

不同类型籼稻区对杂交籼稻性状的影响

于洋¹ 陈建云^{2*} 张江丽¹ 普世皇² 金寿林¹ 张亮¹ 张春龙¹ 文建成^{1*}

(1. 云南农业大学 稻作研究所, 昆明 650201;

2. 云南禾朴农业科技有限公司, 昆明 650000)

摘要 为明确不同稻作区对杂交籼稻表型的影响, 2014—2015年连续2年对种植于3个不同稻区(双季籼稻区、单季籼稻区和籼粳交错区)的40个籼稻杂交组合的农艺和抗病性状分析。结果表明, 双季稻区和交错区对40个籼稻杂交组合农艺性状(生育期、株高、穗长、有效穗、穗总粒数、结实率、千粒重和产量)变化影响很大, 而单季稻区的杂交组合性状表现居于双季稻区和交错区之间。双季稻区的穗颈瘟、纹枯病和白叶枯病严重, 交错区是穗颈瘟和纹枯病严重。基于农艺性状和发病情况数据, 采用特有简约性分析法分析, 40个杂交组合的综合表型在不同稻作区多数呈现连续分布, 在交错区87.5%(35/40)的籼稻杂交组合综合表型发生聚集, 单季稻区为75.0%(30/40), 双季稻区为57.5%(23/40)。在交错区和双季稻区都适宜种植的籼稻杂交组合占比仅为2.5%(1/40), 在双季稻和单季稻区都适宜的杂交组合占比为40.0%(16/40)。

关键词 水稻; 表型差异; 稻区类型; 适应性评价; 特有简约性分析

中图分类号 S511.2⁺1

文章编号 1007-4333(2020)01-0039-09

文献标志码 A

Analysis of the environmental impacts on *indica* rice characteristics in different types of planting regions

YU Yang¹, CHEN Jianyun^{2*}, ZHANG Jiangli¹, PU Shihuang², JIN Shoulin¹,
ZHANG Liang¹, ZHANG Chunlong¹, WEN Jiancheng^{1*}

(1. Rice Research Institute of Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Yunnan Hope Agricultural Science and Technology Co., Ltd., Kunming 650000, China)

Abstract In order to explore the environmental impacts on *indica* rice characteristics in three different types of double-season, one-season or *indica-japonica* cross planting regions. The variations of agronomic and disease resistance characters for 40 *indica* hybrid rices grown in the three regions in two consecutive years were analyzed. The results showed that the double-season and *indica-japonica* cross in two regions had significant effects on *indica* rice agronomic traits (growth duration, plant height, panicle length, effective tiller, total grains per panicle, seed setting rate, 1 000-grain weight and yield), while the traits of one-season region were between them. In the double-season region, panicle neck blast, sheath blight and bacterial blight diseases were severe, and the *indica-japonica* cross region was severely affected by of endemism panicle neck blight and sheath blight. Based on agronomic and disease characters data by parsimony analysis, it was found that most of the *indica* hybrid rices with similar agronomic and disease traits showed continuous distribution according to the different planting rice areas, i. e., 87.5% aggregation of the *indica-japonica* cross, 75.0% aggregation of the one-season and 57.5% aggregation of the double-season. The probability of *indica* hybrid rices suitable for planting in both *indica-japonica* cross and double-season regions was 2.5%, and in the double-

收稿日期: 2019-02-25

基金项目: 云南省重点新产品开发计划(2015BB015)

第一作者: 于洋, 硕士研究生, E-mail: kmyuyang@aliyun.com

通讯作者: 文建成, 教授, 主要从事水稻遗传育种研究, E-mail: jcwen1117@163.com

陈建云, 农艺师, 主要从事水稻遗传育种研究, E-mail: chenjianyun.km@163.com

season and one-season regions was 40%.

Keywords *Oryza sativa* L.; phenotypic difference; types of rice planting region; suitability evaluation; parsimony analysis of endemism

中国是世界上的水稻生产大国,播种面积辽阔,稻作生态类型多样。不同类型水稻品种适应不同稻作区,通常北方以粳稻为主,南方以籼稻为主。种植稻区的环境温度、海拔和纬度等条件差异都明显影响水稻农艺性状变化^[1-8]和稻米品质性状变化^[9-13]。为了便于水稻的生产和应用,依据地区生态气候条件、耕作制度和稻种类型等将全国划分为12个稻作区^[14],新品种能否适宜种植需要通过相应生态区域的试验评价。所以,在中国稻作生态类型丰富多样的背景下,开展生态区域适应性试验是决定新品种区域化布局的重要手段。

云南省是我国籼粳稻兼重的省份之一,在海拔2 750 m以下均有水稻种植,形成热带、亚热带和温带等多种气候类型的稻作区^[15-16]。云南省粳稻分布主要在海拔1 500 m及以上的坝子和山区,而籼稻分布主要在1 500 m以下的河谷流域。在区域试验上,粳稻设置为高寒组(海拔1 850 m以上)和温带组(海拔1 500~1 850 m),籼稻只设为一个组别。就云南籼稻种植区而言,在海拔跨度约1 500 m范围内,存在3类不同稻作区,即海拔1 100 m以下的双季籼稻稻作区(双季稻区)、1 100~1 400 m的单季籼稻稻作区(单季稻区)和1 400~1 500 m的籼粳稻交错稻作区(交错区)^[17]。也就是说,籼稻品种要在云南省通过省审定,必须在不同的3类籼稻区都具有良好的综合表现。

