

万素琴,秦鹏程,邓环,等. 2016. 湖北省一季中稻籼改粳气象条件利弊分析. 气象, 42(5):628-636.

湖北省一季中稻籼改粳气象条件利弊分析^{*1}

万素琴¹ 秦鹏程¹ 邓 环¹ 曹凑贵² 曹秀霞³ 杨文刚⁴

¹ 武汉区域气候中心, 武汉 430074

² 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070

³ 湖北省气象局, 武汉 430074

⁴ 武汉农业气象试验站, 武汉 430040

提 要: 本文在试验基础上, 利用统计分析和模型模拟的方法, 分析了湖北省一季中稻籼改粳气候资源利用率、高温热害和低温冷害风险变化, 分析了湖北省一季中稻籼改粳适宜品种、适宜播期, 提出了若干建议。主要结论有: (1) 湖北省一季籼改粳能进一步提高气候资源利用率; (2) 籼改粳后抽穗开花期遭遇高温热害的风险增加、低温冷害风险降低; (3) 在中稻供试品种中, 甬优 1540(籼粳杂交) 是籼改粳最适宜的品种, 热粳优 35、中稻 1 号在各生态区适应性均不如甬优系列; (4) 北部地区一季粳稻播期应安排在 4 月下旬, 南部地区播期安排在 5 月上中旬, 能保证 80% 的年份抽穗一开花避开高温热害高风险期。

关键词: 籼改粳, 灾害风险, 适宜播期

中图分类号: P49

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.05.013

Analysis of Advantage and Disadvantage of Climatic Conditions in Hubei Province for Single Season Rice to Switch from Indica to Japonica Type

WAN Suqin¹ QIN Pengcheng¹ DENG Huan¹ CAO Coughui² CAO Xiuxia³ YANG Wengang⁴

¹ Wuhan Regional Climate Centre, Wuhan 430074

² College of Plant Science and Technology of Huanzhong Agricultural University, Wuhan 430070

³ Hubei Province Meteorological Service, Wuhan 430074

⁴ Wuhan National Agrometeorological Station, Wuhan 430040

Abstract: Based on field experiments, statistical analysis and modelling were carried out to investigate the changes of climatic resources utilization, risk of heat and chilling stress as well as suitable varieties and sowing date for single season rice to switch from indica to japonica type in Hubei Province. The results showed that changing rice from indica to japonica type can improve resource efficiency of climate, and reduce the risk of chilling injury during heading period, but increase heat stress. Among five tested cultivars, Yongyou1540 (indica-japonica hybrid) shows the best suitability across all ecological regions, while the performance of Rejingyou35 and Zhongdao1 is less satisfactory or with less suitability than Yongyou varieties. It is concluded that rice of japonica type should be sowed in the last ten-day period of April in the northern part of Hubei, and in the early and middle May in the southern part. Sowing in this window, 80% of the years could avoid heat stress during heading period.

Key words: indica rice to japonica rice, meteorological disaster risk, suitable sowing date

* 湖北省气象局基金项目(2013Z01)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306035)共同资助

2015 年 7 月 22 日收稿; 2016 年 1 月 5 日收修定稿

第一作者: 万素琴, 主要从事农业气候资源开发利用研究. Email: ycwsq@sohu.com

引言

近年来,随着人们生活水平的提高,品质、口感均强于籼稻的粳稻逐渐受到青睐,全国消费市场粳稻需求量不断上升,供求矛盾日显突出。“粳改粳”,顾名思义就是将原来种植的籼稻改种粳稻,包括“一季籼稻”改“一季粳稻”、双季稻“早稻+晚粳”改“早稻+晚粳”等多种模式。粳改粳是湖北省水稻生产上的一场革命,对提高稻米产量和品质、保障国家粮食安全有重要意义,是湖北省粮食丰产工程的重要内容之一。

水稻是喜温作物,抽穗—扬花期气象条件对产量影响显著,气温高于或低于一定阈值,可能发生高温热害或低温冷害(江敏等,2010;刘敏等,2011;王春乙等,2015)。我国水稻在生产上以秦岭—淮河一线为分界,大体上可分为南方稻区和北方稻区两大稻区(宋艳玲等,2011;董啸波等,2012)。湖北省属于南方稻区,以种植籼稻为主,籼粳并存。20世纪50年代初期我国就进行过北种南引,但由于北方的粳稻南引后生育期缩短、生态条件的不适宜、稻作制度不同,以及栽培技术落后等原因而未能取得成功。龚金龙等(2013a;2013b)指出,相比籼稻,粳稻更耐低温、耐阴、抗旱、抗倒伏,有利于提高水稻高产稳产的安全系数。张继新等(2013)认为,由于粳稻对于抽穗后低温的抵御能力较籼稻强且结实率相对较高,从水稻种植适应性角度来看,只要选择合适的粳稻品种,鄂东发展晚粳是可行的,扩大种植面积潜力很大。陈荣庚等(2006)研究分析了迟熟中粳稻对温光资源的利用,得出结论:江苏淮南稻区迟熟中粳稻各阶段的生育特点与各时期温光资源的分布高度同步吻合,大多数年份都能达到趋利避害,扬长避短,生育期长、产量高,能更充分地利用气候资源(陈荣庚等,2006;曾凯等,2011)。

