

网络出版时间:2015-12-02 14:25 DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2016.01.007
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20151202.1425.014.html>

四川常用杂交水稻耐低温潜沼性逆境的差异性

王红妮^{1a,2}, 王学春^{1b}, 陈永军^{1b}, 李 军²

(1 西南科技大学 a 成人与网络教育学院, b 生命科学与工程学院, 四川 绵阳 621010;
2 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**研究四川常用杂交水稻耐低温潜沼性逆境的差异性,为该逆境下水稻品种的选育奠定基础。**【方法】**选取四川盆地常用的 36 个杂交水稻品种为试验材料,采用田间试验的方法,在四川遂宁分别选择低温潜沼性稻田和非低温潜沼性稻田(CK)进行同期种植,观测并分析不同水稻品种的分蘖动态、株高和穗部性状等农艺指标。**【结果】**1)与非逆境相比,低温潜沼性逆境下,杂交水稻分蘖数和成穗率均显著降低;分蘖数降低程度与 T 值(水稻对低温潜沼性逆境的耐受指数)间的相关系数为 $-0.86(P<0.01)$,成穗率降低程度与 T 值间的相关系数为 $-0.88(P<0.01)$ 。2)与非逆境相比,所有参试杂交水稻的穗长在低温潜沼性逆境下均有所缩短,其缩短程度与 T 值间的相关系数为 $-0.89(P<0.01)$;所有参试杂交水稻的结实率均有所降低,其降低程度与 T 值间的相关系数为 $-0.93(P<0.01)$ 。3)杂交水稻对低温潜沼性逆境的耐受能力不同,参试的 36 个品种中,C 优 130、C 优 2095、川香 3 号、冈优 188、泸优 5 号、内 5 优 306、内 5 优 317 和协优 027 的 T 值均超过了 12,具有较强的耐受能力,其在低温潜沼性逆境下的分蘖数较多,结实率和穗长降低程度较低。4)低温潜沼性逆境下,杂交水稻对低温潜沼性逆境的耐受指数与水稻产量间的相关系数为 $0.89(P<0.05)$,与水稻产量降低程度间的相关系数为 $-0.95(P<0.01)$ 。**【结论】** T 值可以用来评价杂交水稻对低温潜沼性逆境的适应能力, T 值越高,在低温潜沼性逆境下产量降低的程度越小。

[关键词] 低温潜沼性逆境;杂交水稻;农艺性状

[中图分类号] S511.051;S363 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2016)01-0037-08

Difference in tolerance capacity of hybrid rice in paddy and low temperature field in Sichuan

WANG Hong-ni^{1a,2}, WANG Xue-chun^{1b}, CHEN Yong-jun^{1b}, LI Jun²

(1 a College of Adult and Online Education, b School of Life Science and Technology,
Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China;
2 College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】**This study investigated the difference in tolerance capacity of hybrid rice in paddy and low temperature environment in Sichuan to provide basis for the selection and breeding of tolerance hybrid rice. **【Method】**Field experiments were carried out at Suining, Sichuan in paddy and low temperature field and normal rice field (CK), respectively. Using 36 common rice varieties as materials, the number of rice tillers, plant height, panicle trait and other agronomic traits of rice were measured and analyzed. **【Result】**1) Under paddy and low temperature environment, both tiller number and bearing tiller rate of hybrid rice reduced significantly, the correlation index between the reduction rate of tiller number and tolerance index (T) was $-0.86(P<0.01)$ and the correlation between the reduction rate of bearing tiller and T was

[收稿日期] 2014-04-24
[基金项目] 国家自然科学基金项目(31401347);四川省教育厅项目(13ZB0299)
[作者简介] 王红妮(1978—),女,陕西宝鸡人,在读博士,主要从事作物抗逆高产栽培研究。
[通信作者] 王学春(1979—),男,山东威海人,副研究员,主要从事作物高产栽培及作物生产系统模拟与决策研究。
E-mail: xuechunwang@swust.edu.cn

$-0.88(P<0.01)$ 。2) Compared with normal environment, the panicle length of hybrid rice reduced significantly with the correlation between its reduction rate and T of $-0.89(P<0.01)$. The setting rate of hybrid rice also decreased significantly with the correlation of $-0.93(P<0.01)$. 3) Different hybrid rice had different capacities to tolerant the paddy and low temperature environment. Among the 36 tested hybrid rice, the hybrid rice, C You 130, C You 2095, Chuanxiang 3, Gangyou 188, Luyou 5, Nei 5 You 306, Nei 5 You 317 and Xieyou 027 had high T values (higher than 12), indicating that they had strong capacity to tolerant the paddy and low temperature environment. Therefore, they obtained more tiller and their reduction rates of setting and panicle length were less than that of other hybrid rice. 4) Under the paddy and low temperature environment, the correlation index between T and rice yield was $0.89(P<0.05)$ while the correlation index between T and the reduced rice yield was $-0.95(P<0.01)$. 【Conclusion】 The tolerance index for paddy and low temperature environment (T) can be used to evaluate the capacity of hybrid rice. Higher value indicates that the rice yield reduction will be less in paddy and low temperature field.

