

1775份水稻种质资源重要农艺性状遗传多样性研究

金京花¹, 李淑芳², 赵亚东¹, 王迪¹, 张妤¹, 金国光¹, 李鹤南³, 全成哲¹, 张强¹

(¹吉林省农业科学院水稻研究所, 公主岭 136100; ²吉林省农业科学院作物资源研究所, 公主岭 136100;

³山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018)

摘要:水稻种质资源是水稻遗传改良及新品种选育的重要基础, 研究水稻种质资源遗传多样性对拓宽稻种资源的遗传背景具有重要作用。本研究采用多种分析方法对1775份水稻种质资源的20个重要农艺性状进行了遗传多样性分析, 发现所有种质资源农艺性状的变异系数差异较大, 范围为4.42%(谷粒厚度)~89.75%(空粒数), 空粒数具有较丰富的遗传变异; 遗传多样性指数的变化范围为1.585(空粒数)~2.069(抽穗期), 抽穗期具有较丰富的多样性。通过对11个省(市)种质的单独分析发现, 吉林省种质的有效穗数及穗粒数等7个性状具有较丰富的多样性; 云南省种质的始穗期及穗长等4个性状具有较丰富的多样性; 黑龙江省种质的抽穗期等3个性状具有较丰富的多样性。对不同类群种质的分析发现, 地方品种的剑叶长度、株高等11个性状具有较丰富的多样性, 选育品种的生育期性状、有效穗数等9个性状具有较丰富的多样性。相关分析表明, 149个相关系数达到极显著($P < 0.01$)水平, 其中始穗期等3个生育期性状与其他农艺性状相关程度较高。主成分分析发现, 前6个主成分累积贡献率达79.309%, 且与生育期相关的性状贡献率最大。通过聚类分析, 1775份水稻种质被划分成3个类群, 其中东北三省及北京和杭州的种质为类群I, 该种群质的始穗期、分蘖数及有效穗数等10个性状的遗传多样性较丰富, 可为今后水稻种质资源创新及新品种选育提供优异种质。第II类群仅包含宁夏种质, 说明宁夏种质资源与其他省(市)的种质资源亲缘关系较远, 可为今后拓宽水稻种质资源遗传基础起到重要作用。第III类群包含河北、山东、云南、江苏及新疆种质, 此类种群质谷粒长度的遗传多样性较丰富, 可为今后水稻品质育种提供丰富的种质。

关键词: 水稻; 种质资源; 农艺性状; 遗传多样性

Study on Important Agronomic Characters and Genetic Diversity of 1775 Rice Germplasm Resources

JIN Jinghua¹, LI Shufang², ZHAO Yadong¹, WANG Di¹, ZHANG Yu¹, JIN Guoguang¹,

LI Henan³, QUAN Chengzhe¹, ZHANG Qiang¹

(¹Rice Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100; ²Crop Resources Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100; ³Institute of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian 271018)

Abstract: Rice germplasm resources are important foundation for rice genetic improvement and new variety breeding. The study of genetic diversity of rice germplasm resources plays an important role in broadening the genetic background of rice. In this study, genetic diversity analysis of 20 important agronomic traits of 1775 rice germplasm resources was carried out using multiple analysis methods. The results showed that the variation coefficients of agronomic traits varied considerably, ranging from 4.42% (grain thickness) to 89.75% (empty seed), and empty seed had richer genetic variation. And the changes in the genetic diversity index ranged from 1.585 (empty seed)~2.069 (heading date), with richer diversity in heading date. Through the separate analysis of germplasm from 11 provinces (cities), it was found that the germplasm from Jilin province had richer diversity in seven traits such as panicles per plant and spikelets per panicle; the germplasm from Yunnan province

收稿日期: 2024-06-02 网络出版日期: 2024-11-08

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240602002>

第一作者研究方向为水稻种质资源研究及新品种选育, jlgzjjh@163.com; 李淑芳为共同第一作者

通信作者: 全成哲, 研究方向为水稻新品种测试及品种选育, E-mail: jlgzqcz@163.com

张强, 研究方向为水稻种质资源研究及新品种选育, E-mail: zhqiang73@163.com

基金项目: 吉林省重大科技专项(20240203005NC)

Foundation project: Major Science and Technology Project of Jilin Province(20240203005NC)

had richer diversity in four traits such as first heading date and panicle length; and the germplasm from Heilongjiang province had richer diversity in three traits such as heading date. The results of different types of germplasm showed that 11 traits were more abundant in landrace, such as flag leaf length and plant height; and the 9 traits were more abundant in advanced cultivar, such as growth stage traits and panicles per plant. The correlation analysis showed that 149 correlation coefficients reached the highly significant level ($P < 0.01$), among which three growth stage traits had highly correlated with other agronomic traits, for example first heading date. Principal component analysis revealed that the first six principal components had a cumulative contribution of 79.309% and the trait related to growth stage had the highest contribution. Through cluster analysis, 1775 rice germplasm were classified into three clusters. The germplasm from the three northeastern provinces as well as Beijing and Hangzhou was cluster I. The germplasm in this cluster was richer in genetic diversity for 10 traits, such as first heading date, tillering number, and panicles per plant, which can provide excellent germplasm for innovation of rice germplasm resources and the selection and breeding of new varieties in the future. Cluster II contains only Ningxia germplasm, which indicates that the germplasm resources of Ningxia are distantly related to those of other provinces (cities), and can play an important role in broadening the genetic base of rice germplasm resources in the future. Cluster III contains Hebei, Shandong, Yunnan, Jiangsu and Xinjiang germplasm. The genetic diversity of grain length in this cluster is more abundant, which can provide abundant germplasm for rice quality breeding in the future.

Key words: rice; germplasm resources; agronomic characters; genetic diversity

水稻是我国最重要的粮食作物之一,是全国60%以上人口的主食,稻米生产对保障我国粮食安全起到至关重要的作用^[1]。吉林省地处高纬度,是北方粳稻主产区之一,也是我国主要的优质粳稻生产基地^[2]。吉林省水稻种植面积常年稳定在80万公顷左右,产量是东北“三省一区”水稻总产量的四分之一,在东北乃至全国水稻生产中都具有重要地位^[3]。水稻种质资源是水稻品种改良创新的基础,是维护水稻遗传多样性、推动水稻产业持续发展的重要保障^[4]。水稻产量的大幅度提升离不开水稻优异种质资源的发掘与利用^[5],矮秆资源“低脚乌尖”的使用掀起了水稻的第一次绿色革命,“野败”的发现实现了杂交稻的三系配套,白叶枯病抗性基因*Xa23*的发现育成了我国自有知识产权的抗性种质。因此,筛选水稻优异种质、挖掘其蕴含的优异基因是水稻育种创新研究亟待解决的重要问题。

近年来,随着气候环境变化、种植业结构调整、土地流转及城镇化速度加快等众多因素影响,农作物种质资源急剧减少,资源多样性面临严重威胁,种质资源的收集与高效利用迫在眉睫。自20世纪50年代开始,水稻育成品种已开始呈现遗传基础狭窄、类型单一、遗传多样性下降等趋势^[6-7],针对这一问题,众多学者对水稻遗传多样性开展了大量研究。马作斌等^[8]针对来源于不同国家的36份水稻品种,选取63对引物对其进行遗传多样性分析,结

果表明水稻品种之间的遗传差异与纬度和地理距离关系较大。刘丹等^[9]对来自东北三省的71份杂草稻和粳稻进行遗传基础及粳稻分化研究,发现东北地区杂草稻遗传多样性水平略高于当地栽培稻。阮仁超等^[10]研究了5168份水稻地方品种,发现品种多样性是品种与环境相互作用的结果。陈峰等^[11]针对102份山东水稻地方品种的农艺性状和品质性状开展了多样性分析,发现山东水稻地方品种的农艺性状和品质性状均具有广泛的多样性。汤翠凤等^[12]对云南新收集的1189份地方品种的17个农艺性状进行了多样性分析,得出了云南稻作生态区及稻作民族间的差异和分布。陈丽等^[13]对不同来源的60份粳稻的18个表型性状开展了遗传多样性分析,发现不同地区的稻种资源表型性状多样性指数变异较大。宋玥等^[14]针对1777份中国普通野生稻的5个重要农艺性状开展了遗传多样性研究,发现中国普通野生稻具有丰富的遗传多样性,且野生稻的聚类关系与地理位置成正相关。

水稻表型性状偏多,且性状间相关程度错综复杂,如何从众多表型性状中快速确定关键性状,对水稻种质资源科学合理地评价是众多学者重点关注的研究内容。前人关于野生稻表型性状遗传多样性的研究众多,但是大规模针对栽培稻表型性状遗传多样性的研究较少。本研究通过对1775份栽培稻种质资源20个重要农艺性状的遗传多样性进

行深入分析,为拓宽水稻遗传基础、优异种质资源发掘及高效利用等提供理论依据,也为今后水稻种质创新和新品种选育提供广泛的基础材料。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

从11个省(市)的3000份水稻自然群体中,选

取在吉林能够正常成熟的1775份水稻种质资源为试验材料,共包含3种类型,其中高世代稳定品系74份、地方品种219份、选育品种1482份。所有材料均来源于“十三五”国家重点研发计划子课题“东北稻区水稻优异种质资源耐盐碱性等精准鉴定”,由吉林省农业科学院水稻研究所提供(表1)。

