

武茹,王姣梅,夏胜明,等.长江中下游地区杂交中稻再生稻品种适应性的综合评价与筛选[J].华中农业大学学报,2020,39(3):19-27.

DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2020.03.003

# 长江中下游地区杂交中稻再生稻品种适应性的 综合评价与筛选

武茹,王姣梅,夏胜明,凌霄霞,谢国生

华中农业大学植物科学技术学院,武汉 430070

**摘要** 2018年,结合大田和盆栽试验比较了9个供试杂交中稻品种的平均生育期、平均产量、平均光能生产效率、平均积温生产效率、温室气体(CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O)累积排放、开花期耐热性和再生力,并采用隶属函数法综合评价了供试品种对于长江中下游气候变暖和作再生稻种植适应性。结果表明:供试品种综合农艺性状表现不同程度的差异;根据平均隶属函数值的大小,从9个杂交水稻品种中筛选出综合性状较优的品种C两优华占、两优6326、荃优华占和隆两优3188;其中,隆两优3188的产量较高,耐热性强,生育期为140d,作再生稻种植时要适时早播;两优6326、C两优华占和荃优华占适宜在长江中下游地区作再生稻种植;筛选出的4个杂交中稻作再生稻大面积种植可以减缓水稻生产对在长江中下游稻区气候变暖的不利影响。

**关键词** 再生稻;杂交中稻;再生力;温室气体;耐热性;综合评价

**中图分类号** S511.3<sup>+</sup>2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2020)03-0019-09

我国水稻生产正处于前所未有的转型时期,水稻生产面临高产优质、资源高效、环境安全等多方面的挑战<sup>[1-2]</sup>。长江中下游稻区是我国最大的水稻生产区,水稻面积和产量均占全国的50%以上<sup>[3-4]</sup>。在华中地区,双季稻种植向单季稻和再生稻种植转移已成为一种趋势<sup>[5]</sup>。再生稻(ratooning rice)是一种在头季稻收割后,利用收获后的稻桩,经过科学管理使其抽穗成熟后再次收割一季的水稻<sup>[6]</sup>。再生稻可以充分利用秋季良好的光热条件以及自然资源。与双季稻相比,再生稻还具有产量高、米质优、效益好、肥料用量少、再生季病虫害轻、基本不施农药、降低农业面源污染和有利于秸秆还田等优点<sup>[7-8]</sup>。近10年来,湖北省黄冈、孝感、荆州和咸宁等地进行了杂交中稻再生稻品种适应性筛选与大田试验,结果表明,生育期、产量、品质、抗倒伏、抗病性等指标是决定再生稻种植成败的主要因素<sup>[9-14]</sup>。但是,还没有考虑杂交中稻的田间温室气体排放和开花期耐热性等指标变化。因此,有必要建立一种综合评价和筛选长江中下游杂交中稻再生稻品种适应性的体系与方法。

在全球气候变化下,水稻高温热害的风险增加。抽穗开花时日平均温度 $\geq 32^{\circ}\text{C}$ 、日最高温度 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 时造成高温热害,花粉活性下降,空秕粒增多,结实率降低<sup>[15-16]</sup>。2005年全球农业生产排放到大气中的CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O分别约占全球人为排放总量的50.0%和60.0%<sup>[17-18]</sup>。而且,稻田是大气CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O的主要生物排放源之一。研究表明,常规稻CH<sub>4</sub>累积排放量小于杂交稻,N<sub>2</sub>O累积排放量大于杂交稻<sup>[17-18]</sup>。在中国,23%的耕地用于种植水稻,种植面积约占世界水稻总种植面积的20.0%<sup>[19]</sup>。因此,研究杂交中稻开花期高温抗性、在大田条件下稻田温室气体排放及其减排措施,对缓解全球增温效应具有重要的现实意义。

温室气体的大量排放,造成全球地表气温上升。这些新问题和新挑战的出现,意味着中国水稻生产需要重大改革。再生稻是一种符合当前农业生产转型的新种植模式<sup>[20]</sup>。为了应对长江中下游全球气候变暖和温室气体排放增加的趋势,本研究选择9个杂交中稻品种,在分期播种条件下比较平均生育期、平均产量、平均光能生产效率、平均温度生产效

收稿日期:2019-09-16

基金项目:国家十三五重点研发计划“粮食丰产增效科技创新”子课题(2017YFD0300105,2017YFD0300101,2016YFD0300210)

武茹,硕士研究生,研究方向:再生稻的高产高效栽培与生理调控, E-mail:29948820095@qq.com

通信作者:谢国生,博士,教授,研究方向:水稻抗逆生理与栽培调控, E-mail: xiegsh@mail.hzau.edu.cn

率和温室气体累积排放量等指标变化,在盆栽条件下鉴定供试品种开花期耐热指数和再生力等指标,利用隶属函数法对这些杂交水稻品种的适应性进行综合评价和筛选,以期为适应长江中下游全球气候变化的再生稻品种鉴定提供技术指导和参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试材料为 9 个杂交中稻品种:C 两优华占、荃优华占、丰两优香 1 号(CK,对照品种)、丰两优 4 号、华两优 2882、两优 6326、深两优 5814、隆两优 3188、广两优 476。

### 1.2 大田试验

试验在华中农业大学校内试验基地进行。分别于 2018 年 3 月 31 日、4 月 28 日、5 月 15 日播种。秧苗生长至 3 叶 1 心时,施适量送嫁肥。分别于 4 月 28 日、5 月 26 日和 6 月 10 日选取生长一致的秧苗移栽到大田。每个小区种植 20 行,每行 10 穴,

种植密度为 20 cm × 20 cm,2 本栽插,3 次重复。田间施肥管理和病虫害防治,按常规管理进行。前茬为冬闲田,供试土壤的基本理化特性如下:有机质 45.8 g/kg,全 N 3.11 g/kg,碱解 N 270 mg/kg,速效 P 36.4 mg/kg,速效 K 120 mg/kg,pH 6.1。

比较 2018 年和近 10 年(2009—2018 年)每月光温生态指标(表 1)可以发现,2018 年的日照时数、日均高温和低温、日均温以及水汽压均呈现先升高后下降的趋势,7 月份日最高温和日最低温、日均温以及水汽压均达到最高,日照时数 8 月份达最高值,然后开始下降;总降雨量在 5 月和 7 月分别达到 214.5 和 116.2 mm,6 月份总降雨量很小。与近 10 年数据比较,2018 年每月日照时数和水汽压变化幅度不大,日均高温和低温、日均温在 3—9 月较平均值略微提高,1、3、5、11、12 月总降雨量高于平均值,年总降雨量变化不大。总体来看,2018 年是一个温度偏高的年份。

