植物遗传资源学报

Journal of Plant Genetic Resources

ISSN 1672-1810,CN 11-4996/S

《植物遗传资源学报》网络首发论文

题目：不同生态环境下我国水稻地方品种的主要农艺性状表型差异

作者：姜小富，刘春晖，焦爱霞，马小定，陈惠查，崔迪，黎小冰，韩冰，阮仁超，孙建昌，韩龙植

DOI：10.13430/j.cnki.jpgr.20250923001

收稿日期：2025-09-23

网络首发日期：2025-12-19

引用格式：姜小富，刘春晖，焦爱霞，马小定，陈惠查，崔迪，黎小冰，韩冰，阮仁超，孙建昌，韩龙植．不同生态环境下我国水稻地方品种的主要农艺性状表型差异[J/OL]．植物遗传资源学报. https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250923001

植物遗传资源学报
Journal of Plant Genetic Resources　DOI:10.13430/j.cnki.jpgr.20250923001

不同生态环境下我国水稻地方品种的主要农艺性状表型差异

姜小富[1,2,3]，刘春晖[4]，焦爱霞[5]，马小定[2]，陈惠查[5]，崔迪[2]，黎小冰[5]，韩冰[2]，阮仁超[5]，孙建昌[1,3]，韩龙植[2]
（[1]宁夏大学农学院，银川 750021；[2]中国农业科学院作物科学研究所/农业农村部粮食作物基因资源评价利用重点实验室/作物基因资源与育种全国重点实验室，北京 100081；[3]宁夏农林科学院农作物研究所，永宁 750105；[4]中国农业大学农学与生物技术学院，北京 100193；[5]贵州省农业科学院农作物品种资源研究所，贵阳 550006）

摘要：水稻地方品种是我国稻种资源的核心组成部分，开展其农艺性状的鉴定评价，对水稻育种具有重要意义。选取 218 份来源于我国长江以南 12 个省份的水稻地方品种作为试验材料，在海南三亚和贵州惠水两个鉴定点对抽穗天数、株高、有效穗数、穗粒数等 12 个农艺性状进行了表型精准鉴定评价。结果表明，在异地环境下不同省份水稻地方品种在多个性状上表型差异明显。抽穗天数、株高、穗长、穗粒数、结实率等性状的表型值在纬度和海拔较高的贵州惠水大于纬度和海拔低的海南三亚，而有效穗数和剑叶宽表型值在海南三亚大于贵州惠水。异地环境下千粒重、谷粒相关性状和剑叶宽的表型值相对较稳定，抽穗天数、株高、穗长、结实率和剑叶长次之，而有效穗数和穗粒数的稳定性较差。218 份供试材料 12 个农艺性状的变异系数分布分析表明，绝大多数材料有效穗数和穗粒数的变异系数较大，易受异地环境的影响；绝大多数材料千粒重、谷粒长宽比、谷粒长和谷粒宽的变异系数较小，不易受异地环境的影响；抽穗天数、株高及结实率，对异地环境反应敏感与迟钝材料各占约 50%；大部分材料的穗长、剑叶长对异地环境较敏感，而大部分材料的剑叶宽对异地环境较迟钝。籼稻的抽穗天数变异系数小于粳稻，籼稻的稳定性优于粳稻，其中长江中下游稻区籼稻抽穗天数的稳定性最高。亚种间和不同稻区间水稻地方品种表型比较表明，籼稻比粳稻早熟、有效穗数较多、稻谷较细长、剑叶伸展更长、结实率和千粒重较高，而粳稻在株高、穗长、穗粒数的表型值高于籼稻，且稻谷较宽。华南稻区和西南稻区的水稻普遍植株较高、穗较大、稻谷较重、结实率较高、剑叶更长更宽，具有较高的产量潜力。聚类分析表明，华南稻区与西南稻区地方品种间的亲缘关系最近，长江中下游稻区与华东稻区地方品种的亲缘关系次之。本研究还基于抽穗天数的稳定性，筛选出异地环境适应性较强的黄丝谷、大龙粘、背子糯和瘦田尖等优异种质 20 份；根据产量相关性状鉴定结果，筛选出多粒、大粒、多穗、长粒优异种质 20 份。这些优异种质具有较强的异地适应性和较突出的产量性状，是可利用于水稻育种的优异亲本材料。

关键词：不同生态环境；水稻地方品种；农艺性状；稳定性；亲缘关系

Phenotypic Differences of Main Agronomic Traits for Rice Landraces in China under Different Ecological Environments

JIANG Xiaofu[1,2,3], LIU Chunhui[4], JIAO Aixia[5], MA Xiaoding[2], CHEN Huicha[5], CUI Di[2], LI Xiaobing[5], HAN Bing[2], RUAN Renchao[5], SUN Jianchang[1,3], HAN Longzhi[2]
(*[1]College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan 750021; [2]Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key laboratory of Grain Crop Genetic Resources Evaluation and Utlization Ministry of Agriculture and Rural Affairs/ State Key Laboratory of Crop Gene Resources and Breeding, Beijing 100081; [3]Institute of Crop Sciences, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yongning 750105; [4]College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193; [5]Institute of Crop Germplasm Resources, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006*)

Abstract: Rice landraces constitute a core component of China's rice germplasm resources, and conducting systematic

收稿日期：2025-09-23

第一作者研究方向为水稻种质资源鉴定评价与新基因发掘研究，E-mail：625528402@qq.com；刘春晖为共同第一作者
通信作者：韩龙值，研究方向为水稻优异种质资源发掘与创新利用，E-mail：hanlongzhi@caas.cn
孙建昌，研究方向为水稻遗传育种，E-mail：nxsjch@163.com
阮仁超，研究方向为水稻种质资源鉴定评价与创新利用，E-mail: ruanrc@163.com

基金项目：国家重点研发计划项目（2021YFD1200500）；宁夏回族自治区重点研发计划项目（2023BCF01010）；中国农业科学院创新工程项目；宁夏回族自治区自然基金项目（2024AAC02059）
Foundation projects：The National Key Research and Development Program of China (2021YFD1200500)；the Key R&D Program of Ningxia Hui Autonomous Region (2023BCF01010)；The CAAS Science and Technology Innovation Program；The Natural Science Foundation of Ningxia Hui Autonomous Region (2024AAC02059)

identification and evaluation of their agronomic traits is of great significance for rice breeding. In this study, 218 rice landraces collected from 12 provinces south of the Yangtze River in China were used as experimental materials. Twelve agronomic traits, including heading days, plant height, panicles per plant, and spikelets per panicle, were evaluated under two environments, namely Sanya of Hainan province and Huishui of Guizhou province. The results revealed significant phenotypic variation in these agronomic traits between the two environments. The phenotypic values of traits including heading days, plant height, panicle length, spikelets per panicle, and seed setting rate were significantly higher in Huishui, which bothlatitude and altitude are higher than in Sanya. In contrast, the phenotypic values of panicles per plant and flag leaf width were higher in Sanya than in Huishui. Under the two different environments, thousand-grain weight, grain size and shape traits, and flag leaf width were relatively stable, those of heading days, plant height, panicle length, seed setting rate, and flag leaf length were moderately stable, while panicles per plant and spikelets per panicle showed poor stability. Analysis of the coefficient of variation (*CV*) distribution for 12 agronomic traits among the 218 experimental materials revealed that the vast majority of the materials exhibited high *CV* values for panicles per plant and spikelets per panicle, suggesting these traits highly susceptibility to different environments. In contrast, the vast majority of the materials showed low *CV* values for thousand-grain weight, grain length-width ratio, grain length, and grain width, indicating these traits were less susceptible to the influenced of different environments. For heading days, plant height, and seed setting rate, approximately half of the materials were environmentally sensitive, while the other half were insensitive. Panicle length and flag leaf length of mast materials were relatively sensitive to environmental change, whereas flag leaf width was relatively insensitive. The *CV* values of heading days in *Indica* landraces was lower than that in *Japonica* landraces, indicating that *indica* landraces had better stability in this trait. Among them, *Indica* landraces from the Middle and Lower Yangtze River Rice Region showed the highest stability. Compared with phenotypic comparisons of rice landraces between subspecies and across different rice growing regions showed that , *indica* landraces matured earlier,, had more panicles per plant, longer and more slender grains, longer flag leaves, higher seed setting rate, and higher thousand-grain weight. In contrast, *japonica* landraces had higher plant height, longer panicles, more grains per panicle, and wider grains. Landraces from the South China and Southwest China Rice Regions generally exhibited taller plant height, larger panicles, heavier grains, higher seed setting rate, longer grain length, and wider flag leaves, indicating higher yield potential. Cluster analysis showed that landraces from the South China and Southwest China Rice Regions had the closest genetic relationship, followed by that between the Middle and Lower Yangtze River and East China Rice Regions. Based on the stability of heading days, 20 broadly adapted elite landraces, including Huangsigu, Dalongnian, Beizinuo, and Shoutianjian, were identified. In addition, 20 accessions with superior yield-related traits, such as high grain number, large grain size, multiple panicles, or long grain shape, were selected. These elite landraces combine wide adaptability with outstanding yield-related traits and represent valuable parental resources for rice breeding.

Key words: different ecological environments; rice landraces; agronomic traits; stability; genetic relationship

我国是水稻起源和生产大国，多样的地理气候环境与悠久的稻作历史，孕育出极其丰富的水稻种质资源[1-4]。这些资源是支撑我国水稻科技创新可持续发展的战略基石[5-6]。根据国家作物种质库数据，截至 2024 年我国国家作物种质资源库保存水稻种质资源约 9.6 万份，其中 57.7%是地方品种，类型丰富多样。地方品种是挖掘大穗、多粒、大粒及环境适应性强等优异种质和基因资源的重要基础材料。因此，对地方品种资源进行主要农艺性状的系统鉴定评价是水稻遗传育种及种质资源研究

