

光温变化对再生稻产量的影响研究^{*}

阳作明¹ 刘海隆² 王 玲³

(1. 重庆市气象局 重庆 401147; 2. 西南大学资源环境学院 重庆 400716;
3. 石河子大学师范学院地理系 石河子 832003)

摘 要 通过对重庆竹溪镇再生稻适宜生态条件、光温变化特征以及光温气候生产潜力的分析结果表明,重庆东部地区温度因素是限制再生稻产量的重要因子,平均温度和最低温度与产量之间的关系最为密切,年际变化较小,波动系数为 0.1~0.2,而光照条件、天空覆盖度也是影响再生稻产量的重要方面,其年际变化较大,前期(腋芽萌发期)波动系数为 0.4~0.7,后期(抽穗~成熟期)为 0.7~1.4。研究区域光温资源较丰富,光温生产潜力年际波动幅度虽然很大,距平百分率在-7.2%~4.8%之间波动,但其与实际产量之间仍有很大差距,可通过改良品种、提高农业措施使再生稻获得超高产。

关键词 再生稻 光温因子 光温生产潜力

Impacts of sunlight and temperature on yield of rebirth-paddy. YANG Zuo-Ming¹, LIU Hai-Long², WANG Ling³
(1. Chongqing Weather Bureau, Chongqing 401147, China; 2. Resource and Environment Institute, Southwestern University, Chongqing 400716, China; 3. Geography Department, Shihezi University, Shihezi 832003, China), *CJEA*, 2007, 15(1): 87~90

Abstract In order to discuss the effects of climate change on the growth of rebirth-paddy, the paper analyzed the ecological conditions of rebirth-paddy, the changing characteristics of sunlight and temperature and the climate-produce-potential of sunlight and temperature in the town of Zhuxi. The results show that sunlight and temperature are the main factors limiting the yield of rebirth-paddy. The average temperature and minimum temperature are most closely related to the yield. And sunshine and sky coverage are other two important factors relating to the yield of rebirth-paddy. The resource of light and heat is abundant in the research region, and the change of climate-produce-potential of sunlight and temperature is large, but there still exists a large gap between actual yield and climate-produce-potential of sunlight and temperature. The yield can be increased through breed-improving and agriculture measures.

Key words Rebirth-paddy, Light and temperature factor, Climate-produce-potential of sunshine and temperature
(Received June 13, 2005; revised July 8, 2005)

再生稻是南方稻区种植一季稻热量有余,而种植双季稻热量不足地区提高复种指数、稻田单产的措施之一^[1]。它是利用头季稻收割后稻桩上的腋芽萌发成苗,经科学管理,使其抽穗结实再收获一季的一种稻作制度^[2]。重庆市光温资源丰富,是中国再生稻的重要产区,1986年后在海拔 400m 以下地区推广这一稻作方式^[3],单产却很不稳定,在 930~4050kg/hm² 之间波动。但 2002 和 2003 年三峡库区开县再生稻单产连创重庆市最高记录,最高单产分别达到 8527.5kg/hm²、8782.5kg/hm²,仅较世界纪录低 967.5kg/hm²。光、温、水、CO₂ 等是决定作物产量的 4 个主要气候要素,CO₂ 的时空变异较小,且重庆再生稻区排灌通畅,保灌面积达 91.5%,本文重点就光温因素对再生稻产量的影响进行分析,以利于更合理地利用气候资源,促进高产。

1 试验材料与方法

研究区位于重庆市开县西部竹溪镇,该区地处东经 108°26′、北纬 31°12′,属亚热带湿润季风气候,气候

^{*} 重庆市科委百万工程资助项目部分研究内容

收稿日期:2005-06-13 改回日期:2005-07-08

温和,年均气温 18.2°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 6334°C , 年日照时数 1336.0h , 年均降雨量 1274.2mm , 处于山峦间盆地内,地势平坦,海拔 175m 左右。土壤类型为紫色土,质地为中壤, $\text{pH}5.0\sim 5.5$ 。研究区稻田面积 566.7hm^2 , 其中再生稻面积 433.3hm^2 , 品种主要为“K 优 926”和“D 优 149”。头季稻 2 月下旬播种,7 月 15 日达抽穗普遍期,8 月 15 日前收获,全生育期 165d 。头季稻成熟前 $10\sim 15\text{d}$ 重施催芽肥,割后 $25\sim 30\text{d}$ (9 月 10 日前后)再生季齐穗,10 月中旬成熟,生长期 60d 。气象资料采用最邻近的开县气象局的同期观测记录,作物生育期观测资料来自开县气象局同期农业气象观测和开县农业局农业技术推广站的调查记录,产量资料主要来源于开县统计局。