表 1 近 10 年和 2018 年气象生态因子变化的比较

Table 1 Comparison of meteorological factor changes between the recent decade and 2018

| 气象因子<br>Meteorological factor |                       | 1 月<br>Jan.    | 2 月<br>Feb.    | 3 月<br>Mar.     | 4 月<br>Apr.      | 5 月<br>May       | 6 月<br>June     | 7 月<br>July      | 8 月<br>Aug.     | 9 月<br>Sep.    | 10 月<br>Oct.   | 11 月<br>Nov.   | 12 月<br>Dec.   |
|-------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 日照时数/h<br>Sunlight time       | 近 10 年平均 Mean<br>2018 | 3.48<br>3.04   | 3.55<br>4.59   | 4.36<br>4.08    | 5.25<br>5.57     | 5.12<br>3.96     | 5.13<br>7.02    | 7.31<br>8.14     | 7.01<br>8.19    | 5.14<br>5.49   | 5.02<br>5.99   | 4.35<br>4.56   | 4.17<br>2.28   |
| 日均最低温度/℃<br>Min temperature   | 近 10 年平均 Mean<br>2018 | 0.13<br>-1.09  | 2.67<br>1.28   | 7.33<br>8.43    | 13.04<br>13.78   | 17.94<br>19.76   | 22.24<br>22.40  | 25.98<br>26.56   | 25.03<br>25.56  | 20.33<br>20.61 | 14.11<br>12.00 | 7.44<br>7.97   | 1.50<br>3.07   |
| 日均最高温度/℃<br>Max temperature   | 近 10 年平均 Mean<br>2018 | 8.73<br>6.25   | 11.18<br>11.73 | 17.07<br>18.99  | 22.79<br>24.54   | 27.16<br>27.89   | 30.25<br>31.43  | 33.42<br>34.79   | 32.99<br>34.35  | 28.64<br>29.72 | 23.41<br>23.77 | 16.64<br>17.33 | 10.69<br>8.43  |
| 日均温/℃<br>Ave. temperature     | 近 10 年平均 Mean<br>2018 | 4.43<br>2.58   | 6.93<br>6.50   | 12.20<br>13.71  | 17.92<br>19.16   | 22.55<br>23.82   | 26.24<br>26.91  | 29.70<br>30.67   | 29.01<br>29.96  | 24.49<br>25.17 | 18.76<br>17.89 | 12.04<br>12.65 | 6.10<br>5.75   |
| 水汽压/kPa<br>Vapor pressure     | 近 10 年平均 Mean<br>2018 | 0.65<br>0.63   | 0.81<br>0.72   | 1.11<br>1.30    | 1.56<br>1.69     | 2.13<br>2.32     | 2.75<br>2.74    | 3.18<br>3.34     | 3.13<br>3.26    | 2.49<br>2.54   | 1.75<br>1.55   | 1.18<br>1.22   | 0.73<br>0.78   |
| 总降雨量/mm<br>Total rainfall     | 近 10 年平均 Mean<br>2018 | 36.06<br>88.10 | 61.43<br>40.20 | 97.08<br>136.30 | 141.75<br>109.30 | 135.26<br>214.50 | 217.94<br>64.20 | 242.31<br>116.20 | 117.10<br>94.70 | 85.24<br>40.30 | 76.03<br>20.50 | 63.24<br>99.80 | 28.48<br>86.50 |

### 1.3 测定项目与方法

1)生育期。记载播种期、移栽期、分蘖期、抽穗期和成熟期。为减少边际效应对水稻产量的影响,水稻成熟期每小区选取从外向内第 3 行中有代表性的连续 10 穴,进行考种。测定每个材料的有效穗数、穗总粒数、结实率和千粒重。

2)光能生产效率和积温生产效率。记载大田生育期内逐日气温和日照时数,计算光能生产效率和积温生产效率。光能生产效率以生育期间单位面积热量生产的籽粒质量表示,光能生产效率=籽粒产量/单位面积太阳辐射;积温生产效率是指生育期间日均温 $\geq 10$ ℃有效积温生产的单位面积籽粒质量,

积温生产效率=籽粒产量/单位面积每天的生育期间有效积温<sup>[20]</sup>。

3)CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 排放量测定。3 月 31 日播种,4 月 28 日移栽至大田。5 月 7 日开始进行稻田 CH<sub>4</sub>和 N<sub>2</sub>O 采样。采用静态暗箱-气相色谱法测定 CH<sub>4</sub>与 N<sub>2</sub>O 的浓度<sup>[21]</sup>。具体方法如下:采气时间为无雨天气的 08:00—10:00,每 7 d 采气 1 次。采气时连接电源,开通风扇。采样时间分别为放桶后的 0、10、20 和 30 min,用注射器采集 30 mL 的箱内混合均匀气体,放入预先抽真空的密封玻璃瓶中,待气体样品采集完成后,迅速带回实验室内待测,每批样需在 14 d 内完成测定。利用改装后的 Shimadzu GC-

14B气相色谱仪测定CH<sub>4</sub>与N<sub>2</sub>O浓度。CH<sub>4</sub>检测器为FID(氢火焰离子化检测器)。N<sub>2</sub>O检测器为ECD(电子捕获检测器)<sup>[21]</sup>。

4)CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O的排放通量(F)计算<sup>[21]</sup>。 $F = \rho \times h \times dC/dt \times 273/(273+t)$ ,式中,F为CH<sub>4</sub>排放通量和N<sub>2</sub>O排放通量,mg/(m<sup>2</sup>·h); $\rho$ 为CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O在标准状态下密度;h为箱内有效高度,m,田面有水层时为水面到达箱顶内高度,无水层时为箱体内部自身高度;t为箱内平均温度,℃;dC/dt为箱内CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O浓度变化率<sup>[21]</sup>。

5)CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O的累积排放量(CE)的计算<sup>[21]</sup>。 $CE = \sum [(F_i + F_{i+1})/2 \times 10^{-3} \times t \times 24 \times 10]$ 。式中,CE是气体(CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O)累积排放量(kg/hm<sup>2</sup>),F<sub>i</sub>和F<sub>i+1</sub>为2个连续相邻采样时期的气体排放通量,mg/(m<sup>2</sup>·h),t是2个连续相邻采样时间所相隔的时间,d。

