

云南新收集水稻地方品种的表型多样性分析

汤翠凤¹, 张恩来¹, 董超¹, 阿新祥¹, 张斐斐¹, 申时全¹, 韩龙植²

¹ 云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所/云南省农业生物技术重点实验室/农业部西南作物基因资源与种质创制重点实验室/农业部云南稻种资源科学观测实验站, 昆明 650223;

² 中国农业科学院作物科学研究所/国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程, 北京 100081)

摘要: 以来自云南 16 个州(市)新收集的 1189 份水稻地方品种为试验材料, 分析了 17 个农艺性状的多样性指数在县(市)、州(市)、稻作生态区及稻作民族间的差异和分布。结果表明, 在县(市)分析单元内, 滇南、滇西南的芒市、盈江、陇川、腾冲、勐海、沧源等县(市)的多样性指数为 1.6010 ~ 1.6822, 高于其他县(市)。在州(市)分析单元内, 滇南、滇西南的德宏(1.6951)、普洱(1.6746)、临沧(1.6723)等州(市)的多样性指数较其他州(市)高。在稻作生态区分析单元内, 有效穗数、穗粒数、千粒重和结实率等产量性状及株高、谷粒长、谷粒宽、剑叶宽和穗抽出度生物学性状的多样性指数为南部边缘水陆稻区(II)高于滇西北高寒粳稻区(III)和滇南单双季籼稻区(I); 17 个性状的多样性指数在 I、II 和 III 稻作生态区间的差异不显著, 而结实率、谷粒宽、谷粒长宽比、剑叶长和剑叶宽 5 个性状的多样性指数在南部边缘水陆稻区(II)与滇东北高原粳稻区(V)间存在显著差异; 除剑叶角度、倒伏性、种皮色和叶片茸毛外, 其他 13 个性状的多样性指数在南部边缘水陆稻区(II)与滇中一季粳稻区(IV)间也有显著差异。在稻作民族分析单元内, 哈尼族、汉族、景颇族和彝族稻作的多样性指数为 1.7033 ~ 1.7308, 高于其他稻作民族; 其中, 在同一州(市)不同稻作民族间, 德宏州景颇族(1.3735)、傈僳族(1.3714)和汉族(1.3526)的多样性指数平均值较高; 同一稻作民族不同州(市)间, 德宏、保山和临沧汉族及红河州彝族的多样性指数平均值较大(1.6190 ~ 1.6808)。大穗和大粒型资源分别为 173 份和 84 份, 主要分布于德宏、西双版纳和普洱等州(市); 长粒型资源主要分布于德宏州和临沧市。总体而言, 位于滇南和滇西南地区的县(市)、州(市)及稻作生态区是云南水稻地方品种性状多样性分布中心, 而哈尼族、汉族、景颇族和彝族等的稻作表型多样性高于其他民族。

关键词: 云南; 水稻地方品种; 新收集; 多样性; 民族

Analysis on Phenotypic Diversity of Rice Landraces Newly Collected in Yunnan Province

TANG Cui-feng¹, ZHANG En-lai¹, DONG Chao¹, A Xin-xiang¹, ZHANG Fei-fei¹, SHEN Shi-quan¹, HAN Long-zhi²

¹ Biotechnology and Germplasm Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences (YAAS)/Yunnan Provincial Key Lab of Agricultural Biotechnology/Key Laboratory of Southwestern Crop Gene Resources and Germplasm Innovation,

Ministry of Agriculture/Scientific Observation Station for Rice Germplasm Resources of Yunnan, Ministry of

Agriculture, Kunming 650223; ² Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/

National Key Facility for Crop Gene Resources and Genetic Improvement, Beijing 100081)

Abstract: A total of 1189 newly collected rice landraces from 16 prefectures (cities) of Yunnan were used to study difference and distribution of the diversity index for rice landraces by 17 agronomic traits. The results showed that the diversity indexes in counties Mangshi, Yingjiang, Longchuan, Tengchong, Menghai and Cangyuan ranged from 1.6010 to 1.6822, which were higher than that of other counties. The diversity indexes in prefectures Dehong (1.6951), Puer (1.6746) and Lincang (1.6723) located in south and southwest parts of Yunnan were higher than

收稿日期: 2018-04-23 修回日期: 2018-05-24 网络出版日期: 2018-08-27

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20180824.1343.001.html>

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0100101); 国家科技计划(2014AA10A603); 国家农作物种质资源保护项目(2017NWB036-01, 2018NWB036-12-2); 国家农作物种质资源平台(NICGR2018-01)

第一作者主要从事稻类种质资源研究, E-mail: 741606821@qq.com. 张恩来为共同第一作者

通信作者: 韩龙植, 主要从事水稻种质资源研究, E-mail: hanlongzhi@caas.cn

that of other prefectures. At rice ecological zone level, the diversity indexes of yield related traits (number of effective panicles, number of spikelets per panicle, thousand-grain weight and seed setting rate) and biological traits (plant height, grain length, grain width, flag leaf width and panicle extraction) were slightly higher in southern lowland and upland rice zone (II) than in northwest highly cold japonica rice zone (III) and southern single and double cropping indica rice zone (I). No significant difference on diversity indexes of 17 traits were observed among zones I, II and III, while the diversity indexes of 5 traits (seed setting rate, grain width, grain length/width ratio, flag leaf length and flag leaf width) were significantly different between zone II and northeast plateau japonica rice zone (V). The diversity indexes of 13 traits (except for flag leaf angle, lodging, grain color and leaf hair) were significantly different between zone II and central single cropping indica or japonica rice zone (IV). At nationality level, the diversity indexes of nationalities Hani, Han, Jingpo and Yi ranged from 1.7033 to 1.7308, which were higher than that of other nationalities. In the same prefecture, the average diversity indexes in Dehong prefecture with nationalities Jingpo (1.3735), Lisu (1.3714) and Han (1.3526) were high. In the same nationality, the average diversity indexes of Han in prefectures Dehong, Baoshan, Lincang and Yi in Honghe were high (1.6190-1.6808). 173 accessions with big panicles and 84 accessions with big grains were found mostly in prefectures Dehong, Xishuangbanna and Puer. The accessions with slender grains were mainly distributed in prefectures Dehong and Lincang. Taken together, the prefectures and counties in south and southwest of Yunnan province were found to be a diversity center of rice landraces.

