



杜孝敬, 张燕红, 文孝荣, 康民泰, 许文亭, 唐福森, 吕玉平, 李冬, 袁杰, 赵志强, 王奉斌. 355份粳稻种质资源在新疆的遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(03):13-26.

DU Xiaojing, ZHANG Yanhong, WEN Xiaorong, KANG Mintai, XU Wenting, TANG Fusen, LV Yuping, LI Dong, YUAN Jie, ZHAO Zhiqiang, WANG Fengbin. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of 355 introduced *Japonica* rice germplasm resources in Xinjiang [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(03):13-26.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.03.02

355份粳稻种质资源在新疆的遗传多样性分析及综合评价

杜孝敬¹ 张燕红^{2*} 文孝荣³ 康民泰³ 许文亭² 唐福森³ 吕玉平¹ 李冬¹
袁杰² 赵志强² 王奉斌^{1*}

(1. 新疆农业科学院 粮食作物研究所/农业农村部荒漠绿洲作物生理生态与耕作重点实验室, 乌鲁木齐 830091;

2. 新疆农业科学院 核技术生物研究所/干旱荒漠区作物抗逆遗传改良与种质创新国家重点实验室(筹),
乌鲁木齐 830091;

3. 新疆农业科学院 温宿水稻试验站/国家耐盐碱水稻技术创新中心西北中心, 新疆 阿克苏 843100)

摘 要 为筛选出适合新疆种植的综合性状较优的水稻种质资源, 对国、内外355份水稻资源的17个质量性状和20个数量性状进行综合评价。结果表明: 在质量性状指标中穗抽度、二次枝梗、穗立形态、叶片茸毛和分蘖力上表现出丰富的变异类型; 数量性状变异范围为3.906%~57.519%, 遗传多样性指数为1.713~2.067。通过对数量性状进行聚类分析将355份水稻种质资源划分为4大类群, 类群I属于极端粒型的特异性种质, 共97份; 类群II属于潜在增产种质, 共81份; 类群III属于晚熟极端种质, 共94份; 类群IV属于优质高产种质, 共83份。20个数量性状利用主成分分析提取5个综合因子, 累计贡献率为74.989%, 各成分的贡献率分别为17.472%(PC₁)、17.071%(PC₂)、15.738%(PC₃)、15.237%(PC₄)和9.429%(PC₅); 水稻种质资源的综合得分范围为0.4168~1.2408, 综合得分前10名的种质资源依次为‘21Y137’ ‘21Y271’ ‘21Y162’ ‘21Y280’ ‘21Y276’ ‘21Y87’ ‘21Y132’ ‘21Y254’ ‘21Y294’ ‘21Y318’, 均属于类群IV, 为高产且粒型优异种质, 可作为新疆水稻高产优质的亲本育种材料。

关键词 新疆; 水稻; 种质资源; 表型性状; 遗传多样性

中图分类号 S511

文章编号 1007-4333(2024)03-0013-14

文献标志码 A

Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of 355 introduced *Japonica* rice germplasm resources in Xinjiang

DU Xiaojing¹, ZHANG Yanhong^{2*}, WEN Xiaorong³, KANG Mintai³, XU Wenting²,
TANG Fusen³, LV Yuping¹, LI Dong¹, YUAN Jie², ZHAO Zhiqiang², WANG Fengbin^{1*}

(1. Research Institute of Grain Crops/Key Laboratory of Oasis-Desert Crop Physiology Ecology and Cultivation of
Agricultural Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China;

2. Institute of Nuclear Technology and Biotechnology/State Key Laboratory of Genetic Improvement of Crop Resistance and
Germplasm Innovation in Arid Desert Areas (Preparation), Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China;

3. Wensu Rice Experimental Station /Northwest Center of National Salinity Tolerant Rice Technology Innovation Center,
Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Aksu 843100, China)

收稿日期: 2023-08-28

基金项目: 新疆维吾尔自治区重大科技专项(2022A03004-3); 国家水稻产业技术体系(CARS-01-85)

第一作者: 杜孝敬(ORCID:0009-0009-9364-721X), 助理研究员, 主要从事稻种资源及水稻栽培技术研究, E-mail: dxjxj@163.com

通讯作者: 王奉斌(ORCID:0000-0001-6906-5425), 研究员, 主要从事水稻遗传育种及栽培技术研究, E-mail: xjnkywfb@163.com

张燕红(ORCID:0000-0002-2558-9240), 研究员, 主要从事水稻遗传育种及栽培技术研究, E-mail: zhangyanhong9527@163.com

Abstract To address the single genetic background and scarce breeding resources of rice in Xinjiang, rice germplasm resources from different ecological regions were introduced. The genetic diversity of their phenotypic traits was studied and excellent rice germplasm was screened. A total of 355 rice plants for 17 qualitative and 20 quantitative traits were investigated. The results showed that: The rice germplasm displayed a rich variety of variation in qualitative traits including panicle exertion, second branch, shape of panicle, leaf blade pubescence and tillering ability. The 20 quantitative traits ranged from 3.906% to 57.519% variation, with genetic diversity indices ranging from 1.713 to 2.067. Through cluster analysis, the 355 rice germplasm resources were divided into four major Groups. Group I belonged to 97 specific germplasm with extreme grain type, group II belonged to 81 potential yield increasing germplasm, group III belonged to 94 late maturing extreme germplasm, and group IV belonged to 83 high-yielding and high-quality germplasm with excellent high yield grain type. Principal component analysis converted the 20 quantitative traits into five composite factors with a cumulative contribution of 74.989%, with the components contributing 17.472% (PC_1), 17.071% (PC_2), 15.738% (PC_3), 15.237% (PC_4) and 9.429% (PC_5), respectively; The comprehensive score of rice germplasm resources ranged from 0.4168 to 1.2408, and the top 10 germplasm resources based on the comprehensive score were ‘21Y137’ ‘21Y271’ ‘21Y162’ ‘21Y280’ ‘21Y276’ ‘21Y87’ ‘21Y132’ ‘21Y254’ ‘21Y294’ ‘21Y318’, which are all high-yielding grain type and excellent group IV germplasm. In conclusion, the top 10 germplasm resources can be used as the high-yielding and high-quality rice parent selections for the future in Xinjiang.

Keywords Xinjiang; rice; germplasm resources; phenotypic traits; genetic diversity

水稻(*Oryza sativa* L.)是全球重要的粮食作物之一,也是我国的三大主要粮食之一^[1]。我国水稻常年播种面积在 3.0×10^7 hm²,约占粮食作物种植面积的25%以上,水稻生产对国家粮食安全起着至关重要的作用^[2-3]。新疆水稻种植已有1400多年的历史^[4],作为特色作物不仅能提高当地农民的经济收入,还对生态环境起到类似“人工湿地”的保护作用^[5]。当前现有的优质资源尚不能满足近期及长远水稻研究与育种应用的需要,拟引进疆外水稻种质资源,尤其是具有丰富遗传背景的广适品种,对于解决新疆水稻遗传背景狭窄、育种资源匮乏的问题^[6]具有重要的意义。

世界上主要水稻种植国家与相关科研机构都十分重视水稻种质资源的收集保护与研究利用^[7],并认为水稻种质资源是育种的重要物质基础,优良品种选育的关键在于其丰富的遗传多样性^[8],遗传多样性分析有利于种质资源的发掘及利用,而引进外来种质资源是拓宽遗传基础、增加遗传多样性最直接、有效的方法^[9-10]。有关运用表型进行多样性分析及综合评价研究在水稻^[11-12]、籽瓜^[13]、谷子^[14]、玉米^[15]等作物已有报道,其中李慧琴等^[16]对270份陆地棉材料表型性状分析,选出了6类适合不同育种目标的材料;杨涛等^[17]对175份海岛棉的12个表型性状进行了综合评价,筛选出表型变异较大、产