6)全球增温潜势和排放强度(GHGI)计算<sup>[21]</sup>。根据CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O在100年尺度上的全球增温潜势(global warming potential,GWP)分别为CO<sub>2</sub>的25倍和298倍,计算不同处理排放CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O产生的综合温室效应: $GWP = R_{N_2O} \times 298 + R_{CH_4} \times 25$ 。其中,GWP为全球增温潜势,kg/hm<sup>2</sup>,以CO<sub>2</sub>当量计;R<sub>N<sub>2</sub>O</sub>为观测期N<sub>2</sub>O累积排放量,kg/hm<sup>2</sup>;R<sub>CH<sub>4</sub></sub>为观测期CH<sub>4</sub>累积排放量,kg/hm<sup>2</sup>。GHGI(greenhouse gas intensity)表示生产单位面积稻谷产量温室气体的排放强度(kgCO<sub>2</sub>-eq/kg<sub>grain</sub>),即GHGI=GWP/水稻籽粒产量。

#### 1.4 盆栽试验与测定指标

1)开花期耐热指数的测定。在华中农业大学校内盆栽场进行。4月20日播种,幼苗长到30d时,挑选生长一致的秧苗移栽到塑料盆(直径26cm,高14cm)中,每个品种种植6盆,每盆种4穴,单本栽,在自然条件下生长。分蘖期剪除多余的分蘖,每穴只保留5个生长一致的分蘖。始穗时将3盆移至控温室中抽穗开花,为常温处理(NT,对照)。将另外3盆材料移至控温室,进行连续7d高温处理(HT,热害)至开花结束。温度处理如下:①常温处理(NT):28℃/25℃,均温26.5℃;②高温处理(HT):昼温35~36℃/夜温29~30℃,均温(32.5±1.0)℃。高温处理结束后,所有供试品种移至常温条件下生长至成熟。同时,利用自动温度连续记录仪记录温室条件下的温度变化,计算日平均气温、日最高温、日最低温。成熟期,每盆

选取20个生长整齐一致的稻穗,计算结实率和耐热指数。

结实率=实粒数/总粒数×100%;

耐热指数=高温胁迫的结实率/

常温条件下的结实率×100%。

根据耐热指数将水稻品种划分为3种类型:

①耐高温型:耐热指数大于70.0%;②中耐高温型:耐热指数为40.0%~60.0%;③高温敏感型:耐热指数小于40.0%。

2)再生力测定。头季稻成熟后,留菟40cm。在自然条件下,每天保持5cm水层,15d后观察茎蘖腋芽再生情况。再生力计算公式为:总分蘖数/头季稻分蘖数。

#### 1.5 长江中下游杂交中稻再生稻品种适应性的综合评价

采用隶属函数法对各个指标进行综合评价<sup>[22]</sup>。其中,以平均产量、平均光能生产效率、平均积温生产效率、开花期耐热性、再生力作为优良指标,数值最大为优,其隶属函数值计算公式: $U_{ij} = (U_{ij} - U_{i \min}) / (U_{j \max} - U_{j \min})$ 。

以平均生育期、N<sub>2</sub>O与CH<sub>4</sub>的排放总量作为低劣指标,数值越小越好,数值最小为优,其隶属函数值计算公式: $U_{ij} = (U_{j \max} - U_{ij}) / (U_{j \max} - U_{j \min})$ 。

计算出上述指标的隶属函数值后,再计算各指标下的隶属函数均值,计算公式: $U_i = \sum U_{ij} / n$ ,式中,i表示指标的测定值,U<sub>i max</sub>和U<sub>i min</sub>分别表示指标中的最大值和最小值,U<sub>ij</sub>表示各个指标下的隶属函数值,U<sub>i</sub>表示各指标的隶属函数值平均值,n表示指标数。

#### 1.6 数据统计方法

采用SPSS 19.0软件进行统计分析。采用Duncan's新复极差法进行处理间差异性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 生育期

试验结果(表2)显示:在3个播期条件下,两优6326的平均生育期最短,为133d;C两优华占、荃优华占、丰两优香1号、丰两优4号和广两优476的生育期为135d左右;华两优2882、深两优5814和隆两优3188平均生育期明显偏长,达到或超过140d,分别比两优6326长7、8和7d。随播期推迟,水稻生育期缩短5~18d,主要表现在播种-拔节阶段时间缩短。缩短较明显的品种有:华两优

2882、深两优 5814 和隆两优 3188,分别缩短 18、18 和 16 d;C 两优华占、荃优华占、丰两优 4 号和广两优 476 缩短 10 d;两优 6326 缩短 5 d。在实际生产