Key words: Yunnan; rice landraces; new collection; diversity; nationalities

云南地处中国西南边陲,是世界上少有的低纬高原生态区,其复杂多样的地形及气候孕育了丰富多样的物种资源,为世界公认的亚洲栽培稻起源中心及多样性分布中心之一,也是中国最为特殊的一个稻作生态区^[1-4]。云南处于东亚、南亚季风热带及青藏高原区域的结合部,各地地形地貌、生态条件、稻谷生产、经济水平差异明显,具有水平分布与垂直分布相结合的错综复杂的稻作区域。根据纬度、海拔等因素,云南稻作区被划分为5个不同的稻作生态区^[5],即滇南单、双季籼稻区(I),南部边缘水、陆稻区(II)、滇西北高寒粳稻区(III),滇中一季粳稻、籼稻区(IV)和滇东北高原粳稻区(V)。全省从海拔76 m的河口县到2700 m的宁蒗县永宁镇均有稻作分布,还拥有中国三种野生稻、两个籼粳亚种栽培稻及六大生态群,是中国稻种资源最大的遗传和生态多样性中心^[6-9],也是优异稻种最富集的地区,享有“稻之国王”美誉。同时,云南有世居民族26个,各民族在农耕、饮食、保护与利用自然资源等过程中创造了独特丰富的传统文化。正是这些丰富的自然资源与民族文化资源促成了当地水稻地方品种丰富的遗传多样性,同时造就了云南生物多样性具有独特性和不可替代的价值。

遗传多样性是生物多样性的基本组成部分,是生态和物种多样性及水稻遗传改良的重要基础,同时影响土壤营养动态平衡、病虫害控制等重要农业生态系统功能。水稻品种的多样化栽培能有效控制

稻瘟病的流行,且其多样性水平与稻瘟病的抗性水平密切相关^[10-12]。然而,随着现代农业科学技术及水稻育种水平的快速发展,大量农家保护品种不断被高产选育品种替代,使稻作品种单一化越来越严重,导致大量有利于适宜环境生存的优良基因丧失,遗传基础日益狭窄,遗传多样性显著降低^[13]。这不仅造成育种研究发展的瓶颈,也给水稻生产带来了潜在威胁。面对这种现状,水稻地方品种尤其是当前生产上仍在种植、与自然环境和人类活动协同进化的农家保护品种,因其具有丰富的遗传多样性和得天独厚的地域适应性优势,逐渐成为育种可利用的宝贵资源。因此,开展农家保护品种相关性状的鉴定评价及多样性分析,对云南水稻地方品种的有效保护与利用具有重要的意义。

关于遗传多样性分析方法,目前已经从传统的形态标记、染色体标记以及生化标记发展到DNA标记技术,但利用形态或表型性状研究水稻遗传多样性仍然是最简单而直接的有效方法。许多研究者已从表型上开展了云南稻种资源多样性的研究,发现云南地方稻种资源的遗传多样性丰富^[14],地区间的遗传多样性差异明显^[15-18],不同稻作生态区遗传多样性有差异^[19],稻种类型多样^[20-21];矿质元素含量与大多数形态性状密切相关^[22];稻瘟病的抗性水平存在明显差异^[11];waxy基因的单倍型地理分布存在差异^[23];当前种植的水稻地方品种存在单一化和遗传多样性降低趋势^[24],与20世纪80年代收集的

云南水稻地方品种相比,2007年收集的品种有播抽历期变长、株高变矮、穗粒数增多、谷粒长宽比变大、穗抽出度变短等趋势,且表型性状的多样性指数有增加趋势^[25]等。目前,关于云南水稻地方品种遗传多样性的研究大多是基于20世纪70年代末、80年代初收集的品种,或21世纪初收集的少数品种,本研究以21世纪初通过实地考察新收集的1189份农家保护品种为试验材料,开展不同州(市)、县(市)、稻作生态区以及不同稻作民族的水稻地方品种多样性差异分析,以期对云南水稻地方品种资源的有效保护与高效利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料共1189份,是2007-2010年通过实地考察,从云南省16个州(市)当地水稻生产农田中收集的水稻地方品种。根据采集时的详细记录,试验材料的来源地包括57个县(市)和22个稻作民族。

1.2 试验方法

2015年把所有试验材料种植于云南省弥勒县试验点(海拔1435 m)。3月14日播种,5月5日移栽。每份材料移栽1行,每行20穴,单本种植;行距20 cm、株距为10 cm,四周种植保护行;田间管理遵循当地常规管理。参照《水稻种质资源描述规范和数据标准》^[26],观察和测量各供试材料的株高、穗长、有效穗数、穗粒数、结实率、千粒重、谷粒长、谷粒宽、谷粒长宽比、穗抽出度、剑叶长和剑叶宽12个数量性状以及穗型、叶片茸毛、剑叶角度、倒伏性和种皮色5个质量性状。每份材料从第3株开始连续调查7株,以其平均值作为统计单元。

1.3 数据分析

利用Excel 2007计算数量性状的平均值(\bar{x})和标准差(δ),根据平均值和标准差对所有材料的数量性状质量化分为10级,即1级 $< \bar{x} - 2\delta$ 到10级 $\geq \bar{x} + 2\delta$,中间每级间差 0.5δ 。采用Shannon-Wiener

多样性指数(H')评价各性状的多样性,其计算公式为: $H' = -\sum P_i \ln P_i$, P_i 为分析单元内某性状第*i*级的材料数占该单元内总材料数的百分比, \ln 为自然对数。分析单元为州(市)、县(市)、稻作生态区和稻作民族。其中,稻作生态区按《云南省种植业区划》^[5]分为滇南单、双季籼稻区(以下简称为滇南单双季籼稻区),南部边缘水、陆稻区(以下简称为南部边缘水陆稻区),滇西北高寒粳稻区,滇中一季粳稻、籼稻区(以下简称为滇中一季粳籼稻区)和滇东北高原粳稻区。利用SPSS19.0软件分析和比较各性状多样性指数在不同稻作生态区间差异的显著性。

2 结果与分析

2.1 不同县(市)和州(市)水稻地方品种的表型多样性

以县(市)为分析单位,57个县(市)水稻地方品种的17个性状多样性指数的变幅和平均值见表1。产量性状以穗粒数的多样性指数变幅最大,千粒重的次之,有效穗数的最小。其他数量性状:穗抽出度的多样性指数变幅较大,谷粒长宽比的较小。质量性状以剑叶角度的多样性指数变幅最大,倒伏性的次之,种皮色的最小;数量性状的多样性变幅高于质量性状。各性状的多样性指数在57个县(市)的平均值以穗粒数的最大,种皮色的最小。由此可见,数量性状的多样性较质量性状的丰富。

57个县(市)各性状的多样性指数平均值为0.0000~1.6822,其中芒市(1.6822)、盈江(1.6602)、腾冲(1.6383)、陇川(1.6337)、勐海(1.6082)和沧源(1.6010)6个县(市)的多样性指数较高,思茅市和禄丰县的较低(表2)。以州(市)为单位,各性状的多样性指数平均值为0.5300~1.6951,德宏州(1.6951)、普洱市(1.6746)、临沧市(1.6723)和保山市(1.6708)的较高,昆明市(0.5300)的较低(图1)。

表1 云南57个县(市)水稻地方品种17个性状的多样性指数变幅及均值

Table 1 The diversity index of 17 traits in rice landraces collected from 57 counties of Yunnan

性状	变幅	均值	性状	变幅	均值
Traits	Variation range	Mean	Traits	Variation range	Mean
株高 PH	0.0000~2.1575	1.3651	穗抽出度 PE	0.0000~2.2176	1.4058
穗长 PL	0.0000~2.0981	1.3533	剑叶长 FLL	0.0000~2.0621	1.3935
有效穗数 PNP	0.0000~2.0198	1.4370	剑叶宽 FLW	0.0000~2.1869	1.4553
穗粒数 GPP	0.0000~2.1383	1.4778	穗型 PT	0.0000~1.0901	0.7174
结实率 SSR	0.0000~2.0253	1.3244	叶片茸毛 LH	0.0000~1.3108	0.7976

表 1(续)