湖北省热量资源丰富,降水适宜,长期以种植籼稻为主,籼稻种植面积占水稻总面积的87%以上。为满足不断提高了的粳稻需求,湖北省将“粳改粳”纳入粮食工程的重要任务之一,计划粳改粳面积增加到1000万亩(1亩 $\approx$ 666.7 m²)左右,占水稻总面积的30%左右。但由于籼、粳稻生物学特性不同,粳改粳气象灾害风险怎样?如何采取措施降低气象灾害风险?本文针对以上问题开展研究,分析粳改粳气象条件利弊,提出建议,为湖北省粳改粳工程提供

科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验方法

供试品种:黄花占(籼常)、扬两优6号(籼杂)、甬优1540(籼粳杂交)、热梗优35(粳杂)、中稻1号(粳常),由华中农业大学粳稻试验项目组提供。

试验地点:中稻在湖北省各地均有种植。由于湖北省南北、东西的地形和气候特征差异比较大,将湖北省分为5个中稻生态区,即鄂西北、鄂东北、江汉平原、鄂西南、鄂东南(湖北省农业厅等,2009),其中江汉平原、鄂东北南部、鄂东南为中稻、双季稻混栽区。8个试验地点选在随州、夷陵、武汉、武穴、襄州、公安、荆门、京山(空间分布见图1中红星),分别代表鄂西北、鄂西南、江汉平原、鄂东南、鄂东北5个水稻生态区域。

试验时间:2013年4—10月。设置6个播期,分别为4月15日、4月25日、5月5日、5月15日、5月25日和6月25日,秧田播种量籼稻每亩3 kg,粳稻每亩4 kg,秧龄30 d时翻耕移栽,水肥管理按常规。

观测项目:发育期、株高、主茎与分蘖数、叶面积指数、产量及产量构成(每亩穗数、每穗粒数、结实率、千粒重、理论产量、实际产量)。武汉农业气象试验站除观测上述项目外,在不同生育期还进行生长量观测。

项目试验由华中农业大学植物科学技术学院和武汉农业气象试验站完成。

1.2 资料及来源

选取2013年随州、夷陵、武汉、武穴、襄州、公安、荆门、京山、麻城等地多个品种粳改粳试验资料。

1981—2013年湖北省71个气象站(站点分布见图1)逐日平均气温、最高气温、最低气温、降水量、日照时数资料;1981—2013年湖北省农业气象观测站早、中、晚稻品种信息及观测资料,来源于湖北省气象局档案馆;作物模型所需的土壤资料来自湖北省1:100万土壤属性数据库。

1.3 研究方法

1.3.1 作物模型模拟分析方法

(1) 模型简介

CERES-Rice模型是美国农业技术转移决策支

持系统(DSSAT)的核心模型之一,它以日为步长,再现水稻生长发育、光合生产、器官形成、同化物积累与分配以及产量形成等生理过程,能动态模拟不同水稻品种在各种气候环境和田间管理措施下的生长发育和产量形成,可有选择地模拟水、肥对水稻生长的胁迫作用(江敏等,2009;曹秀霞等,2013;2014;万素琴等,2012;帅细强等,2008;2015)。其中不同灌溉水平的模拟处理通过田间管理模块的自动灌溉参数设置实现,主要参数有:(1)IMDEP(灌溉管理

深度),(2)ITHRL(灌溉下限,土壤相对湿度低于该阈值将触发自动灌溉),(3)ITHRU(灌溉上限,土壤相对湿度达到该阈值时停止灌溉),(4)IRAMT(灌溉量)。

(2) 模型标定与验证

利用武汉农业气象试验站的分期播种试验资料,确定 5 个供试品种的遗传参数对 CERES-Rice 模型进行标定,然后利用 6 个试验地点(另 2 个站试验失败)的田间试验资料对模拟的生育期和产量进行验证,结合模拟值与观测值的散点图、回归方程拟合系数、均方根误差(RMSE)、标准化均方根误差(NRMSE)等对模拟效果进行评价。模型验证结果如图 2 所示,发育期(开花期和成熟期)模拟值与实测值的散点图分布趋于一条直线,线性回归系数接近 1,拟合优度达到了 0.916, RMSE 为 6.9 d, NRMSE 为 7.7%,模拟效果较好;产量模拟值与实测值的散点图分布相对较为分散,但总体趋于一条直线,线性回归系数为 0.76,拟合优度 0.632, RMSE 为 1233.5 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, NRMSE 为 14.9%,模拟效果较好。经标定后的 CERES-Rice 模型及其品种遗传参数能够反映供试品种的生长发育及产量特点,可用于不同水稻品种气候资源利用的分析(江敏等,2009;曹秀霞等,2013;2014;帅细强等,2008;2015)。

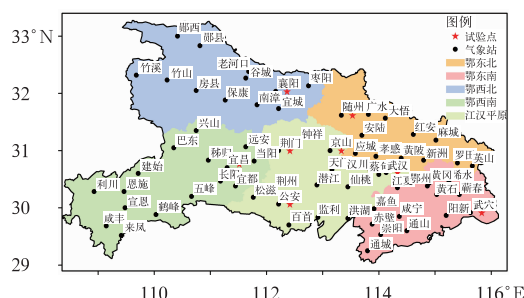


图 1 湖北省农业生态分区及气象台站、
籼粳梗对比试验点空间分布图

Fig. 1 Agro-ecological zoning of Hubei Province and spatial distribution of meteorological stations as well as experiment stations for rice of japonica type in contrast to indica