中,选择水稻品种作再生稻种植时,要选择头季稻生育期适中(135 d)的品种。生育期较长(>140 d)的品种,应根据当地气候条件适时早播。

表 2 杂交中稻品种的主要生育期观察结果

Table 2 Observation of main growth periods of mid-season hybrid rice varieties

| 品种<br>Variety                      | 播期(月/日)<br>Seeding<br>date(month/day) | 分蘖期(月/日)<br>Tillering date<br>(month/day) | 抽穗期(月/日)<br>Heading date<br>(month/day) | 成熟期(月/日)<br>Maturity date<br>(month/day) | 全生育期/d<br>Growth<br>duration | 平均生育期/d<br>Average<br>growth period |
|------------------------------------|---------------------------------------|---|---|--|------------------------------|-------------------------------------|
| C 两优华占<br>C Liangyou Huazhan       | 03/31                                 | 06/05                                     | 07/03                                   | 08/20                                    | 142                          | 135                                 |
|                                    | 04/28                                 | 06/27                                     | 07/22                                   | 09/07                                    | 132                          |                                     |
|                                    | 05/15                                 | 07/05                                     | 08/01                                   | 09/24                                    | 132                          |                                     |
| 荃优华占<br>Quanyou Huazhan            | 03/31                                 | 06/05                                     | 07/02                                   | 08/20                                    | 142                          | 136                                 |
|                                    | 04/28                                 | 06/28                                     | 07/21                                   | 09/07                                    | 133                          |                                     |
|                                    | 05/15                                 | 07/04                                     | 08/02                                   | 09/24                                    | 132                          |                                     |
| 丰两优香 1 号<br>Fengliangyouxiang No.1 | 03/31                                 | 06/07                                     | 07/04                                   | 08/22                                    | 144                          | 136                                 |
|                                    | 04/28                                 | 06/29                                     | 07/24                                   | 09/09                                    | 134                          |                                     |
|                                    | 05/15                                 | 07/03                                     | 08/02                                   | 09/23                                    | 131                          |                                     |
| 丰两优 4 号<br>Fengliangyou No.4       | 03/31                                 | 06/07                                     | 07/05                                   | 08/20                                    | 142                          | 135                                 |
|                                    | 04/28                                 | 06/28                                     | 07/23                                   | 09/08                                    | 133                          |                                     |
|                                    | 05/15                                 | 07/03                                     | 08/01                                   | 09/23                                    | 131                          |                                     |
| 华两优 2882<br>Hualiangyou 2882       | 03/31                                 | 06/08                                     | 07/05                                   | 08/28                                    | 150                          | 140                                 |
|                                    | 04/28                                 | 07/03                                     | 08/02                                   | 09/14                                    | 139                          |                                     |
|                                    | 05/15                                 | 07/04                                     | 08/03                                   | 09/24                                    | 132                          |                                     |
| 两优 6326<br>Liangyou 6326           | 03/31                                 | 06/02                                     | 07/01                                   | 08/13                                    | 135                          | 133                                 |
|                                    | 04/28                                 | 06/30                                     | 07/21                                   | 09/08                                    | 133                          |                                     |
|                                    | 05/15                                 | 07/05                                     | 08/03                                   | 09/22                                    | 130                          |                                     |
| 深两优 5814<br>Shenliangyou 5814      | 03/31                                 | 06/10                                     | 07/26                                   | 08/28                                    | 150                          | 141                                 |
|                                    | 04/28                                 | 06/29                                     | 07/30                                   | 09/16                                    | 141                          |                                     |
|                                    | 05/15                                 | 07/06                                     | 08/07                                   | 09/24                                    | 132                          |                                     |
| 隆两优 3188<br>Longliangyou 3188      | 03/31                                 | 06/08                                     | 07/10                                   | 08/26                                    | 148                          | 140                                 |
|                                    | 04/28                                 | 07/01                                     | 07/20                                   | 09/16                                    | 141                          |                                     |
|                                    | 05/15                                 | 07/10                                     | 08/12                                   | 09/24                                    | 132                          |                                     |
| 广两优 476<br>Guangliangyou 476       | 03/31                                 | 06/03                                     | 07/04                                   | 08/20                                    | 142                          | 136                                 |
|                                    | 04/28                                 | 06/30                                     | 07/25                                   | 09/10                                    | 135                          |                                     |
|                                    | 05/15                                 | 07/09                                     | 08/10                                   | 09/23                                    | 131                          |                                     |

## 2.2 平均产量及平均光温生产效率

在 3 个播期条件下,供试品种的平均产量及其平均产量构成因子如表 3 所示。从表 3 结果可知,有效穗数最多的是荃优华占,其次是丰两优香 1 号、丰两优 4 号和两优 6326。荃优华占与华两优 2882 和隆两优 3188 之间的差异显著,其他品种之间差异不显著;穗粒数较多的有荃优华占、丰两优香 1 号,两优 6326、隆两优 3188 和广两优 476;较少的是华两优 2882 和深两优 5814。所有品种的结实率均在

77.4%以上,C 两优华占和深两优 5814 之间的差异显著,其余品种差异不显著。广两优 476、隆两优 3188 和华两优 2882 的千粒重较高,差异不显著。从产量来看,隆两优 3188 与 C 两优华占差异不显著,与其余品种差异均显著。隆两优 3188 产量最高,达到 10 897.54 kg/hm<sup>2</sup>,广两优 476 产量最低,为 8 163.95 kg/hm<sup>2</sup>。

表 3 还表明,在 3 个播期条件下,供试品种的平均光能生产效率为 0.35~0.47 g/MJ,平均积温生产



效率为 3.28~4.37 kg/(hm<sup>2</sup>·°C·d)。隆两优 3188 平均光能生产效率和平均积温生产效率最大，1 号、丰两优 4 号、华两优 2882 的平均光能生产效率深两优 5814 平均光能生产效率和平均积温生产效率差异不显著。

表 3 供试杂交中稻品种平均产量、产量构成因子和光温生产效率的比较

Table 3 Average yields and their yield components as well as light and temperature production efficiency of mid-season hybrid rice varieties in different sowing dates

| 品种<br>Variety                      | 有效穗数<br>Panicles<br>Per m <sup>2</sup> | 每穗粒数<br>Spikeles per<br>panicle | 结实率/%<br>Seed-<br>set rate | 千粒重/g<br>1 000-grain<br>weight | 实际产量/<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Actual yield | 光能生产效率/<br>(g/MJ)<br>Light energy<br>production<br>efficiency | 积温生产效率/<br>(kg/(hm <sup>2</sup> ·°C·d))<br>Accumulated<br>temperature<br>production efficiency |
|------------------------------------|--|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|--|---|--|
| C 两优华占<br>C Liangyou Huazhan       | 373.4abc                               | 189.0ab                         | 83.5a                      | 21.1e                          | 10 048.84a                                     | 0.45ab  | 4.17a  |
| 荃优华占<br>Quanyou Huazhan            | 416.6a                                 | 190.2ab                         | 80.5ab                     | 22.9cd                         | 9 569.44b                                      | 0.43bc  | 3.98abc  |
| 丰两优香 1 号<br>Fengliangyouxiang No.1 | 410.0ab                                | 193.8ab                         | 80.7ab                     | 23.1cd                         | 9 513.16b                                      | 0.42bc  | 3.92abc  |
| 丰两优 4 号<br>Fengliangyou No.4       | 385.0abc                               | 182.8ab                         | 78.6ab                     | 23.7bc                         | 9 381.68b                                      | 0.41bc  | 3.90abc  |
| 华两优 2882<br>Hualiangyou 2882       | 363.4bc                                | 155.6b                          | 78.8ab                     | 25.5a                          | 9 204.64b                                      | 0.39c   | 3.68abc  |
| 两优 6326<br>Liangyou 6326           | 385.5abc                               | 193.4ab                         | 78.4ab                     | 23.3cd                         | 9 585.21b                                      | 0.43ab  | 4.07ab   |
| 深两优 5814<br>Shenliangyou 5814      | 378.4abc                               | 157.0b                          | 77.4b                      | 21.9de                         | 8 235.94c                                      | 0.35d   | 3.28c  |
| 隆两优 3188<br>Longliangyou 3188      | 348.4c                                 | 212.0a                          | 81.7ab                     | 25.3a                          | 10 897.54a                                     | 0.47a   | 4.37a  |
| 广两优 476<br>Guangliangyou 476       | 380.0abc                               | 201.9a                          | 80.7ab                     | 24.8ab                         | 8 163.95c                                      | 0.36d   | 3.38bc   |

注：不同小写字母表示杂交中稻品种不同播种期平均值间的差异显著，用 LSD<sub>0.05</sub> 来检测平均值间的差异显著性。下同。Note: Different lowercase letters indicated the significant differences of average values of different hybrid rice varieties which was determined by LSD<sub>0.05</sub> analysis. The same as follows.

