

文章编号: 1673-8411(2019)02-0061-05

超高产早稻生长特征与气象因素影响分析

陆小林, 罗广金, 黎玲, 雷红萍

(广西玉林市气象局, 广西 玉林 537000)

摘要: 利用常规种植的同品种早稻“特优 227”的三年实验观测数据, 分析 2018 年超高产早稻各生育时段干物质的特征与同期气象因子的关系, 结果表明: 明显高于历年同期的日照时数和明显偏少的降水量是导致 2018 年超高产最直接的气象因素; 拔节~抽穗期间丰富的日照和偏少的降水量是获得每穗总粒数大的有利因素; 抽穗期间丰富的日照和较高的日平均气温利于群体干物质积累, 过多的雨量相反; 连续日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温天气或过多的雨量对灌浆腊熟期的穗干物质增长则是负面的影响。

关键词: 超高产; 水稻库容量; 干物质; 气象因素

中图分类号: S164

文献标识码: A

Analysis on Growth Characteristics and Meteorological Factors of Super-high Yield Early Season Rice

Lu Xiaolin, Luo Guangjin, Li Ling, Lei HongPing

(Yulin Meteorological Service, Yulin Guangxi 537000)

Abstract: Based on the three-year experimental observation data of the same early season rice variety "Teyou 227" under conventional cultivation, the relationship between dry matter characteristics and meteorological factors at different growth stages of super-high-yield rice in 2018 was analyzed. The results show that the most direct meteorological factors leading to super-high yield in 2018 are the sunshine hours, which is obviously higher than that in the same period of previous years, and the precipitation, which is less than usual; the effect of the two factors is opposite. Abundant sunshine and less precipitation from jointing to heading are favorable factors for obtaining larger total grains per panicle. The abundant sunshine and higher daily average temperature during heading period are beneficial to dry matter accumulation, but heavy rainfall has the opposite effect. Excessive high temperature weather with continuous maximum temperature greater than or equal to 35°C or excessive rainfall has a negative effect on dry matter growth at grouting wax ripeness stage.

Keywords: super-high yield; rice pool capacity; dry matter; meteorological factors

近年来我国对高产水稻品种的开发成果斐然, 新品种单产不断创新高, 在农业部门的大力推广下, 各地超级稻等高产品种普遍种植, 不同程度的提高了各地的水稻产量水平, 但由于与高产品种水稻相配套的种植管理技术普及不到位, 或是种植成本等的现实问题, 农户田间管理偏于粗放, 鲜有实际产量跟得上实验产量的实例。在玉林市已经推广种植几年的早稻品种“特

优 227”, 2018 年玉林市农业气象试验站的观测地段创出本站历史新高, 产量达到 $944.95 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 实属玉林水稻产量历史罕见。对水稻超高产的研究, 杨惠杰^[1,2]等研究表明, 水稻超高产与单位穗数、每穗结实粒数、粒重三者乘积一库容量呈极显著正相关, 超高产水稻具有库容量大的共同特点; 王尚明等^[3,4]指出灌浆结实期光照足, 温度、湿度条件适宜且保持稳定, 有助于抽穗后高积累、

收稿日期: 2019-01-02

基金项目: 广西科技重点研发计划项目“基于“3S”技术的水稻高温热害预测和灾害区划技术研究与示范”(桂科 AB17195037)

作者简介: 陆小林(1968-), 广西贵港人, 女, 工程师, 主要从事农业气象工作。E-mail: Mglxl@126.com

高运转, 从而实现水稻超高产; 杨从党^[5]发现特殊的生态条件下, 中后期能容纳较高的 (LAI), 能使花后物质生产量大; 娄伟平^[6]则认为幼穗分化期处在气温 $28.5^{\circ}\text{C}\sim 32^{\circ}\text{C}$ 度的晴好天气下, 可获大穗和高结实率; 良好的生理状态和优越的生态条件也是水稻高产的主要因素^[1], 对玉林水稻超高产的气候成因, 前人鲜有研究。本研究拟以玉林市农业气象试验田种植的“特优227”的三年早稻资料, 分析2018年超高产的气象影响因素, 为水稻谋求更高产量和产量预报提供技术依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