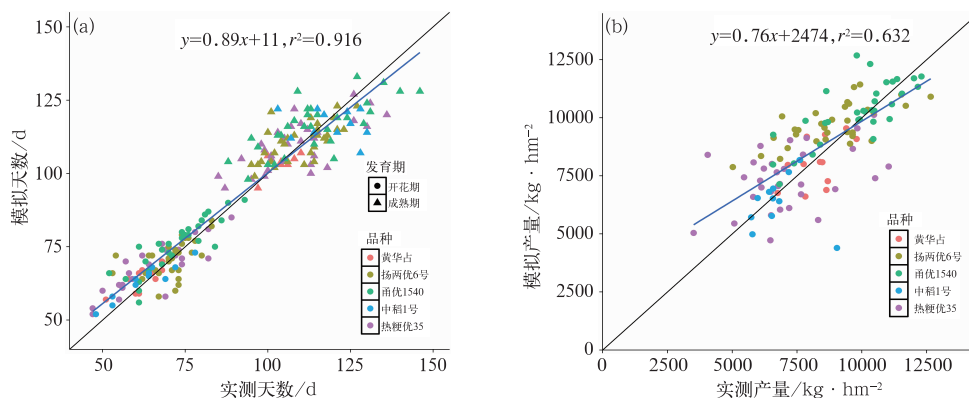


图 2 CERES-Rice 模型模拟验证效果

(a)发育期, (b)产量

Fig. 2 Validation results of CERES-Rice model for (a) phenology and (b) yield

(3) 模型模拟分析

基于标定后的 CERES-Rice 模型,自 4 月 15 日起,每隔 5 d 设置一个播期,利用空间土壤数据和近 30 年气象资料对 5 个供试品种进行 33 年的模拟,

获得全省 5 个生态区 71 个站点不同播期下各品种逐年开花期、成熟期及其产量,按前文所述 5 个水稻生态区,即鄂西北、鄂东北、江汉平原、鄂西南、鄂东南,进行分区统计,结合高温热害指标,分析气候资

源利用率、适宜品种和适宜播期。

1.3.2 灾害风险分析方法

采用的中稻抽穗开花期高温热害指标为:日平均气温连续3 d及以上 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 或日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ (杨伟伟等,2008;万素琴等,2009;高素华等,2009;江敏等,2010;王春乙等,2015)。按此指标逐年统计1981—2013年7—8月高温热害过程,连续3 d及以上记为1次高温热害过程,过程中任1 d记为1个高温热害日,再逐日统计33年7月1日至8月31日的高温热害的日数 Dw ,计算逐日高温热害频率 Pw (即: $Pw = \frac{Dw}{33} \times 100\%$),频率越高,该日高温热害风险越大。

本文采用中稻抽穗开花期低温冷害指标为:粳稻连续3 d平均气温低于 23°C ,粳稻连续3 d平均气温低于 21°C (刘敏等,2012;张建军等,2013;徐敏等,2015)。按此指标逐年统计1981—2013年7—8月低温冷害过程,连续3 d及以上记为1次低温冷害过程,过程中任1 d记为1个低温冷害日,而后逐日统计33年7月1日至8月31日低温冷害的次数,再计算逐日低温冷害频率(方法同上),低温冷害频率越高,该日低温冷害风险越大。

1.3.3 气候资源利用率分析方法

从中稻生长期利用率、产量、产值三个方面分析粳改粳气候资源利用率的变化。将 $R = (\text{中稻实际生长期} / \text{理论最大生长期}) \times 100\%$,称为中稻生长期利用率。根据各生态区前后茬作物收获、播种时间及换茬农耗,确定各生态区中稻理论最大生长期,利用试验观测的各生态区5种供试品种的试验观测的

生育期,分析各生态区种植粳、粳稻对理论最大生长期的利用程度,空闲天数越少,利用率越高。对比粳改粳前后产量、产值差异,进一步分析气候资源利用率。

2 结果与分析

2.1 粳改粳气候资源利用率分析

目前在湖北省种植制度下,北部地区为“小麦—中稻”、南部地区为“油菜—中稻”。前茬作物收割到播种的间隔天数减掉茬口(按10 d计算)后的天数,称为一季中稻可种植的天数。假定前茬作物种植制度不变,北部大概有160~165 d可种植一季中稻,南部有170~190 d可种植一季中稻。田间试验表明,北部地区一季粳稻实际生育期为144~148 d,空闲天数为13~20 d;南部地区一季粳稻实际生育期为137~141 d,空闲天数为31~49 d;空闲天数的气候资源没有被充分利用。粳改粳后,北部地区粳稻实际生育期为155~160 d,空闲天数为4~6 d,比种粳稻减少7~16 d;南部地区粳稻实际生育期为142~157 d,空闲田时间为14~35 d,比种粳稻减少5~27 d。将中稻实际生长期(D_1)占可种植天数(D_0)的百分百称为中稻生长期利用率(R),即: $R = \frac{D_1}{D_0} \times 100\%$ 。可以看出,粳稻改种粳粳杂交稻或粳稻,空闲天数将减少5~27 d,生长期利用率提高5%~10%(表1)。

表1 一季粳稻、粳稻生育期长度对比

Table 1 Growth period length for rice of indica and japonica type

生态区	中稻可种植 天数(D_0)/d	试验生育期天数(D_1)/d			空闲天数/d			生长期天数利用率/%		
		粳稻	粳粳杂交	粳稻	粳稻	粳粳杂交	粳稻	粳稻	粳粳杂交	粳稻
鄂西北	161	148	156	155	13	5	6	91.9	96.9	96.3
鄂东北	164	144	160	159	20	4	5	87.8	97.6	94.5
江汉平原	172	141	149	146	31	23	26	82.0	86.6	90.1
鄂西南	171	140	157	147	31	14	25	81.9	91.8	90.6
鄂东南	186	137	142	149	49	22	35	73.7	74.2	83.3