的重要内容之一，对了解我国不同稻区水稻地方品种的农艺性状特点与水稻育种具有重要的指导意义。

关于水稻农艺性状的鉴定评价，至今许多学者已开展了诸多研究工作。汤翠凤等[7]针对云南 1189 份水稻地方品种进行 17 个农艺性状的鉴定评价，在云南省不同县、州、稻作民族和稻作生态区分布的地方品种农艺性状差异较大，滇西和滇西南地区的县、州及稻作生态区是云南水稻地方品种性状多样性分布中心。陈峰等[8]对 102 份山东水稻地方品种研究发现，农艺性状与品质性状存在广泛的表型变异，在抽穗期、株高、穗长等 13 个农艺性状以及蛋白质含量、直链淀粉含量等 12 个品质性状上均表现出较高的多样性。周健等[9]在 6 个异地环境鉴定点对 284 份水稻选育品种鉴定评价显示，2000 年后育成品种出现了穗数减少、穗粒数增加、株高降低的转型趋势，表明育种方向从多穗型向大穗型转变；同时还发现抽穗天数、株高等性状稳定性与纬度显著相关，在沈阳至南昌的纬度梯度下，表型值呈现递减趋势，而在三亚冬季环境下则出现反弹现象。刘嘉俊等[10]研究指出，随着育种年代的推进，籼稻品种的生态适应性显著增强，主要农艺性状总体向大穗、多粒、长粒、高产和耐热方向得到遗传改良，且不同年代品种间的亲缘关系与育种年代存在关联。刘进等[11]从江西 321 份水稻地方品种中鉴定出 35 份红米和紫黑米资源及 12 份高千粒重和高结实率材料。Dev 等[12]在不同鉴定环境下，通过 AMMI 和 GGE 双标图对 30 份尼泊尔香稻地方品种分析发现，Samba Masuli Sub-1 和 Sugandhit Dhan-1 两份地方品种表现出优异的高产稳定性，且基因型效应对产量变异的贡献显著高于环境效应。Kumar 等[13]对 104 份水稻地方品种的研究表明，株高、有效穗数等农艺性状与产量存在显著遗传相关性，表型变异系数普遍高于基因型变异系数。姜秀英等[14]运用聚类分析方法，将辽宁 45 个选育品种聚类为 4 类，揭示该省多数品种亲缘关系近、同质化较为严重。陈越等[15]则采用主成分分析与隶属函数法对云南 876 份水稻地方品种资源和 5 份选育品种进行 D 值综合评价，筛选出凤仪白谷等适应性强的优异种质。然而，有关农艺性状的鉴定评价局限于单一省份种质资源的鉴定评价，缺乏跨越多个省份的系统性比较评价；另外，有关选育品种的研究报道较多，而有关地方品种主要农艺性状的系统评价报道较少。本研究以 218 份来源于中国浙江、江苏、贵州、云南、四川等 12 个省份的籼稻和粳稻地方品种为试验材料，在海南三亚和贵州惠水进行水稻主要农艺性状的表型精准鉴定评价，筛选出异地环境下农艺性状较优异和稳定性较好的种质，旨在为水稻遗传改良和种质资源的高效利用提供科技支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料共 218 份水稻地方品种，其中籼稻 116 份、粳稻 102 份。籼稻品种来源于我国 12 个省份，包括安徽 11 份、江苏 5 份、湖南 4 份、湖北 7 份、浙江 2 份、福建 10、江西 7 份、广东 14 份、

广西 6 份、贵州 24 份、云南 11 份和四川 15 份；粳稻品种来源于 11 个省份，包括安徽 2 份、江苏 11 份、湖南 5 份、湖北 7 份、浙江 11 份、福建 5 份、江西 10 份、广东 5 份、广西 12 份、贵州 29 份和云南 5 份。以上材料是基于核苷酸多样性和变异分析[16]，从 1439 份我国不同来源地方品种中筛选的核心群体。

依据试验材料的来源省份，按我国稻区归类划分，将 12 个省份归类为长江中下游、华东、华南和西南 4 个稻区。其中，长江中下游稻区包含安徽、江苏、湖南和湖北；华东稻区包含浙江、福建和江西；华南稻区包含广东、广西；西南稻区包含云南、贵州和四川。

1.2 表型鉴定方法

2020 年冬季在海南三亚（纬度：北纬 18°09′～18°37′，平均海拔：168 m）、2021 年在贵州惠水（纬度：北纬 25°41′～26°18′，平均海拔：1100 m）种植鉴定不同省份来源水稻地方品种 218 份。每份材料种植 3 行，每行栽植 20 穴，单本，2 次重复；行距和株距分别 26.7 cm 和 13.3 cm；试验地施用纯氮 150 kg/hm^2，水灌溉管理与病虫害综合防控遵循当地生产的标准管理方法。根据《水稻种质资源描述规范和数据标准》[17]在每小区中间行选择 10 个单株，进行主要农艺性状调查。在田间调查抽穗天数、株高、穗长、有效穗数、剑叶长和剑叶宽；室内考种调查穗粒数、结实率、千粒重、谷粒长、谷粒宽和谷粒长宽比。抽穗天数为供试材料从播种至抽穗所经历的天数，调查抽穗期后计算。

1.3 统计分析

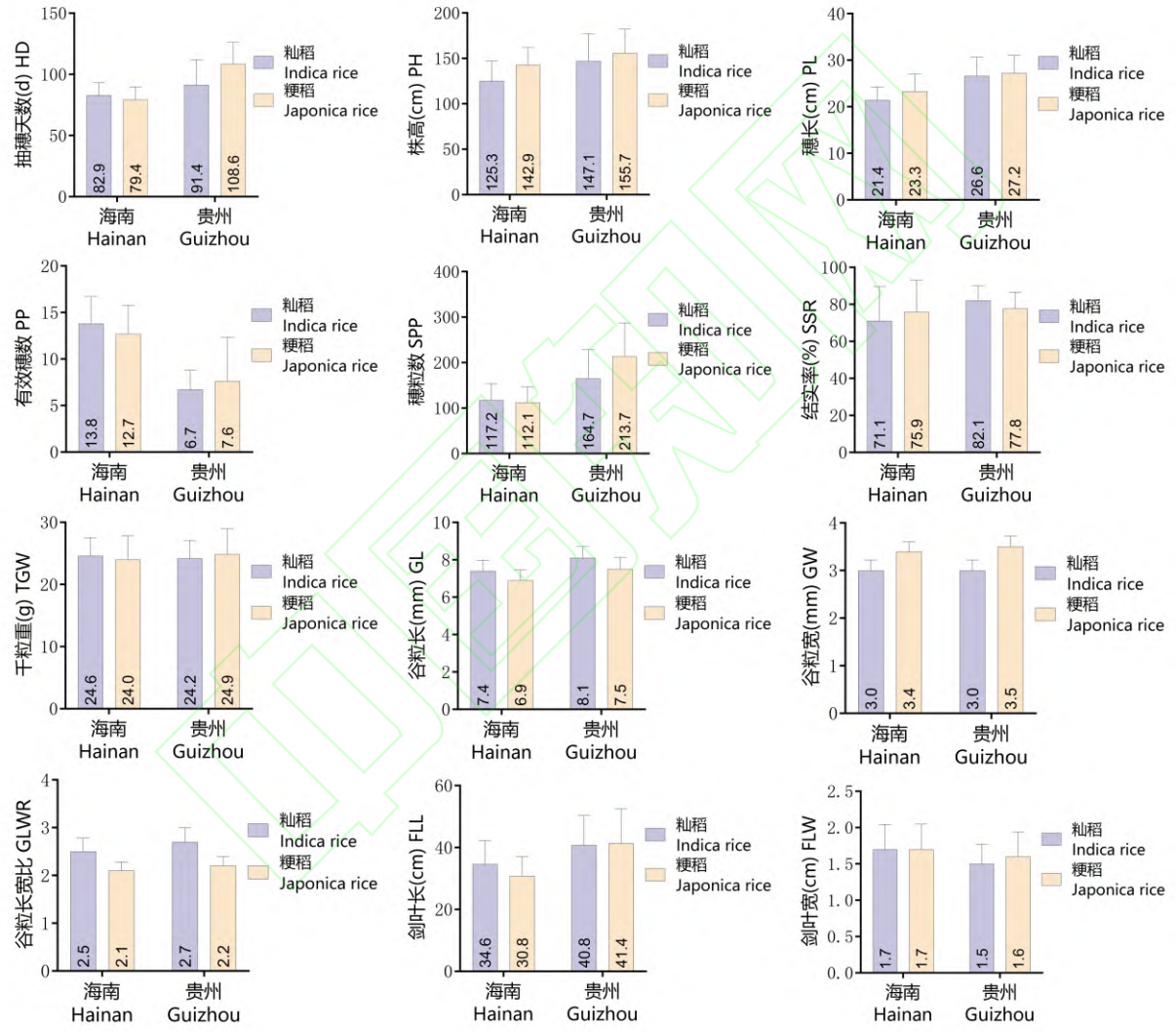
采用 Excel 2016 和 IBM SPSS v27 对各个主要农艺性状表型数据进行统计分析。利用 GraphPad Prism 软件绘制柱状图。使用 R 语言软件中的“GGEBiplot GUI”软件包绘制 GGE 双标图；采用 Origin 2024 软件绘制树状聚类图和小提琴图。

2 结果与分析

2.1 水稻地方品种主要农艺性状的表型鉴定评价

2.1.1 异地环境下主要农艺性状的表型差异 从图 1 可见，在海南三亚，籼稻和粳稻的抽穗天数分别为 82.9 d 和 79.4 d，而在贵州惠水籼稻和粳稻的抽穗天数分别为 91.4 d 和 108.6 d，贵州惠水的抽穗天数明显长于海南三亚。在海南三亚，籼稻和粳稻的株高分别为 125.3 cm 和 142.9 cm，而在贵州惠水籼稻和粳稻的株高分别为 147.1 cm 和 155.7 cm。在海南三亚，籼稻和粳稻的穗长分别为 21.4 cm 和 23.3 cm，而在贵州惠水籼稻和粳稻的穗长分别为 26.6 cm 和 27.2 cm。在海南三亚，籼稻和粳稻的有效穗数分别为 13.8 个和 12.7 个，而在贵州惠水籼稻和粳稻有效穗数分别为 6.7 个和 7.6 个。在海南三亚，籼稻和粳稻的穗粒数分别为 117.2 粒和 112.1 粒，而在贵州惠水籼稻和粳稻的穗粒数分别为 164.7 粒和 213.7 粒。在海南三亚，籼稻和粳稻的结实率分别为 71.1%和 75.9%，而在贵州惠水籼稻和粳稻的结实率分别为 82.1%和 77.8%。综上所述，在贵州惠水环境下水稻表现为较长的抽穗天数、

高的株高、大穗、多粒和少穗的表型，而在海南三亚环境下与此相反，这种差异可能与当地的气候环境条件有关。千粒重相对稳定，在两个鉴定点几乎未见差异。谷粒长、谷粒宽和谷粒长宽比在两个地点的亚种间存在较大差异，两个鉴定点籼稻的谷粒长和谷粒长宽比均明显长或大于粳稻，两个鉴定点籼稻的谷粒宽度均明显小于粳稻。在海南三亚，籼稻和粳稻的剑叶长分别为 34.6 cm 和 30.8 cm，而在贵州惠水籼稻和粳稻的剑叶长分别为 40.8 cm 和 41.4 cm。在海南三亚，籼稻和粳稻的剑叶宽均为 1.7 cm，而在贵州惠水籼稻和粳稻的剑叶宽为 1.5 cm 和 1.6 cm，贵州惠水环境下更利于剑叶的伸长，而剑叶宽相对稳定，受环境影响较小。



HD: Heading days; PH: Plant height; PL: Panicle length; PP: Panicles per plant; SPP: Spikelets per panicle; SSR: Seed setting rate; TGW: Thousand-grain weight; GL: Grain length; GW: Grain width; GLWR: Grain length-to-width ratio; FLL: Flag leaf length; FLW: Flag leaf width; The same as below

图 1 海南三亚和贵州惠水两个鉴定点水稻主要农艺性状表型平均值比较

Fig. 1 Comparison of mean phenotypic values of major agronomic traits in rice between two evaluation sites for Sanya of Hainan province and Huishui of Guizhou province

2.1.2 异地环境下水稻地方品种各农艺性状的稳定性分析 表 1 展示了水稻 12 个农艺性状在海南

三亚和贵州惠水两个鉴定点的均值和变异系数。千粒重（6.0%）、谷粒长（6.4%）、谷粒宽（2.7%）、谷粒长宽比（5.4%）以及剑叶宽（9.6%）的变异系数相对较小，说明这些性状在两个鉴定点的表现较为稳定，受环境因素干扰的程度较小。抽穗天数（16.8%）、株高（11.9%）、穗长（15.0%）、结实率（16.7%）和剑叶长（21.8%）的变异系数相对较大，说明这些性状相对容易受到环境的影响，而有效穗数（48.7%）和穗粒数（36.8%）的变异系数很大，说明这两个性状容易受到环境的影响。

