

浙江省水稻种质资源的遗传相似度分析

严志琴^{1,3}, 章孟臣^{1,3}, 陈小央², 李燕², 徐群¹, 王珊¹,
冯跃¹, 魏兴华^{1,3}, 杨窑龙¹

(¹中国水稻研究所/水稻生物育种全国重点实验室, 浙江杭州 311400; ²浙江省种子管理总站, 杭州 310000; ³三亚中国农业科学院国家南繁研究院, 三亚 572024)

摘要: 浙江省水稻栽培历史悠久, 拥有丰富的稻种资源。目前保存在国家水稻种质资源中期库(杭州)的浙江省稻种资源共有 2000 余份, 但并没有进行系统的筛选鉴定, 导致会存在一些重复保存的稻种资源。本研究以 1970 份浙江省原产稻种资源为研究材料, 利用第二代重测序技术构建了浙江省稻种资源的基因组变异图谱, 通过对测序深度、连锁不平衡、缺失率等条件进行 SNP 过滤, 筛选 10,532 个核心 SNP 标记用于遗传相似度计算。本研究对 13 组主要的同名品种进行分析, 同名品种之间的遗传相似度均未超过 95%, 且相互之间存在一定的表型变异, 因此同名材料间实际为不同的水稻品种。同时利用 1970 份材料的核心 SNP 标记, 通过计算两两遗传相似度, 筛选出 13 个高遗传相似度的材料组合。比较表型鉴定结果、植株形态特征发现, 高遗传相似度的材料具有高度相似的表型与田间表现, 在一定程度上证实了遗传相似度在水稻品种鉴定中的有效性。本研究基本摸清了浙江省水稻种质资源家底, 为浙江水稻种质资源的保护和利用提供了重要的科学依据。

关键词: 稻种资源; 核心 SNP 标记; 遗传相似度; 表型变异

Identification of Repetitive Rice Germplasm Resources Based on Genetic Similarity in Zhejiang Province

YAN Zhiqin^{1,3}, ZHANG Mengchen^{1,3}, CHEN Xiaoyang², LI Yan², XU Qun¹, WANG Shan¹,
FENG Yue¹, WEI Xinghua^{1,3}, YANG Yaolong¹

(¹State Key Laboratory of Rice Biology and Breeding, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; ²Zhejiang Provincial

Department of Agriculture seed management station, Hangzhou 310000; ³National Nanfan Research Institute (Sanya), Chinese Academy of Agricultural Sciences, Sanya 572024)

Abstract: The history of rice cultivation in Zhejiang Province is long-standing, with a rich of rice germplasm resources. At present, there are more than 2000 rice germplasm resources from Zhejiang Province in the National Rice Germplasm Resources

收稿日期: 2025-02-11

网络出版日期:

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250211001>

第一作者: 严志琴, 研究方向为水稻种质资源, E-mail: 15204806990@163.com; 章孟臣为共同第一作者

通信作者: 杨窑龙, 研究方向为水稻种质资源, E-mail: yangyaolong@caas.cn

魏兴华, 研究方向为水稻种质资源, E-mail: weixinghua@caas.cn

基金项目: 浙江省水稻精准鉴定项目(2022JZJD001); 中国农业科学院南繁专项(YBXM2421); 中国农业科学院科技创新工程项目
Foundation projects: Rice Germplasm Identification Project of General Seed Management Station of Agriculture and Rural Affairs Department in Zhejiang Province (2022JZJD001); Nanfan special project, CAAS(YBXM2421); The Agricultural Science and Technology Innovation Program (ASTIP)

Intermediate Bank (Hangzhou). However, these resources have not been systematically screened and identified, which may lead to the existence of some duplicated resources. Here, 1970 rice germplasm resources originating from Zhejiang Province have been used for genome variation map construction through the whole-genome resequencing. 10,532 core SNP markers were screened for genetic similarity calculation by SNP filtering based on sequencing depth, linkage disequilibrium, and missing rate. In this study, the analysis of 13 groups of main homonymous rice resources demonstrated that the genetic similarity among these homonymous rice resources was less than 95%. Moreover, the homonymous rice resources exhibited large phenotypic variations and were actually different rice resources. At the same time, pairwise genetic similarity of 1970 rice resources was calculated by using the core SNP markers, and 13 group rice resources combinations with high genetic similarity were selected. By comparing the phenotypic identification results and plant morphological characteristics, it was found that the rice resources with high genetic similarity had highly similar phenotypes and field performances, which confirmed the effectiveness of genetic similarity in rice resources identification to some extent. This study has essentially clarified the inventory of rice germplasm resources in Zhejiang Province, providing an important scientific basis for the conservation and utilization of rice germplasm resources in Zhejiang Province.

Key words: rice germplasm resources; core SNP markers; genetic similarity; phenotypic variation

浙江省作为中国东南沿海的重要省份，地处南北过渡地带，地理条件优越，生态复杂多样，以其悠久的水稻栽培历史和丰富的稻种资源而闻名，留下了许多光辉灿烂的稻作文化遗存，如浦江上山文化、河姆渡文化、良渚文化等遗迹^[1]。水稻不仅是浙江省的主要粮食作物，也是当地农业经济的重要组成部分^[2]。目前，我国国家作物水稻中期库保存有浙江省水稻种质资源 2000 余份，其中 90%以上为地方水稻品种。然而由于当时材料收集数目繁多，条件有限，编目入库的水稻资源可能会存在一些重复提交等问题。来自不同采集地的同名水稻资源由于长期受到人为选择压力、当地自然环境胁迫导致的遗传漂移等因素影响，也会表现出一定的遗传差异^[3]。这些情况会导致入库材料可能会存在同名异种与同种异名现象，但表型鉴定工作量大，难以实现高通量，这对种质资源的管理和利用构成了挑战，极大限制了水稻种质资源高效保存与鉴定利用^[4]。

随着现代生物技术的发展，尤其是分子标记与测序技术的发展，水稻基因组信息的获取已经变得越来越简单。单核苷酸多态性 (Single Nucleotide Polymorphism, SNP) 正迅速兴起，成为植物育种和遗传学应用中首选的 DNA 分子标记。遗传相似度计算通过分析水稻品种间的遗传差异，能够揭示品种间的亲缘关系和遗传多样性，是品种鉴定的主要方法^[5]。魏兴华等早期利用 24 个 SSR 分子标记扩增产物的电泳图谱对不同水稻品种进行鉴别^[6]。2014、2021 年也陆续发布了基于 48 对 SSR 分子标记水稻品种真实性鉴定的标准，并采用毛细管电泳的方法进行品种鉴别^[7]。而品种数量的不断增加导致少量的分子标记已经不能满足品种鉴定的要求，SNP 标记由于其数量多，分布广等优点，已经逐步运用于水稻品种鉴定

过程中^[8]。在水稻资源研究中，马小定等运用两套 SNP 标记构建了 5374 份水稻种质资源的指纹图谱，通过遗传相似度的方法来鉴别水稻种质资源^[9]。

本研究以来源于浙江省 1970 份稻种资源为分析群体，包括选育品种、地方品种、中间材料，结合这些材料的重测序数据，构建了浙江省种质资源的 SNP 指纹图谱。通过计算遗传相似度，结合表型性状，分析同名品种之间的遗传差异，以及筛选鉴定浙江省稻种资源中的重复资源，明确浙江省水稻资源的家底，为种质库品种管理，保护与利用提供参考。

1. 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料共 1970 份，均为浙江省原产品种，保存于国家水稻种质资源中期库（杭州），包括选育品种 141 份、地方品种 1600 份、中间材料 259 份。

1.2 试验方法

1.2.1 基因组重测序 （1）DNA 提取与质控：利用 CTAB 法提取水稻幼嫩叶片，使用琼脂糖凝胶电泳、Nanodrop 和 Qubit 4.0 荧光定量仪对提取得到的 DNA 进行质检。（2）测序文库构建：使用 MGIEasy 酶切 DNA 文库制备试剂盒进行 DNA 文库构建。质检合格的 DNA 样本，经片段化处理、片段筛选、末端修复、接头连接、产物扩增、变性、单链环化、酶切消化与纯化等步骤完成测序文库的构建。（3）文库质检：使用 Qubit 4.0 对酶切消化纯化后产物单链 DNA 荧光定量，要求酶切消化产物产量（ssDNA）/PCR 投入量（dsDNA） $\geq 7\%$ ，保证文库质量。（4）上机测序：将库检合格的文库按照浓度制备 DNB，最后利用 MGISEQ-2000RS 或 MGISEQ-T7 测序平台进行 PE150 模式上机测序。

1.2.2 测序下机数据处理与变异检测 （1）数据质控：使用 FastQC^[10]的默认参数对获得的原始测序数据进行质控，过滤不合格 reads，使用 Trimmomatic 进行修剪，得到 clean reads 用于后续分析。利用软件 BWA（v0.7.8），使用默认参数将高质量的双端 clean reads 比对到 Nipponbare 参考基因组（MSU V7.0）。使用 SAMtools（v. 0.1.19）将比对结果转换为 BAM 格式^[11-12]，并用 Picard 过滤掉重复。（2）变异检测：利用 BWA 软件基于 clean reads 对比水稻日本晴参考基因组（MSU V7.0），使用 SAMtools 将对比结果进行排序并转换为 BAM 格式，Picard 去重，使用 SAMtools 和 GATK 进行 SNP 变异检测，并删除符合以下条件的低质量变异：QD < 20.0, ReadPosRankSum < -8.0, FS > 10.0, QUAL < Mean QUAL^[13]。

1.2.3 变异质控与分析 利用 VCFtools 工具筛选 SNP^[14]，过滤低质量变异，具体筛选标准如下：缺失率 < 20%，位点对比的质量值 > 40，位点支持的 read 数 > 8。核心位点筛选主要采用以下标准，利用 Plink 软件^[15]，--missing 参数去除有缺失的标记，--hardy 参数去除杂合率高的 SNP 位点，--maf 参数去除出最小等位基因频率低的位点，--indep-pairwise 参数筛选连锁不平衡系数过大的位点。基于水稻日本晴参考

基因组 (MSU V7.0) 的注释信息, 使用 ANNOVAR 软件对核心 SNP 进行注释^[16]。使用 R 软件的 CMplot 包绘制每条染色体 SNP 的密度分布图。

