

杂交中籼稻年度间产量波动与气象要素的相关性分析

黄大明¹ 丁宏大² 顾见勋³ 郭莉¹ 胡飞¹ 曹国长^{1*}

(¹ 湖北省襄阳市农业科学院, 湖北 襄阳 441057; ² 湖北省襄阳市气象局, 湖北 襄阳 441020; ³ 湖北省种子管理局, 武汉 430070;

* 通讯作者: XFCGC@163.com)

摘 要:为探索各气象要素对杂交中籼稻年度间产量波动的影响程度,以 1990–2015 年湖北省中籼稻区域试验产量资料及武汉、荆州、襄阳气象站的气象资料为依据,分析了各气象要素与杂交中籼稻年度间产量波动的相关性。结果表明,各种气象要素影响产量波动从大到小依次为 7–8 月累计日照时数、累计蒸发量和日平均地温,其他气象要素的影响相对较小。7–8 月累计日照时数与水稻产量间的相关系数为 0.5977,达极显著水平;偏相关系数为 0.6870,达到极显著水平。7–8 月累计日照时数(X_7)对产量(Y)有最大的直接正效应($X_7 \rightarrow Y=1.0879$),可导致杂交中籼稻年度间产量波动幅度为 27.0%。

关键词:气象要素;中籼稻;产量波动;日照时数

中图分类号:S511 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2018)03-0055-04

农业生产与气象条件有着密不可分的关系^[1]。水稻单产会受到气候的影响而在年度间出现起伏和波动^[2]。有研究表明,幼穗分化和抽穗开花期的气候条件是导致年度间水稻单产起伏的关键^[3-6]。笔者对 1990–2015 年湖北省中籼稻区域试验及同期气象资料进行了系统分析,以期找出影响水稻产量年度间波动的最主要气象因素和最佳生育时段,为制定杂交中籼稻稳产策略及减灾避灾措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

1990–2015 年气象资料分别由湖北省荆州市气象局、襄阳市气象局和武汉市江夏区气象站提供;1990–2015 年湖北省中籼稻区试汇总资料分别由湖北省种子管理站、湖北省种子集团公司、湖北省农业科学院和华中农业大学提供。

1.2 研究项目

水稻平均单产 Y : 湖北省中籼稻区域试验参试品种汇总单产的平均产量;日平均气温 X_1 : 7–8 月份(中稻幼穗分化至抽穗开花期)日平均气温;日平均地温 X_2 : 7–8 月份(中稻幼穗分化至抽穗开花期)日平均地温;空气相对湿度 X_3 : 7–9 月份(中稻幼穗分化至灌浆结实期)日平均空气相对湿度;降雨量 X_4 : 8–9 月份(中稻抽穗至灌浆结实期)累计降雨量;蒸发量 X_5 : 7–8 月份(中稻幼穗分化至抽穗开花期)累计蒸发量;昼夜温差 X_6 : 7–8 月份(中稻幼穗分化至抽穗开花期)日平均昼夜温

差。日照时数 X_7 : 7–8 月份(中稻幼穗分化至抽穗开花期)累计日照时数。

1.3 统计分析方法

应用 DPS 6.55 软件对数据进行统计分析,计算气象要素间、气象要素与产量间的相关系数、偏相关系数^[7]和通径系数^[8],并进行显著性测验,求得回归方程。

2 结果与分析

2.1 气象要素与水稻产量间的直线相关关系

从表 1 可见,各气象要素与水稻产量都存在一定的直线相关关系,但相关系数最大的是 7–8 月份日平均昼夜温差 X_6 ,相关系数为 0.6113;其次是 7–8 月份累计日照时数 X_7 ,相关系数为 0.5977。二者与水稻产量均达极显著正相关,说明日平均昼夜温差大加上累计日照时数多有利于水稻高产。7–9 月份的日平均空气相对湿度 X_3 与水稻产量达极显著负相关,相关系数为 -0.5429,说明空气相对湿度大不利于高产。7–8 月份日平均气温 X_1 和日平均地温 X_2 虽与水稻产量存在正相关关系,但均未达到显著水平,7–8 月份累计蒸发量 X_5 和 8–9 月份累计降雨量 X_4 与水稻产量存在负相关关系,但也未达到显著水平。上述结果说明,7–8 月份日平均昼夜温差大、累计日照时数多和 7–9 月份空气相

收稿日期: 2017-11-19

基金项目: 湖北省农业科技创新中心资助项目 (2016-620-000-001-057)