表 1 水稻 12 个农艺性状在海南三亚和贵州惠水两个鉴定点的均值和变异系数

Table 1 Mean values and coefficient of variation for 12 agronomic traits in rice at two evaluation sites for Sanya of Hainan province and Huishui of Guizhou province

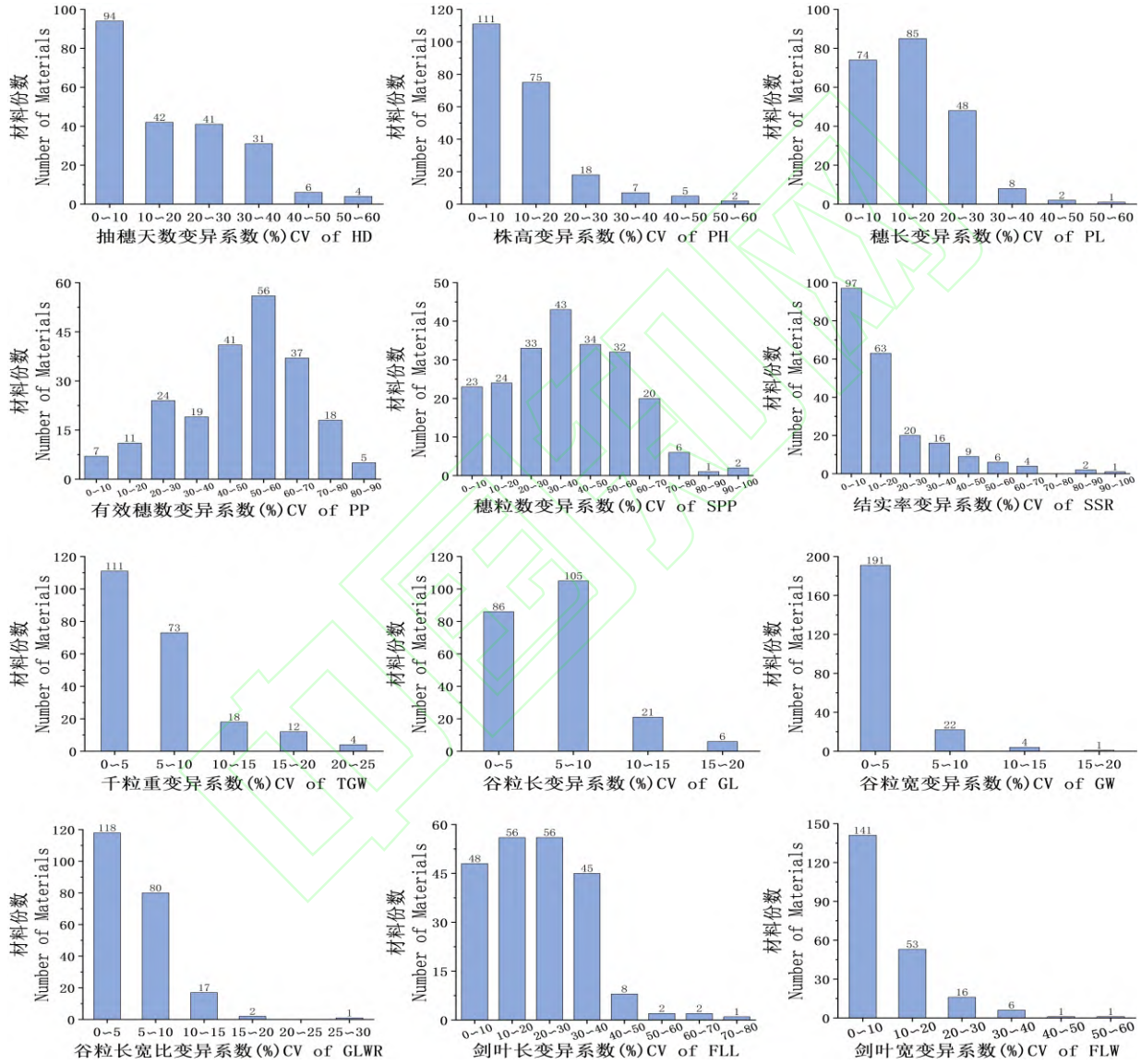
性状 Traits	平均值±标准差 Mean±*SD*	变异系数(%) *CV*	变异范围 Variation range
抽穗天数(d)HD	90.3±11.97	16.8	0.7～57.3
株高(cm)PH	142.3±22.07	11.9	0.05～53.2
穗长(cm)PL	24.6±3.19	15.0	0.3～54.1
有效穗数 PP	10.2±2.54	48.7	1.2～83.4
穗粒数 SPP	151.3±46.42	36.8	0.3～95.8
结实率(%)SSR	76.8±9.71	16.7	0.02～92.7
千粒重(g)TGW	24.4±3.18	6.0	0.05～23.6
谷粒长(mm)GL	7.47±0.61	6.4	0.3～18.4
谷粒宽(mm)GW	3.2±0.29	2.7	0.04～15.6
谷粒长宽比 GLWR	2.4±0.33	5.4	0.03～26.4
剑叶长(cm)FLL	36.9±6.91	21.8	0.6～78.0
剑叶宽(cm)FLW	1.6±0.29	9.6	0.4～51.2

图 2 展示了 218 份供试材料抽穗天数、株高、穗长、有效穗数、穗粒数、结实率、千粒重等 12 个性状变异系数的分布图。从分布图可见，有效穗数和穗粒数变异系数变异范围较大，呈正态分布。218 份材料中，有效穗数变异系数小于 10%的只有长毛谷、红荣糯、江西糯、洋口白、卡鸡糯等 7 份（3.2%）材料，其余 211 份（96.8%）材料的变异系数均大于 10%；穗粒数变异系数小于 10%的材料只有钟祥本地糯、香糯、大白谷(1)、三颗寸糯谷、南雄夏至白等 23 份（10.6%），其余 195 份（89.4%）材料的变异系数均大于 10%。说明绝大多数材料的有效穗数和穗粒数易受异地环境的影响。抽穗天数、株高和结实率变异系数小于 10%的材料分别为 94 份（43.1%）、111 份（50.9%）和 97 份（44.5%），变异系数大于 10%的材料分别为 124 份（56.9%）、107 份（49.1%）和 121 份（55.5%），说明这 3 个性状对环境条件相对敏感和迟钝的材料约占 50%左右。

千粒重、谷粒长宽比、谷粒长及谷粒宽的变异系数分布相对集中，表现为较好的稳定性。千粒重变异系数小于 10%的材料为 184 份（84.4%），大于 10%的只有 34 份（15.6%）；谷粒长宽比变异系数小于 10%的材料为 198 份（90.8%），大于 10%的只有 20 份（9.2%）；谷粒长变异系数小于 10%的材料为 191 份（87.6%），大于 10%的只有 27 份（12.4%）；谷粒宽变异系数小于 10%的材料为

213 份（97.7%），大于 10%的仅有 5 份（2.3%）。说明异地环境下，绝大多数材料的千粒重、谷粒长宽比、谷粒长和谷粒宽的表现较稳定。

对于穗长、剑叶长和剑叶宽，穗长和剑叶长变异系数小于 10%的材料分别有 74 份（33.9%）和 48 份（22.0%），大于 10%的材料分别有 144 份（66.1%）和 170 份（78.0%），说明大部分材料的穗长和剑叶长对异地环境反应较敏感。剑叶宽变异系数小于 10%的材料为 141 份（64.7%），大于 10%的材料有 77 份（35.3%），说明大多数材料的剑叶宽表现较为稳定。



横坐标的每个区间范围包含右侧数字，不包含左侧数字

Each interval range on the horizontal coordinate includes the numbers on the right but not on the left.

图 2 水稻地方品种在不同农艺性状变异系数区间的品种数分布图

Fig. 2 Distribution of the number of local rice varieties in different coefficient of variation ranges of agronomic traits

水稻抽穗期是重要的农艺性状，影响着水稻的区域和季节适应性。对不同省份水稻地方品种抽

穗天数变异系数的分析结果显示(表 2),各省份籼稻的抽穗天数变异系数的变异范围为 4.3%～21.5%,而粳稻抽穗天数变异系数的变异范围为 12.1%～30.2%，籼稻抽穗天数的变异系数明显低于粳稻，表明籼稻的稳定性整体优于粳稻；即籼稻抽穗期对异地环境的反应相对迟钝，而粳稻相对敏感。

按稻区分析籼稻抽穗天数的变异系数可见（表 2），长江中下游稻区（包括安徽、江苏、湖北、湖南）籼稻抽穗天数变异系数变异范围为 4.3%～6.7%、西南稻区（贵州、云南、四川）籼稻抽穗天数变异系数变异范围为 8.4%～11.5%、华东稻区(浙江、福建、江西)籼稻抽穗天数变异范围为 16.4%～21.2%、华南稻区（广东、广西）抽穗天数变异系数变异范围为 18.4%～21.5%。籼稻抽穗期的稳定性呈现出长江中下游稻区 > 西南稻区 > 华东稻区 > 华南稻区的特征。

粳稻抽穗期的稳定性变异较大，变异系数范围为 12.1%～30.2%。其中，云南、安徽和江苏的变异系数较低,变异范围为 12.1%～19.6%,说明这 3 个省份的粳稻抽穗期对异地环境适应性相对较强；而其余省份粳稻抽穗天数的变异系数变异在 20.1%～30.2%，说明这些省份的粳稻抽穗期对异地环境适应性较弱。

表 2 不同省份水稻地方品种抽穗天数的变异系数比较

Table 2 Comparison of coefficient of variation for heading days of rice landraces from different provinces （%）

变异系数 *CV*	长江中下游稻区 MLYR				华东稻区 ECRR			华南稻区 SCRR		西南稻区 SWRR		
	安徽 AH	江苏 JS	湖北 HB	湖南 HN	浙江 ZJ	福建 FJ	江西 JX	广东 GD	广西 GX	贵州 GZ	云南 YN	四川 SC
籼稻变异系数 *CV* of *Indica*	6.7	6.7	4.3	6.1	16.4	21.2	18.4	21.5	18.4	8.4	11.5	10.2
粳稻变异系数 *CV* of *Japonica*	14.3	19.6	20.6	23.8	23.7	24.0	23.8	30.2	20.1	23.0	12.1	-

MLYR: Middle and Lower Yangtze River Rice Region; ECRR: East China Rice Region; SCRR: South China Rice Region; SWRR: Southwest China Rice Region; AH: Anhui; JS: Jiangsu; HB: Hubei; HN: Hunan; ZJ: Zhejiang; FJ: Fujian; JX: Jiangxi; GD: Guangdong; GX: Guangxi; GZ: Guizhou; YN: Yunnan; SC: Sichuan; The same as below

GGE 双标图不仅有助于了解品种的丰产性，还能直观地展示品种的稳定性[18]。平均环境轴由一条带箭头的直线表示，该直线从双标图的原点延伸至平均环境。品种在平均环境轴上的正交投影距离代表品种与各环境相互作用的倾向性，这一距离是衡量品种稳定性的重要参数，投影距离越短，表明品种的稳定性越强[19-20]。图 3 是 218 份水稻地方品种的 12 个农艺性状稳定性的 GGE 双标图分析结果。品种与平均环境轴的垂直距离越大，说明其在海南三亚和贵州惠水两个鉴定点的相关性状表型值差异较大，相对不太稳定；相反，若与平均环境轴的垂直距离较小，则表明该品种在海南三亚和贵州惠水两个鉴定点的相关性状表型值差异较小，相对稳定。因此，根据抽穗天数的变异系数和 GGE 双标图分析结果挑选了黄丝谷、大龙粘、背子糯和瘦田尖等在两个鉴定点稳定性较好的 20