量较高且综合得分较优的2份亲本材料;李振姣等^[18]在宁夏回族自治区引进多个国家和地区的269份水稻种质资源对其18个表型性状进行多样性分析,表明外引水稻资源的表型多样性丰富,可作为拓宽栽培稻遗传基础的优异材料;贺治州等^[19]认为,不同来源的热带水稻种质各性状变异范围大,遗传多样性指数较高;胡标林等^[20]利用14个表型性状对1579份水稻种质进行遗传多样性分析及综合评价,表明不同地区种质间遗传距离较远且表型遗传多样性较丰富。目前关于水稻遗传多样性及综合评价的研究以内陆省份居多,而干旱半干旱稻区的研究报道只局限在宁夏回族自治区^[18, 21],新疆作为典型的干旱半干旱大陆性气候,外引水稻种质资源的遗传多样性研究鲜有报道。本研究利用355份粳稻种质资源的17个质量性状和20个数量性状,进行水稻种质资源遗传多样性分析和综合评价,旨在筛选出适合新疆种植的综合性状较优的水稻种质资源,以期为新疆水稻种质资源创新利用和品种改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于2021年4—10月在新疆农业科学院温宿水稻试验站种植(41°16' N, 80°12' E, 海拔

1 132 m), 平均日照 2 556.10~2 760.50 h, 平均气温 8.40~10.10 °C, 年降水量 65.40~78.70 mm, 无霜期 185 d。土壤为粉砂质壤土, pH 8.20、全盐量 1.45 g/kg、电导率 0.52 ms/cm、有机质 31.99 g/kg、全氮 1.36 g/kg、速效氮 135.40 mg/kg、速效磷 66.85 mg/kg 和速效钾 120.00 mg/kg。

1.2 材料

从国内、外收集和引进 355 份粳稻为试验材料, 其中国内 346 份(辽宁 200 份, 吉林 48 份, 黑龙江 46 份, 天津 12 份, 江苏 10 份, 北京 6 份, 宁夏 5 份, 新疆 4 份, 广东、云南各 3 份, 安徽 2 份, 福建、海南、合肥、河北、内蒙古、山东、山西各 1 份); 国外 9 份(日本 4 份, 韩国和菲律宾各 2 份, 土库曼斯坦 1 份), 种质类型为选育品种、品系或高代材料。按常规方法浸种催芽, 4月2日育秧, 5月9日人工移栽插秧, 采用完全随机区组试验设计, 每个品种 2 行, 行长 2.00 m, 株行距 15 cm×30 cm, 插秧前施尿素 75 kg/hm²、磷酸二铵 300 kg/hm²、硫酸钾 75 kg/hm² 作基肥; 移栽后 7 d 施尿素 75 kg/hm², 移栽后 19 d 施尿素 120 kg/hm², 6月10日施尿素 90 kg/hm², 晒田复水后施尿素 90 kg/hm²、硫酸钾 75 kg/hm², 其他田间管理同生产大田一致。

1.3 测定指标

参照《水稻种质资源描述规范和数据标准》^[22] 调查穗抽度、穗型、二次枝梗、穗立形态、叶片茸毛、叶片卷曲度、叶耳颜色、叶舌颜色、叶枕颜色、叶节颜色、茎秆节的颜色、茎秆节间色、茎秆茎节包露、分蘖力、柱头色、花药形状和花药颜色等 17 个质量性状指标, 质量性状根据其表型进行赋值(表 1)。考察播种期-始穗期和播种期-齐穗期时长、株高、剑叶长度、剑叶宽度、倒二叶长度、倒二叶宽度、穗长、实粒数、空秕粒数、穗粒数、结实率、单株重、千粒重、谷粒周长、谷粒直径、谷粒圆度、谷粒长、谷粒宽和谷粒长宽比等 20 个数量性状指标, 共 37 个水稻表型性状指标。

1.4 数据统计

使用 Excel 2010 对数量性状进行描述统计和计算 Shannon-Weaver 多样性指数^[23], 利用 SPSS 26.0 和 Origin 2022 进行方差分析、Spearman 相关性分析和聚类分析。

数量性状根据 0.5 个标准差为间距进行标准化, 分为 10 级(1 级 ≤ X-2δ, 10 级 > X+2δ, 中间每级

间差 0.5δ, X 为性状平均值, δ 为标准差), 通过计算每一级的相对频率(P_i)来计算 Shannon' 多样性指数(H')^[24]。

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$

式中: n 为表型分类数目; P_i 为第 i 种变异类型出现频率。

参照胡标林等^[19]方法进行表型性状的综合评价: 将 20 个数量性状经标准化处理后进行主成分分析, 利用各主成分的“载荷值”除以相应的“特征值的算术平方根”求其“特征向量”, 代入每个主成分的表达式中计算各主成分的得分; 利用模糊隶属函数法对各主成分得分进行归一化处理, 计算各主成分的权重系数, 最后计算各材料的综合得分(F)。

2 结果与分析

2.1 外引水稻种质资源表型频率分布及统计分析

由表 2 可知, 不同水稻种质的穗抽度以抽出良好为主, 占 83.66%; 穗型以中间型为主, 占 93.24%; 二次枝梗以少为主, 占 90.70%; 穗立形态以直立最少, 占 28.45%, 半直立和弯曲分别占 36.90% 和 34.65%; 叶片茸毛以疏为主, 占 59.72%, 其次无茸毛占 38.87%; 叶片卷曲度以不卷或卷度很小为主, 占 97.18%; 叶耳颜色中黄色占 59.15%, 绿色占 24.79%, 无色占 16.06%; 叶舌颜色中以白色为主, 占 66.20%, 无叶舌占 33.80%; 茎秆节间色以绿色为主, 占 99.72%, 仅有 1 个品种为黄色; 强分蘖力和中等分蘖力较为普遍, 两者共占 99.44%, 弱分蘖力的品种仅有 2 个; 柱头色以白色为主, 占 66.76%, 黄色占 32.96%, 只有 1 个品种的柱头色为浅绿色; 花药颜色多为白色或乳白色, 占 67.61%, 淡黄色次之, 占 32.39%。而引进水稻品种叶枕颜色均为绿色、茎秆节均为浅绿色、茎秆茎节包露均为包、花药形状为细小棒状。因此, 355 份引进的种质材料遗传背景相对较窄。

2.2 外引水稻种质资源数量性状的变异及遗传多样性分析

由表 3 可知, 20 个数量性状均存在不同程度的变异, 其中空秕粒数的变异系数最大为 57.519%, 变异幅度在 4.60~99.10 粒, 谷粒直径变异最小为 3.906%, 变异幅度在 4.56~6.36 mm。20 个数量性状中空秕粒数(57.519%)、单株重(32.745%)、实

