

不同年代水稻品种主要农艺性状的表型评价

周 健^{1,2}, 崔 迪², 赵洙敏³, 孙建昌⁴, 黎毛毛⁵, 马小定², 王先俱⁶,
李相奎⁷, 赵竣贤³, 朴东洙³, 郭晓红¹, 韩龙植²

(¹ 黑龙江八一农垦大学农学院, 大庆 163319; ² 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081;

³ 韩国农村振兴厅食粮科学院南部作物部, 韩国密阳 627-803; ⁴ 宁夏回族自治区农林科学院农作物

研究所, 永宁 750105; ⁵ 江西省农业科学院水稻研究所, 南昌 330200; ⁶ 辽宁省水稻

研究所, 沈阳 110161; ⁷ 临沂市农业科学院水稻研究所, 山东临沂 276012)

摘要: 水稻对异地环境的生态适应性与水稻产量和广适性密切相关。为了明确不同环境下不同年代水稻品种主要农艺性状的表型及稳定性差异, 本研究以 284 份来源于中国黑龙江、吉林、辽宁、宁夏、新疆等省(自治区)和日本的不同年代水稻品种为试验材料, 通过在沈阳、北京、银川、临沂、南昌和三亚等 6 个鉴定点的异地环境鉴定, 进行了不同年代水稻品种主要的 7 个农艺性状的表型评价与稳定性分析。结果表明, 异地环境下不同年代水稻品种主要农艺性状总体上从纬度较高的沈阳到纬度较低的南昌, 各性状的表型值明显趋于减小, 然后在三亚冬季环境下各性状表型值又有增加; 从年代 I 品种(20 世纪 60 年代以前)至年代 IV 品种(21 世纪以后)水稻生育期延长、株高降低、穗数减少、穗粒数增加、结实率和千粒重变化不大, 水稻性状的总体变化趋势是从多穗型向大穗重穗型发展。在异地环境下千粒重、穗长和穗数的表型值相对较稳定, 其次为抽穗天数和株高, 结实率和穗粒数的稳定性最差。不同年代品种抽穗天数的稳定性参数大小顺序为年代 I > 年代 II > 年代 IV > 年代 III, 随着年代的进展, 选育品种的生态适应性逐渐趋于增强。在异地环境下, 辽粳 931、辽粳 454 等 20 个品种表现为较强的生态适应性, 这些材料可作为亲本材料利用于水稻育种。

关键词: 水稻; 品种; 表型变异; 亲缘关系; 稳定性参数

Phenotypic Evaluation of Main Agronomic Traits in Rice Varieties That Were Released Over the Past Few Decades

ZHOU Jian^{1,2}, CUI Di², JO Sumin³, SUN Jian-chang⁴, LI Mao-mao⁵, MA Xiao-ding², WANG Xian-ju⁶, LI Xiang-kui⁷, CHO Jun-hyoen³, PARK Dong-soo³, GUO Xiao-hong¹, HAN Long-zhi²

(¹ College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319; ² Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ³ Paddy crop research division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Milyang 627-803, Korea; ⁴ Institute of Crop Research, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yongning 750105; ⁵ Rice Research Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200; ⁶ Rice Research Institute of Liaoning Province, Shenyang 110161; ⁷ Rice Research Institute, Linyi Academy of Agricultural Sciences, Shandong Linyi 276012)

Abstract: The ecological adaptability of rice varieties to the diverse environments is closely associated with the yield and local-adaptability. 284 historic and modern rice varieties, which were collected from Heilongjiang,

收稿日期: 2019-03-06 修回日期: 2019-03-28 网络出版日期: 2019-04-29

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20190306003>

第一作者研究方向为水稻种质资源遗传多样性研究, E-mail: thb1980517@163.com

通信作者: 韩龙植, 研究方向为水稻种质资源精准鉴定与创新利用, E-mail: hanlongzhi@caas.cn

郭晓红, 研究方向为水稻生理生态机制及种质资源筛选, E-mail: 593600150@qq.com

朴东洙, 研究方向为水稻遗传育种, E-mail: parkds9709@korea.kr

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFD0100301, 2016YFD0100101); 国际合作研究项目(PJ012113); 国家科技支撑计划课题(2015BAD01B01-1); 中国农业科学院科技创新工程项目; 国家农作物种质资源保护项目(2017NWB036-01, 2017NWB036-12-2); 国家农作物种质资源平台(NICGR2017-001)

Foundation project: National Key Research and Development Plan of China(2016YFD0100301, 2016YFD0100101), The International Cooperation Project from the National Institute of Crop Science, RDA(PJ012113), National Key Technology Support Program of China(2015BAD01B01-1), Agricultural Science and Technology Innovation Program of CAAS, National Crop Germplasm Conservation Project(2017NWB036-01, 2017NWB036-12-2), National Crop Germplasm Resources Platform Project(NICGR2017-001)

Jilin, Liaoning, Ningxia, Xinjiang of China and Japan, were deployed to clarify the phenotypic variations under multiple environmental conditions. Seven agronomic traits including days to heading, plant height, panicle length, panicles per plant, grains per panicle, seed setting rate and 1000-grain weight were determined at six identification sites (Shenyang, Beijing, Yinchuan, Linyi, Nanchang and Sanya). The phenotypic variations of these agronomic traits were visible at diverse locations. For instance, the phenotypic values were constantly decreased from Shenyang with higher latitude to Nanchang with lower latitude, but they were increased in Sanya winter environment. In relative to the varieties in years-I that were released before 1960, the modern cultivars in years-IV (released after 2000) showed the prolonged growth period, the reduction of plant height and panicle number, the elevation of grains per panicle, as well as no significant differences on seed setting rate and 1000-grain weight. Overall, the rice traits changed from multi-panicle type to large-panicle and heavy-panicle type. Under multiple environmental conditions, the phenotypic values of 1000-grain weight, panicle length and panicle number were relatively stable, followed by days to heading, plant height, seed setting rate and grains per panicle. The stability parameter of days to heading was observed to be significantly positively correlated with that of plant height, panicle length and panicle number. The stability parameter of days to heading in varieties released over decades was variable (years-I>years-II>years-IV>years-III). An improved ecological adaptability was observed in the modern varieties, in contrast to the historical varieties that were released few decades ago. Twenty varieties (e.g. Liaojing 931, Liaojing 454) showed better local-adaptability under multiple environments, thus being valuable in breeding for new rice varieties with broad adaptability.

Key words: rice; variety; phenotypic variation; genetic relationship; stability parameter

在我国,约 2/3 的人口以稻米为主食,2017 年我国水稻单产首次突破 6900 kg/hm^2 ^[1],水稻为我国粮食安全作出了巨大贡献。我国自 20 世纪 50 年代至今,水稻育种经历了矮化育种、杂种优势利用和超级稻育种等发展阶段,在水稻生产上利用的水稻品种经历了多次品种更替,每次品种更替都使水稻产量潜力、抗性等有了较大提高^[2-5]。然而,目前水稻育种的发展速度较缓慢,育种面临着采用的亲本材料遗传基础狭窄,缺乏异地生态适应性强的亲本材料等困难与挑战,因此通过水稻异地环境鉴定评价,了解不同年代水稻品种的主要农艺性状表型和稳定性差异,从中筛选育种可利用的异地生态适应性强、性状稳定性较好的亲本材料是当务之急。

关于不同年代水稻品种的农艺性状表型评价研究,前人已有不少报道。王红霞等^[6]研究表明,不同生态环境条件对穗数、千粒重和产量有显著影响。陈培峰^[7]研究表明,20 世纪 50 年代水稻品种的产量显著低于 60-90 年代品种。王海泽^[8]对我国东北地区不同年代水稻品种各农艺性状的表型值比较表明,各年代间有交替变化,主要体现在穗数、结实率和千粒重,20 世纪 70 年代上述 3 个因素构成相对较好,但穗粒数较少;而 20 世纪 90 年代至 21 世纪初,各产量构成因素较均衡。朱广龙^[9]研究表明,长江中游水稻历史品种在演替进程中,产量潜

力逐步得到提高,由多穗向大穗的演变过程中源-库水平同时得到了提升。然而,至今关于不同年代水稻品种的表型评价仅限于单个鉴定点少数性状的评价,而对育种者关注的多个环境下多个性状的评价及异地环境下各性状稳定性分析的相关研究报道甚少。本研究以 284 份来源于中国黑龙江、吉林、辽宁等省和日本的不同年代水稻品种为试验材料,通过 6 种生态环境下主要农艺性状表型差异评价与稳定性分析,阐明不同年代水稻品种主要农艺性状的变化趋势,筛选在异地环境下各性状稳定性较好的优异亲本材料,旨在为水稻育种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试品种共为 284 份,详见附表 1 (<http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20190306003>,附表 1),其中中国的黑龙江 62 份、吉林 74 份、辽宁 79 份、宁夏 1 份、新疆 2 份,日本 63 份,其他(来源不明)3 份(表 1)。其中,育成年份清楚的品种有 246 份,按育成年份分为 4 组,20 世纪 60 年代以前育成品种 22 份,命名为年代 I;20 世纪 60-70 年代育成的品种 41 份,命名为年代 II;20 世纪 80-90 年代育成的品种 69 份,命名为年代 III;21 世纪以后育成的品种 114 份,命名为年代 IV。