1.2.4 遗传相似度计算 基于核心 SNP 分子标记, 通过以下公式对各品种间的位点相似度进行计算:

$$LS_{ij}=n_{ij}/N_{ij}$$

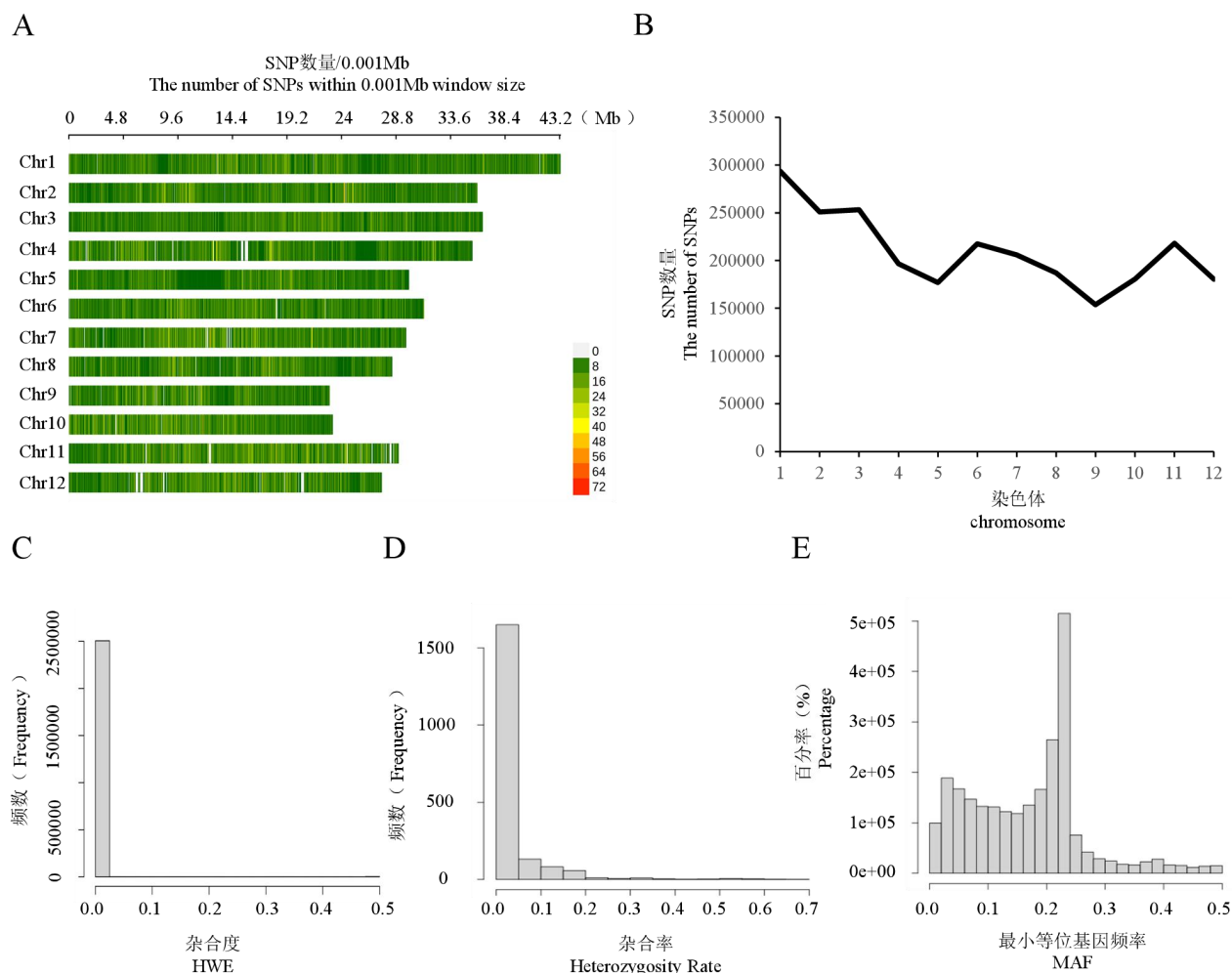
式中, LS_{ij} 表示品种 i 与品种 j 间的遗传相似度; n_i 表示品种 i 与品种 j 中均检测到的且基因型相同的 SNP 位点数; N_{ij} 表示品种 i 与品种 j 中均检测到的 SNP 位点数。采用 Excel 2016 对遗传相似度数据进行热图绘制。

1.2.5 农艺性状表型鉴定 本研究涉及到的水稻材料于 2024 年在浙江杭州中国水稻研究所富阳试验基地进行种植。每份材料单株种植 4 行, 每行 6 株, 行株距为 20 cm×20 cm。选取已成熟材料的中间行且生长状况一致的 6 株植株进行抽穗期 (Heading date)、有效穗数 (Panicle number per plant)、株高 (Plant height)、剑叶长 (Flag leaf length) 和剑叶宽 (Flag leaf width) 调查, 并采集所调查植株的主穗带回实验室进行穗长 (Panicle length)、每穗总粒数 (Grain number per panicle)、谷粒长 (Grain length)、谷粒宽 (Grain width) 等考种数据的收集, 每个样本三个重复。使用 R 根据浙江省稻种资源的表型性状分别计算各个材料间的欧氏距离。

2. 结果与分析

2.1 基因组变异图谱构建

本研究对 1970 份浙江省水稻进行重测序, 下机数据共有 15.4 Tb, 平均每份种质资源的测序深度超过 20×, 通过生物信息学工具提取了 1970 份水稻种质的基因组遗传变异信息。测序数据进行严格的过滤和质控后, 共检测到 2,514,813 个高质量的 SNP 标记分布在水稻 12 条染色体上, 平均每 kb 有 6.6 个 SNP (图 1A)。第 1 条染色体上分布的 SNP 最多, 第 9 条染色体上分布的 SNP 最少 (图 1B)。进一步对样本和 SNP 杂合度分析发现, 整个水稻材料的样本杂合度很低, 90% 以上的样本 SNP 杂合度在 5% 以内, 说明这些水稻材料在遗传上都基本已稳定 (图 1C)。SNP 位点的杂合率分析发现, 所有的 SNP 的杂合率都非常低, 均小于 2% (图 1D)。对 SNP 标记的最小等位基因频率 (MAF) 分析发现, MAF 值都集中在 0.25 以内, 并含有少量的稀有变异 (MAF<0.01) (图 1E)。



A: 12 条染色体上每 0.001Mb 窗口内 SNP 密度的分布; B:SNP 标记在染色体上的统计数据; C:平均杂合度分布; D:平均杂合率分布; E:最小等位基因频率分布

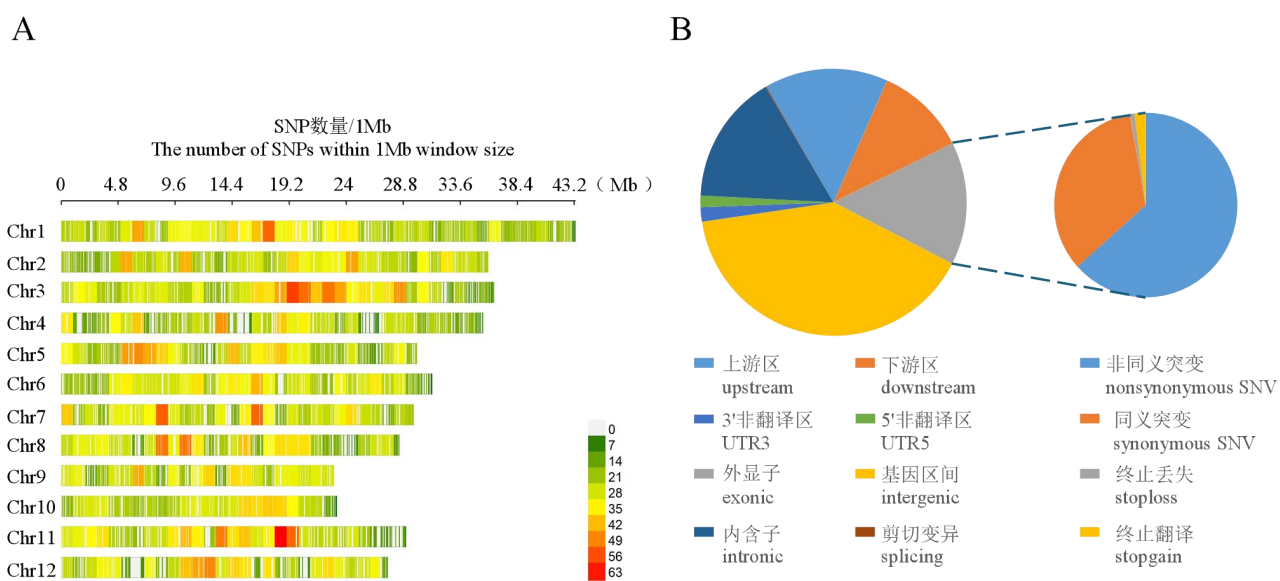
A: Distribution of SNP density per 0.001Mb window across the 12 chromosomes; B: Statistics of SNP markers on chromosomes; C: Average heterozygosity distribution; D: Average heterozygosity rate distribution; E: Minor Allele Frequency distribution

图 1 1970 份浙江省水稻重测序数据统计

Fig.1 Statistics of 1970 rice resequencing data in Zhejiang Province

2.2 核心 SNP 标记的筛选

为进一步构建 1970 份水稻品种核心 SNP 指纹数据库，我们对检测到的 SNP 位点进一步过滤筛选，利用 PLINK 软件去除杂合率、缺失率较高的 SNP 位点，并筛选出最小等位基因频率大于 5% 的位点后，最后利用独立位点的连锁强度 (r^2) < 0.1 为标准进行筛选，共筛选到 10,523 个 SNP 位点。这些位点均匀分布于水稻 12 条染色体上，平均 1 Mb 长度上约有 27.7 个 SNP 位点，具体分布如下图（图 2A）。将这些标记进行基因注释发现，39.15% 的位点位于基因间，33.21% 的位点位于基因内，其中位于基因外显子上的 SNP 中，有 66.14% 的位点可以改变基因编码蛋白的氨基酸，从而可能导致蛋白功能的变化（图 2B）。



A: 12 条染色体上每 1Mb 窗口内核心 SNP 密度的分布; B: 核心 SNP 在基因组中不同区域的分布

A: Distribution of core SNP density per 1Mb window across the 12 chromosomes; B: Distribution of core SNP on different regions of the genome