表 1 气象要素与水稻产量间相关系数显著性测验结果

相关系数	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	Y	显著水平 P
X ₁	0.8784	-0.5918	-0.2776	0.4558	0.4687	0.6660	0.2244	0.2705
X ₂		-0.6346	-0.3573	0.7376	0.6104	0.8119	0.2056	0.3137
X ₃			0.4162	-0.4019	-0.7978	-0.7218	-0.5429	0.0042
X ₄				-0.3574	-0.3315	-0.4031	-0.3197	0.1114
X ₅					0.5119	0.6481	-0.0622	0.7627
X ₆						0.8368	0.6113	0.0009
X ₇							0.5977	0.0013

表 2 气象要素与水稻产量间偏相关系数显著性测验结果格

偏相关变量	偏相关系数	t 检验值	p 值
r(y,X ₁)=	-0.0709	0.3014	0.7664
r(y,X ₂)=	-0.1855	0.8007	0.4332
r(y,X ₃)=	-0.1022	0.4359	0.6678
r(y,X ₄)=	-0.3158	1.4122	0.1740
r(y,X ₅)=	-0.6199	3.3518	0.0034
r(y,X ₆)=	0.1424	0.6102	0.5489
r(y,X ₇)=	0.6870	4.0106	0.0007

表 3 气象要素与水稻产量之间的通径系数

因子	直接	→X ₁	→X ₂	→X ₃	→X ₄	→X ₅	→X ₆	→X ₇
X ₁	-0.0845		-0.2827	0.0520	0.0474	-0.3031	0.0706	0.7246
X ₂	-0.3219	-0.0742		0.0558	0.0610	-0.4904	0.0920	0.8833
X ₃	-0.0879	0.0500	0.2043		-0.0710	0.2672	-0.1202	-0.7852
X ₄	-0.1706	0.0234	0.1150	-0.0366		0.2376	-0.0500	-0.4385
X ₅	-0.6649	-0.0385	-0.2374	0.0353	0.0610		0.0771	0.7051
X ₆	0.1507	-0.0396	-0.1965	0.0701	0.0566	-0.3404		0.9103
X ₇	1.0879	-0.0563	-0.2613	0.0635	0.0688	-0.4309	0.1261	

对湿度较低是 3 个有利于水稻高产的主要气象要素。

2.2 气象要素与水稻产量间的偏相关关系

从表 2 可见,气象要素与水稻产量间的偏相关系数最大的是 7-8 月累计日照时数 X₇,偏相关系数为 0.6870,达到极显著水平,说明 7-8 月累计日照时数对于水稻增产的直接贡献最大;其次是 7-8 月份日平均昼夜温差 X₆,偏相关系数为 0.1424,具有正向作用,但未达到显著水平,说明 7-8 月份日平均昼夜温差大对于水稻增产也有一定的贡献;7-8 月份累计蒸发量 X₅,偏相关系数为-0.6199,达到极显著负相关,说明 7-8 月份累计蒸发量过大对水稻增产不利。7-9 月份日平均空气相对湿度 X₃ 偏相关系数为-0.1022、8-9 月份累计降雨量 X₄ 偏相关系数为-0.3158、7-8 月份日平均地温 X₂ 偏相关系数为-0.1855、7-8 月份日平均气温 X₁ 偏相关系数为-0.0709,与产量均为负相关关系,但都没有达到显著水平。

2.3 气象要素与水稻产量间的通径分析

从表 3 可见,7-8 月份累计日照时数 X₇ 对产量 Y 有最大的直接正效应(X₇→X₇→Y=1.0879),其间接效

应主要是通过 7-8 月份日平均昼夜温差 X₆(X₇→X₆→Y =0.1261)、7-8 月份累计蒸发量 X₅ (X₇→X₅→Y =-0.4309)和日平均地温 X₂(X₇→X₂→Y =-0.2613)共同来实现的,前者为正效应,后二者为负效应;其他气象要素还通过 7-8 月份累计日照时数 X₇ 对产量 Y 产生较大的间接效应。7-8 月份日平均昼夜温差 X₆ 对产量 Y 有一定程度的直接正效应(X₆→X₆→Y=0.1507),其间接效应是通过 7-8 月份累计日照时数 X₇(X₆→X₇→Y =0.9103)来实现的,具有较大的间接正效应。7-8 月份累计蒸发量 X₅ 对产量 Y 有较大的直接负效应(X₅→X₅→Y=-0.6649),其间接效应主要是通过 7-8 月份累计日照时数 X₇(X₅→X₇→Y =0.7051)来实现的,同样具有较大的间接正效应。7-9 月份日平均空气相对湿度 X₃ 对产量 Y 有微弱的直接负相应(X₃→X₃→Y=-0.0879),其间接效应同样是主要通过 7-8 月份累计日照时数 X₇ (X₃→X₇→Y =-0.7852)来实现的,具有较大的间接负效应。7-8 月份日平均气温 X₁ 对产量 Y 有微弱的直接负效应(X₁→X₁→Y=-0.0845),说明日平均气温偏高对增产稍有不利影响,其间接效应主要是通过 7-8 月份累