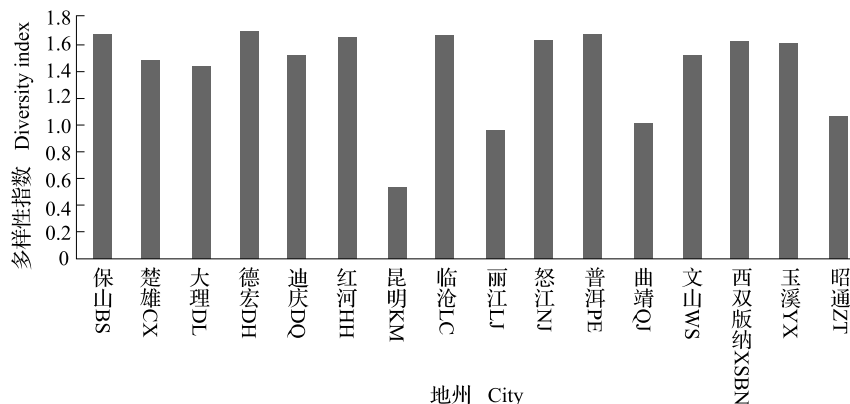
性状 Traits	变幅 Variation range	均值 Mean	性状 Traits	变幅 Variation range	均值 Mean
千粒重 TGW	0.0000 ~ 2.1329	1.4091	剑叶角度 FLA	0.0000 ~ 1.3654	0.8723
谷粒长 GL	0.0000 ~ 2.0996	1.4267	倒伏性 L	0.0000 ~ 1.3197	0.6458
谷粒宽 GW	0.0000 ~ 2.1137	1.4241	种皮色 SCC	0.0000 ~ 1.0331	0.6418
谷粒长宽比 RLWG	0.0000 ~ 2.0198	1.3957			

PH; Plant height, PL; Panicle length, PNP; Panicle number per plant, GPP; Grains per panicle, SSR; Seed setting rate, TGW; Thousand-grain weight, GL; Grain length, GW; Grain width, RLWG; Ratio of length to width for grain, PE; Panicle extraction, FLL; Flag leaf length, FLW; Flag leaf width, PT; Panicle type, LH; Leaf hair, FLA; Flag leaf angle, L; Lodging, SCC; Seed coat color. The same as below

表 2 各县(市)水稻地方品种 17 个性状的多样性指数平均值

Table 2 The mean of diversity index of 17 traits in rice landraces in each county

县(市) County	多样性指数 Diversity index	县(市) County	多样性指数 Diversity index	县(市) County	多样性指数 Diversity index	县(市) County	多样性指数 Diversity index
龙陵 Longling	1.2352	瑞丽 Ruili	1.0221	临翔 Linxiang	0.9863	镇沅 Zhenyuan	1.2747
隆阳 Longyang	0.3262	盈江 Yingjiang	1.6602	双江 Shuangjiang	1.5423	罗平 Luoping	0.9943
施甸 Shidian	1.0166	德钦 Deqin	1.1270	永德 Yongde	1.4829	广南 Guangnan	0.6124
腾冲 Tengchong	1.6383	维西 Weixi	1.4374	镇康 Zhenkang	1.4370	麻栗坡 Malipo	1.3991
大姚 Dayao	1.0647	香格里拉 Xianggelila	1.2438	贡山 Gongshan	1.2521	文山 Wenshan	0.4485
禄丰 Lufeng	0.0000	河口 Hekou	1.4459	兰坪 Lanping	1.3683	砚山 Yanshan	0.8866
牟定 Mouding	0.5411	红河 Honghe	1.3197	泸水 Lushui	1.5795	景洪 Jinghong	1.3295
双柏 Shuangbai	1.3843	金平 Jinping	1.4243	江城 Jiangcheng	1.3086	勐海 Menghai	1.6082
姚安 Yaoan	0.7893	绿春 Luchun	1.0396	景东 Jingdong	1.3758	勐腊 Mengla	1.5291
鹤庆 Heqing	1.4055	屏边 Pingbian	1.4498	景谷 Jinggu	1.4977	新平 Xiping	1.4582
剑川 Jianchuan	1.0654	元阳 Yuanyang	1.5104	澜沧 Lancang	1.5594	元江 Yuanjiang	1.5577
巍山 Weishan	0.4892	富民 Fumin	0.5096	孟连 Menglian	1.4692	巧家 Qiaojia	1.0629
梁河 Lianghe	1.3509	宁蒗 Ninglang	1.0370	墨江 Mojiang	1.3055		
陇川 Longchuan	1.6337	沧源 Cangyuan	1.6010	思茅 Simao	0.0000		
芒市 Mangshi	1.6822	耿马 Gengma	1.5066	西盟 Ximeng	1.5950		



BS; Baoshan, CX; Chuxiong, DL; Dali, DH; Dehong, DQ; Diqing, HH; Honghe, KM; Kunming, LC; Lincang, LJ; Lijiang, NJ; Nujiang, PE; Pu'er, QJ; Qujing, WS; Wenshan, XSBN; Xishuangbanna, YX; Yuxi, ZT; Zhaotong. The same as below

图 1 16 个州(市)水稻地方品种 17 个性状多样性指数平均值比较

Fig. 1 Mean of diversity index of 17 traits in rice landraces for 16 cities

2.2 不同稻作生态区水稻地方品种的表型多样性差异

以稻作生态区为计算单元,各稻作生态区的 17 个性状的多样性指数平均值为 1.3766 ~ 1.7235,其大小依次为南部边缘水陆稻区(1.7235) > 滇南单双季籼稻区(1.7172) > 滇中一季粳籼稻区(1.6943) > 滇西北高寒粳稻区(1.6707) > 滇东北高原粳稻区(1.3766)。

对各稻作生态区水稻地方品种每个观测性状的多样性指数的平均值分析表明(表 3),各性状的多样性指数大小顺序如下,株高、有效穗数、穗粒数和千粒重:南部边缘水陆稻区(Ⅱ) > 滇西北高寒粳稻区(Ⅲ) > 滇南单双季籼稻区(Ⅰ) > 滇东北高原粳稻区(Ⅴ) > 滇中一季粳籼稻区(Ⅳ);结实率、谷粒宽和剑叶宽:Ⅱ > Ⅲ > Ⅰ > Ⅳ > Ⅴ;穗长:Ⅱ > Ⅲ > Ⅴ > Ⅰ > Ⅳ;谷粒长:Ⅱ > Ⅲ > Ⅴ ≈ Ⅰ > Ⅳ;谷粒长宽比和剑叶长:Ⅱ > Ⅰ > Ⅲ > Ⅴ > Ⅳ;穗抽出度:Ⅲ > Ⅱ > Ⅰ > Ⅴ > Ⅳ;穗型:Ⅱ > Ⅰ > Ⅴ > Ⅲ > Ⅳ;叶片茸毛和剑叶角度:Ⅱ > Ⅲ > Ⅴ > Ⅰ > Ⅳ;倒伏性:Ⅴ > Ⅲ > Ⅰ > Ⅱ > Ⅳ;种皮色:Ⅱ > Ⅴ > Ⅲ > Ⅰ > Ⅳ。从上述各性状的多样性指数在 5 个稻作区的大小排序看,除谷粒长宽比、剑叶长和穗抽出度外,其他数量性状排在前 2 位的稻作区(Ⅱ和Ⅲ)一致;除倒伏性外,其他质量性状排在第 1 位的稻作区(Ⅱ)一致。由此可见,南部边缘水陆稻区(Ⅱ)性状