气象资料来自玉林气象观测站, 水稻资料来自玉林农业气象试验站。

1.2 试验田的概况与操作

固定观测地段约 0.067hm^2 , 位于玉林市名山区长望村村民责任田, 地段基本代表当地的地形、地势、气候和产量水平; 田间管理代表当地常规水平, 每年品种不限, 大田治虫、施肥量每年基本相同。

1.3 观测方法

观测地段分为四个区, 各选有代表性的一个点, 记录从移栽~成熟的每个发育期出现的日期, 移栽期~乳熟期每个点取样10茎共40茎测各器官干物质、生长率, 取其中20茎测算叶面积, 抽穗期和乳熟期测产量要素, 成熟期除测干物质外

再取50穗分析产量结构。

1.4 分析思路

采用田间操作近似、同品种的三年观测资料, 从干物质与叶面积数据方面分析超高产水稻关键发育期的生长特点与同期气象因子的关系, 找出导致超高产水稻关键生长期发育异常的气象因子。

2 结果与分析

2.1 产量实况

玉林市气象试验站观测地段的早稻产量十年来属于历史高位时期, 早稻的单产呈单边震荡的上升走势, 2018年为历史最高值 $94.5\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 不但分别高于同品种“特优227”的2015年($76.5\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、2017年($69.3\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)单产的23.5%、36.4%, 甚至高于2014年超级稻品种“中浙优1号”单产($87.7\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)的7.7%。

2.2 产量与产量构成

由表1可以看出, 2018年早稻产量结构显著特点是: 穗粒数大、结实率高、空秕率低、千粒重大, 2018年构成产量要素里除了有效茎数, 其他要素都占了绝对的优势, 其中穗粒数比其他两年分别高出32.6%、40.0%, 穗结实粒数较其他两年高出75.3%、53.6%, 空秕率比其他两年分别降低57.1%、28.6%, 千粒重比2017年的高出13.7%, 比2015年略高3.7%, 由此可见, 穗粒数大、结实率高、千粒重大是2018年早稻超高产的直接原因。

表1 水稻产量及其构成

| | 产量 ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) | 穗粒数 (粒) | 结实粒数 (粒) | 空壳率 (%) | 秕谷率 (%) | 千粒重 (g) | 有效茎 (茎 $\cdot\text{m}^{-2}$) |
|------|---------------------------------------|---------|----------|---------|---------|---------|-------------------------------|
| 2015 | 76.50 | 122.7 | 96.1 | 5 | 16 | 30.17 | 316.5 |
| 2017 | 69.30 | 129.6 | 84.2 | 19 | 16 | 27.51 | 332.5 |
| 2018 | 94.50 | 171.8 | 147.6 | 5 | 10 | 31.29 | 285.5 |

2.3 产量与叶面积、干物质、生长率

从表2中可以看出: 早稻产量与拔节之后的干物质、叶面积指数有明显的对应关系, 这个时期积累的干物质越大、叶面积衰减的越慢, 越容易获得高产。2018年的早稻干物质和叶面积, 在拔节前与其他两年并无明显差异, 拔节期以后差异明显。叶面积指数方面: 2015年在拔节后叶片已经开始衰退, 2017年在抽穗后衰退, 2018年从拔节期~乳熟期, 叶面积指数不但保持相对高的水平, 而且一直保持增长的趋势; 干物质方面:

2018年在拔节后各发育期的干物质都明显高于其他两个年份, 差距最大是乳熟期, 分别高于其他两年51%、58%; 群体干物质生长率(表3): 2018年在抽穗期~乳熟期突增的症状很明显, 2017年则已是倒退的状态, 说明此期间的植株营养生长在快速的衰败。由此可见, 2018年超高产水稻的生长性状最显著特点是: 在拔节~乳熟期, 叶面积和干物质一直保持增长的趋势, 干物质的积累明显高于其他两年, 生长率也明显快于其他两年。

