

73 份亚洲水稻恢复系农艺性状的主成分与聚类分析

游书梅¹, 曹应江¹, 郑家奎^{1,2,3}, 蒋开锋^{1,2}, 张涛^{1,2}, 杨莉^{1,2},
杨乾华¹, 万先齐¹, 罗婧¹, 李昭祥¹, 高磊¹

(¹四川省农科院水稻高粱研究所/农业部西南水稻生物学与遗传育种重点实验室, 德阳 618000;

²国家水稻改良中心泸州分中心, 泸州 646100; ³重庆大学生命科学院, 重庆 400044)

摘要:选取来自亚洲主要产稻国家的 73 份恢复系资源, 种植在四川省德阳市和泸州市 2 个环境下, 根据株高、单株有效穗、千粒重、单株生物量、单株稻谷产量、每穗实粒数、每穗颖花数、每日稻谷产量、每日生物量、结实率、收获指数等 11 个性状进行主成分与聚类分析。结果表明: 通过主成分分析, 将 11 个性状简化为 4 个主成分, 即稻谷产量因子、生物产量因子、穗数因子和粒重因子, 以上因子提供的信息量占总信息量的 87.640% (德阳) 和 88.861% (泸州)。利用 4 个主成分因子进行系统聚类, 在 2 个环境下, 73 份资源均聚为 4 大类, 其中来自中国 60.71% 的资源聚在 I 类群, 主要特点是千粒重大, 株高偏高, 产量较高。来自印度 45.45% 的资源聚在 II 类群, 主要特点是千粒重偏小, 产量、收获指数等性状均较高。4 类群间差异明显, 分类结果与地理来源基本一致。

关键词: 亚洲; 恢复系; 农艺性状; 主成分分析; 聚类分析

Principal Component and Cluster Analysis for Agronomic Traits of 73 Rice Restorers Lines in Asia

YOU Shu-mei¹, CAO Ying-jiang¹, ZHENG Jia-kui^{1,2,3}, JIANG Kai-feng^{1,2}, ZHANG Tao^{1,2},
YANG Li^{1,2}, YANG Qian-hua¹, WAN Xian-qi¹, LUO Jing¹, LI Zhao-xiang¹, GAO Lei¹

(¹ Institute of Rice and Sorghum, Sichuan Academy of Agricultural Sciences/ Key Laboratory of Southwest Rice Biology and Genetic Breeding, Ministry of Agriculture, Deyang 618000;

² Luzhou Branch of National Rice Improvement Center, Luzhou 646100;

³ College of Bioengineering, Chongqing University, Chongqing 400044)

Abstract: A total of 73 rice restorers resources collected in Asia were used to conducted principal component and cluster analysis based on agronomic traits such as plant height, tillers per plant, 1000-grain weight, biomass per plant, grain yield per plant, filled spikelets per panicle, spikelets per panicle, grain yield per daily, biomass per daily, seed setting rate, and harvest index in two environments including Deyang city and Luzhou city in Sichuan province. The results showed that the 11 agronomic traits were composed of 4 independent principal component, which included grain yield factor, biomass factor, tiller factor, and grain weight factor. 4 principal components could present 87.640% (De yang) and 88.861% (Lu zhou) information of the raw data. Through cluster analysis basised on 4 principal components, 73 rice restorers resources were clustered into 4 group in two environments. In I group, 60.71% of the restorers resources were from China, with characters of heavy grain weight, plant heigher, and better yield. In II group, 45.45% of the restorers resources were from India with characters of light grain weight, better

收稿日期: 2014-04-10 修回日期: 2014-06-01 网络出版日期: 2015-02-06

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20150206.1649.024.html>

基金项目: 国家高新技术发展计划(2011AA10A101); 农业部公益性行业(超级稻)专项(201100); 四川省“十二五”水稻育种攻关计划项目(YZGG2011-1); 四川省财政创新能力提升工程—青年基金(2013QNJJ-021)

第一作者主要从事水稻遗传育种工作。E-mail: yousm7322007@126.com; 曹应江为共同第一作者

通信作者: 郑家奎, 主要从事水稻遗传育种研究。E-mail: zheng6102@126.com

grain yield and harvest index. Four clusters had obvious feature, cluster analysis result were generally agree with local origin.

