

曹鹏辉, 于雅洁, 宋云生, 等. 太湖地区粳稻地方种质资源的表型多样性分析与评价[J]. 江苏农业学报, 2025, 41(7): 1249-1259.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2025.07.001

# 太湖地区粳稻地方种质资源的表型多样性分析与评价

曹鹏辉, 于雅洁, 宋云生, 陈飞, 谢裕林, 董明辉, 乔中英, 袁彩勇  
(江苏太湖地区农业科学研究所, 江苏 苏州 215106)

**摘要:** 为了解和评估太湖地区粳稻地方种质资源遗传多样性水平, 拓宽粳稻育种中亲本的遗传选择基础, 本研究对太湖地区 206 份粳稻种质资源的 13 个表型性状进行多样性分析及综合评价。结果表明, 206 份粳稻种质资源的 13 个表型性状的变异系数为 2.33%~23.43%, 多样性指数为 1.35~2.09, 说明太湖地区粳稻种质资源的遗传多样性较为丰富。13 个表型性状的前 7 个主成分的累计贡献率为 86.89%, 包含绝大部分遗传信息, 能代表太湖地区粳稻种质资源的基本特征。全生育期天数、剑叶长、株高、穗长、每穗总粒数和谷粒长宽比 6 个表型性状显著影响综合评价 *D* 值的大小, 可作为太湖地区粳稻种质资源评价的关键指标。206 份粳稻种质资源聚类分为 3 大类群, 其中第 III 类群的综合性状最优。

**关键词:** 粳稻; 种质资源; 表型多样性; 综合评价

中图分类号: S511.024 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2025)07-1249-11

## Phenotypic diversity analysis and evaluation of *japonica* rice germplasm resources in the Taihu Lake region

CAO Penghui, YU Yajie, SONG Yunsheng, CHEN Fei, XIE Yulin, DONG Minghui, QIAO Zhongying, YUAN Caiyong

(*Jiangsu Taihu Lake Region Institute of Agricultural Sciences, Suzhou 215106, China*)

**Abstract:** In order to understand and evaluate the genetic diversity level of *japonica* rice germplasm resources in the Taihu Lake region, and broaden the basis of genetic selection of parents in *japonica* rice breeding, the diversity and comprehensive evaluation of 13 phenotypic traits of 206 *japonica* rice germplasm resources in the Taihu Lake region were analyzed in this study. The results showed that the coefficient of variation of 13 phenotypic traits of 206 *japonica* rice germplasm resources was 2.33%–23.43%, and the diversity index was 1.35–2.09, indicating that the genetic diversity of *japonica* rice germplasm resources in the Taihu Lake region was abundant. The cumulative contribution rate of the first seven principal components of 13 phenotypic traits was 86.89%, which contained most of the genetic information and represented the basic characteristics of *japonica* rice germplasm resources in the Taihu Lake region. The six phenotypic traits, including whole growth period duration, flag leaf length, plant height, panicle length, total grain number per panicle and grain length-to-width ratio, significantly affected the comprehensive evaluation *D* value and could be used as the key indicators for the evaluation of *japonica* rice germplasm resources in the Taihu Lake region. The 206 *japonica* rice germplasm resources

were clustered into three groups, and the comprehensive traits of the group III were the best.

**Key words:** *japonica* rice; germplasm resources; phenotypic diversity; comprehensive evaluation

收稿日期: 2024-10-16

基金项目: 江苏省重点研发项目 (BE2022335); 苏州市科技计划项目 (SNG2023004)

作者简介: 曹鹏辉 (1990-), 男, 江西余干人, 博士, 助理研究员, 主要从事水稻遗传育种研究。 (E-mail) salute272@163.com

通讯作者: 乔中英, (E-mail) qiaozhongying@163.com; 袁彩勇, (E-mail) hysdyey@163.com

水稻是中国最重要的粮食作物之一, 全国超过半数的人口以稻米为主食<sup>[1]</sup>。江苏省是中国水稻主产

省之一,水稻常年种植面积保持在 $2.20 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 左右,其中粳稻面积占 90%以上,在保障国家粮食安全方面发挥了重要的作用<sup>[2]</sup>。近年来,水稻育种研究中,常采用遗传背景相似的亲本为骨干导致水稻新品种同质化严重,产量和品质水平难以取得大的突破<sup>[3]</sup>。大面积种植同一水稻品种容易造成大量优良基因的丢失,导致水稻的遗传多样性降低<sup>[4]</sup>,因此,生产中亟需拓宽水稻品种的遗传背景。太湖地区早在 8 000 年前就已经开始种植水稻,在长期种植水稻的过程中逐渐产生了丰富且极具特色的水稻种质资源<sup>[5]</sup>。敖雁等<sup>[6]</sup>研究发现太湖地区水稻种质资源在部分农艺性状和抗病虫性上存在较大变异,且在低肥水平下仍可获得较高产量。因此,分析和评估太湖地区粳稻种质资源的遗传多样性有助于筛选出优异种质,为水稻优质品种的选育提供优良的种质资源。

当前水稻种质资源的遗传多样性研究主要从表型、染色体、蛋白质、脱氧核苷酸等角度进行分析,其中表型特征是最为简单、有效、实用的方法<sup>[7-8]</sup>。张晓丽等<sup>[9]</sup>通过对东南亚 4 个国家的 298 份水稻种质资源进行表型多样性分析,结果发现菲律宾和缅甸的水稻种质资源遗传多样性比较丰富。陈丽等<sup>[10]</sup>以来自不同地区的 60 份水稻种质资源为基础,构建了水稻资源综合评价方程,为水稻种质资源的筛选以及在育种中的应用提供参考依据。杜孝敬等<sup>[11]</sup>对 355 份粳稻种质资源在新疆的遗传多样性进行分析,筛选出 10 份高产优异种质,为新疆地区水稻优质高产育种提供了亲本材料。马斯霜等<sup>[12]</sup>对宁夏地区选育的 132 份水稻品种和 13 份宁夏地方水稻品种的表型性状进行遗传多样性分析,发现选育的品种与地方品种之间存在明显的遗传差异,挖掘地方种质资源的优异基因可用于水稻品种改良。涂敏等<sup>[13]</sup>对云南省不同地理位置的水稻品种的遗传多样性进行了分析。陈越等<sup>[14]</sup>以云南省 881 份水稻种质资源为材料,通过主成分分析和综合评价筛选出 3 个综合性状较好的地方种质资源凤仪白谷、陆引 46 号和白霉谷,可作为培育高原特色水稻新品种的亲本或中间材料。杜怀东等<sup>[15]</sup>通过对 139 份粳稻种质资源的产量性状和籽粒矿质营养品质性状进行综合评价,筛选获得了 2 份矿质元素含量较高的高产材料,为培育高产优质水稻新品种提供了优异种质。