Key words: paddy and low temperature environment; hybrid rice; agronomic traits

我国南方丘陵沟槽地带或山荫树林间分布着大量农田,因受常年积水、光照不足等因素的影响,此类稻田还原性物质总量较高,矿质元素如 P 和 K 等供应不足,土壤温度偏低^[1-2],“毒、闭、烂、瘠、冷”成为其主要特征,常被称为低温潜沼性稻田。该类稻田在春季水稻移栽后极易发生坐兜现象,严重影响水稻正常生长,通常情况下低温潜沼性稻田稻谷产量较正常稻田低 30% 左右^[3-4]。目前,四川盆地约有 47 万 hm^2 低温潜沼性低产稻田,占四川水稻总播种面积的 22%~25%。如何提高这部分低产稻田稻谷产量一直是水稻栽培研究的热点之一。

随着对低温潜沼性逆境研究的不断深入,改良和克服土壤潜育化的技术措施不断被改进。田间开沟排水是现有条件下农民经常采用的田间除渍防潜工程措施^[5-8];半旱式栽培模式、节水灌溉模式和水稻迟栽技术模式等是目前较多采用的栽培措施^[9-11];另外,在经济条件较好的地区也采用增加肥料投入(暖性肥料和石灰等)的方式改变潜育化土壤中还原性物质较多、矿物质较少的缺陷^[12]。这些以改变水稻生长环境为出发点的技术措施,在一定程度上消除或缓解了土壤潜育化进程,改变了水稻的生长环境,提高了稻谷产量,但同时也增加了农业投入。在目前农资价格不断上涨、农村劳动力“空心化”的大背景下,低温潜沼性稻田产生的经济效益越来越低,很多农民不愿意将有限的资金和人力投入到该类稻田,因此“应付田”、荒田面积呈直线上升趋势。

作物对生态逆境适应性的基因型差异可以用来缓解生态逆境对作物生长的不利影响,从而达到提高作物产量的目的。王国莉和郭振飞^[13-15]选用水稻

耐冷品种湘糯 1 号和冷敏感品种 IR50 为材料,研究了低温对水稻幼苗光合速率和叶绿素荧光参数的影响,结果表明在低温条件下,冷敏感品种的水稻产量降低幅度比耐冷品种更大。严顺平等^[16-17]对水稻在低温胁迫下的蛋白组进行了相关研究,认为低温环境下多个蛋白在低温胁迫下被降解,尤其是光合机构蛋白,有 19 个蛋白点均被鉴定为 Rubisco 大亚基的降解片段。廖海秋等^[18]通过 5 年的田间定位试验,提出有机肥与无机肥配合施用可有效提高太湖地区潜育性水稻土的肥力水平。李达模等^[19]和李阳生等^[20]通过多年试验认为,针对潜育性逆境的主要障碍因子,充分利用各种种质资源选育耐低温潜沼性逆境的水稻品种,是提高低温潜沼性稻田稻谷产量的有效途径之一。

本研究采用田间试验的方法,就四川盆地 36 个杂交水稻品种对低温潜沼性逆境的耐受能力、分蘖动态变化、株高动态变化及穗部性状(千粒质量、穗长、着粒数、实粒数)等品种选育指标的差异性进行了综合分析,提出了一套评价水稻耐低温潜沼性逆境的方法,为今后水稻品种的选育及筛选奠定了必要的实践依据和理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验区域概况

本试验于 2012—2013 年在四川遂宁市常理乡展开。试验田南北是丘陵山地,为典型的丘陵沟槽地带,受上游(约 100 m)堰塘影响,试验田常年积水,0~20 cm 地温较其他稻田低 $0.5\sim 1\text{ }^{\circ}\text{C}$;0~50 cm 土壤氧化还原电位为 $-230\sim -400\text{ mV}$,显著低于其他稻田;土壤还原性物质总量 $45\sim 60\text{ cmol/kg}$,

Fe²⁺ 含量为 70~130 mg/kg,均显著高于其他稻田,是典型的低温潜沼性稻田。

1.2 试验设计

本试验选取 36 个四川常用杂交水稻品种(表 1)作为试验材料,采用随机区组排列进行田间试验研究,重复 3 次。小区面积 6 m²(2 m×3 m),每个小区种植 3 个品种,每个品种种植 3 行。每个品种均以非低温潜沼性稻田作为对照进行同期种植。3