表1 供试水稻种质资源信息

Table 1 Information of rice germplasm resources

省(市) Province(city)	数量 Number	类型 Types			省(市) Province(city)	数量 Number	类型 Types		
		品系 Lines	地方品种 Landrace	选育品种 Advanced cultivar			品系 Lines	地方品种 Landrace	选育品种 Advanced cultivar
北京 Beijing	49	23	-	26	辽宁 Liaoning	477	-	58	419
杭州 Hangzhou	28	28	-	-	宁夏 Ningxia	94	-	10	84
河北 Hebei	25	-	18	7	山东 Shandong	24	-	19	5
黑龙江 Heilongjiang	303	-	46	257	新疆 Xinjiang	29	-	13	16
吉林 Jilin	582	-	54	528	云南 Yunnan	134	-	1	133
江苏 Jiangsu	30	23	-	7					

-:无数据

-:No data

1.2 试验方法

1.2.1 试验地概况 试验于2018-2019年完成,试验地点位于吉林省公主岭市吉林省农业科学院水稻研究所试验地(124°44'E,43°27'N),该地区的最高海拔为374.9 m。根据当地气温情况,每年4月初

播种,秧棚内育苗后于5月中旬移栽,适期收获。据公主岭市气象局观测,水稻生育期间日平均气温17.6℃,平均降雨量88.5 mm,平均日照时数253.9 h,试验期间气温未出现异常现象(图1)。

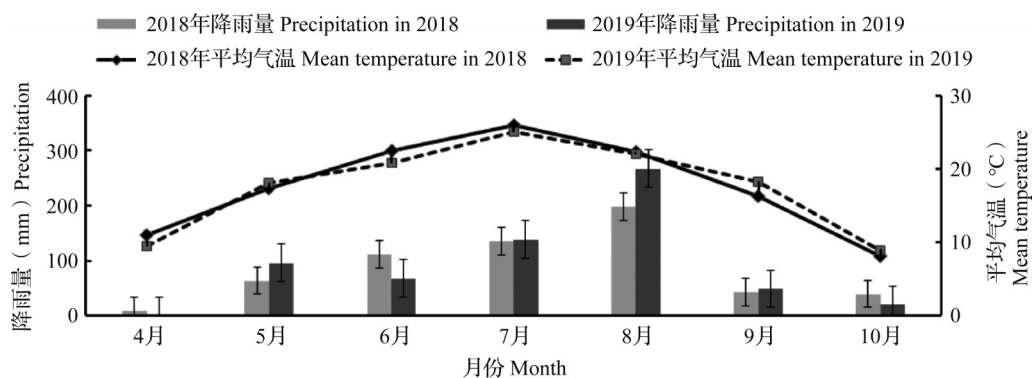


图1 水稻种质生育期间气温及降雨状况

Fig. 1 Temperature and precipitation during the growth and development of rice

1.2.2 试验设计 试验田选择当地有代表性的土壤,肥力水平中等偏上、排灌方便、肥力均匀。所有种质资源按各省(市)分类,在省(市)间及种质间均采用顺序排列,设3次重复,小区行长3 m,行株距30 cm×20 cm,每份材料种植1行,每行栽种16株。待夜间温度稳定在13℃以上且秧苗长至3.5~4叶期

时移栽,每穴1苗,所有资源同期移栽,四周均设保护行,栽培管理措施同当地大田生产。

1.2.3 农艺性状测量 对1775份水稻种质资源的20个农艺性状进行观察及测量,每小区随机选取10株(除去边际效应)进行测量。生育期性状通过观察全小区获得,包括始穗期、抽穗期、齐穗期,同时

计算每份种质抽穗期至始穗期、齐穗期至始穗期所需天数。其他农艺性状包括剑叶长度、剑叶宽度、剑叶长宽比、株高、分蘖数、穗长、穗颈长、谷粒长度、谷粒宽度、谷粒长宽比、谷粒厚度、穗数、穗粒数、空粒数、结实率、单株产量、千粒重。调查标准参考《水稻种质资源描述规范和数据标准》^[15],所有性状均采用所得数据的2年平均值进行计算。

1.3 数据分析

采用 Excel 2010 软件计算变异系数 (*CV*, coefficient of variation) 及遗传多样性指数 (H' , Shannon-Weaver index), 通过平均值 (\bar{X}) 及标准差 (S) 将每个性状划分为 10 级, 从第 1 级 $X_i \leq (\bar{X} - 2S)$ 到第 10 级 $X_i \geq (\bar{X} + 2S)$, 每 $0.5S$ 为 1 级, 每级的相对频率用来计算遗传多样性指数^[16]。遗传多样性指

数^[17]公式: $H' = -\sum P_i \times \ln P_i$, 其中 P_i 为某一性状第 i 级别时的频率。采用 IBM SPSS 25 进行主成分分析, 计算各主成分得分; 通过 Oringin 2021 软件对 1775 份种质资源进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 水稻种质资源遗传多样性分析

2.1.1 重要农艺性状的变异分析及遗传多样性分析 对 1775 份水稻种质的 20 个农艺性状进行统计分析 (表 2) 发现, 20 个农艺性状的变异系数范围在 4.42%~89.75% 之间, 其中谷粒厚度最小, 空粒数最大。其余 18 个性状的变异系数排序依次为谷粒宽度 < 结实率 < 谷粒长度 < 始穗期 < 齐穗期 < 抽穗期 < 谷粒长宽比 < 千粒重 < 穗长 < 剑叶宽度 < 有效穗数 < 株

表 2 参试材料 20 个农艺性状的变异分析及遗传多样性分析

Table 2 Genetic diversity and variation analysis of 20 agronomic traits in tested materials

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	极差 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%) CV	遗传多样性 指数 H'
始穗期(d)FIHD	83.00	132.00	49.00	105.17	8.18	7.78	2.060
抽穗期(d)HD	86.00	140.00	54.00	107.93	8.63	7.99	2.069
齐穗期(d)FHD	79.00	140.00	61.00	109.60	8.76	7.98	2.056
剑叶长度(cm)FLL	13.65	56.83	43.18	25.84	4.83	18.68	1.974
剑叶宽度(cm)FLW	0.85	2.38	1.53	1.37	0.17	12.22	1.965
剑叶长宽比 FLWR	8.50	37.11	28.61	19.15	4.51	23.57	2.053
株高(cm)PH	69.43	148.25	78.82	101.98	13.10	12.84	1.926
分蘖数 TN	6.80	31.60	24.80	14.04	2.67	19.05	1.990
穗长(cm)PL	13.40	30.45	17.05	18.48	2.07	11.22	2.016
穗颈长(cm)NL	-3.35	34.95	38.30	7.16	2.76	38.50	1.963
谷粒长度(mm)GL	5.51	9.90	4.40	6.85	0.49	7.20	2.019
谷粒宽度(mm)GW	2.38	3.70	1.33	3.09	0.18	5.98	2.059
谷粒长宽比 GLWR	1.82	3.86	2.04	2.24	0.23	10.45	1.880
谷粒厚度(mm)GT	3.87	5.56	1.69	4.47	0.20	4.42	2.052
有效穗数 PP	8.15	20.85	12.70	11.59	1.48	12.75	2.044
穗粒数 SPP	58.25	277.45	219.20	134.53	29.60	22.00	2.041
空粒数 ES	1.00	72.85	71.85	11.08	9.95	89.75	1.585
结实率(%)SSR	53.12	99.06	45.94	91.99	0.06	6.79	1.698
单株产量(g)GY	4.25	46.67	42.42	27.05	5.59	20.65	2.050
千粒重(g)TGW	13.29	37.75	24.47	24.49	2.56	10.46	2.054

FIHD: First heading date; HD: Heading date; FHD: Full heading date; FLL: Flag leaf length; FLW: Flag leaf width; FLWR: Ratio of length to width for flag; PH: Plant height; TN: Tilling number; PL: Panicle length; NL: Neck length; GL: Grain length; GW: Grain width; GLWR: Ratio of length to width for grain; GT: Grain thickness; PP: Panicles per plant; SPP: Spikelets per panicle; ES: Empty seed; SSR: Seed setting rate; GY: Grain yield per plant; TGW: Thousand-grain weight; The same as below

高<剑叶长度<分蘖数<单株产量<穗粒数<剑叶长宽比<穗颈长。由此可见,空粒数在 20 个农艺性状中具有最丰富的遗传变异,其次为穗颈长、剑叶长宽比等。

遗传多样性指数变化范围在 1.585~2.069 之间,其中空粒数最小,抽穗期最大,其余性状的遗传多样性指数排序依次为结实率<谷粒长宽比<株高<穗颈长<剑叶宽度<剑叶长度<分蘖数<穗长<谷粒长度<穗粒数<有效穗数<单株产量<谷粒厚度<剑叶长宽比<千粒重<齐穗期<谷粒宽度<始穗期。由此可见,抽穗期在 20 个农艺性状中遗传多样性最丰富。

2.1.2 来源于不同省(市)资源的重要农艺性状差异 对来自 11 个省(市)种质的生育期性状进行差异显著性分析(表 3、图 2)发现,来自黑龙江省种质的始穗期、抽穗期及齐穗期平均值均小于其他省(市),且与其他省(市)种质均存在显著性差异;江