表 1 供试材料中不同年代品种数量及其来源

Table 1 The information of varieties that were released at different years and locations

年代 Years	品种数量 The number of varieties						合计 Total
	中国黑龙江 Heilongjiang, China	中国吉林 Jilin, China	中国辽宁 Liaoning, China	中国宁夏 Ningxia, China	中国新疆 Xinjiang, China	日本 Japan	
I	1	7	1			13	22
II	13	4	6	1		17	41
III	21	20	21		2	5	69
IV	25	41	48				114

1.2 田间种植与管理

2017 年分别在沈阳、北京、银川、临沂、南昌和三亚 6 个鉴定点对供试材料进行主要农艺性状的异地表型鉴定评价。按当地标准方法播种和育苗, 单本移栽, 行株距 26.7 cm × 13.3 cm, 3 行小区, 每行 16 穴, 采用顺序排列, 2 次重复。施肥水平纯氮 150 kg/hm², 水管理、病虫害防治等方法遵循当地的标准栽培管理方法。

1.3 性状调查与统计分析

调查性状包括抽穗天数、株高、穗长、穗数、穗粒数、结实率和千粒重, 具体调查方法遵循韩龙植等^[10]主编的“水稻种质资源描述规范和数据标准”。抽穗天数为播种至抽穗所需要的天数。本研究采用 AMMI 稳定性分析统计模型, 将方差分析和主成分分析有机地结合在一起, 参照吴为人^[11]的方法计算品种稳定性参数 D_i 。 D_i 是指一个品种 (或基因型) 在交互作用主成分 (IPCA) 空间中的位置与原点的欧氏距离, 用 D_i 可以对所有基因型给出相应的定量指标, 品种的 D_i 值越小, 其稳定性越好。用 R 语言和 GGEbiplot 软件做 AMMI BIPLLOT 双标图; 以 7 个主要农艺性状的表型平均值为基础数据, 根据类平均法对 284 份水稻品种进行聚类分析; 采用 DPS 和 Excel 数据处理系统对试验数据进行相关的统计分析。

2 结果与分析

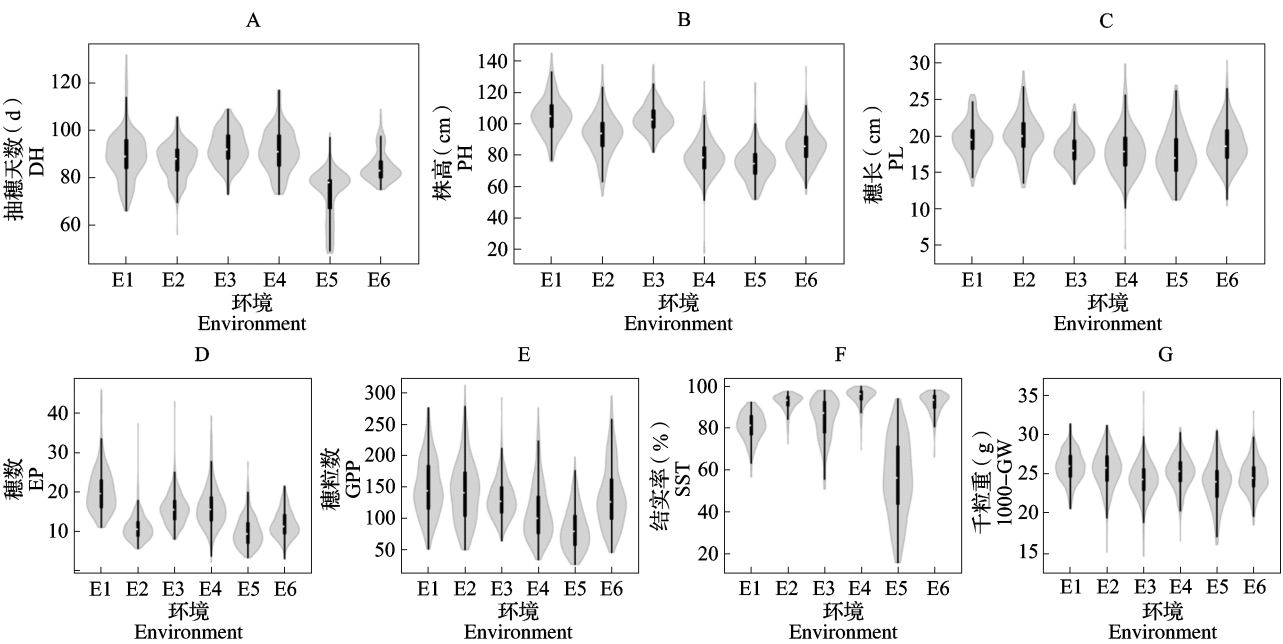
2.1 异地环境下水稻主要农艺性状表型值比较

将在沈阳、北京、银川、临沂、南昌、三亚 6 个鉴定点的抽穗天数、株高、穗长、穗数、穗粒数、结实率、千粒重的表型变异分布图和各性状表型平均值分别示于图 1 和表 2。从表 2 可见, 因水稻种植环境不同, 抽穗天数、株高、穗长、穗数、穗粒数、结实率、千粒重等性状的表型值有着明显变化, 说明水稻作为光温敏感作物, 其表型值容易受到种植环境的影响。银川、临沂、沈阳和北京 4 个鉴定点的抽穗天数长于南昌和三亚 2 个点, 银川点的抽

穗天数最长, 为 92.81 d, 南昌点的抽穗天数最短, 为 73.01 d。在南昌鉴定点尽管表现为最短的抽穗天数, 但其标准差表现为最大, 这可能是由于各材料的光温反应差异较大, 其抽穗天数的缩短程度有明显的差异所致。在沈阳、北京和银川种植点的株高明显高于临沂、南昌和三亚点, 沈阳点的株高最高, 为 105.08 cm, 南昌点的株高最矮, 为 74.82 cm, 北京点的株高表现为最大的表型变异。穗长平均表型值在 6 个鉴定点的变异也较大, 沈阳和北京点的穗长最大, 为 19.56~20.08 cm, 其次为临沂、银川和三亚点, 为 17.97~18.90 cm, 南昌点最小, 为 17.40 cm。银川、临沂和沈阳点穗数表现最多, 为 15.75~20.45 个, 其次为北京和三亚点, 为 11.00 和 11.84 个, 南昌点明显少于其他 5 个点, 为 9.92 个。沈阳和北京点穗粒数最多, 为 141.66~149.15 粒, 其次是临沂、三亚和银川点, 为 109.95~133.75 粒, 南昌点最小, 为 82.96 粒。结实率平均表型值在 6 个鉴定点的变异也较大, 临沂、北京和三亚点结实率最高, 为 91.84%~95.00%, 其次是银川和沈阳点, 为 80.75%~84.67%, 南昌点最低, 为 56.10%。南昌点结实率低, 这与水稻抽穗时期正好是南昌气候温度高有密切相关, 是高温危害所致。千粒重平均表型值在 6 个鉴定点变异与其他性状比较, 其变异相对较小, 沈阳、北京和临沂点最大, 为 25.13~25.94 g, 其次是三亚和银川点, 为 24.14~24.59 g, 南昌点最小, 为 23.70 g。综上所述, 总体上看, 从纬度较高的沈阳到纬度较低的南昌多数性状的表型值明显趋于减少, 然后在三亚冬季环境下各性状表型值又有增加的趋势。

2.2 不同年代水稻品种主要农艺性状的表型差异

不同年代水稻品种的抽穗天数、株高、穗长等上述性状的表型值在 6 个鉴定点的变化与总体平均值变化基本趋于一致 (表 3), 即从纬度较高的沈阳到纬度较低的南昌多数性状的表型值明显趋于减少, 然后在三亚冬季环境下各性状表型值又有增加的趋势。



E1: 沈阳; E2: 北京; E3: 银川; E4: 临沂; E5: 南昌; E6: 三亚。下同
E1: Shenyang, E2: Beijing, E3: Yinchuan, E4: Linyi, E5: Nanchang, E6: Sanya. DH: Days to heading, PH: Plant height, PL: Panicle length, EP: Effective panicles, GPP: Grains per panicle, SST: Seed setting rate, 1000-GW: 1000-Grain weight. The same as below

图 1 异地环境下水稻主要农艺性状的分布图
Fig.1 Distribution of main agronomic traits of rice in different enviroments