的多样性较其他稻作生态区丰富,也说明该稻作区是新收集资源表型性状多样性的分布中心。

不同稻作生态区间各性状多样性指数的差异性分析(*F* 检验)表明,除剑叶角度、倒伏性和种皮色外,其他 14 个性状的多样性指数在稻作生态区间差异均达显著、极显著水平。其中,穗抽出度和谷粒长及叶片茸毛的多样性指数在各稻作生态区间的差异达显著水平,其他 11 个性状的多样性指数差异都达到极显著水平。进一步采用新复极差法比较各性状的多样性指数在不同稻作生态区的差异表明(表 4),穗粒数和穗型的多样性指数在稻作生态区Ⅰ与Ⅳ,谷粒宽在Ⅰ与Ⅴ,除叶片茸毛、剑叶角度、倒伏性和种皮色外的 13 个性状在Ⅱ与Ⅳ,结实率、谷粒宽、谷粒长宽比、剑叶长和剑叶宽 5 个性状在Ⅱ与Ⅴ,穗粒数、结实率、株高、穗抽出度和剑叶宽 5 个性状在Ⅲ与Ⅳ,结实率、谷粒宽和剑叶宽 3 个性状在Ⅲ与Ⅴ,穗型在Ⅳ与Ⅴ之间的差异均达到显著水平。值得注意的是,在稻作生态区Ⅰ与Ⅱ、Ⅰ与Ⅲ和Ⅱ与Ⅲ之间没有出现多样性指数有明显差异的性状。总体而言,虽然有效穗数、穗粒数、千粒重与结实率 4 个产量性状及株高、谷粒宽、剑叶宽、谷粒长和穗抽出度的多样性指数大小依次为南部边缘水陆稻区 > 滇西北高寒粳稻区 > 滇南单双季籼稻区,但多重比较说明三者间的性状多样性指数没有明显差异。

表 3 不同稻作生态区 17 个性状多样性指数的平均值

Table 3 Average value of the diversity index of 17 traits in different rice ecological zones

性状 Traits	稻作生态区 Rice ecological zone				
	I (17)	II (18)	III (11)	IV (9)	V (2)
株高 PH	1.2934	1.6380	1.5490	0.9117	1.1860
穗长 PL	1.2858	1.6769	1.3634	0.9187	1.3593
有效穗数 PNP	1.4213	1.7498	1.4694	0.9370	1.3593
穗粒数 GPP	1.4735	1.7520	1.7349	0.8721	1.2206
结实率 SSR	1.3279	1.6460	1.4049	0.8209	0.8086
千粒重 TGW	1.3504	1.8048	1.3927	0.8999	1.2206
谷粒长 GL	1.3542	1.7412	1.4201	1.0415	1.3593
谷粒宽 GW	1.4035	1.7764	1.4677	0.9535	0.8217
谷粒长宽比 RLWG	1.4532	1.6550	1.3190	1.0088	1.0473
穗抽出度 PE	1.3635	1.6007	1.6314	1.0079	1.1860
剑叶长 FLL	1.3954	1.7568	1.3094	0.9278	1.0473
剑叶宽 FLW	1.4626	1.7430	1.5894	0.9559	0.9473
穗型 PT	0.7822	0.8813	0.6742	0.3771	0.7563

表 3(续)

性状 Traits	稻作生态区 Rice ecological zone				
	I (17)	II (18)	III (11)	IV (9)	V (2)
叶片茸毛 LH	0.6618	0.9556	0.9231	0.6511	0.7701
剑叶角度 FLA	0.7918	1.0287	0.9378	0.6898	0.8564
倒伏性 L	0.6714	0.5877	0.9150	0.4077	1.0473
种皮色 SCC	0.6157	0.7532	0.6511	0.4849	0.6831

I:滇南单双季籼稻区;II:南部边缘水陆稻区;III:滇西北高寒粳稻区;IV:滇中一季粳籼稻区;V:滇东北高原粳稻区。括号中的数字表示该稻作区包含的县(市)数。下同

I:Single and double cropping indica rice zone in southern Yunnan, II:Lowland and upland rice zone in southern border, III:Highly cold japonica rice zone in northwest Yunnan, IV:Single cropping indica and japonica rice zone in middle Yunnan, V:Plateau japonica rice zone in northeast Yunnan. The digital in parentheses indicates the number of county in rice zone. The same as below

表 4 各稻作生态区间 14 个性状的多样性指数差异性比较(新复极差法)

Table 4 The diversity index of 14 traits in rice ecological zones(new multiple range test)

稻作生态区 Rice ecological zone	株高 PH	穗长 PL	有效穗数 PNP	穗粒数 GPP	结实率 SSR	千粒重 TGW	谷粒长 GL
I	1.293ab	1.286ab	1.421ab	1.473a	1.328ab	1.350ab	1.354ab
II	1.638a	1.677a	1.750a	1.752a	1.646a	1.805a	1.741a
III	1.549a	1.363ab	1.469ab	1.735a	1.405a	1.393ab	1.420ab
IV	0.912b	0.919b	0.937b	0.872b	0.821b	0.900b	1.042b
V	1.186ab	1.359ab	1.359ab	1.221ab	0.809b	1.221ab	1.359ab

稻作生态区 Rice ecological zone	谷粒宽 GW	谷粒长宽比 RLWG	穗抽出度 PE	剑叶长 FLL	剑叶宽 FLW	穗型 PT	叶片茸毛 LH
I	1.403ab	1.453ab	1.364ab	1.395ab	1.463ab	0.782a	0.662a
II	1.776a	1.655a	1.601a	1.757a	1.743a	0.881a	0.956a
III	1.468ab	1.319ab	1.631a	1.309ab	1.589a	0.674ab	0.923a
IV	0.954bc	1.009b	1.008b	0.928b	0.956b	0.377b	0.651a
V	0.822c	1.047b	1.186ab	1.047b	0.947b	0.756a	0.770a

不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。剑叶角度、倒伏性和种皮色在稻作生态区间无显著性差异,未列出

Values followed by different small letters are significantly different at 5% probability levels. Flag leaf angle, lodging and grain color were no significantly different between rice ecological zone and were not listed

2.3 各稻作民族水稻地方品种表型多样性差异

22 个稻作民族间 17 个性状的多样性指数变幅为 0.0000~2.1824。其中,千粒重的多样性指数变异最大,其次是穗抽出度,最小是种皮色(表 5)。各

稻作民族内 17 个性状的多样性指数平均值为 0.0000~1.7308,除德昂族外,其他 21 个稻作民族的多样性指数为 0.7622~1.7308,其中哈尼族、汉族、景颇族和彝族的多样性指数均大于 1.7000(表 6)。

表 5 水稻地方品种 17 个性状的多样性指数在不同稻作民族间的变化

Table 5 Variation of diversity index of 17 traits in rice landraces in different rice nationalities

性状 Traits	多样性指数 Diversity index	性状 Traits	多样性指数 Diversity index	性状 Traits	多样性指数 Diversity index
株高 PH	0.0000~2.1311	谷粒长 GL	0.0000~2.0623	穗型 PT	0.0000~1.0795
穗长 PL	0.0000~2.0887	谷粒宽 GW	0.0000~2.1220	叶片茸毛 LH	0.0000~1.2467
有效穗数 PNP	0.0000~2.0868	谷粒长宽比 RLWG	0.0000~2.0071	剑叶角度 FLA	0.0000~1.3398
穗粒数 GPP	0.0000~2.0762	穗抽出度 PE	0.0000~2.1434	倒伏性 L	0.0000~1.2583
结实率 SSR	0.0000~1.9135	剑叶长 FLL	0.0000~2.0664	种皮色 SCC	0.0000~1.0549
千粒重 TGW	0.0000~2.1824	剑叶宽 FLW	0.0000~2.0557		