图 2 1970 份水稻品种核心 SNP 分布

Fig.2 Distribution of SNP in the core of 1970 rice varieties

2.3 同名品种间遗传相似度

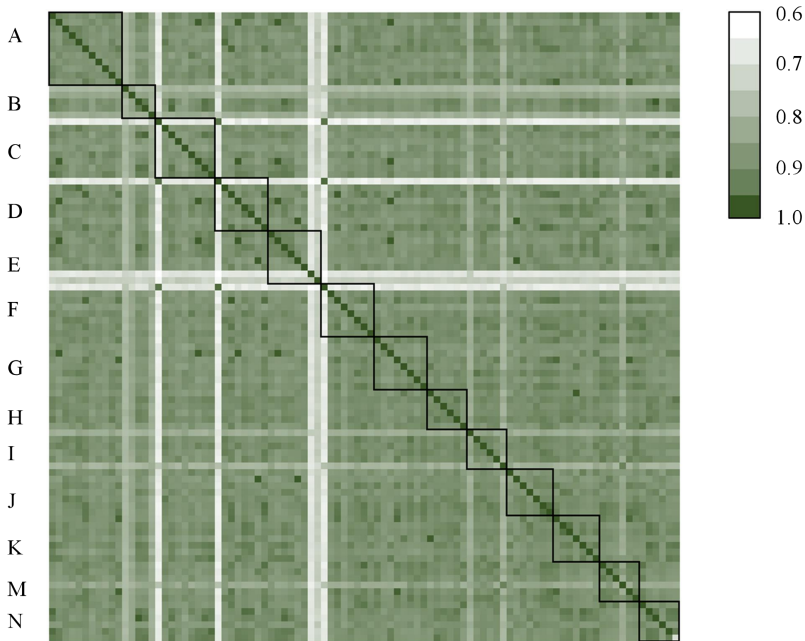
为明确 1970 份水稻种质资源是否存在重复收集的情况，我们利用核心 SNP 标记计算每两个品种间的遗传相似度来初步解决重复资源的快速筛选问题。首先，我们利用 1970 份材料的基本信息，筛选出有较多同名品种的材料共 13 组。对每组同名材料基本信息进行整理发现，每组同名品种均大于 5 个材料，最多可达 11 个，共计 95 个品种（详见 <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpg.20250211001>，附表 1）。对这 95 个品种利用核心 SNP 标记进行两两遗传相似度计算，结果发现，这些同名品种之间的最小遗传相似度为 0.645，最大遗传相似度为 0.931（表 1）。其中大部分同名材料来源地都多样的，红壳稻有 8 个同名品种且来源于 6 个地区，是来源地最多的同名品种，而长红稻和矮洋稻中所有的同名材料均来源于同一个地方，但品种间的遗传相似度并不是很高，位于 0.807-0.941 之间。田鸡青是浙江地区粳稻地方品种，其拥有同名品种最多，共有 11 个同名品种，分别来源于浙江桐乡、嘉善、嘉兴、绍兴以及吴兴等 5 个地区，不同的田鸡青品种之间的遗传相似度位于 0.843-0.915 之间（表 1）。总体来看，同名材料中两两样本间遗传相似度均不高，且差异较大，可以初步确认浙江省入库同名品种中并不存在重复的水稻品种（图 3）。

表 1 13 组同名稻种资源基本信息

Table 1 Basic information of 13 groups of rice germplasm resources with the same name

组号	品种名	品种数量	来源地	遗传相似度
Group	Variety name	Variety number	Source	Genetic similarity
A	田鸡青	11	桐乡、嘉善、绍兴、嘉兴、吴兴	0.843-0.915
B	红壳晚	5	泰顺、海盐、嘉兴、吴兴	0.782-0.922

C	江北荔枝红	9	桐乡、嘉兴、吴兴	0.669-0.931
D	黄种	8	嘉善、平湖、嘉兴、吴兴	0.645-0.947
E	红谷种	8	嘉善、嘉兴、吴兴	0.673-0.907
F	红壳稻	8	遂昌、嵊县、临安、嘉兴、吴兴、嘉善	0.649-0.928
G	小种	8	嘉善、平湖、嘉兴、吴兴	0.838-0.912
H	矮脚金老头	6	德清、吴兴	0.854-0.925
I	三穗千	6	嘉兴、平湖、吴兴	0.783-0.895
J	早晚稻	7	海宁、嘉兴、吴兴	0.832-0.948
K	长红稻	7	吴兴	0.858-0.941
M	矮洋稻	6	嘉兴	0.807-0.917
N	红壳老来青	6	嘉善、嘉兴、吴兴	0.847-0.924



A-N 表示按照 13 组同名材料依次排列

A-N indicates 13 groups of rice resources with the same name are arranged in sequence

图 3 基于核心 SNP 计算 96 个品种的遗传相似度热图

Fig.3 Genetic similarity heat maps of 96 rice resources were calculated based on core SNP

同时，我们也对同名品种的田间表型进行调查比较，选取了包括抽穗期、株高、有效穗数、穗长、穗粒数、剑叶长宽、籽粒长宽等 9 个主要农艺性状进行测量（详见 <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250211001>，附表 2），结果发现同名材料在各性状的差异比较大，尤其是红壳稻品种，在株高、穗长、剑叶长以及粒长性状上变异系数最大，其中株高的变异范围从 112 cm 到 173 cm，剑叶长度相差近两倍，形态上呈现明显的差异。三穗千品种，在有效穗和穗粒数上表型差异较大。抽穗期差异较大的为矮洋稻，最多可相差 27 天。粒形差异最明显的为田鸡青品种。另外，利用表型数据计算了这些同名材料的欧式距离，欧式距离最小的品种为红壳老来青，其同名品种间的欧式距离范围为 1.7-3.9，同名品种间欧式距离最大的材料为田鸡青，其范围为 3.4-10.8（表 2）。综上研究发现，同名品种间表型不一致，

这也与遗传相似度结果类似。

表 2 13 组同名稻种资源表型信息概况

Table 2 phenotypic traits of 13 groups of rice germplasm resources of the same name

组号	品种名	抽穗期	株高	有效穗	穗长	穗粒数	剑叶长	剑叶宽	粒长	粒宽	欧式距离
Group	Variety	HD	PH	PNPP	PL	GNPP	FLL	FLW	GL	GW	European distance
	name	(d)	(cm)	(个)	(cm)	(粒)	(cm)	(cm)	(mm)	(mm)	
A	田鸡青	104.0-111.0	116.3-171.3	6.4-10.6	19.6-29.9	79.8-220.0	25.6-46.0	1.0-1.6	6.7-8.1	3.3-3.7	3.4-10.8
		1.85	11.67	15.86	13.00	31.60	19.10	13.81	6.05	4.05	
B	红壳晚	106.0-112.0	120.7-165.7	6.8-11.6	20.7-26.0	146.4-191.6	23.8-38.7	1.1-1.5	6.8-7.9	3.2-3.7	2.2-7.7
		2.10	12.96	20.06	10.66	12.36	21.67	13.46	5.66	6.63	
C	江北荔枝红	102.0-113.0	121.7-153.3	6.6-12.4	20.8-28.0	120.8-198.6	33.5-38.5	1.3-1.6	7.5-8.2	3.4-3.8	3.1-8.0
		3.12	8.85	24.31	8.37	18.75	5.56	7.02	2.59	5.09	
D	黄种	102.0-111.0	119.0-160.0	7.4-13.4	21.4-26.6	98.0-243.0	25.9-34.6	1.0-1.4	7.3-7.8	3.5-3.7	2.9-7.8
		2.99	10.21	25.42	9.01	29.74	9.03	10.57	1.90	2.13	
E	红谷种	104.0-110.0	116.7-151	6.2-9.8	19.8-25.7	113.0-166.2	25.5-43.4	1.0-1.5	7.6-8.2	3.4-3.8	2.8-6.8
		1.84	8.49	14.52	7.82	14.65	22.86	16.32	2.65	3.51	
F	红壳稻	101.0-117.0	112.3-173.0	6.6-11.4	19.2-31.3	123.6-231.4	25.6-48.1	0.9-1.5	7.0-8.4	3.3-3.7	3.1-9.8
		4.02	13.56	18.44	15.53	24.31	22.89	17.19	6.08	4.10	
G	小种	100.0-106.0	117.0-140.3	9.0-11.0	22.2-26.8	92.4-138.4	25.3-34.7	0.9-1.1	7.4-7.8	3.5-3.7	2.3-6.1
		1.93	6.82	7.30	6.49	12.84	9.34	8.15	1.89	2.82	
H	矮脚金老头	105.0-109.0	118.3-149.0	6.0-12.4	21.1-27.7	110.2-182.0	24.8-38.7	1.2-1.4	7.3-8.2	3.5-3.7	2.7-5.9
		1.43	7.85	28.15	10.97	18.29	16.72	7.10	3.74	1.97	
I	三穗千	103.0-110.0	121.7-152.7	5.0-15.6	22.0-28.2	72.0-201.4	26.4-35.4	1.0-1.4	7.2-8.1	3.5-3.9	3.3-8.5
		2.63	9.09	44.95	9.49	31.94	11.37	11.36	4.57	5.04	
J	早晚稻	101.0-108.0	121.7-140.7	6.4-12.8	20.5-26.7	80.0-212.8	27.4-39.5	0.9-1.6	6.8-7.7	3.4-3.7	2.7-7.8
		2.64	4.67	22.36	9.31	31.77	13.19	18.51	5.29	2.59	
K	长红稻	102.0-110.0	109.7-142.7	6.0-10.2	19.4-26.1	86.2-170.8	25.7-34.4	0.9-1.4	7.7-8.1	3.6-3.8	2.1-7.0
		2.91	9.27	19.21	10.14	23.84	11.50	13.44	2.19	1.85	
M	矮洋稻	99.0-126.0	124.0-161.3	6.0-12.4	21.6-27.7	115.8-211.0	26.9-37.3	1.1-1.3	7.0-7.9	3.3-3.8	2.4-11.1
		8.84	9.93	26.90	9.09	20.07	12.13	8.47	4.62	4.52	
N	红壳老来青	106.0-109.0	118.7-133.0	7.2-8.6	20.0-22.8	83.4-121.6	27.9-32.9	1.1-1.3	7.7-8.3	3.5-3.8	1.7-3.9
		0.98	4.64	6.74	4.68	12.43	6.51	6.54	2.71	3.25	