光温生产潜力是基于在特定的光温条件下,水、肥得到充分满足,合理群体结构,优良品种,无病虫害等不良条件影响时所能达到的最高产量。本文采用 FAO 农业生态区域法^[4]。

$$Y_{mp} = CL \cdot CN \cdot CH \cdot G \cdot Y \quad (1)$$

式中, CL 为叶面积订正系数, CN 为净干物质生产量订正系数, CH 为经济系数, G 为生育期天数, Y 为标准作物干物质生产率 ($\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{h}$)。其中标准作物干物质生产率 (Y) 由式 (2) 确定:

$$Y = \begin{cases} F(0.8 + 0.01 Y_m) Y_0 + (1 - F)(0.5 + 0.025 Y_m) Y_c & (Y_m > 20) \\ F(0.5 + 0.025 Y_m) Y_0 + (1 - F)(0.05 Y_m) Y_c & (Y_m < 20) \end{cases} \quad (2)$$

式中, Y_m 为作物生长期不同白天平均温度 (TD) 条件下的生产率 ($\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{h}$), F 为生育期间白天天空云量覆盖度, Y_0 为生育期内全阴天时总干物质生产量的平均值 ($\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{d}$), Y_c 为生育期内全晴天时总干物质生产量的平均值 ($\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{d}$)。白天平均温度 (TD) 通过式 (3) 确定:

$$TD = T + 0.25(T_{\max} - T_{\min}) \quad (3)$$

式中, T 为作物生育期间的日平均气温 ($^{\circ}\text{C}$), $T_{\max}$ 为作物生育期间最高气温的平均值 ($^{\circ}\text{C}$), $T_{\min}$ 为作物生育期间最低气温的平均值 ($^{\circ}\text{C}$)。白天天空云量覆盖度 (F) 通过 (4) 式确定:

$$F = \frac{(R_{se} - 0.5 R_g)}{0.8 R_{se}} \quad (4)$$

式中, R_{se} 为生育期间晴天最大光合有效辐射平均值 ($\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$), R_g 为实际入射短波辐射 ($\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$), 其计算式为:

$$R_g = 247 \left(0.25 + \frac{0.5n}{N} \right) R_a \quad (5)$$

式中, $\frac{n}{N}$ 为生育期内日照百分率的平均值, R_a 为生育期内大气上界太阳辐射平均值 ($\text{mm}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$), 247 为换算系数。

2 结果与分析

2.1 再生稻的适宜生态条件

腋芽萌发和开花结实 2 阶段的生态条件对再生稻影响最大^[1]。再生稻发苗数的多少主要由品种遗传特性决定,环境因子中受日平均温度影响最大,适宜腋芽萌发生长的条件为较高的温度 (日均气温 $24.5\sim 27^{\circ}\text{C}$) 和较高的湿度 (空气相对湿度 $81\%\sim 85\%$)。一般认为日平均温度对再生稻结实率起主导作用^[5],在日均气温基本满足条件下,雨日、雨量和日照是影响结实率的主要原因。再生稻安全齐穗期应连续 3d 日均气温 $\geq 23^{\circ}\text{C}$ 。本文主要从这 3 个阶段的光温条件进行分析。

2.2 再生稻生育期间光温因子变化特征

农业气象中关于波动的研究在产量分析中应用较广,为便于说明各生育期适宜光温的波动情况,引入波动系数来描述^[6]。

$$f_c = \frac{1}{t_0} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - t_0)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

式中, f_c 为相对波动系数, t_0 为适宜阈值, t_i 为不小于 t_0 的日测值, n 为某时段高 (低) 于门限的日数。

再生稻对头季稻有很强的依赖性,促进再生芽发育的营养物质来源于头季稻抽穗前茎秆贮存和后期叶片同化的光合产物,杂交中稻生育后期 (抽穗~成熟期) 光合产物的分配直接影响头季稻产量和再生稻芽的萌发和穗分化,而穗分化的多少对产量有重要影响^[7~9]。因此分析这一时段的光温因子特点具有重要意义。

义。该时期丰富的热量和充足的太阳辐射不仅有利于头季稻的产量提高,也更加有利于光合产物的转移分配,为突出比较这一时段光温因子的强度,分别用逐日平均温度和逐日日照时数的多年平均值为阈值,比较正向波动的影响程度。分析年限为重庆市开始种植再生稻(1986 年)至 2003 年,生育期取多年平均日期。