表 1 参试杂交水稻品种信息

Table 1 Information of experimental hybrid rice varieties

编号 Number	品种 Variety	父本×母本 Male parent×Female parent	编号 Number	品种 Variety	父本×母本 Male parent×Female parent
1	Ⅱ 优 11 Ⅱ You 11	Ⅱ-32A×龙恢 11 Ⅱ-32A×Longhui 11	19	冈优 188 Gangyou 188	冈 46A×乐恢 188 Gang 46A×Lehui 188
2	Ⅱ 优 501 Ⅱ You 501	Ⅱ-32A×绵恢 501 Ⅱ-32A×Mianhui 501	20	冈优 364 Gangyou 364	冈 46A×江恢 364 Gang 46A×Jianghui 364
3	Ⅱ 优 H103 Ⅱ You H103	Ⅱ-32A×泸恢 H103 Ⅱ-32A×Luhui H103	21	花香 7 号 Huaxiang 7	花香 A×川恢 907 Huaxiang A×Chuanhui 907
4	C 优 130 C You 130	CA×130	22	花香优 1618 Huaxiangyou 1618	花香 A×川恢 1618 Huaxiang A×Chuanhui 1618
5	C 优 2095 C You 2095	CA×绵恢 2095 CA×Mianhui 2095	23	泸香 615 Luxiang 615	泸香 91A×泸恢 615 Luxiang 91A×Luhui 615
6	D 优 17 D You 17	D35A×抗恢 527 D35A×Kanghui 527	24	泸优 5 号 Luyou 5	泸 077A×金恢 5 号 Lu 077A×Jinhui 5
7	D 优 527 D You 527	D62A×蜀恢 527 D62A×Shuhui 527	25	泸优 9803 Luyou 9803	泸 98A×泸恢 H103 Lu 98A×Luhui H103
8	D 优 162 D You 162	D 汕 A×蜀恢 162 D Shan A×Shuhui 162	26	内 5 优 306 Nei 5 You 306	内香 5A×内香恢 3306 Neixiang 5A×Neixianghui 3306
9	Q 优 2 号 Q You 2	Q1A×成恢 047 Q1A×Chenghui 047	27	内 5 优 317 Nei 5 You 317	内香 5A×内恢 3317 Neixiang 5A×Neihui 3317
10	Q 优 6 号 Q You 6	Q2A×R1005	28	内 5 优 5399 Nei 5 You 5399	内香 5A×内恢 3399 Neixiang 5A×Neihui 3399
11	川丰 2 号 Chuanfeng 2	冈 46A×江恢 364 Gang 46A×Jianghui 364	29	内香 2128 Neixiang 2128	内香 2A×R128 Neixiang 2A×R128
12	川丰 4 号 Chuanfeng 4	江育 80A×江恢 364 Jiangyu 80A×Jianghui 364	30	内香 2924 Neixiang 2924	内香 2A×内恢 92-4 Neixiang 2A×Neihui 92-4
13	川谷优 204 Chuanguyou 204	川谷 A×蜀恢 204 Chuangu A×Shuhui 204	31	内香 7539 Neixiang 7539	内香 7A×内恢 2539 Neixiang 7A×Neihui 2539
14	川谷优 399 Chuanguyou 399	川谷 A×瑞恢 399 Chuangu A×Ruihui 399	32	协优 027 Xieyou 027	协青早 A×华恢 027 Xieqingzao A×Huahui027
15	川谷优 918 Chuanguyou 918	川谷 A×宝恢 918 Chuangu A×Baohui 918	33	协优 527 Xieyou 527	协青早 A×蜀恢 527 Xieqingzao A×Shuhui 527
16	川香 3 号 Chuanxiang 3	川香 29A×成恢 448 Chuanxiang 29A×Chenghui 448	34	宜香 2079 Yixiang 2079	宜香 1A×达恢 2079 Yixiang 1A×Dahui 2079
17	川香 8108 Chuanxiang 8108	川香 29A×宇恢 8108 Chuanxiang 29A×Yuhui 8108	35	宜香 2292 Yixiang 2292	宜香 1A×宜恢 2292 Yixiang 1A×Yihui 2292
18	川香优 907 Chuanxiangyou 907	川香 29A×华恢 007 Chuanxiang 29A×Huahui 007	36	宜香 3551 Yixiang 3551	宜香 1A×宜恢 3551 Yixiang 1A×Yihui 3551

1.3 取样与统计

1.3.1 田间取样 05-26—08-15,每小区选取 5 株定点观测株高,取平均值作为该小区水稻株高;05-31—08-20,每小区选取 5 株定点观测水稻分蘖数,取平均值作为该小区水稻分蘖数。9 月下旬,每个小区选取 5 株,将稻穗带回实验室风干考种,主要考察指标包括:千粒质量、穗长、着粒数、实粒数等。其中穗长为从穗茎节到穗顶端的长度,依据穗长将稻穗平均分成 3 段,即顶部、中部和基部 3 部分,分别考查其着粒数和实粒数。

月下旬开始育秧,秧龄 45 d,5 月中旬单株移栽(0.25 m×0.30 m),9 月下旬收获。水稻生长季节施纯氮(N) 180 kg/hm²、五氧化二磷 120 kg/hm²、氯化钾 225 kg/hm²。肥料运筹方式为:氮肥以 5 : 3 : 2 的质量比分别作基肥、分蘖肥、穗肥施入;磷肥在秧苗移栽前以基肥施入,钾肥以 1 : 1 的质量比分别作基肥和穗肥施入。其他管理与当地大田相同。

1.3.2 计算方法 株高增长率的计算方法如下式:

$$R_H = \frac{H - H'}{H'} \times 100\%。$$

(1)

式中: R_H 为水稻株高增长率, H 为第 x 次观测时水稻株高, H' 为第 $x-1$ 次观测时水稻株高。

水稻对低温潜沼性逆境的耐受指数(T)依据式(2)进行计算, T 值越高水稻耐低温潜沼性逆境的能力越强,在低温潜沼性逆境下相对容易获得高产。

$$T = \frac{-1}{\sum_{i=1}^6 \frac{(X_i - X'_i)}{X'_i}} \times 100\%。$$

(2)

式中： T 为水稻对低温潜沼性逆境的耐受指数； X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 和 X_6 依次为低温潜沼性逆境下水稻的株高、分蘖数、千粒质量、实粒数、着粒数、穗长； X'_1 、 X'_2 、 X'_3 、 X'_4 、 X'_5 和 X'_6 依次为非逆境下水稻的株高、分蘖数、千粒质量、实粒数、着粒数、穗长。

依据杂交水稻对低温潜沼性逆境的耐受能力大小(T 值大小),可将 36 个四川常用杂交水稻的 T 值分为 4 个等级:A. 具有较强的耐受能力, $T \geq 12$; B. 具有一定的耐受能力, $12 > T \geq 6$; C. 具有较弱的耐受能力, $6 > T \geq 3$; D. 基本不具有耐受能力, $T < 3$ 。为进一步比较不同基因型杂交水稻在低温潜沼性逆境下的农艺表现,本研究分别在 A、B、C、D 4 个等级中各选 2 个典型杂交水稻作为代表(A: C 优 130、协优 027; B: Q 优 6 号、川香优 907; C: Ⅱ优 11、川丰 2 号; D: 川谷优 204、泸香 615),比较不同耐受能力杂交稻品种的农艺指标,为今后田间水稻品种

的选育提供必要依据。

2 结果与分析

2.1 不同杂交水稻对低温潜沼性逆境的耐受能力

由图 1 可见,不同杂交水稻品种对低温潜沼性逆境的耐受能力不同,参试的 36 个品种中,4、5、16、19、24、26、27 和 32 号(C 优 130、C 优 2095、川香 3 号、冈优 188、泸优 5 号、内 5 优 306、内 5 优 317 和协优 027)8 个品种的 T 值均超过了 12,具有较强的耐受能力;3、7、10、18、21、25 和 33 号(Ⅱ优 H103、D 优 527、Q 优 6 号、川香优 907、花香 7 号、泸优 9803、协优 527)7 个品种的 T 值均超过了 6,具有一定的耐受能力;1、6、11 和 14 号(Ⅱ优 11、D 优 17、川丰 2 号、川谷优 399)4 个品种的 T 值均超过 3,对低温潜沼性逆境的耐受能力较弱;其他 17 个品种基本不具有耐低温潜沼性逆境的能力。