Key words: Asia; restorers lines; agronomic traits; principal component analysis; cluster analysis

水稻是全球近 30 亿人赖以生存的粮食作物^[1-2],其中 90% 的水稻产于亚洲^[3],在亚洲的水稻生产国中,又以中国、印度、孟加拉、越南、泰国、菲律宾等国的籼稻种植占主要位置。种质资源是水稻遗传育种和解析复杂性状的重要基础^[4],我国三系杂交稻的配套成功,正是利用国际水稻研究所 IR 系列品种的结果^[5-6]。自 20 世纪 70 年代,中国成功实现杂交水稻三系配套以来,杂交水稻对中国,乃至世界水稻生产作出了巨大贡献。优异的恢复系选育是组配优良组合,实现杂种优势利用的重要条件^[7]。众所周知,杂种优势的强弱与亲缘关系的远近有很大的相关性,但在作物育种中持续利用相同的骨干亲本及品种推广的单一化,导致大量优良基因丧失和遗传基础狭窄^[8-15]进而造成产量水平难以突破和抗性的遗传脆弱性。水稻基因资源是新品种选育、生物技术研究以及农业生产的物质基础^[16]。南亚地区(印度、越南、泰国、菲律宾等)与我国有较大的生态差异,并且稻种资源丰富,研究南亚与我国主要恢复系资源的特性及分类,对引进国外资源,丰富我国稻种资源的遗传组成,组配强优势组合,提高水稻单位面积产量具有很大意义。同时通过分析南亚稻种资源与我国稻种资源的特性差异,有利于培育出适合南亚种植的杂交稻,从而为我国的杂交稻走向世界提供重要基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

73 份水稻恢复系资源来自于亚洲主要产稻国家,其中来自中国和印度的资源最多,分别为 28 份和 22 份,占到总体供试资源的 38.36% 和 30.14%。材料名称及来源国家见表 1。

1.2 试验设计

2012 年,田间试验分别在四川省农业科学院水稻高粱研究所德阳基地和四川省农业科学院水稻高粱研究所泸县基地 2 个地点进行。在德阳基地,3 月 25 日播种,5 月 2 日移栽;在泸县基地,3 月 10 日播种,4 月 18 日移栽。试验采用随机区组设计,3 次重复,行株距为 26.6 cm × 16.7 cm,每份材料移栽 3 行,每行 10 株。田间肥水管理等同于当地大田生产,及时防治病虫害。

表 1 73 份恢复系材料名称及来源

Table 1 Name and origin of 73 restorers resources

来源	名称	数量	比例(%)
Origin	Name	Number	Ratio
中国	明恢 86, 先恢 207, 岳恢 9113, 圭 630, 绵恢 725, 泸恢 17, 蜀恢 527, 广恢 128, 浙恢 7954, 早恢 404, 中组 14, 明恢 63, 宜恢 1577, R818, 泸恢 H103, 桂恢 648, 成恢 727, CDR22, 9311, 泸恢 8258, 宜恢 97, 黔南恢 404, 扬 34R, 桂恢 925, T025, 闽恢 3301, 南恢 125, 南恢 5648	28	38.36
印度	Kat-3-5, KRH2R, Samba Mashari, Suweon-287, VIR-51, VIR53, VIR-54, VIR54-2, PR3138, ARR772, VIR53-2, ARR778-2-7, SITA, PANT-12, Swama Mtu 7035, S6035, S6314, Jaya, NRH2R, BR827, BR827-4-5, ARR778-6	22	30.14
孟加拉	BR28, BR802-118-4-2, BR284-2, PADDY-KS282, BRR1-4, PADDX KS-282, BR28-6-2, BRS 28	8	10.96
菲律宾	IR24, NPT-1-1-5, NPT-1-1-7	3	4.11
越南	Bac Thein80, Khang Dan, Q5, Quang Te2, Kdau	5	6.85
泰国	泰引 1 号, TH2, TH1	3	4.11
巴基斯坦	PAKISTANI BASMATI	1	1.37
尼日利亚	IRA7264	1	1.37
韩国	水源 320	1	1.37
美国	Lemont	1	1.37