份品种，详见表 3。这些来自 10 个不同省份的地方品种，在异地环境下（海南三亚、贵州惠水）抽穗天数表现出较小的变异系数（即品种与平均环境轴的垂直距离较短），表明这些材料的生育期在不同环境下相对稳定，具有较强的生态适应性。

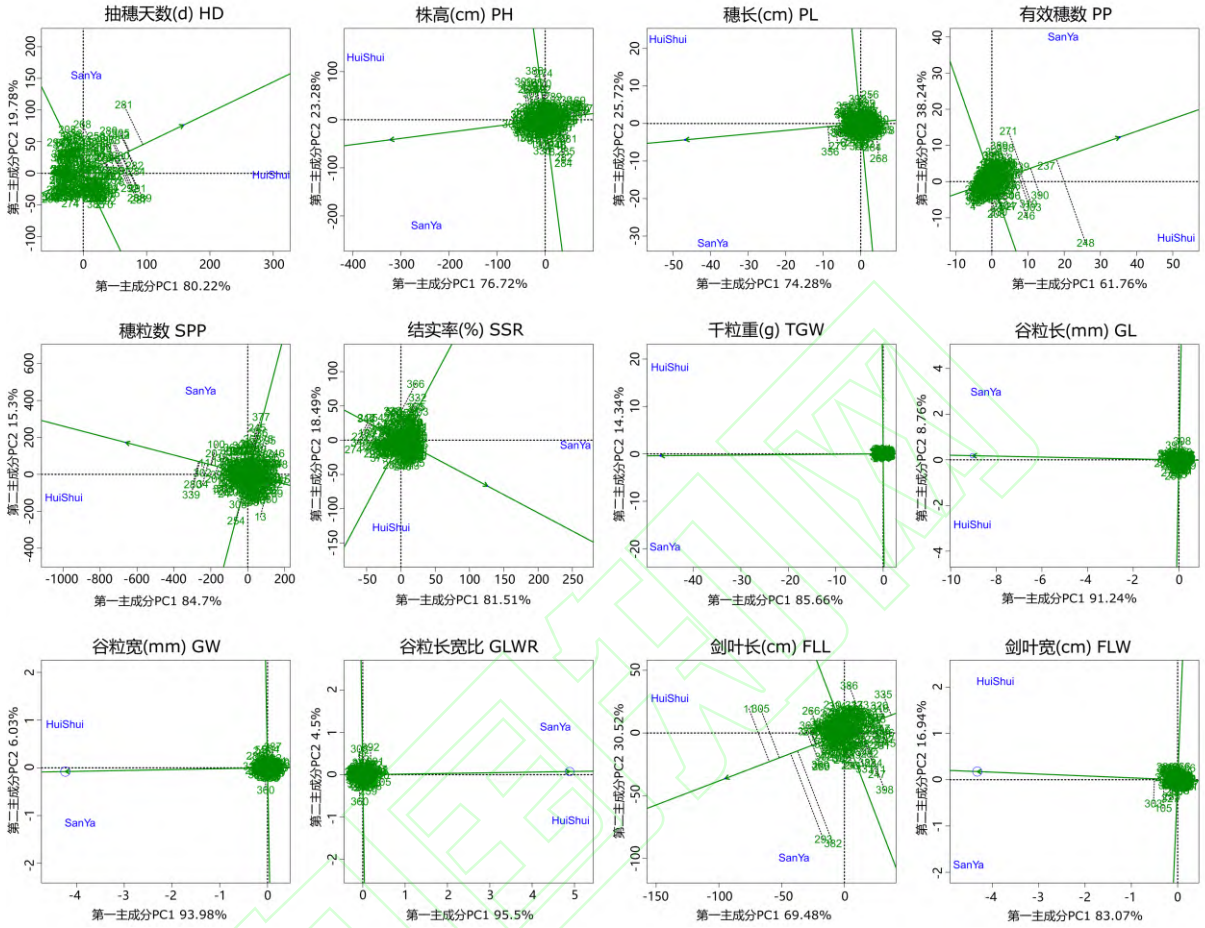


图 3 海南三亚和贵州惠水 2 个鉴定环境下 12 个农艺性状稳定性的 GGE 双标图分布特征

Fig. 3 Distribution characteristics of GGE bimodal maps of stability of 12 agronomic traits under two different environments for Sanya of Hainan province and Huishui of Guizhou province

表 3 海南三亚和贵州惠水 2 个鉴定点水稻地方品种抽穗天数的变异系数

Table 3 Coefficient of variation of heading days in rice landraces under two different environments for Sanya of Hainan province and Huishui of Guizhou province

序号 No.	种质名称 NG	统一编号 AN	亚种 SP	来源省份 PO	抽穗天数变异系数(%) CH	序号 No.	种质名称 NG	统一编号 AN	亚种 SP	来源省份 PO	抽穗天数变异系数(%) CH
1	黄丝谷	21-04080	籼稻	云南	0.74	11	棉条粘	22-03167	籼稻	贵州	1.79
2	大龙粘	22-04163	籼稻	贵州	0.81	12	中阳白	11-00595	籼稻	安徽	1.79
3	背子糯	17-00710	籼稻	湖北	0.86	13	尖鼻仔	15-00746	籼稻	广东	1.94
4	瘦田尖	13-01716	籼稻	福建	0.87	14	秋秧早	15-02695	籼稻	广东	1.99
5	小禾早	22-02051	籼稻	贵州	0.89	15	小红嘴	11-00497	籼稻	安徽	2.11
6	六十日	10-01603	籼稻	浙江	1.03	16	花腰仔	15-01203	籼稻	广东	2.14
7	野禾子	12-01095	籼稻	江西	1.41	17	竹桠糯	20-03075	籼稻	四川	2.27
8	黄壳糯	09-01212	粳稻	江苏	1.50	18	马尾粘	22-01615	籼稻	贵州	2.60

9	红米花螺	13-01414	籼稻	福建	1.55	19	巴京白沙糯	17-00070	籼稻	湖北	2.67
10	红壳糯	12-01213	粳稻	江西	1.77	20	旱饭谷	22-03534	粳稻	贵州	2.74

NG: Name of germplasm; AN: Accession number; SP: Sub-species; PO: Provincial origin; CH: *CV* of HD; The same as below

2.2 异地环境下不同稻区间水稻地方品种的主要农艺性状表型比较

利用海南三亚和贵州惠水两个试验环境下水稻各性状的表型平均值，对不同稻区间水稻地方品种的 12 个农艺性状表型变异及其平均值进行了对比，结果示于图 4 和表 4。

不同稻区的籼稻和粳稻地方品种在主要性状上分化显著。粳稻的抽穗天数多于籼稻，其中华南稻区差异最大，粳稻为 107.4 d，籼稻为 90.5 d。粳稻株高普遍高于籼稻，如长江中下游稻区粳稻株高（132.4 cm）高于籼稻（125.8 cm），华东稻区粳稻株高（145.5 cm）高于籼稻（139.3 cm）。粳稻穗长亦大于籼稻，如华东稻区粳稻穗长（25.1 cm）长于籼稻（23.3 cm），华南稻区粳稻穗长（27.2 cm）长于籼稻（22.8 cm）。有效穗数方面，长江中下游稻区粳稻有效穗数（12.4 个）多于籼稻（10.7 个），而其余 3 个稻区粳稻少于籼稻，如西南稻区粳稻有效穗数（8.3 个）少于籼稻（9.2 个），华南稻区粳稻有效穗数（9.3 个）少于籼稻（11.5 个）。粳稻穗粒数多于籼稻，如华南稻区粳稻穗粒数（195.8 粒）多于籼稻（118.1 粒），西南稻区粳稻穗粒数（185.4 粒）多于籼稻（160.8 粒）。结实率在华东稻区和华南稻区粳稻高于籼稻（分别为 77.4% > 74.4%、84.7% > 78.3%），而长江中下游稻区和西南稻区粳稻结实率低于籼稻（分别为 72.0% < 74.8%、76.0% < 77.8%）。千粒重方面，华南稻区粳稻千粒重（28.7 g）高于籼稻（22.4 g），其余 3 个稻区粳稻千粒重（22.7～24.8 g）低于籼稻(24.4～25.0 g)。综上所述，4 个稻区的粳稻较籼稻呈现出更长的生育期、较高的株高、大穗、多粒的表型特征，说明在异地环境下粳稻在株高、穗长和穗粒数表现为优势，但其有效穗数、结实率和千粒重则稍逊于籼稻。

籼稻较粳稻表现为较细长的谷粒形态特征，如长江中下游稻区籼稻谷粒长（7.8 mm）长于粳稻（7.0 mm），华东稻区籼稻谷粒长（7.6 mm）长于粳稻（7.1 mm）；籼稻谷粒长宽比稳定在 2.6，粳稻稳定在 2.1。粳稻谷粒宽大于籼稻，如长江中下游稻区粳稻谷粒宽（3.4 mm）宽于籼稻（3.0 mm），华南稻区粳稻谷粒宽（3.7 mm）宽于籼稻（2.9 mm）。剑叶长多数情况下籼稻长于粳稻，如长江中下游稻区籼稻剑叶长（35.7 cm）长于粳稻（29.4 cm），华东稻区籼稻剑叶长（38.3 cm）长于粳稻（36.1 cm），但华南稻区籼稻剑叶长（35.1 cm）短于粳稻（39.4 cm）。剑叶宽在长江中下游稻区中籼稻剑叶宽（1.6 cm）宽于粳稻（1.4 cm），而华南稻区籼稻剑叶宽（1.4 cm）窄于粳稻（1.9 cm）；华东稻区和西南稻区的籼、粳稻剑叶宽相等，分别为 1.4 cm 和 1.8 cm。