水稻品种在不同稻作区具有一定适应性,而且可通过一系列分析方法来评价,采用DT OPSIS对水稻新品种综合评价^[18],采用AMMI模型及线性回归模型可评价品种稳定性和适应性^[19-20],秩次分析法^[21]、变异系数分析法^[22]、高稳系数法可权衡品种的高产和稳产性^[23]。多数分析方法是利用产量或者少数性状评价水稻新品种在不同稻区的高产和稳产性。特有性简约性分析法(PAE)是生物地理学的分析方法,借助简约性分析原理和计算方法,建立分布区之间的PAE分支图,表达分布区之间的关系。目前,关于籼稻品种在云南省不同类型籼稻区是否具有趋同性变化的研究更鲜有报道。本研究以40个杂交籼稻组合为试材,设置3个不同类型籼稻

区,测定云南省3个不同类型籼稻区杂交籼稻的农艺和病害性状的变化,旨在利用特有性简约性分析方法分析不同稻作区对籼稻综合性状的影响,以期云南省开展水稻生态育种、区域试验和品种审定提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试材料共计40个籼稻杂交组合材料,均由云南农业大学稻作研究所提供。2014年种植20个杂交组合编号为1401~1420,2015年种植籼稻杂交组合编号为1501~1520。

2014年种植在云南省双季籼稻区德宏州芒市(海拔920 m,年均温19.8℃)、单季籼稻区文山州文山市(海拔1 240 m,年均温17.2℃)和籼粳稻交错区曲靖市罗平县(海拔1 480 m,年均温15.1℃)。2015年种植在双季稻区芒市、单季稻区红河州弥勒市(海拔1 200 m,年均温18.4℃)和籼粳稻交错区罗平县。

播种期4月上旬,移栽秧龄双季稻区约30 d,单季稻区约35 d,籼粳稻交错区约40 d。种植按随机区组排列,单穴单苗,株距16.0 cm,行距26.0 cm,每小区6.67 m²,2次重复,周围种植保护行。试验田前作为小春作物,肥力均匀,全生育期不防治病害,其他管理与当地大田生产一致。

1.2 主要性状及其分级

调查不同稻区各杂交组合的主要农艺性状和田间抗病性,包括全生育期,d;田间株高,cm;有效穗,穗/株;穗长,cm;穗实粒数,粒;穗总粒数,粒;结实率,%;稻谷产量,kg/m²。以及叶瘟病、穗茎瘟、白叶枯病和纹枯病的田间发病率。对各个性状进行分级便于开展综合评价(表1)。

1.3 数据统计

平均值计算在Excel上完成,不同类型籼稻区的组合农艺性状平均值的差异性分析在DPS软件上完成。基于各性状分级的数据基础,采用PAST软件对不同类型籼稻区种植组合农艺和抗病性状进行简约性分析和作图。

表 1 40 个籼稻杂交组合材料主要农艺和抗病性状的分级

Table 1 Description of the main agronomic and disease resistance traits for 40 *indica* hybrid rices

性状 Trait	分级标准 Grading description
株高 Plant height	≤70 cm 为 1 级, 每增加 10 cm 加 1 级 Level 1 is no more than 70 cm, and add 1 level for every 10 cm increase
穗长 Panicle length	≤20 cm 为 1 级, 每增加 2 cm 加 1 级 Level 1 is no more than 20 cm, and add 1 level for every 2 cm increase
有效穗 Effective tillers	≤5 万穗为 1 级, 每增加 5 万穗加 1 级 Level 1 is no more than 50 thousand tillers, and add 1 level for every 5×10 ⁴ tillers increase
穗总粒数 Fertile grains per panicle	≤50 粒为 1 级, 每增加 50 粒加 1 级 Level 1 is no more than 50 grains, and add 1 level for every 50 grains increase
结实率 Seed-setting rate	≤60% 为 1 级, 每增加 5% 加 1 级 Level 1 is no more than 60%, and add 1 level for every 5% increase
千粒重 1 000-grain weight	≤20 g 为 1 级, 每增重 2.5 g 加 1 级 Level 1 is no more than 20 g, and add 1 level for every 2.5 g increase
产量 Yield	≤0.60 kg/m ² 为 1 级, 每增重 50 kg 加 1 级 Level 1 is no more than 0.60 kg/m ² , and add 1 level for every 50 kg increase
叶瘟病 Leaf blast	1 级为发病率 0%, 3 级为 ≤5%, 5 级为 5.1%~50.0%, 7 级为 50.1%~75.0%, 9 级为 >75.0% Level (1) incidence rate 0%, level (3) incidence rate ≤5%, level (5) incidence rate 5.1%—50.0%, level (7) incidence rate 50.1%—75.0%, level (9) incidence rate >75%
穗颈瘟病 Neck blast	1 级为发病率 0%, 3 级为 ≤5.0%, 5 级为 5.1%~50.0%, 7 级为 50.1%~70.0%, 9 级为 >70.0% Level (1) incidence rate 0%, level (3) incidence rate ≤5%, level (5) incidence rate 5.1%—50.0%, level (7) incidence rate 50.1%—70.0%, level (9) incidence rate >70.0%
纹枯病 Sheath blight	1 级为发病率 0%, 3 级为 ≤5.0%, 5 级为 5.1%~50.0%, 7 级为 >50.0% Level (1) incidence rate 0%, level (3) incidence rate ≤5.0%, level (5) incidence rate 5.1%—50.0%, level (7) incidence rate >50.0%
白叶枯病 Bacterial blight	1 级为发病率 0%, 3 级为 ≤10.0%, 5 级为 10.1%~15.0%, 7 级为 >15.0% Level (1) incidence rate 0%, level (3) incidence rate ≤10.0%, level (5) incidence rate 10.1%—15.0%, level (7) incidence rate >15.0%