### 2.3 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 累积排放量、GWP 和 GHGI

试验结果(表 4)显示,CH<sub>4</sub> 累积排放量为 269.00~454.81 kg/hm<sup>2</sup>。广两优 476 的 CH<sub>4</sub> 累积排放量最低,隆两优 3188 最高。N<sub>2</sub>O 累积排放量为 1.80~2.60 kg/hm<sup>2</sup>。C 两优华占的 N<sub>2</sub>O 累积排放量最低,华两优 2882 最高。不同品种 CH<sub>4</sub> 累积排

放量和 GWP 变化趋势均为:隆两优 3188>深两优 5814>丰两优 4 号>C 两优华占>丰两优香 1 号>荃优华占>两优 6326>华两优 2882>广两优 476。供试品种 GHGI 变化范围为 0.90~1.30 kgCO<sub>2-eq</sub>/kg<sub>grain</sub>。隆两优 3188 的 GWP 最大,这主要是由于其 CH<sub>4</sub> 累积排放最大所致。广两优 476 温室气体

表 4 杂交中稻品种温室气体的累积排放量、GWP 和 GHGI

Table 4 Analysis of GHG cumulative emissions,GWP and GHGI analysis of mid-season hybrid rice varieties tested

| 品种<br>Variety                   | CH <sub>4</sub> 累积排放量/<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>CH <sub>4</sub> accumulative<br>emissions | N <sub>2</sub> O 累积排放量/<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>N <sub>2</sub> O accumulative<br>emissions | 全球增温潜势/<br>(kgCO <sub>2-eq</sub> /hm <sup>2</sup> )<br>GWP | 温室气体排放强度/<br>(kgCO <sub>2-eq</sub> /kg <sub>grain</sub> )<br>GHGI |
|---------------------------------|--|--|--|---|
| C 两优华占 C Liangyou Huazhan       | 376.11b  | 1.80d  | 9 939.82b  | 0.99b   |
| 荃优华占 Quanyou Huazhan            | 366.29b  | 2.39b  | 9 869.97b  | 1.03b   |
| 丰两优香 1 号 Fengliangyouxiang No.1 | 375.90b  | 2.27b  | 10 073.32b   | 1.06b   |
| 丰两优 4 号 Fengliangyou No.4       | 385.01b  | 2.38a  | 10 335.81b   | 1.10b   |
| 华两优 2882 Hualiangyou 2882       | 316.76c  | 2.60a  | 8 693.52b  | 0.94c   |
| 两优 6326 Liangyou 6326           | 338.72b  | 2.17b  | 9 114.49b  | 0.95c   |
| 深两优 5814 Shenliangyou 5814      | 400.37b  | 2.29b  | 10 691.40b   | 1.30a   |
| 隆两优 3188 Longliangyou 3188      | 454.81a  | 2.25b  | 12 039.61a   | 1.10b   |
| 广两优 476 Guangliangyou 476       | 269.00d  | 2.01c  | 7 322.92d  | 0.90c   |

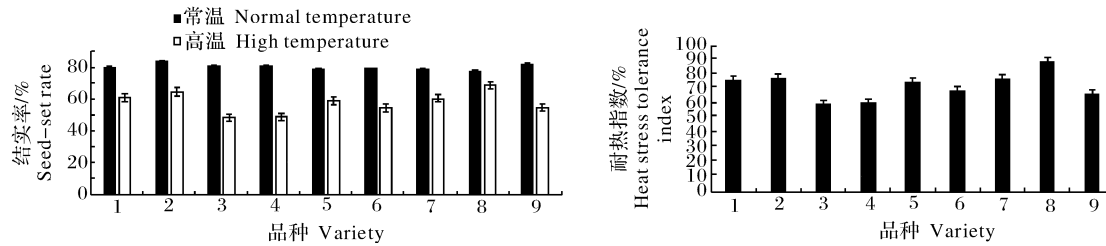
排放强度较小,是因为其单位面积产量所产生的增温潜势最小。深两优 5814 具有最大的 GHGI,主要是因为深两优 5814 的 GWP 较高所致。

## 2.4 开花期耐热性和再生力

在水稻抽穗开花期利用自然光照人工气候室在昼温 35/36 °C、夜温 29/30 °C(均温 32.5 °C)条件下处理 7 d,转移到常温条件下成熟。由图 1 可知,开花期高温处理条件下,杂交中稻结实率差异明显。按照品种耐热指数大小,开花期耐热性强(>70%)的品种有隆两优 3188,荃优华占、深两优 5814、C 两

优华占和华两优 2882。中等耐热性(耐热指数 60%~70%)的品种有两优 6326、广两优 476、丰两优 4 号和丰两优香 1 号。

再生力是指水稻品种在头季稻收割后稻桩节位上的休眠芽萌发成再生苗的能力<sup>[23]</sup>。在盆栽条件下割茬观察了 9 个供试品种在自然条件下的再生力。结果(图 2)显示:杂交中稻品种再生力为 1.4~1.7;隆两优 3188 再生力最小,广两优 476 再生力最大。但是,品种间再生力差异不显著。表明这些杂交中稻品种在长江中下游均具有作为再生稻的潜力。



1.C 两优华占 C Liangyou Huazhan; 2.荃优华占 Quanyou Huazhan; 3.丰两优香 1 号 Fengliangyouxiang No.1; 4.华两优 2882 Hualiangyou 2882; 5.两优 6326 Liangyou 6326; 6.深两优 5814 Shenliangyou 5814; 7.隆两优 3188 Longliangyou 3188; 8.广两优 476 Guangliangyou 476.下同 The same as follows.下同. The same as below.