苏省种质的始穗期、抽穗期及齐穗期平均值均大于其他省(市),且与除云南省外的其他 9 个省(市)的种质差异显著,说明黑龙江省种质的生育期在吉林省较短,江苏省种质的生育期在吉林省较长,这可能是由于不同地区积温差异所致,南种北引导致生育期延长,北种南引导致生育期缩短。黑龙江省种质的始穗-抽穗天数最短,仅需 2.2 d,与除杭州、新疆外的其他 8 个省(市)的种质差异显著;江苏省种质的始穗-抽穗天数最长,平均 4.6 d,说明黑龙江省的种质在吉林省表现抽穗较快,江苏省的种质抽穗则较慢。黑龙江省种质的始穗-齐穗天数最短,仅需 2.7 d,云南省种质的始穗-齐穗天数最长,为 5.8 d,说明黑龙江省的种质在吉林省表现抽穗较快、较整齐,而云南省种质的齐穗期历时较长。水稻种质的生育期与产量高度相关^[7],因此,在对上述 11 个省(市)的种质利用时,应充分考虑生育期性状,做到合理利用。

表 3 11 个省(市)水稻种质资源生育期性状分析

Table 3 Analysis of growth stage traits of rice germplasm resources from 11 provinces (cities)

省(市) Province(city)	始穗期(d) FIHD	抽穗期(d) HD	齐穗期(d) FHD	始穗-抽穗天数(d) FIHD-HD	始穗-齐穗天数(d) FIHD-FHD
北京 Beijing	109.0±5.11 ^{cd}	112.2±5.37 ^{cd}	113.5±5.73 ^{cd}	3.2±1.53 ^{bcde}	4.5±1.52 ^{bcde}
杭州 Hangzhou	106.7±5.02 ^{de}	110.4±5.13 ^{de}	111.2±5.67 ^{ef}	3.7±0.90 ^{cddef}	4.5±1.20 ^{bcde}
河北 Hebei	106.0±6.70 ^{ef}	109.9±7.64 ^{ef}	110.1±7.67 ^{de}	3.9±2.12 ^{abc}	4.1±1.27 ^{cd}
江苏 Jiangsu	117.8±7.36 ^a	122.4±7.64 ^a	123.4±7.83 ^a	4.6±2.18 ^a	5.6±1.75 ^{abc}
宁夏 Ningxia	103.8±3.79 ^{fg}	106.7±4.07 ^{fg}	107.9±4.13 ^g	2.9±0.99 ^{cde}	3.8±1.08 ^{de}
山东 Shandong	114.5±7.25 ^b	118.7±8.36 ^b	119.3±8.30 ^b	4.2±2.26 ^{ab}	4.8±1.96 ^{ab}
新疆 Xinjiang	104.6±6.86 ^{eg}	107.1±7.34 ^{eg}	108.7±7.27 ^{fg}	2.5±1.06 ^{def}	4.1±0.96 ^{de}
云南 Yunnan	116.7±5.62 ^{ab}	121.2±5.59 ^{ab}	122.5±6.42 ^{ab}	4.5±1.66 ^{bc}	5.8±2.29 ^a
黑龙江 Heilongjiang	94.2±5.10 ^h	96.4±4.92 ^h	96.9±4.89 ^h	2.2±1.08 ^f	2.7±1.37 ^c
吉林 Jilin	102.6±3.92 ^e	105.9±4.17 ^e	106.6±4.38 ^e	3.3±1.68 ^c	4.0±2.27 ^c
辽宁 Liaoning	110.4±4.52 ^c	113.5±4.57 ^c	114.3±5.05 ^c	3.1±1.17 ^{cd}	3.9±1.17 ^{bcd}

数据后不同小写字母表示不同来源水稻种质资源在 5% 水平上差异显著;下同

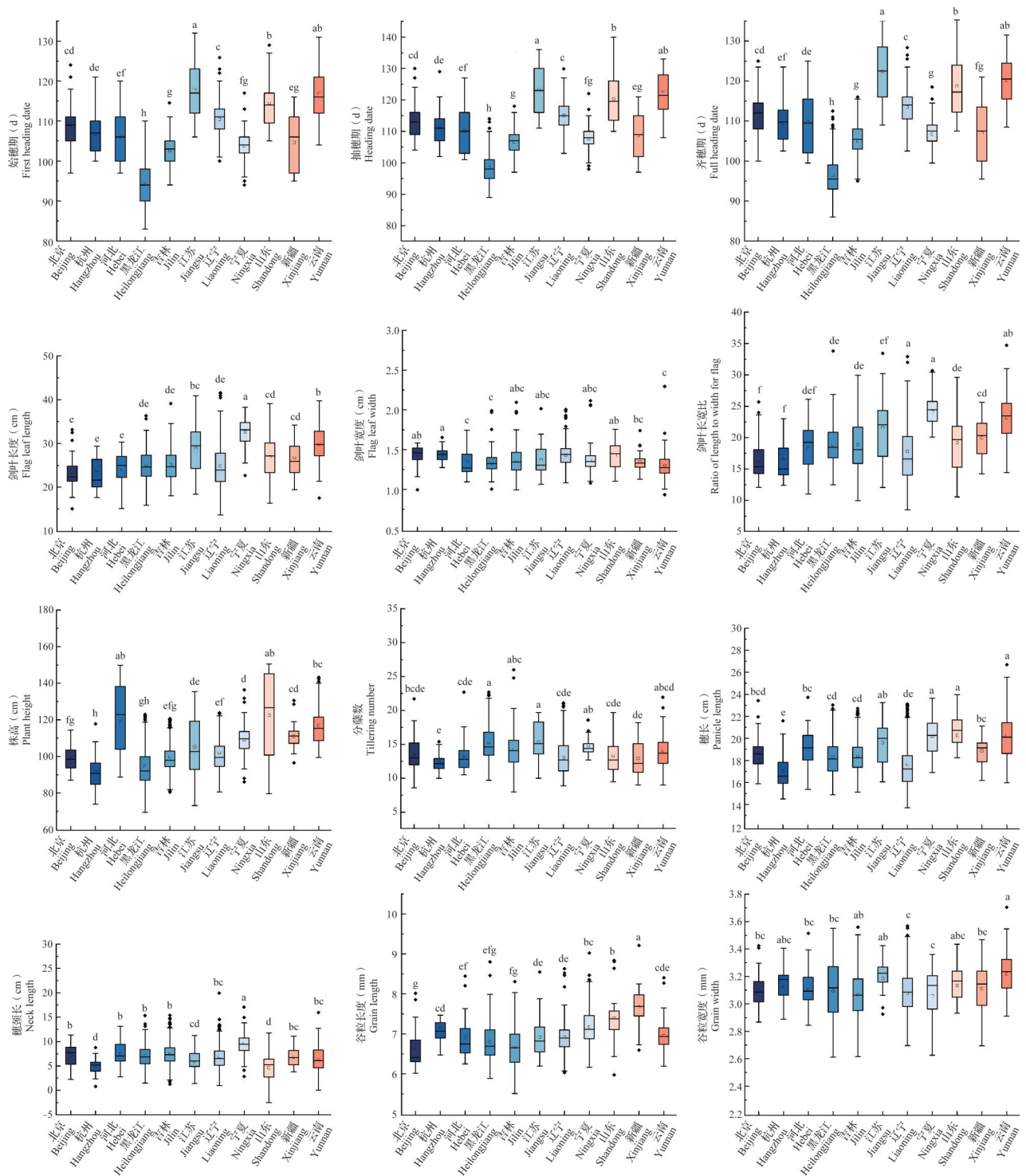
Different lowercase letters after the data indicate significant differences from the rice germplasm resources at the 5% level; FIHD-HD: First heading date-Heading date; FIHD-FHD: First heading date-Full heading date; The same as below

针对除生育期外的其他 17 个农艺性状的比较分析(图 2)发现,黑龙江省种质的有效穗数在 11 个省(市)中最多,为 12.26 个;结实率最高,为 94.30%。江苏省种质的分蘖数最多,为 15.28 个。宁夏种质的剑叶长度、剑叶长宽比、穗颈长、穗粒数平均值均最大,分别为 32.62 cm、24.12、9.72 cm、157.7 粒。北

京种质的剑叶长最小,为 23.14 cm;谷粒长度最短,为 6.64 mm;谷粒厚度最小,为 4.39 mm。杭州种质的剑叶宽度、千粒重及单株产量平均值均最大,分别为 1.44 cm、26.44 g、30.50 g;株高平均值最小,为 91.64 cm;穗长最短,为 17.03 cm。山东省种质与其他省(市)种质相比,株高最高,为 122.51 cm;穗长最

长,为 20.28 cm;穗颈长最短,为 4.66 cm。新疆种质的谷粒长度、谷粒长宽比、谷粒厚度平均值均最大,分别为 7.67 mm、2.49、4.75 mm。吉林省种质的谷粒宽度最小,为 3.06 mm。云南省种质的谷粒宽度最宽,为 3.22 mm;空粒数最多,为 21.7 粒;剑叶宽度

最小,为 1.30 cm。河北省种质的穗粒数最少,为 120.49 粒。上述分析可以为后续不同的水稻育种目标提供基础材料,如矮秆育种可以选择杭州的种质,高秆大穗型品种可以选择山东省的种质,大粒型品种可以选择新疆种质。



(图2)