计日照时数 $X_7(X_1 \rightarrow X_7 \rightarrow Y = 0.7246)$ 来实现的, 具有较大的间接正效应。7-8 月份日平均地温 X_2 对产量 Y 有一定的直接负效应 ($X_2 \rightarrow X_7 \rightarrow Y = -0.3219$), 说明日平均地温偏高不仅不利于增产反而极易导致减产, 其间接效应主要是通过 7-8 月份累计日照时数 $X_7(X_2 \rightarrow X_7 \rightarrow Y = 0.8833)$ 来实现的, 具有较大的间接正效应。8-9 月份累计降雨量 X_4 对产量 Y 有一定的直接负效应 ($X_4 \rightarrow X_7 \rightarrow Y = -0.1706$), 说明累计降雨量过大不仅不利于增产反而极易导致减产, 其间接效应主要是通过 7-8 月份累计日照时数 $X_7(X_4 \rightarrow X_7 \rightarrow Y = -0.4385)$ 来实现的, 具有一定的间接负效应。

上述结果表明, 7-8 月份累计日照时数无论是对水稻产量的直接效应, 还是其他气象要素通过其产生的间接效应都是最大的, 说明 7-8 月份累计日照时数是引起杂交中籼稻年度间产量波动最主要的气象要素; 7-8 月份日平均昼夜温差对杂交中籼稻年度间产量波动也起到了一定的正向作用。7-8 月份累计蒸发量过大对杂交中籼稻年度间产量波动起到了较大的负面作用。日平均地温较高, 降雨量过大对杂交中籼稻年度间产量波动起到了一定的负面作用。气温较高、空气相对湿度较大对杂交中籼稻年度间产量波动只有微弱的负面作用, 说明适度的高温及较低的空气相对湿度对增产是有利的。

2.4 水稻产量与 7 个主要气象要素的多元线性回归分析

对水稻产量与 7 个主要气象要素进行多元线性回归分析得到回归方程为:

$$Y = 13526.38 - 60.00X_1 - 129.14X_2 - 14.41X_3 - 1.136X_4 - 4.64X_5 + 107.22X_6 + 7.71X_7$$

其中, $X_1 \in (25.7, 29.0)$, $\bar{X}_1 = 27.20$ ($^{\circ}\text{C}$); $X_2 \in (27.8, 32.9)$, $\bar{X}_2 = 30.24$ ($^{\circ}\text{C}$); $X_3 \in (72.7, 85.7)$, $\bar{X}_3 = 79.25$ (%); $X_4 \in (57.4, 466.9)$, $\bar{X}_4 = 213.84$ (mm); $X_5 \in (155.2, 464.7)$, $\bar{X}_5 = 304.87$ (mm); $X_6 \in (5.85, 9.2)$, $\bar{X}_6 = 7.63$ ($^{\circ}\text{C}$); $X_7 \in (188.9, 493.8)$, $\bar{X}_7 = 366.95$ (h); $Y \in (7\ 723.5, 10\ 137.4)$, $\bar{Y} = 8\ 838.38$ (kg/hm^2)。

在每个自变量取值区间范围内, 导致水稻产量波动幅度最大的是 7-8 月份累计日照时数 X_7 , 为 27.0%; 其次是 7-8 月份累计蒸发量 X_5 , 导致水稻产量波动幅度为 16.25%; 第三是 7-8 月份日平均地温 X_2 , 导致产量波动幅度为 7.45%; 8-9 月份累计降雨量 X_4 导致水稻产量波动幅度为 5.26%; 7-8 月份日平均昼夜温差 X_6 导致水稻产量波动幅度为 4.06%; 7-8 月份日平均

气温 X_1 , 波动幅度为 2.24%; 7-9 月份日平均空气相对湿度 X_3 导致水稻产量波动幅度仅为 2.12%。这说明 7-8 月份累计日照时数和累计蒸发量是导致水稻产量波动最重要的气象要素。