2 结果与分析

2.1 不同类型籼稻区籼稻杂交组合的农艺性状

对连续 2 年在云南省 3 个不同类型籼稻区种植的 40 个籼稻杂交组合的 8 种农艺性状进行分析, 结果表明, 籼稻杂交组合在不同类型稻区的农艺性状差异显著(表 2)。

生育期和单位面积有效穗对不同类型籼稻区环境变化的响应, 表现为交错区 > 单季稻区 > 双季稻

区籼稻, 3 个稻区间杂交组合性状差异极显著。在交错区, 籼稻杂交组合生育期较单季多 5.2 d; 而单季稻区又较双季稻区杂交组合多 19.0 d。

株高、穗长、穗总粒数、结实率、千粒重和产量 6 个性状对不同类型籼稻区环境变化的响应与前 2 个性状相反, 表现为双季稻区 > 单季稻区 > 交错区籼稻。双季稻区杂交组合的株高 123.7 cm、穗长 26.5 cm、穗总粒数 197.7 粒/穗、结实率 67.6%、千粒重 26.9 g 和产量 0.8 kg/m² 都分别高于交错区

表2 不同类型籼稻区籼稻杂交组合农艺性状的平均值

Table 2 Average values of agronomic traits of *indica* hybrid rices at different types of *indica* planting regions

性状 Traits	年份 Year	双季籼稻区 DS	单季籼稻区 OS	籼粳交错区 CS	F 值 F-value	P
生育期/d Growth duration	2014	136.9±4.7 C	152.6±6.3 B	161.8±4.1 A	121.64	0
	2015	138.6±5.9 B	160.9±2.2 A	162.1±1.9 A	256.60	0
株高/cm Plant height	2014	128.0±7.6 A	106.3±5.0 B	94.5±6.4 C	299.98	0
	2015	119.4±6.3 A	109.9±6.0 B	90.6±6.5 C	444.84	0
穗长/cm Panicle length	2014	26.7±2.0 A	26.7±1.1 A	22.9±1.1 B	148.33	0
	2015	26.3±1.4 A	24.3±1.3 B	21.3±1.1 C	263.53	0
有效穗/(15穗/m ²) Effective tiller	2014	252.0±27.0 B	310.5±40.5 A	318.0±37.5 A	37.93	0
	2015	264.0±39.0 C	312.0±48.0 B	342.0±49.5 A	55.93	0
穗总粒数/穗 Total grains per panicle	2014	204.8±31.2 A	149.6±29.1 B	137.1±22.6 B	66.92	0
	2015	190.6±35.6 A	180.7±34.6 A	133.3±30.4 B	113.25	0
结实率/% Seed setting rate	2014	65.6±11.1 A	64.2±12.2 A	62.4±13.1 A	0.56	0.579
	2015	69.6±11.5 A	70.3±11.7 A	37.7±18.6 B	41.06	0
千粒重/g 1 000-grain weight	2014	26.7±2.8 A	24.5±3.0 B	24.2±2.9 B	407.37	0
	2015	27.1±2.5 A	26.9±2.7 A	23.4±2.3 B	47.70	0
产量/(kg/m ²) Yield	2014	0.9±0.2 A	0.7±0.2 B	0.7±0.2 B	19.07	0
	2015	0.7±0.1 A	0.8±0.2 A	0.4±0.2 B	58.76	0

注:DS,双季籼稻区;OS,单季籼稻区;CS,籼粳交错区。表中同行不同的字母代表达到0.01%的显著水平。下同。

Note: DS, double-season *indica* region; OS, one-season *indica* region; CS, *indica-japonica* crosses region. Values within same row followed by the same letter are not significantly different at the 0.01 probability level. The same below.