表 2 不同环境间主要农艺性状表型平均值比较

Table 2 The mean values of main agronomic traits at different environments

性状 Ttraits	平均值 ± 标准差 Mean ± SD					
	沈阳 Shenyang	北京 Beijing	银川 Yinchuan	临沂 Linyi	南昌 Nanchang	三亚 Sanya
抽穗天数 (d) DH	89.44 ± 10.53	87.06 ± 7.35	92.81 ± 7.28	88.37 ± 8.98	73.01 ± 10.62	84.75 ± 6.30
株高 (cm) PH	105.08 ± 11.95	93.40 ± 13.35	103.57 ± 9.13	79.10 ± 11.92	74.82 ± 11.14	85.60 ± 10.48
穗长 (cm) PL	19.56 ± 2.45	20.08 ± 2.88	18.15 ± 1.99	17.97 ± 3.12	17.40 ± 3.28	18.90 ± 2.83
穗数 EP	20.45 ± 5.77	11.00 ± 3.34	15.75 ± 3.99	16.31 ± 5.33	9.92 ± 3.83	11.84 ± 3.40
穗粒数 GPP	149.15 ± 46.18	141.66 ± 49.16	131.40 ± 31.02	109.95 ± 45.24	82.96 ± 33.70	133.75 ± 45.60
结实率 (%) SST	80.75 ± 6.62	92.29 ± 4.00	84.67 ± 9.96	95.00 ± 4.33	56.10 ± 18.59	91.84 ± 5.14
千粒重 (g) 1000-GW	25.94 ± 1.94	25.55 ± 2.42	24.14 ± 2.33	25.13 ± 2.08	23.70 ± 2.77	24.59 ± 2.08

表 3 不同年代水稻品种在 6 个鉴定点的主要农艺性状表型平均值

Table 3 Mean value of main agronomic traits in rice varieties of different ages in six identification places

鉴定地点 Identification sites	年代 Years	平均值 ± 标准差 Mean ± SD						
		抽穗天数 (d) DH	株高 (cm) PH	穗长 (cm) PL	穗数 EP	穗粒数 GPP	结实率 (%) SST	千粒重 (g) 1000-GW
沈阳 Shenyang	I	87.76 ± 12.31	115.86 ± 16.70	19.94 ± 2.45	25.32 ± 7.17	127.31 ± 34.11	81.27 ± 8.19	26.11 ± 1.66
	II	87.41 ± 14.13	100.93 ± 10.24	18.62 ± 2.55	21.54 ± 6.07	119.51 ± 28.66	78.44 ± 7.51	26.69 ± 1.55
	III	88.00 ± 8.60	100.97 ± 10.26	18.92 ± 2.56	20.70 ± 5.22	141.51 ± 43.91	80.54 ± 7.05	25.87 ± 2.00
	IV	90.11 ± 6.52	105.36 ± 8.66	20.35 ± 2.15	18.50 ± 4.20	173.66 ± 44.43	82.20 ± 5.37	25.59 ± 1.88
北京 Beijing	I	86.45 ± 6.89	105.27 ± 16.11	20.39 ± 3.22	11.73 ± 3.14	139.95 ± 46.67	91.73 ± 5.12	25.57 ± 2.46
	II	84.64 ± 8.21	89.04 ± 12.60	19.22 ± 2.52	10.91 ± 2.63	114.30 ± 34.22	91.04 ± 4.17	26.25 ± 3.02

表 3(续)

鉴定地点 Identification sites	年代 Years	平均值 ± 标准差 Mean ± SD						
		抽穗天数 (d) DH	株高 (cm) PH	穗长 (cm) PL	穗数 EP	穗粒数 GPP	结实率 (%) SST	千粒重 (g) 1000-GW
银川 Yinchuan	III	86.49 ± 8.68	89.15 ± 12.69	20.10 ± 3.49	11.39 ± 2.99	131.48 ± 46.75	92.79 ± 3.61	25.82 ± 2.53
	IV	88.68 ± 5.56	94.12 ± 9.23	20.51 ± 2.54	10.30 ± 3.90	161.40 ± 49.15	92.94 ± 3.13	25.23 ± 1.98
	I	92.25 ± 7.17	112.69 ± 11.91	18.78 ± 1.91	16.37 ± 3.61	120.30 ± 31.41	82.01 ± 9.90	23.77 ± 2.42
	II	90.20 ± 7.46	102.48 ± 8.60	18.13 ± 1.80	16.02 ± 3.83	122.91 ± 31.73	84.93 ± 7.47	25.06 ± 2.27
临沂 Linyi	III	92.02 ± 6.94	102.61 ± 7.38	18.07 ± 2.10	17.12 ± 4.71	126.26 ± 24.26	84.68 ± 9.48	24.03 ± 2.60
	IV	94.65 ± 6.60	101.63 ± 7.72	18.16 ± 2.09	14.60 ± 3.43	142.34 ± 29.22	85.67 ± 10.86	24.07 ± 2.04
	I	86.14 ± 9.99	80.42 ± 13.69	16.78 ± 2.57	17.73 ± 6.31	90.62 ± 45.03	94.37 ± 5.07	25.10 ± 1.70
	II	87.61 ± 7.51	76.76 ± 9.67	17.18 ± 3.18	16.79 ± 4.63	88.18 ± 30.22	93.47 ± 6.77	25.42 ± 2.51
南昌 Nanchang	III	87.39 ± 9.28	78.63 ± 9.10	17.41 ± 2.25	17.34 ± 5.09	107.22 ± 40.71	96.42 ± 2.70	25.15 ± 2.08
	IV	87.83 ± 8.27	78.53 ± 11.55	18.57 ± 3.44	14.46 ± 3.50	123.26 ± 50.14	94.82 ± 3.66	25.00 ± 2.01
	I	73.32 ± 11.18	83.11 ± 11.94	18.40 ± 3.07	12.88 ± 5.05	76.77 ± 23.31	55.98 ± 17.64	24.36 ± 2.66
	II	69.41 ± 12.89	70.25 ± 7.07	16.61 ± 2.92	12.30 ± 3.56	68.02 ± 20.73	58.36 ± 19.95	24.76 ± 2.24
三亚 Sanya	III	70.94 ± 10.97	69.62 ± 8.76	16.48 ± 3.34	9.72 ± 3.41	74.60 ± 32.00	57.94 ± 17.52	23.95 ± 2.55
	IV	75.70 ± 8.25	76.41 ± 9.03	18.16 ± 3.26	8.00 ± 2.71	95.75 ± 36.98	54.69 ± 17.84	23.02 ± 2.78
	I	85.29 ± 7.38	92.30 ± 9.95	19.71 ± 3.05	13.43 ± 3.58	115.86 ± 36.12	90.10 ± 7.93	24.77 ± 1.83
	II	84.98 ± 6.98	84.32 ± 8.13	18.53 ± 2.43	13.48 ± 3.50	117.68 ± 27.09	91.78 ± 3.95	24.53 ± 1.54
	III	84.67 ± 6.57	82.61 ± 9.45	18.46 ± 2.87	12.02 ± 2.92	128.71 ± 40.73	93.11 ± 4.19	24.78 ± 2.06
	IV	84.41 ± 4.92	85.48 ± 9.73	19.12 ± 2.89	10.23 ± 2.73	156.67 ± 55.97	92.04 ± 4.32	24.39 ± 2.00

从各性状在 6 个鉴定点的变化曲线可见 (图 2), 总体上从年代 I 至年代 IV 抽穗天数有逐渐增加的趋势。年代 I 的株高明显高于其他 3 个年代, 年代 II 和年代 III 的株高几乎一致, 年代 IV 的株高高于年代 II 和年代 III, 即从年代 I 至年代 III 株高趋于降低, 但从年代 III 至年代 IV 株高趋于增加。年代 I 和年代 IV 的穗长较接近, 年代 II 和年代 III 的穗长接近。年代 I 至年代 IV 穗数明显趋于减少。年代 IV 的穗粒数明显多于其他 3 个年代, 年代 III 的穗粒数多于年代 I 和 II, 总体上从年代 I 至年代 IV 穗粒数明显趋于增加。4 个年代结实率和千粒重的表型平均值尽管差异很小, 但总体上从年代 I 至年代 IV 结实率稍微趋于增加, 千粒重稍微趋于减小。综上分析, 总的变化趋势是从年代 I 至年代 IV 生育期延长、株高降低、穗数减少、穗粒数增加、结实率提高、千粒重降低, 这可能与不同年代水稻育种目标的变化密切相关。

