Oryza* species in Bangladesh. Philippines Laguna: International Rice Research Institute, 1996
- [ 25 ] Lu B R. A report on IRRI-CIAP cooperative collecting for wild *Oryza* species in Cambodia. Philippines Laguna: International Rice Research Institute, 1997
- [ 26 ] Lu B R. A report on NARC-IRRI cooperative collection of wild *Oryza* species in West Nepal. Philippines Laguna: International Rice Research Institute, 1998
- [ 27 ] Lu B R. A report on NARC-IRRI cooperative collection of wild *Oryza* species in East Nepal. Philippines Laguna: International Rice Research Institute, 1999
- [ 28 ] Shishido R, Kikuchi M, Nomura K, Ikehashi H. Evaluation of genetic diversity of wild rice ( *Oryza rufipogon* Griff. ) in Myanmar using simple sequence repeats ( SSRs ). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2006, 53: 179-186
- [ 29 ] Raj R D, Kiran A G, Thomas G. Population genetic structure and conservation priorities of *Oryza rufipogon* Griff. populations in Kerala. *India Current Science*, 2010, 98 ( 1 ): 65-68
- [ 30 ] Henry R J, Rice N, Daniel L E, Shabana K, Ishikawa R, Hao Y, Dillon S, Crayn D, Wing R, Vaughan D. Australian *Oryza*: Utility and Conservation. *Rice*, 2010, 3 ( 4 ): 235-241
- [ 31 ] Zhu Q H, Zheng X M, Luo J C, 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*, 2007, 24: 875-888
- [ 32 ] 李昂, 葛颂. 植物保护遗传学研究进展. *生物多样性*, 2002, 10 ( 1 ): 61-71  
Li A, Ge S. Advances in plant protection genetics. *Biodiversity*, 2002, 10 ( 1 ): 61-71
- [ 33 ] 金燕, 卢宝荣. 遗传多样性的取样策略. *生物多样性*, 2003, 11 ( 2 ): 155-161  
Jin Y, Lu B R. Sampling strategies for genetic diversity. *Biodiversity*, 2003, 11 ( 2 ): 155-161
- [ 34 ] Wright S I, Gaut B S. Molecular population genetics and the search for adaptive evolution in plants. *Molecular Biology and Evolution*, 2005, 22: 506-519
- [ 35 ] 谢中稳. 中国普通野生稻 ( *Oryza rufipogon* Griff. ) 群体遗传学及保护策略的研究. 北京: 中国科学院, 1999  
Xie Z W. Studies on population genetics and conservation strategies of *Oryza rufipogon* Griff. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 1999

- 63-67
- [ 13 ] 王美兴,张洪亮,张冬玲,潘大建,李道远,范芝兰,齐永文,孙俊立,杨庆文,李晨,李自超. 中国普通野生稻(*O. rufipogon* Griff.)的地理多样性与分化. 科学通报, 2008, 53(22): 2768-2775  
Wang M X, Zhang H L, Zhang D L, Pan D J, Li D Y, Fan Z L, Qi Y W, Sun J L, Yang Q W, Li C, Li Z C. Geographical diversity and differentiation of *Oryza rufipogon* Griff. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(22): 2768-2775
- [ 14 ] Sang T, Ge S. The puzzle of rice domestication. Journal of Integrative Plant Biology, 2007, 49(6): 760-768
- [ 15 ] Vaughan D A, Lu B R, Tomooka N. The evolving story of rice evolution. Plant Science, 2008, 174(4): 394-408
- [ 16 ] 黄清港,盛锦山,裘恩宗,庞汉华,杨玉顺,廖新华,潘大建. 中国稻种资源目录(野生稻种). 北京: 农业出版社. 1991: 1-181  
Huang Q G, Sheng J S, Qiu E Z, Pang H H, Yang Y S, Liao X H, Pan D J. Directory of Chinese rice seed resources (wild rice seeds). Beijing: Agriculture Press. 1991: 1-181
- [ 17 ] 陈成斌,潘大建,梁世春,范芝兰,梁云涛,赖群珍,周汉钦,徐志健,黄娟,李晨,罗毓喜. 野生稻种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006: 55-63  
Chen C B, Pan D J, Liang S C, Fan Z L, Liang Y T, Lai Q Z, Zhou H Q, Xu Z J, Huang J, Li C, Luo Y X. Descriptors and data standard for wild rice (*Oryza spp.*). Beijing: China Agriculture Press, 2006: 55-63
- [ 18 ] Gao L Z, Hong D Y. Allozyme variation and population genetic structure of common wild rice *Oryza rufipogon* Griff. in China. Theoretical and Applied Genetics, 2000, 101(3): 494-502
- [ 19 ] Gao L Z, Schaal B, Zhang C H, Jia J Z, Dong Y S. Assessment of population genetic structure in common wild rice *Oryza rufipogon* Griff. using microsatellite and allozyme markers. Theoretical & Applied Genetics, 2002, 106(1): 173-180
- [ 20 ] 黄娟,高利军,高菊,卿冬进,朱昌兰,周维永. 亚洲6国普通野生稻群体遗传多样性分析. 西南农业学报, 2019, 32(2): 232-240  
Huang J, Gao L J, Gao J, Qing D J, Zhu C L, Zhou W Y. Analysis of genetic diversity on populations of common wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.) from 6 countries in Asia. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2019, 32(2): 232-240

(上接第 1511 页)

- [ 36 ] 余萍,李自超,张洪亮,曹永生,李道远,王象坤. 中国普通野生稻初级核心种质取样策略. 中国农业大学学报, 2003, 8(5): 37-41  
Yu P, Li Z C, Zhang H L, Cao Y S, Li D Y, Wang X K. Sampling strategies for primary core germplasm of common wild rice in China. Journal of China Agricultural University, 2003, 8(5): 37-41
- [ 37 ] Barbier P. Genetic variation and ecotypic differentiation in the wild rice species *Oryza rufipogon*: H2. Influence of the mating system and life-history traits on the genetic structure of populations. The Japanese Journal of Genetics, 1989, 64: 273-285
- [ 38 ] Barbier P. Genetic variation and ecotypic differentiation in the wild rice species *Oryza rufipogon*: Population differentiation in life-history traits and isozymic loci. The Japanese Journal of Genetics, 1989, 64: 259-271
- [ 39 ] 王象坤,孙传清,才宏伟,黄燕红,孙新立,王振山,庞汉华. 亚洲各国普通野生稻的分类与遗传多样性研究 // 第一届全国野生稻大会论文集. 北京: 中国农业科学院作物科学研究所, 2003: 107-117  
Wang X K, Sun C Q, Cai H W, Huang Y H, Sun X L, Wang Z S, Pang H H. Classification and genetic diversity of common wild rice in Asian countries // Proceedings of the first national wild rice conference. Beijing: Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2003: 107-117
- [ 40 ] 陈成斌,庞汉华. 广西普通野生稻资源遗传多样性初探 I 普通野生稻资源生态系统多样性探讨. 植物遗传资源科学, 2001, 2(2): 16-21  
Chen C B, Pang H H. Preliminary study on genetic diversity of common wild rice resources in Guangxi I: Diversity of common wild rice resources ecosystem. Plant Genetic Resources Sciences, 2001, 2(2): 16-21
- [ 41 ] Gao L. The conservation of Chinese rice biodiversity: genetic erosion ethnobotany and prospects. Genetic Resources and Crop Evolution, 2003, 50: 17-32