1.3 性状考查

成熟后及时选取小区内中间生长整齐的 3 株取样考种。考查的性状有:株高 = 3 株茎基部至穗顶部总高度(不连芒)/3, 单株有效穗 = 3 株 5 粒以上实粒单穗总和/3, 千粒重 = 3 个 500 粒实粒重 × 2/3, 单株稻谷产量 = 3 株稻谷总重量/3, 单株生物量 = 3 株地上部分的总重量/3, 结实率 = 总实粒数/

总颖花数 $\times 100\%$, 每穗实粒数 = 3 株稻谷总重量 / 千粒重 $\times 1000 / 3$ 株有效穗, 每穗颖花数 = (3 株稻谷总重量 / 千粒重 $\times 1000 + 3$ 株空粒数) / 3 株有效穗, 每日稻谷产量 = 每公顷稻谷总产量 / 全生育期, 每日生物量 = 每公顷总生物量 / 全生育期, 收获指数 = 稻谷产量 / 生物量。

1.4 数据分析

试验数据收集用 Excel 2007 整理后, 利用 DPS7.05 进行主成分和聚类分析。聚类分析过程中, 数据标准化转换后, 依据种质间欧氏距离, 采用离差平方和法进行聚类。

2 结果与分析

2.1 不同农艺性状的表现及差异

73 份水稻材料株高、单株有效穗、千粒重、单株生物量、单株稻谷产量、结实率、每穗实粒数、每穗颖花数、每日稻谷产量、每日生物量、收获指数等 11 个农艺性状在德阳和泸州 2 个环境下的表现见表 2。通过方差分析可以看出, 11 个性状的 F 值在 1.37 ~ 56.47 之间, 除收获指数 (F 值为 1.37*) 在泸州环境下为显著差异水平外, 其他各性状在 2 个环境下, 73 份材料间均达到极显著差异水平。

表 2 11 个性状在 2 个环境下的表现及 F 值

Table 2 Performance and F -value of 11 traits in two environments

性状 Traits	德阳 Deyang						泸州 Luzhou					
	平均	标准差	最大值	最小值	均方	F 值	平均	标准差	最大值	最小值	均方	F 值
	Mean	SD	Max.	Min.	MS	F -value	Mean	SD	Max.	Min.	MS	F -value
株高 (cm) PH	114.79	9.94	140.67	96.33	300.42	47.73**	112.37	10.99	136.33	82.33	367.62	9.65**
单株有效穗 TPP	11.79	2.24	17.11	8.33	15.32	6.40**	12.51	2.37	19.11	7.56	17.07	4.71**
千粒重 (g) TGW	25.49	4.68	35.62	12.60	66.52	56.47**	24.52	3.94	32.94	13.15	47.13	25.23**
单株生物量 (g) BP	72.37	10.57	92.22	49.78	339.63	3.79**	67.07	9.48	88.15	43.85	273.19	2.37**
单株稻谷产量 (g) GYP	31.13	4.74	40.30	21.79	68.24	2.85**	29.85	4.89	45.43	17.73	72.68	3.83**
结实率 SSR	0.83	0.08	0.96	0.58	119.23	11.48**	0.82	0.08	0.95	0.62	91.89	5.88**
每穗实粒数 FSP	109.43	26.52	187.49	68.86	2138.89	8.13**	155.63	41.41	293.79	91.88	5215.30	4.35**
每穗颖花数 SP	131.11	28.51	213.71	84.63	2472.31	8.07**	189.71	42.30	326.11	121.59	5442.86	3.01**
每日稻谷产量 (kg/day · hm ²) GYDH	49.45	7.46	64.77	34.28	169.44	2.79**	46.99	7.20	72.49	29.12	157.60	3.36**
每日生物量 (kg/day · hm ²) BYDH	114.60	13.97	150.74	79.43	593.76	2.63**	105.46	12.55	134.72	83.21	478.83	1.64**
收获指数 HI	0.43	0.05	0.54	0.31	25.44	7.57**	0.45	0.06	0.57	0.25	36.03	1.37*