中国的水稻种质资源具有非常明显的地域特色,

其中太湖地区是粳稻种质资源的代表性区域。长期以来,由于生产需求以及耕作制度的变化,太湖稻区逐渐积累了丰富的地方水稻品种。本研究拟以江苏太湖地区农业科学研究所保存的 206 份太湖地区地方粳稻品种为材料,分析和评估其表型多样性水平,为江苏高产优质粳稻育种提供亲本或者中间材料。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

本研究选用的 206 份试验材料来源于江苏太湖地区农业科学研究所搜集和保存的太湖地区地方粳稻品种,试验材料的具体编号和名称详见表 1。

### 1.2 试验方法

试验于江苏太湖地区农业科学研究所望亭试验基地进行。2023 年 5 月 14 日落谷,6 月 15 日插秧,每份材料种植 4 行,每行 15 株,株距 $\times$ 行距为  $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ ,单本种植,所有供试材料均安排在相同田块。基肥为 45% 三元复合肥(N、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量均为 15%)  $750 \text{ kg}/\text{hm}^2$  和尿素  $55 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ;分蘖肥分别于移栽后 7 d 和 14 d 分 2 次施用,每次施尿素  $150 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。考虑到太湖地方种质资源类型丰富,抽穗时间相差较大以及植株高、抗倒性差、易倒伏等特殊情况,整个试验过程不施用穗肥。水分管理以及病虫害防治统一按照生产田块进行管理。表型性状的鉴定和记录按照文献<sup>[16]</sup>进行。主要调查试验材料的全生育期天数、单株有效穗数、剑叶长、剑叶宽、株高、穗长、每穗总粒数、每穗实粒数、结实率、千粒重、谷粒长、谷粒宽和谷粒长宽比等 13 个指标。齐穗期进行调查,每个品种调查 20 株。

### 1.3 数据处理

利用 WPS 2022 软件对原始数据进行统计与分析,计算出 206 份太湖地区粳稻种质资源表型性状的平均值、标准差以及变异系数。根据 Shannon-Winner 公式计算各农艺性状的多样性指数。利用 SPSS 23.0 软件对 206 份粳稻种质资源的 13 个表型性状进行相关性分析和主成分分析。根据文献<sup>[14]</sup>的方法首先计算前 7 个主成分的权重系数,再参照文献<sup>[17]</sup>的方法计算表型性状综合评价  $D$  值。进一步以综合评价  $D$  值作为因变量,以 13 个表型数据作为自变量,利用逐步回归方法构建综合评价指标  $D$  值的拟合方程。根据欧氏平方距离对 206 份粳稻种质资源进行聚类分析,并使用 Origin 8.0 进行绘图。

表 1 供试水稻种质资源编号及名称

Table 1 The names and numbers of the tested rice germplasm resources

编号	资源名称	编号	资源名称	编号	资源名称	编号	资源名称
1	木樨球	53	早十日黄稻	105	孔雀青	157	帽子头
2	白谷种	54	晚芦粟	106	陈家稻	158	BL7
3	双-3-1	55	南京青	107	洋飞来凤	159	8014
4	141-10	56	粗杆黄稻	108	一粒子	160	无芒早稻
5	有芒早稻	57	晚百歌	109	粗秆荔枝红	161	鸡粳稻
6	白米粉	58	芦花白	110	大稻头	162	白叠谷
7	芦苇稻	59	葡萄绿种	111	小白稻	163	石芦青
8	长种	60	四一二	112	金箍黄	164	小百野稻
9	奎稻	61	黄萁光	113	长箕绿种	165	黎里早粳
10	黄谷大稻头	62	学里青	114	矮石种	166	柏树青
11	583-6	63	314	115	老虎稻	167	霜降青
12	红秆荔枝红	64	石卢种	116	长黄稻	168	长子粳野稻
13	露捍青	65	矮萁野稻	117	矮脚黑头红	169	小红早
14	齐江青	66	双谷红	118	叠种	170	野白稻
15	香芦黄	67	润及种	119	葡萄种	171	白壳石稻
16	绿宝	68	大红稻	120	矮土种	172	西津野稻
17	处暑黄	69	晚野稻	121	大慢稻	173	学堂种
18	铁秆稻	70	红谷种	122	茭白叶青	174	呆长青
19	烧香种	71	黑头红	123	绿种	175	矮大种
20	江南晚	72	早野稻	124	矮黄种	176	麦节青
21	白芒绿种	73	三唛赤稻	125	摇矮子	177	路头红
22	乌黑头红	74	细壳落霜青	126	吴江鸡赤	178	老大种
23	立更青	75	常梗青	127	陈家种	179	立冬青
24	二粒瘪	76	叶里孟	128	慢绿种	180	早慢稻
25	鸭子黄	77	盛郎青	129	万年青	181	晚八果
26	白薄稻	78	十种慢稻	130	老虎种	182	矮落
27	红芒沙粳	79	老勿死	131	铁头红	183	大罗汉黄
28	红薄稻	80	矮箕绿种	132	黄谷梗稻	184	湖南黄
29	长黄种	81	摧稻	133	秆棵青	185	脚矮黑头红
30	黄稻	82	晚黑头红	134	减晚慢种	186	白香粳
31	晚光头	83	大绿种	135	细叠谷	187	红虹稻
32	新秀	84	乌黑头红	136	晚洋稻	188	芦紫红
33	早黄稻	85	慢红谷	137	洋铃稻	189	慢野稻
34	细秆黄	86	一时兴	138	黄绿种	190	铁梗青
35	矮脚芦花白	87	太湖青	139	大黑头红	191	矮红稻
36	蟹壳黄	88	橄榄青	140	矮脚太湖青	192	矮紫白
37	小黄稻	89	单谷红	141	迟田鸡青	193	上海青
38	菊花黄	90	飞来黄	142	晏红稻	194	铁秆青
39	矮萁光	91	百歌稻	143	大青种	195	花叠谷
40	洋稻飞来凤	92	八五三	144	青壳晚稻	196	一粒芒
41	晚中秋	93	九小种	145	青角 307 早	197	练塘种
42	大禾稻	94	风景稻	146	大粮 301	198	天落黄
43	鸡梗稻	95	晚黄稻	147	小红稻	199	协家种
44	老黄稻	96	捍棵青	148	黑种	200	红谷稻
45	三百粒头	97	三朝乔	149	赤谷晚稻	201	常熟黄
46	硬头颈	98	洋凤凰	150	尖粒子	202	老来黑
47	老叠谷	99	白芒短种	151	余赤 231-8	203	堆金谷
48	小罗汉黄	100	早黑头红	152	出阳 32-5	204	海冬青
49	千斤种	101	苏州青	153	黑稻	205	敲冰黄
50	盖稻青	102	小青稻	154	大粒京引	206	老头老来红
51	高粱青	103	硬头稻	155	粳 232		
52	黑嘴稻	104	四上裕	156	S009-2		