根据作物模型模拟的生长期天数(江敏等,2009;曹秀霞等,2013;万素琴等,2012;帅细强等,2008)分析结果(图3),与试验统计结果一致,即在不改变前、后茬作物的种植制度下,一季中稻粳改粳后,生育期延长,空闲天数明显缩短,意味着粳改粳

对中稻理论气候生长期的利用率有所提高。

田间试验数据和作物模型模拟数据表明(表2、图6):不改变前、后茬作物种植制度下,在同一地区,一季粳稻改种为一季粳稻后,粳粳杂交稻比粳稻亩产量高23~52 kg,粳稻产量北部地区比粳稻高7

~24 kg,南部反而低 63~111 kg,这可能是由于粳稻耐高温能力弱于籼稻,2013 年南部高温热害严重造成减产(杨伟伟等,2006;万素琴等,2009;高素华等,2009;江敏等,2010)。按 2013 年国家水稻收购价籼稻 2.76 元·kg⁻¹,粳稻 3.10 元·kg⁻¹。籼稻

改种籼粳杂交稻,亩产值高 290~370 元;籼稻改种粳稻,亩产值北部高 240~280 元,江汉平原、鄂西南虽然产量降低但产值仍高出 12~22 元,鄂东南地区产值低于籼稻 140 元左右。以上分析说明,籼稻改种籼粳杂交稻,产量和产值均有所提高;改种粳稻,

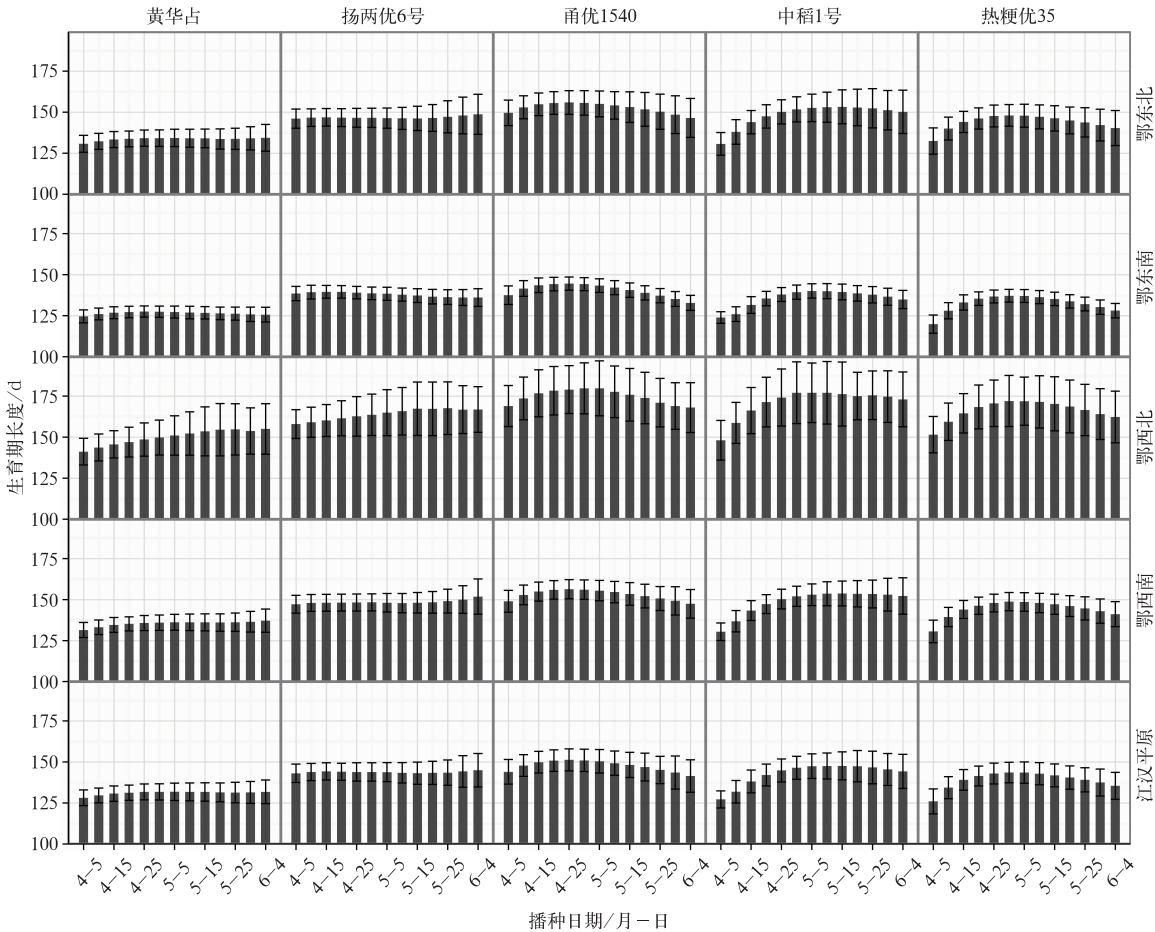


图 3 基于 CERES-Rice 模型模拟的湖北省 5 个生态区不同播种日期下籼、粳稻生育期长度
(柱状图为各生态区内所有站点 1981—2013 年 33 年模拟值的平均值,误差线为 33 年模拟值的标准差)