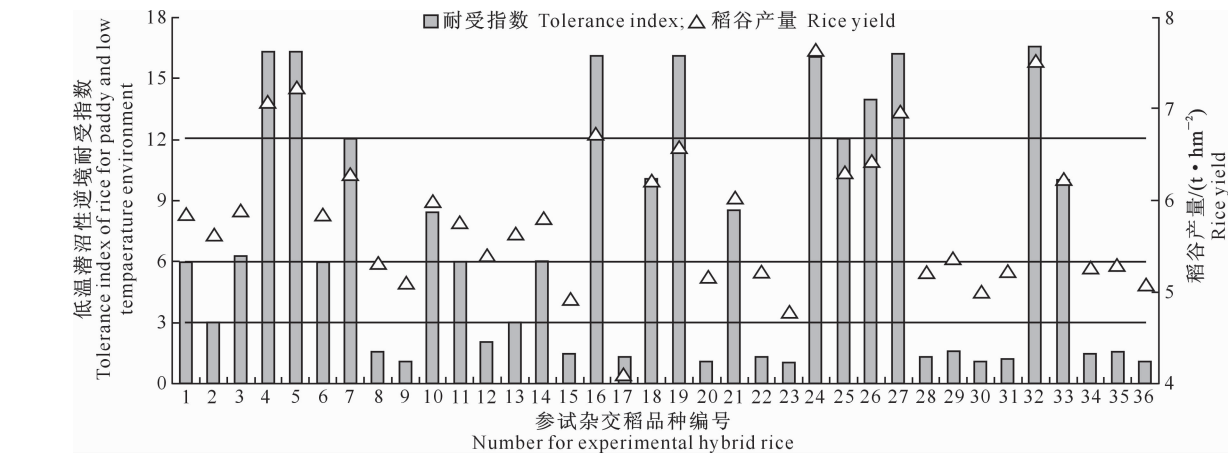


图 1 36 个杂交水稻品种耐低温潜沼性逆境指数及其在低温潜沼性稻田的稻谷产量
参试杂交水稻的编号(1~36)所代表的品种名称同表 1
Fig.1 Tolerance indexes and rice yields of 36 hybrid rice in paddy and low temperature field
Numbers for experimental hybrid rice from 1 to 36 were same as that in table 1

相关性分析表明,低温潜沼性耐受指数(T 值)与稻谷产量间的相关系数为 0.89($P < 0.05$),与稻谷产量降低程度间的相关系数为 -0.95 ($P < 0.01$)。说明低温潜沼性逆境下稻谷的产量不但受水稻耐低温潜沼性逆境能力(T 值大小)的影响,也与其生产潜力有关;低温潜沼性耐受指数(T 值)很好地反映了水稻对低温潜沼性逆境的耐受能力, T 值越高,水稻在低温潜沼性稻田的减产幅度越小。

2.2 不同耐受能力杂交水稻分蘖动态变化

方差分析结果(表 2)表明,低温潜沼性逆境下,不同耐受能力杂交水稻品种分蘖动态差异显著。对低温潜沼性逆境具有较强耐受能力的 32 和 4 号品种(协优 027 和 C 优 130)在低温潜沼性逆境下具有

较强的分蘖能力,其最大分蘖数分别为 24.93 和 24.91,平均值为 24.92;对低温潜沼性逆境基本不具备耐受能力的 13 和 23 号品种(川谷优 204 和泸香 615)在低温潜沼性逆境下分蘖能力很弱,其最大分蘖数分别为 16.01 和 16.27,平均值为 16.14,比 32 和 4 号品种的平均值低 8.78。同时表 2 也表明,在低温潜沼性逆境下,耐受能力较强的水稻品种最终有效分蘖数显著高于耐受能力较弱的水稻品种。与 32 和 4 号品种(协优 027 和 C 优 130)相比,18 和 10 号品种(川香优 907 和 Q 优 6 号)的最终平均有效分蘖数减少了 10.37%,1 和 11 号品种(Ⅱ优 11 和川丰 2 号)减少了 20.38%,13 和 23 号品种(川谷优 204 和泸香 615)减少了 24.75%。相关性分析结

果表明,低温潜沼性逆境下杂交水稻分蘖数降低程度与水稻耐低温潜沼性能力间的相关系数为-0.86 ($P<0.01$)。

低温潜沼性逆境下,32、4、18 和 10 号品种(协优 027、C 优 130、川香优 907、Q 优 6 号)的成穗率分别为 0.66,0.65,0.67 和 0.68;1、11、13 和 23 号品种(Ⅱ优 11、川丰 2 号、川谷优 204、泸香 615)的成穗率分别为 0.65,0.66,0.76 和 0.75。与非低温潜沼

性逆境相比,上述品种的成穗率分别降低了 13%,15%,16%,17%,17%,18%,18%和 21%。相关性分析结果表明,成穗率降低程度与品种耐低温潜沼性能力间的相关系数为-0.88($P<0.01$),与非低温潜沼性逆境下成穗率间的相关系数为-0.45 ($P<0.05$)。表明低温潜沼性逆境下,杂交水稻成穗率不仅受品种自身分蘖特性影响,还与品种对低温潜沼性逆境的耐受能力有关。

表 2 不同耐受能力杂交水稻在低温潜沼性逆境下分蘖动态的比较

Table 2 Tiller numbers of different rice at different growth periods in paddy and low temperature field