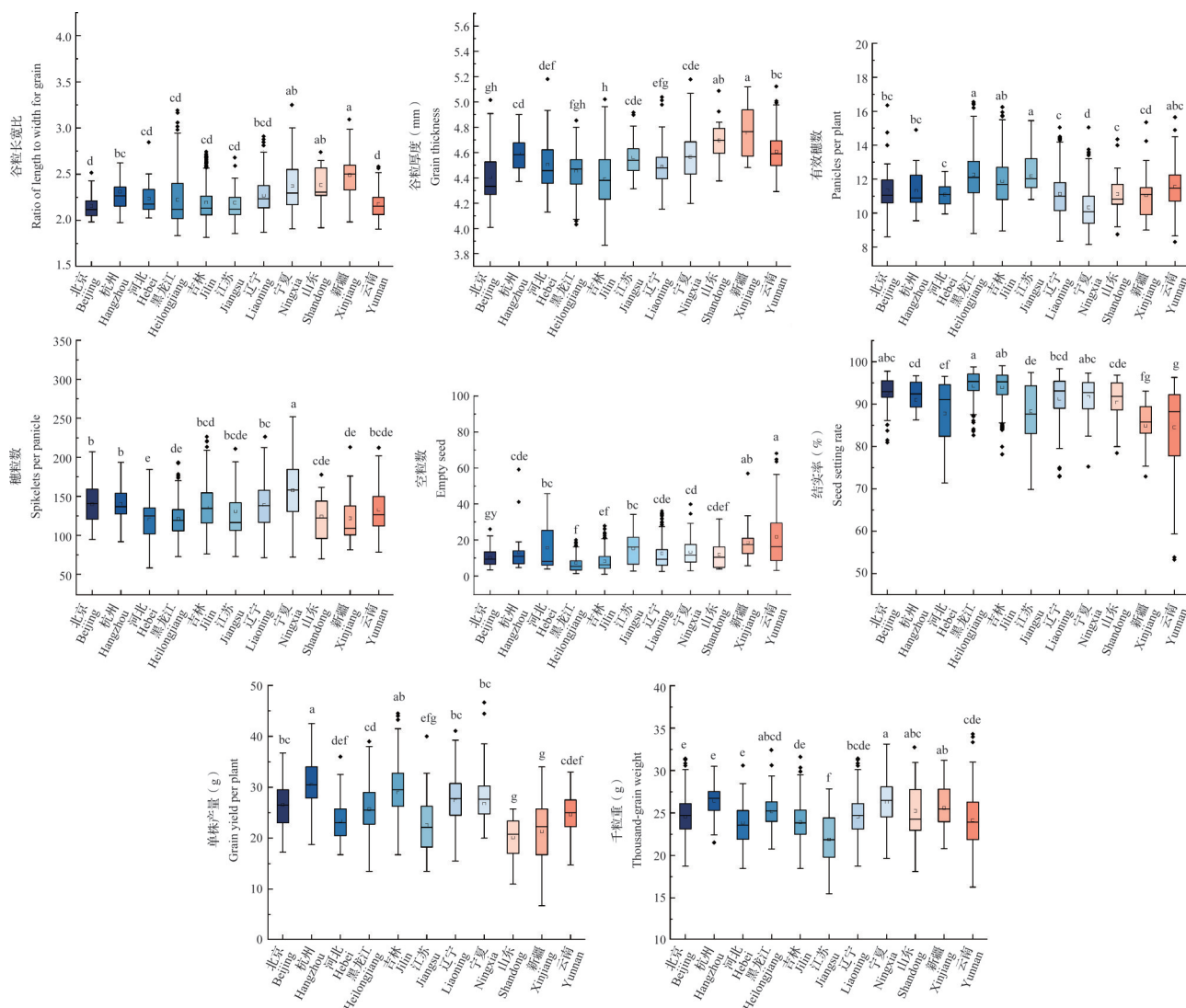


图2 11个省(市)种质资源20个重要农艺性状分析

Fig. 2 Analysis of 20 important agronomic traits of germplasm resources from eleven provinces (cities)

对11个省(市)种质资源的遗传多样性分析(表4)发现,20个农艺性状的遗传多样性指数最大值分别出现在8个省(市)的种质资源中。北京种质分蘖数的遗传多样性指数值最大;杭州种质剑叶长度的遗传多样性指数值最大;新疆种质齐穗期的遗传多样性指数值最大;黑龙江省种质的抽穗期、剑叶长宽比、谷粒长宽比共3个性状的遗传多样性指数值最大;吉林省种质的剑叶宽度、穗颈长、谷粒厚度、有效穗数、穗粒数、空粒数及结实率共7个性状的遗传多样性指数值最大;云南省种质的始穗期、穗长、谷粒长度及谷粒宽度共4个性状的遗传多样性指数值最大;宁夏种质的株高及千粒重的遗传多样性指数值最大。由此可见,各省(市)种质的遗传多样性表现并不均匀,北京种质的分蘖数具有较丰富的遗传多样性;杭州种质的剑叶长度具有较丰富的遗传多样性;新疆种质的齐穗期具有较丰富的遗传多样

性;黑龙江省种质的抽穗期等3个性状遗传多样性较丰富;吉林省种质的剑叶宽度等7个性状具有较丰富的遗传多样性;云南省种质的始穗期等4个性状具有较丰富的遗传多样性;宁夏种质的株高及千粒重2个性状具有较丰富的遗传多样性。

2.1.3 重要农艺性状种质类型间差异 对3类种质进行了多样性分析(表5),发现品系的始穗期、抽穗期、齐穗期、剑叶宽度、谷粒宽度及空粒数共6个性状的平均值在3类种质间最大;地方品种的剑叶长度、剑叶长宽比、株高、分蘖数、穗长、穗颈长、谷粒长度、谷粒厚度及千粒重共9个性状的平均值在3类种质间最大;选育品种的谷粒长宽比、有效穗数、穗粒数、结实率及单株产量共5个性状的平均值在3类种质间最大。品系的变异系数变化范围在4.33%(谷粒厚度)~76.43%(空粒数)之间,其中剑叶长度、剑叶长宽比、株高、谷粒长宽比、穗粒数及结实率的

变异系数在3类种质间最大;地方品种的变异系数变化范围在5.08%(结实率)~61.63%(空粒数)之间,始穗期、抽穗期、剑叶宽度、穗颈长、谷粒长度、谷粒厚度、千粒重及单株产量的变异系数在3类种质间最大;选育品种的变异系数变化范围在4.08%(谷粒厚度)~92.92%(空粒数)之间,其中齐穗期、分蘖数、穗长、谷粒宽度、有效穗数及空粒数的变异系数在3类种质间最大。品系的遗传多样性指数变化范围

在1.490(谷粒长宽比)~2.070(单株产量)之间,其中穗颈长的遗传多样性指数在3类种质中最大;地方品种的遗传多样性指数变化范围在1.786(剑叶宽度)~2.081(单株产量)之间,其中剑叶长宽比、株高等11个性状的遗传多样性指数在3类种质中最大;选育品种的遗传多样性指数变化范围在1.573(空粒数)~2.081(始穗期)之间,其中始穗期、抽穗期及齐穗期等9个性状的遗传多样性指数在3类种质中最大。

表4 11个省(市)水稻种质资源遗传多样性指数

Table 4 Genetic diversity index of rice germplasm resources from 11 provinces(cities)

性状 Traits	云南 Yunnan	江苏 Jiangsu	河北 Hebei	山东 Shandong	新疆 Xinjiang	黑龙江 Heilongjiang	吉林 Jilin	辽宁 Liaoning	北京 Beijing	杭州 Hangzhou	宁夏 Ningxia
始穗期 FIHD	2.065	1.953	1.826	1.752	1.843	2.057	1.987	2.030	1.778	1.837	1.934
抽穗期 HD	2.020	1.972	1.836	1.850	1.946	2.035	1.960	1.990	1.880	1.809	1.919
齐穗期 FHD	1.929	1.981	1.860	1.784	1.996	1.957	1.947	1.992	1.786	1.926	1.844
剑叶长度 FLL	1.833	1.933	1.992	1.831	1.855	1.919	1.818	1.815	1.989	2.011	1.997
剑叶宽度 FLW	1.904	1.867	1.477	1.676	1.990	1.889	2.013	1.993	1.980	1.911	1.462
剑叶长宽比 FLWR	2.011	1.781	2.034	1.812	1.703	2.041	2.028	1.976	1.865	1.761	1.892
株高 PH	1.983	1.946	1.844	1.657	1.992	2.007	2.012	1.880	1.939	1.868	2.032
分蘖数 TN	2.027	1.761	1.968	1.897	2.022	1.944	1.952	1.938	2.028	1.956	1.710
穗长 PL	2.086	2.028	1.912	1.896	1.870	2.046	1.984	2.013	1.937	1.398	1.973
穗颈长 NL	1.887	1.899	1.881	1.886	1.848	1.981	2.014	1.853	1.781	1.986	1.661
谷粒长度 GL	2.062	2.015	1.894	1.989	1.978	2.012	2.037	1.962	1.796	1.520	1.925
谷粒宽度 GW	2.105	1.932	1.857	1.889	2.044	2.088	1.989	2.017	2.027	1.939	1.806
谷粒长宽比 GLWR	2.028	2.006	1.984	1.803	1.954	2.055	2.019	2.044	1.969	1.999	2.039
谷粒厚度 GT	1.930	1.800	1.755	1.733	1.818	1.946	2.056	1.977	1.733	1.507	2.010
有效穗数 PP	2.033	1.864	1.921	1.810	2.011	2.035	2.060	2.040	2.043	1.806	1.917
穗粒数 SPP	1.833	1.605	1.676	1.436	1.709	1.782	2.073	1.871	1.853	1.386	1.867
空粒数 ES	2.039	1.999	1.957	1.664	1.852	2.027	2.073	1.998	1.924	2.017	2.000
结实率 SSR	1.970	1.651	1.968	1.830	1.810	2.017	2.075	2.072	1.980	1.968	2.051
单株产量 GY	1.636	1.924	1.387	1.534	1.733	1.547	1.746	1.562	1.837	1.351	1.899
千粒重 TGW	1.851	1.809	1.722	1.490	1.909	1.723	1.769	1.756	1.789	1.431	1.916