图 1 杂交中稻开花期高温处理下的耐热性比较

Fig.1 Comparison of heat stress tolerances of mid-season hybrid rice varieties at heading stage

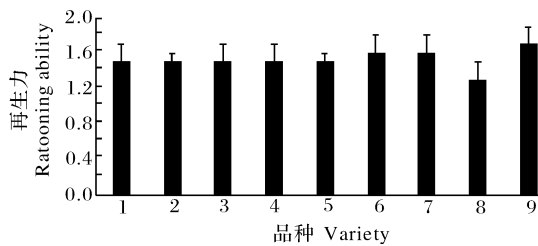


图 2 杂交中稻再生力的比较

Fig.2 Comparison of ratooning ability of mid-season hybrid rice varieties

## 2.5 长江中下游杂交中稻再生稻适应性的综合评价

为适应全球气候变化,再生稻生产系统必须满足以下要求:生育期适宜、产量品质兼顾、光温生产效率高、温室气体排放少、开花期耐热性强和再生力强。本研究采用隶属函数法,计算了 9 个杂交中稻平均生育期、平均产量、平均光能生产效率、平均积温生产效率、N<sub>2</sub>O 累积排放量、CH<sub>4</sub> 累积排放量、开花期耐热指数和再生力等指标的隶属函数值。如表 5 所示,平均隶属函数值大小为 C 两优华占>两优 6326>隆两优 3188>荃优华占>广两优 476>丰两优 4 号>丰两优香 1 号>华两优 2882>深两优

5814。综合来看,适应长江中下游地区开花期高温热害的杂交中稻再生稻品种主要有 C 两优华占、两优 6326、隆两优 3188、荃优华占和广两优 476 等。

## 3 讨论

通过比较不同播期条件下水稻品种生育期和产量的变化,不仅能评价其感温性、感光性和基本营养生长期,还可以计算其光能生产效率和积温生产效率。本试验采用 3 个播期(3 月 31 日、4 月 28 日、5 月 15 日),评价了 9 个不同杂交中稻的光温生产效率。从本试验结果来看,供试杂交中稻品种间平均光、温生产效率存在较大差异。隆两优 3188、C 两优华占、荃优华占、两优 6326、丰两优香 1 号和丰两优 4 号的光、温生产效率较高,产量相对较高。2018 年 6—9 月的日最高气温比近 10 年同期平均值分别高 1.18、1.37、13.6 和 1.07 °C,说明这 6 个品种适应 2018 年气温偏高气候条件,可能具有适应全球气候变暖的潜力。

此外,全球气候变暖导致热害频发。水稻孕穗期和开花期遇高温热害导致花粉育性和产量下降,乳熟后期遇高温导致籽粒灌浆受阻、产量和稻米品

表5 杂交中稻再生稻适应全球气候变化的隶属函数综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation of membership functions of mid-season hybrid rice varieties adapted to global climate change

| 品种<br>Variety                      | 生育期<br>Growth duration | 产量<br>Yield | 光能生产效率<br>Light energy production efficiency | 积温生产效率<br>Cumulative temperature production efficiency | 耐热指数<br>Heat tolerance index | 再生力<br>Ratooning ability | N <sub>2</sub> O 累积排放量<br>cumulative N <sub>2</sub> O emission | CH <sub>4</sub> 累积排放量<br>cumulative Methane emission | 平均隶属函数值<br>Mean membership index | 排序<br>Order |
|------------------------------------|------------------------|-------------|--|--|------------------------------|--------------------------|--|--|----------------------------------|-------------|
| C 两优华占<br>C Liangyou Huazhan       | 0.68                   | 0.69        | 0.83   | 0.82   | 0.55                         | 0.47                     | 1.00   | 0.42   | 0.68                             | 1           |
| 荃优华占<br>Quanyou Huazhan            | 0.64                   | 0.51        | 0.65   | 0.65   | 0.60                         | 0.64                     | 0.26   | 0.58   | 0.57                             | 4           |
| 丰两优香 1 号<br>Fengliangyouxiang No.1 | 0.56                   | 0.49        | 0.59   | 0.59   | 0.00                         | 0.42                     | 0.42   | 0.42   | 0.44                             | 7           |
| 丰两优 4 号<br>Fengliangyou No.4       | 0.68                   | 0.45        | 0.57   | 0.57   | 0.02                         | 0.50                     | 0.27   | 0.44   | 0.44                             | 6           |
| 华两优 2882<br>Hualiangyou 2882       | 0.08                   | 0.38        | 0.38   | 0.37   | 0.51                         | 0.35                     | 0.00   | 0.74   | 0.35                             | 8           |
| 两优 6326<br>Liangyou 6326           | 1.00                   | 0.52        | 0.72   | 0.73   | 0.31                         | 0.82                     | 0.54   | 0.63   | 0.66                             | 2           |
| 深两优 5814<br>Shenliangyou 5814      | 0.00                   | 0.03        | 0.00   | 0.00   | 0.58                         | 0.55                     | 0.39   | 0.29   | 0.23                             | 9           |
| 隆两优 3188<br>Longliangyou 3188      | 0.08                   | 1.00        | 1.00   | 1.00   | 1.00                         | 0.00                     | 0.44   | 0.00   | 0.57                             | 3           |
| 广两优 476<br>Guangliangyou 476       | 0.60                   | 0.00        | 0.09   | 0.095  | 0.23                         | 1.00                     | 0.74   | 1.00   | 0.47                             | 5           |

质下降<sup>[24]</sup>。在供试杂交中稻品种中,开花期耐热性极强(>70%)的杂交中稻品种有隆两优 3188、荃优华占、深两优 5814、C 两优华占和两优 2882。这些品种可能适应长江中下游地区 7 月下旬至 8 月中旬的极端高温天气,获得较高的产量。而且,头季稻光、温生产效率高和开花期耐热性强的杂交中稻可以在头季稻茎鞘中贮存更多的干物质和可溶性糖,提供再生稻休眠芽早期生长发育所需的物质和能量,所以,头季稻光、温生产效率和开花期耐热性可以作为再生稻高产和品种筛选的参考指标之一。

减少稻田温室气体排放是水稻生产延缓全球气候变暖的主要方式之一。在大田生育期内,水稻 CH<sub>4</sub> 排放通量出现 2 个峰值,分别在分蘖期和孕穗期<sup>[17]</sup>。本试验结果表明,9 个杂交中稻品种 N<sub>2</sub>O 排放通量为 0.01~0.36 mg/(m<sup>2</sup>·h),排放量最小的是 C 两优华占。不同品种稻田 CH<sub>4</sub> 累积排放量与 GWP 变化规律相似,说明稻田 CH<sub>4</sub> 排放对 GWP 的贡献较大,而 N<sub>2</sub>O 排放对 GWP 的贡献率相对较小。