** 和 * 分别表示差异极显著 (1%) 和显著 (5%) 水平

** and * means significant at 1% or 5% level. PH: Plant height, TPP: Tillers per plant, TGW: 1000-grain weight, BP: Biomass per plant, GYP: Grain yield per plant, SSR: Seed setting rate, FSP: Filled spikelets per panicle, SP: Spikelets per panicle, GYDH: Grain yield per daily of per hectare, BYDH: Biomass per daily of per hectare, HI: Harvest index, the same as below

2.2 主成分分析

以 73 份水稻材料 11 个农艺性状为基础, 利用 DPS 软件计算出各主成分在 2 个环境下的特征向量和贡献率见表 3。根据各向量的绝对值将不同性状指标划分到不同的主成分之中, 同一指标在各因子中的最大绝对值所在位置即为其所属主成分。从表 3 可以看出, 特征值前 4 个主成分分别反映了总信息的 87.640% (德阳) 和 88.861% (泸州)。而理

论上只需 85% 以上的累计贡献率即可认为其具有较强的信息代表性。因此可以用这几个主成分对其农艺性状概括分析。提取这 4 个主成分, 基本代表了 11 个原始指标中绝大部分信息。通过表 3 分析可以看出, 尽管每个因子的特征值及每个性状在每个因子中的特征向量值不同, 但总体来看, 每个因子特征向量值大小顺序一致, 每个因子中的主要指标也基本一致。

表 3 11 个农艺性状在 2 个环境中的特征向量及贡献率

Table 3 Eigenvectors and percentages of accumulated contribution of principal components for 11 agronomic traits in two environments

性状 Traits	德阳 Deyang				泸州 Luzhou			
	主成分 1 Component 1	主成分 2 Component 2	主成分 3 Component 3	主成分 4 Component 4	主成分 1 Component 1	主成分 2 Component 2	主成分 3 Component 3	主成分 4 Component 4
株高 PH	0.171	0.353	-0.386	0.345	0.246	0.401	-0.125	-0.086
单株有效穗 TPP	-0.039	0.113	0.584	-0.514	-0.151	0.026	0.572	-0.517
千粒重 TGW	0.033	0.296	-0.015	0.595	-0.004	0.261	0.163	0.750
单株生物量 BP	0.369	0.376	-0.100	0.106	0.334	0.428	0.052	-0.054
单株产量 GYP	0.475	0.028	0.203	-0.079	0.430	-0.052	0.324	0.067
结实率 SSR	0.279	-0.013	-0.086	-0.339	0.255	-0.223	-0.042	0.248
每穗实粒数 FSP	0.372	-0.290	-0.311	0.052	0.388	-0.241	-0.337	-0.103
每穗颖花数 SP	0.385	-0.231	-0.310	0.204	0.346	-0.186	-0.382	-0.211
每日稻谷产量 GYDH	0.439	-0.083	0.300	-0.042	0.401	-0.138	0.379	0.015
每日生物量 BYDH	0.325	0.320	0.033	0.170	0.320	0.410	0.107	-0.133
收获指数 HI	0.161	-0.420	0.394	-0.235	0.149	-0.505	0.328	0.145
特征值 Eigen value	3.964	2.688	1.697	1.291	4.284	2.579	1.618	1.294
贡献率 Contribution rate	36.040	24.439	15.429	11.733	38.949	23.443	14.705	11.764
累计贡献率 Cumulative percentage	36.040	60.478	75.907	87.640	38.949	62.392	77.097	88.861

第 1 主成分特征值为 3.964 (德阳)、4.284 (泸州), 贡献率为 36.040% (德阳)、38.949% (泸州), 第 1 主成分中, 以单株稻谷产量、每日稻谷产量、每穗实粒数、每穗颖花数为主要指标, 特征向量值中, 德阳分别为 0.475、0.439、0.372、0.385, 泸州分别为 0.430、0.401、0.388、0.346, 这些性状主要与稻谷产量形成相关, 因此第 1 主成分称为稻谷产量因子。

第 2 主成分的特征值为 2.688 (德阳)、2.579 (泸州), 贡献率为 24.439% (德阳)、23.443% (泸州), 在第 2 主成分中, 以收获指数、单株生物量、每日生物量、株高为主要指标, 德阳特征向量分别为 -0.420、0.376、0.320、0.353, 泸州特征向量为 -0.505、0.428、0.410、0.401, 这些性状均与生物量有关, 因此第 2 主成分称为生物产量因子。