等级 Grade	编号 Number	分蘖数 Tiller number								
		05-31	06-10	06-20	06-25	06-30	07-05	07-10	07-20	08-20
A	32	6.65 a	11.21 a	17.81 a	21.43 a	24.93 a	23.01 a	21.48 a	16.31 a	15.28 a
	4	6.62 a	11.11 ab	17.73 a	21.35 a	24.91 a	23.11 a	21.33 a	16.21 a	15.19 a
B	18	6.42 b	10.02 b	15.11 d	18.32 b	20.83 b	20.17 b	17.51 b	14.87 b	13.54 b
	10	6.43 b	9.34 d	15.92 c	18.07 b	20.77 b	20.07 b	17.65 b	14.42 b	13.77 b
C	1	6.02 c	9.82 c	16.48 b	17.43 c	19.89 c	18.31 c	16.64 c	13.08 c	12.03 c
	11	6.05 c	9.32 d	16.64 b	17.56 c	19.87 c	18.42 c	16.76 c	12.83 cd	12.23 c
D	13	5.78 d	9.04 e	15.01 d	15.65 d	16.01 d	15.01 d	13.85 d	11.36 d	11.46 d
	23	5.23 d	9.16 e	15.11 d	15.58 d	16.27 d	15.11 d	13.92 d	11.32 d	11.47 d

注:①同列数字后标不同小写字母表示不同品种间有显著差异($P<0.05$);② A 表示对低温潜沼性逆境具有较强的耐受能力,B 表示具有一定的耐受能力,C 表示具有较弱的耐受能力,D 表示基本不具有耐受能力;③编号 1~36 代表的品种名称同表 1。下表同。

Note: ① Lowercase letters behind number indicate significant difference ($P<0.05$) between varieties;② A means higher capacity to tolerant the lower and paddy environment,B,C and D mean the tolerance capacities are less,low and zero,respectively;③Numbers from 1 to 36 are the same with that in table 1. The same below.

2.3 不同耐受能力杂交水稻株高动态变化

在低温潜沼性逆境下,所有代表性杂交水稻株高增长率均表现为先增加后降低的趋势,但其株高增长率达到最大的时期不同。耐受能力较强的 32 和 4 号品种(协优 027 和 C 优 130)在 7 月上旬株高增长率达到最大值,其平均值为 18.6;对低温潜沼性逆境几乎没有耐受能力的 13 和 23 号品种(川谷优 204 和泸香 615)在 7 月中上旬达到最大值(表 3)。

表 3 不同耐受能力杂交水稻在低温潜沼性逆境下株高增长率的比较

Table 3 Comparison of increasing rate of rice height with different tolerance capacities in paddy and low temperature field

等级 Grade	编号 Number	株高增长率/% Increasing rate of rice height							
		06-06	06-15	06-25	07-05	07-15	07-25	08-05	08-15
A	32	0.2 d	10.0 a	15.5 a	19.2 a	18.4 a	18.6 a	13.5 a	0.6 c
	4	0.3 d	11.0 a	15.8 a	18.0 a	17.9 a	18.1 a	14.2 a	0.4 e
B	18	1.1 c	8.0 b	11.0 b	12.9 c	18.8 a	13.6 b	10.6 b	0.9 b
	10	1.3 c	6.3 c	10.8 b	13.4 bc	18.7 a	12.4 b	11.0 b	1.1 a
C	1	4.2 b	6.0 c	9.5 c	14.8 b	15.4 b	10.3 c	8.5 c	0.5 d
	11	4.5 b	6.2 c	8.8 c	14.1 b	15.2 b	10.8 c	8.7 c	0.4 e
D	13	9.8 a	5.7 c	8.0 cd	13.7 c	14.6 b	10.3 c	8.1 c	0.9 b
	23	9.6 a	5.3 c	7.5 d	15.2 b	14.1 b	9.6 c	8.0 c	0.6 c

2.4 不同耐受能力杂交水稻的穗部性状比较

具有不同耐受能力的杂交水稻品种的千粒质量在低温潜沼性逆境下有所差异(表 4),但与非低温潜沼性逆境下的千粒质量相比,变化不显著。除 10 和 13 号品种(Q 优 6 号和川谷优 204)外,所有参试

同时表 3 表明,对低温潜沼性逆境耐受能力较强的品种,株高增长相对较为平稳。低温潜沼性逆境下,耐受能力较强的 32、4、18 和 10 号品种(协优 027、C 优 130、川香优 907 和 Q 优 6 号)的株高增长率在达到最大值之后,株高增长率下降缓慢;耐受能力较弱的 1、11、13 和 23 号品种(Ⅱ优 11、川丰 2 号、川谷优 204 和泸香 615)的株高增长率在达到最大值之后,株高增长率下降迅速。

杂交水稻在低温潜沼性逆境下的千粒质量与非低温潜沼性逆境下的相同。表明低温潜沼性逆境下稻谷千粒质量差异与品种本身特性有关,受低温潜沼性逆境的影响较小。

在低温潜沼性逆境下,不同杂交水稻穗长差异

显著(表 4),在 8 个典型品种中,23 号品种(泸香 615)的穗长最短(20.0 cm),10 号品种(Q 优 6 号)穗长最长(25.0 cm)。与非逆境相比,所有参试杂交水稻的穗长在低温潜沼性逆境下均有所缩短,其中 13、23 号品种(川谷优 204 和泸香 165)的穗长分别缩短了 10.4%和 13.2%,1、11 号品种(Ⅱ优 11 和川丰 2 号)分别缩短了 8.4%和 9.5%,18、10 号品种(川香优 907 和 Q 优 6 号)分别缩短了 6.5%和 7.4%,32、4 号品种(协优 027 和 C 优 130)分别缩短