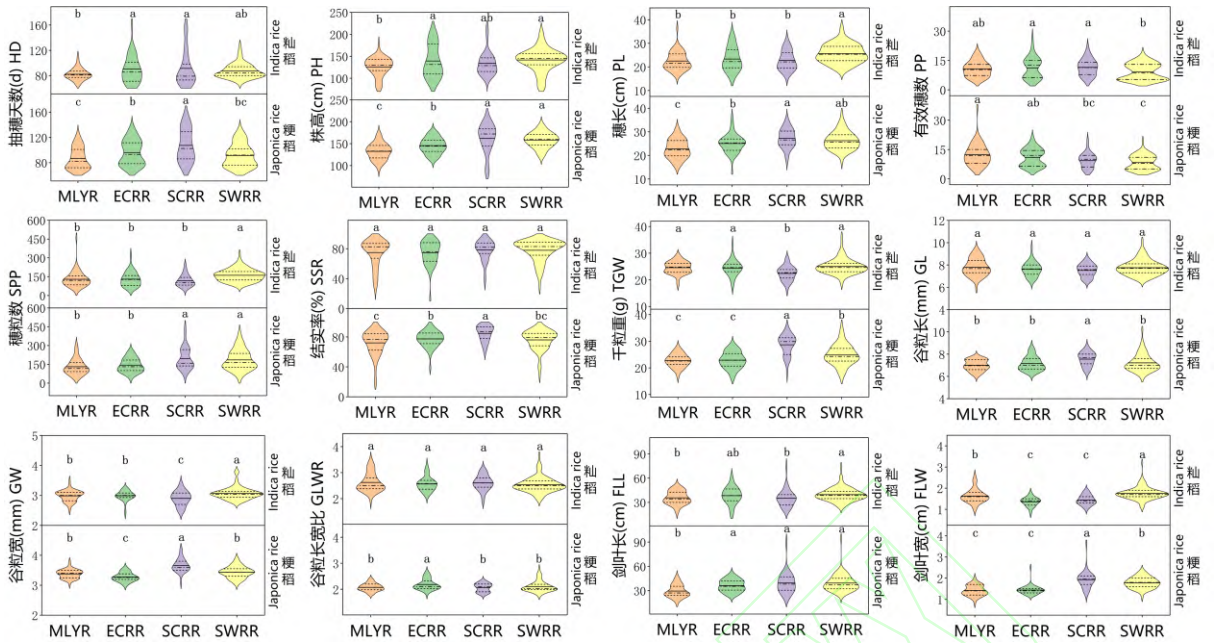
结合图 4 和表 4 结果进一步分析各稻区间的比较显示，华东稻区和华南稻区籼稻抽穗天数（分别为 90.4 d 和 91.5 d）显著长于长江中下游稻区（82.1 d）；华南稻区粳稻抽穗天数（107.4 d）显著

长于其余 3 个稻区（86.7 d～95.9 d），且华东稻区粳稻抽穗天数（95.9 d）也明显长于长江中下游稻区（86.7 d），说明华东稻区和华南稻区的籼、粳稻地方品种具有更长的生育期。株高方面，华东稻区和西南稻区籼稻株高（分别为 139.3 cm 和 141.6 cm）显著高于长江中下游稻区（125.8 cm）；华南稻区和西南稻区粳稻株高（分别为 162.0 cm 和 158.3 cm）显著高于长江中下游稻区和华东稻区（132.4 cm、145.5 cm），且华东稻区株高（145.5 cm）也显著高于长江中下游稻区（132.4 cm），表明华东稻区、华南稻区和西南稻区的籼、粳稻地方品种在株高性状上具有明显优势。穗长方面，西南稻区籼稻穗长（25.6 cm）显著长于其余 3 个稻区（22.5 cm～23.3 cm）；华南稻区、华东稻区和西南稻区粳稻穗长（分别为 27.2 cm、25.1 cm 和 26.2 cm）均显著长于长江中下游稻区（22.8 cm），这表明西南稻区的籼稻与华南稻区粳稻地方品种在穗长性状表现上突出。

有效穗数是水稻产量构成关键指标。华东稻区和华南稻区籼稻有效穗数（分别为 11.2 个和 11.5 个）显著多于西南稻区（9.2 个）；长江中下游稻区和华东稻区粳稻有效穗数（分别为 12.4 个和 11 个）均显著多于西南稻区（8.3 个），其中长江中下游稻区粳稻有效穗数（12.4 个）还显著多于华南稻区（9.3 个）。这表明西南稻区的籼、粳稻地方品种在有效穗数上处于劣势，而其他 3 个稻区则具有明显优势。

穗粒数是影响水稻产量的直接因素之一。西南稻区籼稻穗粒数（160.8 粒）显著多于其他 3 个稻区（118.1 粒～129.8 粒）；华南稻区和西南稻区粳稻穗粒数（分别为 195.8 粒和 185.4 粒）均显著多于长江中下游稻区和华东稻区（130.4 粒和 143.1 粒），表明西南稻区的籼、粳稻及华南稻区的粳稻地方品种在穗粒数上表现优势。结实率能够反映水稻的繁殖能力和产量潜力。4 个稻区籼稻的结实率变异范围为 74.4%～78.3%，均无显著差异；华南稻区粳稻结实率（84.7%）显著高于其余 3 个稻区（72.0%～77.4%），表明华南稻区的粳稻地方品种结实率优势突出。

千粒重是衡量稻谷大小和饱满度的关键指标。华南稻区籼稻千粒重（22.4 g）显著低于其他 3 个稻区（24.4 g～25.0 g），而该稻区粳稻千粒重（28.7 g）显著高于其他稻区（22.7 g～24.8 g）；西南稻区粳稻千粒重（24.8 g）显著高于长江中下游稻区和华东稻区（22.7 g、22.9 g），表明华南稻区和西南稻区的粳稻地方品种在千粒重性状上表现优势。谷粒形态方面，各稻区籼稻的谷粒长介于 7.5 mm～7.8 mm、谷粒长宽比介于 2.5～2.6 之间，均无显著差异；华南稻区粳稻谷粒长（7.5 mm）显著长于其余 3 个稻区（7.0 mm～7.2 mm），华东稻区谷粒长宽比（2.2）显著大于其他稻区（2.1）。华南稻区籼稻谷粒宽（2.9 mm）显著小于其他 3 个稻区（3.0 mm～3.1 mm），其粳稻谷粒宽（3.7 mm）显著大于其他稻区（3.3 mm～3.4 mm）。



不同的字母表示表示在 $P \leq 0.05$ 水平上差异显著

Different letters indicate that the difference is significant at the level of $P \leq 0.05$.

图 4 中国不同稻区水稻地方品种（籼稻和粳稻）主要农艺性状表型比较

Fig. 4 Comparison of main agronomic traits of rice landraces (*Indica* rice and *Japonica* rice) in different rice areas of China

剑叶形态影响水稻的光合产量。西南稻区籼稻剑叶长（39.6 cm）显著长于长江中下游稻区和华南稻区（35.7 cm、35.1 cm）；长江中下游稻区粳稻剑叶长（29.4 cm）显著短于其他稻区（36.1 cm～39.4 cm）。西南稻区籼稻剑叶宽（1.8 cm）显著宽于其他 3 个稻区（1.4 cm～1.6 cm），其中长江中下游稻区籼稻剑叶宽（1.6 cm）也显著宽于华东稻区和华南稻区（1.4 cm）；华南稻区粳稻剑叶宽（1.9 cm）显著宽于其他 3 个稻区（1.4 cm～1.8 cm），同时西南稻区粳稻的剑叶宽（1.8 cm）显著宽于长江中下游稻区和华东稻区（1.4 cm）。这表明西南稻区的籼稻和华南稻区的粳稻地方品种在剑叶长和剑叶宽上具有显著的优势。

综上所述，不同稻区水稻地方品种在主要农艺性状表型上存在显著分化。籼稻普遍比粳稻早熟、有效穗数较多、灌浆结实较好、千粒重较高、稻谷更细长（长宽比更高）、剑叶伸展更长；粳稻则株高较高、穗较长、穗粒数较多、稻谷较宽，华南稻区表现尤突出。华南稻区和西南稻区的水稻普遍植株较高、穗较长、穗粒数较多、稻谷较重、结实率较高、剑叶较长和较宽的特点，显示出更高的产量潜力，其中华南稻区的粳稻表现突出；而长江中下游稻区和华东稻区的水稻相对早熟、有效穗数稍多，但穗长、穗粒数、结实率和粒重相对较低，剑叶偏短和偏窄。这些规律的阐明对于了解各稻区水稻地方品种主要农艺性状特点、选择各稻区亲本材料及指导区域化水稻育种具有重要意义。

表 4 中国不同稻区水稻地方品种（籼稻、粳稻）的主要农艺性状表型平均值

Table 4. Mean phenotypic values of main agronomic traits of rice landraces (*Indica* rice and *Japonica* rice) in different rice areas of China

性状 Traits	长江中下游稻区 MLYR		华东稻区 ECRR		华南稻区 SCRR		西南稻区 SWRR	
	籼稻 *Indica* rice	粳稻 *Japonica* rice	籼稻 *Indica* rice	粳稻 *Japonica* rice	籼稻 *Indica* rice	粳稻 *Japonica* rice	籼稻 *Indica* rice	粳稻 *Japonica* rice
抽穗天数 (d) HD	82.1±9.24	86.7±17.01	90.4±21.53	95.9±19.49	91.5±27.61	107.4±25.7	87.2±11.71	91.4±18.12
株高 (cm) PH	125.8±21.76	132.4±18.72	139.3±36.9	145.5±17.58	134.0±27.19	162.0±33.72	141.6±26.86	158.3±17.57
穗长 (cm) PL	22.5±3.84	22.8±4.05	23.3±5.09	25.1±3.98	22.8±4.08	27.2±4.06	25.6±4.04	26.2±3.95
有效穗数 PP	10.7±4.01	12.4±5.76	11.2±5.41	11.0±4.47	11.5±4.31	9.3±3.81	9.2±4.15	8.3±3.69
穗粒数 SPP	129.1±65.02	130.4±63.26	129.8±58.16	143.1±55.53	118.1±46.87	195.8±86.75	160.8±50.31	185.4±81.85
结实率 (%) SSR	74.8±17.87	72.0±16.59	74.4±16.37	77.4±10.54	78.3±13.24	84.7±10.51	77.8±14.25	76.0±13.41
千粒重 (g) TGW	24.6±2.34	22.7±2.5	24.4±3.03	22.9±3.12	22.4±2.74	28.7±3.85	25.0±2.88	24.8±3.92
谷粒长 (mm) GL	7.8±0.78	7.0±0.49	7.6±0.65	7.1±0.63	7.5±0.57	7.5±0.62	7.8±0.69	7.2±0.78
谷粒宽 (mm) GW	3.0±0.18	3.4±0.15	3.0±0.18	3.3±0.15	2.9±0.25	3.7±0.22	3.1±0.21	3.4±0.2
谷粒长宽比 GLWR	2.6±0.36	2.1±0.15	2.6±0.27	2.2±0.21	2.6±0.29	2.1±0.16	2.5±0.3	2.1±0.21
剑叶长 (cm) FLL	35.7±8.16	29.4±7.87	38.3±10.7	36.1±7.44	35.1±10.6	39.4±12.97	39.6±8.22	39.3±10.53
剑叶宽 (cm) FLW	1.6±0.33	1.4±0.25	1.4±0.21	1.4±0.2	1.4±0.23	1.9±0.42	1.8±0.29	1.8±0.27

以“多粒、大粒、多穗、长粒”为目标性状，根据鉴定的穗粒数、千粒重、有效穗数和谷粒长宽比，从 218 份水稻种质资源中分别筛选出多粒、大粒、多穗、长粒材料各 5 份，共计 20 份优异水稻种质详列于下表 5。这些材料是在水稻育种中可利用的优异种质资源。

表 5 筛选出的多粒、大粒、多穗、长粒水稻地方品种优异种质

Table 5 Selected excellent rice landrace germplasm with multiple grains, large grains , multi panicles and long grains