表 1 水稻质量性状赋值
Table 1 Quantified values of the qualitative traits of rice

指标 Index	赋值 Value								
	1	2	3	4	5	7	9		
穗抽出度 Panicle exsertion	抽出良好 Well exserted	/	抽出较好 Moderately well exserted	/	正好抽出 Just exserted	部分抽出 Partly exserted	紧包 Enclosed		
穗型 Panicle type	密集 Compact	/	/	/	中间型 Intermediate	/	散开 Open		
二次枝梗 Second branch	无 Absent	/	/	/	少 Few	多 Much	聚集 Congregate		
穗立形态 Shape of panicle	直立 Erect	/	/	/	半直立 Half erect	弯曲 Curved	下垂 Bend		
叶片茸毛 Leaf blade pubescence	无 Glabrous	/	/	/	疏 Sparse	中 Intermediate	密 Dense		
叶片卷曲度 Leaf curliness degree	不卷或卷度很小 No curliness or very small curliness	正卷 Positive curliness	反卷 Inverse curliness	螺旋状 Twist	/	/	/		
叶耳颜色 Auricle color	无色 No color	黄色 Yellow	绿色 Green	紫色 Purple	/	/	/		
叶舌颜色 Ligule color	无叶舌 Absent	白色 White	紫色线条 Purple line	紫色 Purple	/	/	/		
叶枕颜色 Pulvinus color	绿色 Green	紫色 Purple	/	/	/	/	/		
叶节颜色 Lamina joint color	无(白)色 No (White) color	绿色 Green	紫色 Purple	/	/	/	/		
茎秆节的颜色 Color of stem node	浅绿色 Light green	紫色 Purple	/	/	/	/	/		
茎秆节间色 Internode color	黄色 Yellow	绿色 Green	红色 Red	紫色线条 Purple line	紫色 Purple	/	/		
茎秆茎节包露 Wrap or bareness of internode	包 Wrapped	露 Bared	/	/	/	/	/		
分蘖力 Tillering ability	强 Strong	/	/	/	中 Intermediate	/	弱 Weak		
柱头色 Color of stigma	白色 White	黄色 Yellow	浅绿色 Light green	紫色 Purple	/	/	/		
花药形状 Anther shape	细小棒状 Thin virgulate	水渍状 Water soaking	饱满 Full	/	/	/	/		
花药颜色 Anther color	白色或乳白色 White	淡黄色 Light yellow	黄色 Yellow	/	/	/	/		

表 2 水稻质量性状种质个数及占比
Table 2 Number and proportion of rice quality traits

指标 Index	赋值 Value						
	1	2	3	4	5	7	9
穗抽出度	297		58		0	0	0
Panicle exertion	(83.66%)	/	(16.34%)	/	(0.00%)	(0.00%)	(0.00%)
穗型	24				331		0
Panicle type	(6.76%)	/	/	/	(93.24%)	/	(0.00%)
二次枝梗	12				322	21	0
Second branch	(3.38%)	/	/	/	(90.70%)	(5.92%)	(0.00%)
穗立形态	101				131	123	0
Shape of panicle	(28.45%)	/	/	/	(36.90%)	(34.65%)	(0.00%)
叶片茸毛	138				212	4	1
Leaf blade pubescence	(38.87%)	/	/	/	(59.72%)	(1.13%)	(0.28%)
叶片卷曲度	345	10	0	0			
Leaf curliness degree	(97.18%)	(2.82%)	(0.00%)	(0.00%)	/	/	/
叶耳颜色	57	210	88	0			
Auricle color	(16.06%)	(59.15%)	(24.79%)	(0.00%)	/	/	/
叶舌颜色	120	235	0	0			
Ligule color	(33.80%)	(66.20%)	(0.00%)	(0.00%)	/	/	/
叶枕颜色	355	0					
Pulvinus color	(100.00%)	(0.00%)	/	/	/	/	/
叶节颜色	0	355	0				
Lamina joint color	(0.00%)	(100.00%)	(0.00%)	/	/	/	/
茎秆节的颜色	355	0					
Color of stem node	(100.00%)	(0.00%)	/	/	/	/	/
茎秆节间色	1	354	0	0	0		
Internode color	(0.28%)	(99.72%)	(0.00%)	(0.00%)	(0.00%)	/	/
茎秆茎节包露	355	0					
Wrap or bareness of internode	(100.00%)	(0.00%)	/	/	/	/	/
分蘖力	187				166		2
Tillering ability	(52.68%)	/	/	/	(46.76%)	/	(0.56%)
柱头色	237	117	1	0			
Color of stigma	(66.76%)	(32.96%)	(0.28%)	(0.00%)	/	/	/
花药形状	355	0	0				
Anther shape	(100.00%)	(0.00%)	(0.00%)	/	/	/	/
花药颜色	240	115	0				
Anther color	(67.61%)	(32.39%)	(0.00%)	/	/	/	/

注：括号内为水稻质量性状种质占比。

Note: Proportion of rice quality traits in brackets.

表3 数量性状描述
Table 3 Description of quantitative traits

数量性状 Quantitative traits	极小值 Min	极大值 Max	均值 Mean	变异系数/% CV	遗传多样性 指数 H'
播种期-始穗期/d Seeding date-First heading date	54.00	107.00	84.51	10.730	1.754
播种期-齐穗期/d Seeding date-Full heading date	59.00	124.00	90.93	9.375	1.713
株高/cm Plant height	50.00	118.00	84.84	10.985	2.012
剑叶长度/cm Flag leaf length	13.00	39.00	27.87	18.494	2.050
剑叶宽度/cm Flag leaf width	0.70	1.80	1.24	13.493	1.840
倒二叶长度/cm Last second leaf length	19.00	41.00	30.60	12.922	2.050
倒二叶宽度/cm Last second leaf width	0.60	3.10	1.26	18.456	1.951
穗长/cm Panicle length	10.25	22.80	16.07	11.350	2.038
实粒数 Grain number per panicle	21.30	176.50	92.10	27.118	2.067
空秕粒数 Number of empty grains	4.60	99.10	36.16	57.519	1.979
穗粒数 Spikelets per panicle	26.30	243.20	128.26	24.210	2.041
结实率/% Seed setting rate	24.21	95.96	72.67	18.537	1.988
单株重/(g/株) Single plant weight	4.30	75.47	26.08	32.745	1.943
千粒重/g 1 000-grain weight	14.21	28.98	21.22	9.987	2.019
谷粒周长/mm Grain circumference	17.56	26.02	20.18	5.168	2.028
谷粒直径/mm Grain diameter	4.56	6.36	5.25	3.906	2.017
谷粒圆度/mm Grain roundness	0.32	0.55	0.46	9.429	2.048
谷粒长/mm Grain length	7.07	10.36	8.14	6.089	2.031
谷粒宽/mm Grain width	2.81	4.22	3.56	6.353	2.047
谷粒长宽比 Ratio of length to width for grain	1.91	3.24	2.32	9.709	1.955

粒数(27.118%)、穗粒数(24.210%)的变异系数较大,均在20.000%以上,说明这4个表型性状具有较大的遗传变异,其他表型性状的变异系数在3.906%~20.000%。所引的水稻品种数量性状遗传变异丰富,具有较大的挖掘潜力,可为水稻新品种选育和性状改良提供优异的物质基础。

引进水稻遗传多样性指数(H')为1.713~2.067,平均为1.979,遗传多样性整体较好(表3)。其中播种期-齐穗期最小为1.713;实粒数最大为2.067。遗传多样性指数由高到低排序依次为实粒数(2.067)>剑叶长度(2.050)>倒二叶长度(2.050)>谷粒圆度(2.048)>谷粒宽(2.047)>穗