## 2 结果与分析

### 2.1 太湖地区粳稻主要农艺性状变异性分析

太湖地区 206 份粳稻种质资源的表型性状统计特征如表 2 所示。从表中可以看出,206 份太湖地区粳稻表型性状的变异程度存在显著差异,变异系数为 2.33%~23.43%。其中每穗总粒数(23.43%)和每穗实粒数(23.32%)的变异系数较大,其次分别为剑叶长(17.30%)、单株有效穗数(16.62%)、剑叶宽(15.15%)、谷粒长宽比(14.89%)、株高(14.62%)、穗长(13.26%)。全生育期天数、千粒重、谷粒长、谷粒宽的变异幅度较小,变异系数为 8.06%~9.57%,变异系数最小的是结实率,仅 2.33%。上述结果说明,太湖地区粳稻种质资源的表型性状具有丰富的变异度和多样性。

表 2 太湖地区粳稻表型遗传变异分析

Table 2 Analysis of phenotypic genetic variation of japonica rice in the Taihu Lake region

性状指标	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数 (%)
全生育期天数(d)	118.0	170.0	158.0	14.1	8.92
单株有效穗数(穗)	14.8	36.8	25.7	4.3	16.65
剑叶长(cm)	15.1	66.6	31.0	5.4	17.30
剑叶宽(cm)	0.6	1.9	1.3	0.2	15.15
株高(cm)	76.0	210.6	136.1	19.9	14.62
穗长(cm)	14.7	40.9	21.8	2.9	13.26
每穗总粒数	70.3	263.6	142.7	33.4	23.43
每穗实粒数	59.5	221.7	132.9	31.0	23.33
结实率(%)	82.3	96.9	93.1	2.2	2.33
千粒重(g)	20.5	36.9	27.6	2.6	9.57
谷粒长(mm)	6.47	10.50	7.69	0.62	8.06
谷粒宽(mm)	2.34	4.10	3.30	0.27	8.18
谷粒长宽比	1.92	3.87	2.35	0.35	14.89

### 2.2 太湖地区粳稻种质资源农艺性状表型多样性分析

遗传多样性指数反映了生物种群内部遗传变异的丰富程度,是评估种群适应环境和抵御外界压力能力的重要指标。太湖地区粳稻种质资源表型性状的多样性指数如图 1 所示。从图中可以看出,13 个表型性状的多样性指数为 1.35~2.09,平

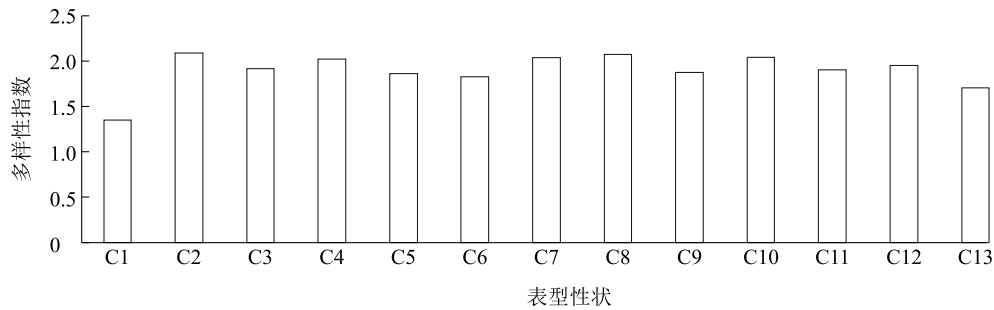
均为 1.90,其中全生育期天数的多样性指数最低,单株有效穗数的多样性指数最高。除全生育期天数外,其余 12 个农艺性状的多样性指数均在 1.50 以上,其中单株有效穗数、剑叶宽、每穗总粒数、每穗实粒数和千粒重的多样性指数均在 2.00 以上。说明太湖地区粳稻种质资源的遗传多样性较为丰富,对环境的适应能力总体较高。

### 2.3 太湖地区粳稻种质资源农艺性状的相关性分析

太湖地区 206 份粳稻种质资源 13 个农艺性状的相关性如图 2 所示。从图中可以看出,全生育期天数与单株有效穗数、株高、千粒重、谷粒宽均呈极显著正相关,说明太湖地区全生育期天数长的粳稻品种一般表现为穗数较多、植株较高、粒重高。剑叶长与剑叶宽、穗长和每穗总粒数呈极显著正相关,与株高和每穗实粒数显著正相关;剑叶宽与每穗总粒数和每穗实粒数呈极显著正相关,说明剑叶的形态一定程度上是影响水稻穗粒数的关键因素。穗长与每穗总粒数极显著正相关,与每穗实粒数显著正相关,每穗总粒数和每穗实粒数呈极显著正相关,说明稻穗长的种质资源穗粒数多;千粒重与谷粒宽呈极显著正相关,说明太湖地区粳稻的千粒重主要取决于粒宽。