性状 Traits	种质名称 NG	统一编号 AN	亚种 SP	来源省份 PO	性状值 PTV	性状 Traits	种质名称 NG	统一编号 AN	亚种 SP	来源省份 PO	性状值 PTV
穗粒数 SPP	罗汉谷	20-03246	籼稻	四川	213.1	千粒重(g) TGW	旱谷(7)	22-00854	籼稻	贵州	36.7
	折糯	22-01739	粳稻	贵州	208.9		红谷	21-01412	籼稻	云南	34.5
	状元红糯	09-00912	籼稻	江苏	196.1		旱谷(5)	22-00790	粳稻	贵州	32.1
	大龙粘	22-04163	籼稻	贵州	192.8		黄毛禾	22-01847	粳稻	贵州	32.7
	鸡血糯	22-01931	粳稻	贵州	185.8		黄牛糯	16-07297	粳稻	广西	31.6
有效穗数 PP	白米早	12-00030	籼稻	江西	25.6	谷粒长宽比 GLWR	三颗寸	22-03999	籼稻	贵州	3.2
	江西糯	09-00421	粳稻	江苏	22.2		鹅连白糯	17-00356	籼稻	湖北	3.2
	揭阳三夜齐	15-01964	籼稻	广东	21.7		傍秋糯	11-00348	籼稻	安徽	3.2
	大乌赤	13-01469	籼稻	福建	21.6		矮糯	22-01039	籼稻	贵州	3.2
	钟祥本地糯	17-00621	籼稻	湖北	19.8		背子糯	17-00710	籼稻	湖北	3.2

PTV: Phenotypic trait values

2.3 不同稻区水稻地方品种的聚类分析

2.3.1 218 份水稻地方品种的聚类分析 基于 12 个农艺性状表型数据，利用 Origin 2024 软件和 ward 法对 218 份水稻地方品种进行了系统聚类分析（图 5），结果表明以欧氏距离 35 为阈值，可将试验材料分为 4 大类群。从上往下第 1 类群共有 31 份品种，占 14.22%，包括华南 15 份、西南 16

份；第 2 类群共有 67 份品种，占 30.73%，包括长江中下游 24 份、华东 20 份、华南 2 份、西南 21 份；第 3 类群共有 80 份品种，占 36.70%，包括长江中下游 21 份、华东 15 份、华南 12 份、西南 32 份；第 4 类群共有 40 份品种，占 18.75%，包括长江中下游 8 份、华东 10 份、华南 7 份、西南 15 份。由此可见，水稻地方品种并未严格按照所在的稻区完全聚为一类，而是分散于四个类群中。类群 1 包含华南稻区近半数的品种（41.7%），具有明显的地域特异性。长江中下游稻区（45.3%）与华东稻区（44.4%）近半数的地方种质归类于类群 2，成为核心组成，说明二者遗传背景趋同。类群 3 是规模最大的类群，包含了来自 4 个稻区的较多地方品种，表明其遗传背景相对广泛。类群 4 包含了各稻区比较少的品种数量，是相对分散的遗传群体。西南稻区地方品种广泛分布于所有类群，反映其遗传多样性最为丰富。

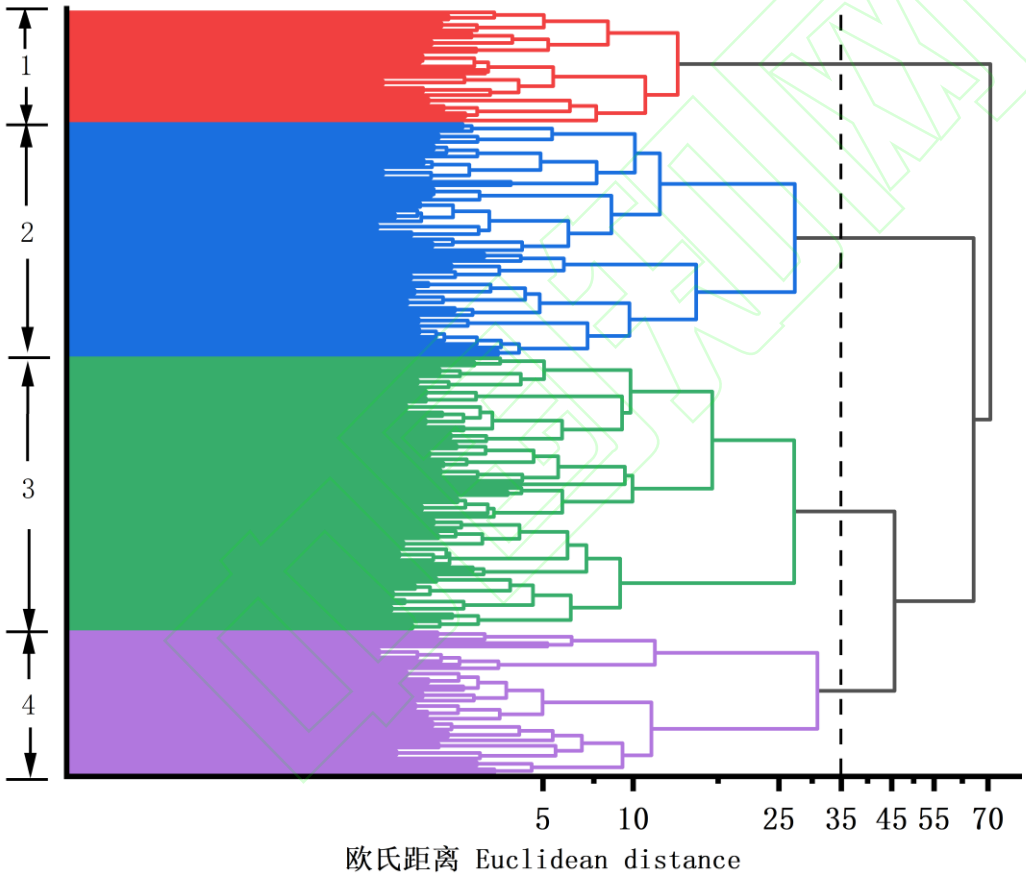


图 5　218 份水稻地方品种聚类分析图

Fig. 5 Cluster analysis of 218 rice landraces

2.3.2　**不同稻区水稻地方品种群体间的聚类分析**　以 12 个农艺性状的表型平均值作为基础数据，根据类平均法对不同稻区水稻地方品种群体进行了系统聚类分析（图 6），结果显示以欧式距离 3 为阈值，可将 4 个稻区的地方品种分为两大类群。类群 I 包含长江中下游稻区与华东稻区，具有纬度相对较高、季风气候特征相似和耕作制度趋同的特点。类群 II 包含华南稻区及西南稻区，具有水热

条件更为充沛、年均温度高、无霜期长的典型热带-亚热带气候特征，且地形多样性显著、种植制度多元化。以上说明不同稻区水稻地方品种的地理分布、生态环境和栽培制度对品种的亲缘关系有着密切的关系。

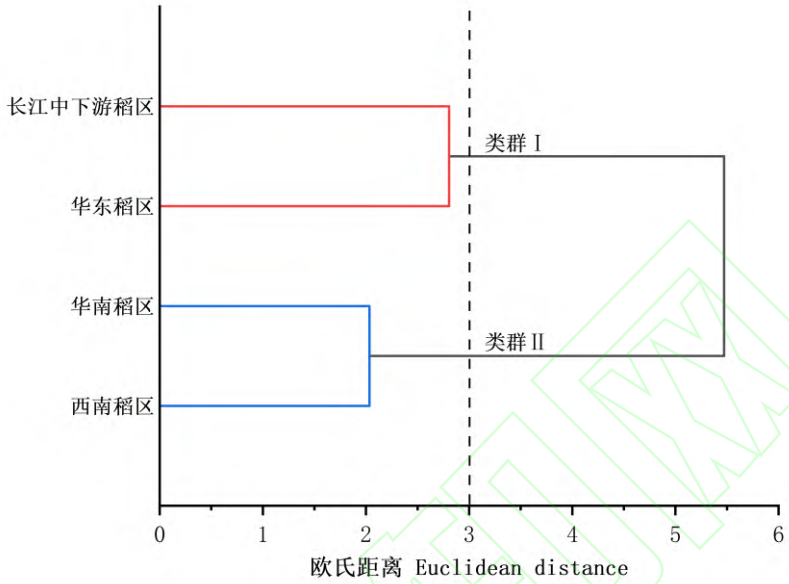


图 6 不同稻区地方品种的聚类分析

Fig. 6 Cluster analysis of landraces in different rice areas

3 讨论

3.1 异地环境对水稻地方品种主要农艺性状的影响

一些学者研究表明，温度、湿度、光照强度、海拔、盐碱条件等多个环境因素直接影响水稻的农艺性状[21-23]。Shuichi 等[24]研究表明，水稻地方品种群体在农民田间和标准试验田不同环境之间农艺性状特征差异明显。Rosenilda 等[25]研究表明，两个不同环境下旱稻地方品种在产量、株高、有效穗数等农艺性状上存在显著差异。何霞红等[26]研究表明，水稻地方品种经长期自然选择形成稳定的环境适应性，株高、穗长、有效穗数在不同海拔间差异不显著，而现代品种的农艺性状波动显著，易受环境的影响。杨从党等[27]研究表明，生态环境差异能够通过调节穗部结构（穗粒数、有效穗数）主导水稻产量的变化。本研究水稻地方品种在海南三亚和贵州惠水两种环境下主要农艺性状表现出较大差异，这可能是不同省份来源水稻品种对光照强度、积温、纬度、海拔和气温等适应性不同所致。本研究表明，纬度较高、海拔较高、光照周期较短和气温较低的贵州惠水鉴定点环境下水稻地方品种的抽穗天数、株高、穗长、穗粒数、结实率、谷粒长、谷粒宽、谷粒长宽比和剑叶长性状表型值高于纬度低、海拔低、光照周期较长和气温较高的海南三亚鉴定点，而有效穗数在海南三亚的表

型值高于贵州惠水，说明上述性状受气温、光照周期、纬度和海拔的影响较大。千粒重和剑叶宽性状表型值在海南三亚和贵州惠水两地差异较小，说明这些性状不易受异地环境的影响。粳稻在海南三亚鉴定点的抽穗天数和剑叶长短于籼稻，且有效穗数较少，但在贵州惠水鉴定点粳稻的抽穗天数明显增加，剑叶长稍变长，且有效穗数较多；粳稻在海南三亚鉴定点的结实率高于籼稻，而在贵州惠水鉴定点的结实率低于籼稻；粳稻的株高、穗长、穗粒数和谷粒宽的表型值高于籼稻，其谷粒长和谷粒长宽比小于籼稻；籼稻和粳稻的千粒重、剑叶宽在不同环境下变化微小，呈现出高度稳定性。

综上所述，本研究表明，除千粒重与剑叶宽性状表现出较强的环境稳定性外，其余多数性状在不同生态点间的差异较大，反映了地理环境因子对表型可塑性的主导作用。同时，籼稻与粳稻在异地环境下呈现不同的响应模式，进一步印证基因型与环境互作的重要性。因此，在今后的水稻地方品种资源的评价与利用中，应充分考虑品种本身的生态适应性及其性状稳定性，为地方品种的有效保护与育种利用提供理论依据。