表 6 不同稻作民族的水稻地方品种 17 个性状多样性指数的平均值

Table 6 The mean of diversity index of 17 traits of rice landraces in different rice nationalities

民族	多样性指数	民族	多样性指数	民族	多样性指数	民族	多样性指数
Nationalities	Diversity index	Nationalities	Diversity index	Nationalities	Diversity index	Nationalities	Diversity index
阿昌族 Achang	1. 1520	德昂族 De'ang	0. 0000	傣傣族 Lisu	1. 6303	佤族 Wa	1. 6374
白族 Bai	1. 5998	哈尼族 Hani	1. 7033	满族 Man	0. 7622	瑶族 Yao	1. 3586
布朗语 Bulang	1. 4140	汉族 Han	1. 7308	苗族 Miao	1. 3644	彝族 Yi	1. 7231
布依族 Buyi	0. 9102	基诺族 Jino	1. 2684	纳西族 Naxi	1. 4484	壮族 Zhuang	1. 4953
藏族 Zang	1. 3095	景颇族 Jingpo	1. 7070	怒族 Nu	1. 1474		
傣族 Dai	1. 5901	拉祜语 Lahu	1. 6684	普米族 Pumi	1. 0356		

2.3.1 同一州(市)内不同稻作民族间水稻地方品种表型多样性差异 在同一州(市)内不同稻作民族 17 个性状多样性指数差异明显(表 7)。普洱市哈尼族稻作的多样性指数变化最大,为 0.0000 ~ 2.2053;其次是红河州哈尼族稻作、德宏州汉族稻

作,分别为 0.0000 ~ 2.1193 和 0.0000 ~ 2.1176;最小为大理州彝族稻作和红河州苗族稻作,为 0.0000 ~ 0.6931。17 个性状多样性指数的平均值以德宏州的景颇族(1.3735)、傣傣族(1.3714)和汉族(1.3526)较高,玉溪市的傣族(0.3287)较低。

表 7 水稻地方品种表型多样性指数在同一州(市)内不同稻作民族的变化及均值

Table 7 Variation of diversity index of rice landraces in different rice nationalities within city

州(市)	民族	变幅	均值	州(市)	民族	变幅	均值
City	Nationalities	Variation range	Mean	City	Nationalities	Variation range	Mean
保山 Baoshan	汉族	0.0000 ~ 2.0705	0.8967	迪庆 Diqing	藏族	0.0000 ~ 1.7918	1.0417
	傣傣族	0.0000 ~ 1.5607	0.8109		纳西族	0.4506 ~ 1.7351	0.7515
楚雄 Chuxiong	彝族	0.0000 ~ 1.6094	0.6870	怒江 Nujiang	白族	0.0000 ~ 2.0045	1.0912
	汉族	0.0000 ~ 1.8938	0.4458		傣傣族	0.0000 ~ 1.3863	0.7390
大理 Dali	白族	0.4101 ~ 1.8446	1.2177	西双版纳 XSBN	傣族	0.0000 ~ 2.0083	1.0733
	彝族	0.0000 ~ 0.6931	0.5096		哈尼族	0.0000 ~ 1.9062	1.2967
红河 Honghe	苗族	0.0000 ~ 0.6931	0.5096	临沧 Lincang	傣族	0.0000 ~ 1.3863	0.8102
	哈尼族	0.0000 ~ 2.1193	1.1775		汉族	0.0000 ~ 1.9702	1.0354
	彝族	0.0000 ~ 1.9578	1.1809		拉祜族	0.0000 ~ 1.8712	0.9134
	汉族	0.0000 ~ 1.7782	0.8609		佤族	0.0000 ~ 2.0097	0.9113
德宏 Dehong	阿昌族	0.0000 ~ 1.3863	0.5418	普洱 Pu'er	傣族	0.0000 ~ 1.5607	0.4616
	傣族	0.0000 ~ 1.8892	1.2026		哈尼族	0.0000 ~ 2.2053	0.9478
	汉族	0.0000 ~ 2.1176	1.3526		汉族	0.0000 ~ 1.9062	1.0962
	景颇族	0.0000 ~ 2.0690	1.3735		拉祜族	0.0000 ~ 1.9730	0.9347
	傣傣族	0.5196 ~ 1.8679	1.3714		佤族	0.0000 ~ 1.9767	1.2317
玉溪 Yuxi	傣族	0.0000 ~ 1.0397	0.3287	文山 Wenshan	彝族	0.0000 ~ 1.6770	0.8604
	哈尼族	0.5004 ~ 1.8867	1.2216		壮族	0.0000 ~ 1.7918	0.7787
	彝族	0.5623 ~ 1.7479	1.2171		苗族	0.3466 ~ 1.3322	0.9937

2.3.2 同一稻作民族不同州(市)间水稻地方品种表型多样性差异 在同一稻作民族不同州(市)的 17 个性状多样性指数的平均值存在差异。滇西南稻作民族的稻作多样性指数大都较其他地区

高,如滇西南地区临沧、普洱、德宏和保山的傣族稻作多样性指数(1.1628 ~ 1.4573)较滇中地区玉溪市(0.7829)的高;临沧、普洱、德宏和保山的汉族(1.4710 ~ 1.6808)较滇中地区昆明、滇西北怒

江、丽江、迪庆和滇东北昭通汉族(0.5300 ~ 1.0365)的高;临沧和普洱的拉祜族(1.5561 ~ 1.5590)较玉溪市(0.4893)拉祜族的高等。在 22 个稻作民族中,哈尼族(1.4410 ~ 1.5818)、普米族(0.5708 ~ 0.7145)、佤族(1.5577 ~ 1.6096)和苗

族(0.7042 ~ 0.9937)的稻作多样性指数在不同州(市)的变化较小,而汉族和彝族稻作性状的多样性指数的变化较大,分别为 0.5300 ~ 1.6808 和 0.3669 ~ 1.6294,可能与其分布的地域广泛有关(表 8)。

表 8 水稻地方品种表型多样性指数在同一民族不同州(市)的变化

Table 8 Variation of diversity index of rice landraces among different cities in nationalities