图 1 表明,头季稻后期热量和光照都有一定幅度的波动,比较而言,日照的变化幅度更大,其中日照在 1990~1996 年间波动较大,1993 年最低;而温度在 1997~2001 年之间波动较大。2002 和 2003 年的热量和光照都处在一个较高水平,其中 2003 年的热量条件属于历年来最好状况,有利于再生稻的幼穗分化。

腋芽幼穗分化始于头季稻抽穗后 15d 左右,至收割后 20d 左右基本稳定^[10]。据观测,头季稻抽穗~成熟期平均出现日期为 7 月 15 日~8 月 15 日,再生稻抽穗~成熟期平均出现日期为 9 月 10 日~10 月 15 日。这两个时期的门限值根据前文所述的适宜生态条件确定。开县多年空气相对湿度为 86.08%,因此只需研究其光温条件的时

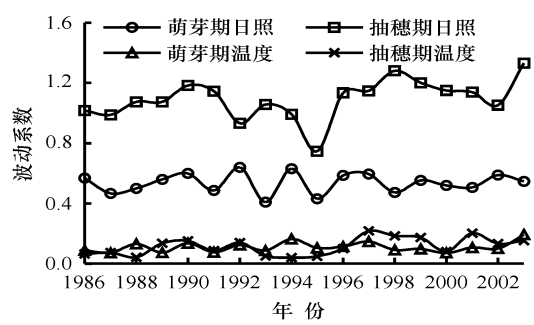


图 2 开县再生稻腋芽萌发(08-01~09-05)和开花结实期(09-10~10-15)的光温变化

Fig.2 The light and temperature changes in rebirth paddy axil bourgeoning and blooming periods in Kai County

间序列变化。图 2 显示再生稻萌芽和抽穗~成熟期,温度相对而言仍然波动较小,两个生育期的日照均在 1991~1996 年出现大的波动,1995 年抽穗~成熟期的光照条件最差,1993 年萌芽期的光照条件最差,而 2003 年抽穗~成熟期的日照条件最好,2002 年的日照处于平均状况,同时 2002 年和 2003 年的平均温度都处在较高水平。

为进一步探讨光温条件对再生稻的影响,作者分析了前者与再生稻产量之间的关系。由于研究区域没有长期的产量资料,而开县再生稻种植区主要分布在县城以西海拔 400m 以下地区,因此本文采用开县再生稻产量资料进行研究。首先对来源于统计局的单产资料与同期(1986~2003 年)农业气象观测单产资料进行双样本均值 t 检验,通过了显著水平为 0.05 假设检验。并计算再生稻全生育期高于 23℃ 的平均温度、最高温度、最低温度的积温以及温度日较差积温、日照时数、晴天日数。为揭示各因子与再生稻产量之间的密切程度,分别计算各因子序列与产量序列之间的相关系数。在此基础上估算样本相关系数对总体相关系数的近似程度。由于样本容量较少,相关系数呈偏态分布,因此通过 t 检验方法检验相关系数的显著性。表 1 表明,平均温度和最低温度与再生稻产量分别达到 0.01 的显著水平,日照时数和晴天日数分别达到 0.05 的显著水平,它们与产量都呈显著正相关。而最高温度和温度较差的变化对产量的影响不显著。对再生稻生长发育而言,该地区昼夜温差较小,最低温度仍偏低,热量条件是影响再生稻产量的一个重要因素。同时,日照相对比较缺乏,是影响再生稻产量的另一限制性因素。

2.3 再生稻光温生产潜力的变化

光温因子之间的配合状况及其对再生稻产量的作用可通过光温生产潜力的研究来体现。研究中叶面积积订正系数(CL)取 0.45,经济系数(CH)取 0.45,净干物质生产量订正系数(CN)通过式(7)确定:

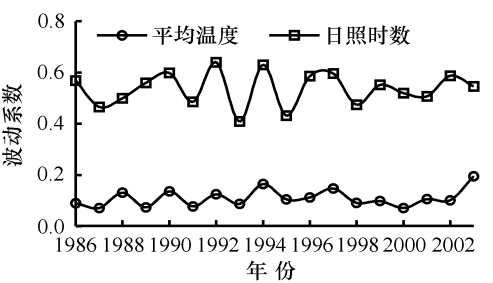


图 1 开县头季稻抽穗~成熟期的光温波动系数变化(07-15~08-15)

Fig.1 The fluctuating coefficients of light and temperature from heading to maturing period of first paddy in Kai County

究其光温条件的时

间序列变化。图 2 显示再生稻萌芽和抽穗~成熟期,温度相对而言仍然波动较小,两个生育期的日照均在 1991~1996 年出现大的波动,1995 年抽穗~成熟期的光照条件最差,1993 年萌芽期的光照条件最差,而 2003 年抽穗~成熟期的日照条件最好,2002 年的日照处于平均状况,同时 2002 年和 2003 年的平均温度都处在较高水平。