Fig. 3 Simulated growth period length of indica and japonica rice in different ecological regions on different sowing date
(Bar indicates mean value for all stations in each ecological region during 1981—2013, and the errorbar represents the standard deviation among all years)

表 2 一季籼稻、粳稻气候资源利用率分析(产量及产值)

生态区	籼稻、粳稻品种产量/kg·mu ⁻¹					不同类型品种产值/元·mu ⁻¹				
	籼稻	籼粳杂交	粳稻	籼粳杂— 籼稻	粳稻— 籼稻	籼稻	籼粳杂交	粳稻	籼粳杂— 籼稻	粳稻— 籼稻
鄂西北	647.9	671.3	655.0	23.4	7.1	1788.2	2081.0	2030.5	292.8	242.3
鄂东北	610.0	662.3	633.6	52.3	23.6	1683.6	2053.1	1964.2	369.5	280.6
江汉平原	643.4	676.3	580.0	32.9	—63.4	1775.7	2096.5	1798.0	320.7	22.2
鄂西南	633.2	661.7	567.6	28.5	—65.6	1747.7	2051.3	1759.6	303.6	11.9
鄂东南	601.6	631.9	489.9	30.3	—111.7	1658.8	1958.9	1520.0	300.1	—138.8

北部地区产量和产值双增,鄂西南、江汉平原地区产量下降、产值增加,鄂东南产量、产值双降。总的来说,籼改粳能将相同的气候资源转化为更多的产量和产值,有效提高了气候资源利用率。

2.2 一季籼粳稻高温热害发生频率分析

日高温热害频率在 20% 以上的时段定为高风险期。图 4 可以看出,7 月中旬到 8 月上旬,鄂西北、鄂西南发生高温热害频率 20%~30%,江汉平原和鄂东北在 30%~42%,鄂东南 40%~56%(万素琴等,2009;刘敏等,2011)。高温热害频率下降到 20% 以下的日期,自鄂西北、鄂西南、鄂东北、江汉平原北部、江汉平原南部、鄂东南依次推后,分别为 8 月 8、11、13、14、15 和 18 日。高温热害发生最严重的是鄂东南,7 月 1 日至 8 月 18 日长达 48 d 处于高风险期,其中 7 月 17 日至 8 月 11 日高温热害频率都在 40% 以上,最大频率 55% 左右;其次是江汉平原、鄂东北,7 月 1 日至 8 月 18 日长约 38 d 左右为高风险期,最大频率 40% 左右;高温热害最轻的是鄂西北和鄂西南,7 月 17 日至 8 月 11 日长 34 d 为高风险期,最大频率 30% 左右。

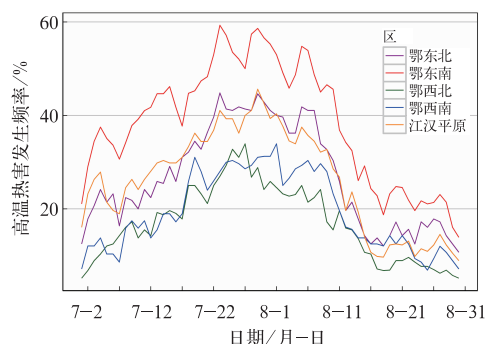


图 4 湖北省不同生态区 7—8 月高温热害发生频率

Fig. 4 Frequency of heat stress from July to August for different ecological regions of Hubei Province

2.3 一季籼粳稻盛夏低温冷害发生频率分析

由图 5 可以看出,一季籼稻抽穗扬花期遭遇低温冷害的频率都在 20% 以下,鄂西北最高频率为 17%,其他地区发生频率均在 10% 以下;一季粳稻低温冷害发生频率在 10% 以下,鄂西北最高,仅为 8%,其他地区 3% 以下。同一个时间,一季粳稻低

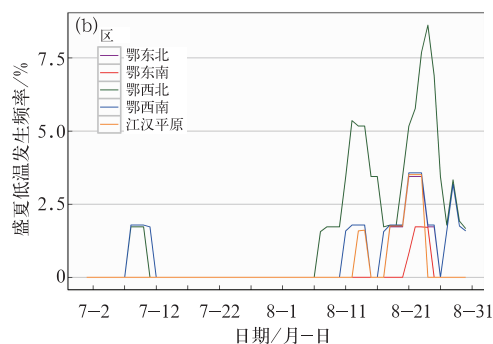
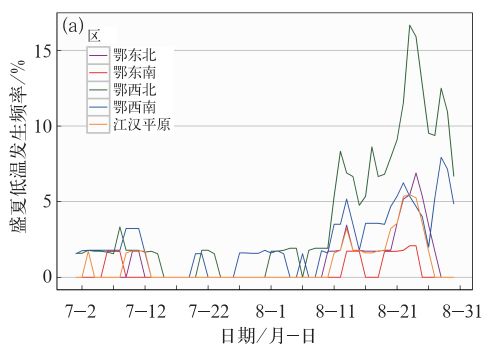


图 5 湖北省不同生态区 7—8 月籼稻(a)和粳稻(b)低温冷害发生频率

Fig. 5 Frequency of chilling stress from July to August for different ecological regions of Hubei Province
(a) indica rice, (b) japonica rice