第 3 主成分特征值为 1.697 (德阳)、1.618 (泸州), 贡献率为 15.429% (德阳)、14.705% (泸州), 单株有效穗为主要指标, 德阳特征向量为 0.584、泸州特征向量为 0.572, 称为穗数因子。

第 4 主成分特征值为 1.291 (德阳)、1.294 (泸州), 贡献率为 11.733% (德阳)、11.764% (泸州), 以千粒重为主要指标, 德阳特征向量为 0.595, 泸州

特征向量为 0.750, 称为粒重因子。

分析各因子中主要指标的比重。第 1 主成分中, 虽然有效穗特征值在 2 个环境中的特征向量均为负值, 但数值不大, 对第 1 主成分没有太大影响。第 2 主成分中收获指数特征值为最大值, 且都为负值, 因此在育种过程中应引起高度重视, 为了获得较高产量的品种, 应该提高品种的收获指数。第 3、第 4 主成分中株高、每穗实粒数、每穗颖花数、单株有效穗等特征值都出现了较大的负值, 因此可以适当降低这些指标, 这些指标虽然都是产量构成的必要要素, 理论上越多越好, 但水稻是一个协调的群体, 只有各指标达到很好的协调, 才能获得较高的产量。

2.3 聚类分析

利用上述主成分分析中的单株稻谷产量、每日稻谷产量、每穗实粒数、每穗颖花数、千粒重、单株有效穗、收获指数、单株生物量、每日生物量、株高等 10 个性状作为综合指标, 将数据标准化 (表 4) 后, 依据欧氏距离采用离差平方和法, 德阳在欧氏距离为 18.11 处, 泸州在 16.83 处, 均将 73 个恢复系划分为 4 个大类群 (图 1)。

表 4 4 个类群材料 10 个农艺性状的平均值

Table 4 Average for 10 agronomic traits in 4 groups

类群 Group	株高 (cm) PH	单株 有效穗 TPP	千粒重 (g) TGW	单株生 物量 (g) BP	单株稻 谷产量 (g) GYP	每穗 实粒数 FSP	每穗 颖花数 SP	每日稻 谷产量 (kg/day · hm ²) GYDH	每日生物量 (kg/day · hm ²) BYDH	收获指数 HI
德阳 Deyang										
I	121.46	11.32	30.12	85.86	34.98	105.12	121.96	53.11	130.25	0.41
II	113.52	11.83	23.21	75.75	35.96	137.42	158.48	57.37	120.76	0.48
III	113.77	11.50	25.85	67.66	27.00	96.33	119.75	42.47	106.26	0.40
IV	110.56	13.16	22.54	62.52	29.51	103.14	126.84	50.41	106.64	0.47
泸州 Luzhou										
I	117.40	10.88	28.95	71.47	30.92	150.93	186.01	47.60	110.10	0.44
II	115.75	11.46	22.84	72.82	34.67	207.08	239.57	53.99	113.00	0.49
III	105.73	13.18	23.53	58.80	26.63	135.45	169.09	42.76	94.22	0.46
IV	116.56	15.69	23.40	72.18	27.23	112.40	149.61	43.51	115.45	0.39

在类群 I 中,德阳 14 份材料,泸州 16 份,分别占总材料的 19.18% 和 21.92%。通过 2 个环境下统计得出,其中共有 17 份资源来自中国,占供试中国资源的 60.71%。每个环境仅 2 份材料来自于其他国家。这一类群的显著特点为株高最高,千粒重最大,单株稻谷产量较高,收获指数较大。在 2 个环境中共有 8 份材料都聚在类群 I,分别是明恢 86、南恢 125、扬 34R、蜀恢 527、R818、成恢 727、桂恢 925 和桂恢 648。