2.4 与水稻超高产对应的气象因素

由于同一地块, 品种相同, 田间管理基本一致, 那么造成超高产的气象因素显现, 尤其拔节后产量与拔节之后各气象因子的关联性更加明显。表 4 表明, 三个年份在拔节~成熟期间, 日平均温度、相对湿度差异不大, 但 2017、2018 年日最高温度 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的日数明显少于 2015 年; 2018 年同期的日照时数分别高于其他两年 33%、

50%, 雨量比其他两年分别少 3%、42%, 雨量虽然常与日照是一对此消彼长的竞争关系, 但日照与产量的对应关系更明显。对玉林站 1981 年以来同期的日照统计, 同时期的历年平均日照为 304.5h, 2015 年的同期日照值接近历年水平, 2017 年低于历年平均值的 10%, 2018 年高于历年平均的 29%, 可见造成 2018 年超高产的最明显的气象因素是显著高于历年水平的日照时数。

表 2 早稻产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 与叶面积指数、群体干物质 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

| | 2015 | | 2017 | | 2018 | |
|----|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | 叶面积 | 干物质 | 叶面积 | 干物质 | 叶面积 | 干物质 |
| 移栽 | 4.1 | 12.33 | 2.4 | 8.5 | 5.0 | 12.92 |
| 分蘖 | 0.6 | 2.43 | 0.4 | 1.67 | 0.5 | 1.83 |
| 拔节 | 9.2 | 38.95 | 7.4 | 53.61 | 8.1 | 48.89 |
| 抽穗 | 7.3 | 120.63 | 8.6 | 145.16 | 9.0 | 156.84 |
| 乳熟 | 5.9 | 138.78 | 6.2 | 132.82 | 10.4 | 209.85 |
| 成熟 | — | 171.83 | — | 148.77 | — | 218.71 |
| 产量 | 76.50 | | 69.30 | | 94.50 | |

注: 移栽期的数据是秧田期的数据, 所以与后面大田期的数据不连续。

表 3 群体干物质、穗干物质增长率 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)

| | 2015 | | 2017 | | 2018 | |
|----|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | 群体干物质增长率 | 穗干增长率 | 群体干物质增长率 | 穗干增长率 | 群体干物质增长率 | 穗干增长率 |
| 拔节 | 2.08 | — | 1.73 | — | 1.62 | — |
| 抽穗 | 1.85 | — | 2.77 | — | 3.37 | — |
| 乳熟 | 2.02 | 38.8 | -1.23 | 20.8 | 6.63 | 36.6 |
| 成熟 | 1.65 | 29.2 | 0.8 | 24.0 | 0.44 | 40.1 |

表 4 拔节~成熟期的气象因子

| | 2015 | 2017 | 2018 |
|---|-------|-------|-------|
| 日平均温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 28.2 | 26.9 | 28.2 |
| 日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 日数 (d) | 14 | 3 | 3 |
| 日照时数 (h) | 295.4 | 257.0 | 393.6 |
| 平均湿度 (%) | 85 | 83 | 83 |
| 降水量 (mm) | 356.9 | 593.8 | 344.5 |
| 产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) | 76.50 | 69.30 | 94.50 |

2.4.1 穗粒总数与拔节~抽穗期气象因子

拔节~抽穗期之间有两个水稻生长关键发育期: 幼穗分化期、减数分裂期, 决定水稻的穗粒总数。由表 5 可见, 2018 年拔节~抽穗期的平均气温分别高于其他两年 0.4°C 、 1.3°C , 日照则分别高于其他两年 93%、28%, 日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温日数则少于其他两年, 雨量比其他两年分别少 23%、13%, 湿度差异不明显; 同时从表 1、表 5 可以看出: 穗粒数与拔节~抽穗期的日照对应最明显, 三年早稻的穗粒数随此期间日照的增加而增加, 其次是雨量和日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温天气的负作用, 2018 年的同期平均气温虽然在三年中是最高的, 但是在其他两年中穗粒数没有表现出