2.3 不同年代水稻品种的聚类分析

2.3.1 284 份水稻品种的聚类分析 以 7 个主要农艺性状的表型平均值为基础数据, 根据类平均法对 284 份水稻品种进行聚类分析 (图 3)。以欧氏距离

58.39 为阈值, 将供试材料分为 2 大类群。第 I 类群共有 215 份品种, 占供试品种的 75.7%, 其中, 中国黑龙江 61 份、中国吉林 65 份、中国辽宁 24 份、中国宁夏 1 份、日本 59 份、中国新疆 2 份和其他品种 3 份; 年代 I 品种 19 份、年代 II 品种 41 份、年代 III 品种 55 份、年代 IV 品种 67 份和其他年代不明的品种 33 份。第 II 类群共有 69 份品种, 占供试品种的 24.3%, 其中包括中国黑龙江 1 份、中国吉林 9 份、中国辽宁 55 份和日本 4 份品种; 包括年代 I 3 份、年代 III 品种 14 份、年代 IV 品种 47 份和其他年代不明的品种 5 份。

综上所述, 多数中国黑龙江品种 (98.39%)、中国吉林品种 (87.84%) 和日本品种 (93.65%) 集中分布于第 I 类群, 而中国辽宁品种 (69.62%) 集中分布于第 II 类群, 说明中国黑龙江、中国吉林和日本品种的血缘关系相对较近, 而中国辽宁品种与中国黑龙江、中国吉林和日本品种的血缘关系相对较远。另外, 多数年代 I 品种 (86.36%)、年代 II 品种 (100%)、年代 III 品种 (79.71%) 集中分布于第 I 类群, 而年代 IV 品种分布于第 I 类群和第 II 类群的比率分别为 58.77% 和 41.23%, 基本接近。说明年代 I、

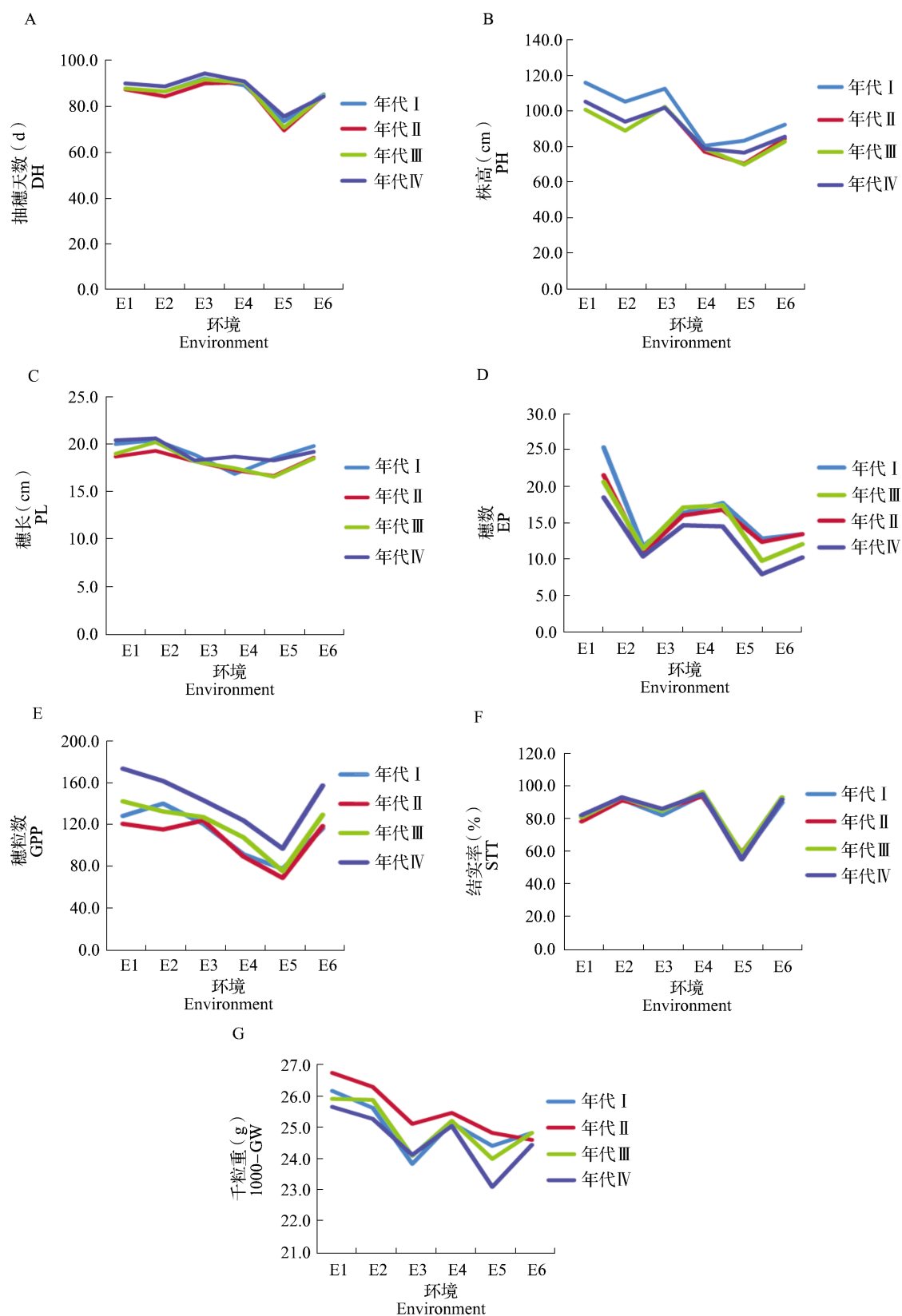
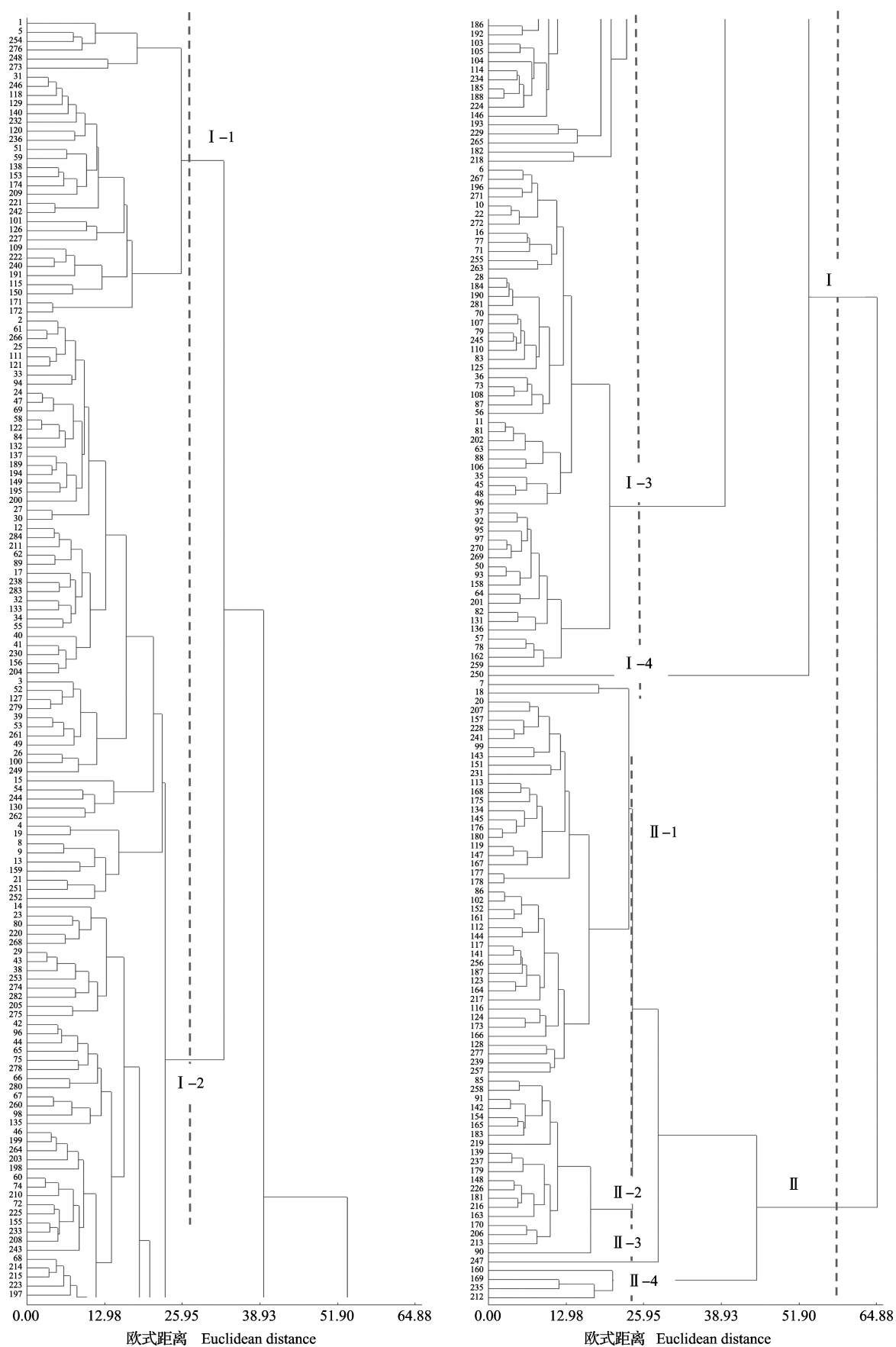