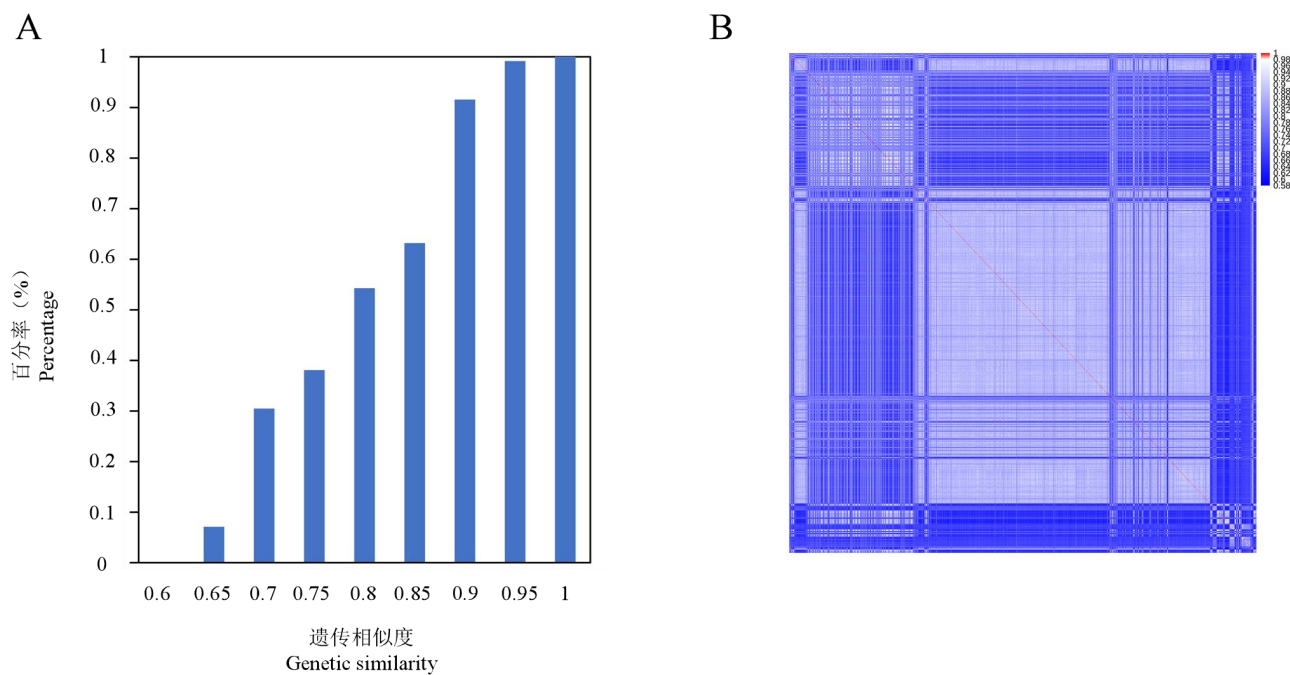
注：每组同名材料表型数据变异范围（上）和变异系数（下）。HD：抽穗期；PH：株高；PNPP：有效穗；PL：穗长；GNPP：穗粒数；FLL：剑叶长；FLW：剑叶宽；GL：粒长；GW：粒宽

Note: Variation range (top) and coefficient of variation (bottom) of phenotypic data of each group of rice germplasm resources with the same name. HD: Heading date; PH: Plant height; PNPP: Panicle number per plant; PL: Panicle length; GNPP: Grain number per panicle; FLL: Flag leaf length; FLW: Flag leaf width; GL: Grain length; GW: Grain width

2.4 基于遗传相似度的水稻重复材料筛选

利用核心 SNP 标记，对 1970 份浙江省材料，计算两两样本间的遗传相似度。结果显示，1970 份浙江省稻种资源间遗传相似度在 0.5854-0.9934 之间，平均遗传相似度为 0.78156。99.13%的样本对的遗传相似度均小于 0.95；大于 0.98 的样本对占总样本对的 0.14%；大于 0.99 的样本对有 22 对，占总样本对

的 0.0011%（图 4AB）。本研究选取了 13 组遗传相似度均超过 98%的材料，共 43 个品种，平均每组 3.3 个品种，数量最多的一组有 7 个品种，来源于 4 个不同的地区。根据来源地发现，遗传相似度高的品种，来源地相同的也比较多，13 组中共有 5 组来源地完全相同（表 3）。另外，遗传相似度热图显示发现，这 13 组材料呈现明显的聚类（图 5）。为了验证其是否为相同品种，对这 43 份材料同样进行了株高、穗长等 9 个农艺性状的表型调查（详见 <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250211001>，附表 3），结果发现，除了个别品种在一些性状上有少量差异外，每组材料间的大部分农艺性状表型数据十分接近。欧氏距离最小的品种为来自浙江临海的早轮稻和细秆青，二者欧氏距离为 0.8，欧氏距离最大的品种为第 12 组，其范围为 1.9-3.8。同时，也从每组材料中挑出相似度最高的两个或三个材料进行表型成对观察，所有材料均表现出类似的植株形态，说明这些材料很大程度上为极近似品种或相同品种（详见 <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250211001>，附图 1）。综上所述，利用遗传相似度的方法筛选资源中重复材料的方法是可行的。



A: 1970 份浙江省水稻两两间遗传相似度分布; B: 1970 份浙江省水稻两两间遗传相似度热图
A: Distribution of genetic similarity between 1970 rice in Zhejiang Province; B: Heat maps of genetic similarity between 1970 rice in Zhejiang Province

图 5 1970 份浙江省水稻两两间遗传相似度

Fig.5 Genetic similarity between 1970 rice in Zhejiang Province

表 3 13 组高遗传相似度水稻的基本信息

Table 3 Basic information of 13 groups of rice with high genetic similarity

组别	编号	名称	来源	欧氏距离
Group	Variety code	Variety name	Source	European distance
第 1 组	ZJRG-00176	九月粳	浙江乐清	1.1-3.1
	ZJRG-00182	三株京	浙江乐清	

	ZJRG-00271	兰溪籼	浙江永嘉	
	ZJRG-00362	八月白	浙江临海	
	ZJRG-00366	三粒籼	浙江临海	
	ZJRG-00382	硬头京	浙江临海	
	ZJRG-01084	芦柴黄	浙江吴兴	
第 2 组	ZJRG-00468	乌节谷	浙江金华	2.0-3.1
	ZJRG-00419	花早白	浙江开化	
	ZJRG-00461	乌谷	淳安县	
	ZJRG-00479	早花秋	浙江临安	
	ZJRG-01488	早花秋	浙江	
第 3 组	ZJRG-00090	岩京	浙江平阳	1.7-2.7
	ZJRG-00078	乌壳京	浙江平阳	
	ZJRG-00097	硬头京	浙江平阳	
	ZJRG-00111	高秆平阳金	浙江平阳	
第 4 组	ZJRG-00054	岩头京	浙江泰顺	1.2-2.2
	ZJRG-00363	十八穗	浙江临海	
	ZJRG-00531	小红稻	安吉县	
第 5 组	ZJRG-00141	红秆京仁	浙江温州	2.2
	ZJRG-00147	细秆京仁	浙江温州	
第 6 组	ZJRG-00173	而黄	浙江云和	1.6-3.4
	ZJRG-00174	细粒谷	浙江云和	
	ZJRG-00181	云和籼	浙江庆元	
	ZJRG-00223	廿尺式	浙江庆元	
第 7 组	ZJRG-00216	红芒粳	浙江庆元	2.2-3.2
	ZJRG-00266	红芒晚	浙江永嘉	
	ZJRG-00289	小白稻	浙江嘉善	
第 8 组	ZJRG-00235	长芒稻	浙江青田	2.0-3.3
	ZJRG-00241	松阳稻	浙江青田	
	ZJRG-00245	温州株	浙江青田	
第 9 组	ZJRG-00306	一支青	浙江丽水	2.3
	ZJRG-00325	浦城种	浙江丽水	
第 10 组	ZJRG-00374	旱轮稻	浙江临海	0.8
	ZJRG-00375	细秆青	浙江临海	
第 11 组	ZJRG-00404	油橙子	浙江永康	1.7-3.3
	ZJRG-00410	见灰倒	浙江金华	
	ZJRG-00452	友宜子	浙江建德	
第 12 组	ZJRG-00411	叶里藏大头叶 青	浙江金华	1.9-3.8
	ZJRG-00154	温州早	浙江温州	
	ZJRG-01387	6505	浙江杭州	
第 13 组	ZJRG-00417	诸暨早	浙江金华	2.9
	ZJRG-01489	早黄岩	浙江	

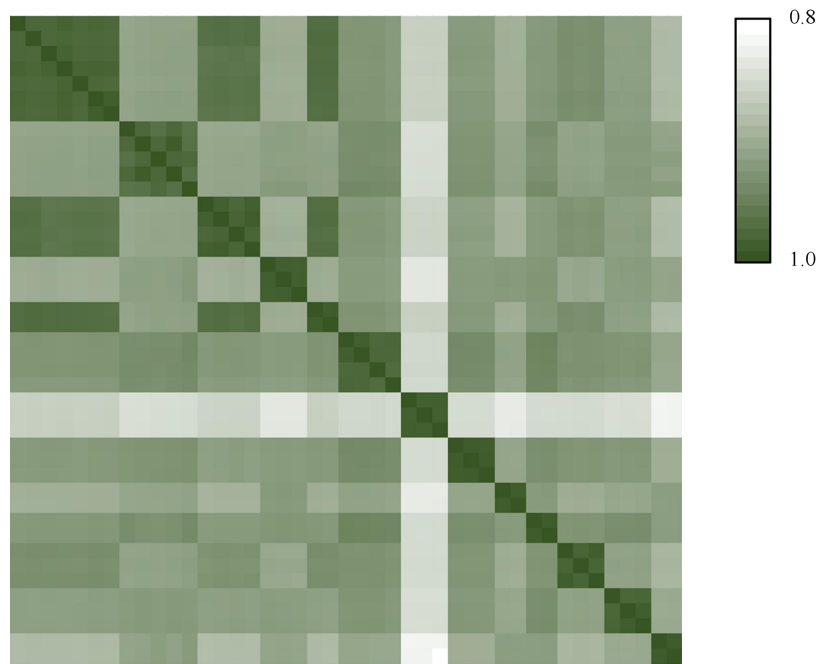


图 6 43 份高遗传相似度品种间两两遗传相似度热图

Fig.6 Genetic similarity heat maps of 43 varieties with high genetic similarity

5 讨论

水稻种质资源是农业生物多样性的宝贵财富，我国水稻种质资源收集从上世纪 30 年代开始至今已经历 5 次全国范围内的考察收集活动。但由于收集品种数量巨大，尽管在前期已进行大量筛选，在品种入库登记的过程中难免会出现重复入库的现象。因此，同名异种与同种异名现象在水稻入库品种中是普遍存在的。但鉴于当时技术水平没有很好的高效鉴定方法，很难有效得筛选重复材料。现保存于国家水稻种质资源中期库的浙江省种质资源大约 2000 余个，本研究选用的材料已涵盖 90% 以上的浙江省水稻种质资源，通过本研究，可以初步了解入库的浙江省水稻种质资源的重复情况。