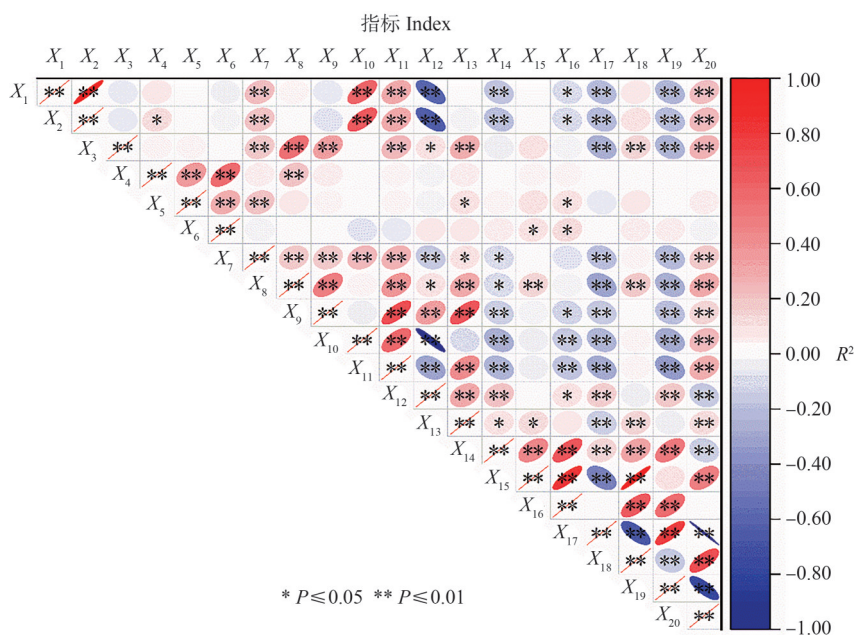
粒数(2.041)>穗长(2.038)>谷粒长(2.031)>谷粒周长(2.028)>千粒重(2.019)>谷粒直径(2.017)>株高(2.012)>结实率(1.988)>空秕粒数(1.979)>谷粒长宽比(1.955)>倒二叶宽度(1.951)>单株重(1.943)>剑叶宽度(1.840)>播种期-始穗期(1.754)>播种期-齐穗期(1.713),可见,供试水稻品种在新疆农艺性状表现出较大的差异,蕴藏着较丰富的遗传变异。

2.3 水稻产量构成因素与数量性状表型的相关性分析

由图1可知,穗粒数与播种期-始穗期和播种期-齐穗期时长、株高、倒二叶宽度、穗长、实粒数、空

秕粒数、单株重、谷粒长宽比均呈极显著正相关关系($P<0.01$),其中与实粒数的相关系数最大($R^2=0.720$);穗粒数与结实率、千粒重、谷粒

直径、谷粒圆度、谷粒宽均呈极显著负相关关系($P<0.01$),其中与谷粒宽的相关系数最大($R^2=-0.351$)。



X_1 , 播种期-始穗期时长; X_2 , 播种期-齐穗期时长; X_3 , 株高; X_4 , 剑叶长度; X_5 , 剑叶宽度; X_6 , 倒二叶长度; X_7 , 倒二叶宽度; X_8 , 穗长; X_9 , 实粒数; X_{10} , 空秕粒数; X_{11} , 穗粒数; X_{12} , 结实率; X_{13} , 单株重; X_{14} , 千粒重; X_{15} , 谷粒周长; X_{16} , 谷粒直径; X_{17} , 谷粒圆度; X_{18} , 谷粒长; X_{19} , 谷粒宽; X_{20} , 谷粒长宽比。下同。

X_1 , seeding date-first heading date; X_2 , seeding date-full heading date; X_3 , plant height; X_4 , flag leaf length; X_5 , flag leaf width; X_6 , last second leaf length; X_7 , last second leaf width; X_8 , panicle length; X_9 , grain number per panicle; X_{10} , number of empty grains; X_{11} , spikelets per panicle; X_{12} , seed setting rate; X_{13} , single plant weight; X_{14} , 1 000-grain weight; X_{15} , grain circumference; X_{16} , grain diameter; X_{17} , grain roundness; X_{18} , grain length; X_{19} , grain width; X_{20} , ratio of length to width for grain. The same below.

图1 水稻数量性状间的相关分析

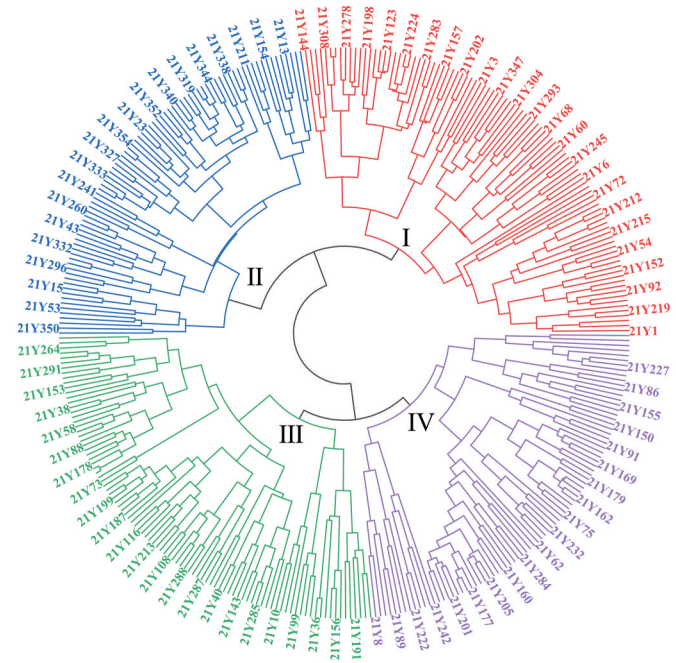
Fig. 1 Correlation between quantitative traits in rice

结实率与实粒数、单株重、千粒重、谷粒圆度、谷粒宽呈极显著正相关关系($P<0.01$),其中与实粒数的相关系数最大($R^2=0.344$);结实率与播种期-始穗期、播种期-齐穗期、倒二叶宽度、空秕粒数、谷粒长宽比均呈极显著负相关关系($P<0.01$),其中与空秕粒数的相关系数最大($R^2=-0.934$)(图1)。

千粒重与结实率、谷粒周长、直径、谷粒圆度、谷粒长、谷粒宽均呈极显著正相关关系($P<0.01$),其中与直径的相关系数最大($R^2=0.666$),千粒重与播种期-始穗期、播种期-齐穗期、实粒数、空秕粒数、穗粒数、谷粒长宽比均呈极显著负相关关系($P<0.01$),其中与空秕粒数的相关系数最大($R^2=-0.277$),见图1。由此可见,水稻产量构成因素由多个表型性状共同决定。

2.4 聚类分析

由图2可知,355份水稻材料被分为4大类群,再将4大类群的水稻品种的各数量性状使用SPSS 26.0进行雪费(Scheffe)法方差分析得到聚类结果(表4)。第I类群为97份材料,占总材料数的27.32%;此类群表现为谷粒较圆润、谷粒长、谷粒宽和谷粒长宽比均较低,属于极端粒型的特异性种质。第II类群为81份材料,占总材料的22.82%;此类群表现为播种期-始穗期和播种期-齐穗期较短、株高适宜、剑叶面积较大和结实率较高,属于潜在增产种质。第III类群94份材料,占总材料的26.48%;此类群表现为播种期-始穗期和播种期-齐穗期较长、空秕粒数较多,属于晚熟极端种质。第IV类群83份材料,占总材料的



I, 粒型特异性种质;II,潜在增产种质;III,晚熟极端种质;IV,优质高产种质。

I, grain type specific germplasm; II, potential increase in yield germplasm; III, late maturing extreme germplasm; IV, high quality and high-quality germplasm.