图 2 不同年代水稻品种在 6 个鉴定点表型平均值变化图

Fig.2 Graphical representation of phenotypic variations at six locations



年代Ⅱ和年代Ⅲ品种间的血缘关系相对较近,而年代Ⅳ品种与其他年代的品种血缘关系相对较远。从各亚群的品种组成来看,各来源品种及各年代品种的分布均匀,没有明显的特点。

2.3.2 不同年代水稻品种群体间的聚类分析 以 7 个农艺性状的表型平均值为基础数据,根据类平均法对不同年代水稻品种群体进行聚类分析(图 4)。以欧氏距离 19.12 为阈值,将供试材料分为 2 个类群。年代Ⅰ、年代Ⅱ和年代Ⅲ品种均归类于第Ⅰ类群;年代Ⅳ品种单独归为第Ⅱ类群。以欧氏距离 12.75 为阈值,第Ⅰ类群又分为 2 个亚群,第Ⅰ-1 亚群由年代Ⅰ品种单独组成,第Ⅰ-2 亚群包括年代Ⅱ和年代Ⅲ。说明年代Ⅱ和年代Ⅲ之间的品种亲缘关系最近,其次年代Ⅱ和年代Ⅲ与年代Ⅰ亲缘关系较近,年代Ⅳ与其他年代品种亲缘关系较远,这与本研究以单个品种为单位的聚类结果基本一致。

2.4 异地环境下水稻主要农艺性状的稳定性分析
将抽穗天数、株高、穗长、穗数、穗粒数、结实率和千粒重在沈阳、北京、银川、临沂、南昌和三亚 6 个

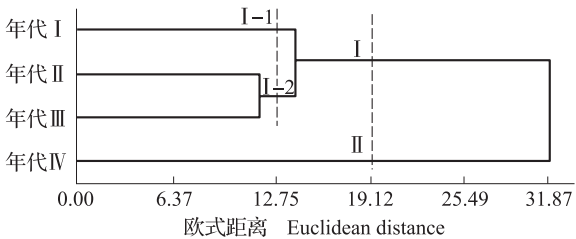


图 4 不同年代水稻品种的聚类分析

Fig.4 Cluster analysis of japonica rice varieties in different years

鉴定点的稳定性参数均值、变异范围和变异系数分析结果列于表 4。千粒重、穗长和穗数的稳定性参数最小,为 0.433~0.615,其次是抽穗天数和株高,为 0.750~0.916,结实率和穗粒数的稳定性参数最大,为 1.088~1.692。说明在异地环境条件下,千粒重、穗长和穗数的表型值相对较稳定,对环境不太敏感,而结实率和穗粒数的表型值不稳定,对环境较敏感,抽穗天数和株高介于两者之间。抽穗天数的变异系数最大,为 71.79%,结实率的变异系数最小,为 52.22%,其他性状的变异系数为 57.08%~68.81%。

表 4 水稻主要农艺性状在 6 个鉴定点的稳定性参数均值、变异范围和变异系数
Table 4 Mean value of stability parameter, variation range and coefficient of variation for main agronomic traits in rice at six identification sites

类别 Item	抽穗天数 (d) DH	株高 (cm) PH	穗长 (cm) PL	穗数 EP	穗粒数 GPP	结实率 (%) SST	千粒重 (g) 1000-GW
平均值 Mean	0.750	0.916	0.483	0.615	1.692	1.088	0.433
变异范围 Variation range	0.045~2.935	0.090~4.879	0.043~1.750	0.028~2.327	0.070~5.723	0.042~2.870	0.022~1.957
变异系数 (%) CV	71.79	68.81	57.08	63.73	68.31	52.22	63.04

各农艺性状稳定性参数间的相关系数(表 5),抽穗天数的稳定性参数与株高和穗长的稳定性参数呈极显著正相关,与穗数的稳定性参数呈显著正相关;株高的稳定性参数与穗长、穗粒数和千粒重的稳定性参数呈极显著正相关;穗长的稳定性参数与

穗粒数的稳定性参数呈极显著正相关。以上说明在异地环境条件下生育期相对稳定的材料,其株高、穗长和穗数表型值也相对稳定;株高相对稳定的材料,其穗长、穗粒数和千粒重也相对稳定;穗长相对稳定的材料,其穗粒数也相对稳定。

表 5 不同环境条件下主要农艺性状稳定性参数间的相关关系
Table 5 The correlation of stability coefficients among different agronomic traits under different environments

性状 Trait	稳定性参数 Stability parameter					
	株高 PH	穗长 PL	穗数 EP	穗粒数 GPP	结实率 SST	千粒重 1000-GW
抽穗天数 DH	0.23**	0.17**	0.15*	0.10	-0.04	0.10
株高 PH		0.21**	0.06	0.25**	0.03	0.16**
穗长 PL			-0.01	0.22**	0.00	0.11
穗数 EP				-0.03	-0.02	-0.01
穗粒数 GPP					-0.03	0.09
结实率 SST						0.05

* 代表在 0.05 水平下显著相关; ** 代表在 0.01 水平下显著相关
*Represents significant correlation at P<0.05, ** Represents significant correlation at P<0.01

从上述各性状稳定性参数间的相关分析可见,抽穗天数的稳定性参数对株高、穗长、穗数、穗粒数等性状稳定性参数的影响较大。对不同年代水稻品种抽穗天数的稳定性参数均值的分析表明(表6),年代Ⅰ、年代Ⅱ、年代Ⅲ和年代Ⅳ的水稻品种群抽穗天数的稳定性参数均值分别为0.912、0.873、0.761、0.850,其大小顺序为年代Ⅰ>年代Ⅱ>年代Ⅳ>年代Ⅲ。说明随着年代的推进,选育品种抽穗天数的稳定性参数总体趋于减小,即其生态适应性逐渐趋于增强。

表6 不同年代水稻品种群抽穗天数的稳定性参数比较
Table 6 Comparison of stability parameter for the days to heading among rice varieties of different years

年代 Years	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	变异范围 Variation range	变异系数 (%) CV
Ⅰ	0.912 ± 0.760	0.107~5.014	83.32
Ⅱ	0.873 ± 0.739	0.035~5.723	84.72
Ⅲ	0.761 ± 0.600	0.044~3.582	78.92
Ⅳ	0.850 ± 0.759	0.022~5.502	89.27

将284份供试材料抽穗天数、株高、穗长、穗数、穗粒数、结实率、千粒重的稳定性分析AMMI BIPLLOT双标图示于图5。分布于双坐标原点越近的材料,意味着该材料的相关性状在6个鉴定点的表型值变异较小,相对较稳定,而分布于双坐标原点越远的材料,意味着该材料的相关性状在6个鉴定点的表型值变异较大,相对不太稳定。因此,根据抽穗天数的稳定性参数 D_i 挑选其稳定性参数较小,即在6个鉴定点抽穗天数相对较稳定的材料20份(表7)。20份材料中来源于中国黑龙江的2份,包括牡丹江22和松粳3号;来源于中国吉林的3份,包括吉大818、九稻8号和龙锦1号;来源于中国辽宁的有10份,包括辽粳931、辽粳454、辽粳244、沈农2100、辽盐糯10号、富禾66、辽粳294、沈稻9号、沈农159和千重浪1号;来源于日本的5份,包括初日出、农林7号、四方光、藤稔和里穗波。这些材料在异地条件下抽穗天数表现为较小的稳定性参数,即在异地环境下生育期相对稳定,生态适应性较强。