了 0.8%和 0.6%。相关性分析结果表明,低温潜沼性逆境下稻穗长与非逆境下稻穗长间的相关系数为 0.86($P<0.01$),与品种耐低温潜沼性能力间的相关系数为 0.43($P<0.05$)。稻穗缩短程度与非低温逆境下稻穗长间的相关系数为 0.63($P<0.05$),与品种耐低温潜沼性能力间的相关系数为-0.89($P<0.01$)。表明低温潜沼性逆境下稻谷穗长缩短,其缩短程度受品种耐受能力的影响,耐受能力越强,低温潜沼性逆境下稻穗缩短程度越小。

表 4 低温潜沼性逆境下不同耐受能力杂交水稻穗部性状的比较

Table 4 Comparison of panicle trait of different to lérance rice varieties in paddy and low temperature field

等级 Grade	编号 Number	千粒质量/g Weight of 1 000 grain	穗长/cm Panicle length	着粒数 Grains per panicle			实粒数 Full grains per panicle		
				顶部 Top	中部 Medium	基部 Bottom	顶部 Top	中部 Medium	基部 Bottom
A	32	27.2 b	24.3 b	95.4 a	86.1 a	55.8 b	74.5 a	65.2 a	15.8 e
	4	30.2 a	23.3 c	94.3 a	87.3 a	60.5 a	72.3 a	60.2 b	23.6 d
B	18	29.1 b	24.1 b	67.3 e	64.8 c	53.7 c	58.2 c	58.9 bc	26.8 c
	10	28.0 c	25.0 a	70.1 d	75.0 b	54.1 c	61.6 b	61.4 b	27.9 b
C	1	28.5 bc	23.0 c	73.2 d	67.2 c	62.1 a	56.2 c	50.4 d	28.1 b
	11	26.3 c	21.5 c	75.3 c	73.1 b	55.5 b	60.5 bc	57.1 c	26.9 c
D	13	27.3 b	22.1 d	83.9 b	64.8 c	55.7 b	63.1 b	37.1 e	22.7 d
	23	30.2 a	20.0 e	76.3 c	58.2 d	48.3 d	40.9 d	36.1 e	30.7 a

在低温潜沼性逆境下,杂交水稻稻穗基部着粒数、实粒数显著低于稻穗顶部和中部(表 4)。8 个典型杂交水稻稻穗顶部着粒数平均值为 79.5,稻穗中部为 72.0,稻穗底部为 55.7;其平均实粒数分别为 60.9,53.3 和 25.3。同时,不同杂交水稻在相同穗位的着粒数和实粒数差异显著,8 个典型杂交水稻中,32 和 4 号品种(协优 027、C 优 130)的稻穗顶部、中部、基部着粒数平均值分别为 94.8,86.7 和 58.2,显著高于其他品种,其稻穗顶部、中部、基部实粒数平均值分别为 73.4,62.7 和 19.7,也基本高于其他品种。

与非低温潜沼性逆境下的结实率相比,所有参试杂交水稻的结实率均有不同程度的降低,其降低程度因水稻耐低温潜沼性逆境能力的不同而不同。与非低温潜沼性逆境相比,低温潜沼性逆境下,32、4、18、10、1、11、13、23 号品种(协优 027、C 优 130、川香优 907、Q 优 6 号、Ⅱ优 11、川丰 2 号、川谷优 204、泸香 615)的结实率分别降低了 5%,4%,11%,13%,22%,25%,36%和 48%。结实率降低程度与品种耐受能力间的相关系数为-0.93,表明低温潜沼性逆境下,耐受能力越强,杂交水稻结实率越高。

3 讨 论

分蘖数和成穗率是影响水稻穗数,进而影响单产的重要性状之一,分蘖数是稻穗形成的基础,成穗率是稻穗形成的保证^[21-22]。相关研究表明,杂交稻

分蘖的最适水温为 32~34 ℃^[23],在低温潜沼性逆境下,稻田水温较低,杂交稻分蘖数和成穗率显著下降。本研究表明,受品种耐受能力的影响,不同杂交稻在低温潜沼性逆境下的分蘖数降低程度不同,耐受能力较强的协优 027 和 C 优 130 的最高平均分蘖数(24.92)显著高于耐受能力较弱的川谷优 204 和泸香 615(16.14);与非低温潜沼性逆境相比,低温潜沼性逆境下协优 027 和 C 优 130 的成穗率平均降低了 14%,而川谷优 204 和泸香 615 的成穗率平均降低了 19.5%。低温潜沼性逆境下耐受能力较强的水稻品种分蘖能力较强,成穗率降低程度较小。

穗粒数、千粒质量、结实率等是决定稻谷产量的重要因素之一^[24-25]。本研究表明,与非低温潜沼性逆境下水稻千粒质量相比,低温潜沼性逆境对稻谷千粒质量的影响较小,所有参试杂交水稻的千粒质量没有显著降低,但穗长、结实率等显著降低,其降低程度因品种对逆境耐受能力的不同而不同。在低温潜沼性逆境下,协优 027 和 C 优 130 结实率平均值为 65%;川谷优 204 和泸香 615 结实率平均值为 59%,显著低于协优 027 和 C 优 130。

研究认为,在耐低温潜沼性逆境水稻育种过程中,应充分考虑各方面因素对种质资源筛选和储备的影响^[19-20,26-27]。本研究所采用的低温潜沼性逆境耐受指数很好地反映了杂交水稻对低温潜沼性逆境的耐受能力,T 值高于 12 的杂交水稻品种,可以在

低温潜沼性逆境中种植。本研究对四川省 36 个常用杂交水稻品种进行了观测与评价,结果表明不同杂交水稻品种对低温潜沼性逆境的耐受能力差异显著,进一步深入研究对提高四川省低温潜沼性低产稻田稻谷产量具有重要的实践意义。今后还需扩大筛选范围,进一步量化杂交水稻对低温潜沼性逆境的耐受能力,开展系列生理生化分析,阐明杂交水稻耐低温潜沼性逆境的内在生理基础及遗传机理,从而为提高低温潜沼性稻田稻谷产量奠定必要的理论基础和提供实践依据。

