秦岭北麓稻区盛夏光合 有效辐射的若干特征

张嵩午

(西北农业大学基础课部)

摘 要

本文分析了秦岭北麓稻区盛夏光合有效辐射的特点,较详细地论述了它的农业意义,以便提供充足的气候依据,加速这个特殊地区水稻高产优质化的进程。

关键词 光合有效辐射;相关;特征;光温生产潜力

秦岭位于陕西省的中部,是黄河流域和长江流域的分水岭,也是我国气候的重要分界,北邻暖温带,南接亚热带。作物分布、耕作栽培制度以及指示植物在此界南北有明显不同,界北是典型的北国风光,界南则是著名的“鱼米之乡”。

陕西省的水稻主要分布在秦岭以南,约占全省水稻面积的88% (1983年),而汉中盆地六县更是集中了水稻面积的60%和产量的三分之二。秦岭以北的稻田主要集中在渭河以南,秦岭北坡的山前地带,东起华阴,西至宝鸡均有种植,面积约20万亩(1983年),其中西安市所占比重最大,约80%,它们主要靠渭水补给,水源较有保证。与秦岭以南比较,秦岭北麓稻区的面积不大,但是,分布在肥沃的渭河冲积平原上的这些水稻田在气候条件方面却有得天独厚之处,因此,需要认真考虑它们在水稻生产上的地位和作用。

本文研究了秦岭北麓稻区盛夏光合有效辐射的特征,并对这些特征在水稻生产上的意义进行了较为详细的论述,以期展示北麓稻区的利用价值和生产前景。

气象资料分别来自汉中和北麓水稻的集中产地—西安。时间从1957年至1984年共28年(汉中1957年以前无日照记录)。

盛夏光合有效辐射和南、北麓稻区的水稻气候产量相关

笔者用如下计算太阳总辐射的公式^[1]计算了秦岭南、北麓稻区盛夏(7—8月)的太阳总辐射。

$$\theta = a + b\theta_0 S$$

本文于1986年1月9日收到。

其中： θ ——月太阳总辐射量，单位：千卡·厘米⁻²·月⁻¹；

a、b——与地点、季节有关系的系数。汉中的a、b分别为3.50千卡·厘米⁻²·月⁻¹和0.60；西安的a、b分别为3.29千卡·厘米⁻²·月⁻¹和0.64；

θ_0 ——月天文辐射总量，单位：千卡·厘米⁻²·月⁻¹；

S——月日照百分率。

得到盛夏的太阳总辐射后，乘以系数0.5则可得到盛夏的光合有效辐射。这样，南、北麓分别有27个（汉中1968年夏缺测）和28个逐年的盛夏光合有效辐射样本。

为了获得气象因素和产量间的关系，笔者对产量序列作了如下处理：求算了南、北麓逐年水稻单产的气候产量，即实产与趋势产量之差。

有了南、北麓逐年盛夏光合有效辐射和水稻气候产量的数据后，分别求算了两地的事件相关系数，并进行了卡方（ X^2 ）检验。

汉中： $R = 0.5398$ $X^2 = 6.993$

$\because X^2_{0.01} = 6.635$

$\therefore X^2 > X^2_{0.01}$

故相关极显著。

西安： $R = 0.5241$ $X^2 = 6.867$

$\because X^2_{0.01} = 6.635$

$\therefore X^2 > X^2_{0.01}$

故相关极显著。

上述统计分析表明，无论南麓还是北麓，盛夏光合有效辐射的多寡和水稻气候产量的高低是息息相关的，均达到了极显著水平，因而，盛夏光合有效辐射这个气象因素是有特别重要的意义的。

从生物学角度分析，这种相关的密切程度也是不难理解的。无论是空茬、苕茬、油菜茬或麦茬，水稻栽插后，在6月份均处于分蘖时期，这是决定穗多的重要时期，一般并无气象方面的障碍。进入盛夏后，气温达到顶峰，光照也很丰富，水稻正处在穗分化、齐穗以及主要的灌浆时期，这时光合有效辐射越充分，再加上适宜的温度、水分、养分等条件，则光合产物多，结实粒数可以大大提高。而在最后的灌浆阶段，充足的光照，较大的温差十分有利于营养物质的积累，对灌浆非常有益，并且由于光合作用旺盛，茎、鞘贮存了丰富的营养物质，不利于弱势花成为空秕。反之，如果盛夏的光照不够充分，则会对产量构成因素的穗大、粒重直接发生不良影响，进而显著影响产量。因而，盛夏光合有效辐射活动规律之深入研究对水稻生产的发展是有重要意义的。

秦岭北麓稻区盛夏光合有效辐射的几个特点

如前所述，为了反映秦岭北麓稻区的特点，笔者以南麓为参照，进行了对比分析。

首先比较两地多年盛夏光合有效辐射的平均值。1957—1984年，西安的平均值为

12.97千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹，汉中为12.27千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹。折合成每亩面积上的有效光合辐射量，则西安为86,467,099千卡·亩⁻¹·盛夏⁻¹，汉中为81,800,409千卡·亩⁻¹·盛夏⁻¹，每亩田上西安比汉中多获得4,666,690千卡的光合有效辐射能。

其次，进一步分析盛夏光合有效辐射的变化。据变异系数公式

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}}$$

其中

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

分别求算了西安和汉中盛夏光合有效辐射变动的大小。西安 $S = 2.04$ 千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹， $CV = 15.7\%$ ；汉中 $S = 1.36$ 千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹， $CV = 11.1\%$ ，这说明北麓盛夏光合有效辐射量不够稳定。资料表明，西安最高年份可达15.58千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹（1974年），最低年份只有8.16千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹（1983年），相差7.42千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹；而汉中最高年份是14.70千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹（1973年），最低年份还有9.27千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹（1983年），相差仅5.43千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹。因而，北麓的这种较大起伏似乎是水稻生产的一个不利因素。