图2 基于水稻数量性状聚类

Fig. 2 Clustering based on quantitative traits in rice

23.38%。此类群表现为粒数和产量较高、粒型细长,属于优质高产种质。

2.5 主成分分析

对 355 份种质资源的 20 个数量性状的原始数据采用“极差法”标准化后进行主成分分析。通过对数据进行 KMO (0.700) 检验和 Bartlett’s 球形 (Sig<0.01) 检验发现,数据支持主成分分析,同时按照特征值≥1 的原则提取 5 个主成分,其成分累计贡献率为 74.989%(表 5)。

第 1 主成分特征值(PC₁)为 3.488,贡献率为 17.442%,在特征向量中,载荷较高且符号为正的性状有播种期-始穗期(0.836)、播种期-齐穗期(0.855)和结实率(0.839),该类型主要反映水稻生育期的影响,表明这些引进稻种资源在新疆生态环境下具有较丰富的生育时期特性。

第 2 主成分(PC₂)和第 3 主成分(PC₃)主要反映水稻籽粒形态因子。第 2 主成分特征值为 3.421,贡献率为 17.106%,特征向量中符号为正且载荷较高的为籽粒长宽比均值(0.965);圆度均值(-0.956)和宽均值(-0.772)的特征向量载荷为负且载荷较

高。第 3 主成分特征值为 3.145,贡献率为 15.724%。通过其载荷数值可以看出,籽粒的直径、周长均值、长均值、宽均值的增加均对千粒重有促进作用。说明在引进稻种资源中,籽粒的形状包括长宽比、圆度和宽均值等具有丰富的遗传变异。

第 4 主成分特征值(PC₄)为 3.056,贡献率为 15.278%,主要反映产量构成因素因子,表明水稻的株高、穗长、实粒数、穗粒数、结实率对单株产量的贡献,因此在育种过程中,要想获得高产应想办法把这些指标的贡献度增加。

第 5 主成分特征值(PC₅)为 1.888,贡献率为 9.439%。特征向量中,载荷较高且符号为正的性状有剑叶长度、剑叶宽度、倒二叶长度,特征向量分别为 0.837、0.652、0.785,主要反映叶片因子,叶片是光合作用的主要器官,是形成稻谷产量的重要基础。

2.6 综合评价

用表 5 中各主成分的“载荷值”除以其相应的“特征值的算术平方根”,得到各主成分中每个性状所对应的“特征向量”,由此获得 5 个主成分的得分表

表4 聚类结果统计

Table 4 Statistics on clustering results

性状 Trait	类群 Group			
	I	II	III	IV
播种期-始穗期/d Seeding date-First heading date	86.04 b	74.99 c	90.22 a	85.53 b
播种期-齐穗期/d Seeding date-Full heading date	92.37 b	81.99 c	96.39 a	91.77 b
株高/cm Plant height	84.50 b	81.01 b	83.53 b	90.47 a
剑叶长度/cm Flag leaf length	28.45 a	27.64 a	27.16 a	28.22 a
剑叶宽度/cm Flag leaf width	1.21 a	1.26 a	1.26 a	1.23 a
倒二叶长度/cm Last second leaf length	30.77 ab	31.73 a	29.55 b	30.48 a
倒二叶宽度/cm Last second leaf width	1.23 bc	1.16 c	1.32 ab	1.35 a
穗长/cm Panicle length	16.18 b	15.07 c	15.78 b	17.23 a
实粒数 Grain number per panicle	97.61 b	82.17 c	80.08 c	108.96 a
空秕粒数 Number of empty grains	34.12 b	17.06 c	58.64 a	31.75 b
穗粒数 Spikelets per panicle	131.72 a	99.23 b	138.72 a	140.71 a
结实率/% Seed setting rate	74.06 b	83.32 a	57.63 c	77.69 b
单株重/(g/株) Single plant weight	27.25 a	23.14 b	23.42 b	30.61 a
千粒重/g 1 000-grain weight	20.81 b	22.66 a	20.55 b	21.06 b
谷粒周长/mm Grain circumference	19.50 c	20.38 ab	20.26 b	20.71 a
谷粒直径/mm Grain diameter	5.19 b	5.37 a	5.21 b	5.24 b
谷粒圆度/mm Grain roundness	0.49 a	0.48 a	0.43 b	0.41 c
谷粒长/mm Grain length	7.75 c	8.12 b	8.25 b	8.49 a
谷粒宽/mm Grain width	3.67 b	3.75 a	3.45 c	3.40 c
谷粒长宽比 Ratio of length to width for grain	2.14 c	2.19 c	2.42 b	2.53 a

注：同一行数据不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Within the same row, different letters represent significant differences ($P<0.05$).

达式：

$$\begin{aligned}
 F_1 &= 0.448X_1 + 0.458X_2 + 0.014X_3 - 0.057X_4 - 0.054X_5 + 0.069X_6 - 0.164X_7 - 0.021X_8 + \\
 & 0.026X_9 + 0.474X_{10} - 0.297X_{11} + 0.449X_{12} - 0.002X_{13} + 0.111X_{14} - 0.004X_{15} + 0.032X_{16} + \\
 & 0.087X_{17} - 0.036X_{18} + 0.088X_{19} - 0.079X_{20} \\
 F_2 &= -0.042X_1 - 0.043X_2 + 0.151X_3 - 0.012X_4 + 0.010X_5 + 0.004X_6 + 0.075X_7 + 0.164X_8 - \\
 & 0.003X_9 - 0.056X_{10} + 0.035X_{11} - 0.070X_{12} - 0.025X_{13} - 0.112X_{14} + 0.262X_{15} - 0.028X_{16} - \\
 & 0.517X_{17} + 0.368X_{18} - 0.417X_{19} + 0.522X_{20} \\
 F_3 &= 0.027X_1 + 0.024X_2 - 0.012X_3 + 0.013X_4 + 0.037X_5 + 0.039X_6 - 0.073X_7 - 0.007X_8 - \\
 & 0.067X_9 + 0.044X_{10} - 0.083X_{11} + 0.021X_{12} + 0.092X_{13} + 0.423X_{14} + 0.480X_{15} + 0.546X_{16} - \\
 & 0.034X_{17} + 0.401X_{18} + 0.310X_{19} + 0.049X_{20} \\
 F_4 &= -0.106X_1 - 0.086X_2 + 0.342X_3 + 0.041X_4 + 0.066X_5 - 0.020X_6 + 0.152X_7 + 0.382X_8 + \\
 & 0.523X_9 + 0.042X_{10} + 0.392X_{11} + 0.216X_{12} + 0.430X_{13} + 0.001X_{14} + 0.015X_{15} - 0.039X_{16} -
 \end{aligned}$$

表5 前5个主成分的特征值及特征向量描述
Table 5 The eigenvalues and eigenvectors of the first five principal components

性状 Trait	第1成分 PC ₁	第2成分 PC ₂	第3成分 PC ₃	第4成分 PC ₄	第5成分 PC ₅
播种期-始穗期 (X ₁) Seeding date-First heading date	0.836	−0.077	0.047	−0.185	−0.084
播种期-齐穗期 (X ₂) Seeding date-Full heading date	0.855	−0.080	0.042	−0.150	−0.111
株高 (X ₃) Plant height	0.027	0.280	−0.021	0.597	0.100
剑叶长度 (X ₄) Flag leaf length	−0.107	−0.023	0.023	0.072	0.837
剑叶宽度 (X ₅) Flag leaf width	−0.100	0.018	0.065	0.116	0.652
倒二叶长度 (X ₆) Last second leaf length	0.129	0.008	0.069	−0.035	0.785
倒二叶宽度 (X ₇) Last second leaf width	−0.307	0.139	−0.129	0.266	0.236
穗长 (X ₈) Panicle length	−0.039	0.304	−0.012	0.668	0.149
实粒数 (X ₉) Grain number per panicle	0.049	−0.005	−0.119	0.914	−0.024
空秕粒数 (X ₁₀) Number of empty grains	0.886	−0.103	0.078	0.073	0.066
穗粒数 (X ₁₁) Spikelets per panicle	−0.554	0.065	−0.148	0.686	−0.063
结实率 (X ₁₂) Seed setting rate	0.839	−0.130	0.038	0.378	0.029
单株重 (X ₁₃) Single plant weight	−0.003	−0.046	0.164	0.751	0.044
千粒重 (X ₁₄) 1 000-grain weight	0.207	−0.207	0.750	0.001	−0.006
谷粒周长 (X ₁₅) Grain circumference	−0.008	0.484	0.851	0.026	0.093
谷粒直径 (X ₁₆) Grain diameter	0.059	−0.052	0.968	−0.069	0.096
谷粒圆度 (X ₁₇) Grain roundness	0.163	−0.956	−0.061	−0.170	0.001
谷粒长 (X ₁₈) Grain length	−0.068	0.680	0.712	0.071	0.067
谷粒宽 (X ₁₉) Grain width	0.164	−0.772	0.549	−0.163	0.055
谷粒长宽比 (X ₂₀) Ratio of length to width for grain	−0.148	0.965	0.087	0.144	0.013
特征值 Characteristic value	3.488	3.421	3.145	3.056	1.888
方差贡献率/% Variance contribution rate	17.442	17.106	15.724	15.278	9.439
累计贡献率/% Accumulated contribution rate	17.442	34.548	50.272	65.550	74.989