### 2.4 太湖地区粳稻种质资源农艺性状的综合评价

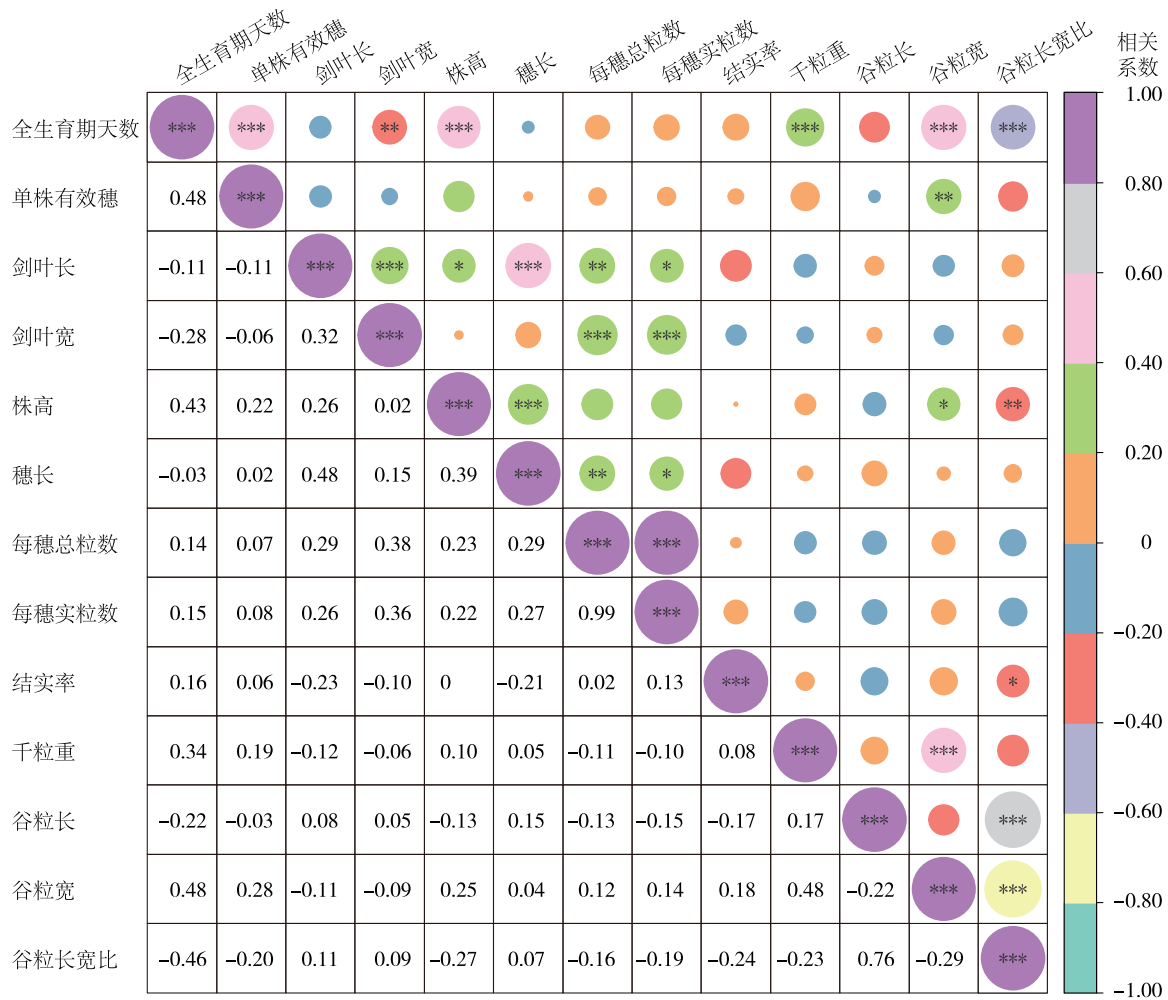
2.4.1 主成分分析 太湖地区 206 份粳稻种质资源的 13 个农艺性状主成分分析结果如表 3 所示。从表中可以看出,前 7 个主成分(PC1~PC7)的累积贡献率为 86.89%,说明这 7 个主成分能体现主要的遗传信息,是太湖地区粳稻表型特征的重要因子。PC1、PC2、PC3、PC4、PC5、PC6、PC7 的特征值分别为 1.802、1.640、1.279、1.081、1.009、0.916、0.835,贡献率分别为 24.99%、20.69%、12.58%、8.99%、7.84%、6.46%、5.37%。第一主成分(PC1)中谷粒宽性状的系数最大,第二主成分(PC2)中每穗总粒数和每穗实粒数的系数较大,第三主成分(PC3)中谷粒长的系数最大,第四主成分(PC4)中剑叶长的系数最大,第五主成分(PC5)中单株有效穗数的系数最大,第六主成分(PC6)中结实率的系数最大,第七主成分(PC7)中每穗总粒数的系数最大,说明 PC1~PC7 的主要调控因子分别为谷粒宽、穗粒数、谷粒长、剑叶长、单株有效穗、结实率、每穗总粒数。



C1:全生育期天数;C2:单株有效穗数;C3:剑叶长;C4:剑叶宽;C5:株高;C6:穗长;C7:每穗总粒数;C8:每穗实粒数;C9:结实率;C10:千粒重;C11:谷粒长;C12:谷粒宽;C13:谷粒长宽比。

图1 太湖地区粳稻种质资源 13 个表型性状的多样性指数

Fig.1 Diversity index of 13 phenotypic characters of japonica rice germplasm resources in the Taihu Lake region



左下角为相关系数;右上角不同颜色圆圈表示相关性大小; \*、\*\*、\*\*\* 分别表示表型性状间在 0.05、0.01 和 0.001 水平上相关。

图2 太湖地区粳稻种质资源 13 个表型性状的相关系数矩阵

Fig.2 Correlation coefficient matrix of 13 phenotypic traits of japonica rice germplasm resources in the Taihu Lake region

2.4.2 太湖地区粳稻种质资源的综合评价 根据文献[14]的方法计算得到的PC1~PC7 权重系数分别为 0.288、0.238、0.145、0.103、0.090、0.074 和

0.062,进而得到太湖地区 206 份粳稻种质资源的综合评价  $D$  值(表 4)。从表 4 中可以看出,编号为 138(黄绿种)、13(露捍青)、121(大慢稻)、92(八五

三)、18(铁秆稻)、126(吴江鸡赤)、41(晚中秋)、51(高粱青)8个种质的  $D$  值均在 1.00 以上,表明这 8 份水稻资源的综合性状总体较好,可作为粳稻育种的亲本或者中间材料加以利用。

表 3 太湖地区粳稻种质资源的主成分分析

Table 3 Principal component analysis of japonica rice germplasm resources in the Taihu Lake region