遗传相似度在水稻品种鉴定中发挥着重要的作用，用于品种鉴定的相关研究都集中于少量标记，数量从几个标记到几百个标记不等。而不同于品种鉴定中的减少同质化的要求，资源研究中的重复资源筛选是尽可能确定不存在品种间的差异性，因此需要更多的标记确保没有差异。测序成本的降低是遗传相似度能广泛应用于种质资源鉴定的主要原因。前人用少量 SSR 标记进行遗传相似度计算，发现遗传相似系数接近于 1 的水稻资源，其表型仍有较大差异^[3]。因此，少量标记不适合用于重复资源的筛选。本研究利用 10,523 个核心位点进行遗传相似度计算用于筛选重复种质资源，已实现整个基因组全覆盖，并通过表型鉴定验证，结果证实遗传相似度是一个高效筛选重复资源的指标，且准确率很高。

品种名称作为水稻资源的关键信息，是区分水稻种质资源的重要参考依据。一般来说，同名种质资源为重复资源的可能性很大。但由于水稻农家品种命名会根据植株表现、传统习惯的特点，从而会导致

不同的农家品种命名接近^[17]。本研究对大部分同名品种进行了分析,结合遗传相似度与表型调查。同名材料中不存在遗传相似度大于 0.95,表型性状欧氏距离最小为 1.7 最大为 10.8 存在显著的差异,即同名种质资源均不是重复资源,同一来源地的同名品种也具有一定的差异,故推测 95 份浙江省材料同名材料不存在重复资源,主要原因可能由于种质名称是最早且最直接的品种信息,在入库前,工作人员会对同名材料进行初步比较。因此,大部分同名种质资源会在收集入库保存过程的前期均已排除。

利用遗传相似度完成 1970 个种质资源的两两比对,这对于计算机来说是非常简单及快捷,但是如果完成对 1970 份种质资源的表型进行两两比较鉴定是非常困难的。SNP 标记相较于表型来说更稳定、易获取且不受环境影响,易于标准化与自动化^[18]。因此,本研究利用遗传相似度的高通量筛选进行初步筛选可能的重复种质,再进行表型鉴定,发现遗传相似度超过 0.98 的材料其欧氏距离最小为 0.8 最大为 3.8,表型性状存在少量差异但表现出类似的植株形态,故推测这 43 份高相似度材料组间可能为重复资源,可进一步利用其他表型或表型重复鉴定来确认高相似度材料是否为重复品种,确保材料鉴定的准确性。通过本研究的同名品种以及高相似度品种的鉴定发现,遗传相似度结果与表型鉴定结果高度一致,两种结果间既有一定联系但又有细微不同。因此在进行鉴定评价时不能仅采用单一的方法,二者可相互补充使结果更加可靠。这对筛查种质库同种异名的情况具有重要的意义,且可以扩展到不同农作物资源保存中去。种质资源库中的重复资源不仅增加保存、鉴定成本,而且对种质资源管理和利用构成挑战。所以,利用重测序手段,构建每份种质资源的核心分子标记指纹图谱,利用计算机对所有资源进行两两遗传相似度计算,筛选出高相似度的种质资源,最后进行田间表型种植鉴定。通过这种“遗传相似度初筛,表型鉴定判定”的方式可以快速摸清资源家底,从而更加高效的进行资源鉴定与利用。

参考文献

- [1] 杨雨菲. 稻文化和浙江稻作文化漫谈. 中国稻米, 2022, 28(4): 112-114.
Yang Y F. Causerie about Rice Culture and Zhejiang's Rice Farming Culture. China Rice, 2022, 28(4): 112-114.
- [2] 魏兴华. 浙江省稻种资源的保护与利用. 浙江农业科学, 2015, 56(5): 727-729.
Wei X H. Utilization and Conservation of Rice Germplasm Resources in Zhejiang Province. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2015, 56(5): 727-729.
- [3] 肖军治, 李小湘, 黎用朝, 段永红. 水稻核心种质和同名异种资源的研究进展. 杂交水稻, 2011, 26(3): 1-6.
Xiao J Z, Li X X, Li Y C, Duan Y H. Progress of The Research of The Core Collections and Namesakes in Rice Genetic Resources. Hybrid Rice, 2011, 26(3): 1-6.
- [4] 陈越, 陈玲, 钟巧芳, 张敦宇, 李婷婷, 程在全. 云南同名地方稻种资源主要表型性状及遗传变异的比较分析. 南方农业学报, 2022, 53(7): 1796-1808.
Chen Y, Chen L, Zhong Q F, Zhang D Y, Li T T, Cheng Z Q. Comparative Analysis of Main Phenotypic Traits and Genetic Variations of The Local Rice Germplasm Resources of The Same Name in Yunnan. Journal of Southern Agriculture, 2022, 53(7): 1796-1808.
- [5] 田红丽, 张如养, 范亚明, 杨扬, 张云龙, 易红梅, 邢锦丰, 王凤格, 赵久然. Maize 6H-60K 芯片在玉米实质性派生品种鉴定中的应用分析. 作物学报, 2023, 49(11): 2876-2885.
Tian H L, Zhang R Y, Fan Y M, Yang Y, Zhang Y L, Yi H M, Xing J F, Wang F G, Zhao J R. Application of Maize 6h-60k Chip in Identification of Maize Essentially Derived Varieties. Acta Agronomica Sinica, 2023, 49(11): 2876-2885.

- [6] 庄杰云, 施勇烽, 应杰政, 鄂志国, 曾瑞珍, 陈洁, 朱智伟. 中国主栽水稻品种微卫星标记数据库的初步构建. 中国水稻科学, 2006, 20(5): 460-468.
- Zhuang J Y, Shi Y F, Ying J Z, E Z G, Zeng R Z, Chen J, Zhu Z W. Construction and Testing of Primary Microsatellite Database of Major Rice Varieties in China[J]. Chinese Journal of Rice Science 2006, 20(5): 460-468.
- [7] 徐群, 魏兴华, 庄杰云, 吕波, 袁筱萍, 刘平, 张新明, 余汉勇, 堵苑苑. 水稻品种鉴定技术规程 SSR 分子标记法. 中华人民共和国农业行业标准, 2014, NY/T1433-2014.
- Xu Q, Wei X H, Zhuang J Y, Lv B, Yuan X P, Liu P, Zhang X M, Yu H Y, Tu Y Y. Technique for Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties Identification: SSR based method. Agricultural Industry Standards of the People's Republic of China, 2014, NY/T1433-2014.
- [8] 魏兴华, 韩斌, 徐群, 黄学辉, 张新明, 龚浩, 冯跃, 堵苑苑, 余汉勇. 水稻品种鉴定 SNP 标记法. 中华人民共和国农业行业标准, 2021, NY/T 2745-2021.
- Wei X H, Han B, Xu Q, Huang X H, Zhang X M, Gong H, Feng Y, Tu Y Y, Yu H Y. Rice (*Oryza sativa* L.) variety identification: SNP based method. Agricultural Industry Standards of the People's Republic of China, 2021, NY/T 2745-2021 (in Chinese).
- [9] 马小定, 崔迪, 韩冰, 焦成智, 韩龙植. 水稻种质资源全基因组 DNA 指纹鉴定方法研究. 植物遗传资源学报, 2023, 24(4): 1106-1113.
- Ma X D, Cui D, Han B, Jiao C Z, Han L Z. Identification and Evaluation Method for Genome-wide DNA Fingerprinting of Rice Germplasm. Journal of Plant Genetic Resources.
- [10] ANDREWS, S. FastQC: A Quality Control Tool for High Throughput Sequence Data[Z/OL] (2010).
- [11] LI H, HANDSAKER B, WYSOKER A, FENNELL T, RUAN J, HOMER N, MARTH G, ABECASIS G, DURBIN R, 1000 GENOME PROJECT DATA PROCESSING SUBGROUP. The Sequence Alignment/Map format and SAMtools[J]. Bioinformatics, 2009, 25(16): 2078-2079.
- [12] VILELLA A J, SEVERIN J, URETA-VIDAL A, HENG L, DURBIN R, BIRNEY E. EnsemblCompara GeneTrees: Complete, duplication-aware phylogenetic trees in vertebrates[J]. Genome Research, 2009, 19(2): 327-335.
- [13] MCKENNA A, HANNA M, BANKS E, SIVACHENKO A, CIBULSKIS K, KERNYTSKY A, GARIMELLA K, ALTSHULER D, GABRIEL S, DALY M, DEPRISTO M A. The Genome Analysis Toolkit: a MapReduce framework for analyzing next-generation DNA sequencing data[J]. Genome Research, 2010, 20(9): 1297-1303.
- [14] DANECEK P, AUTON A, ABECASIS G, ALBERS C A, BANKS E, DEPRISTO M A, HANDSAKER R E, LUNTER G, MARTH G T, SHERRY S T, MCVEAN G, DURBIN R, 1000 GENOMES PROJECT ANALYSIS GROUP. The variant call format and VCFtools[J]. Bioinformatics (Oxford, England), 2011, 27(15): 2156-2158.
- [15] PURCELL S, NEALE B, TODD-BROWN K, THOMAS L, FERREIRA M A R, BENDER D, MALLER J, SKLAR P, DE BAKKER P I W, DALY M J, SHAM P C. PLINK: a tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses[J]. American Journal of Human Genetics, 2007, 81(3): 559-575.
- PLINK.
- [16] WANG K, LI M, HAKONARSON H. ANNOVAR: functional annotation of genetic variants from high-throughput sequencing data[J]. Nucleic Acids Research, 2010, 38(16): e164.
- [17] 阮仁超, 杨玉顺, 陈惠查, 金桃叶, 游俊梅, 朱玉琴. 贵州地方稻种遗传资源的命名与同种异名和同名异种现象. 贵州农业科学, 1999(6): 47-50.
- Ruan R C, Yang Y S, Chen H C, Jin T Y, You J M, Zhu Y Q. Naming, Homonym and Synonym Phenomenons of The Local Rice Germplasm Resources in Guizhou Province. Guizhou Agricultural Sciences, 1999(6): 47-50.
- [18] 郑向华, 叶俊华, 程朝平, 魏兴华, 叶新福, 杨窑龙. 利用 SNP 标记进行水稻品种籼粳鉴定. 作物学报, 2021, 48(2): 342-352.
- Zheng X H, Ye J H, Cheng C P, Wei X H, Ye X F, Yang Y L. Xian-geng identification by SNP Markers in *Oryza sativa* L. Acta Agronomica Sinica, 2021, 48(2): 342-352.