$0.097X_{17}+0.041X_{18}-0.093X_{19}+0.082X_{20}$
 $F_5=-0.061X_1-0.081X_2+0.073X_3+0.609X_4+$
 $0.475X_5+0.571X_6+0.172X_7+0.108X_8-$
 $0.017X_9+0.048X_{10}-0.046X_{11}+0.021X_{12}+$
 $0.032X_{13}-0.004X_{14}+0.068X_{15}+0.070X_{16}+$
 $0.001X_{17}+0.049X_{18}+0.040X_{19}+0.009X_{20}$
将“极差法”标准化后的20个表型性状
 $X_1\sim X_{20}$ 带入5个主成分表达式中,根据 $F_1\sim F_5$,以

每个主成分所对应的“方差贡献度”占所提取主成分的“累计贡献度”的比例作为权重,构建主成分综合评价模型: $F=(0.174\ 42F_1+0.171\ 06F_2+$
 $0.157\ 24F_3+0.152\ 78F_4+0.094\ 39F_5)/0.749\ 89$,
综合得分(F)越高种质表现越好。355份水稻种质资源综合得分范围在0.416 8~1.240 8,综合得分排名前10名的依次为‘21Y137’>‘21Y271’>‘21Y162’>‘21Y280’>‘21Y276’>‘21Y87’>

‘21Y132’>‘21Y254’>‘21Y294’>‘21Y318’,均为类群IV,属于高产粒型优异种质,可以作为选育高产优质水稻材料的亲本和中间材料,见表6。

表6 水稻种质资源综合评价前十名

Table 6 Top 10 comprehensive evaluation of rice germplasm resources

排名 Rank	材料 Material	F	类群 Group
1	21Y137	1.240 8	IV
2	21Y271	1.205 2	IV
3	21Y162	1.117 5	IV
4	21Y280	1.116 2	IV
5	21Y276	1.111 0	IV
6	21Y87	1.096 3	IV
7	21Y132	1.087 3	IV
8	21Y254	1.071 6	IV
9	21Y294	1.058 7	IV
10	21Y318	1.035 5	IV

3 讨 论

3.1 引进水稻资源表型性状的遗传多样性分析

不同的地形地貌、生态条件、气候环境条件造就了丰富多样的稻种资源^[25],性状是品种遗传改良和新品种选育的基础,对种质资源的保护、研究和利用可增强水稻对栽培环境的适应能力^[26],可实现突破性育种。本研究结果表明,引进的种质资源变异类型较丰富,其中空秕粒数、单株重、实粒数、穗粒数这4个表型性状在参试材料间具有丰富的变异度,选择空间大,可作为水稻育种应用的创新种质,这与贺治洲等^[19]和宫彦龙等^[23]的结论基本一致。水稻产量构成因素与数量性状之间存在不同程度的正负相关性,因此,在水稻新品种选育工作中,要协调好各性状间的促进与抑制作用,才能更好地为品种改良服务。

在育种过程中长期近亲杂交和高产的定向选种导致现代水稻品种的遗传力逐渐趋于一致,丧失优良基因,产量水平难以突破,为拓宽水稻种质资源的遗传基础,对引进水稻种质进行遗传多样性研究显得尤为必要^[27]。李自超等^[28]利用31个表型性

状研究云南地方稻种资源的遗传多样性,发现其遗传多样性丰富,以滇西南和滇东南的遗传多样性最大,籼稻多样性小于粳稻。赵璐等^[21]对104份宁夏和89份新疆水稻种质资源的14个数量性状的遗传多样性进行分析,发现宁夏和新疆的特殊气候地理环境使得育种工作者往往选择熟期较早、农艺性状较好的品种(系)作为亲本,使得亲本的选择过于单一化。本研究中355份水稻的20个数量性状遗传多样性指数(H')介于1.713~2.067,这与陈越等^[25]在云南省对我国6个省份60份水稻资源15个表型性状进行研究结果基本一致;但与张志鹏等^[29]研究的结论差异较大,造成这种情况的原因可能是水稻种质资源的来源和数量不同所致。此外,本研究认为外引供试水稻材料来源广泛且生态类型丰富,改良潜力较大,可为新疆水稻新品种的选育提供优异的种质基础。

3.2 水稻种质资源基于表型性状综合评价

新疆属于西北典型的单季稻作区,具有日照时间长、昼夜温差大等独特的地域气候特点,根据新疆的生态环境将水稻熟期划分为中熟稻区(北疆)、中晚熟稻区(南疆),形成了与之相适应的水稻品种群^[30]。当前新疆水稻种质资源的保存数量稀少,亲缘关系较近^[6],因此,水稻种质资源引进、收集和评价等过程中均会考虑水稻地域适应性。本研究对355份水稻种质资源的20个数量性状进行主成分分析,提取特征值>1.0的前5个主成分,累计贡献率达到74.989%,归纳出的水稻生育期因子、籽粒形态因子、产量构成因素因子、叶片因子,可有效包含表型性状的大部分信息。

聚类分析是常用的分析方法,但因聚类方法选择、种质资源数量、地域来源、试验调查的农艺性状指标及数量等不同,致使所分类群不一致^[18, 21]。本研究通过聚类分析将水稻材料分为4个类群,类群I属于极端粒型的特异性种质,类群II属于潜在增产种质,类群III属于晚熟极端种质,类群IV属于优质高产种质。通过综合评价得出前10名均为类群IV的种质,其品种来源为辽宁4个、吉林和黑龙江各2个、宁夏和北京各1个,特征表现为实粒数、穗粒数、结实率均较高的中晚熟高秆品种,属于性状较好的潜力种质资源。这说明纬度与新疆相近区域的水稻优质品种更适于引进新疆稻作区种植,但大面积种植需进一步筛选,以避免高秆倒伏和生育期长致

使穗底部不成熟、籽粒不饱满、空秕粒数增加等情况发生。此外,在水稻选育过程中可根据各类群组成结构及其性状特点来选择所需的亲本材料。但表型性状研究存在一定的局限性,受到基因型和环境等共同影响,最终表型是由多因素综合反映的结果^[31-32],今后育种发展还需结合分子标记技术^[33]进一步对水稻资源的遗传多样性进行检测。

4 结 论

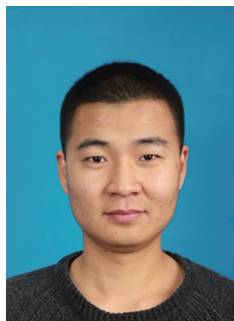
参试水稻种质资源类型较为丰富,数量性状多样性指数较高,穗粒数、结实率、千粒重均与其他表型性状间相连紧密。通过对355份水稻种质资源进行聚类分析、主成分分析及权重综合评价,综合得分前10名的种质资源依次为‘21Y137’‘21Y271’‘21Y162’‘21Y280’‘21Y276’‘21Y87’‘21Y132’‘21Y254’‘21Y294’‘21Y318’均为类群IV高产粒型优异种质,可作为新疆优质高产水稻育种的亲本材料。