本试验比较了 9 个杂交中稻品种的平均产量、平均生育期、平均光能生产效率、平均积温生产效率、温室气体(CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O)累积排放量、开花期耐热性和再生力,发现供试品种在平均生育期、平均产量、平均光温生产效率、温室气体排放累积量、开花期耐热性等方面差异显著。但是,再生力的差异不显著。利用隶属函数法,计算上述 8 个指标的平均

隶属函数值,综合评价了杂交中稻再生稻在长江中下游地区的生态适应性。随后,从 9 个供试品种中筛选出 4 个优良杂交中稻再生稻品种。从生产实践来看,隆两优 3188 产量最高,温室气体排放强度较高,再生力一般,耐热性强,生育期明显偏长,作再生稻种植时,要适时早播。两优 6326 是湖北省推广种植面积最大的优质杂交中稻再生稻品种之一。荃优华占头季稻全生育期 135 d,比对照丰两优 4 号早熟 1 d,抽穗期耐热性强,非常适合作再生稻种植。C 两优华占头季稻生育期为 135 d,是一个高产优质的杂交稻再生稻品种;2019 年,我们在湖北省监利县和孝昌县种植该品种,头季稻和再生稻均获得了高产增收,显示出作为再生稻在湖北种植具有较好的应用前景。C 两优华占、荃优华占和两优 6326 的产量较高,温室气体累积排放较低和再生力较高,在长江中下游地区具有较大的推广种植价值。需要说明的是,本试验在盆栽自然高温湿润条件下观察了头季稻留茬 40 cm、每天保持 5 cm 水层生长 15 d 后的再生力,并没有发生再生力的显著差异,暗示这些杂交中稻均具有作为再生稻栽培的潜力。其在生产实际中的再生力可能存在差异。

再生稻种植是一种充分利用温光资源、提高复种指数、稻田单产和缓解农忙与减轻劳作强度的新型高效种植模式<sup>[25-26]</sup>。2012 年以来,湖北省再生稻推广面积逐年增加,2018 年再生稻推广 20 万 hm<sup>2</sup>。

2017年湖北省还开展了直播再生稻的栽培试验并取得了成功<sup>[9]</sup>。因此,筛选适应长江中下游地区的杂交中稻再生稻优质品种,继续开展抗倒伏、耐极端低温和高温与直播再生稻的生产试验,对进一步减少劳动力投入,提高再生稻“高产高效绿色”生产水平,减轻长江中下游地区水稻生产引起的气候变暖具有重要的意义。

## 参考文献 References

- [1] 彭少兵. 转型时期杂交水稻的困境与出路[J]. 作物学报, 2016, 42(3): 313-319. PENG S B. Dilemma and way-out of hybrid rice during the transition period in China[J]. Acta Agron Sin, 2016, 42(3): 313-319(in Chinese with English abstract).
- [2] 彭少兵. 对转型时期水稻生产的战略思考[J]. 中国科学: 生命科学, 2014, 44(8): 845-850. PENG S B. Reflection on China's rice production strategies during the transition period[J]. Scientia sinica vitae, 2014, 44: 845-850(in Chinese).
- [3] 杨秉臻, 金涛, 陆建飞. 长江中下游地区近 20 年水稻生产与优势的变化[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(19): 62-67. YANG B Z, JIN T, LU J F. Changes in rice production and advantages in the middle and lower reaches of the Yangtze River in the past 20 years [J]. Jiangsu agricultural sciences, 2018, 46 (19): 62-67(in Chinese).
- [4] 石全红, 刘建刚, 陈阜, 等. 长江中下游地区水稻产量差及分布特征研究[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(1): 33-39. SHI Q H, LIU J G, CHEN F. Researches on rice yield gaps and their distribution characteristics in middle and lower area of Yangtze River Valley [J]. Journal of China Agricultural University, 2012, 17 (1): 33-39(in Chinese with English abstract).
- [5] YUAN S, CASSMAN K G, HUANG J L, et al. Can ratoon cropping improve resource use efficiencies and profitability of rice in central China? [J]. Field Crop Res, 2019, 234: 66-72.
- [6] 朱永川, 熊洪, 徐富贤, 等. 再生稻栽培技术的研究进展[J]. 中国农学通报, 2013, 29(36): 1-8. ZHU Y C, XIONG H, XU F X, et al. Progress on research of ratoon rice cultivation technology [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2013, 29 (36): 1-8(in Chinese with English abstract).
- [7] 徐富贤, 熊洪, 张林, 等. 再生稻产量形成特点与关键调控技术研究进展[J]. 中国农业科学, 2015, 48(9): 1702-1717. XU F X, XIONG H, ZHANG L, et al. Progress in research of yield formation of ratooning rice and its high-yielding key regulation technologies[J]. China agricultural science, 2015, 48 (9): 1702-1717(in Chinese with English abstract).
- [8] HARRELL D L, BOND J A, BLANCHE S. Evaluation of main/crop stubble height on ratoon rice growth and development[J]. Field Crop Res, 2009, 114: 396-403.
- [9] 张群, 陈杰, 李成芳, 等. 十个水稻品种作直播再生稻比较试验结果及评价[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(23): 45-47, 154. ZHANG Q, CHEN J, LI C F, et al. Comparative experiment results and evaluation of 10 ratooning rice varieties [J]. Hubei agricultural sciences, 2018, 57(23): 45-47, 154(in Chinese with English abstract).
- [10] 谢磊, 易苏丹, 许晖, 等. 荆州市发展再生稻面临的问题与建议[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(20): 4802-4804. XIE L, YI S D, XU H, et al. Problems and advices on the development of ratooning rice in Jingzhou City [J]. Hubei agricultural sciences, 2014, 53 (20): 4802-4804(in Chinese with English abstract).
- [11] 罗昆. 湖北省再生稻产业发展现状及对策[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(12): 3001-3002. LUO K. The development status and strategy of ratooning rice industry in Hubei Province[J]. Hubei agricultural sciences, 2016, 55 (12): 3001-3002(in Chinese with English abstract).
- [12] 刘丹, 黄修荣, 王记安, 等. 孝感市再生稻品种的筛选试验[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(11): 2739-2742. LIU D, HUANG X R, WANG J, et al. Screening experiment of suitable ratooning rice varieties in Xiaogan[J]. Hubei agricultural sciences, 2016, 55 (11): 2739-2742(in Chinese with English abstract).
- [13] 费震江, 董华林, 武晓智, 等. 湖北省再生稻发展的现状及潜力[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(24): 5977-5978, 6002. FEI Z J, DONG H L, WU X Z, et al. The development status and potential of ratoon rice in Hubei Province [J]. Hubei agricultural sciences, 2013, 52 (24): 5977-5978, 6002(in Chinese with English abstract).
- [14] 陈杰, 涂军明, 曹志刚, 等. 24 个水稻品种作再生稻比较试验结果及评价[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(24): 28-32. CHEN J, TU J M, CAO Z G, et al. Comparative experiment results and evaluation of 24 varieties as ratooning rice [J]. Hubei agricultural sciences, 2018, 57(24): 28-32(in Chinese with English abstract).
- [15] 姚萍, 杨炳玉, 陈菲菲, 等. 水稻高温热害研究进展[J]. 农业灾害研究, 2012, 2(4): 23-25, 38. YAO P, YANG B Y, CHEN F F, et al. Research progress on high temperature hot damages of rice[J]. Journal of agricultural catastrophology, 2012, 2(4): 23-25, 38(in Chinese with English abstract).
- [16] JAGADISH S V, CRAUFURD P Q, WHEELER T R. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Journal of experimental botany, 2007, 58(7): 1627-1635.
- [17] 孙会峰, 周胜, 陈桂发, 等. 水稻品种对稻田 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(8): 1595-1602. SUN H F, ZHOU S, CHEN G F, et al. Effects of rice cultivars on CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from rice fields[J]. Journal of agro-environment science, 2015, 34 (8): 1595-1602(in Chinese with English abstract).
- [18] FROLKING S, LI C S, BRASWELL R, et al. Short/ and long/ term greenhouse gas and radiative forcing impacts of changing water management in Asian rice paddies[J]. Global Change Biol, 2004, 10(7): 1180-1196(in Chinese with English abstract).
- [19] 周炜, 张岳芳, 朱普平, 等. 种植制度对长江下游稻田温室气体排放的影响[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(2): 340-345. ZHOU W, ZHANG Y F, ZHU P P, et al. Effects of different cropping patterns on greenhouse gases emissions from rice fields in the