在类群 II 中,德阳 18 份、泸州 20 份,分别占总材料的 24.66% 和 27.4%。这一类群的材料来源复杂,中国、印度、孟加拉、越南均有材料被聚到这一类群,但通过分析可以看出,在 2 个环境下,共有 10 份资源来自印度,占印度供试资源的 45.45%,有 9 份材料共同聚在类群 II,分别是 PR3138、ARR772、S6035、Kdau、Quang Te2、VIR53、泸恢 H103、Q5、Khang Dan,除泸恢 H103 和 Q5 分别来自中国和越南外,其余均来自印度。这一类群的显著特点为千粒重偏小,单株稻谷产量、生物量、每穗实粒数、每穗颖花数、收获指数均达到最大值,是性状最好的一个类群。

类群 III 为一个综合的类群,也是材料最多、来源最丰富的类群,在德阳包括 29 份,泸州 28 份,分别占到总材料的 39.73% 和 38.36%,这一类群的所有

性状均居于中间水平。

在类群 IV 中,德阳 12 份、泸州 10 份,分别占总材料的 16.44% 和 13.70%,这一类群中虽然只有 1 份材料 BRS28(孟加拉)在 2 个环境下都聚为类群 IV,但分析可以看出,德阳有 7 份材料来自印度,泸州有 6 份。这一类群材料的显著特点为单株有效穗最多,单株稻谷产量、每穗实粒数、每穗颖花数、收获指数均较低。

3 讨论

水稻的遗传改良和突破性育种成就的取得主要依赖于种质资源的掌握和利用^[17]。中国三系杂交稻的配套成功,正是利用了国际水稻研究所 IR 系列品种的结果^[5-6]。但是我国杂交水稻推广近 40 年来,水稻单位面积产量长期徘徊,未能取得重大突破,众多的学者认为,我国稻种资源遗传基础狭窄是导致产量长期徘徊的原因之一^[9,11-15]。亚洲是世界上产稻最多的地区,也是稻种资源最丰富的地区。对于亚洲稻种资源的研究,许多学者从不同的方面,开展了许多研究。曾宪平等^[18-20]分别从农艺性状、分子标记、配合力等比较了四川恢复系资源与南亚恢复系资源的差异;李丹婷等^[16]对收集到的 662 份东南亚资源分别从农艺性状、抗病等进行评价。本研究以收集到的 73 份骨干资源为材料,从株高、产