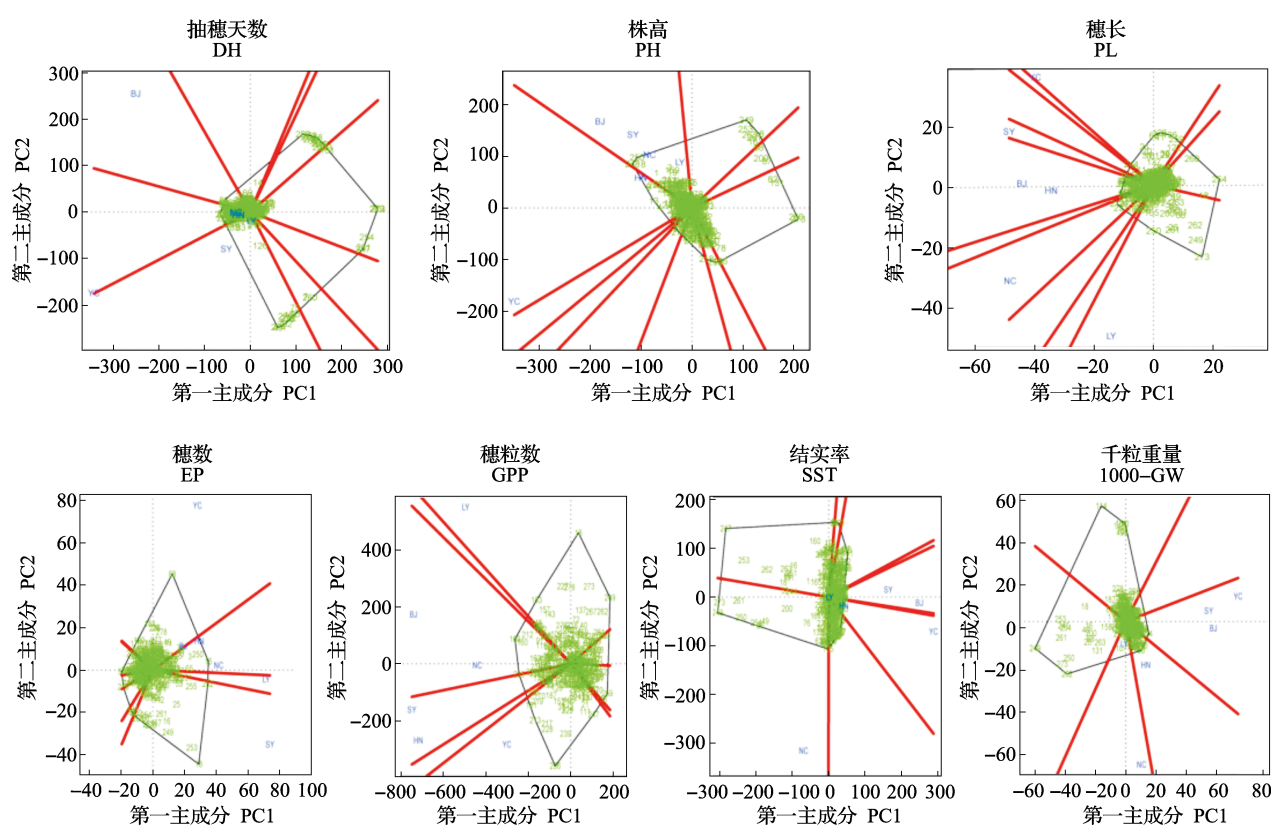


图5 不同环境下各农艺性状的稳定性参数分布图
Fig.5 Distribution map of stability parameter of agronomic traits under different environments

表 7 异地环境下主要农艺性状的稳定性参数
Table 7 Stability parameter of main agronomic traits under different environments

序号 No.	种质名称 Name of germplasm	稳定性参数 Stability parameter (D_i)						
		抽穗天数 DH	株高 PH	穗长 PL	穗数 EP	穗粒数 GPP	结实率 SST	千粒重 1000-GW
1	辽粳 931	0.045	0.485	0.332	0.652	4.025	2.005	0.649
2	辽粳 454	0.045	0.149	0.196	0.553	3.309	0.859	0.055
3	辽粳 244	0.045	0.013	0.122	0.806	2.652	0.871	0.164
4	牡丹江 22	0.048	0.346	0.981	0.257	1.156	2.174	0.826
5	吉大 818	0.048	1.345	0.837	0.835	2.449	0.552	1.113
6	初日出	0.057	0.518	0.345	1.204	1.152	1.419	0.455
7	沈农 2100	0.077	0.442	0.067	0.354	2.617	2.452	0.339
8	辽盐糯 10 号	0.095	0.401	0.367	0.214	3.726	0.923	1.133
9	松粳 3 号	0.101	0.877	0.988	0.224	1.137	0.569	0.624
10	农林 7 号	0.105	2.47	0.532	0.538	2.649	1.402	0.521
11	四方光	0.107	0.69	1.228	0.098	2.23	1.266	0.081
12	富禾 66	0.107	0.905	0.28	0.765	2.563	1.295	1.161
13	藤稔	0.109	0.989	0.153	0.218	0.915	1.086	0.209
14	里穗波	0.114	0.293	0.049	1.244	1.201	1.36	0.388
15	辽粳 294	0.114	0.167	0.405	0.633	2.364	1.096	0.131
16	沈稻 9 号	0.123	0.381	0.429	0.501	1.012	0.796	0.203
17	沈农 159	0.127	0.765	0.115	1.085	1.708	0.911	0.16
18	千重浪 1 号	0.14	0.78	0.352	0.603	3.08	1.472	0.093
19	九稻 8 号	0.149	0.982	0.621	1.679	2.205	0.464	0.462
20	龙锦 1 号	0.158	1.399	0.465	0.184	0.993	0.559	1.068

3 讨论

3.1 异地环境下水稻品种主要农艺性状的表型变异

韩龙植等^[12]研究表明,水稻结实率的表型值因生长环境不同而有明显的差异;杨占烈等^[13]和杨从党等^[14]研究指出,水稻农艺性状的表型值既受到品种遗传特性的影响,还受到海拔高低、雨水、温度、光照、土壤等种植环境的影响。日平均温度对水稻有效穗数和穗粒数的影响较大,尤其在抽穗结实期日平均温度对产量的影响较大;若开花灌浆期日平均温度大于 35℃,将导致秕粒的增加和早衰的加剧^[15-16]。本研究供试材料是来源于中国黑龙江、吉林、辽宁、宁夏、新疆以及日本的典型粳稻品种,对光温较敏感。当这些材料由高纬度的沈阳逐渐向低纬度的南昌种植时,在水稻生长季内平均温度明显增加,日照时间明显变短,使水稻发育加速,缩短生育期,不同程度地影响水稻营养和生殖生长,进而影响水稻各性状表型值的表现,因此供试材料各性状表型值逐渐趋于减小。当冬季把供试材料种植于海南三亚时,海南三亚冬季的水稻生长季内平均气温与北方夏季温度相差不多,正适宜供试材料的生长,因

此各性状的表型值大于南昌点,但由于其平均温度高于材料来源地,日照短于来源地等原因,其性状总体表型值小于沈阳、银川和北京鉴定点。

3.2 不同年代水稻品种主要农艺性状的表型差异

本研究表明,年代 I (1960 年前)至年代 IV (2000 年后)抽穗天数逐渐趋于增加,这与 20 世纪 70 年代水稻栽培技术的改进密切相关。20 世纪 70 年代随着中国北方水稻大棚早育秧技术的推广应用,水稻生长期的活动积温明显增加,因此育成品种的生育期逐渐变长。年代 I 的株高明显高于其他 3 个年代,年代 II 和年代 III 的株高基本一致,年代 IV 的株高高于年代 II 和年代 III,即从年代 I 至年代 III 株高趋于降低,但从年代 III 至年代 IV 株高趋于增加。这与 20 世纪 60-70 年代通过矮化育种来解决水稻抗倒伏并提高水稻产量,而近 20 年来适当提高株高的育种策略相一致。从年代 I 至年代 IV 穗数趋于减少。年代 IV 的穗粒数明显多于其他 3 个年代,年代 III 的穗粒数多于年代 I 和 II,总体上从年代 I 至年代 IV 穗粒数明显增加,说明从年代 I 至年代 IV 水稻品种表型性状总体变化趋势是从多穗型向大穗重穗型发展。有研究表明^[17-20],20 世纪 50 年代以来,新

育成品种在产量构成因素中穗粒数明显趋于增加,尤其是 70 年代中期育成的三系杂交水稻表现为穗大粒多、单位面积颖花量大,增产效果显著。王之旭等^[21]认为,20 世纪 60-70 年代的水稻品种具有较多的穗数,但其穗粒数显著少于 90 年代后期选育的品种,穗粒数的增加是产量不断增加的主要原因。陶海霞等^[22]研究表明,千粒重和结实率的变异度相对较小,随品种更替未表现出明显的变化趋势。熊洁等^[23]研究表明,20 世纪 60 年代至 21 世纪初品种演变过程中,结实率和千粒重的变化不显著,而穗粒数显著增加,且其增加的幅度大于穗数的减少幅度,这使得单位面积的总颖花量增加。本研究表明,从年代 I 至年代 IV 结实率和千粒重的表型平均值变化较小,而穗粒数增加明显,认为穗粒数的增加是品种改良过程中产量水平不断增加的重要原因,这与前人研究报道^[17-21]基本一致。因此,在今后水稻育种的性状选择上,应保障适宜穗数的基础上,要在半矮秆材料中选择株高相对较高的材料,以提高水稻总生物产量,同时应选择穗较大和穗粒数较多的材料。