温冷害发生频率仅为籼稻的一半。因此可以认为,一季中稻籼改粳后,盛夏低温冷害风险减半,各地均在 10% 以下,已不成为主要气象灾害。

2.4 一季中稻籼改粳适宜品种和播期分析

2.4.1 适宜品种的选择

从大田试验产量数据(表 2)可以看出:在鄂西北、鄂东北、江汉平原、鄂西南 4 个生态区籼粳杂交

稻(甬优 1540)均比籼稻产量高 20~50 kg;鄂西北、鄂东北地区粳稻比籼稻产量高 7~24 kg,江汉平原、鄂西南粳稻比籼稻产量低 65 kg 左右。因此,可以认为籼粳杂交稻(如甬优 1540)是湖北省一季中稻籼改粳最适宜的品种;粳稻在北部地区较适宜,南部地区因高温热害较频繁不适宜。

根据模型模拟结果(图 6)可看出,甬优 1540(籼粳杂交稻)不同播期下模拟产量明显高于热粳优 35

(粳稻)、中稻 1 号(粳稻),是湖北省籼改粳最适宜的品种。从不同地区看,热粳优 35 在鄂西北、鄂东北表现较好,在江汉平原、鄂东南产量较低。分析其原因,主要是由于粳稻对高温热害比籼稻敏感,鄂东

南、江汉平原南部高温热害较重,北部高温热害相对较轻。因此,湖北省籼改粳工程中,粳稻品种在北部地区可适当选用,南部不宜选用。

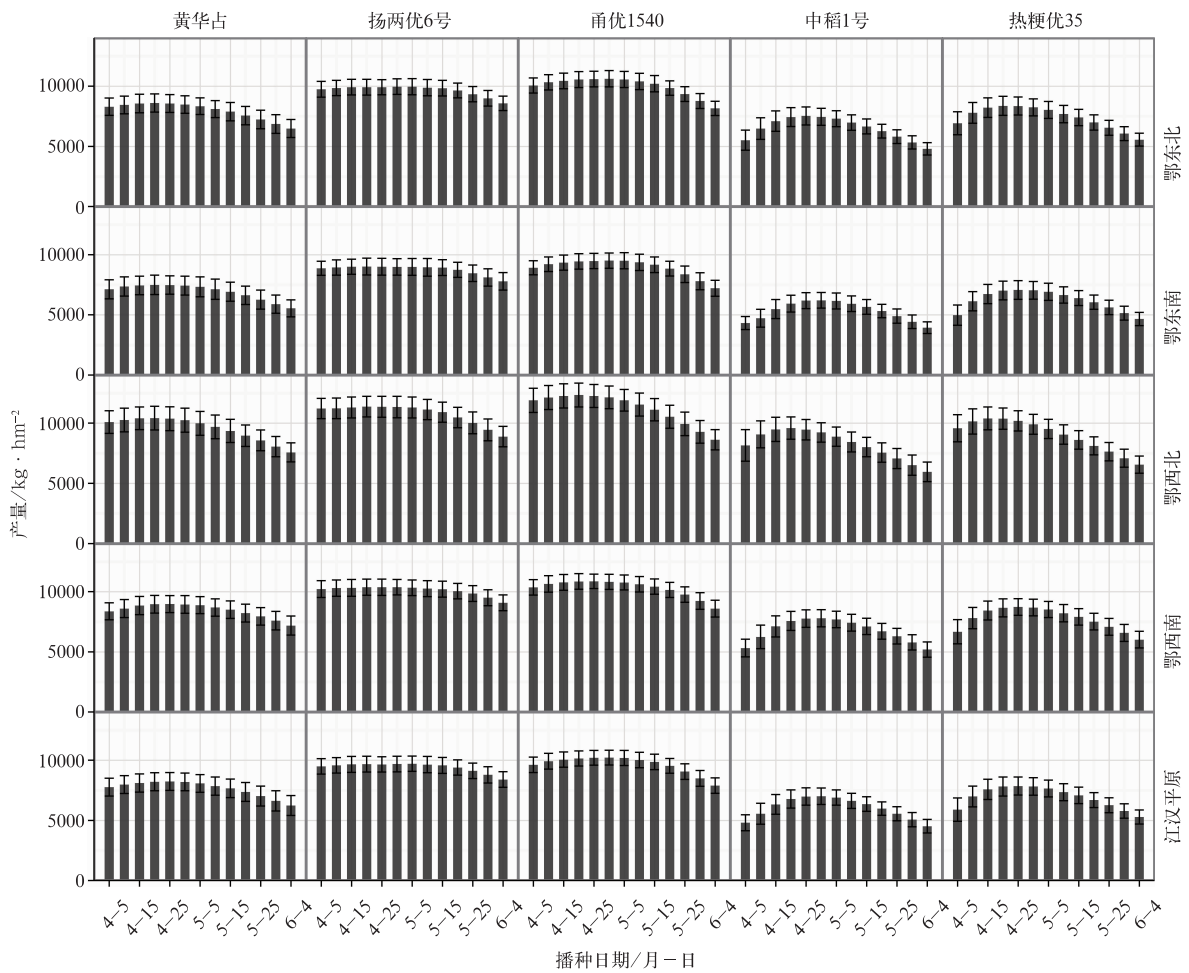


图 6 同图 3,但为产量

Fig. 6 Same as Fig. 3, but for yield

2.4.2 适宜播种期的分析

根据 2.2 节分析结果,为将遭遇高温热害的风险降低到 20%以下,应适当选择播期,使鄂东南、江汉平原南部抽穗开花期出现在 8 月 15 日之后,其他地区抽穗开花期最早出现在 8 月 11 日之后。图 7 为模型模拟的湖北省各生态区不同移栽日期的籼粳稻开花日期,从中可分析出,各生态区开花期为 8 月 11 和 15 日对应的播种期(表 3)。从表 3 可以看出,对于 5 个供试品种,适宜播期大致在 4 月中旬后期到 5 月下旬,从北向南逐渐推迟。2.4.1 节分析得出的最适宜湖北省推广的籼粳杂交稻(甬优 1540),适宜播期鄂西北、鄂东北地区为 4 月 20 日以后,江汉平原在 4 月 30