表5 不同类型种质重要农艺性状的变异分析和遗传多样性分析

Table 5 Genetic diversity and variation analysis of important agronomic traits in different germplasm types

性状 Traits	平均值 Mean			变异系数(%)CV			遗传多样性指数H'		
	品系 Lines	地方品种 Landrace	选育品种 Advanced cultivar	品系 Lines	地方品种 Landrace	选育品种 Advanced cultivar	品系 Lines	地方品种 Landrace	选育品种 Advanced cultivar
始穗期(d)FIHD	109.82	102.12	105.38	6.15	7.87	7.71	1.829	2.012	2.081
抽穗期(d)HD	113.17	104.96	108.10	6.64	8.26	7.88	1.975	2.003	2.068
齐穗期(d)FHD	114.59	106.52	109.80	6.58	7.82	7.95	1.881	2.016	2.061
剑叶长度(cm)FLL	24.83	30.49	25.21	26.03	15.15	17.32	1.801	2.077	2.039

表 5 (续)

性状 Traits	平均值 Mean			变异系数 (%) CV			遗传多样性指数 H'		
	品系 Lines	地方品种 Landrace	选育品种 Advanced cultivar	品系 Lines	地方品种 Landrace	选育品种 Advanced cultivar	品系 Lines	地方品种 Landrace	选育品种 Advanced cultivar
剑叶宽度(cm)FLW	1.42	1.31	1.38	10.16	13.56	11.97	1.942	1.786	1.958
剑叶长宽比 FLWR	17.70	23.60	18.56	29.85	18.42	22.12	1.625	2.068	2.033
株高(cm)PH	97.79	119.93	99.54	12.98	12.85	10.45	1.867	2.035	1.975
分蘖数 TN	13.28	14.49	14.01	18.76	13.16	19.76	1.844	2.008	1.976
穗长(cm)PL	18.25	19.93	18.27	10.36	10.67	10.88	1.983	2.038	2.010
穗颈长(cm)NL	6.34	8.20	7.05	39.01	42.08	37.12	2.014	1.929	1.959
谷粒长度(mm)GL	6.85	6.94	6.84	8.01	9.41	6.75	1.899	1.966	1.943
谷粒宽度(mm)GW	3.15	3.14	3.08	4.48	5.24	6.10	1.848	2.050	2.074
谷粒长宽比 GLWR	2.19	2.22	2.24	10.97	9.89	10.50	1.490	1.930	1.875
谷粒厚度(mm)GT	4.51	4.53	4.46	4.33	6.10	4.08	2.048	2.024	2.074
有效穗数 PP	11.50	11.40	11.62	11.40	9.94	13.14	2.020	1.948	2.044
穗粒数 SPP	137.18	115.60	137.20	22.59	20.80	21.33	1.855	2.032	2.047
空粒数 ES	12.28	9.84	11.21	76.43	61.63	92.92	1.544	1.853	1.573
结实率(%)SSR	90.93	91.57	92.10	7.04	5.08	6.98	1.747	1.885	1.574
单株产量(g)GY	26.43	20.23	28.09	22.90	30.71	16.66	2.070	2.081	2.077
千粒重(g)TGW	24.39	25.15	24.40	12.51	13.17	9.79	1.998	2.043	2.024

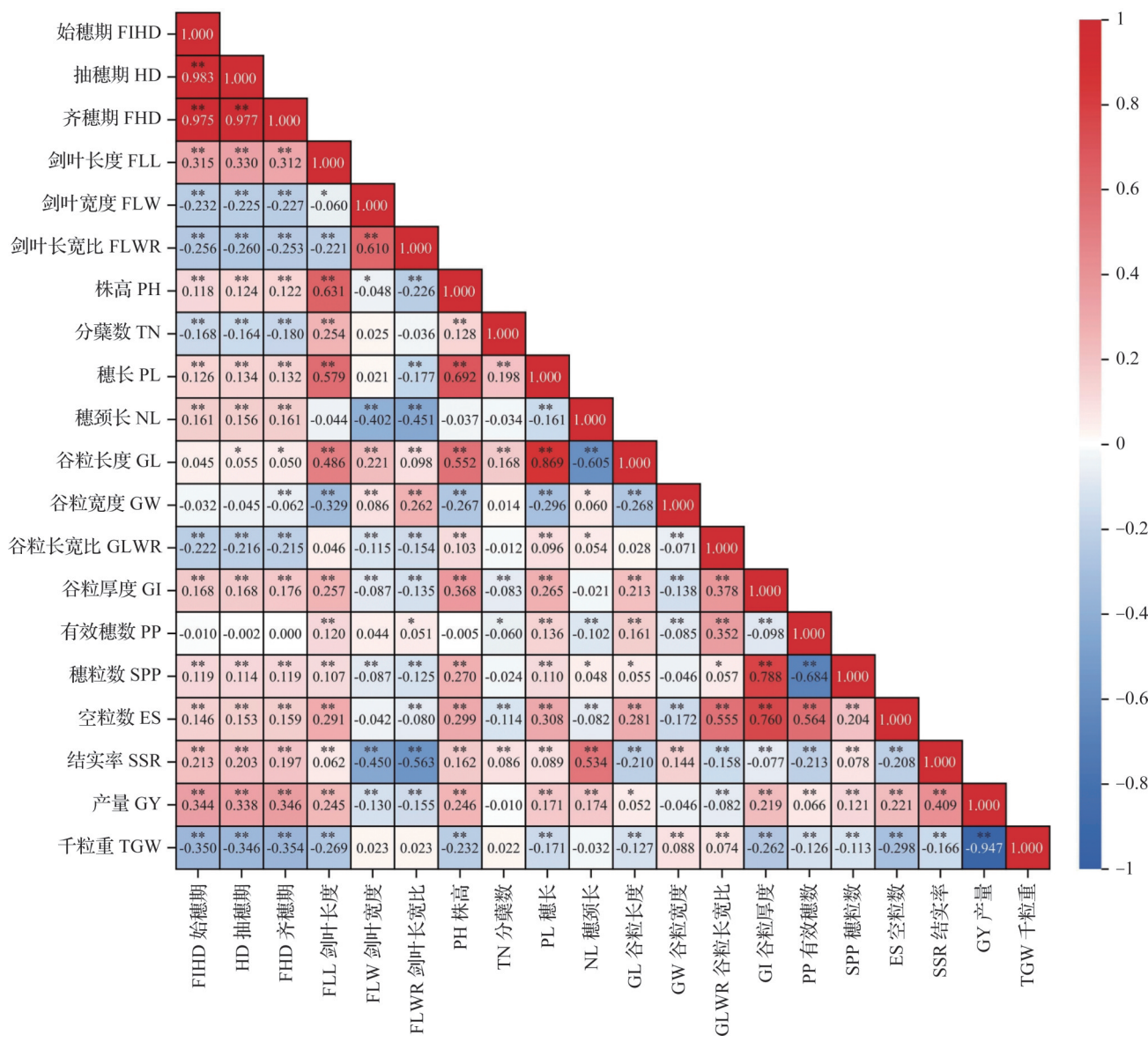
2.2 水稻种质资源相关性分析

参试材料农艺性状的相关性分析(图 3)表明, 20 个农艺性状间的 86 个正相关系数、63 个负相关系数共计 149 个相关系数达到极显著水平, 其中正相关系数最大值 0.983, 负相关系数最大值 -0.002。相关程度较高的性状有始穗期、抽穗期、齐穗期、剑叶长度、剑叶长宽比、株高及穗长等性状。始穗期、抽穗期及齐穗期三者互为极显著正相关, 且三者均与剑叶长度、株高及穗长等 9 个性状呈极显著正相关, 与剑叶宽度、分蘖数等 5 个性状呈极显著负相关。剑叶长度与其他农艺性状的相关程度也较高, 如剑叶长度与株高、分蘖数及单株产量等 10 个性状呈极显著正相关, 与剑叶长宽比、谷粒宽度及千粒重均呈极显著负相关。分蘖数、株高及穗长 3 个性状之间互为极显著正相关, 且株高及穗长与谷粒长度、结实率及单株产量等 7 个性状呈极显著正相关, 与谷粒宽度及千粒重呈极显著负相关。有效穗数与穗长、谷粒长、谷粒长宽比及空粒数等性状呈极显著正相关, 与穗颈长、结实率及千粒重等 6 个性状呈极显著负相关。可见, 水稻表型性状之间相关程