项目	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
全生育期天数	0.402	-0.148	0.207	-0.069	0.324	-0.022	0.089
单株有效穗	0.253	-0.088	0.250	-0.258	0.440	-0.457	-0.363
剑叶长	-0.001	0.416	0.191	0.313	-0.116	0.091	-0.230
剑叶宽	-0.017	0.369	-0.114	-0.196	-0.380	-0.346	-0.587
株高	0.296	0.155	0.302	0.294	0.252	0.243	-0.247
穗长	0.075	0.361	0.378	0.235	-0.062	0.249	0.086
每穗总粒数	0.254	0.457	-0.201	-0.265	0.090	-0.029	0.307
每穗实粒数	0.268	0.435	-0.232	-0.301	0.094	0.044	0.261
结实率	0.161	-0.154	-0.287	-0.329	0.042	0.711	-0.453
千粒重	0.194	-0.181	0.407	-0.308	-0.493	0.054	0.075
谷粒长	-0.284	0.082	0.464	-0.462	-0.021	0.143	0.091
谷粒宽	0.429	-0.149	0.103	-0.024	-0.393	-0.043	0.114
谷粒长宽比	-0.464	0.150	0.209	-0.270	0.247	0.091	-0.002
特征值	1.802	1.640	1.279	1.081	1.009	0.916	0.835
贡献率(%)	24.99	20.69	12.58	8.99	7.84	6.46	5.37
累积贡献率(%)	24.99	45.67	58.25	67.24	75.07	81.53	86.89

表 4 太湖地区粳稻种质资源的综合评价  $D$  值

Table 4 The comprehensive evaluation  $D$  value of japonica rice germplasm resources in the Taihu Lake region

编号	名称	$D$ 值	排名	编号	名称	$D$ 值	排名	编号	名称	$D$ 值	排名
138	黄绿种	2.07	1	115	老虎稻	0.46	41	177	路头红	0.15	81
13	露捍青	1.82	2	27	红芒沙粳	0.40	42	36	蟹壳黄	0.14	82
121	大慢稻	1.34	3	205	敲冰黄	0.40	43	43	鸡粳稻	0.14	83
92	八五三	1.30	4	31	晚光头	0.40	44	178	老大种	0.14	84
18	铁秆稻	1.27	5	56	粗秆黄稻	0.39	45	16	绿宝	0.13	85
126	吴江鸡赤	1.22	6	180	早慢稻	0.39	46	128	慢绿种	0.12	86
41	晚中秋	1.10	7	171	白壳石稻	0.37	47	194	铁秆青	0.12	87
51	高粱青	1.03	8	49	千斤种	0.37	48	113	长箕绿种	0.11	88
141	迟田鸡青	0.97	9	183	大罗汉黄	0.37	49	45	三百粒头	0.11	89
68	大红稻	0.88	10	173	学堂种	0.35	50	109	粗秆荔枝红	0.10	90
63	314	0.85	11	88	橄榄青	0.35	51	200	红谷稻	0.09	91
127	陈家种	0.83	12	15	香芦黄	0.35	52	79	老勿死	0.09	92
114	矮石种	0.82	13	53	早十日黄稻	0.34	53	86	一时兴	0.08	93
80	矮箕绿种	0.81	14	93	九小种	0.33	54	203	堆金谷	0.08	94
96	捍棵青	0.78	15	132	黄谷粳稻	0.33	55	135	细叠谷	0.07	95

续表4 Continued4

编号	名称	D 值	排名	编号	名称	D 值	排名	编号	名称	D 值	排名
120	矮土种	0.78	16	61	黄萁光	0.32	56	100	早黑头红	0.07	96
14	齐江青	0.73	17	87	太湖青	0.31	57	199	协家种	0.06	97
75	常梗青	0.73	18	97	三朝乔	0.30	58	107	洋飞来凤	0.06	98
67	润及种	0.69	19	72	早野稻	0.30	59	58	芦花白	0.06	99
60	四一二	0.68	20	35	矮脚芦花白	0.30	60	78	十种慢稻	0.05	100
37	小黄稻	0.67	21	44	老黄稻	0.30	61	57	晚百歌	0.05	101
136	晚洋稻	0.64	22	66	双谷红	0.29	62	105	孔雀青	0.04	102
34	细秆黄	0.64	23	46	硬头颈	0.28	63	131	铁头红	0.04	103
133	秆棵青	0.63	24	33	早黄稻	0.28	64	116	长黄稻	0.04	104
30	黄稻	0.58	25	101	苏州青	0.28	65	204	海冬青	0.03	105
40	洋稻飞来凤	0.55	26	69	晚野稻	0.25	66	50	盖稻青	0.03	106
189	慢野稻	0.54	27	140	矮脚太湖青	0.25	67	111	小白稻	0.03	107
108	一粒子	0.54	28	17	处暑黄	0.24	68	172	西津野稻	0.01	108
81	摧稻	0.54	29	52	黑嘴稻	0.24	69	187	红虹稻	0.01	109
71	黑头红	0.54	30	174	呆长青	0.23	70	23	立更青	0.01	110
74	细壳落霜青	0.52	31	188	芦紫红	0.23	71	83	大绿种	0.01	111
54	晚芦粟	0.51	32	95	晚黄稻	0.22	72	201	常熟黄	0	112
55	南京青	0.51	33	42	大禾稻	0.20	73	48	小罗汉黄	0	113
38	菊花黄	0.50	34	94	风景稻	0.19	74	162	白叠谷	-0.01	114
176	麦节青	0.50	35	142	晏红稻	0.19	75	195	花叠谷	-0.02	115
139	大黑头红	0.48	36	104	四上裕	0.19	76	76	叶里孟	-0.03	116
84	乌黑头红	0.47	37	90	飞来黄	0.18	77	85	慢红谷	-0.04	117
106	陈家稻	0.47	38	163	石芦青	0.18	78	198	天落黄	-0.05	118
70	红谷种	0.47	39	112	金箍黄	0.18	79	179	立冬青	-0.05	119
29	长黄种	0.46	40	197	练塘种	0.18	80	110	大稻头	-0.05	120
122	茭白叶青	-0.05	121	8	长种	-0.26	150	161	鸡哽稻	-0.63	179
91	百歌稻	-0.06	122	99	白芒短种	-0.28	151	22	乌黑头红	-0.67	180
147	小红稻	-0.06	123	192	矮紫白	-0.28	152	157	帽子头	-0.67	181
144	青壳晚稻	-0.06	124	196	一粒芒	-0.30	153	160	无芒早稻	-0.68	182
169	小红早	-0.07	125	62	学里青	-0.30	154	166	柏树青	-0.69	183
190	铁梗青	-0.07	126	19	烧香种	-0.31	155	6	白米粉	-0.70	184
102	小青稻	-0.07	127	137	洋铃稻	-0.32	156	165	黎里早粳	-0.73	185
77	盛郎青	-0.07	128	181	晚八果	-0.33	157	164	小百野稻	-0.73	186
47	老叠谷	-0.08	129	118	叠种	-0.35	158	11	583-6	-0.76	187
149	赤谷晚稻	-0.08	130	175	矮大种	-0.35	159	7	芦苇稻	-0.82	188
59	葡萄绿种	-0.10	131	64	石卢种	-0.36	160	159	8014	-0.84	189
98	洋凤凰	-0.10	132	65	矮萁野稻	-0.37	161	152	出阳 32-5	-0.85	190
20	江南晚	-0.10	133	12	红秆荔枝红	-0.38	162	32	新秀	-0.90	191
73	三哧赤稻	-0.10	134	134	减晚慢种	-0.38	163	170	野白稻	-1.07	192