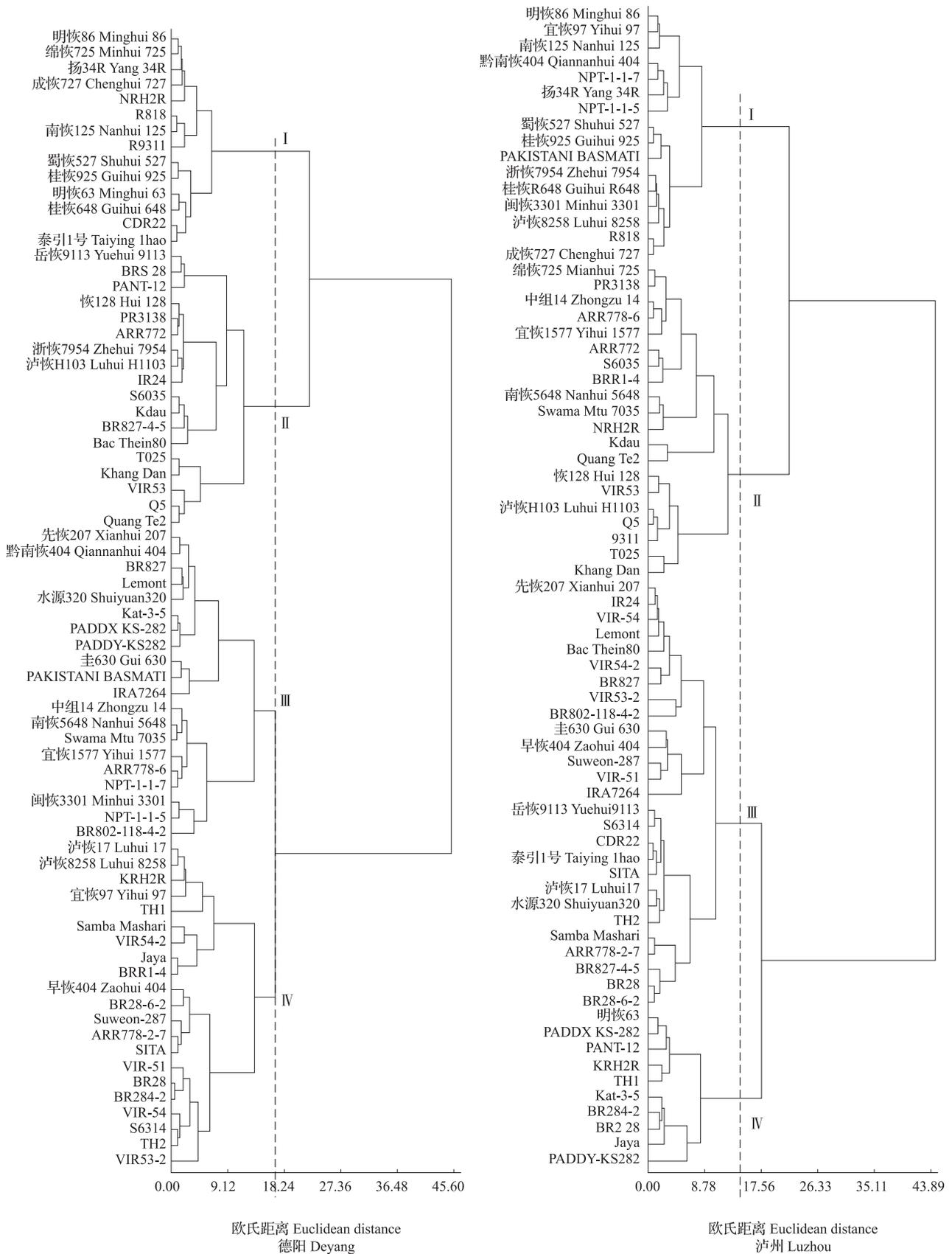


图1 73 份稻种资源在 2 个环境下的聚类分析图

Fig. 1 Clustering of 73 rice resources in two environments

量及产量构成要素等农艺性状出发,分析南亚稻种资源与我国稻种资源差异,为引进和利用南亚稻种资源,丰富我国水稻资源的遗传组成,创制强优势杂交稻,提供重要参考。

水稻产量由有效穗、每穗粒数、结实率、千粒重等性状构成。在育种实践中,育种家根据育种目标可能只关注少数几个性状的表现,如果仅凭少数几个性状的表现型对种质资源进行评价、亲本筛选,势必带有主观性。主成分分析法由于各主成分之间是一个独立的系统,各主成分之间不存在相关性,并且数值直观容易分析,常被应用于种质资源的研究。本研究选取了来自10个国家的73份稻种恢复系资源,在德阳和泸州2个环境下应用单株产量等11个性状进行主成分和聚类分析。结果发现,在22个环境下,虽然每个因子的特征值及每个性状在每个因子中的特征向量值不同,但总的来看,每个因子特征向量值的大小顺序一致,每个因子中主要指标也基本一致。最终选取了单株产量等10个性状作为主要因子,这10个性状来自于前4个主成分因子,分别反映了总信息量的87.640%(德阳)和88.861%(泸州)。

聚类分析的依据是遗传距离,遗传距离大的品种分布在不同的类群,遗传距离小的品种分布在同一类群。本研究表明,通过聚类分析,在2个环境下,将73份材料均聚为4类。从聚类分析的结果看出,虽然在2个环境下聚类的结果不是完全相同,但总体而言,中国恢复系多聚在Ⅰ类群,印度恢复系多聚在Ⅱ类群,中国恢复系与其他国家恢复系在表型上是有差异的。进一步分析可以看出,中国恢复系最大特点是穗大粒大,而印度、孟加拉恢复系显著的特点是穗多粒小,分析原因,可能是印度与孟加拉地缘较近,且印度稻谷主产区位于印度南部,日照充足,温度较高,粒小有利于保证结实率。育种实践证明,应用聚类分析结果进行杂种优势预测,选配优势亲本组合,在一定程度上可减少杂交亲本配组上的盲目性,对作物杂种优势利用具有一定的指导意义。本研究表明,印度恢复系资源拥有有效穗多的特点,这对我国恢复系资源穗大粒大是一个较大的弥补。农艺性状由于受到环境的影响较大,聚类的结果不