度较高, 相关关系错综复杂。

2.3 水稻种质资源主成分分析

对 1775 份水稻种质资源 20 个农艺性状进行主成分分析(表 6), 选择特征值 >1 的前 6 个主成分, 累积贡献率达 79.309%。第 1 主成分贡献率最大, 为 23.729%, 其中始穗期、抽穗期及齐穗期的特征值相同, 且在第 1 主成分中最高, 说明第 1 主成分主要是与生育期相关的性状。第 2 主成分贡献率是 17.085%, 剑叶长宽比的特征值最高, 其次为剑叶长度, 说明第 2 主成分是与剑叶相关的性状。第 3 主成分贡献率是 11.190%, 其中有效穗数正向特征值最大, 其次为分蘖数, 说明第 3 主成分是与产量相关的性状。第 4 主成分贡献率是 10.058%, 其中谷粒厚度特征值最大, 其次是谷粒宽度, 第 5 主成分贡献率是 9.545%, 其中谷粒长宽比正向特征值最大, 谷粒宽度负向特征值最大, 说明第 4 和第 5 主成分均反映谷粒相关特征。第 6 主成分贡献率是 7.701%, 其中空粒数正向特征值最大, 结实率负向特征值最大, 说明第 6 主成分是与籽粒产量相关的综合反应。



*、**分别表示在 5%、1% 水平上显著相关
 *, ** indicates significant correlation at the 5%, 1% levels, respectively

图3 参试材料20个农艺性状的相关性分析

Fig. 3 The correlation analysis of 20 agronomic traits in tested materials

表6 参试材料20个农艺性状的主成分分析

Table 6 Principal component analysis of 20 agronomic traits in tested materials

性状	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	主成分5	主成分6
Traits	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
始穗期 FIHD	0.151	-0.127	0.187	0.043	0.050	-0.178
抽穗期 HD	0.151	-0.123	0.188	0.043	0.046	-0.184
齐穗期 FHD	0.151	-0.123	0.187	0.050	0.050	-0.181
剑叶长度 FLL	0.121	0.162	-0.011	-0.190	-0.098	-0.041
剑叶宽度 FLW	0.029	-0.184	-0.197	0.037	-0.122	0.039
剑叶长宽比 FLWR	0.083	0.217	0.102	-0.168	-0.015	-0.057
株高 PH	0.139	0.095	0.015	-0.141	-0.096	-0.053
分蘖数 TN	-0.065	0.130	0.202	-0.017	0.151	0.127
穗长 PL	0.128	0.123	-0.091	-0.171	-0.031	0.022

表 6 (续)

性状 Traits	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3	主成分 4 PC4	主成分 5 PC5	主成分 6 PC6
穗颈长 NL	-0.003	0.055	-0.061	-0.233	-0.102	0.115
谷粒长度 GL	0.116	0.090	-0.188	0.175	0.267	-0.003
谷粒宽度 GW	0.013	0.097	0.118	0.271	-0.360	0.013
谷粒长宽比 GLWR	0.075	0.007	-0.212	-0.040	0.417	-0.005
谷粒厚度 GT	0.106	0.137	-0.076	0.324	-0.012	-0.002
有效穗数 PP	-0.094	0.101	0.232	0.055	0.188	0.151
穗粒数 SPP	0.066	-0.165	-0.153	-0.161	-0.133	0.159
空粒数 ES	0.128	-0.054	0.042	0.039	-0.025	0.476
结实率 SSR	-0.126	0.015	-0.098	-0.079	-0.013	-0.457
单株产量 GY	-0.062	-0.082	0.045	0.046	0.093	0.155
千粒重 TGW	0.012	0.108	-0.220	0.270	-0.103	-0.059
特征值 Eigenvalue	4.746	3.417	2.238	2.012	1.909	1.540
贡献率(%)Contribution rate	23.729	17.085	11.190	10.058	9.545	7.701
累积贡献率(%)Cumulative contribution rate	23.729	40.815	52.005	62.062	71.607	79.309

PC: Principal component

2.4 水稻种质资源聚类分析

通过对 20 个重要农艺性状的聚类分析发现, 聚类结果与主成分分析的结果基本一致, 可以把来自 11 个省(市)的 1775 份水稻种质资源划分成 3 个类群(图 4), 类群 I 包含东北三省及北京和杭州, 类群 II 仅包含宁夏, 类群 III 则包含河北、山东、云南、江苏及新疆。根据 3 个类群的划分分别计算了每个类群的平均值、变异系数及遗传多样性指数(表 7), 发现类群 I 种质的剑叶宽度、有效穗数、结实率及单株产量的平均值在 3 个类群中最大; 剑叶长度、剑叶长宽比及空粒数的变异系数在 3 个类群中最大; 始穗期、抽穗期及齐穗期等 10 个性状的遗传多样性指数在 3 个类群中最大。针对类群 I 的分析说明该类群种质

在吉林省公主岭市种植条件下, 具有较高的单株产量; 剑叶长度、剑叶长宽比及空粒数具有较丰富的遗传变异; 始穗期等 10 个性状具有较丰富的遗传多样性。类群 I 种质可为高产等目标性状育种提供丰富的基础材料。类群 II 种质的剑叶长度、分蘖数、穗长、谷粒长度、穗粒数及千粒重等 9 个性状具有最高的平均值; 剑叶宽度、有效穗数及单株产量等 5 个性状的变异系数在 3 个类群中最大; 剑叶长度、株高及穗长等 9 个性状的遗传多样性指数在 3 个类群中最大。针对类群 II 的分析说明该类群种质为大穗、长粒型, 且剑叶宽、有效穗数及单株产量等 5 个性状具有丰富的遗传变异; 剑叶长度、株高及穗长等 9 个性状具有较丰富的遗传多样性。类群 II 种质可为大

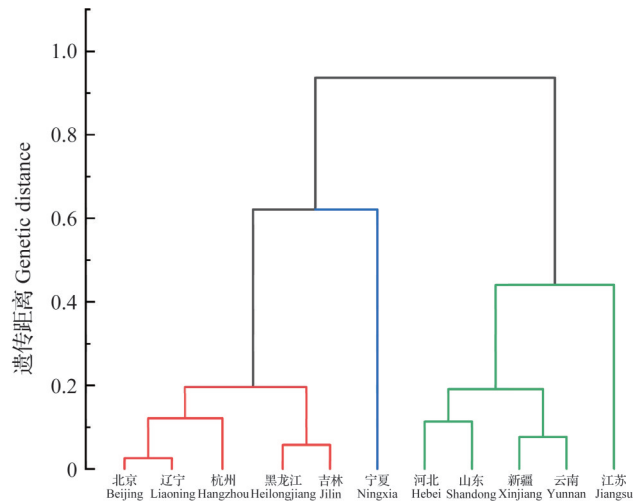
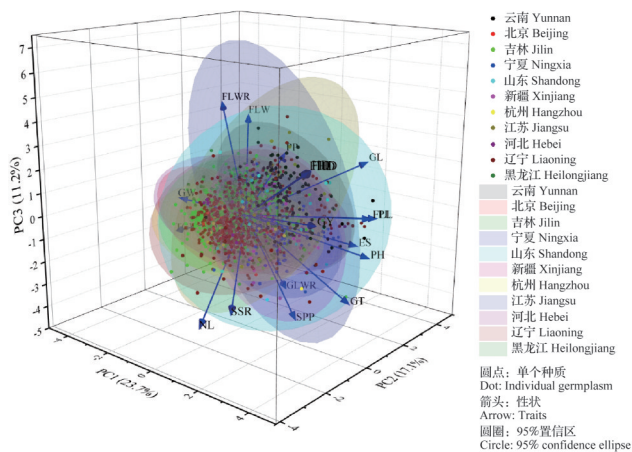


图 4 水稻种质资源类群划分

Fig. 4 Classification of rice germplasm resources

穗、长粒型品种选育提供丰富的基础材料,该类种质的高效利用可以拓宽水稻种质资源遗传基础,改善材料不丰富现象。类群III种质的始穗期、抽穗期、齐穗期及株高等7个性状具有最高的平均值;始穗期等12个性状的变异系数在3个类群中最高;谷粒长度的遗传多样性指数在3个类群中最

大。针对类群III的分析说明该类群种质的株高较高、生育期较长,空粒数较多;始穗期等12个性状具有丰富的遗传变异;谷粒长度具有较丰富的遗传多样性。类群III种质可以为晚熟品种选育提供丰富的基础材料。