随温度增高而增长的特点, 说明在适宜的气温区间内, 丰富的日照是获得大穗粒数的生态条件前提, 2015 年同期的雨量多、日照不足, 还出现了连续 4d 的日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温天气, 缩短了该生育期的时间, 限制了大穗的形成, 致使了穗粒总数少于其他年份。

2.4.2 群体、穗干物质生长率与抽穗~乳熟期的气象因子

参见表 3、表 5, 群体干物质生长率在抽穗~乳熟期与温度和日照正效应关系明显, 与雨量和湿度则是明显的负作用效应。2018 年在此期间的温度, 分别比其他两年高 0.9°C 、 1.3°C , 日照分别比其他两年高 40%、77%; 2018 年雨量分别少于其

表 5 各发育期间的气象因素

| | | 平均温度 (°C) | 日照时数 (h) | ≥ 35 °C 日数 (d) | 相对湿度 (%) | 降水量 (mm) |
|------|-------|-----------|----------|----------------|----------|----------|
| 2015 | 拔节~抽穗 | 27.6 | 113.7 | 4 | 87 | 236.5 |
| | 抽穗~乳熟 | 27.4 | 35.0 | 0 | 90 | 45.6 |
| | 乳熟~成熟 | 29.4 | 146.7 | 10 | 81 | 74.9 |
| 2017 | 拔节~抽穗 | 26.7 | 171.1 | 2 | 80 | 209.1 |
| | 抽穗~乳熟 | 27.0 | 27.8 | 1 | 96 | 61.5 |
| | 乳熟~成熟 | 27.4 | 58.1 | 0 | 87 | 323.2 |
| 2018 | 拔节~抽穗 | 28.0 | 219.1 | 1 | 83 | 180.9 |
| | 抽穗~乳熟 | 28.3 | 49.1 | 0 | 80 | 24.2 |
| | 乳熟~成熟 | 28.4 | 125.4 | 2 | 85 | 139.4 |

注：表中“≥ 35 °C 日数”是指日最高气温。

他年份的 47%、61%，湿度明显低于其他两年。从表 3 看出，抽穗~乳熟期穗干物质的生长率，2015 年是三年内最高，2018 年略小，而同期的群体干物质生长率，2018 年极显著高于其他两年，2017 年无论是群体干物质生长率还是穗干物质生长率都属三年中最低，可见相对低温低日照、高湿的生态环境下，不但会影响花粉的受精质量，还会抑制植株的营养生长；水稻抽穗扬花期遭遇强降水，容易出现“雨打禾花，花而不实”，直接影响授粉受精质量，降低结实率。丰富的日照、相对高的气温有助于水稻营养物质与生殖物质的共同增长，而少雨量和相对低的湿度，一方面可以避免花粉长时间带水失去活性而影响授粉质量，另一方面可以抑制病虫害的发展，使株体继续保持旺盛的生长趋势，为后面的灌浆积累丰富的物质储备。水稻抽穗扬花期是水稻生长的一个承前启后的关键期，营养生长如果过早的衰退，势必会影响后面灌浆的营养持续供应。

2.4.3 穗干物质与乳熟~成熟期的气象因子

从表 3、表 5 看，乳熟~成熟期的穗干物质的生长率与同期低均温、低日照和过多的雨量对应明显，2017 年同期的日均温分别比其他两年低 2.0°C、1.0°C，日照分别比其他两年少 60%、54%，雨量则分别高于其他两年的 132%、332%，连续的降水不但造成了连续的低温寡照，还造成了洪涝灾害，极不利于灌浆蜡熟期的光合作用；同时，穗干物质的生长率与日最高气温 ≥ 35°C 日数负效应明显，2018 年在临近成熟期时出现 2d 日最高气温 ≥ 35°C 的高温天气，2015 年在灌浆期初期连续出现了 3d、在蜡熟期连续出现了 7d（2017 年因在这时段遭受严重的暴雨洪涝，故此时段数据不纳入分析），这个时期水稻要完成最后的物质转化输送，日最高气温 ≥ 35°C 不但会使叶片快速早衰，妨碍水稻的光合作用，还会导致籽粒水分快速蒸发，提前老熟，从而缩短水稻的