的92.5 cm、22.1 cm、135.2粒/穗、50.1%、23.8 g和0.55 kg/m²,所有差异都达极显著水平。

总体上,不同籼稻杂交组合在双季稻区表现为生育期短、有效穗少、植株高、穗子长、结实率高、产量高和粒重重的特点,在籼粳交错区表现为生育期长、有效穗多、植株矮、穗子短、结实率低、产量低和粒重轻的特点,而在单季稻区的表现则居于两者间。

2.2 不同类型籼稻区籼稻杂交组合的病害发生频率

统计3个不同类型籼稻区种植的40个籼稻杂交组合4种病害发生,结果表明,籼稻杂交组合发病情况在不同类型稻作区差异显著(表3)。

叶瘟病发病率,在3个不同类型区均在3级及以下,其中发病率3级的杂交组合占组合总数比例,在单季稻区,双季稻区和交错区分别为92.5%,87.5%和67.5%。

穗颈瘟病发病率,在单季稻区均为5级及以下,发病5级的杂交组合占比为45%;在双季稻区和籼

粳交错区为3~9级,在双季稻区发病5、7和9级的杂交组合占比分别为27.5%、32.5%和20.0%;在交错区占比分别为20.0%、15.0%和40.0%。

纹枯病发病率,在单季稻区都是5级以下,发病5级的杂交组合占比为17.5%;在双季稻区和籼粳交错区杂交组合都在3~7级;在双季稻区,发病5和7级的杂交组合占比分别为32.5%和5.0%;交错区分别为10.0%和2.5%。

白叶枯病发病率,在交错区发生为3级以下,发病3级的杂交组合占比为50.0%;双季稻区,发病3、5和7级的杂交组合占比分别为40.0%、7.5%和5.0%;单季稻区,发病3和5级的杂交组合分别有57.5%和5.0%。

总体上,在双季籼稻区,穗颈瘟、纹枯病和白叶枯病3个病害发病都严重;在交错区,穗颈瘟和纹枯病2个病害发病严重;单季籼稻区,4种病害的发病均较轻。

表 3 不同类型籼稻区 40 个籼稻杂交组合病害的发生频率

Table 3 Variation of disease incidence for 40 *indica* hybrid rices at different types of *indica* planting regions

病害 Disease	级别 Grading	双季籼稻区 DS		单季籼稻区 OS		籼粳交错区 CS	
		样本数 No. of sample	发病率/% Incidence	样本数 No. of sample	发病率/% Incidence	样本数 No. of sample	发病率/% Incidence
叶瘟 Leaf blast	1	5	12.5	3	7.5	13	32.5
	3	35	87.5	37	92.5	27	67.5
	5	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	7	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	9	0	0.0	0	0.0	0	0.0
穗颈瘟 Neck blast	1	0	0.0	18	45.0	0	0.0
	3	8	20.0	4	10.0	10	25.0
	5	11	27.5	18	45.0	8	20.0
	7	13	32.5	0	0.0	6	15.0
	9	8	20.0	0	0.0	16	40.0
纹枯病 Sheath blight	1	4	10.0	12	30.0	12	30.0
	3	21	52.5	21	52.5	23	57.5
	5	13	32.5	7	17.5	4	10.0
	7	2	5.0	0	0.0	1	2.5
白叶枯 Bacterial blight	1	19	47.5	15	37.5	20	50.0
	3	16	40.0	23	57.5	20	50.0
	5	3	7.5	2	5.0	0	0.0
	7	2	5.0	0	0.0	0	0.0

2.3 不同类型籼稻区籼稻杂交组合的综合表现

基于农艺、经济和病害性状分级数据,对 3 个不同类型籼稻区的 40 个籼稻杂交组合分析,结果显示,不同类型籼稻区的杂交组合的综合表型多数呈现连续分布(图 1 和图 2)。2014 年的 20 个籼稻杂交组合(图 1),在交错区,除 2 个组合 C1407 和 C1409 外,其他 18 个杂交组合出现聚集分布,有 90.0%(18/20)的杂交组合聚集在一起。在双季稻区,9 个杂交组合呈连续分布,占比为 45.0%(9/20),有 10 个与单季稻区的组合聚集在一起,有 1 个与交错区的组合聚集在一起。单季稻区 19 个,双季稻区的 10 个和交错区的 2 个杂交组合聚集成一个大的杂交组合群体。在单季稻区,仅有 1 个杂