3 小结与讨论

各气象要素对杂交中籼稻年度间产量波动都有不同程度的影响^[9-11], 但导致水稻年度间产量波动幅度最大的是 7-8 月份累计日照时数; 其次是 7-8 月份累计蒸发量和 7-8 月份日平均地温。其他气象要素对水稻产量波动影响较小, 波动幅度不大。但也不能轻视这些气象要素的影响, 特别是近 10 多年来杂交中籼稻生育中后期遭受中温湿害、低温冷害、低温阴雨寡照、大气干旱、干热风和狂风暴雨等气象灾害的影响程度越来越重, 这些偶然事件、突发事件发生频率越来越高, 造成的损失越来越大, 这都有待于专业部门的及时预测预报和预警, 与此同时农业部门和水稻种植户也要充分利用气候资源及农业措施来降低中籼稻年度间的产量波动, 以利于达到防灾减灾和稳产中产的目的。

参考文献

- [1] 李健陵, 霍治国, 吴丽姬, 等. 孕穗期低温对水稻产量的影响及其生理机制[J]. 中国水稻科学, 2014, 28(3): 277-288.
- [2] 陈淡芳, 丁丽佳, 陈清辉. 潮州市近年来气候变化特征及水稻生产对策[J]. 广东气象, 2001(4): 47-48.
- [3] 叶昌荣, 戴陆园, 王建军, 等. 低温冷害影响水稻结实率的要因分析[J]. 西南农业大学学报, 2000, 22(4): 307-309.
- [4] 吴海宝. 气候变化与我国稻谷生产 [J]. 农业环境保护, 1995, 14(1): 21-24.
- [5] 朱勇. 云南杂交水稻种植的气候条件及区划[J]. 云南农业大学学报, 2000, 15(1): 34-37.
- [6] 傅信玉, 邵庆国. 影响临沂市水稻空壳率的农业气象条件分析[J]. 山东气象, 2000, 29(2): 37-39.
- [7] 盖钧镒. 试验统计方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 203-208.
- [8] 高之仁. 数量遗传学[M]. 成都: 四川大学出版社, 1986: 198-226.
- [9] 曹国长, 余华强, 吴和明, 等. 气象要素对杂交中籼稻年度间产量波动的影响[J]. 湖北农业科学, 2008, 47(11): 1 251-1 253.
- [10] 曹国长, 余华强, 董新国, 等. 杂交中籼稻生殖期间气象要素与结实率的相关性分析 [J]. 湖北农业科学, 2009, 48(11): 2 660-2 662.
- [11] 丁宏大, 余华强, 彭贤力, 等. 杂交中籼稻年度间产量与气象要素的相关性分析[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(9): 2 222-2 226.

(下转第 61 页)

- 的影响[J]. 耕作与栽培, 2012(4):9-10.
- [5] 李旭毅, 池忠志, 姜心禄, 等. 成都平原水稻直播方式对出苗状况及产量形成的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(9):51-55.
- [6] 李旭毅, 朱德峰, 姜心禄, 等. 直播稻氮素营养特性及合理施用方法[J]. 中国稻米, 2014, 20(4):25-28.
- [7] 张洪程, 李杰, 姚义, 等. 直播稻种植科学问题研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
- [8] 赵挺俊. 直播稻发展过程中的问题及其对策[J]. 农业装备技术, 2008, 34(1):7-9.
- [9] 朱富国, 杨玉春, 邢明亮, 等. 直播水稻生产的风险及栽培对策[J]. 农业科技通讯, 2008(5):98-100.
- [10] 张喜娟, 来永才, 孟英, 等. 水直播对寒地粳稻产量和品质性状的影响[J]. 中国稻米, 2016, 22(2):43-46.
- [11] 姜心禄, 杨永波, 付明金, 等. 不同直播方式下种子处理方式对直播稻出苗和产量的影响[J]. 中国稻米, 2017, 23(4):111-114.
- [12] 赵理, 王言玲, 王新娟, 等. 不同播种方式对旱直播稻生长发育及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2016, 48(10):58-61.
- [13] 汤荣林, 环加余, 冒鸭林, 等. 直播稻不同播种方式及播种量试验总结[J]. 现代农业科技, 2016(4):25-26.
- [14] 梅少华, 陈兴国, 廖继雨, 等. 播种期和播种量对免耕直播稻产量及其构成的影响[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(11):2180-2183.
- [15] 赵田芬, 韩根成, 沈庆雷. 不同播期对直播稻株型及穗部性状影响的研究[J]. 中国稻米, 2014, 20(6):78-80.
- [16] 霍中洋, 姚义, 张洪程, 等. 不同播期直播稻氮素吸收、利用效率的差异[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2012, 33(4):39-45.
- [17] 姚义, 霍中洋, 张洪程, 等. 不同生态区播期对直播稻生育期及温光利用的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(4):633-647.
- [18] 霍中洋, 姚义, 张洪程, 等. 不同生育期温光条件对直播稻产量的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(7):1043-1052.
- [19] 王美娥, 钟宗石, 陈明, 等. 机直播稻不同播期分蘖特性及其与产量构成的关系[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(27):55-57.
- [20] 姚义, 霍中洋, 张洪程, 等. 播期对麦茬直播粳稻产量及品质的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(15):3098-3107.
- [21] 彭斌. 密度和肥料对直播稻产量形成和品质的影响及其原因分析[D]. 扬州: 扬州大学, 2002.
- [22] 陆峥嵘, 王国忠, 汤剑平, 等. 密度对直播稻产量及群体质量的调节效应[J]. 上海农业学报, 1999, 15(2):61-64.
- [23] 周正权, 周波, 陈奇, 等. 优化肥水管理对直播稻产量形成及群体质量的影响[J]. 中国稻米, 2015, 21(6):72-76.
- [24] 李木英, 陈志攀, 石庆华, 等. 不同氮钾用量对比对直播稻产量和品质的影响[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(6):1071-1079.
- [25] 李木英, 陈志攀, 石庆华, 等. 不同氮钾对比对直播稻钾素吸收和利用效益的影响[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(1):1-7.