生育期；高温天气在此时段出现的前后和集中程度对颗粒重与结实率的影响不同，出现的时间越靠前、越集中，则对颗粒重、结实率影响越大，越靠后影响越小。2015 年此时段虽然有相对高的日均温和日照量，但穗干物质生长率并没有高于其他年份，可见因光热的时间分配不均匀，导致高温的集中堆积而抬高的时段日均温不但不利于后期的灌浆，反而容易出现高温热害的逼熟现象。

3 结论

导致 2018 年早稻超高产的气象因子可能由于优于 2015 年、2017 年同期的日照时数、较高且稳定的适宜水稻生长的气温、少雨量，还有相对低的空气湿度，几个因素的不同组合作用，导致了植株中后期叶面积指数大、叶片生命期长且干物质储存量大的特征，水稻开花期也没遭受强降水冲击保证了花粉受精的高质量，最后促进了灌浆充实期的物质高效转化，最终形成了超高产水稻的典型产量结构特征。在玉林自然的生态条件与农户常规管理模式背景下，出现超高产的几率不大，关键的影响因素是玉林市的气候条件，在玉林市早稻关键发育期（中后期）的 5~6 月份，正是每年的“龙舟水”维持时期，持续的强降水会导致阶段连续的低温寡照，严重影响水稻抽穗期的开花授粉。经统计，玉林市此阶段的累年平均日照只有 280.9h，明显低于 2018 年的 371.8h；1991~2018 年间 5~6 月份的日照达到 300h 以上的只有 5a，接近 2018 年值的只有 2a，因而早稻关键发育期的多雨量和日照偏低，可能是影响玉林市早稻高产的首要气象因素。

（下转第 72 页）

3 结论与讨论

武川地区稳定通过 10°C 的持续日数介于 99~156d 之间, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温多年平均值为 $2051.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 并以 $66.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率显著增加, 5~8 月活动积温显著增加, 5、9 月活动积温最小且变异系数大。玉米始播期显著提前, 最迟播期显著推迟, 各年代可安全播种的年份数、安全播期持续日数均显著增加。全生长季多年平均降水量为 299.8mm, 2011 年后出现一个较为湿润的时期, 生长季降水量年际变化较大, 5 月降水量显著减少且变异较大, 8 月降水量显著减少。玉米全生长季干旱灾害严重, 中旱灾害达到“十年七旱”, 5 月干旱灾害最为频发, 但随年代不断减轻, 8 月干旱灾害不断加重。

武川地区热量资源不断改善, 安全播种期持续日数不断增长, 可将当前主栽玉米品种更替为熟性更晚的品种, 从而获得更高的产量, 但要注意玉米生育后期的冷害风险。在 5 月玉米处于出苗期, 降水量稳定性较差, “十年十旱”的干旱将严重影响玉米的正常出苗, 在 8 月玉米处于灌浆期, 降水量显著减少, 干旱灾害不断加重, 玉米的产量将受到影响, 因此在旱作区推广坐水播种、旱作节水技术(如田间微集雨技术、覆膜技术)^[16,17] 以应对降水资源年际变化带来的气候风险, 对实现粮食稳产具有重要的意义。

参考文献:

- [1] FAO. FAOSTAT-Agriculture Database[OL]. FAO, 2013, 2013, Available at <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>.
- [2] Alexandrov VA, Hoogenboom G. Vulnerability and adaptation assessments of agricultural crops under climate change in the southeastern USA