续表4 Continued4

编号	名称	D 值	排名	编号	名称	D 值	排名	编号	名称	D 值	排名
148	黑种	-0.11	135	167	霜降青	-0.39	164	182	矮落	-1.07	193
39	矮莠光	-0.11	136	103	硬头稻	-0.39	165	156	S009-2	-1.09	194
9	奎稻	-0.14	137	123	绿种	-0.40	166	145	青角 307 早	-1.12	195
89	单谷红	-0.15	138	28	红薄稻	-0.40	167	146	大粮 301	-1.16	196
193	上海青	-0.16	139	21	白芒绿种	-0.41	168	191	矮红稻	-1.17	197
125	摇矮子	-0.18	140	25	鸭子黄	-0.42	169	3	双-3-1	-1.26	198
130	老虎种	-0.18	141	206	老头老来红	-0.45	170	2	白谷种	-1.27	199
129	万年青	-0.20	142	184	湖南黄	-0.45	171	150	尖粒子	-1.28	200
202	老来黑	-0.20	143	82	晚黑头红	-0.45	172	151	余赤 231-8	-1.45	201
117	矮脚黑头红	-0.20	144	26	白薄稻	-0.46	173	154	大粒京引	-1.45	202
143	大青种	-0.22	145	124	矮黄种	-0.48	174	158	BL7	-1.48	203
185	脚矮黑头红	-0.22	146	1	木樨球	-0.49	175	4	141-10	-1.66	204
119	葡萄种	-0.23	147	168	长子粳野稻	-0.52	176	153	黑稻	-1.68	205
10	黄谷大稻头	-0.24	148	24	二粒瘪	-0.53	177	155	粳 232	-2.04	206
186	白香粳	-0.25	149	5	有芒早稻	-0.56	178				

2.4.3 太湖地区粳稻种质资源综合评价指标的选择 利用太湖地区粳稻种质资源的综合评价  $D$  值及 13 个表型数据进行逐步回归分析,构建的综合评价  $D$  值的拟合回归方程为: $D = -5.342 + 0.011 \times X_1 + 0.020 \times X_3 + 0.009 \times X_5 + 0.067 \times X_6 + 0.007 \times X_7 - 0.340 \times X_{13}$ 。方程中的  $X_1$ 、 $X_3$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_{13}$  分别为全生育期天数、剑叶长、株高、穗长、每穗总粒数、谷粒长宽比,对应的标准系数分别为 0.508、0.480、0.734、0.622、0.676、-0.421。回归方程的相关系数( $R$ )为 0.995,决定系数( $R^2$ )为 0.992, $F$  值为 3 897,表明这 6 个农艺性状显著影响综合评价  $D$  值的大小。即全生育期天数、剑叶长、株高、穗长、每穗总粒数、谷粒长宽比可作为太湖地区粳稻种质资源综合评价的关键指标。