日以后,鄂东南地区为 5 月 5 日以后。

表 3 不同生态区 5 个供试品种适宜播种期推算(月-日)

Table 3 Suitable sowing date for different ecological regions (month-day)

生态区	黄华占	扬两优 6	甬优 1540	中稻 1 号	热粳优 35
鄂西北	4-25	4-15	4-20	4-20	4-15
鄂东北	4-25	4-20	4-20	4-30	4-25
鄂西南	4-25	4-20	4-25	4-30	4-25
江汉平原	5-20	5-5	4-30	5-25	5-15
鄂东南	5-20	5-10	5-5	5-25	5-15

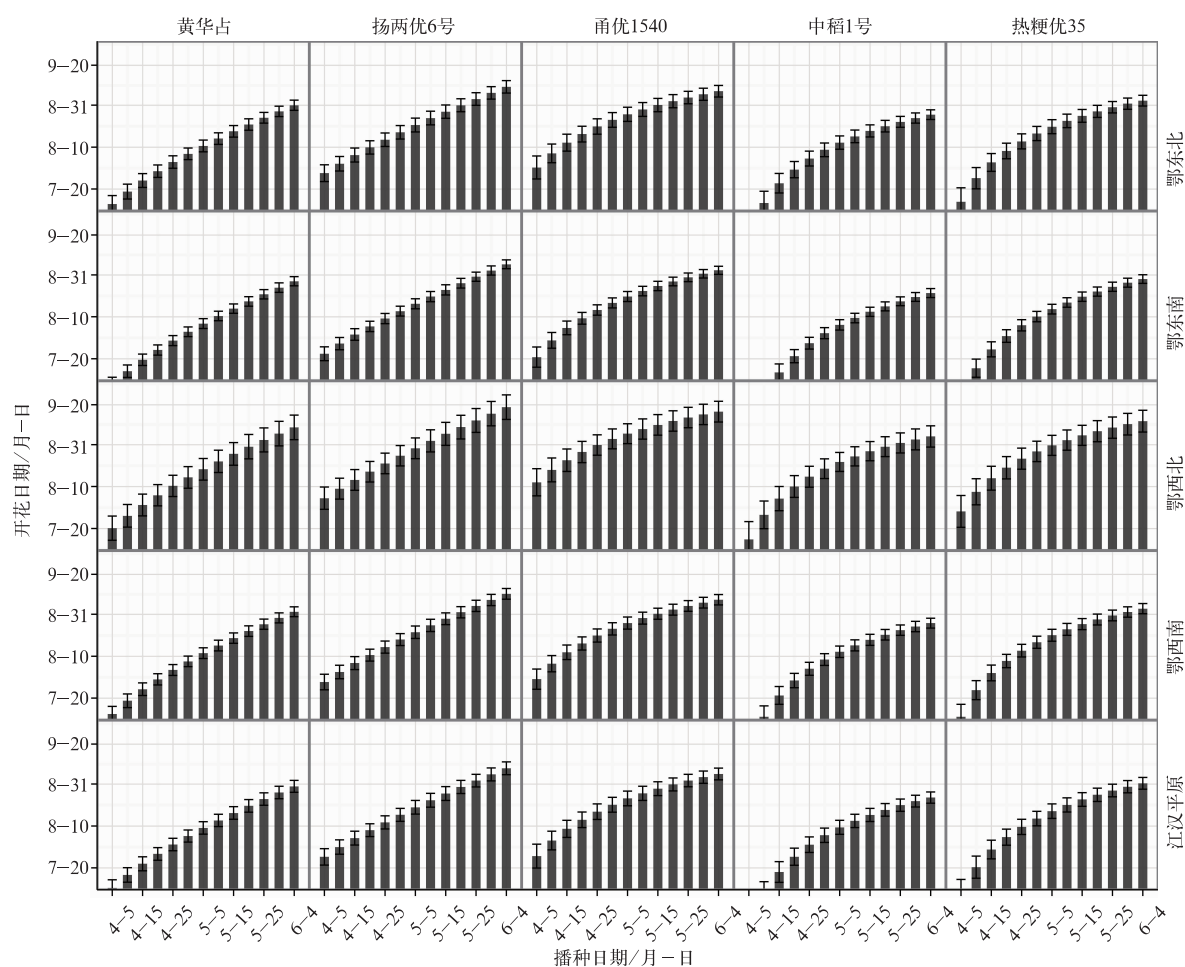


图7 同图3,但为开花日期

Fig. 7 Same as Fig. 3, but for flowering dates

3 结论及讨论

(1)中稻籼改粳后生育期延长,农田空闲天数减少,气候资源利用率有所提高

由于粳稻生长期普遍比籼稻长,中稻籼改粳后,农田空闲天数北部减少7~16 d,南部减少5~27 d,理论生长期利用率提高了5%~10%;籼稻改种籼粳杂交稻,产量和产值均有所提高;改种粳稻,北部地区产量产值双增,鄂西南、江汉平原地区产量下降、产值增加,鄂东南产量、产值双降。总的来说,籼改粳能将相同的气候资源转化为更多的产量和产值,因此,籼改粳能有效提高气候资源利用率。