参考文献 References

- [1] Afsari A, Wang C L, Wang J, Wang F J, Liu P Q, Gao Y, Tang Y C, Zhao K J. Engineered dwarf male-sterile rice: A promising genetic tool for facilitating recurrent selection in rice [J/OL]. *Frontiers in Plant Science*, (2017-12-13). DOI:10.3389/fpls.2017.02132
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴2022[M]. 北京: 中国统计出版社, 2022
National Statistical Office. *China Statistical Yearbook 2022* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2022 (in Chinese)
- [3] Huang X H, Kurata N, Wei X H, Wang Z X, Wang A H, Zhao Q, Zhao Y, Liu K Y, Lu H Y, Li W J, Guo Y L, Lu Y Q, Zhou C C, Fan D L, Weng Q J, Zhu C R, Huang T, Zhang L, Wang Y C, Feng L, Furuumi H, Kubo T, Miyabayashi T, Yuan X P, Xu Q, Dong G J, Zhan Q L, Li C Y, Fujiyama A, Toyoda A, Lu T T, Feng Q, Qian Q, Li J Y, Han B. A map of rice genome variation reveals the origin of cultivated rice [J]. *Nature*, 2012, 490(7421):497-501
- [4] 王荣栋, 尹经章. 作物栽培学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005
Wang R D, Yin J Z. *Crop Cultivation* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2005 (in Chinese)
- [5] 郭海瑞, 赵立纯, 窦超银. 稻田人工湿地氮磷去除机制及其研究进展[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(6): 23-26
Guo H R, Zhao L C, Dou C Y. Nitrogen and phosphorus removal mechanism and research progress in paddy field constructed wetland [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(6): 23-26 (in Chinese)
- [6] 部丽群, 田玲, 赵璐, 杨治伟, 赵娜, 金润, 田蕾, 张银霞, 杨淑琴, 李培富. 外引水稻种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 河南农业科学, 2018, 47(5): 28-35
Bu L Q, Tian L, Zhao L, Yang Z W, Zhao N, Jin R, Tian L, Zhang Y X, Yang S Q, Li P F. Genetic diversity analysis of phenotypic traits of rice germplasm resources introduced from elsewhere [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2018, 47(5): 28-35 (in Chinese)
- [7] 江川, 朱业宝, 李清华, 陈立喆, 张海峰, 王金英. 福建水稻地方品种的调查收集与鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(1): 126-136
Jiang C, Zhu Y B, Li Q H, Chen L Z, Zhang H F, Wang J Y. Investigation, collection, identification and evaluation of rice landraces in Fujian Province of China [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(1): 126-136 (in Chinese)
- [8] 吕树伟, 江立群, 唐璇, 张静, 孙炳蕊, 刘清, 毛兴学, 于航, 吴柔贤, 范芝兰, 陈文丰, 潘大建, 李晨. 广东省水稻种质资源系统收集与鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(2): 412-421
Lv S W, Jiang L Q, Tang X, Zhang J, Sun B R, Liu Q, Mao X X, Yu H, Wu R X, Fan Z L, Chen W F, Pan D J, Li C. Systematic field collection and identification and evaluation of rice germplasm resources in Guangdong Province [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, 23(2): 412-421 (in Chinese)
- [9] Glaszmann J C, Kilian B, Upadhyaya H D, Varshney R K. Accessing genetic diversity for crop improvement [J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2010, 13(2): 167-173
- [10] 张一中, 张晓娟, 梁笃, 郭琦, 范昕琦, 聂萌恩, 王绘艳, 赵文博, 杜维俊, 柳青山. 基于表型性状的高粱育种材料遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2023, 56(15): 2837-2857
Zhang Y Z, Zhang X J, Liang D, Guo Q, Fan X Q, Nie M E, Wang H Y, Zhao W B, Du W J, Liu Q S. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of sorghum breeding materials based on phenotypic traits [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2023, 56(15): 2837-2857 (in Chinese)
- [11] Tang R Y, Cui D, Zhou J, Li W Q, Ma X D, Han B, Guo X H, Zhao Z W, Han L Z. Comparative analysis of genetic diversity of rice (*Oryza sativa* L.) varieties cultivated in different periods in China [J]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2021, 68: 1439-1451
- [12] Zhang H L, Zhang D L, Wang M X, Sun J L, Qi Y W, Li J J, Wei X H, Han L Z, Qiu Z E, Tang S X, Li Z C. A core collection and mini core collection of *Oryza sativa* L. in China [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2011, 122(1): 49-61
- [13] 周远航, 鲁伟丹, 马小龙, 高江龙, 樊晓琴, 郭建富, 陈友强, 林明, 石书兵. 籽瓜种质资源表型性状鉴定及遗传多样性分析[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(8): 119-132
Zhou Y H, Lu W D, Ma X L, Gao J L, Fan X Q, Guo J F, Chen Y Q, Lin M, Shi S B. Phenotypic characters identification and genetic diversity analysis of seed melon germplasm resources [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(8): 119-132 (in Chinese)
- [14] Jia G Q, Huang X H, Zhi H, Zhao Y, Zhao Q, Li W J, Chai Y, Yang L F, Liu K Y, Lu H Y, Zhu C R, Lu Y Q, Zhou C C, Fan D L, Weng Q J, Guo Y L, Huang T, Zhang L, Lu T T, Feng Q, Hao H F, Liu H K, Lu P, Zhang N, Li Y H, Guo E H, Wang S J, Wang S Y, Liu J R, Zhang W F, Chen G Q, Zhang B J, Li W, Wang Y F, Li H Q, Zhao B H, Li J Y, Diao X M, Han B. A haplotype map of genomic variations and genome-wide association studies of agronomic traits in foxtail millet (*Setaria italica*) [J]. *Nature Genetics*, 2013, 45(8):957-961
- [15] 王雪飞, 李婷婷, 郑云霄, 李召辉, 贾晓艳, 赵永锋, 祝丽英, 宋伟彬, 郭晋杰. 132份爆裂玉米自交系的相关性状鉴定及杂种优势类群划分[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(5): 25-33
Wang X F, Li T T, Zheng Y X, Li Z H, Jia X Y, Zhao Y F, Zhu L Y, Song W B, Guo J J. Identification of related traits and classification of heterotic groups for 132 popcorn inbred lines [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(5): 25-33 (in Chinese)
- [16] 李慧琴, 于姪, 王鹏, 刘记, 胡伟, 鲁丽丽, 秦文强. 270份陆地棉种质资源农艺性状与品质性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(4): 903-910