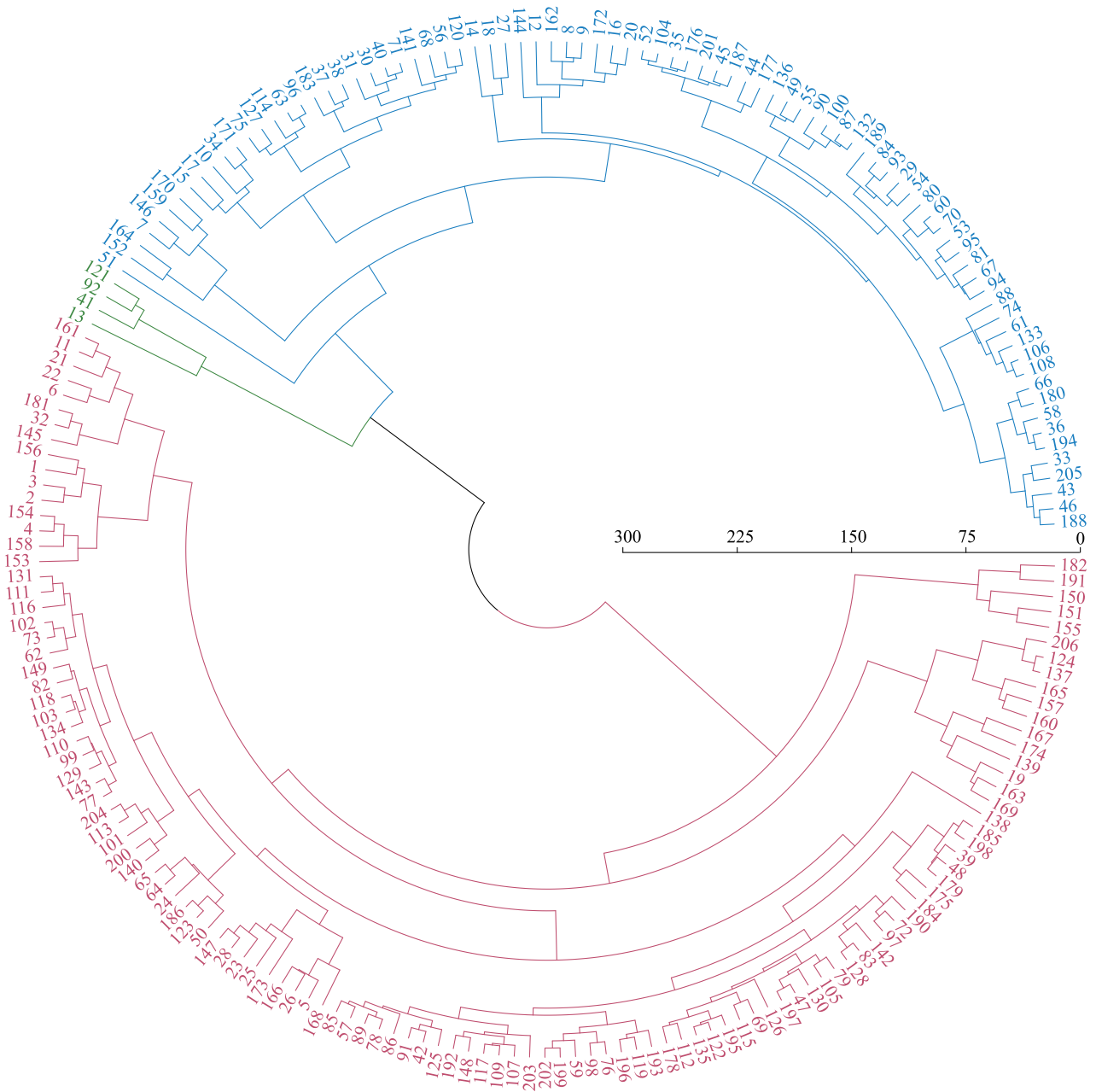
## 2.5 太湖地区粳稻种质资源表型性状的遗传多样性聚类分析

基于 13 个主要农艺性状的数据,太湖地区 206 份粳稻种质资源的聚类分析结果如图 3 和表 5 所示。在欧式平方距离 150 处可将 206 份太湖地区粳稻种质资源分为 3 大类群。第 I 类粳稻种质资源包括编号为 1、2、3、4、5、6、11、19、21、22、23、24、25、26、28、32、39、42、47、48、50、57、59、62、64、65、69、72、73、76、77、78、79、82、83、85、86、89、91、97、98、99、

101、102、103、105、107、109、110、111、112、113、115、116、117、118、119、122、123、124、125、126、128、129、130、131、134、135、137、138、139、140、145、147、148、149、150、151、153、154、155、156、157、158、160、161、163、165、166、167、168、169、173、174、175、178、179、181、182、184、185、186、190、191、192、193、195、196、197、198、199、200、202、203、204、206 等材料,占供试材料总数的 57.3%。该类群的特点是全生育期天数(157.6 d)少、剑叶长(29.9 cm)短、剑叶宽(1.2 cm)小、株高(133.6 cm)矮、每穗总粒数(119.1)和每穗实粒数(110.8)少、千粒重(28.0 g)大,其他农艺性状在 3 个类群中表现适中,综合性状一般。

第 II 类粳稻种质资源包括编号为 7、8、9、10、12、14、15、16、17、18、20、27、29、30、31、33、34、35、36、37、38、40、43、44、45、46、49、51、52、53、54、55、56、58、60、61、63、66、67、68、70、71、74、75、80、81、84、87、88、90、93、94、95、96、100、104、106、108、114、120、127、132、133、136、141、144、146、152、159、162、164、170、171、172、176、177、180、183、187、188、189、194、201、205 的材料,占供试材料总数的 40.8%。该类群的特点是结实率(93.6%)高、谷粒长(7.58 mm)短、谷粒宽(3.32 mm)大、谷粒长宽比(2.30)小、千粒重

(27.0 g)小,其他农艺性状在3个类群中均表现 适中,综合性状较好。



编号对应的种质资源见表1。

图3 太湖地区粳稻种质资源表型性状的聚类分析

Fig.3 Cluster analysis of phenotypic traits of japonica rice germplasm resources in the Taihu Lake region

第Ⅲ类粳稻种质资源包括编号为13、41、92、121等4个材料,占供试材料总数的1.9%。该类群的特点是全生育期天数(159.5 d)多、单株有效穗数(26.5)多、剑叶长(38.2 cm)长、剑叶宽(1.5 cm)大、株高(160.5 cm)高、穗长(26.8 cm)长、每穗总

粒数(239.1)和每穗实粒数(212.7)多、结实率(89.2%)低、谷粒长(7.83 cm)长、谷粒长宽比(2.47)大,其他农艺性状在3个类群中表现适中。该类群总体表现为株高偏高、结实率较高、穗大、穗粒数多、长粒型,综合性状最好,可作为水稻高产育

种的基础材料。

表 5 太湖地区粳稻种质资源各类群农艺性状均值

Table 5 The mean values of agronomic characters of japonica rice germplasm resources in the Taihu Lake region

类群	I	II	III
全生育期天数(d)	157.6	157.9	159.5
单株有效穗数(穗)	25.8	25.7	26.5
剑叶长(cm)	29.9	32.2	38.2
剑叶宽(cm)	1.2	1.3	1.5
株高(cm)	133.6	138.3	160.5
穗长(cm)	21.4	22.3	26.8
每穗总粒数	119.1	171.3	239.1
每穗实粒数	110.8	160.3	212.7
结实率(%)	93.0	93.6	89.2
千粒重(g)	28.0	27.0	27.3
谷粒长(mm)	7.77	7.58	7.83
谷粒宽(mm)	3.28	3.32	3.23
谷粒长宽比	2.39	2.30	2.47

### 3 讨论

丰富多样的种质资源是水稻品种遗传改良和创新利用的基础<sup>[18-24]</sup>。本研究通过对 206 份太湖地区粳稻种质资源的 13 个农艺性状的变异系数进行分析发现,不同农艺性状的变异程度存在显著差异,变异系数为 2.33%~23.43%。除结实率的变异系数低于 3.00% 外,其他农艺性状的变异系数均在 8% 以上,说明太湖地区粳稻种质资源具有丰富的变异度,可以为江苏粳稻品种改良提供丰富的变异来源。程雯慧等<sup>[25]</sup>研究认为,当多样性指数达到 1.00 时,群体的多样性程度高。本研究发现太湖地区粳稻种质资源的 13 个表型性状的多样性指数范围为 1.35~2.09,平均值为 1.90,说明太湖地区粳稻种质资源具有较高的遗传多样性,这与前人的研究结果<sup>[11,14,18,26-28]</sup>基本一致。丰富多样的太湖地区粳稻种质资源可为江苏粳稻新品种选育提供优异的基因资源,对栽培稻的遗传背景拓宽具有重要作用。