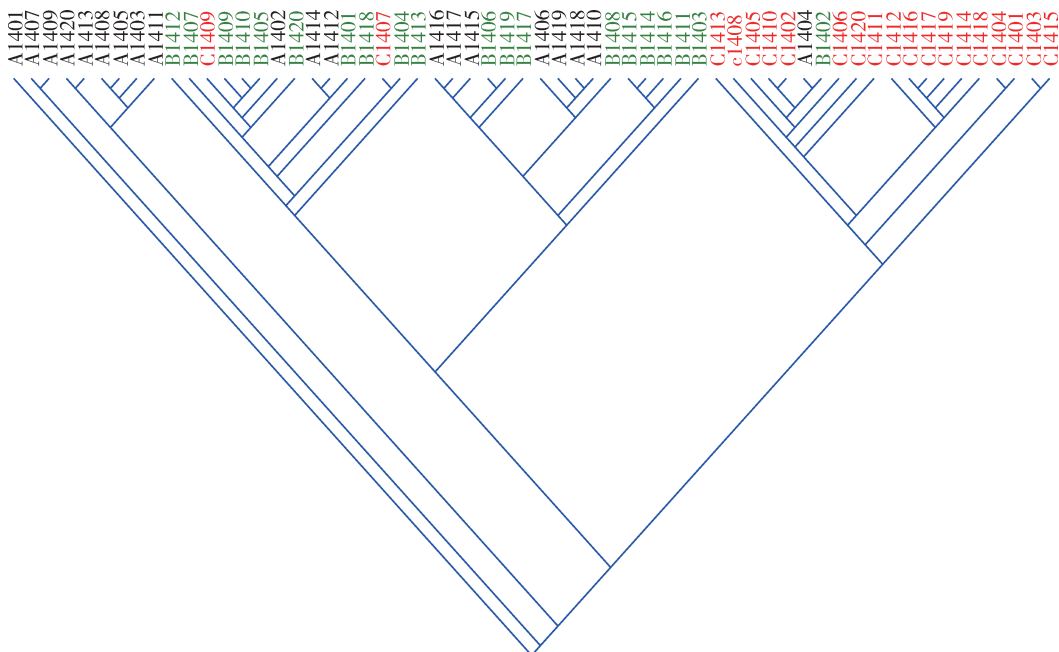
交组合 B1402 与交错区的组合聚集。

2015 年种植的 20 个籼稻杂交组合(图 2),在交错区,除 3 个杂交组合 C1505、C1506 和 C1510 外,其他 17 个杂交组合聚集在一起,占杂交组合总数的 85.0%(17/20)。在双季稻区,14 个杂交组合聚集分布,占比为 70.0%(14/20)。双季稻区的 6 个杂交组合与在单季稻区的杂交组合聚集在一起。单季稻区的 20 个杂交组合与双季稻区的 6 个杂交组合聚集成一个大的杂交组合群体。

综合来看,2 年结果变化趋势一致,不同类型籼稻区的杂交组合多数的表型按照种植籼稻区聚集在一起,尤其是种植在交错区的表现最为明显。综上所述,双季稻区和交错区 2 个种植地区对籼

稻性状有显著的影响,但是,筛选出同时在这2个
稻区种植都表现优良的杂交组合有一定的难度,

在单季稻区种植杂交组合的性状变化与双季稻区
相似。



A1401~A1420, 籼稻杂交组合 1401~1420 种植于双季籼稻区的编号; B1401~B1420, 籼稻杂交组合 1401~1420 种植于单季籼稻区编号; C1401~C1420, 籼稻杂交组合 1401~1420 种植于籼粳交错区的编号。下同。

A1401—A1420, the 20 *indica* hybrid rices are planted at double-season *indica* region; B1401—B1420, the 20 *indica* hybrid rices are planted at one-season *indica* region; C1401—C1420, the 20 *indica* hybrid rices are planted at *indica-japonica* cross region. The same below.

图1 2014年20个籼稻杂交组合的12个性状在不同类型稻作区的简约性分析

Fig. 1 Parsimony analysis of 12 traits of 20 *indica* hybrid rices at three different types of *indica* planting regions in 2014

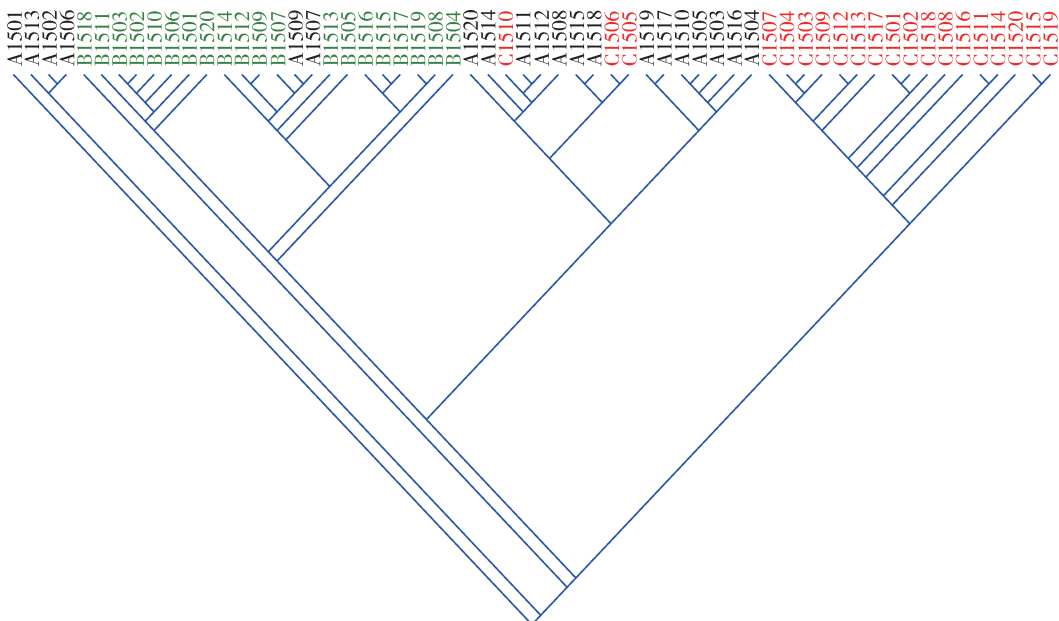


图2 2015年在3个不同类型稻作区种植20个杂交籼稻杂交组合的12个性状的简约性分析

Fig. 2 Parsimony analysis of 12 traits of 20 *indica* hybrid rices at different types of *indica* planting regions in 2015