附表 1 同名品种基本信息

Attached table 1 Basic information of rice germplasm resources with the same name

组别	浙江省编号	种质类型	品种名称	来源	亚种类型
Group	Variety code	Germplasm type	Variety name	Source	Subspecies type
A1	ZJRG-00592	地方品种	田鸡青	浙江桐乡	粳
A2	ZJRG-01279	地方品种	田鸡青	浙江嘉善	粳
A3	ZJRG-00494	地方品种	田鸡青	浙江绍兴	粳
A4	ZJRG-00561	地方品种	田鸡青	浙江桐乡	粳
A5	ZJRG-00575	地方品种	田鸡青	浙江桐乡	粳
A6	ZJRG-00759	地方品种	田鸡青	浙江嘉兴	粳
A7	ZJRG-00798	地方品种	田鸡青	浙江嘉兴	粳
A8	ZJRG-01005	地方品种	田鸡青	浙江吴兴	粳
A9	ZJRG-01006	地方品种	田鸡青	浙江吴兴	粳
A10	ZJRG-01764	地方品种	田鸡青	浙江吴兴	粳
A11	ZJRG-01767	地方品种	田鸡青	浙江吴兴	粳
B1	ZJRG-00030	地方品种	红壳晚	浙江泰顺	粳
B2	ZJRG-00517	地方品种	红壳晚	浙江海盐	粳
B3	ZJRG-00770	地方品种	红壳晚	浙江嘉兴	粳
B4	ZJRG-01023	地方品种	红壳晚	浙江吴兴	粳
B5	ZJRG-01474	地方品种	红壳晚	浙江	粳
C1	ZJRG-00578	地方品种	江北荔枝红	浙江桐乡	粳
C2	ZJRG-00579	地方品种	江北荔枝红	浙江桐乡	粳
C3	ZJRG-00774	地方品种	江北荔枝红	浙江嘉兴	粳
C4	ZJRG-00781	地方品种	江北荔枝红	浙江嘉兴	粳
C5	ZJRG-00782	地方品种	江北荔枝红	浙江嘉兴	粳
C6	ZJRG-01033	地方品种	江北荔枝红	浙江吴兴	粳
C7	ZJRG-01034	地方品种	江北荔枝红	浙江吴兴	粳
C8	ZJRG-01035	地方品种	江北荔枝红	浙江吴兴	粳
C9	ZJRG-01714	地方品种	江北荔枝红	浙江吴兴	粳
D1	ZJRG-00462	地方品种	黄种	浙江嘉善	粳
D2	ZJRG-00544	地方品种	黄种	浙江	粳
D3	ZJRG-00681	地方品种	黄种	浙江平湖	粳
D4	ZJRG-00854	地方品种	黄种	浙江嘉兴	粳
D5	ZJRG-01158	地方品种	黄种	浙江吴兴	粳
D6	ZJRG-01329	地方品种	黄种	浙江嘉善	粳
D7	ZJRG-01330	地方品种	黄种	浙江嘉善	粳
D8	ZJRG-01574	地方品种	黄种	浙江嘉善	粳
E1	ZJRG-00776	地方品种	红谷种	浙江嘉兴	粳
E2	ZJRG-00777	地方品种	红谷种	浙江嘉兴	粳
E3	ZJRG-01020	地方品种	红谷种	浙江吴兴	粳
E4	ZJRG-01021	地方品种	红谷种	浙江吴兴	粳
E5	ZJRG-01286	地方品种	红谷种	浙江嘉善	粳
E6	ZJRG-01287	地方品种	红谷种	浙江嘉善	粳

E7	ZJRG-01596	地方品种	红谷种	浙江嘉兴	粳
E8	ZJRG-01624	地方品种	红谷种	浙江嘉兴	粳
F1	ZJRG-00331	地方品种	红壳稻	浙江遂昌	粳
F2	ZJRG-00484	地方品种	红壳稻	浙江嵊县	粳
F3	ZJRG-00500	地方品种	红壳稻	浙江临安	粳
F4	ZJRG-00769	地方品种	红壳稻	浙江嘉兴	粳
F5	ZJRG-01011	地方品种	红壳稻	浙江吴兴	粳
F6	ZJRG-01282	地方品种	红壳稻	浙江嘉善	粳
F7	ZJRG-01283	地方品种	红壳稻	浙江嘉善	粳
F8	ZJRG-01284	地方品种	红壳稻	浙江嘉善	粳
G1	ZJRG-00626	地方品种	小种	浙江平湖	粳
G2	ZJRG-00723	地方品种	小种	浙江嘉兴	粳
G3	ZJRG-00724	地方品种	小种	浙江嘉兴	粳
G4	ZJRG-00964	地方品种	小种	浙江吴兴	粳
G5	ZJRG-01261	地方品种	小种	浙江嘉善	粳
G6	ZJRG-01262	地方品种	小种	浙江嘉善	粳
G7	ZJRG-01267	地方品种	小种	浙江嘉兴	粳
G8	ZJRG-01296	地方品种	小种	浙江嘉善	粳
H1	ZJRG-00530	地方品种	矮脚金老头	浙江德清	粳
H2	ZJRG-01212	地方品种	矮脚金老头	浙江吴兴	粳
H3	ZJRG-01213	地方品种	矮脚金老头	浙江吴兴	粳
H4	ZJRG-01627	地方品种	矮脚金老头	浙江	粳
H5	ZJRG-01729	地方品种	矮脚金老头	浙江吴兴	粳
H6	ZJRG-01730	地方品种	矮脚金老头	浙江吴兴	粳
I1	ZJRG-00628	地方品种	三穗千	浙江平湖	粳
I2	ZJRG-00704	地方品种	三穗千	浙江嘉兴	粳
I3	ZJRG-00945	地方品种	三穗千	浙江吴兴	粳
I4	ZJRG-01375	地方品种	三穗千	浙江嘉兴	粳
I5	ZJRG-01377	地方品种	三穗千	浙江嘉兴	粳
I6	ZJRG-01399	地方品种	三穗千	浙江嘉兴	粳
J1	ZJRG-00511	地方品种	早晚稻	浙江海宁	粳
J2	ZJRG-00800	地方品种	早晚稻	浙江嘉兴	粳
J3	ZJRG-01059	地方品种	早晚稻	浙江吴兴	粳
J4	ZJRG-01060	地方品种	早晚稻	浙江吴兴	粳
J5	ZJRG-01493	地方品种	早晚稻	浙江嘉兴	粳
J6	ZJRG-01494	地方品种	早晚稻	浙江嘉兴	粳
J7	ZJRG-01495	地方品种	早晚稻	浙江嘉兴	粳
K1	ZJRG-00984	地方品种	长红稻	浙江吴兴	粳
K2	ZJRG-00985	地方品种	长红稻	浙江吴兴	粳
K3	ZJRG-00986	地方品种	长红稻	浙江吴兴	粳
K4	ZJRG-01422	地方品种	长红稻	浙江吴兴	粳
K5	ZJRG-01699	地方品种	长红稻	浙江吴兴	粳
K6	ZJRG-01700	地方品种	长红稻	浙江吴兴	粳
K7	ZJRG-01701	地方品种	长红稻	浙江吴兴	粳

M1	ZJRG-00905	地方品种	矮洋稻	浙江嘉兴	粳
M2	ZJRG-00919	地方品种	矮洋稻	浙江嘉兴	粳
M3	ZJRG-00920	地方品种	矮洋稻	浙江嘉兴	粳
M4	ZJRG-01613	地方品种	矮洋稻	浙江	粳
M5	ZJRG-01614	地方品种	矮洋稻	浙江	粳
M6	ZJRG-01615	地方品种	矮洋稻	浙江	粳
N1	ZJRG-00753	地方品种	红壳老来青	浙江嘉兴	粳
N2	ZJRG-01009	地方品种	红壳老来青	浙江吴兴	粳
N3	ZJRG-01010	地方品种	红壳老来青	浙江吴兴	粳
N4	ZJRG-01285	地方品种	红壳老来青	浙江嘉善	粳
N5	ZJRG-01715	地方品种	红壳老来青	浙江吴兴	粳
N6	ZJRG-01716	地方品种	红壳老来青	浙江吴兴	粳