民族 Nationalities	地州(市) City	多样性指数 Diversity index	民族 Nationalities	地州(市) City	多样性指数 Diversity index	民族 Nationalities	地州(市) City	多样性指数 Diversity index
布朗族 Bulang	普洱	0.8063	纳西族 Naxi	迪庆	1.4145	普米族 Pumi	丽江	0.5708
	西双版纳	1.4030		丽江	0.3669		迪庆	0.7145
佤族 Wa	临沧	1.6096	瑶族 Yao	红河	1.2864	壮族 Zhuang	文山	1.4302
	普洱	1.5577		普洱	0.7622		红河	0.8739
傣族 Dai	临沧	1.1628	拉祜族 Lahu	西双版纳	1.4475	哈尼族 Hani	红河	1.5726
	红河	0.7416		临沧	1.5590		普洱	1.5818
	普洱	1.3974		普洱	1.5561		西双版纳	1.5014
	西双版纳	1.5352		玉溪	0.4893		玉溪	1.4410
	德宏	1.4573		白族 Bai	怒江		1.5258	苗族 Miao
汉族 Han	保山	1.2416		大理	1.4074		曲靖	0.7042
	玉溪	0.7829		临沧	0.9605		文山	0.9937
	临沧	1.6190	彝族 Yi	楚雄	1.2958	傣族 Lisu	楚雄	0.6116
	昆明	0.5300		大理	0.9428		迪庆	0.5300
	怒江	0.5300		红河	1.6294		怒江	1.4206
	普洱	1.4710		普洱	1.4536		保山	1.2728
	德宏	1.6808		怒江	0.8893		德宏	1.4864
	保山	1.6228		曲靖	0.3669		临沧	1.1017
	楚雄	1.4162		西双版纳	1.3050			
	丽江	0.5708		丽江	0.5300			
	红河	1.3357		玉溪	1.4054			
	昭通	1.0365		临沧	1.1870			
	迪庆	0.6931						

2.4 特异性状资源的地理分布

经农艺性状鉴定评价,筛选出具有矮秆、大穗大粒、软米、紫米等特性的特异种质资源。其中,多穗(有效穗数 > 15 个)的资源有 6 份,主要来自永德、腾冲、麻栗坡 3 个县(市);矮秆(株高 < 80 cm)的资源有 22 份,占材料总数的 1.9%,主要来自景谷、陇川、潞西、盈江等县(市);大穗(穗粒数 > 200 粒)的资源有 173 份,占 14.6%,主要分布于德宏、西双版纳、普洱、红河等州(市);大粒(千粒重 > 30 g)的资源有 84 份,占 7.1%,主要分布于德宏、西双版纳、普洱等州(市)。长粒型(谷粒长宽比 > 3.5)的资

源有 41 份,占 3.4%,主要分布于陇川、潞西、双江、永德等县(市)。种皮色为紫色或黑色的紫米资源有 68 份,占 5.7%,主要分布于陇川、勐海、勐腊、元阳等县(市)。其中尾巴谷、细优质、老鼠牙、芒陇细长谷的谷粒长宽比均大于 4.0,属于典型的长粒型品种;勐腊县糯谷的千粒重为 40.80 g,属于大粒型品种,该县乌嘴卡谷和大白谷的每穗粒数为 261.00 粒和 216.17 粒,千粒重为 37.49 g 和 44.41 g,是典型的大穗大粒资源;陇川县的紫米鸡血糯和潞西市毫比相弄的株高为 78.14 cm 和 76.43 cm,谷粒长宽比为 3.79 和 3.56,是矮秆长粒型资源,这些特异种

质资源是在水稻育种与基因发掘中可利用的重要基础材料,应加以研究利用。

3 讨论

3.1 不同州(市)、县(市)新收集水稻地方品种农艺性状的多样性差异

本研究利用 17 个表型性状对新收集的水稻地方品种进行多样性分析表明,在不同县(市)和州(市)间各性状的多样性指数差异明显。在 57 个县(市)中,穗粒数、剑叶宽、有效穗数、谷粒长、谷粒宽和千粒重的多样性指数均值较大,倒伏性和种皮色的较小,说明云南水稻地方品种的穗粒数、有效穗数和千粒重等产量相关性状在水稻种质创新与研究中有重要利用价值。新收集地方品种资源的分布范围广,最低海拔点为元江县澧江镇(海拔 425 m),最高海拔点为宁蒗县永宁乡(海拔 2690 m),穗粒数等产量性状的多样性指数高,与资源的海拔分布范围密切相关;谷粒长和谷粒宽是利用者关注的品质性状,与一些民族如哈尼族通过粒选和穗选的留种方式有关,其传统留种方式丰富了谷粒长和谷粒宽等穗部性状的多样性。农户种植白米占材料总数的比例较大(58.6%),不抗倒伏的品种在种植过程中逐渐被淘汰,人为和自然的选择导致倒伏性和种皮色等质量性状的多样性较低。

云南陆稻和糯稻地方品种的遗传多样性以滇南、滇西南地区最为丰富^[27-28]。云南地方稻种的遗传多样性主要分布于滇南、滇西南地区的德宏、西双版纳、普洱、临沧等州(市)^[29]。本研究对不同州(市)和县(市)17 个性状的表型多样性指数平均值比较表明,滇南、滇西南地区的德宏、普洱和临沧等州(市)及其所辖县(市),如德宏州芒市、陇川和盈江、保山市腾冲、临沧市沧源和西双版纳州勐海等县的多样性指数相对较高,而滇中地区昆明市、楚雄州及其所辖县如禄丰县的表型多样性指数较低,来自滇南、滇西南县(市)的稻作资源性状多样性较高,这与 Zeng 等^[7]、曾亚文等^[30]以 30 年前收集的云南水稻地方品种资源为研究对象,所获得的研究结果相一致。滇南、滇西南县(市)的稻作资源性状多样性较高,这与这些州(市)或县(市)所处的地形地貌、独特的立体气候、物种资源丰富等高度相关。德宏州芒市、陇川和盈江县及保山腾冲市地处横断山系、高黎贡山、滇西大峡谷和云贵高原的南部地区,海拔垂直分布明显(海拔差异 1500 m 左右),同时位于澜沧江、怒江、伊洛瓦底江三大水系区域,水

资源丰富,并受亚洲栽培稻中国和南亚两个独立起源中心的影响,使其成为云南省优质大米的主产地之一,盛产软米、香软米、热区优质米、饵丝专用米和优质粳米,并拥有丰富的氮磷高效资源等^[31]。西双版纳州勐海县是边疆多民族农业县,年温差小,四季均能适宜水稻生长,也盛产优质稻米,为“滇南粮仓”,是国家级粮食生产基地。由此可见,滇南、滇西南地区是发掘水稻优异基因资源的理想之地。

3.2 不同稻作生态区间水稻地方品种多样性差异

新收集的云南水稻地方品种 17 个性状的多样性在各稻作生态区间存在差异,表现为南部边缘水陆稻区 > 滇南单双季籼稻区 > 滇中一季粳籼稻区 > 滇西北高寒粳稻区 > 滇东北高原粳稻区,与杨忠义等^[15]、曾亚文等^[21]的研究结果相一致。其中,南部边缘水陆稻区包括滇西南临沧市沧源、耿马和镇康 3 个县,普洱市澜沧、西盟和孟连 3 个县,德宏州陇川、芒市、瑞丽和盈江 4 个县,滇南普洱市江城,红河州河口、金平和绿春 3 个县,西双版纳州景洪、勐腊和勐海 3 个县,共 5 个州(市)17 个县(市)。这些县(市)与越南、老挝、缅甸 3 国接壤;沿河谷分布有盆地、河滩平原和阶地;为南亚热带、亚热带季风气候类型,是我国少有的“热带宝地”,年均温最低为 15.28℃,最高为 22.68℃,日照时数 2000 h 左右,气候湿润,常夏无冬,品种资源极为丰富,软米、糯米、紫米等优质资源较多。滇南单双季籼稻区包括滇东南文山州麻栗坡、广南、文山和砚山 4 个县,滇西南普洱市景东、景谷、思茅、墨江和镇沅 5 个县(市),临沧市临翔、双江和永德 3 个县(市),滇南红河州红河、屏边和元阳 3 个县,玉溪市的新平和元江 2 个县,共 5 个州(市)17 个县(市)。这些县(市)属于中亚热带和南亚热带气候,年均温最低为 15.8℃,最高为 23℃,降雨量 800~1700 mm,温度适宜,日照充足,积温多,是云南省纬度和地势较低的稻谷主产区,也是云南第 2 个粮食主产区。因此,南部边缘水陆稻区和滇南单双季籼稻区是云南新收集水稻地方品种多样性的分布中心,与杨忠义等^[15]、李自超等^[20]研究的结果基本一致。这 2 个稻作区,特别是南部边缘水陆稻区应列为云南水稻地方品种资源保护的优先区域和核心区,使这一地区的稻种资源得以持续性地有效保存与利用。