为进一步探讨光温条件对再生稻的影响,作者分析了前者与再生稻产量之间的关系。由于研究区域没有长期的产量资料,而开县再生稻种植区主要分布在县城以西海拔 400m 以下地区,因此本文采用开县再生稻产量资料进行研究。首先对来源于统计局的单产资料与同期(1986~2003 年)农业气象观测

表 1 开县光温因子对再生稻产量的影响*
Tab.1 Effects of light and temperature factors on the yield of rebirth paddy in Kai County

项 目	平均温度	最高温度	最低温度	温较差	日照时数	晴天日数
Items	Average temperature	Max temperature	Min temperature	Temperature difference	Sunshine time	Days of clear day
相关系数	0.6090 **	0.3646 **	0.7677 **	-0.2379	0.5606 *	0.5166 *
t 统计量	3.0714	1.5663	4.7913	-0.9795	2.7078	2.4137

* 表示显著差异,** 表示极显著差异。

$$CN=\frac{0.72}{1+0.25\ C_iG}\tag{7}$$

式中， G 为再生稻生育期天数； C_i 为维持呼吸订正系数，决定于日平均温度。其中 C_i 计算式为：

$$C_i=C_{30}(0.044+0.0119\ T+0.00107\ T^2)\tag{8}$$

式中， T 为生育期间日平均温度， C_{30} 为 30℃ 时的维持呼吸。

光温生产潜力模型计算结果显示，开县再生稻 1986～2003 年的光温生产潜力最高的为 2002 年，理论值达 10524.9kg/hm²，最低为 2001 年，仅为 9320.1kg/hm²。多年平均水平为 10043.6kg/hm²，高于平均水平 3% 的有 1988 年、1989 年、1996 年、1998 年和 2002 年，低于 3% 的年份有 1986 年、1987 年和 2001 年。其中 2003 年略高于平均水平。光温生产潜力的变化显示了该地区适宜再生稻生长的光温条件，从理论计算来看，最低年份 2001 年的理论值比最好年份 2003 年的实际产量仍高出 537.6kg/hm²，说明提高再生稻的产量仍有较大的空间，需要从品种改良、农业技术措施方面着手解决。

3 小 结

重庆东部热量状况年际波动幅度较光能资源略小，但二者波动对再生稻产量都有显著影响，后期（抽穗～成熟期）的平均光照条件优于前期（腋芽分化萌发阶段）。光温因子与再生稻产量有密切关系，影响再生稻产量的气象因子主要是生育时期积温、日最低温度，同时日照偏少、阴天日数偏多也是重要的限制因子。改善光温条件是提高再生稻产量的有效途径之一，从年内光温分布规律看，7 月和 8 月份是开县光热资源最丰富时段，9 月下旬有部分时间光照比较充沛，应适时采用人工措施，提前头季稻播种时间，使其收割期尽量提前，从而使再生稻萌发到收获提前。在水资源得到保证的前提下，光温生产潜力虽然在年际间有很大变化，但相较目前实际产量而言仍有很大的增产空间。应从品种改良、土壤肥力、农业技术措施等方面着手解决。

参 考 文 献

1 易镇邪,屠乃美,陈平平.培矮 64S 系列杂交稻组合再生特性研究.杂交水稻,2004,19(6):55~59
2 张桂莲,屠乃美.再生稻研究现状与展望.作物研究,2001,15(3):64~69
3 任天举,李经勇,王培华,等.年际间气候差异对杂交中稻、再生稻的影响.中国农业气象,2001,22(4):1~5
4 曲曼丽.农业气候实习指导.北京:北京农业大学出版社,1991
5 熊 洪,方 文.水稻腋芽萌发的生态条件研究.西南农业学报,1990,3(2):27~32
6 刘海隆,王 玲,刘洪斌,等.气象条件对南瓜引种的影响分析.中国农业气象,2003,24(增):114~118
7 廖庠麟.再生稻茎秆贮存淀粉与再生稻生长的细胞化学研究.南京农业大学学报,1991,14(2):12~15
8 刘保国,王光明,张修清,等.头季稻后期光合产物与再生稻生长发育的关系.西南农业大学学报,1993,15(5):382~385
9 冉茂林,熊 洪,徐富贤,等.杂交水稻生育后期光合产物的分配对再生稻的影响.绵阳经济技术高等专科学校学报,1999,16(4):6~10
10 黄友钦,张洪松.汕优 63 再生芽幼穗分化发育研究.西南农业大学学报,1989,11(1):97~101