3 讨论与结论

对3个不同类型籼稻区的40个杂交籼稻杂交组合农艺性状和病害性状综合表现分析,结果表明,多数杂交组合的综合表型按照不同种植籼稻区聚集在一起,交错区的表现最明显,2年87.5%(35/40)的杂交组合聚集,单季稻区75.0%(30/40)的杂交组合聚集,双季稻区57.5%(23/40)的杂交组合聚集。40个杂交组合中,双季稻和单季稻区各有1个杂交组合的综合表型在交错区聚集,占比仅为2.5%(1/40),而双季稻区有16个杂交组合的综合表型单季稻区聚集,占比为40.0%(16/40)。因此,交错区和双季稻或单季稻区筛选到综合表现优良的杂交组合的比率仅为2.5%,在双季稻和单季稻区筛选到表现都优良的组合占比为40.0%(16/40)。按目前云南省水稻区域试验管理办法,在云南不同3个类型籼稻区只设置1个组别的籼稻区域试验,很难筛选出同时适宜交错区和双季稻区推广的优良杂交组合。云南地处低纬高原,垂直气候分布差异明显,单、双季稻区和交错区在气候条件和土壤组成上差异明显,在水稻种植季节气候主要受印度洋暖湿气流影响,如遇到连续阴雨天气,随海拔升高“一雨成秋”的特点越明显,从双季稻、单季稻到籼粳交错区降温也更加明显。单、双季稻区土壤多为赤红壤,稻田多为淹育性冲积土,交错区土壤多为山地土壤,稻田多为潴育性湖积土^[24]。也有研究表明,中国4个不同纬度水稻种植区对水稻抽穗期到成熟期的农艺性状存在显著的影响,一些品种在4种环境中表现出极大差异,很难选出4个环境中表现稳定的优良品种^[25]。水稻的许多重要性状同时受遗传和环境条件的影响,所以不同种植区域环境条件对产量、品质和抗逆性等都有影响^[26-28]。

对3个不同类型籼稻区种植40个杂交籼稻杂交组合病害发生频率统计显示,在双季稻区,穗颈瘟、纹枯病和白叶枯的发病严重,这3种病害发病5级以上的杂交组合分别为32、15和5个,占比例分别为80.0%(32/40)、37.5%(15/40)和12.5%(5/40)。在交错区,穗颈瘟和纹枯病发病严重,这2种病害发病在5级以上的杂交组合分别为30和5个,占比分别为75.0%(30/40)和12.5%(5/40)。相比较而言,单季稻区,杂交组合这4种病害上发病较轻。这与云南省水稻生产实践是吻合的,双季稻区地处于亚热带河谷,高温、雨水多和湿度大的环境

条件容易诱发穗颈瘟和纹枯病,交错区地处于云南省高原坝子,容易受到阴雨低温天气影响诱发穗颈瘟和纹枯病。有研究表明,在雨水多、土壤肥力好的双季籼稻区稻瘟病、纹枯病和白叶枯病发病率高,而气候凉爽雨水较多的云南和贵州两省籼粳交错区容易发生稻瘟病和纹枯病^[29]。不同稻作区的发病率差异,除了受气象条件的影响,不同水稻品种携带的相关抗病基因也是一个重要原因。抗水稻条纹枯病基因 *Stv-bⁱ*、抗稻瘟病基因 *Pigm* 和抗白叶枯病基因 *Xa23* 被广泛应用于水稻抗病育种^[30-32]。