有效穗数、穗粒数、千粒重和结实率等产量性状以及株高、谷粒宽、剑叶宽、谷粒长和穗抽出度的多

多样性指数大小顺序依次为南部边缘水陆稻区 > 滇西北高寒粳稻区 > 滇南单双季籼稻区,但方差分析(F 检验)和多重比较表明,这 3 个稻作生态区的性状多样性指数未见显著差异,即它们的性状多样性水平相当。这说明以往单纯以多样性指数大小来判断分析单元间的多样性丰贫的局限性,也说明滇南、滇西南的南部边缘水陆稻区、滇南单双季籼稻区和滇西北高寒粳稻区是云南稻作资源的多样性较丰富区域。

3.3 不同稻作民族间水稻地方品种多样性差异

云南水稻地方品种性状的多样性形成受人文和自然生态环境因素的影响。冯建孟等^[32]研究了云南稻作品种多样性的地理分布格局,发现不同民族的稻作文化在保护稻作品种的多样性过程中扮演着不同的角色。云南省不仅是一个多民族的省份,还是中国跨境民族最多和稻作文化历史悠久的省份。各稻作民族在农耕、饮食的历史长河中积累形成了奇异的稻作文化,孕育了多样的稻作资源,使当地的农家品种多样性仍然保留至今。哈尼族创造了“山有多高,水有多高”的梯田奇观,并孕育出适应“一山分四季”特殊地理气候种植的丰富的水稻地方品种,将交换稻种及采用“穗选法”筛选饱满健壮的穗子作为次年稻种的习惯保留至今;他们还有祭祀、过节吃染色糯米饭,春节吃糍粑的糯食习俗,因而保留了丰富的糯稻地方品种,喜欢种植落粒性强、大穗多粒类型丰富的红米品种。汉族人口分布广泛,主食稻米,有春节吃糯米粑粑,用米饭祭祀的习俗,并在水稻生产中采用多品种混合间栽、“稻-鸭”共生的有机生态种植模式。景颇族稻作历史悠久,生产精耕细作,有喜食口感柔软、香甜、耐饿、营养丰富的糯稻,以及用糯米食品祭祀的饮食及宗教习俗。彝族有 3000 多年的稻作历史,其稻作文化源远流长^[33],陆稻品种丰富,是典型的稻作农耕经济民族,他们也爱吃糯食如糯米粑、糯米糕等食品,并掌握以稻草为原料制作草凳、草帽、草席、草鞋等生活用品的技能。所以,这些民族的生活和生产活动,对云南水稻地方品种多样性的形成与维护有着重要影响。这也是本研究发现哈尼族、汉族、景颇族和彝族稻作区的水稻地方品种多样性指数较高,性状多样性更为丰富的原因。

同一地区的不同稻作民族由于地理位置和饮食习惯的影响,其稻种的多样性存在差异。如德宏州景颇族呈大杂居、小聚居分散形式,主要居住在山区、半山区、高山区和边境地区,交通极为不便,信息

闭塞,是特困少数民族,善酿酒,制作糯米饭和过手米线。傣族也是跨境特困少数民族,主要居住在山高坡陡地带,其村寨多数远离市场和交通干线,从事自给自足的传统农业种植,持续种植并保留了丰富的水稻地方品种,善于加工手抓饭(稻米)等美食。在 2010 年第六次全国人口普查中,德宏州汉族有 62.91 万人,占该州总人口数的 51.93%,与傣族、景颇族等少数民族杂居,有些汉族村寨如盈江县芒章乡璋刀村地处山区,主要种植水稻、玉米等作物,所以也保留了许多地方品种。这些因素导致以上民族栽种的稻种资源有较高的多样性。而同地州的傣族居住在 800 ~ 1200 m 温暖多湿的河谷平坝,交通便利,水资源丰富,土壤肥沃,有利于稻作,但他们与汉族交往密切,深受汉文化的影响,也容易受到城镇化、工业化的影响,种植有较多的水稻新品种,因而,其民族传统文化和水稻地方品种的多样性在衰退。

不同州(市)同一稻作民族受区位和文化的影响,其水稻地方品种的多样性也明显不同。俗话说千里不同风,百里不同俗,靠山吃山,靠水吃水,不同稻作民族就地取材维护不同的自然地理环境和气候条件下生存的水稻地方品种。如滇西南地区临沧、普洱、德宏和保山市的傣族,居住山间平原地区,海拔相对低,气候炎热,光照充足,适宜不同类型的水稻品种生长;且经济发展水平较低,一直保留了较多传统稻种的种植,从而丰富了水稻地方品种的表型多样性。玉溪市傣族主要分布在红河流域的新平、元江两县,海拔 1000 m 以下的低热河谷地带,年平均温度 24 ℃ 左右,气候炎热,终年无霜,被誉为“天然温室”;交通及通讯便捷,经济较发达;元江穿坝而过,水利条件好,主要种植杂交水稻,也零星种植地方糯稻,因此,水稻地方品种的多样性低。临沧、普洱、德宏和保山等州(市)的汉族,其居住地水资源丰富,气候暖和,适合种植多种类型水稻品种,多样性较丰富;滇西北怒江、丽江、迪庆的汉族,生活在高寒冷凉地区,海拔较高,多种强耐冷性的水稻品种,且面积较小,多样性低。所以,云南南部、西南部及西北部稻区的性状多样性高于中部、东北部稻区,与这些地区的地理、气候及不同民族农耕、传统文化习俗有关,稻作民族通过种植与利用影响了地方稻作性状多样性。

3.4 云南水稻地方品种特异资源评价利用

水稻种质资源是水稻新品种培育和重要农艺性状遗传研究的基础材料,优特异水稻种质资源的遗

传改良和创新利用是提高水稻生产能力的直接有效的措施。云南水稻地方品种资源约占全国地方品种总数的10%,且云南是中国稻种优特种质资源的富集地区,大穗大粒、优质软米、紫米等种质资源丰富,如勐腊县糯谷(大粒型),乌嘴卡谷和大白谷(大穗大粒型),德宏州鸡血糯和毫比相弄(紫米、矮秆)等均是新收集的特异种质资源,其主要分布于滇西南、滇南的德宏、西双版纳、普洱、红河等州(市),主要为傣族种植利用。李自超等^[20]评价了30年前收集的云南水稻地方品种的表型多样性,表明穗粒数大于200粒的大穗型资源普遍较少,而本研究中筛选的大穗型资源却占材料总数的14.5%,说明水稻地方品种在数十年的农家保护种植条件下,经人工和自然选择,那些具有生态适应性强并具有特异性状的种质资源在当地农户稻作中有效地得到了保护与利用。这些种质资源是具有重要利用价值的宝贵资源,应在重要性状基因发掘与育种中加以利用,为我国水稻育种及水稻产业的发展提供重要的物质支撑。