4 结 论

1)在低温潜沼性逆境下,杂交水稻分蘖数显著减少,着粒数和结实率显著降低,穗长显著缩短。耐受能力较强的杂交水稻(C 优 130、C 优 2095、川香 3 号、冈优 188、泸优 5 号、内 5 优 306、内 5 优 317 和协优 027)分蘖数、着粒数和穗长的降低程度较小,千粒质量下降不显著,更容易获得高产。

2)耐受指数(T 值)综合考虑了株高、分蘖数、千粒质量、结实率、着粒数、实粒数等水稻农艺指标,能够很好地反映杂交水稻对低温潜沼性逆境的耐受能力,耐受指数越高,在低温潜沼性逆境下稻谷产量降低程度越小。

[参考文献]

[1] 柴娟娟,廖 敏,徐培智,等.我国主要低产水稻冷浸田养分障碍因子特征分析[J].水土保持学报,2012,26(4):284-288.
Chai J J,Liao M,Xu P Z,et al. Feature analysis on nutrient's restrictive factors of major low productive waterlogged paddy soil in China [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012,26(4):284-288. (in Chinese)

[2] 邱珊莲,王 飞,李晓燕,等.福建冷浸田土壤微生物及养分特征分析[J].福建农业学报,2012,27(3):278-282.
Qiu S L,Wang F,Li X Y,et al. Analysis of microbe and nutrient characteristics of cold-waterlogged paddy soil in Fujian Province [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences,2012,27(3):278-282. (in Chinese)

[3] 王文军,张祥明,郭熙盛,等.皖南山区冷浸田水稻垄作覆膜栽培技术研究[J].安徽农业科学,2012,40(20):10405-10406,10409.
Wang W J,Zhang X M,Guo X S,et al. Study of ridge and mulching cultivation technique of paddy in cold waterlogged fields,mountainous area in South Anhui [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2012,40(20):10405-10406,10409. (in Chinese)

[4] 苏金平,袁福生,徐昌旭,等.不同施肥方式对冷浸田早稻产量影响研究初报[J].江西农业学报,2012,24(6):90-92.
Su J P,Yuan F S,Xu C X,et al. Preliminary study on effects of

different fertilization modes on yield of early rice in cold waterlogged field [J]. Acta Agriculturae Jiangxi,2012,24(6):90-92. (in Chinese)

[5] 王 飞,李清华,林新坚,等.福建省冷浸田治理利用的思考[J].农业现代化研究,2012,33(2):221-224.
Wang F,Li Q H,Lin X J,et al. Thinking of cold and soaked fields management and utilization in Fujian Province [J]. Research of Agricultural Modernization,2012,33(2):221-224. (in Chinese)

[6] 焦加国,张惠娟,贺大连.我国冷浸田的特性及改良措施[J].安徽农业科学,2012,40(7):4247-4248.
Jiao J G,Zhang H J,He D L. Characteristics and amelioration measures of cold spring paddy soils in China [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2012,40(7):4247-4248. (in Chinese)

[7] 陈慕松,郑 东.开沟排水改良冷浸田效果显著[J].福建农业,2002(3):5.
Chen M S,Zheng D. Open ditch drainage improve the cold soak field effect is remarkable [J]. Fujian Agriculture,2002(3):5. (in Chinese)

[8] 张 平,郑宏刚,余建新.高原地区冷浸田治理技术研究[J].云南农业大学学报,2005,20(5):665-670.
Zhang P,Zheng H G,Yu J X. Study on the improving technology of cold soak field in the highland area [J]. Journal of Yunnan Agricultural University,2005,20(5):665-670. (in Chinese)

[9] 邓小华,张华林,黄绿荷.再生稻冷浸田半旱式垄作高产栽培技术[J].杂交水稻,2005,20(2):38-40.
Deng X H,Zhang H L,Huang L H. Semiarid ridging high-yielding cultural techniques of ratooning rice in cold waterlogged fields [J]. Hybrid Rice,2005,20(2):38-40. (in Chinese)

[10] 戴 德.高寒山区冷浸田免耕垄作技术增产机理浅析[J].安徽农业科学,1998,26(2):126-128.
Dai D. Study on mechanism of increasing yield of no tillage and edge culture technology in cold waterlogged field in mountain area of high and cold [J]. Anhui Agricultural Science, 1998,26(2):126-128. (in Chinese)

[11] 邓小华,郑贤陆.冷浸田杂交中稻-再生稻高产栽培技术研究[J].杂交水稻,2003,18(6):40-41.
Deng X H,Zheng X L. High-yielding cultural techniques of medium two-line hybrid rice plus ratooning rice in cold-waterlogged fields [J]. Hybrid Rice,2003,18(6):40-41. (in Chinese)

[12] 陈 琨,秦鱼生,喻 华,等.不同耕作方式和施肥处理对冬水田土温、水稻生长和产量的影响[J].西南农业学报,2012,25(5):1738-1741.
Chen K,Qin Y S,Yu H,et al. Effects of different tillage and fertilization on the growth and yield of winter paddy soil, rice [J]. Journal of Southwest Agricultural University,2012,25(5):1738-1741. (in Chinese)