3.2 水稻地方品种对异地环境的适应性

水稻品种在不同环境中的主要农艺性状表现出明显的差异，这是基因型与环境相互作用的结果[28-29]。稳定性是反映品种对异地环境适应能力的一个重要参考指标，品种的稳定性好，说明其对不同生态环境的适应能力较强，在水稻育种中具有重要的利用价值。Mohamed 等[30]使用 AMMI 和 GGE Biplot 在不同环境下分析多个水稻基因型（包括地方品种）产量的稳定性结果表明，产量、穗长、有效穗数等性状的表型变异受到环境因素的影响较大。Chozin 等[31]研究表明，水稻地方品种的稳定性与其来源地生态条件密切相关，且部分地方品种在特定的环境类型中表现出色。金伟栋等[32]研究表明，地方糯稻品种的产量构成因素在异地环境下变异较大，稳定性差。因此，若要全面准确评价水稻品种农艺性状的稳定性，需要进行多个异地环境下的鉴定评价。本研究中，在海南三亚和贵州惠水两个异地环境下千粒重、谷粒相关性状和剑叶宽的表型值相对较稳定，抽穗天数、株高、穗长和结实率次之，而剑叶长、有效穗数和穗粒数的稳定性较差。在两个不同环境下抽穗天数相对稳定的品种，其株高、穗粒数、千粒重、谷粒宽和剑叶长相对稳定。本研究对不同稻区间地方品种抽穗天数的稳定性做比较表明，长江中下游稻区（湖北、湖南、江苏和安徽）的水稻地方品种稳定性相对最好；各省份籼稻的抽穗天数变异系数均显著小于粳稻，突显了籼稻地方品种在多环境中具有较强的适应性。本研究还根据抽穗天数的变异系数和 GGE 双标图分析结果筛选出黄丝谷、大龙粘、背子糯、瘦田尖、小禾早等 20 个在异地环境下抽穗天数稳定性较突出的地方品种。这些地方品种具有较强的生态适应性，作为亲本材料可利用于广适应性水稻育种中。

本研究发现，同一水稻地方品种在海南三亚（低纬度、短日照、高温）与贵州惠水（较高纬度、长日照、低温）两地表现出较大的农艺性状差异，在异地环境下绝大多数材料的有效穗数和穗粒数

变异系数、大部分材料的穗长和剑叶长变异系数、约 50%材料的抽穗天数、株高和结实率变异系数较大，说明多数材料在这些性状的表现方面易受异地环境条件的影响，对异地环境的反应较敏感（图 2）。这种表型变异不仅源于环境因子的直接作用，而且与品种自身固有的感光性、感温性及基本营养生长性（合称“三性”）的遗传特性密切相关[33-34]。水稻的“三性”是其适应不同生态区的关键生理特性，共同决定了品种的生育期长短及产量形成过程[35]。依据水稻生态育种理论，强感光性品种在短日照环境（如海南三亚）下生育期显著缩短，表现为植株矮化、穗粒数减少；而在长日照条件（如贵州惠水）下则生育期延长，植株增高，穗部发育更为充分[36]。相比之下，感光性弱而感温性强的品种对日照长度变化较迟钝，其农艺性状在不同光温环境中表现相对稳定。本研究的调查数据显示，有的品种在三亚与惠水两地之间的抽穗天数变异系数较小（表 3、图 2），说明其感光性较弱，可能属于温敏型或基本营养型品种；而有的材料抽穗天数的变异系数较大（图 2），在贵州惠水抽穗期明显推迟，具有较强的感光性，属于光敏型资源。本研究未开展人工光温控制试验，目前尚难以对参试品种的“三性”作出精确量化，有待今后深入评价。

3.3 不同稻区水稻地方品种主要农艺性状的表型差异

本研究表明，长江中下游稻区、华东稻区、华南稻区、西南稻区籼稻和粳稻地方品种在主要农艺性状上有显著分化，表现为籼稻普遍早熟、有效穗数较多、结实率较高、千粒重较高、剑叶较长且稻谷细长（长宽比高），而粳稻株高、穗长和穗粒数表现更好，稻谷更宽，尤其在华南稻区地方品种优势突出。华南稻区和西南稻区品种植株较高、穗大粒多、籽粒较重且结实率高，剑叶伸展突出，显示出更高的产量潜力（尤其华南稻区粳稻），而长江中下游稻区和华东稻区品种则相对早熟、有效穗数较多，但穗长、穗粒数、结实率、粒重和剑叶长宽方面表现相对劣势。这种各稻区品种间的表型差异可能与品种本身遗传背景及其异地环境适应性密切相关，这与前人研究形成呼应和补充。例如，李自超等[37]和曾亚文等[38]研究指出，云南作为西南稻区的核心，其地方粳稻资源遗传多样性显著高于籼稻，且大粒、高结实率等性状富集，这与本研究西南稻区地方品种表现为高产潜力相一致。还有研究表明，西南稻区地方品种遗传多样性丰富，云南德宏、普洱等地资源具有大穗、大粒特征，且南部边缘水陆稻区结实率与千粒重的多样性指数显著高于其他生态区[7]。赵滢[39]研究发现，华南稻区水稻品种（包含地方品种）在株高、穗粒数、结实率等方面有显著的遗传改良，且对不同生态区的适应性、株型、穗型、粒型和产量相关性状等方面存在表型差异。姜元华等[40]研究表明，长江中下游稻区的生态条件利于粳稻品种向多穗型演化，粳稻的成穗率较高，有效穗数突出，但穗长、穗粒数和单粒重较低，这与本研究粳稻品种的表型变化基本相一致。在未来水稻育种中育种家应根据各个稻区地方品种主要农艺性状的表型变化规律特征，利用现代育种技术，整合不同稻区地方品种的优势性状，将地方品种的优势性状导入到现代育成品种中，扩大育成品种的遗传基础，提

升其产量潜力。

3.4 不同稻区水稻地方品种的亲缘关系

张立娜等[41]对不同稻区粳稻地方品种聚类分析研究表明，南方稻区（华南、华中、西南）和北方稻区（华北、东北）亲缘关系较远，南方/北方稻区内地理位置相近的稻区亲缘关系则较近。唐如玉[42]研究表明，南方稻区（华南、西南、长江中下游）籼稻群（含地方品种）的遗传分化值较小、亲缘关系较近，而华北稻区与南方各稻区的亲缘关系则较远。张媛媛等[43]基于 SSR 标记分析表明，相邻省份的籼稻地方品种遗传距离较小，常聚为同一类群，而远距离省份则分化明显。李培富等[44]研究认为，选择遗传距离远的材料才能在水稻育种有较大的突破。本研究表明，4 个稻区的水稻地方品种可被划分为两大类群。其中，长江中下游稻区与华东稻区聚为类群Ⅰ，而华南稻区与西南稻区聚为类群Ⅱ，这反映了地理邻近稻区间地方品种的亲缘关系较近，这与前人的研究结果有一致性或相似性[41-43]。因此，在今后水稻育种中，应选择遗传差异大、地理距离较远、亲缘关系较远的地方品种应用于水稻育种，以扩大水稻育种的遗传基础。

参考文献

[1] 赵志军.水稻从野生到驯化的轨迹——农业起源研究的新篇章.中国科学:地球科学,2024,54(9):3063-3064

Zhao Z J. The trajectory of rice from wild to domesticated: A new chapter in the study of origins of agriculture. Scientia Sinica Terrae, 2024, 54 (9): 3063-3064

[2] 陈章鑫,林海,应兴华,王志刚,庞乾林,姜仁华.万年稻作农业文化系统的开发、保护及发展对策.中国稻米,2012,18(6):23-26

Chen Z X, Lin H, Ying X H, Wang Z G, Pang Q L, Jiang R H. Development, protection and countermeasures of Wannian rice culture system. China Rice, 2012, 18 (6): 23-26

[3] 迈克尔·普鲁加南,陈淳.水稻的演化:有关其起源与扩散的分子插曲.农业考古,2025(4):58-65

Michael D P, Chen C. The evolution of Rice: molecular vignettes on its origins and spread. Agricultural Archaeology, 2025 (4): 58-65

[4] 汤圣祥,江云珠,张本敦,陆永良,余柳青,余汉勇.中国稻区的生物多样性.生物多样性,1999,1 (7):73-78

Tang S X, Jiang Y Z, Zhang B D, Lu Y L, Yu L Q, Yu H Y. Biodiversity of rice growing regions in China. Biodiversity Science, 1999, 1(7): 73-78

[5] 赵慧博,彭友林,杨宇琼,张光恒,钱前.从种质创新到株型优化:中国超级稻三十年育种实践与启示.中国科学:生命科学,2025,55(8):1661-1675

Zhao H B, Peng Y L, Yang Y L, Zhang G H, Qian Q. From germplasm innovation to plant type optimization: Three decades of breeding practice and enlightenment of super rice in China (in Chinese). Scientia Sinica Vitae, 2025, 55(8): 1661-1675

[6] 杨德卫,张海峰,余文权.我国水稻种质资源创新研究与利用进展.植物遗传资源学报,2024,25(4):495-508

Yang D W, Zhang H F, Yu W Q. Progress on innovative research and utilization of rice germplasm resources in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2024, 25 (4): 495-508

[7] 汤翠凤,张恩来,董超,阿新祥,张斐斐,申时全,韩龙植.云南新收集水稻地方品种的表型多样性分析.植物遗传资源学报,2018,19(6):1106-1116

Tang C F, Zhang E L, Dong C, A X X, Zhang F F, Shen S Q, Han L Z. Analysis on phenotypic diversity of rice landraces newly collected in Yunnan province. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19 (6): 1106-1116

[8] 陈峰,朱其松,徐建第,孙公臣,柳发财,朱文银,张洪瑞,高洁,袁守江.山东地方水稻品种的农艺性状与品质性状的多样性分析.植物遗传资源学报,2012,13(3):393-397, 405

Chen F, Zhu Q S, Xu J D, Sun G C,Liu F C, Zhu W Y, Zhang H R, Gao J, Yuan S J. Diversity analysis of agronomic and quality characters of

rice landraces in Shandong. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13 (3): 393-397, 405

[9] 周健,崔迪,赵洙敏,孙建昌,黎毛毛,马小定,王先俱,李相奎,赵埈贤,朴东洙,郭晓红,韩龙植.不同年代水稻品种主要农艺性状的表型评价.植物遗传资源学报,2019,20(6):1566-1578

Zhou J, Cui D, Zhao Z M, Sun J C, Li M M, Ma X D, Wang X J, Li X K, Zhao J X, Pu D Z, Guo X H, Han L Z. Phenotypic evaluation of main agronomic traits in rice varieties that were released over the past few decades. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20 (6): 1566-1578

[10] 刘嘉俊,崔迪,杨窑龙,马小定,夏秀忠,邱东峰,黎小冰,韩冰,郭晓红,韩龙植.不同年代籼稻品种主要农艺性状和耐热性差异.植物遗传资源学报,2025,26(9):1719-1733

Liu J J, Cui D, Yang Y L, Ma X D, Xia X Z, Qiu D F, Li X B, Han B, Guo X H, Han L Z. Differences of main agronomic traits and heat tolerance for *Indica* rice varieties developed in different years. Journal of Plant Genetic Resources, 2025, 26 (9): 1719-1733

[11] 刘进,勒思,周慧颖,胡佳晓,孟冰欣,罗文静,黎毛毛,余丽琴.江西省水稻地方品种资源的收集与鉴定评价.植物遗传资源学报,2023,24(5):1267-1276

Liu J, Le S, Zhou H Y, Hu J X, Meng B X, Luo W J, Li M M, Yu L Q. Collection, identification and evaluation of rice landraces in Jiangxi province, China. Journal of Plant Genetic Resources, 2023, 24 (5): 1267-1276

[12] Dev N T, Madhav P P, Hira K M, Tej N B. Genotype by environment interaction using AMMI, GGE Biplot and multivariate analysis of nepalese aromatic rice landraces. Agronomy Journal of Nepal, 2024, 8: 34-51

[13] Kumar R, Kar S. Variability studies in local rice genotypes using agro-morphological characterization. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2020, 9(1): 2397-2406