(上接第64页)

参考文献:

- [1] 杨惠杰, 杨仁崔, 李义珍, 等. 水稻超高产的决定因素[J]. 福建农业学报, 2002, 17(4): 199-203.
- [2] 王勋, 戴廷波, 姜东, 等. 不同生态环境下水稻基因型产量形成与源库特性的比较研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 615-619.
- [3] 王尚明, 胡逢喜, 张崇华, 等. 空气温湿度对水稻灌浆及空壳率的影响研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22

(上接第67页)

- [12] 李仕谟, 符合, 张彦增, 等. 广西甘蔗冻害调查分析[J]. 农业气象, 1985, 6(1): 53-56.
- [13] 何燕, 谭宗琨, 李政, 等. 基于GIS的广西甘蔗低温冻害区划研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2007, 29(9): 81-85.

[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2000, 67: 45-63.

- [3] 赵名茶. CO₂倍增对我国自然地域分异及农业生产潜力的影响预测[J]. 自然资源学报, 1995, 10(2): 148-158.
- [4] 陈兆波, 董文, 霍治国, 等. 中国农业应对气候变化关键技术研究进展及发展方向[J]. 中国农业科学, 2013, 46(15): 3097-3104.
- [5] 徐斌, 辛晓平, 唐华俊, 等. 气候变化对我国农业地理分布的影响及其对策[J]. 地理科学进展, 1999, 18(4): 316-321.
- [6] 孙福在, 赵廷昌, 牟丰盛, 等. 生防菌和药剂除冰核细菌防御玉米霜冻研究[J]. 自然灾害学报, 2003, (4): 115-119.
- [7] 钟秀丽. 近20年来霜冻害的发生与防御研究进展[J]. 中国农业气象, 2003, 24(1): 4-6.
- [8] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰, 等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响IV. 未来气候变暖对东北三省春玉米种植北界的可能影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(11): 2280-2291.
- [9] 高可华. 内蒙古阴山北部地区玉米种植的农业气候区划[D]. 北京: 中国农业大学, 1990.
- [10] 杨晶, 潘学标. 阴山北麓农牧交错带农业气候及其变化特征——以武川县为例[J]. 内蒙古气象, 2008, (4): 3-5.
- [11] 曲曼丽. 农业气候实习指导[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1990.
- [12] 国家气候中心、中国气象科学研究院、国家气象中心等. GB/T20481-2006, 气象干旱等级标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 9-13.
- [13] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近100年来4个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 431-439.
- [14] 杨镇. 东北玉米[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [15] 米娜, 纪瑞鹏, 张玉书, 等. 辽宁省玉米适宜播种期的热量资源分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(18): 329-334.
- [16] 程满金, 郑大玮, 张建新, 等. 半干旱地区集雨旱作节水农业技术集成总体模式研究[J]. 节水灌溉, 2007, (3): 1-5, 9.
- [17] Zhou L, Jin S, Liu C, et al. Ridge-furrow and plastic-mulching tillage enhances maize-soil interactions: Opportunities and challenges in a semiarid agroecosystem[J]. Field Crops Research, 2012, 126(1): 181-188.

(9): 158-162.

- [4] 顾伟, 李刚华, 杨从党, 等. 特殊生态区水稻超高产生态特征研究[J]. 南京农业大学学报, 2009, 32(4): 1-6.
- [5] 杨从党. 不同生态环境下水稻产量差异的生物学基础[D]. 北京: 中国农业科学院, 2002.
- [6] 娄伟平, 孙永飞, 张寒, 等. 气温对水稻颖花数的影响[J]. 浙江农业学报, 2005, 17(2): 101-105.

- [14] 谭宗琨, 黄城华, 孟翠丽, 等. 甘蔗寒冻害等级指标及灾损指标的初步研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(28): 169-181.
- [15] 中华人民共和国气象行业标准《荔枝寒害评估》QX/T 258—2015附录A.