- Li H Q, Yu Y, Wang P, Liu J, Hu W, Lu L L, Qin W Q. Genetic diversity analysis of the main agronomic and fiber quality characteristics in 270 upland cotton germplasm resources [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(4): 903-910 (in Chinese)
- [17] 杨涛, 黄雅婕, 李生梅, 任丹, 崔进鑫, 庞博, 于爽, 高文伟. 海岛棉种质资源表型性状的遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2021, 54(12): 2499-2509
- Yang T, Huang Y J, Li S M, Ren D, Cui J X, Pang B, Yu S, Gao W W. Genetic diversity and comprehensive evaluation of phenotypic traits in sea-Island cotton germplasm resources [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(12): 2499-2509 (in Chinese)
- [18] 李振姣, 马斯霜, 部丽群, 李耀栋, 唐辉, 张银霞, 田蕾, 李培富. 宁夏外引水稻种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 117-121
- Li Z J, Ma S S, Bu L Q, Li Y D, Tang H, Zhang Y X, Tian L, Li P F. Genetic diversity analysis of phenotypic traits of rice germplasm resources in Ningxia [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2016, 44(8): 117-121 (in Chinese)
- [19] 贺治洲, 尹明, 谢振宇, 沈建凯. 热带水稻优异种质资源的表型遗传多样性分析[J]. 热带农业科学, 2014, 34(9): 37-42
- He Z Z, Yin M, Xie Z Y, Shen J K. Genetic diversity of tropical rice germplasms measured by phenotypic traits [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2014, 34(9): 37-42 (in Chinese)
- [20] 胡标林, 万勇, 李霞, 雷建国, 罗向东, 严文贵, 谢建坤. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物学报, 2012, 38(5): 829-839
- Hu B L, Wan Y, Li X, Lei J G, Luo X D, Yan W G, Xie J K. Analysis on genetic diversity of phenotypic traits in rice (*Oryza sativa*) core collection and its comprehensive assessment [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(5): 829-839 (in Chinese)
- [21] 赵璐, 杨治伟, 部丽群, 田玲, 苏梅, 田蕾, 张银霞, 杨淑琴, 李培富. 宁夏和新疆水稻种质资源表型遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物杂志, 2018(1): 25-34
- Zhao L, Yang Z W, Bu L Q, Tian L, Su M, Tian L, Zhang Y X, Yang S Q, Li P F. Analysis and comprehensive evaluation of phenotypic genetic diversity of Ningxia and Xinjiang rice germplasm [J]. *Crops*, 2018(1): 25-34 (in Chinese)
- [22] 韩龙植, 魏兴华. 水稻种质资源描述规范和数据标准[M]. 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)* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006 (in Chinese)
- [23] 宫彦龙, 雷月, 闫志强, 刘雪薇, 张大双, 吴健强, 朱速松. 不同生态区粳稻资源表型遗传多样性综合评价[J]. 作物杂志, 2020(5): 71-79
- Gong Y L, Lei Y, Yan Z Q, Liu X W, Zhang D S, Wu J Q, Zhu S S. Comprehensive evaluation of phenotype genetic diversity in Japonica rice germplasm resources in different ecological zones [J]. *Crops*, 2020(5): 71-79 (in Chinese)
- [24] 宋慧, 臧贺藏, 李国强, 解慧芳, 邢璐, 李龙, 王素英, 刘金荣, 郑国清. 基于谷子种质资源表型性状构建骨干种质库[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(12): 102-115
- Song H, Zang H C, Li G Q, Xie H F, Xing L, Li L, Wang S Y, Liu J R, Zheng G Q. Construction of backbone germplasm bank based on the phenotypic traits of foxtail millet [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(12): 102-115 (in Chinese)
- [25] 陈越, 张敦宇, 丁明亮, 王玲仙, 肖素勤, 柯学, 程在全. 多个省份水稻资源的表型多样性与优异资源的筛选[J]. 浙江农业学报, 2019, 31(11): 1779-1789
- Chen Y, Zhang D Y, Ding M L, Wang L X, Xiao S Q, Ke X, Cheng Z Q. Phenotypic diversity of rice resources in multiple provinces and screening of excellent resources [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2019, 31(11): 1779-1789 (in Chinese)
- [26] 唐如玉, 邹玉霞, 陈娇, 雷丽霞, 唐江红, 甘露, 张佳妮, 罗兰, 沈航, 台琳玉, 赵正武. 三峡库区优异稻种资源遗传多样性及群体结构分析[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(6): 1408-1417
- Tang R Y, Zou Y X, Chen J, Lei L X, Tang J H, Gan L, Zhang J N, Luo L, Shen H, Tai L Y, Zhao Z W. Unlocking the genetic diversity and population structure of excellent rice germplasm in the Three Gorges Reservoir Area [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(6): 1408-1417 (in Chinese)
- [27] Campbell D R. Using phenotypic manipulations to study multivariate selection of floral trait associations [J]. *Annals of Botany*, 2009, 103(9): 1557-1566
- [28] 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[J]. 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 [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(6): 832-837 (in Chinese)
- [29] 张志鹏, 李菁, 林参, 王兴龙, 严卫古, 朱明超. 104个粳稻品种(系)的产量性状遗传多样性分析及优良种质资源筛选[J]. 大麦与谷类科学, 2022, 39(3): 22-34
- Zhang Z P, Li J, Lin S, Wang X L, Yan W G, Zhu M C. Genetic diversity analysis of yield-related traits and selection of superior germplasm from 104 Geng rice varieties (lines) [J]. *Barley and Cereal Sciences*, 2022, 39(3): 22-34 (in Chinese)
- [30] 张燕红, 王奉斌, 布哈丽且木·阿不力孜, 袁杰, 赵志强, 文孝荣, 唐福森, 马盾. 粳稻种质资源 SSR 指纹图谱构建及遗传多样性分析[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(11): 1961-1968
- Zhang Y H, Wang F B, Buhaliqiemu·Abulizi, Yuan J, Zhao Z Q, Wen X R, Tang F S, Ma D. DNA fingerprints and genetic diversity analysis based on SSR markers for *Japonica* rice resources in Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2016, 53(11): 1961-1968 (in Chinese)
- [31] 王晓映, 张方玉, 万星, 王成琪, 刘燚, 肖本泽. 基于分子标记和表型性状的水稻地方品种遗传多样性研究[J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(3): 636-647
- Wang X Y, Zhang F Y, Wan X, Wang C Q, Liu Y, Xiao B Z. Diversity of rice landraces revealed by molecular markers and phenotypic traits [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(3): 636-647 (in Chinese)
- [32] Wani G A, Shah M A, Tekeu H, Reshi Z A, Atangana A R, Khasa D P. Phenotypic variability and genetic diversity of *Phragmites australis* in Quebec and Kashmir reveal contrasting population structure [J/OL]. *Plants*, (2020-10-20). DOI: 10.3390/plants9101392
- [33] 董俊杰, 曾宇翔, 季芝娟, 梁燕, 杨长登. 273份水稻种质资源的遗传多样性、群体结构与连锁不平衡分析[J]. 中国水稻科学, 2021, 35(2): 130-140
- Dong J J, Zeng Y X, Ji Z J, Liang Y, Yang C D. Analysis on genetic diversity, population structure, and linkage disequilibrium of 273 rice germplasms [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2021, 35(2): 130-140 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅



第一作者简介: 杜孝敬, 硕士, 新疆农业科学院粮食作物研究所助理研究员, 主要从事稻种资源及水稻栽培技术研究。先后主持新疆维吾尔自治区研究生创新科研项目(XJ2019G159)和自治区青年科学基金项目(2022D01B161); 参与国家及新疆维吾尔自治区各类科研项目4项, 获实用新型专利授权1项, 以第一作者在国内核心期刊发表论文5篇。



通讯作者简介: 王奉斌, 研究员, 现任国家水稻产业技术体系乌鲁木齐综合试验站站长, 国家耐盐碱水稻技术创新中心副主任/西北中心主任, 中国作物学会水稻专业委员会第三届委员会委员, 新疆核学会理事, 新疆原子能农学会副理事长, 新疆维吾尔自治区稻麦审定组委员, 自治区自然科学基金专家, 自治区水稻首席专家, 《北方水稻》编委。主要从事水稻新品种选育与栽培技术研究工作。主持和参与完成国家、自治区水稻科研项目50多项, 主持参与选育审(认)定水稻新品种43个, 获省部级科技进步二等奖2项、三等奖4项, 地(市)级科技进步一等奖2项、二、三等奖各3项。获发明专利2项, 新品种保护权3项, 实用新型专利11项, 软件著作权13项, 制定水稻标准6项, 发表论文80余篇, 其中SCI收录3篇、专著3部。



通讯作者简介: 张燕红, 博士, 新疆农业科学院核技术生物技术研究所研究员, 主要从事新品种选育与栽培技术研究工作。主持新疆维吾尔自治区级科研项目5项, 参与完成国家和新疆维吾尔自治区各类科研项目21项, 获省部级科技进步二等奖2项, 参与选育审(认)定水稻新品种29个。获植物新品种保护权2项, 实用新型专利13项, 软件著作权16项, 制定水稻标准2项, 以第一作者发表论文11篇, 其中SCI收录1篇, 参编专著1部。