(2)中稻籼改粳后抽穗开花期高温热害风险增加,适当调整播期,能有效减轻高温热害风险

湖北省水稻高温热害发生最严重是鄂东南地区,其次是江汉平原、鄂东北,最低的是鄂西北。籼改粳后,若播期不当抽穗开花期遭遇高温热害的风

险增大。适当调整播期,能降低扬花期遭遇高温热害的风险。以甬优1540为例,播种期北部地区应安排在4月20日以后,江汉平原安排在4月30日以后,鄂东南地区为5月5日以后,能保证80%的年份抽穗开花避开高温热害高风险期,将受灾风险降到20%以下。

(3)中稻籼改粳后抽穗开花期低温冷害风险降低,有利于推广籼改粳

粳稻对低温的耐受力更强,抽穗开花期能耐受的低温约比籼稻低2℃。中稻籼改粳后低温冷害发生频率都在8%以下,大部地区在5%以下,抽穗开花期低温冷害风险较籼稻降低,对推广中稻籼改粳有利。

(4)中稻籼改粳最适宜选择籼粳杂交类的品种,粳性较强的品种在北部较适宜,南部不适宜

在中稻籼改粳待选品种中,甬优1540(籼粳杂交)是湖北省中稻籼改粳最适宜的品种。而热梗优35(梗)、中稻1号(梗)在各生态区适应性均不如甬

优系列。建议湖北省粳改梗优先选粳梗杂交系列品种。

致谢:华中农业大学植物科学技术学院硕士研究生艾磊,武汉农业气象试验站陈鑫、王涵等参加了项目试验工作,在此表示感谢!

参考文献

- 曹秀霞,安忠烈,蔡伟,等. 2013. CERES-Rice 模型在江汉平原的验证与适应性评价. 中国农业气象, 34(4):447-454.
- 曹秀霞,万素琴,吴铭. 2014. 湖北省粳早稻适宜播期及其气候风险. 中国农业气象, 35(4):429-433.
- 陈荣庚,周宝亚,华正雄. 2006. 江苏淮南稻区迟熟中梗稻对温光资源利用的研究. 江苏农业科学, 3:38-39.
- 董啸波,霍中洋. 2012. 南方双季晚稻粳改梗优势及技术关键. 中国稻米, 18(1):25-28.
- 高素华,王培娟. 2009. 长江中下游水稻高温热害. 北京:气象出版社, 39-71.
- 龚金龙,邢志鹏,胡雅杰,等. 2013a. 粳、梗超级稻生产力及其形成的生态生理特征. 中国稻米, 19(4):139-140.
- 龚金龙,邢志鹏,胡雅杰,等. 2013b. "粳改梗"的相对优势及生产发展对策. 中国稻米, 19(6):1-6.
- 湖北省农业厅,湖北省气象局. 2009. 农业灾害应急技术手册. 武汉:湖北科技出版社, 50-55.
- 江敏,金之庆. 2009. CERES-Rice 模型区域应用中遗传参数升尺度的一种方法. 中国水稻科学, 23(2):172-178.
- 江敏,金之庆,石春林,等. 2010. 长江中下游地区水稻孕穗开花期高温发生规律及其对产量的影响. 生态学杂志, 29(4):649-656.
- 刘敏,刘安国,邓爱娟,等. 2011. 湖北省水稻生长季热量资源变化特征及其对水稻生产的影响. 华中农业大学学报, 30(6):746-752.
- 刘敏,万素琴,刘安国,等. 2012. 湖北省农业气候资源和灾害变化对水稻生产的影响. 北京:气象出版社, 10-11.
- 帅细强,陆魁东,黄晚华. 2015. 不同方法在湖南省早稻产量动态预报中的比较. 应用气象学报, 26(1):103-111.
- 帅细强,王石立,马玉平,等. 2008. 基于水稻生长模型的气象影响评价和产量动态预测. 应用气象学报, 19(1):71-80.
- 宋艳玲,刘玲,钟海玲. 2011. 气候变暖对我国南方水稻可种植区的影响. 气候变化研究进展, 7(4):259-264.
- 万素琴,陈晨,刘志雄. 2009. 气候变化背景下湖北省高温热害时空分布特征. 中国农业气象, 30(s2):316-319.
- 万素琴,刘志雄,刘敏,等. 2012. 未来气候变化对华中地区中稻产量影响的模拟. 生态学杂志, 31(11):2788-2796.
- 王春乙,张继权,霍治国,等. 2015. 农业气象灾害风险评估研究进展与展望. 气象学报, 73(1):1-19.
- 徐敏,徐经纬,高苹,等. 2015. 江苏水稻障碍型冷害时空变化特征及敏感性分析. 气象, 41(11):1367-1373.
- 杨伟伟,郑明范,宗永伟,等. 2008. 山区水稻后期气象灾害与发展梗稻的可行性. 气象与环境科学, 31(增刊):173-175.
- 曾凯,周玉,宋忠华. 2011. 气候变暖对江南双季稻灌浆期的影响及其观测规范探讨. 气象, 37(4):468-473.
- 张继新,张晓勇,李江苏. 2013. 鄂东地区水稻"粳改梗"雏议——以鄂东地区蕲春县为例. 安徽农业科学, 41(9):3797-3812.
- 张建军,马晓群,许莹. 2012. 安徽省一季稻生长气候适宜性评价指标的建立与试用. 气象, 39(1):88-93.