[14] 姜秀英,王佳,高振环,吕军,李建国,韩勇,王丽丽.辽宁省水稻品种主要农艺性状的主成分及聚类分析.辽宁农业科学,2025(2):1-6

Jiang X Y, Wang J, Gao Z H, Lv J, Li J G, Han Y, Wang L L. Principal components and cluster analysis of main agronomic traits of rice varieties in Liaoning province. Liaoning Agricultural Sciences, 2025(2): 1-6

[15] 陈越,丁明亮,张敦宇,付坚,钟巧芳,肖素勤,柯学,程在全.云南水稻种质资源农艺性状表型多样性分析及综合评价.南方农业学报,2019,50(9):1922-1930

Chen Y, Ding M L, Zhang D Y, Fu J, Zhong Q F, Xiao S Q, Ke X, Cheng Z Q. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of agronomic characters of rice germplasm resources in Yunnan province. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50 (9): 1922-1930

[16] 张爱民,阳文龙,方红曼,吕慧颖,邓向东,葛毅强,魏珣,杨维才.作物种质资源研究态势分析.植物遗传资源学报,2018,19(3):377-382

Zhang A M, Yang W L, Fang H M, Lv H Y, Deng X D, Ge Y Q, Wei X, Yang W C. Current status of research on crop genetic germplasms. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19 (3): 377-382

[17] 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

Han L Z, Wei X H. Descriptors and data standard for rice (*Oryza sativa* L.). Beijing: China Agricultural Press, 2006

[18] 严威凯.双标图分析在农作物品种多点试验中的应用.作物学报,2010,36(11):1805-1819

Yan W K. Optimal use of Biplots in analysis of multi-location variety test data. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36 (11): 1805−1819

[19] 周霞丽,隗正阳,阚跃峰,石明权,王文文,管少花,苗任重,陈宏,张少泽,崔向华.基于 R 语言 GGE 双标图的芝麻区域试验分析.种子,2025,44(07):186-194

Zhou X L, Wei Z Y, Kan Y F, Shi M Q, Wang W W, Guan S H, Miao R Z, Chen H, Zhang S Z, Cui X H. Analysis of sesamum indicum regional test based on GGE Biplot of R language. Seed, 2025, 44 (7): 186-194

[20] 侯凡,陈佑源,林建荣,吴明国,宋昕蔚,孙一鸣,湛立伟. 基于 GGE 双标图分析籼粳杂交稻新品种浙粳优 27 的丰产稳产性和适应性.中国稻米,2024,30(4):93-97

Hou F, Chen Y Y, Lin J R, Wu M G, Song X W, Sun Y M, Zhan L W. Analysis of fertility, stability and adaptability of a new *Indica -japonica* hybrid rice variety Zhegengyou 27 based on GGE Biplot. China Rice, 2024, 30 (4): 93-97

[21] Monteverde E, Gutierrez L, Blanco P, Pérez de Vida F, Rosas J E, Bonnecarrère V, Quero G, McCouch S. Integrating molecular markers and environmental covariates to interpret genotype by environment interaction in rice (*Oryza sativa* L.) grown in subtropical areas. G3 (Bethesda). 2019, 9 (5): 1519-1531

[22] Akilan M, Jeyaprakash P, Shanmuganathan M, .Meena S, Rajanbabu V. Comparative delineation of genetic variability and association among yield and its contributing traits under sodic and normal soil conditions in rice (*Oryza sativa* L.). Electronic Journal of Plant Breeding, 2023, 14(2):591-600

[23] Singh S K, Behera P P, Singh D K, Korada M, Habde S V, Khaire A. Stability analysis of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes with high grain Zinc in five different locations of eastern uttar pradesh. Current Journal of Applied Science and Technology, 2020, 39(34): 123-135

[24] Shuichi F, Tran D S, Kaworu E, Luu N T, Tsukasa N, Kazutoshi O. Diversity in phenotypic profiles in landrace populations of vietnamese rice: A case study of agronomic characters for conserving crop genetic diversity on farm. Genetic Resources and Crop Evolution, 2005, 53(4): 753-761

[25] Rosenilda D S, Juliana B O, Otavio R M, Nuno D C F, Francisco W R J, Tassiane T P. Agronomic performance of local dryland rice varieties of the far west of Santa Catarina, Brazil. Functional Plant Breeding Journal, 2023, 5 (1): 1-12

[26] 何霞红,孙雁,高东,魏富刚,潘磊,郭存武,毛如志,谢勇,李成云,朱有勇.元阳梯田水稻地方品种与现代水稻品种的农艺性状比较研究.资源与生态学报,2011,2(1):46-50

He X H, Sun Y, Gao D, Wei F G, Pan L, Guo C W, Mao R Z, Xie Y, Li C Y, Zhu Y Y. Comparison of agronomic traits between rice landraces and modern varieties at different altitudes in the paddy fields of Yuanyang terrace, Yunnan province. Journal of Resources and Ecology, 2011, 2 (1): 46-50

[27] 杨从党,朱德峰,周玉萍,周能,袁平荣.不同生态条件下水稻产量及其构成因子分析.西南农业学报,2004,17(S1):35-39

Yang C D, Zhu D F, Zhou Y P, Zhou N, Yuan P R. Analysis on rice yield and its components under different environments. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2004, 17(S1): 35-39

[28] 赵国珍,刘慰华,刘似玉,董林波,李林东,陈于敏.优质食味粳稻新品种‘云粳 37 号’的稳定性分析.中国农学通报,2025,41(5):1-6

Zhao G Z, Liu W H, Liu S Y, Dong L B, Li L D, Chen Y M. Stability analysis of a new japonica rice ‘Yunjing 37’ with good eating quality. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2025, 41 (5): 1-6

[29] 曹元元,丁逸帆,左示敏,陈宗祥,许明,朱敏妍,李鹏程,徐扬,徐辰武,杨泽峰.基于 GGE 双标图和 AMMI 模型对江苏省水稻区试品种的丰产性和稳定性分析.种子,2021,40(6):38-43, 51

Cao Y Y, Ding Y F, Zuo S M, Chen Z X, Xu M, Zhu M Y, Li P C, Xu Y, Xu C W, Yang Z F. Analysis of yielding ability and stability of rice varieties tested in Jiangsu province based on GGE Biplot and AMMI model. Seed, 2021, 40 (6): 38-43, 51

[30] Mohamed I G, Mohamed A, Roshdy Y E, Tamer M E, Sabry A E, Elhousini M D, Medhat R. Exploring genetics by environment interactions in some rice genotypes across varied environmental conditions. Plants-Basel, 2024, 13 (1): 74

[31] Chozin M, Sumardi S, Sudjatmiko S. Grain yield stability of swamp rice lines across swampland agroecosystems in Bengkulu province of Indonesia. SABRAO Journal of Breeding and Genetics, 2023, 55(4): 1183-1192

[32] 金伟栋,董遵,杨惠明,徐汝华.太湖流域糯稻地方品种资源农艺性状分析.中国农学通报,2006,22(11):401-405

Jin W D, Dong Z, Yang H M, Xu R H. Analysis on agronomic characters of sticky rice landraces (*Oryza sativa* L.) from Taihu lake valley. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(11): 401-405

[33] 郭爽,王楚桃,管玉圣,黄乾龙,熊英,朱子超,何永歆,蒋刚,李贤勇,欧阳杰.水稻不育系神 9A 抑制恢复系感光性的初步研究.杂交水稻,2019,34(3):67-70

Guo S, Wang C T, Guan Y S, Huang Q L, Xiong Y, Zhu Z C, He Y X, Jiang G, Li X Y, Ou Y J. Preliminary studies on inhibition of photosensitivity in restorer lines by male sterile line shen 9A in rice. Hybrid Rice, 2019, 34(3): 67-70

[34] 张文绪.水稻品种光温生态的研究 Ⅳ、水稻品种的感光性、基础营养生长期、感温性与出穗日数及其变异系数关系的研究.北京农业大学学报,1983,9(3):13-22

Zhang W X. A study of the relationship between days to heading and photoperiod sensitivity, thermo sensitivity, basic vegetative phase in rice varieties. Journal of China Agricultural University, 1983, 9(3): 13-22

[35] 陈雄辉,万邦惠.水稻的感光性、感温性与光温诱导雄性不育性之间的相关研究.作物学报,1993,19(3):282-287

Chen X H, Wan B H. Studies on the relationship between photoperiodic response, thermoperiodic response and photoperiod - temperature sensitive male sterility in rice. Acta Agronomica Sinica, 1993, 19(3): 282-287

[36] 薄娜娜,胡星辉,周乐,范优荣,范智权,蔡中全,杨江义.多年生长雄蕊野生稻感光性的遗传分析.分子植物育种,2020,18(9):2935-2941

Bo N N, Hu X H, Zhou L, Fan Y R, Fan Z Q, Cai Z Q, Yang J Y. Genetic analysis on photosensitivity of perennial wild rice oryza longistaminata. Molecular Plant Breeding, 2020, 18 (9): 2935-2941

[37] 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

Li Z C, Zhang H L, Zeng Y W, Shen S Q, Sun C Q, Wang X K. Studies on phenotypic diversity of rice germplasm in Yunnan, China. Acta

Agronomica Sinica, 2001, 27(6): 832-837

[38] 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
Zeng Y W, Li Z C, Shen S Q, Wang X K, Yang Z Y, Zhang H L, Chen Y M. Diversity and good germplasm of indigenous rice varieties in Yunnan province. Chinese Journal of Rice Science, 2001, 15(3): 169-174

[39] 赵滢. 华南水稻重要农艺性状演变规律及粒型性状 GWAS 分析. 武汉: 长江大学,2019
Zhao Y. Evolvement rule analysis of important agronomic traits and genome -wide association study of grain shape in south China rice varieties. Wuhan: Yangtze University, 2019

[40] 姜元华,张洪程,赵可,许俊伟,韦还和,龙厚元,王文婷,戴其根,霍中洋,许轲,魏海燕,郭保卫.长江下游地区不同类型水稻品种产量及其构成因素特征的研究.中国水稻科学,2014,28(6):621-631
Jiang Y H, Zhang H C, Zhao K, Xu J W, Wei H H, Long H Y, Wang W T, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Wei H Y, Guo B W. Difference in yield and its components characteristics of different type rice cultivars in the lower reaches of the Yangtze river. Chinese Journal of Rice Science, 2014, 28 (6): 621-631

[41] 张立娜,曹桂兰,韩龙植.利用 SSR 标记揭示中国粳稻地方品种遗传多样性.中国农业科学,2012,45(3):405-413
Zhang L N, Cao G L, Han L Z. Analysis of genetic diversity of japonica rice landrace in China with microsatellite marker. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45 (3): 405-413

[42] 唐如玉.中国不同稻作区和不同年代水稻种质资源遗传多样性分析.重庆: 重庆师范大学,2020
Tang R Y. Analysis of genetic diversity of rice germplasm resources from different rice cropping regions and different periods in China. Chongqing: Normal University, 2020

[43] 张媛媛,曹桂兰,韩龙植.中国不同地理来源籼稻地方品种的亲缘关系研究.作物学报,2007,33(5):757-762
Zhang Y Y, Cao G L, Han L Z. Analysis of relationships for indica local rice from different places of China. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(5): 757-762

[44] 李培富,杨淑琴,马宏伟.宁夏水稻主要农艺性状的主成分及聚类分析.中国农学通报,2006,22(12):162-166
Li P F, Yang S Q, Ma H W. Principal component and cluster analysis of main agronomic characters of rice in Ningxia. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(12): 162-166