Effects of Direct Seeding and Sowing Methods on Growth and Yield of Direct-seeding Rice

JIANG Xinlu^{1,2,3}, YANG Yongbo⁴, FU Mingquan⁵, LI Xuyi^{1,2,3}, CHI Zhizhong^{1,2,3}, ZHENG Jiaguo^{1,2,3}

(¹Crop Research Institute of Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China; ²Key Lab of Water-saving Agriculture Research for Hilly Area of Southern China in Sichuan Province, Chengdu 610066; ³Courtyard of Rice Experts in Deyang City, Guanghan, Sichuan 618300, China; ⁴Chengdu Central Station of Agricultural Technology Extension, Chengdu 610041; ⁵Mianzhu Bureau of Agriculture, Mianzhu, Sichuan 618300, China; 1st author: jxinlu679@126.com; *Corresponding author: zhjguo580@126.com)

Abstract: In order to select the suitable sowing method for direct seeding rice, the effects of dibbling and broadcasting on emergence rate, seedling rate, tillering dynamics, tiller number, dry matter accumulation in heading stage and maturity stage, yield and yield components were compared under water direct seeding and dry direct seeding, using hybrid rice Chuanyou 6203 and conventional rice Jinnongsimiao as materials. The results showed that, compared with dry direct seeding, the emergence rate of water direct seeding was lower, but seedling rate and yield were higher. On the other hand, hill-drop drilling rice performed better than broadcast-sowing rice on seedling growth, population quality, dry matter accumulation and yield.

Key words: rice; direct seeding; sowing method; growth and development; yield formation

(上接第 57 页)

Analysis of Correlations between Meteorological Elements and the Yield Fluctuation among Years of Hybrid Midseason-rice

HUANG Daming¹, DING Hongda², GU Jianxun³, GUO Li¹, HU Fei¹, CAO Guochang¹

(¹Xiangyang Academy of Agricultural Sciences, Xiangyang, Hubei 440157, China; ²Xiangyang Bureau of Meteorology, Xiangyang, Hubei 441020, China; ³Hubei Provincial Seed Management Bureau, Wuhan 430070, China; *Corresponding author: XFCCG@163.com)

Abstract: In order to explore the influence of meteorological factors on the extent of annual yield fluctuations of *indica* rice, based on the yield data of hybrid midseason *indica* rice regional area trail in Hubei province from 1990 to 2015 and the data of weather station in Wuhan, Jingzhou and Xiangyang city, the correlation between meteorological elements and the yield fluctuation of hybrid midseason *indica* rice was analyzed. The results indicated that the meteorological elements from high to low level on the influence of yield fluctuation were accumulative total sunshine hours, cumulative evaporation and mean daily ground temperature from July to August during 1990 to 2015, while other meteorological elements had relatively small influence. The correlation coefficient between the cumulative sunshine hours and the yield was 0.5977, which reached extremely significant level, the partial correlation coefficient of which was 0.6870, it reached the extremely significant level. From July to August during 1990-2015, the cumulative sunshine ($X_7 \rightarrow X_7 \rightarrow Y = 1.0879$) showed directly effect on the yield the largest, which lead to the yield fluctuation of *indica* rice was 27.0%.

Key words: meteorological element; hybrid midseason rice; yield fluctuation; sunshine hours