参考文献 References

- [1] Kwon Y R, Lee J J, Choi D C, Choi J S, Choi Y G, Yun S G. Varietal difference in growth, yield and grain quality of rice grown at different altitudinal locations[J]. *Korean Journal of Crop Science*, 2006, 51(2): 130-136
- [2] Wang S H, Tan Y L, Tan X L, Zhang Z L, Wen J C, Kou S Y. Segregation distortion detected in six rice F₂ populations generated from reciprocal hybrids at three altitudes [J]. *Genetics Research*, 2009, 91(5): 345-353
- [3] 付景, 王志琴, 杨建昌. 抽穗-灌浆期低温与弱光对超级稻结实率和生理性状的影响[J]. *扬州大学学报: 农业与生命科学版*, 2014, 35(4): 68-74
Fu J, Wang Z Q, Yang J C. Effects of low temperature and weak light during heading and grain filling on the seed; Setting rate and physiological traits of super rice [J]. *Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition*, 2014, 35(4): 68-74 (in Chinese)
- [4] Munda G C, Das A, Patel D P. Physiological behavior and yield of rice (*Oryza sativa* L) varieties in pre-kharif and kharif season at mid altitude of Meghalaya[J]. *Annals of Agricultural Research*, 2006, 27(3): 230-235
- [5] 雷伟, 文建成, 普世皇, 王昌江, 刘华萍, 孙朝华, 苏家秀, 李振, 徐津, 谭亚玲, 金寿林, 谭学林. 海拔差异对水稻雌配子体基因型选择及其后代代表型遗传分化的影响[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(7): 1249-1261
Lei W, Wen J C, Pu S H, Wang C J, Liu H P, Sun C H, Su J X, Li Z, Xu J, Tan Y L, Jin S L, Tan X L. Female gametophyte genotype selection and its progeny phenotypic genetic differentiation in rice at different altitude condition[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(7): 1249-1261 (in Chinese)
- [6] 张锦文. 杂交籼稻在云南不同海拔和纬度的产量及品质变化研究[D]. 昆明: 云南农业大学, 2016
Zhang J W. Study on yield and quality of indica hybrid rice in different altitude and latitude in Yunnan [D]. Kunming: Yunnan Agricultural University, 2016 (in Chinese)
- [7] Arshad M S, Farooq M, Asch F, Krishna J S V, Prasad P V

- V, Siddique K H M. Thermal stress impacts reproductive development and grain yield in rice[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2017, 115: 57-72
- [8] 李忠辉, 刘实, 郭春明, 王冬妮. 未来气候变化对东北三省水稻产量影响的评估[J]. *中国农业大学学报*, 2015, 20(2): 223-228
- Li Z H, Liu S, Guo C M, Wang D N. Predicting the impact of future climate change on rice yield in northeast China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2015, 20(2): 223-228 (in Chinese)
- [9] 张坚勇, 肖应辉, 万向元, 刘家世, 王春明, 陈亮明, 孔令娜, 翟虎渠, 万建民. 水稻品种外观品质性状稳定性分析[J]. *作物学报*, 2004, 30(6): 548-554
- Zhang J Y, Xiao Y H, Wan X Y, Liu S J, Wang C M, Chen L M, Kong L N, Zhai H Q, Wan J M. Stability analysis for appearance qualities of rice cultivar[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(6): 548-554 (in Chinese)
- [10] Beckles D M, Thitisaksakul M. How environmental stress affects starch composition and functionality in cereal endosperm[J]. *Starch-Stärke*, 2014, 66(1-2): 14
- [11] Chun A, Lee H J, Hamaker B R, Janaswamy S. Effects of ripening temperature on starch structure and gelatinization, pasting, and cooking properties in rice (*Oryza sativa* L.)[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(12): 3085-3093
- [12] Zhang C Q, Zhou L H, Zhu Z B, Lu H, Zhou X Z, Qian Y T, Li Q F, Lu Y, Yan L, Gu M H, Liu Q Q. Characterization of grain quality and starch fine structure of two japonica rice (*Oryza sativa*) cultivars with good sensory properties at different temperatures during the filling stage[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(20): 4048-4057
- [13] 张亮, 普世皇, 陈建云, 陆定科, 邓金玉, 张江丽, 张春龙, 李娟, 罗萍, 陆坤华, 韦永毕, 罗倩明, 金寿林, 陈丽娟, 谭学林, 文建成. 哀牢山东西两侧环境对水稻食味和农艺性状影响的分析[J]. *扬州大学学报: 农业与生命科学版*, 2018, 39(2): 16-21
- Zhang L, Pu S H, Chen J Y, Lu D K, Deng J Y, Zhang J L, Zhang C L, Li J, Luo P, Lu K H, Wei Y B, Luo Q M, Jin S L, Chen L J, Tan X L, Wen J C. Analysis of palatability and agronomic characteristic variations in rice at east and west sides of the Ailao mountains[J]. *Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition*, 2018, 39(2): 16-21 (in Chinese)
- [14] 杨文钰, 屠乃美. 作物栽培学各论: 南方本 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2015
- Yang W Y, Tu N M. *Crop Cultivation Theory: Southern Version* [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2015 (in Chinese)
- [15] 马继琼, 杨奕, 孙一丁, 王炎炎, 许明辉. 云南地方水稻品种抗稻瘟病基因 Pita 功能区段序列变异分析[J]. 2016, *中国水稻科学*, 30(3): 265-272
- Ma J Q, Yang Y, Sun Y D, Wang Y Y, Xu M H. Sequence variation of functional fragment in pita gene for rice blast resistance in Yunnan rice landraces[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2016, 30(3): 265-272 (in Chinese)
- [16] 夏如兵, 童肖, 王思明. 中国农业物种遗产的保护与利用研究. 广西民族大学学报: 哲学社会科学版[J]. 2018, 40(4): 75-81
- Xia R B, Tong X, Wang S M. Study on the protection and utilization of Chinese agricultural species heritage[J]. *Journal of Guangxi University for Nationalities: Philosophy and Social Science Edition*, 2018, 40(4): 75-81 (in Chinese)
- [17] 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[J]. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(6): 1106-1116
- Tang C F, Zhang E L, Dong C, A X Y, Zhang F F, Shen S Q, Han L Z. Analysis on phenotypic diversity of rice landraces newly collected in Yunnan province[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(6): 1106-1116 (in Chinese)
- [18] 杨旺兴, 许旭明, 卓伟, 张受刚, 马彬林, 杨腾帮, 邹文广. DTOPSIS 在水稻新品种综合评价中的应用[J]. *福建农业学报*, 2007, 22(2): 141-145
- Yang W X, Xu X M, Zhuo W, Zhang S G, Ma B L, Yang T B, Zou W G. Application of DTOPSIS method in evaluating new rice varieties [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 22(2): 141-145 (in Chinese)
- [19] 刘文江, 李浩杰, 王旭东, 周开达. 用 AMMI 模型分析杂交水稻基本性状的稳定性[J]. *作物学报*, 2002, 28(4): 569-573
- Liu W J, Li H J, Wang X D, Zhou K D. Stability analysis for elementary characters of hybrid rice by AMMI model[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(4): 569-573 (in Chinese)
- [20] Samonte S O P, Wilson L T, McClung A M, Medley J C. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses[J]. *Crop Science*, 2005, 45(6): 2414-2424
- [21] 金文林. 作物区试中品种稳定性评价的秩次分析模型[J]. *作物学报*, 2000, 26(6): 925-930
- Jin W L. The rank analysis model of evaluating crop varieties yield stability in regional trials[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(6): 925-930 (in Chinese)
- [22] 俞世蓉, 陆作楣, 周鞠珍, 朱连先. 小麦品种审定中品种的合理评价的问题[J]. *中国农业科学*, 1995, 28(3): 87-93
- Yu S R, Lu Z M, Zhou J Z, Zhu L X. Reasonable evaluation of varieties in the examination of wheat varieties[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1995, 28(3): 87-93 (in Chinese)
- [23] 胡大明, 钱益芳, 蒋其根, 盛建, 顾玉龙, 顾芹芹, 郑超. 应用 HSC 法评价水稻新品种(系)丰产稳定性[J]. *上海农业学报*, 2000, 26(4): 159-161
- Hu D M, Qian Y F, Jiang Q G, Sheng J, Gu Y L, Gu Q Q, Zheng C. Evaluation of new rice varieties' high-yielding stability by the HSC method[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2010, 26(4): 159-161 (in Chinese)