附表 2 同名品种表型信息

Attached table 2 phenotypic traits of rice germplasm resources of the same name

组别 Group	浙江省编号 Variety code	品种	抽穗期 HD (d)	株高 PH (cm)	有效穗 PNPP (个)	穗长 PL (cm)	穗粒数 GNPP (粒)	剑叶长 FLL (cm)	剑叶宽 FLW (cm)	粒长 GL (mm)	粒宽 GW (mm)
		名称									
		Variety name									
A1	ZJRG-00592	田鸡青	111	171.3	7.0	27.3	199.2	36.2	1.6	6.656	3.279
A2	ZJRG-01279	田鸡青	104	116.3	9.4	22.7	126.8	26.1	1.0	7.663	3.492
A3	ZJRG-00494	田鸡青	109	147.3	8.6	29.9	220	46.0	1.4	7.288	3.677
A4	ZJRG-00561	田鸡青	107	125.0	8.6	24.9	188.2	27.9	1.2	6.852	3.504
A5	ZJRG-00575	田鸡青	106	133.3	8.4	26.7	194.4	31.7	1.3	7.418	3.744
A6	ZJRG-00759	田鸡青	107	144.7	10.6	27.9	152.6	34.1	1.1	7.669	3.539
A7	ZJRG-00798	田鸡青	109	151.0	7.0	26.5	117.4	33.9	1.3	7.883	3.383
A8	ZJRG-01005	田鸡青	109	126.0	7.2	22.2	116.5	29.2	1.4	7.717	3.721
A9	ZJRG-01006	田鸡青	109	126.0	9.8	20.6	124.2	25.7	1.1	8.07	3.666
A10	ZJRG-01764	田鸡青	107	129.3	6.4	24.9	98.8	30.6	1.1	7.742	3.561
A11	ZJRG-01767	田鸡青	110	126.7	8.0	19.6	79.8	25.6	1.1	8.041	3.496
B1	ZJRG-00030	红壳晚	112	165.7	6.8	25.3	191.6	38.7	1.5	6.836	3.19
B2	ZJRG-00517	红壳晚	109	150.0	11.6	26.0	147.2	30.3	1.4	7.894	3.701
B3	ZJRG-00770	红壳晚	111	137.3	8.4	20.7	146.4	24.9	1.1	7.57	3.377
B4	ZJRG-01023	红壳晚	106	120.7	8.2	21.3	148.2	25.2	1.2	7.779	3.749
B5	ZJRG-01474	红壳晚	109	126.7	8.8	21.7	152	23.8	1.2	7.788	3.461
C1	ZJRG-00578	江北荔 枝红	108	124.3	6.6	23.6	121.4	34.4	1.4	8.183	3.771
C2	ZJRG-00579	江北荔 枝红	102	121.7	7.6	22.5	125.8	37.3	1.4	7.768	3.827
C3	ZJRG-00774	江北荔 枝红	113	146.7	7.6	22.8	149.2	33.6	1.3	7.605	3.397
C4	ZJRG-00781	江北荔 枝红	109	152.0	12.4	28.0	120.8	35.6	1.4	7.46	3.442
C5	ZJRG-00782	江北荔 枝红	109	153.3	11.8	24.5	158.2	38.3	1.5	7.731	3.688
C6	ZJRG-01033	江北荔 枝红	109	145.0	8.8	23.8	198.6	38.5	1.5	7.807	3.527
C7	ZJRG-01034	江北荔 枝红	109	146.7	9.2	24.2	143.2	36.8	1.3	7.753	3.393
C8	ZJRG-01035	江北荔 枝红	107	141.0	11.0	22.4	181	34.1	1.6	7.928	3.709
C9	ZJRG-01714	江北荔 枝红	103	125.7	6.6	20.8	128.2	33.5	1.3	7.849	3.848
D1	ZJRG-00462	黄种	104	128.3	8.2	23.5	98	34.6	1.2	7.8	3.628
D2	ZJRG-00544	黄种	102	127.0	9.6	26.4	133.4	30.1	1.1	7.347	3.48
D3	ZJRG-00681	黄种	110	160.0	7.4	26.2	189.4	30.4	1.3	7.553	3.502

D4	ZJRG-00854	黄种	110	132.0	7.4	22.2	119.8	25.9	1.4	7.745	3.711
D5	ZJRG-01158	黄种	108	119.0	13.4	22.2	134.4	29.8	1.0	7.623	3.511
D6	ZJRG-01329	黄种	108	134.3	12.2	26.6	243	29.9	1.2	7.506	3.566
D7	ZJRG-01330	黄种	110	152.0	12.8	25.9	143.4	33.0	1.4	7.699	3.571
D8	ZJRG-01574	黄种	111	128.3	8.2	21.4	159.2	27.7	1.2	7.622	3.602
E1	ZJRG-00776	红谷种	110	141.0	8.4	22.8	160.6	43.4	1.5	8.186	3.655
E2	ZJRG-00777	红谷种	109	141.0	9.0	24.3	166.2	42.4	1.4	7.764	3.689
E3	ZJRG-01020	红谷种	104	124.7	9.8	25.7	122	30.6	1.0	7.641	3.475
E4	ZJRG-01021	红谷种	108	116.7	9.2	24.2	113	28.0	1.3	7.923	3.733
E5	ZJRG-01286	红谷种	108	140.3	7.4	22.0	151.6	26.5	1.0	7.766	3.737
E6	ZJRG-01287	红谷种	109	151.0	6.2	22.9	119.2	25.7	1.2	7.762	3.726
E7	ZJRG-01596	红谷种	110	125.0	7.2	19.8	149.2	25.5	1.1	7.687	3.426
E8	ZJRG-01624	红谷种	110	139.3	8.4	24.3	130.2	34.8	1.3	8.158	3.76
F1	ZJRG-00331	红壳稻	117	173.0	10.0	31.3	135.6	48.1	1.5	6.956	3.323
F2	ZJRG-00484	红壳稻	101	128.3	6.6	24.3	169.4	30.3	1.1	7.655	3.57
F3	ZJRG-00500	红壳稻	110	153.0	10.4	26.7	231.4	43.3	1.4	6.982	3.431
F4	ZJRG-00769	红壳稻	110	148.0	9.6	27.6	125.2	33.5	1.3	7.66	3.417
F5	ZJRG-01011	红壳稻	109	112.3	7.4	19.2	128.6	31.1	1.2	7.478	3.698
F6	ZJRG-01282	红壳稻	109	124.0	7.6	21.8	137	30.7	1.3	8.408	3.717
F7	ZJRG-01283	红壳稻	107	136.3	11.4	23.5	142.2	25.6	0.9	7.483	3.67
F8	ZJRG-01284	红壳稻	110	138.0	9.4	22.3	123.6	28.5	1.0	7.713	3.535
G1	ZJRG-00626	小种	103	130.3	9.4	26.8	119.4	34.7	1.1	7.568	3.571
G2	ZJRG-00723	小种	103	140.3	9.4	23.9	124.2	33.9	1.1	7.613	3.585
G3	ZJRG-00724	小种	102	138.3	9.0	22.2	136.2	31.6	1.1	7.506	3.642
G4	ZJRG-00964	小种	106	124.0	10.2	22.2	138.4	25.3	1.1	7.844	3.722
G5	ZJRG-01261	小种	104	120.7	11.0	24.7	128.6	33.9	1.0	7.646	3.471
G6	ZJRG-01262	小种	104	117.0	10.4	22.9	107.2	30.7	1.1	7.47	3.713
G7	ZJRG-01267	小种	100	119.3	10.8	24.2	92.4	31.4	0.9	7.378	3.45
G8	ZJRG-01296	小种	106	126.7	9.6	24.8	132.4	31.4	1.0	7.681	3.65
H1	ZJRG-00530	矮脚金 老头	109	143.3	7.6	24.0	159.8	33.4	1.4	7.786	3.546
H2	ZJRG-01212	矮脚金 老头	108	118.3	6.0	21.1	110.2	28.2	1.3	8.08	3.681
H3	ZJRG-01213	矮脚金 老头	108	137.7	6.8	25.5	141	24.8	1.2	7.867	3.617
H4	ZJRG-01627	矮脚金 老头	109	149.0	12.4	27.7	172	38.7	1.2	8.182	3.519
H5	ZJRG-01729	矮脚金 老头	109	131.3	7.4	26.6	182	37.8	1.2	7.339	3.68
H6	ZJRG-01730	矮脚金 老头	105	133.3	7.8	21.6	128.8	31.6	1.3	7.808	3.668
I1	ZJRG-00628	三穗千	108	142.3	6.0	25.6	201.4	31.2	1.3	7.242	3.861
I2	ZJRG-00704	三穗千	109	152.7	9.8	28.2	182.6	35.4	1.4	7.293	3.664
I3	ZJRG-00945	三穗千	110	122.7	10.2	22.0	72	26.4	1.0	8.126	3.451

I4	ZJRG-01375	三穗千	104	130.3	5.0	22.3	175.2	27.7	1.3	7.305	3.918
I5	ZJRG-01377	三穗千	106	129.0	15.6	23.9	116.5	31.6	1.2	7.624	3.604
I6	ZJRG-01399	三穗千	103	121.7	6.2	23.9	173.4	27.4	1.2	7.323	3.893
J1	ZJRG-00511	早晚稻	101	140.7	9.4	25.8	144.8	39.5	1.4	6.883	3.655
J2	ZJRG-00800	早晚稻	101	135.0	9.4	22.7	152	38.5	1.6	6.759	3.605
J3	ZJRG-01059	早晚稻	104	132.3	8.0	24.8	181	33.1	1.4	7.266	3.583
J4	ZJRG-01060	早晚稻	106	121.7	12.8	20.5	80	27.4	0.9	7.568	3.417
J5	ZJRG-01493	早晚稻	107	130.0	6.4	26.7	212.8	31.4	1.2	7.482	3.706
J6	ZJRG-01494	早晚稻	108	126.0	8.4	21.8	120.4	30.0	1.2	7.681	3.667
J7	ZJRG-01495	早晚稻	104	131.0	8.0	24.7	105.6	32.5	1.1	7.745	3.605
K1	ZJRG-00984	长红稻	102	115.7	6.6	22.6	143.8	27.8	1.1	7.788	3.779
K2	ZJRG-00985	长红稻	103	113.7	6.6	20.4	133.6	25.7	1.0	7.973	3.632
K3	ZJRG-00986	长红稻	109	113.0	7.2	21.2	86.2	31.6	1.2	8.044	3.668
K4	ZJRG-01422	长红稻	109	142.7	10.2	26.1	170.8	34.4	1.4	7.656	3.564
K5	ZJRG-01699	长红稻	110	117.3	7.6	19.4	92.2	26.9	0.9	8.018	3.671
K6	ZJRG-01700	长红稻	106	109.7	6.0	20.8	121.2	33.0	1.2	8.074	3.688
K7	ZJRG-01701	长红稻	106	118.0	6.6	20.8	115.6	27.4	1.2	7.706	3.724
M1	ZJRG-00905	矮洋稻	126	161.3	12.4	22.9	115.8	34.0	1.1	7.854	3.338
M2	ZJRG-00919	矮洋稻	104	140.7	7.8	25.4	170.8	37.3	1.3	7.611	3.659
M3	ZJRG-00920	矮洋稻	108	133.7	9.8	25.0	140.2	35.3	1.3	7.799	3.66
M4	ZJRG-01613	矮洋稻	99	129.0	6.0	27.7	211	28.9	1.2	6.973	3.671
M5	ZJRG-01614	矮洋稻	104	128.7	7.0	21.6	159.4	32.0	1.2	7.816	3.709
M6	ZJRG-01615	矮洋稻	104	124.0	8.0	22.9	176.6	26.9	1.2	7.924	3.836
N1	ZJRG-00753	红壳老 来青	107	127.3	8.6	21.4	83.4	29.6	1.2	7.763	3.731
N2	ZJRG-01009	红壳老 来青	109	118.7	7.4	21.9	108.8	27.9	1.1	8.309	3.641
N3	ZJRG-01010	红壳老 来青	107	120.0	8.2	20.6	121.6	29.1	1.2	7.943	3.772
N4	ZJRG-01285	红壳老 来青	108	121.0	8.0	22.8	97.6	29.0	1.1	7.719	3.485
N5	ZJRG-01715	红壳老 来青	106	119.3	7.2	20.0	106	32.9	1.3	7.874	3.752
N6	ZJRG-01716	红壳老 来青	108	133.0	7.6	21.9	111	32.1	1.2	7.814	3.543