3.3 不同年代水稻品种的亲缘关系

王海泽^[24]研究表明,吉林省主栽品种在 2001-2010 年间与 1991-2000 年间两个年代育成的品种间亲缘关系较近,认为这是育种家们倾向使用秋光、藤系 138 等少数品种做骨干亲本配制杂交组合所致。李培富等^[25]研究认为,若要使育种有较大的突破,选配亲本时应选用遗传距离远的材料。本研究表明,中国黑龙江、吉林和日本品种间的亲缘关系相对较近,而中国辽宁品种与中国黑龙江、中国吉林和日本品种间的亲缘关系相对较远。年代 II 和年代 III 品种间的亲缘关系最近,其次年代 II 和年代 III 与年代 I 亲缘关系较近,年代 IV 与其他年代品种间的亲缘关系较远。这可能是由于 2000 年前采用的亲本不少为日本品种或含日本品种血缘的材料,亲本材料单一所致,而 2000 年以后,随着各地育种单位关注资源遗传基础多样性与资源引进利用,采用的亲本来源和遗传背景多样,育成的遗传基础较丰富所致。李红宇等^[26]研究认为,东北三省水稻选育品种在区域上的遗传分化已不明显;杨玉蓉等^[27]对不同年代宁夏水稻品种的研究表明,地方品种的遗传基础明显不同于选育品种,2005 年后选育品种与 2005 年前选育品种的亲缘关系相对较远。今后在水稻育种中应加强地理远缘、亲缘关系较远材料的收集、引进与利用,以扩大和丰富育种亲本材

料的遗传基础。

3.4 异地环境下水稻品种主要农艺性状的稳定性

水稻各农艺性状的表现是基因型与环境相互作用的结果,因此因水稻生长环境不同,各性状表型值有着明显的差异^[28-30]。稳定性是反映品种对不同环境适应能力的一个重要参考指标,稳定性好,意味着其生态适应能力较强,在育种中具有重要利用价值。有研究表明^[31-35],水稻产量的稳定性与生育期、穗数、穗粒数、结实率和千粒重等性状有着密切联系,与其各性状的稳定性也有一定的联系;不同水稻品种的产量稳定性有较大的差异,基因型与环境的交互作用较大。田永宏等^[33]研究认为,不同年份间由于温度、光照、降雨、风力等气候条件和病虫害等环境因素的不同,不同水稻品种的产量相关性状的稳定性有明显差异。朱书文等^[36]研究表明,水稻品种各性状的稳定性除受气候条件的影响外,还与土壤肥力、灌溉条件和栽培措施等密切相关,由此认为若要全面准确地评价各水稻品种的性状稳定性,需要多点多年的试验研究。本研究表明,在异地环境下千粒重、穗长和穗数的表型值相对较稳定,其次为抽穗天数和株高,结实率和穗粒数的稳定性较差;异地环境下生育期相对稳定的材料,其株高、穗长和穗数表型值也相对稳定;株高相对稳定的材料,其穗长、穗粒数和千粒重也相对稳定。因此,认为在异地环境下抽穗天数的稳定性相对较重要,抽穗天数的变化对株高、穗粒数等性状的稳定性影响较大。本研究还表明,不同年代品种抽穗天数的稳定性参数大小顺序为年代 I > 年代 II > 年代 IV > 年代 III,即随着年代的推进,选育品种的生态适应性逐渐趋于增强。这可能与近几十年来各育种单位重视和开展穿梭育种^[37]密切相关,在穿梭育种过程中异地适应性或多或少得到了一些选择。汤翠凤等^[38]和游书梅等^[39]研究表明,种质资源具有很重要的价值,应该重点在性状基因挖掘与育种中加以利用,为水稻育种工作提供参考。本研究还根据抽穗天数的稳定性参数筛选出异地环境下抽穗天数稳定性较好的辽粳 931、辽粳 454、辽粳 244 等 20 个品种,这些材料具有较强的生态适应性,可作为亲本材料用于水稻育种。

参考文献

- [1] 徐春春,纪龙,陈中督,方福平.2017 年我国水稻产业形势分析及 2018 年展望.中国稻米,2018,24(2):1-3
Xu C C, Ji L, Chen Z D, Fang F P. Analysis of China's rice industry situation in 2017 and prospects for 2018. China's Rice,

- 2018, 24(2): 1-3
- [2] 郑景生, 黄育民. 中国稻作超高产的追求与实践. 分子植物育种, 2003, 1(5/6): 585-596
Zheng J S, Huang Y M. Thrust and practice of super high-yielding rice production in China. Molecular Plant Breeding, 2003, 1(5/6): 585-596
- [3] 关欣, 陈温福, 徐正进, 李振兴, 孙静文. 不同年代水稻品种穗部性状比较研究. 沈阳农业大学学报, 2004, 35(2): 81-84
Guan X, Chen W F, Xu Z J, Li Z X, Sun J W. Analysis of evolution on the panicle characteristics of rice varieties. Journal of Shenyang Agricultural University, 2004, 35(2): 81-84
- [4] 王文明. 水稻超高产育种的现状与展望. 西南农业学报, 1998(11): 7-12
Wang W M. The status and prospect of super-high yield breeding in rice. Southwest China Journal of Agriculture sciences, 1998(11): 7-12
- [5] 袁隆平. 从育种角度展望我国水稻的增产潜力. 杂交水稻, 1996(4): 1-2
Yuan L P. Prospects for yield potential in rice through plant breeding. Hybrid Rice, 1996(4): 1-2
- [6] 王红霞, 邹德堂, 王晓东, 范守山, 王茂青. 不同生态条件对水稻产量及其构成要素的影响. 黑龙江农业科学, 2010(5): 29-30
Wang H X, Zou D T, Wang X D, Fan S S, Wang M Q. Effects of different ecological conditions on rice yield and its components. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2010(5): 29-30
- [7] 陈培峰. 不同年代籼稻品种产量的差异及其原因分析. 扬州: 扬州大学, 2006
Chen P F. Difference of yield of rice (*Oryza Sativa* L.) varieties from different eras and analysis of its causes. Yangzhou: Yangzhou University, 2006
- [8] 王海泽. 东北三省不同年代水稻产量及性状的比较研究. 吉林农业科学, 2013, 38(6): 1-5
Wang H Z. Comparative studies on yield and panicle traits of rice released in different years in northeast region of China. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2013, 38(6): 1-5
- [9] 朱广龙. 长江中游主要水稻历史品种演替进程中产量表现及其生理基础. 武汉: 华中农业大学, 2016
Zhu G L. Yield performance and associated physiological basis of historical rice varieties evolved in the middle of Yangtze River Basin of China. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016
- [10] 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: 14-18
Han L Z, Wei X H. Descriptors and data standard for rice (*Oryza sativa* L.). Beijing: China Agricultural Press, 2006: 14-18
- [11] 吴为人. 对基于 AMMI 模型的品种稳定性分析方法的一点改进. 遗传, 2000, 22(1): 31-32
Wu W R. An improvement on the method of variety stability analysis based on the AMMI model. Hereditas, 2000, 22(1): 31-32
- [12] 韩龙植, 张三元, 乔永利, 金钟焕, 徐福荣, 曹桂兰, 南钟浩, 戴陆园, 芮钟斗, 高熙宗. 不同生长环境下水稻结实率数量性状位点的检测. 作物学报, 2006, 32(7): 1024-1030
Han L Z, Zhang S Y, Qiao Y L, Jin Z H, Xu F R, Cao G L, Nan Z H, Dai L Y, Rui Z D, Gao X Z. Identification of QTLs for seed setting rate in rice under different growing environments. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(7): 1024-1030
- [13] 杨占烈, 余显权, 黄宗洪, 姜萍. 不同生态条件下影响稻米品质变化的气象因子研究. 种子, 2006, 25(7): 78-81
Yang Z L, Yu X Q, Huang Z H, Jiang P. Study on meteorological factors affecting rice quality under different ecological conditions. Seed, 2006, 25(7): 78-81
- [14] 杨从党, 朱德峰, 周玉萍, 周能, 袁平荣. 不同生态条件下水稻产量及其构成因子分析. 西南农业学报, 2004, 17(Z1): 35-39
Yang C D, Zhu D F, Zhou Y P, Zhou N, Yuan P R. Analysis on rice yield and its components under different conditions. Southwest China Journal of Agriculture Sciences, 2004, 17(Z1): 35-39
- [15] 陈畅. 水稻生殖生长期不同时段高温对产量和稻米品质影响的研究. 武汉: 华中农业大学, 2014
Chen C. Effect of high temperature in different periods during rice reproductive stage on grain yield and rice quality. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014
- [16] 陶龙兴, 王熹, 廖西元, 沈波, 谈惠娟, 黄世文. 灌浆期气温与源库强度对稻米品质的影响及其生理分析. 应用生态学报, 2006, 17(4): 647-652
Tao L X, Wang X, Liao X Y, Shen B, Tan H J, Huang S W. Physiological effects of air temperature and sink-source volume at milk-filling stage of rice on its grain quality. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(4): 647-652
- [17] 李义珍, 黄育民, 庄占龙, 黄亚昌, 余瑞远. 杂交稻高产结构研究. 福建省农科院学报, 1995, 10(1): 1-6
Li Y Z, Huang Y M, Zhuang Z L, Huang Y C, Yu R Y. Studies on key components for obtaining high grain yield of hybrid rice. Journal of Fujian Academy of Agricultural Sciences, 1995, 10(1): 1-6
- [18] 袁隆平. 两系法杂交水稻的研究进展. 中国农业科学, 1990, 23(3): 1-6
Yuan L P. Progress of two-line system hybrid rice breeding. Scientia Agricultural Sinica, 1990, 23(3): 1-6
- [19] 袁隆平. 杂交水稻超高产育种. 杂交水稻, 1997, 12(6): 1-6
Yuan L P. Hybrid rice breeding for super high yield. Hybrid Rice, 1997, 12(6): 1-6
- [20] 杨守仁, 张龙步, 徐正进, 王进民. 水稻超高产育种理论与方法. 沈阳农业大学学报, 1996, 27(1): 1-7
Yang S R, Zhang L B, Xu Z J, Wang J M. Theories and methods of rice breeding for maximum yield. Journal of Shenyang Agricultural University, 1996, 27(1): 1-7
- [21] 王之旭, 姜秀英, 韩勇. 辽宁省不同时期水稻主栽品种特征比较分析. 辽宁农业科学, 2015(3): 20-22
Wang Z X, Jiang X Y, Han Y. Comparison analysis on characteristics of the leading rice varieties during different eras of Liaoning province. Liaoning Agricultural Sciences, 2015(3): 20-22
- [22] 陶海霞, 关欣. 不同年代水稻品种产量及产量构成因素的研究. 甘肃科技, 2010, 26(13): 175-176, 100
Tao H X, Guan X. Study on the yield and yield components of rice varieties in different years. Gansu Science and Technology, 2010, 26(13): 175-176, 100
- [23] 熊洁, 陈功磊, 王绍华, 丁艳锋. 江苏省不同年代典型粳稻品