- lower reaches of Yangtze River [J]. Journal of Jiangsu agricultural sciences, 2017, 33 (2): 340-345 (in Chinese with English abstract).
- [20] 李淑娅, 田少阳, 袁国印, 等. 长江中游不同玉稻种植模式产量及资源利用效率的比较研究[J]. 作物学报, 2015(10): 1537-1547. LI S Y, TIAN S Y, YUAN G Y, et al. Comparison of yield and resource utilization efficiency among different maize and rice cropping systems in middle reaches of Yangtze River [J]. Acta Agron Sin, 2015(10): 1537-1547 (in Chinese with English abstract).
- [21] LI C F, ZHANG Z S, GUO L J, et al. Emissions of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> from double rice cropping systems under varying tillage and seeding methods[J]. Atmos Environ, 2013, 80: 438-444.
- [22] 朱娇, 黄卫昌, 曹建国, 等. 上海适生白茆属植物的耐湿性评价及其生理机制研究[J]. 植物生理学报, 2019, 55(2): 209-217. ZHU J, HUANG W C, CAO J G, et al. Study on moisture tolerance evaluation and physiological mechanisms in *Bletilla* spp. in Shanghai [J]. Chinese journal of plant physiology, 2019, 55 (2): 209-217 (in Chinese with English abstract).
- [23] 丁彦, 周清明. 水稻再生力利用研究及展望[J]. 湖南农业科学, 2005 (2): 11-13. DING Y, ZHOU Q M. Research on the utilization of regrowth vigour of rice [J]. Hunan agricultural sciences, 2005 (2): 11-13 (in Chinese with English abstract).
- [24] 肖风劲, 张海东, 王春乙, 等. 气候变化对我国农业的可能影响及适应性对策[J]. 自然灾害学报, 2006(S1): 327-331. XIAO F J, ZHANG H D, WANG C Y, et al. Impact of climatic change on agriculture and its adaptation countermeasures in China [J]. Journal of natural disasters, 2006 (S1): 327-331 (in Chinese with English abstract).
- [25] 朱校奇, 邓启云, 陈春光, 等. 再生稻及超级杂交稻再生利用研究进展[J]. 杂交水稻, 2007, 22(3): 6-9. ZHU X Q, DENG Q Y, CHEN C G, et al. progresses in research on ratooning rice and ratooning utilization of super hybrid rice [J]. Hybrid rice, 2007, 22 (3): 6-9 (in Chinese with English abstract).
- [26] 李经勇, 张洪松, 唐永群. 中国再生稻研究与应用[J]. 南方农业, 2009(3): 88-92. LI J Y, ZHANG H S, TANG Y Q. Research and application of chinese ratooning rice [J]. South agriculture, 2009 (3): 88-92 (in Chinese).

## Comprehensive evaluation and screening of adaptability of mid-season hybrid rice ratooning varieties in the middle-lower reaches of Yangtze River

WU Ru, WANG Jiamei, XIA Shengming, LING Xiaoxia, XIE Guosheng

College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

**Abstract** Field and pot experiments were conducted in 2018 to compare the changes in indicators of nine mid-season hybrid rice varieties including average growth period, yields, average light energy production efficiency, average cumulative temperature production efficiency, ratooning ability, greenhouse gas emissions and heat tolerance during flowering period. The membership function method was used to comprehensively evaluate the adaptability of the tested varieties in the climate warming and ratooning ability in the middle and lower reaches of the Yangtze River. The results showed that there were obvious variations in the seven agronomic and ecological traits. According to the average values of subordinate functions, four mid-season hybrid rice varieties with moderate growth periods, high yields, high light and temperature production efficiencies, low greenhouse gas emissions, strong heat tolerances at flowering stage and good ratooning abilities were selected; C Liangyou Huazhan, Liangyou 6326, C Quanyou Huazhan and Longliangyou 3188. Liangyou 6326, C Liangyou Huazhan and Quanyou Huazhan are suitable for cultivating as ratooning rice with good potential popularization value in the middle and lower reaches of the Yangtze River. However, Longliangyou 3188 with high yield, strong heat resistance and the growth duration of 140 days should be sowed early as ratooning rice. Large-scale cultivating these four varieties selected as ratooning rice will mitigate the adverse effects of rice production on climate warming in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

**Keywords** ratooning rice; mid-season hybrid rice; ratooning ability; greenhouse gas; heat tolerance; comprehensive evaluation

(责任编辑: 张志钰)