HD: Heading date; PH: Plant height; PNPP: Panicle number per plant; PL: Panicle length; GNPP: Grain number per panicle; FLL: Flag leaf length;
FLW: Flag leaf width; GL: Grain length; GW: Grain width

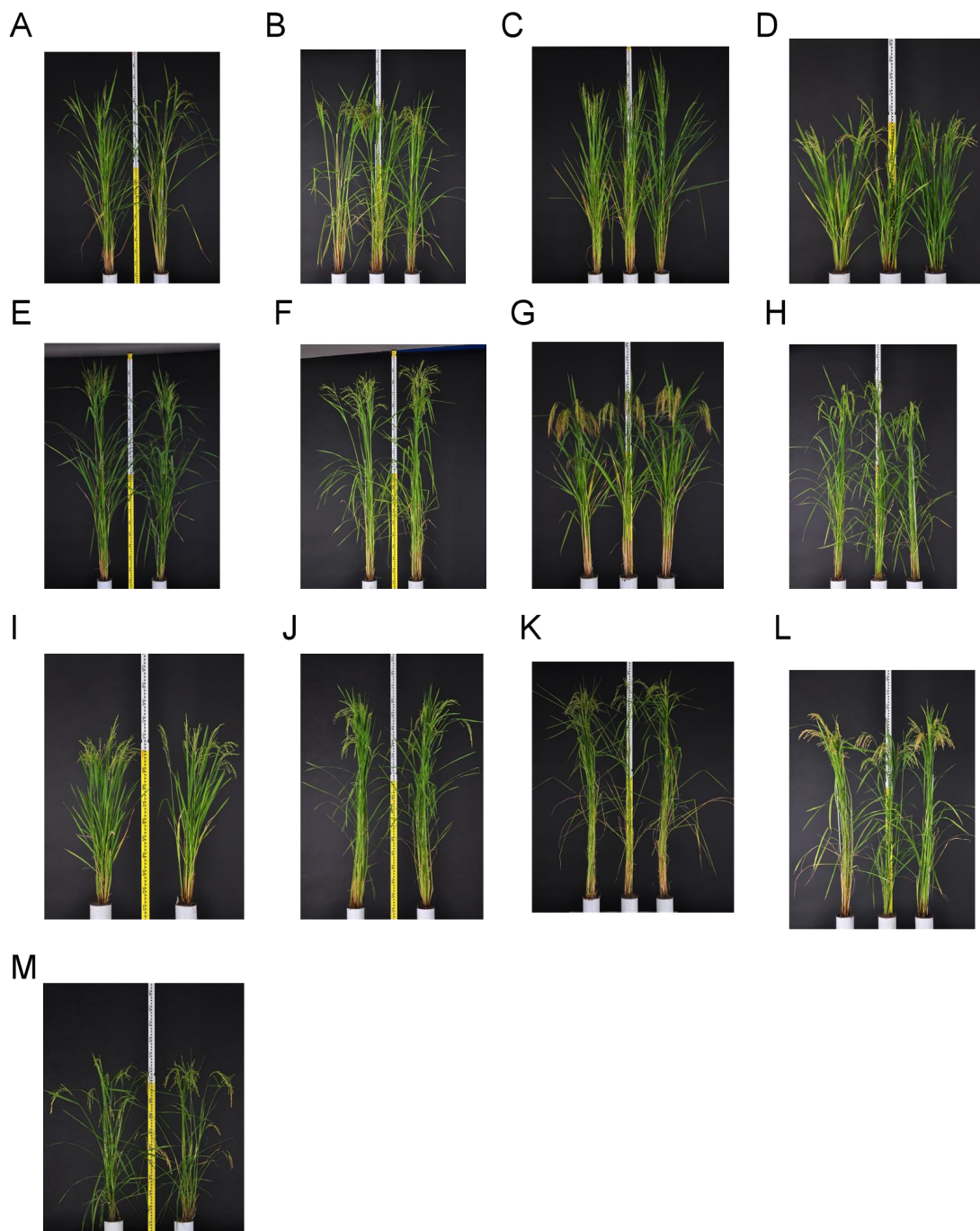
附表 3 高遗传相似度品种表型信息汇总

Attached table 3 Basic information of rice with high genetic similarity

组别	编号	名称	抽穗 期	株高	有效穗	穗长	穗粒数	剑叶长	剑叶宽	粒长	粒宽
Group	Variety code	Variety name	HD (d)	PH (cm)	PNPP (个)	PL (cm)	GNPP (粒)	FLL (cm)	FLW (cm)	GL (mm)	GW (mm)
第 1 组	ZJRG-00176	九月粳	125	169.0	11.6	27.5	138.2	34.8	1.3	7.644	3.271
Group 1	ZJRG-00182	三株京	125	168.7	10.4	29.1	170.6	35.8	1.5	7.634	3.215
	ZJRG-00271	兰溪粳	130	162.0	9.4	25.3	113.2	39.3	1.3	8.086	3.436
	ZJRG-00362	八月白	126	171.0	10.2	24.0	148.8	39.6	1.5	7.873	3.377
	ZJRG-00366	三粒粳	125	149.3	11.0	24.7	136.6	39.5	1.4	7.921	3.262
	ZJRG-00382	硬头京	122	161.3	9.0	25.8	152.6	37.9	1.2	8.001	3.351
	ZJRG-01084	芦柴黄	128	156.3	11.0	26.5	127	38.0	1.3	8.257	3.395
第 2 组	ZJRG-00468	乌节谷	84	161.7	12.6	27.0	143.8	33.6	1.5	8.21	3.079
Group 2	ZJRG-00479	早花秋	84	172.0	7.4	27.9	132.4	42.6	1.5	8.614	3.217
	ZJRG-00419	花早白	84	177.7	11.2	27.9	117	41.6	1.6	8.313	2.979
	ZJRG-01488	早花秋	84	157.0	10.4	28.6	122.6	37.7	1.6	8.73	3.295
	ZJRG-00461	乌谷	90	179.3	9.8	25.5	99.6	39.1	1.4	8.535	3.014
第 3 组	ZJRG-00090	岩京	125	162.0	9.6	27.6	129.6	35.9	1.4	7.689	3.193
Group 3	ZJRG-00097	硬头京	125	168.7	13.4	26.9	103.6	37.6	1.4	7.254	3.209
	ZJRG-00111	高秆平阳金	125	176.0	10.6	26.8	179.2	42.6	1.5	7.26	3.146
	ZJRG-00078	乌壳京	125	168.0	11.2	24.4	115.4	35.1	1.4	7.477	3.236
第 4 组	ZJRG-00054	岩头京	78	117.7	8.8	27.0	187.4	38.1	1.5	7.674	3.127
Group 4	ZJRG-00363	十八穗	78	115.0	8.4	25.1	181.8	25.2	1.5	7.611	3.055
	ZJRG-00531	小红稻	79	114.3	8.4	25.6	197.2	30.5	1.6	7.751	3.081
第 5 组	ZJRG-00141	红秆京仁	122	171.7	11.2	22.0	105.2	40.0	1.6	7.65	3.33
Group 5	ZJRG-00147	细秆京仁	125	167.3	9.2	25.9	121.4	37.2	1.5	7.85	3.405
第 6 组	ZJRG-00173	而黄	88	181.7	10.8	28.2	142	40.3	1.5	7.989	2.851
Group 6	ZJRG-00174	细粒谷	88	181.7	10.6	26.6	131	37.7	1.3	7.992	2.899
	ZJRG-00181	云和粳	85	172.7	8.0	30.8	164	45.4	1.3	7.865	2.816
	ZJRG-00223	廿尺式	90	188.3	10.2	30.1	157	50.0	1.6	8.299	2.783
第 7 组	ZJRG-00216	红芒粳	118	177.3	7.0	29.6	207.6	42.1	2.0	6.995	3.351
Group 7	ZJRG-00266	红芒晚	116	152.3	6.6	25.6	256.2	39.9	1.7	7.154	3.389
	ZJRG-00289	小白稻	113	154.7	7.6	25.9	189	34.5	1.8	7.184	3.343
第 8 组	ZJRG-00235	长芒稻	88	160.3	18.8	27.7	134.4	43.8	1.5	8.247	2.999
Group 8	ZJRG-00241	松阳稻	87	166.7	12.0	27.3	176	41.7	1.5	8.179	3.03
	ZJRG-00245	温州株	86	158.3	14.6	28.4	135.4	42.3	1.5	8.513	3.159
第 9 组	ZJRG-00306	一支青	81	113.7	11.4	23.5	123.8	28.9	1.7	7.469	2.931
Group 9	ZJRG-00325	浦城种	80	107.0	8.2	24.7	172	25.6	1.6	7.362	2.861
第 10 组	ZJRG-00374	早轮稻	87	146.7	11.4	24.4	95.8	29.1	1.3	8.21	3.144
Group 10	ZJRG-00375	细秆青	87	152.0	12.2	25.6	81	30.1	1.3	8.236	3.159
第 11 组	ZJRG-00404	油橙子	107	177.7	11.0	30.5	137.8	50.7	1.4	8.172	2.873
Group 11	ZJRG-00410	见灰倒	109	178.0	11.4	29.7	171.4	52.1	1.3	7.369	2.744
	ZJRG-00452	友宜子	109	170.3	12.0	29.1	112.6	45.1	1.3	8.389	2.956

第 12 组	ZJRG-00411	叶里藏大头叶青	80	144.0	10.0	21.8	118.8	33.7	1.5	7.391	2.786
Group 12	ZJRG-01387	6505	78	147.7	8.2	21.1	135.4	31.6	1.5	7.597	3.073
	ZJRG-00154	温州早	78	152.7	9.0	25.9	198	40.5	1.7	7.703	3.112
第 13 组	ZJRG-00417	诸暨早	65	132.0	12.2	25.8	96.8	37.3	1.4	8.138	3.185
Group 13	ZJRG-01489	早黄岩	64	123.7	8.4	23.9	87.6	25.7	1.4	8.085	3.017

HD: Heading date; PH: Plant height; PNPP: Panicle number per plant; PL: Panicle length; GNPP: Grain number per panicle; FLL: Flag leaf length;
 FLW: Flag leaf width; GL: Grain length; GW: Grain width



A~M 分别表示从 1~13 组高遗传性相似度材料中选取两到三份材料表型对比

A-M respectively represent the phenotypes comparison of two to three materials selected from groups 1-13 of rice with high genetic similarity

附图 1 13 组高遗传相似度部分材料表型对比

Attached fig. 1 Comparison of phenotypes of 13 groups of rice with high genetic similarity