是很稳定。因此合理的田间设计、标准的农事操作,是提高聚类稳定和准确的前提。另外通过农艺性状的结果结合分子标记的方法分类,对资源的评价将更准确。

参考文献

- [1] Yu J, Hu S N, Wang J, et al. A draft sequence of the rice genome (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*) [J]. *Science*, 2002, 296: 79-92
- [2] Negro S, Oliveira M M, Jena K K, et al. Integration of genomic tools to assist breeding in the *japonica* subspecies of rice [J]. *Mol Breed*, 2008, 22: 159-168
- [3] 朱德峰, 程式华, 张玉屏, 等. 全球水稻生产现状与制约因素分析 [J]. *中国农业科学*, 2010, 43(3): 474-479
- [4] 胡标林, 万勇, 李霞, 等. 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
- [5] 郑瑞丰, 夏胜平, 陈立云. 水稻野败型恢复系恢复基因的遗传及等位性分析 [J]. *湖南农业科学*, 2010(3): 1-5
- [6] 闫双勇, 马忠友, 范俊山, 等. 我国杂交粳稻恢复系的遗传多样性 [J]. *贵州农业科学*, 2011, 39(10): 1-4
- [7] 丁立, 齐永文, 张洪亮, 等. 中国三系杂交稻恢复系资源的遗传多样性 [J]. *作物学报*, 2007, 33(10): 1587-1594
- [8] Pervaz Z H, Rabbani M A. Genetic diversity associated with agronomic traits using microsatellite markers in Pakistani rice landraces [J]. *Electron J Biotechnol*, 2010, 13: 1-12
- [9] Qi Y W, Zhang D L, Zhong H L, et al. Genetic diversity of rice cultivars (*Oryza sativa* L.) in China and the temporal trends in recent fifty years [J]. *Chin Sci Bull*, 2006, 51: 681-688
- [10] Carmanoa S, Alvarez J B, Caballero L. Genetic diversity for morphological traits and seed storage proteins in Spanish rivet wheat [J]. *Biol Plant*, 2010, 54: 69-75
- [11] 王胜军, 陆作楣. 中国杂交水稻遗传多样性演变及其分析 [J]. *江苏农业学报*, 2006, 22(3): 192-198
- [12] 李云海, 钱前, 曾大力, 等. 我国主要杂交水稻亲本的 RAPD 鉴定及遗传关系研究 [J]. *作物学报*, 2000, 26(2): 171-176
- [13] 何光华, 裴炎, 杨光伟, 等. 我国中籼杂交稻亲本的 DNA 变异性研究 [J]. *作物学报*, 2000, 26(4): 449-454
- [14] 肖小余, 王玉平, 张建勇, 等. 四川省主要杂交稻亲本的 SSR 多态性分析和指纹图谱的构建与应用 [J]. *中国水稻科学*, 2006, 20(1): 1-7
- [15] 彭锁堂, 王海岗, 魏兴华, 等. 我国三系杂交稻主要不育系的微卫星标记多样性和遗传结构分析 [J]. *中国水稻科学*, 2008, 22(4): 365-366
- [16] 李丹婷, 农保选, 夏秀忠, 等. 东南亚稻种资源收集与鉴定评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(4): 622-625
- [17] 张涛, 郑家奎, 徐建第, 等. 香稻品种的遗传多样性研究 [J]. *中国农业科学*, 2008, 41(3): 625-635
- [18] 曾宪平, 李勤修, 吕建群, 等. 四川及南亚地区水稻恢复系农艺性状的比较与分析 [J]. *西南农业学报*, 2009, 22(2): 241-247
- [19] 曾宪平, 李勤修, 吕建群, 等. 四川及南亚水稻恢复系的 SSR 分析及类群比较 [J]. *西南农业学报*, 2010, 23(4): 996-1002
- [20] 曾宪平, 吕建群, 陈林, 等. 四川及南亚水稻恢复系的类群比较及典型品种分析 [J]. *西南农业学报*, 2010, 23(5): 1397-1402