目前,对水稻种质资源的遗传多样性已有较多研究,但对水稻种质资源的综合评价研究相对较少。本研究基于 206 份太湖地区粳稻种质资源的 13 个表型性状的数据,采用主成分分析和隶属函数法计

算综合评价  $D$  值,从而对其综合性状的优劣进行客观的评价,为优异种质资源的筛选和利用提供重要的参考。206 份粳稻种质资源中综合评价  $D$  值较高的前 8 名编号依次为 138(黄绿种)、13(露捍青)、121(大慢稻)、92(八五三)、18(铁秆稻)、126(吴江鸡赤)、41(晚中秋)、51(高粱青),这 8 份材料的  $D$  值均在 1.00 以上,可作为粳稻品种选育的亲本或者中间材料加以利用。全生育期天数、剑叶长、株高、穗长、每穗总粒数和谷粒长宽比这 6 个表型性状显著影响综合评价  $D$  值的大小,可作为太湖地区粳稻种质资源评价的关键指标。随着分子生物学技术的发展,分子标记技术在分析水稻种质资源遗传多样性中的应用也越来越广泛<sup>[29]</sup>,因此,进一步的研究中可以考虑利用分子标记技术在基因水平上对 206 份地方粳稻资源的遗传多样性进行解析,结合表型数据分析结果,可以为育种家更精准地利用太湖地区粳稻种质资源提供参考。

### 参考文献:

- [1] 沈雨晴,张晨雨,纪萌萌,等. 江苏近 30 年审定粳稻品种间的遗传多样性分析[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2024,45(3):1-16.
- [2] 曾生元,李 闯,杜灿灿,等. 江苏主推粳稻品种的遗传多样性及产量优势分析[J]. 分子植物育种,2018,16(9):3024-3038.
- [3] HASSAN PERVAIZ Z, RABBANI M A, KHALIQ I, et al. Genetic diversity associated with agronomic traits using microsatellite markers in Pakistani rice landraces[J]. Electronic Journal of Biotechnology, 2010,13(3):4-5.
- [4] ZHU Y Y, CHEN H R, FAN J H, et al. Genetic diversity and disease control in rice[J]. Nature, 2000,406(6797):718-722.
- [5] 王才林,邹江石,汤陵华,等. 太湖流域新石器时期的古稻作[J]. 江苏农业学报,2000,16(3):129-138.
- [6] 敖 雁,王 安,崔小芬,等. 太湖地区水稻地方品种资源品质基因及性状的遗传评价[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):98-103.
- [7] HUANG X H, WEI X H, SANG T, et al. Genome-wide association studies of 14 agronomic traits in rice landraces[J]. Nature Genetics, 2010,42(11):961-967.
- [8] VEASEY E A, DA SILVA E F, SCHAMMASS E A, et al. Morphoagronomic genetic diversity in American wild rice species[J]. Brazilian Archives of Biology and Technology, 2008,51(1):94-104.
- [9] 张晓丽,吕荣华,王 强,等. 4 个东南亚国家水稻种质的表型多样性分析[J]. 西南农业学报,2017,30(12):2617-2623.
- [10] 陈 丽,孙建昌. 60 份不同来源粳稻种质资源表型性状的多样性分析及综合评价[J]. 中国稻米,2022,28(6):74-82.

- [11] 杜孝敬,张燕红,文孝荣,等. 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(3):13-26.
- [12] 马斯霜,李振姣,赵璐,等. 宁夏水稻地方品种与自育品种表型性状遗传多样性分析[J]. 西北农业学报,2017,26(2):216-226.
- [13] 涂敏,王云月,卢宝荣,等. 云南省不同地理位置水稻品种遗传多样性分析[J]. 热带作物学报,2011,32(6):998-1003.
- [14] 陈越,丁明亮,张敦宇,等. 云南水稻种质资源农艺性状表型多样性分析及综合评价[J]. 南方农业学报,2019,50(9):1922-1930.
- [15] 杜怀东,刘晓刚,刘阳,等. 粳稻种质资源产量性状和籽粒矿物质营养品质综合评价[J]. 植物遗传资源学报,2023,24(5):1277-1290.
- [16] 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,2006:3-120.
- [17] 杨海龙,王晖,雷锦超,等. 浙江省早籼稻种质资源的表型多样性分析与评价[J]. 浙江农业学报,2022,34(8):1571-1581.
- [18] 贺治洲,尹明,谢振宇,等. 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.
- [19] 张勇,管菊,赵庆勇,等. 优质粳稻南粳 5818 氮高效机制初探[J]. 江苏农业学报,2024,40(9):1586-1593.
- [20] 李胜男,刘伟,胡兴明,等. 近现代中国水稻育种历程[J]. 江苏农业科学,2023,51(11):20-26.
- [21] 田浩天,方晶莹,闵炜芳,等. 宁夏盐碱地水稻根系形态和生理指标与产量的相关分析及综合评价[J]. 南方农业学报,2024,55(6):1619-1627.
- [22] 张金霞,张倩倩,王书玉,等. 94 份水稻骨干材料抗稻瘟病基因和恢复基因的分子检测与分析[J]. 江苏农业科学,2024,52(5):58-64.
- [23] 龙泓锦,王辉,欧阳赞,等. 水稻品质及产量对灌浆期旱涝急转的响应[J]. 排灌机械工程学报,2024,42(9):938-947.
- [24] 周丽慧,孙凯文,朱镇,等. 优良食味粳稻产量、品质及资源利用效率对播期的响应[J]. 江苏农业科学,2023,51(2):81-86.
- [25] 程雯慧,梁琪,穆文静,等. 226 份月季种质资源表型多样性分析及综合评价[J]. 江苏农业科学,2024,52(9):173-181.
- [26] 赵璐,杨治伟,邵丽群,等. 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.
- [27] 陈小龙,马利奋,李培富,等. 宁夏粳稻种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 中国农学通报,2013,29(33):43-49.
- [28] 卓驰夫,彭友林,陈敬,等. 65 份水稻种质的产量性状遗传多样性分析[J]. 广东农业科学,2017,44(3):8-16.
- [29] 邓伟,吕莹,董阳均,等. 云南水稻种质资源的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2023,24(3):624-635.

(责任编辑:石春林)