参考文献

- [1] 叶昌荣,戴陆园. 云南作物遗传资源多样性与农业可持续发展. 云南植物研究, 2000(5): 129-133
- [2] 董文鸽,郭宪国. 云南物种多样性研究现状和保护. 中国科技信息, 2008(14): 19-21, 23
- [3] 戴陆园,王平盛,叶昌荣,余腾琼,徐福荣. 云南省农作物遗传资源现状. 云南植物研究, 2001(5): 22-27
- [4] Zeng Y W, Shen S Q, Li Z C, Yang Z Y, Wang X K, Zhang H L, Wen G S. Ecogeographic and genetic diversity based on morphological characters of indigenous rice (*Oryza sativa* L.) in Yunnan, China. Genetic Resources and Crop Evolution, 2003, 50(6): 567-577
- [5] 云南省农牧渔业厅. 云南省种植业区划. 昆明: 云南科技出版社, 1992: 164-176
- [6] 戴陆园,游承俐, Paul Quek. 土著知识与农业生物多样性. 北京: 科学出版社, 2008: 93-106
- [7] Zeng Y W, Zhang H L, Li Z C, Shen S Q, Sun J L, Wang M X, Liao D Q, Liu X, Wang X K, Xiao F H, Wen G S. Evaluation of genetic diversity of rice landraces (*Oryza sativa* L.) in Yunnan, China. Breeding Science, 2007, 57(2): 91-99
- [8] 刘承晨,赵富伟,吴晓霞,张昌泉,朱孔志,薛达元,武建勇,黄绍文,徐小颖,金银根,刘巧泉. 云南哈尼梯田当前栽培水稻遗传多样性及群体结构分析. 中国水稻科学, 2015, 29(1): 28-34
- [9] 黄燕红,孙新立,王象坤. 中国栽培稻遗传多样性中心和起源研究. 植物遗传资源学报, 2005, 6(2): 125-129
- [10] Long C L, Li H, Ouyang Z H, Yang X Y, Li Q, Trangmar B. Strategies for agrobiodiversity conservation and promotion: a case from Yunnan, China. Biodiversity and Conservation, 2003, 12(6): 1145-1156
- [11] 涂敏,王云月,卢宝荣,杨学辉. 云南省水稻品种稻瘟病抗性差异与遗传多样性相关研究. 湖北农业科学, 2011, 50(6): 1149-1152
- [12] 朱有勇,陈海如,范静华,王云月,李炎,范金祥,杨仕生,马光亮,陈建斌,李作森,卢宝荣. 利用水稻品种多样性控制稻瘟病研究. 中国农业科学, 2003, 36(5): 521-527
- [13] Pervaiz Z H, Rabbani M A, Khaliq I, Pearce S R, Malik S A. Genetic diversity associated with agronomic traits using microsatellite markers in Pakistani rice landraces. Electronic Journal of Biotechnology, 2010, 13: 1-12
- [14] 朱明雨,王云月,朱有勇,卢宝荣. 云南地方水稻品种遗传多样性分析及其保护意义. 华中农业大学学报, 2004, 23(2): 187-191
- [15] 杨忠义,苏艳,曹永生,邹菊,刘晓利,奎丽梅,卢义宣. 云南稻种资源多样性的生态地理分布研究. 植物遗传资源学报, 2008, 9(4): 475-479
- [16] 涂敏,王云月,卢宝荣,董树斌. 云南省不同地理位置水稻品种遗传多样性分析. 热带作物学报, 2011, 32(6): 998-1003
- [17] 李明靖,常易,杨超振,杨卫东. 云南民族富集环境中稻种资源的分布研究. 安徽农业科学, 2007, 35(15): 4510-4511, 4531
- [18] 曾亚文,李自超,杨忠义,申时全,张洪亮,王象坤. 云南地方稻种籼粳亚种与生态群分类及地理生态分布. 作物学报, 2001, 27(1): 15-20
- [19] Zhang H L, Li Z C, Liao D P, Liu X, Zeng Y W, Shen S Q, Mu P, Yang Z Y, Wang X K. Microsatellite analysis of landrace rice core collection in Yunnan, China. Journal of Agricultural Biotechnology, 2003, 11(2): 131-139
- [20] 李自超,张洪亮,曾亚文,申时全,孙传清,王象坤. 云南稻种资源表型遗传多样性的研究. 作物学报, 2001, 27(6): 832-837
- [21] 曾亚文,李自超,申时全,王象坤,杨忠义,张洪亮,陈于敏. 云南地方稻种的多样性及优异种质研究. 中国水稻科学, 2001, 15(3): 169-174
- [22] 曾亚文,申时全,汪禄祥,刘家富,普晓英,杜娟. 云南稻种矿物质元素含量与形态及品质性状的关系. 中国水稻科学, 2005, 19(2): 127-131
- [23] 马继琼,孙一丁,杨奕,王炎炎,许明辉. 云南地方稻 waxy 基因序列多样性分析. 植物遗传资源学报, 2016, 17(2): 365-370
- [24] 徐福荣,张恩来,董超,戴陆园,张红生. 云南元阳哈尼梯田两个不同时期种植的水稻地方品种表型比较. 生物多样性, 2010, 18(4): 365-372
- [25] 李金梅,崔迪,汤翠凤,阿新祥,余腾琼,马小定,张恩来,刘昌文,徐福荣,戴陆园,韩龙植. 两个时期收集的云南水稻农家品种表型多样性比较. 植物遗传资源学报, 2015, 16(2): 238-244
- [26] 韩龙植,魏兴华. 水稻种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006: 15-24
- [27] 徐建欣,王云月,姚春,刘云霞,汤森,陆明兴. 利用 SSR 分子标记分析云南陆稻品种遗传多样性. 中国水稻科学, 2012, 36(2): 155-164
- [28] 杨慧,陆春明,贾亦飞,韩光煜,李利国,段琳,王云月. 云南糯稻遗传多样性的 SSR 分析. 分子植物育种, 2008, 6(6): 1068-1074
- [29] 张恩来,徐福荣,汤翠凤,阿新祥,杨雅云,董超,张斐斐,徐安虎,戴陆园. 云南当前种植地方稻种 SSR 遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2011, 12(6): 890-895
- [30] 曾亚文,李自超,杨忠义,王象坤,申时全,张洪亮,陈于敏. 云南稻种主要性状多样性分布中心及其规律研究. 华中农业大学学报, 2000, 19(6): 511-517
- [31] 曾亚文,杜娟,普晓英,张浩,周国华,杨树明,杨晓娟. 云南地方稻核心种质氮磷高效性. 生态学报, 2008, 28(12): 6354-6363
- [32] 冯建孟,何汉明,朱有勇,李成云. 云南地区稻作品种多样性的地理分布格局及其与自然环境和民族文化的关系. 云南农业大学学报, 2010, 25(4): 451-457
- [33] 聂鹏. 彝语稻作词汇及其文化现象. 中央民族大学学报: 哲学社会科学版, 2015, 42(S): 125-132