表7 3个类群种质变异分析及遗传多样性分析

Table 7 Genetic diversity and variation analysis of germplasm from 3 clusters

性状 Traits	类群I First cluster			类群II Second cluster			类群III Third cluster		
	平均值 Mean	变异系数 (%) CV	遗传多样性 指数 H'	平均值 Mean	变异系数 (%) CV	遗传多样性 指数 H'	平均值 Mean	变异系数 (%) CV	遗传多样性 指数 H'
始穗期(d)FIHD	104.61	4.58	1.938	103.78	3.66	1.934	111.94	6.09	1.888
抽穗期(d)HD	107.31	4.53	1.935	106.69	3.89	1.919	115.65	6.34	1.925
齐穗期(d)FHD	109.00	4.72	1.922	107.60	4.68	1.844	116.99	6.43	1.910
剑叶长度(cm)FLL	24.40	19.21	1.910	32.62	9.50	1.997	27.32	16.97	1.889
剑叶宽度(cm)FLW	1.40	9.59	1.957	1.37	13.52	1.462	1.36	12.32	1.783
剑叶长宽比 FLWR	17.68	22.39	1.934	24.12	12.48	1.892	20.46	21.62	1.868
株高(cm)PH	97.33	10.22	1.941	108.98	7.61	2.032	115.08	13.53	1.884
分蘖数 TN	13.69	16.84	1.964	14.78	12.80	1.710	13.78	19.70	1.935
穗长(cm)PL	18.02	9.81	1.876	20.19	8.32	1.973	19.61	9.92	1.959
穗颈长(cm)NL	6.72	35.38	1.923	9.72	35.19	1.661	6.20	47.15	1.880
谷粒长度(mm)GL	6.84	6.92	1.865	7.18	6.99	1.925	7.17	7.38	1.988
谷粒宽度(mm)GW	3.09	5.57	2.012	3.06	6.64	1.806	3.15	5.43	1.965
谷粒长宽比 GLWR	2.23	10.30	2.017	2.37	11.58	2.039	2.30	10.49	1.955
谷粒厚度(mm)GT	4.47	3.85	1.844	4.56	4.21	2.010	4.63	4.24	1.807
有效穗数 PP	11.59	11.71	1.997	10.34	12.97	1.917	11.40	10.75	1.928
穗粒数 SPP	135.23	18.71	1.793	157.74	25.30	1.867	125.94	26.09	1.652
空粒数 ES	10.27	76.46	2.008	13.22	57.66	2.000	16.62	69.07	1.902
结实率(%)SSR	93.00	5.39	2.022	91.71	4.42	2.051	87.18	8.76	1.846
单株产量(g)GY	27.81	18.21	1.609	26.80	23.53	1.899	22.41	22.90	1.643
千粒重(g)TGW	24.75	9.25	1.693	26.28	10.04	1.916	24.13	13.72	1.756

3 讨论

据人民日报2022年报道^[18],良种对于粮食增产的贡献率已超过45%,良种的育成离不开优异种质资源的发掘与利用。育种工作中由于少数种质资源的高频次使用,导致育成品种遗传基础越来越狭窄,全成哲等^[7]分析吉林省近年来审定的73份水稻品种遗传多样性发现,这些审定品种中近50%的品种有吉粳88血缘,甚至个别品种的双亲均有吉粳88血缘,这也间接导致了吉林省近年审定水稻品种的单一化现象较为严重。虽然拥有大量的种质资源,

但并不代表它们具有丰富的遗传多样性。遗传多样性是衡量某一物种种内或种间遗传变异的一个重要指标^[11]。因此,研究种质资源的遗传多样性可以辅助了解其遗传信息及变异概率^[19],为育种及遗传改良奠定基础。稻种资源是改良、创新及选育水稻新品种的基础材料,研究水稻种质资源的遗传多样性可以为发掘有利基因提供一定的参考和理论依据。

3.1 水稻种质资源重要农艺性状遗传差异

本研究针对1775份水稻种质资源20个重要农艺性状的分析发现,这些性状间均存在不同程度的

变异。张小利等^[20]研究认为,变异系数越大,遗传变异越丰富,品种改良时可利用的潜力就越大。孙铭等^[21]、田朋佳等^[22]的研究均认为当变异系数大于 10.00% 时,样本间存在的差异较大。本研究 20 个农艺性状的变异系数变化范围在 4.42%(谷粒厚度)~89.75%(空粒数)之间,其中穗颈长、剑叶长宽比、单株产量、穗粒数及空粒数共 5 个性状的变异系数均大于 20.00%,株高、分蘖数、有效穗数、穗长、剑叶长度、剑叶宽度、千粒重及谷粒长宽比共 8 个性状的变异系数均大于 10.00%,说明这 13 个性状的遗传变异较丰富,这一研究结果与刘文静等^[23]、李振姣等^[24]、陈越等^[25]的研究结果基本一致。遗传多样性指数变化范围在 1.585(空粒数)~2.069(抽穗期)之间,平均值为 1.978,其中 13 个性状的遗传多样性指数均大于平均值,且这些性状均与产量相关,说明与产量相关的性状遗传多样性较丰富,这一研究结果与全成哲等^[7]、刘文静等^[23]、金建楚^[26]的研究结果基本相同。

始穗期、抽穗期及齐穗期决定了水稻在种植地区的适应性,且始穗-齐穗天数能直观反应水稻的整齐度,是影响产量的重要农艺性状^[27]。本研究通过 11 个省(市)种质的生育期性状对比分析发现,黑龙江省的种质在吉林省表现抽穗较早、较快,且抽穗整齐,尤其是牡丹江 25,抽穗快、整齐,千粒重较高,空粒数少,结实率高达 97%,其余性状表现均优异;江苏省的种质在吉林省表现偏晚,抽穗历时较长;云南省的种质齐穗历时较长;宁夏的种质在吉林省表现抽穗较快、较整齐,尤其是宁粳 28、宁粳 41 等育成品种的始穗-齐穗天数仅需 3.8 d。生育期性状的对比分析可为今后不同生育期水稻种质改良提供理论支撑。针对 20 个农艺性状的分析发现,这些种质的农艺性状表现各异,导致多样性也不尽相同。20 个农艺性状的遗传多样性指数最大值分布在 8 个省(市),其中吉林省种质资源有效穗数、穗粒数等 7 个性状的遗传多样性指数在 11 个省(市)中最大,说明吉林省种质在有效穗数、穗粒数等性状方面具有较丰富的遗传多样性。云南省种质的始穗期、穗长等 4 个性状的遗传多样性指数在 11 个省(市)中最大,说明云南省种质在始穗期等 4 个性状方面具有较丰富的遗传多样性。黑龙江省种质的抽穗期、剑叶长宽比、谷粒长宽比共 3 个性状的遗传多样性指数大于其他省(市),说明黑龙江省种质的抽穗期等 3 个性状具有较丰富的遗传多样性。宁夏种质株高及千粒重的遗传多样性指数大于其他省(市),说明

宁夏种质的株高及千粒重 2 个性状的遗传多样性优于其他省(市)。通过对不同地理来源种质遗传多样性的分析,可为今后水稻目标性状育种提供广泛的亲本材料。

对不同类型种质单独分析发现,不同类型种质的性状变异系数与遗传多样性指数表现各不相同,品系 13 个性状的变异系数大于 10.00%,地方品种 11 个性状、选育品种 12 个性状的变异系数大于 10.00%,其中空粒数的变异系数在 3 类种质中均是最大的,说明空粒数具有较丰富的遗传变异。地方品种的剑叶长度及株高等 11 个性状的遗传多样性指数在 3 类种质中最大,说明本研究中 219 份水稻地方品种的剑叶长度及株高等 11 个性状的遗传背景比较宽泛,遗传多样性较丰富;选育品种的 3 个生育期性状、有效穗数及谷粒宽度等 9 个性状的遗传多样性指数在 3 类种质中最大,说明选育品种在生育期、产量及稻米品质等方面遗传背景比较宽泛,具有较丰富的遗传多样性,这与水稻在驯化过程中的人工选择密不可分^[28]。品系 19 个性状的遗传多样性指数在 3 类种质中均最小,遗传多样性水平较低,其原因可能是品种改良过程中性状单一化所致。

3.2 水稻种质资源表型性状综合评价

据统计,我国保存的水稻种质资源已逾 10 万份,但是水稻表型性状众多,如何高效、精准且规模化地鉴定水稻种质资源是水稻育种急需解决的重要问题。本研究通过对 20 个农艺性状的相关性分析,发现 149 个相关系数达到极显著水平,说明这些性状之间存在着复杂的相互关系,这一结果与陈小龙等^[29]的研究结果基本一致。主成分分析结果表明,前 6 个主成分累积贡献率达 79.309%,贡献率最大的为生育期性状,包括始穗期、抽穗期及齐穗期,其次为与产量相关的性状剑叶长宽比及有效穗数等,与谷粒相关的性状贡献率也较大,说明生育期、产量及谷粒性状是造成这些种质表型多样化的主要因素。通过聚类分析发现,1775 份水稻种质资源被划分成 3 个类群,各类群种质的性状间存在明显差异。类群 I 包含东北三省及北京和杭州,这类群种质的始穗期等生育期性状、与产量相关的性状如分蘖数及有效穗数等 10 个性状的遗传多样性较丰富,可为今后水稻种质资源创新及新品种选育提供优异种质。第 II 类群仅包含宁夏,说明宁夏种质资源与其他省(市)种质资源的亲缘关系较远,因此,应加大对宁夏种质的利用率,以拓宽水稻种质资源

传基础。第III类群包含河北、山东、云南、江苏及新疆,此类群种质谷粒长度的遗传多样性指数在3个类群中最大,说明这些种质的谷粒长度具有较丰富的多样性,可为今后水稻品质育种提供丰富的种质。