- [24] 程侃声, 程侃声稻作研究论文集[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2003
Cheng K S, *Cheng Kansheng's Rice Research Collection*[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2003 (in Chinese)
- [25] Li X K, Wu L, Geng X, Xia X H, Wang X H, Xu Z J, Xu Q. Deciphering the environmental impacts on rice quality for different rice cultivated areas[J]. *Rice*, 2018, 11(1): 7
- [26] Fitzgerald M A, Mccouch S R, Hall R D. Not just a grain of rice: The quest for quality[J]. *Trends in Plant Science*, 2009, 14(3): 133-139
- [27] Lyman N B, Jagadish K S V, Nalley L L, Dixon B L, Siebenmorgen T. Neglecting rice milling yield and quality under estimates economic losses from high-temperature stress [J]. *Plos one*, (2013-08-22), DOI: 10.1371/journal.pone.0072157
- [28] Purwanto E, Hidayati W, Nandariyah. The yield and quality of black rice varieties in different altitude [C]. In: Anete Ashton. Institute of Physics Conference Series: Earth and Environmental Science. England: IOP Publishing, 2018, 142
- [29] 陈德西, 何忠全, 封传红, 刘万才, 陆明红, 向运价. 水稻主要病害发生区划研究[J]. *西南农业学报*, 2014, 27(3): 1072-1078
Chen D X, He Z Q, Feng C H, Liu W C, Lu M H, Xiang Y J. Study on occurrence regionalization of rice major diseases [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 27(3): 1072-1078 (in Chinese)
- [30] Deng Y W, Zhai K R, Xie Z, Yang D Y, Zhu X D, Liu J Z, Wang X, Qin P, Yang Y Z, Zhang G M, Li Q, Zhang J F, Wu S Q, Milazzo J, Mao B, Wang E, Xie H, Tharreau D, He Z H. Epigenetic regulation of antagonistic receptors confers rice blast resistance with yield balance [J]. *Science*, 2017, 355(6328): 962-965
- [31] Wang C L, Fan Y L, Zheng C K, Qin T F, Zhang X P, Zhao K J. High-resolution genetic mapping of rice bacterial blight resistance gene *Xa23* [J]. *Molecular Genetics and Genomics*, 2014, 289(5): 745-753
- [32] Washio O, Toriyama K, Ezuka A, Sakurai Y. Studies on the breeding of rice varieties resistant to stripe disease: II Genetic study on resistance to stripe disease in Japanese upland rice [J]. *Breeding*, 1968, 18(2): 96-101

责任编辑: 吕晓梅