[13] 王国莉,郭振飞.低温对不同耐冷品种水稻光合和光呼吸的影响[C]//中国植物生理与分子生物学学会.中国植物生理学

- 会全国学术年会暨成立 40 周年庆祝大会学术论文摘要汇编. 上海:中国植物生理与分子生物学学会,2003:149.
- Wang G L,Guo Z F. Low temperature on the influence of different cold tolerance of rice varieties photosynthetic light breath [C]//The Chinese Society of Plant Physiology and Molecular Biology. Plant physiology society of China national academic annual meeting and academic papers of the its 40th anniversary of the assembly. Shanghai: The Chinese Society of Plant Physiology and Molecular Biology,2003:149. (in Chinese)
- [14] 王国莉,郭振飞. 低温对水稻不同耐冷性品种光合作用的影响 [C]//中国植物学会. 中国植物学会七十周年年会论文摘要汇编(1933—2003). 北京:高等教育出版社,2003:384.
- Wang G L,Guo Z F. Low temperature cold resistance of different rice varieties of photosynthesis [C]//The Chinese society of Plant. Seventieth annual meeting of China plant society abstract assembly 1933 — 2003. Beijing: Higher Education Press,2003:384. (in Chinese)
- [15] 王国莉,郭振飞. 低温下水稻不同品种的光合作用及磷的影响 [C]//中国植物生理与分子生物学学会. 中国植物生理学会第九次全国会议论文摘要汇编. 上海:中国植物生理与分子生物学学会,2004:99.
- Wang G L,Guo Z F. Rice varieties under the low temperature of photosynthesis and the influence of phosphorus [C]//The Chinese Society of Plant Physiology and Molecular Biology. Chinese society for plant physiology the 9th national conference papers in assembly. Shanghai: The Chinese Society of Plant Physiology and Molecular Biology,2004:99. (in Chinese)
- [16] 严顺平. 水稻响应盐胁迫和低温胁迫的蛋白质组研究 [D]. 上海:中国科学院研究生院(上海生命科学研究院),2006.
- Yan S P. Rice in response to salt stress and low temperature stress of proteome research [D]. Shanghai: Graduate School of Chinese Academy of Sciences (Life Sciences Institute in Shanghai),2006. (in Chinese)
- [17] 严顺平,汤章城,苏维埃,等. 水稻响应低温胁迫的蛋白质组研究 [C]//中国植物生理与分子生物学学会. 2006 中国植物细胞发育与分子生物学学术研讨会论文集. 上海:中国植物生理与分子生物学学会,2006:24.
- Yan S P, Tang Z C, Su W A, et al. Proteome research of rice in response to low temperature stress [C]//The Chinese Society of Plant Physiology and Molecular Biology. 2006 China conference on development and molecular biology of plant cells. Shanghai: The Chinese Society of Plant Physiology and Molecular Biology,2006:24. (in Chinese)
- [18] 廖海秋,施卫明,严蔚东,等. 有机无机肥配施对潜育性水稻土肥力水平的影响 [J]. 土壤通报,1998,29(6):248-249.
- Liao H Q, Shi W M, Yan W D, et al. Impacts of organic and inorganic fertilizer on the fertility of gleization soil [J]. Chinese Journal of Soil Science, 1998, 29(6): 248-249. (in Chinese)
- [19] 李达模,唐建军,李阳生. 水稻耐(抗)潜育性土壤逆境的生理生态机制及抗逆品种选育进展 [J]. 水稻文摘,1991,10(2):1-4.
- Li D M, Tang J J, Li Y S. Tolerance of rice (anti-) physiological and ecological mechanism of gleyed soil stress and resistance breeding progress [J]. Rice Abstract, 1991, 10(2): 1-4. (in Chinese)
- [20] 李阳生,李达模,周建林,等. 水稻耐不良土壤因子胁迫品种改良的现状和展望 [J]. 中国水稻科学,2000,14(2):107-111.
- Li Y S, Li D M, Zhou J L, et al. Current knowledge and prospects of breeding rice varieties for problem soils [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2000, 14(2): 107-111. (in Chinese)
- [21] 张喜娟,孙晓杰,张淑萍,等. 水稻分蘖特性与产量的关系 [J]. 中国农学通报,2006,22(2):130-132.
- Zhang X J, Sun X J, Zhang S P, et al. The relationship between tillering character and yield [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(2): 130-132. (in Chinese)
- [22] 程彩霞. 水稻分蘖消长动态与产量的研究 [J]. 中国稻米,2007(1):37-39.
- Cheng C X. Study on rice tillering dynamics and yield [J]. China Rice, 2007(1): 37-39. (in Chinese)
- [23] 赵启辉. 分蘖期淹涝胁迫对水稻农艺和品质性状及生理特性的影响 [D]. 南昌:江西农业大学,2013.
- Zhao Q H. Agronomic and quality traits of rice tillering stage flood waterlogging stress and the effects of physiological characteristics [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [24] 肖应辉,周倩倩,罗丽华. 水稻穗粒数及相关性状的遗传研究进展 [J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2013,39(3):221-227.
- Xiao Y H, Zhou Q Q, Luo L H. Advances in genetic research of rice grain number per spike and related traits [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Science Edition, 2013, 39(3): 221-227. (in Chinese)
- [25] 朱 斌,苏建平,李久进. 麦秆还田与氮肥不同运筹方式对水稻生长和产量的影响 [J]. 现代农业科技,2012(15):12-15.
- Zhu B, Su J P, Li J J. Effect of straw returning and different application methods of nitrogen fertilizer on the growth and yield of rice [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2012(15): 12-15. (in Chinese)
- [26] 李绍清,李阳生,李达模,等. 乳熟期淹水对两系杂交水稻源库特性的影响 [J]. 杂交水稻,2000,15(2):38-44.
- Li S Q, Li Y S, Li D M, et al. Effect of complete submergence at milky stage on source and sink of two-line hybrid rice [J]. Hybrid Rice, 2000, 15(2): 38-44. (in Chinese)
- [27] 李阳生,李绍清,李达模,等. 杂交稻与常规稻对涝渍环境适应能力的比较研究 [J]. 中国水稻科学,2002,16(1):45-51.
- Li Y S, Li S Q, Li D M, et al. Comparative study on submergence tolerance between hybrid rice and conventional rice varieties [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2002, 16(1): 45-51. (in Chinese)