参考文献

- [1] 赵凌,赵春芳,周丽慧,王才林.中国水稻生产现状与发展趋势.江苏农业科学,2015,43(10):105-107
Zhao L, Zhao C F, Zhou L H, Wang C L. Current situation and development trend of rice production in China. Jiangsu Agricultural Sciences, 2015, 43(10): 105-107
- [2] 黄睿.吉林省水稻种植的生态效率评价及影响因素分析.长春:吉林大学,2023
Huang R. Ecological efficiency evaluation and influencing factors analysis of rice farming in Jilin province. Changchun: Jilin University, 2003
- [3] 李莉,孙辉,姜兆远,朱峰,王继春,任金平,刘晓梅,刘振蛟.2010-2020年吉林省国审水稻品种特征特性分析.中国稻米,2023,29(1):103-107
Li L, Sun H, Jiang Z Y, Zhu F, Wang J C, Ren J P, Liu X M, Liu Z J. Analysis on characteristics of national-certified rice varieties in Jilin province from 2010 to 2020. China Rice, 2023, 29(1): 103-107
- [4] 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
- [5] 魏兴华.我国水稻品种资源研究进展与展望.中国稻米,2019,25(5):8-11
Wei X H. Progress and prospect of rice germplasm research in China. China Rice, 2019, 25(5): 8-11
- [6] 马斯霜,李振姣,赵璐,张倩南,李金吉,田蕾,杨淑琴,李培富.宁夏水稻地方品种与自育品种表型性状遗传多样性分析.西北农业学报,2017,26(2):216-226
Ma S S, Li Z J, Zhao L, Zhang Q N, Li J J, Tian L, Yang S Q, Li P F. Genetic diversity of phenotypic traits of rice landraces and selfbred varieties in Ningxia. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2017, 26(2): 216-226
- [7] 全成哲,李淑芳,李鹤南,于维,金京花.吉林省73份审定水稻品种的表型性状遗传多样性研究.作物杂志,2024(3):64-75
Quan C Z, Li S F, Li H N, Yu W, Jin J H. Genetic diversity study of phenotypic traits of 73 rice varieties by approved in Jinlin province. Crops, 2024(3): 64-75
- [8] 马作斌,王昌华,王辉,付亮.不同国家水稻品种的遗传多样性分析.植物遗传资源学报,2014,15(3):540-545
Ma Z B, Wang C H, Wang H, Fu L. Analysis on genetic diversity of rice varieties from different countries. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(3): 540-545
- [9] 刘丹,王嘉宇,马殿荣,孙健,柴永山,孙玉友,魏才强,解忠,李洪亮,张巍巍,程杜娟,孙国宏,陈温福.东北地区杂草稻与栽培稻的遗传多样性及籼粳分化.植物遗传资源学报,2017,18(2):217-224
Liu D, Wang J Y, Ma D R, Sun J, Chai Y S, Sun Y Y, Wei C Q, Xie Z, Li H L, Zhang W W, Cheng D J, Sun G H, Chen W F. Genetic diversity and *Indica-Japonica* differentiation between weedy rice and cultivars in northeast of China. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(2): 217-224
- [10] 阮仁超,陈惠查,张再兴,杨玉顺,金桃叶,游俊梅,朱玉琴.贵州稻种资源遗传多样性研究现状与展望.植物遗传资源学报,2001,2(2):56-60
Ruan R C, Chen H C, Zhang Z X, Yang Y S, Jin T Y, You J M, Zhu Y Q. Progress and prospects of research and utilization on genetic diversity of rice germplasm in Guizhou. Journal of Plant Genetic Resources, 2001, 2(2): 56-60
- [11] 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
- [12] 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
- [13] 陈丽,孙建昌.60份不同来源梗稻种质资源表型性状的多样性分析及综合评价.中国稻米,2022,28(6):74-82
Chen L, Chen J C. Diversity analysis and comprehensive evaluation of phenotypic traits in 60 *Japonica* rice germplasm resources from different sources. China Rice, 2022, 28(6): 74-82
- [14] 宋玥,李飞,王君瑞,乔卫华,王新华,徐志健,吕树伟,汤翠凤,王记林,刘文强,朱业宝,郑晓明,杨庆文.中国普通野生稻重要农艺性状的遗传多样性研究.植物遗传资源学报,2020,21(6):1512-1520
Song Y, Li F, Wang J R, Qiao W H, Wang X H, Xu Z J, Lyu S W, Tang C F, Wang J L, Liu W Q, Zhu Y B, Zheng X M, Yang Q W. Genetic diversity analysis of important agronomic traits of common wild rice germplasm accessions collected from China. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21(6): 1512-1520
- [15] 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
Hang L Z, Wei X H. Descriptors and data standard for rice (*Oryza sativa* L.). Beijing: China Agriculture Press, 2006
- [16] 赵香娜,李桂英,刘洋,陆平,顿宝庆,岳美琪,张璞.国内外甜高粱种质资源主要性状遗传多样性及相关性分析.植物遗传资源学报,2008,9(3):302-307
Zhao X N, Li G Y, Liu Y, Lu P, Dun B Q, Yue M Q, Zhang P.

- Genetic diversity and correlation analysis of main agronomic characters in domestic and foreign sweet sorghum germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2008, 9(3): 302-307
- [17] Shannon C E. A mathematical theory of communication. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 2001, 5(1): 3-55
- [18] 吴齐强, 郝迎灿, 张艺开. 好种子为黑土地带来好收成. (2022-04-28) [2024-06-02]. 人民日报, [http://paper. people. com. cn/rmrb/html/2022-04/28/nbs.D110000renmrb_01.htm](http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2022-04/28/nbs.D110000renmrb_01.htm)
Wu Q Q, Hao Y C, Zhang Y K. Good seeds bring a good harvest to the black soil. (2022-04-28) [2024-06-02]. *Remin Ribao*, [http://paper. people. com. cn/rmrb/html/2022-04/28/nbs. D110000renmrb_01.htm](http://paper. people. com. cn/rmrb/html/2022-04/28/nbs.D110000renmrb_01.htm)
- [19] 孙东雷, 卞能飞, 陈志德, 邢兴华, 徐泽俊, 齐玉军, 王幸, 王晓军, 王伟. 花生种质资源表型性状的综合评价及指标筛选. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(5): 865-874
Sun D L, Bian N F, Chen Z D, Xing X H, Xu Z J, Qi Y J, Wang X, Wang X J, Wang W. Comprehensive evaluation and index screening of phenotypic traits in peanut germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(5): 865-874
- [20] 张小利, 朱灵龙, 李付振, 唐秀梅, 夏友霖, 游宇, 钟瑞春. 115 份花生种质资源农艺与品质性状鉴评及分析. *浙江农业学报*, 2023, 35(9): 2033-2044
Zhang X L, Zhu L L, Li F Z, Tang X M, Xia Y L, You Y, Zhong R C. Evaluation and analysis of agronomic and quality traits of 115 peanut germplasm resources. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2023, 35(9): 2033-2044
- [21] 孙铭, 符开欣, 范彦, 张新全, 张成林, 郭志慧, 汪霞, 马啸. 15 份多花黑麦草优良引进种质的表型变异分析. *植物遗传资源学报*, 2016, 17(4): 655-662
Sun M, Fu K X, Fan Y, Zhang X Q, Zhang C L, Guo Z H, Wang X, Ma X. Analysis of phenotypic variations in 15 introduced elite germplasm of *Lolium multiflorum* Lam.. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17(4): 655-662
- [22] 田朋佳, 廖文华, 高小丽, 黄海皎, 尼玛央宗, 拉巴扎西, 次珍, 曲吉. 140 份西藏大麦种质资源遗传多样性分析. *西南农业学报*, 2022, 35(1): 16-26
Tian P J, Liao W H, Gao X L, Huang H J, Ni M Y Z, La B Z X, Ci Z, Qu J. Genetic diversity analysis of 140 barley germplasm resources in Tibet. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 35(1): 16-26
- [23] 刘文静, 徐庆国. 湖南省地方稻品种表型性状遗传多样性分析及优良种质资源筛选. *农业研究与应用*, 2021, 34(5): 15-22
Liu W J, Xu Q G. Genetic diversity analysis of phenotypic traits and selection of superior germplasm resources of local rice varieties in Hunan province. *Agricultural Research and Application*, 2021, 34(5): 15-22
- [24] 李振姣, 马斯霜, 邵丽群, 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. *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 imported rice germplasm resources in Ningxia. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2016, 44(8): 117-121
- [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. *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. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2019, 31(11): 1779-1789
- [26] 金建楚. 湖南地方稻品种表型性状与 SSR 遗传多样性研究. 长沙: 湖南大学, 2018
Jin J C. Phenotypic traits and SSR genetic diversity of Hunan local rice varieties. Changsha: Hunan University, 2018
- [27] 闫晓峰, 胡渊, 黄晓龙, 金涛, 李海申, 田云录, 江玲, 周时荣, 万建民. 水稻抽穗期基因 *OsFKF1* 的克隆和互作蛋白筛选. *南京农业大学学报*, 2023, 46(3): 429-437
Yan X F, Hu Y, Huang X L, Jin T, Li H S, Tian Y L, Jiang L, Zhou S R, Wan J M. Cloning of rice heading date gene *OsFKF1* and screening of interacting proteins. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2023, 46(3): 429-437
- [28] 杜怀东, 刘晓刚, 刘阳, 王纪元, 宋佳伟, 孙志勇, 马伟, 陈思怡, 杨小丽, 田蕾, 李培富. 粳稻种质资源产量性状和籽粒矿质营养品质综合评价. *植物遗传资源学报*, 2023, 24(5): 1277-1290
Du H D, Liu X G, Liu Y, Wang J Y, Song J W, Sun Z Y, Ma W, Chen S Y, Yang X L, Tian L, Li P F. Comprehensive evaluation of yield traits and seed mineral nutrient quality of *Japonica* rice germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(5): 1277-1290
- [29] 陈小龙, 马利奋, 李培富, 杨淑琴, 马宏伟. 宁夏粳稻种质资源表型性状遗传多样性分析. *中国农学通报*, 2013, 29(33): 43-49
Chen X L, Ma L F, Li P F, Yang S Q, Ma H W. Genetic diversity of *Japonica* rice varieties in Ningxia province by using phenotypic character. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(33): 43-49