- 种的产量及株型差异. 南京农业大学学报, 2011, 34(5): 1-6
Xiong J, Chen G L, Wang S H, Ding Y F. The difference in grain yield and plant type among typical Japonica varieties in different years in Jiangsu province. Journal of Nanjing Agricultural University, 2011, 34(5): 1-6
- [24] 王海泽. 东北不同年代产量和品质与粳粳血缘的关系. 沈阳: 沈阳农业大学, 2015
Wang H Z. Indica and Japonica genotype frequency of different-period cultivars in the Northeast of China and its relationship with yield and quality. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2015
- [25] 李培富, 杨淑琴, 马宏伟. 宁夏水稻主要农艺性状的主成分及聚类分析. 中国农学通报, 2006, 22(12): 162-166
Li P F, Yang S Q, Ma H W. Principal components and cluster analysis of main agronomic characters of rice in Ningxia. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(12): 162-166
- [26] 李红宇, 侯显铭, 陈英华, 徐正进, 陈温福, 赵明辉, 马殿荣, 徐海, 王嘉宇. 用 SSR 标记评估东北三省水稻推广品种的遗传多样性. 中国水稻科学, 2009, 23(4): 383-390
Li H Y, Hou Y M, Chen Y H, Xu Z J, Chen W F, Zhao M H, Ma D R, Xu H, Wang J Y. Evaluation on genetic diversity of the commercial rice varieties in northeast China by microsatellite markers. Chinese Journal of Rice Science, 2009, 23(4): 383-390
- [27] 杨玉蓉, 孙建昌, 王兴盛, 韩龙植. 宁夏不同年代水稻品种的遗传多样性比较. 植物遗传资源学报, 2014, 15(3): 457-464
Yang Y R, Sun J C, Wang X S, Han L Z. Comparative analysis of genetic diversity for different period rice varieties in Ningxia. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(3): 457-464
- [28] 郭龙彪, 罗利军, 邢永忠, 徐才国, 梅捍卫, 王一平, 钟代彬, 钱前, 应存山, 石春海. 水稻重要农艺性状的两年 QTL 剖析. 中国水稻科学, 2003, 17(3): 211-218
Guo L B, Luo L J, Xing Y Z, Xu C G, Mei H W, Wang Y P, Zhong D B, Qian Q, Ying C S, Shi C H. Dissection of QTLs in two years for important agronomic traits in rice (*Oryza sativa* L.). Chinese Journal of Rice Science, 2003, 17(3): 211-218
- [29] Zhuang J Y, Lin H X, Lu J, Qian H R, Hittalmani S, Huang N, Zheng K L. Analysis of QTL $\times$ environment interaction for yield components and plant height in rice. Theoretical and Applied Genetics, 1997, 95: 799-808
- [30] 张光恒, 张国平, 钱前, 徐律平, 曾大力, 滕胜, 包劲松. 不同环境条件下稻谷粒形数量性状的 QTL 分析. 中国水稻科学, 2004, 18(1): 16-22
Zhang G H, Zhang G P, Qian Q, Xu L P, Zeng D L, Teng S, Bao J S. QTL analysis of grain shape traits in different environments. Chinese Journal of Rice Science, 2004, 18(1): 16-22
- [31] 余本勋, 卢运, 何友勋, 张时龙. 应用 AMMI 模型对水稻品种主要农艺性状的评价. 甘肃农业科技, 2010(3): 3-6
Yu B X, Lu Y, He Y X, Zhang S L. Evaluation on application of AMMI model for evaluation the main agronomic traits of rice varieties. Gansu Agricultural Science and Technology, 2010(3): 3-6
- [32] 张征锋, 肖本泽. 利用 AMMI 模型分析杂交水稻配合力. 植物遗传资源学报, 2015, 16(2): 400-404
Zhang Z F, Xiao B Z. Analysis of combining ability of hybrid rice by AMMI model. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(2): 400-404
- [33] 田永宏, 彭贤力, 余华强. 应用 AMMI 模型分析湖北省中稻区域试验品种稳定性. 农业科技通讯, 2009(12): 41-43
Tian Y H, Peng X L, Yu H Q. Analysis of stability of medium rice regional trial varieties in Hubei province by AMMI model. Agricultural Science and Technology Communication, 2009, (12): 41-43
- [34] 蒋开锋, 郑家奎, 赵甘霖, 朱永川, 万先齐, 丁国祥. 杂交水稻产量性状稳定性及其相关性研究. 中国水稻科学, 2001, 15(1): 67-69
Jiang K F, Zheng J K, Zhao G L, Zhu Y C, Wan X Q, Ding G X. Stability of grain yield traits and their correlation in hybrid rice. Chinese Journal of Rice Science, 2001, 15(1): 67-69
- [35] 张分云, 李宏, 王重荣, 周德贵, 周向阳, 司徒志谋, 赖穗春, 陈立云, 周少川. 黄华占系谱品种及其亲本产量相关性状的稳定性分析. 中国水稻科学, 2014, 28(5): 487-495
Zhang F Y, Li H, Wang C R, Zhou D G, Zhou X Y, Situ Z M, Lai S C, Chen L Y, Zhou S C. Stability analysis of rice yield related traits of varieties derived from Huanghuazhan and its parents. Chinese Journal of Rice Science, 2014, 28(5): 487-495
- [36] 朱书文, 刘福恩, 温庆锬, 周相平. 不同水稻品种的性状稳定性初探. 农业科技通讯, 2017(12): 97-99
Zhu S W, Liu F E, Wen Q K, Zhou X P. Preliminary study on the stability of different rice varieties. Agricultural Science and Technology Communication, 2017(12): 97-99
- [37] 陈海星, 蔡国海, 朱旭东, 杨尧诚, 赵忠良, 曹立勇, 严文潮, 卢华金, 熊振民, 申宗坦. 水稻穿梭育种研究初报. 中国农业科学, 1991, 24(6): 20-26
Chen H X, Cai G H, Zhu X D, Yang Y C, Zhao Z L, Cao L Y, Yan W C, Lu H J, Xiong Z M, Shen Z T. Preliminary study on rice shuttle breeding in rice. Scientia Agricultural Sinica, 1991, 24(6): 20-26
- [38] 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. Phenotypic diversity analysis of newly collected rice landraces in Yunnan. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(6): 1106-1116
- [39] 游书梅, 曹应江, 郑家奎, 蒋开锋, 张涛, 杨莉, 杨乾华, 万先齐, 罗婧, 李昭祥, 高磊. 73 份亚洲水稻恢复系农艺性状的主成分与聚类分析. 植物遗传资源学报, 2015, 16(2): 250-256
You S M, Cao Y J, Zheng J K, Jiang K F, Zhang T, Yang L, Yang Q H, Wan X Q, Luo J, Li Z X, Gao L. Principal components and cluster analysis of agronomic traits of 73 asian rice restorer lines. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(2): 250-256