第三，为了深入了解南、北麓盛夏光合有效辐射的变化，掌握其细节，从根本上把握变化带来的影响，下面列出西安和汉中盛夏光合有效辐射频数、频率及保证率表（见表1）

表1 西安和汉中盛夏光合有效辐射频数、频率和保证率

界限 (千卡·厘米 ² ·盛夏 ⁻¹)	频数 (次)		频率 (%)		保证率 (%)	
	西安	汉中	西安	汉中	西安	汉中
8.00—9.00	3	0	11	0	100	100
9.00—10.00	0	2	0	7	90	100
10.00—11.00	1	4	4	15	90	93
11.00—12.00	3	5	11	19	86	78
12.00—13.00	2	9	7	33	75	59
13.00—14.00	11	5	39	19	68	26
14.00—15.00	5	2	18	7	29	7
15.00—16.00	3	0	11	0	11	0

从上表可看出：1.在盛夏光合有效辐射的较低档次（8.00—10.00千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹），西安的频数（3次）和频率（11%）比汉中（2次和7%）为高，但这个档次出现的机会很少，西安约10年一遇，汉中只是十分之七遇，因而无碍大局。但是，在较高档次（14.00—16.00千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹），西安的频数（8次）和频率（29%）要比汉中（2次和7%）高得多，这说明，尽管北麓稻区盛夏光合有效辐射的波动较大，但从总体看，北麓的太阳辐射条件要比南麓明显优越。2.盛夏光合有效辐射的可靠程

度，西安也明显地优于汉中。从11.00千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹起向上，各级界限的保证率都以西安为高，无一例外。而保证率的递减速度西安却缓慢得多，如8.00千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹≤的保证率均为100%，而15.00千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹≤的保证率，西安仍高达11%，但汉中已变成0.3%，这也再次从另一个侧面说明，西安盛夏光合有效辐射的较大起伏并未根本改变辐射条件明显较南麓为优的状态。

第四，以时间为顺序，按每10年分档，对秦岭南、北麓盛夏光合有效辐射的变化进行分析比较。西安和汉中每个10年盛夏光合有效辐射变化情况见表2，其中盛夏光合有效辐射≤10.00千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹的年份称为低值年，10.00千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹<，≤14.00千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹的年份称为中值年，14.00千卡·厘米⁻²·盛夏⁻¹<的年份称为高值年。

表 2 西安和汉中每10年盛夏光合有效辐射变化

级 别	五十年代 (1957—1959)	十六年代 (1960—1969)	七十年代 (1970—1979)	八十年代 (1980—1984)	
低值年	西安 汉中			1981, 1983, 1984 1981, 1983	
中值年	西安 汉中	1958 1957, 1958, 1959	1960, 1961, 1962 1963, 1964, 1965 1966, 1968 1960, 1961, 1962 1963, 1964, 1965 1966, 1969	1972, 1975, 1976 1977, 1978, 1979 1970, 1971, 1972 1974, 1975, 1976 1977, 1978, 1979	1980, 1982 1980, 1982, 1984
高值年	西安 汉中	1957, 1959	1967, 1969 1967	1970, 1971, 1973 1974 1973	

从上表可看出：1.随着时间的推移，盛夏光合有效辐射显著趋于衰弱。近28年来，从五十年代后期，到整个六十、七十年代，均无低值年出现，但进入八十年代后，低值年频频出现，汉中有2年，西安高达3年，而高值年竟无一年，这不能不令人十分关切。2.从五十年代开始至七十年代，高值年，西安每10年至少两遇，而汉中只有一遇，显示出西安高水平的盛夏光合有效辐射有较高的出现频率。3.西安和汉中相比，尽管盛夏光合有效辐射总的水平较高，但两地随时间变化的大趋势却十分相近，即基本上是此升彼升，此降彼降，相关明显。计算了它们的相关系数

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = 0.889 > 0.487 (1\%)$$

经检验相关极显著。这显然和两地盛夏经常受大致相同的大气环流形势控制有关。

秦岭北麓盛夏光合有效辐射在水稻生产上的价值

众所周知, 温度对光能的利用是相当大的限制因素, 为了全面剖析两地的潜力, 现以盛夏的光合有效辐射为基础, 结合温度条件, 进行水稻光温生产潜力的比较分析。

Robertson, G.W.等指出, 可用抽穗后直到成熟这段时期的辐射收入来计算水稻生产潜力, 实验证实, 成熟之前30—45天太阳辐射对产量有重大影响。秦岭南、北麓的水稻茬口按早晚大致分为两类: 第一类是早—中茬, 即空、苕茬、油菜茬和大麦茬等, 第二类是晚茬, 即麦茬和马铃薯茬等。由前者茬口可知, 无论北麓还是南麓, 水稻抽穗均在7月下旬—8月上旬, 成熟在8月下旬—9月上旬。成熟之前的30—45天恰处盛夏阶段, 其光合有效辐射的强弱对产量产生重大影响。为便于计算水稻光温生产潜力, 取8月(大约在抽穗后一个月)的光合有效辐射。

光温生产潜力的公式表示如下^[2]:

$$y_{pt} = \theta \varepsilon (1 - \alpha) (1 - \beta) (1 - \rho) \phi (1 - \gamma) (1 - \omega) \left(\frac{3}{4}\right)^{-1} (1 - 0.014)^{-1} (1 - 0.019)^{-1} \times 666.7 \times 10^4 \times 4250^{-1} \times 1000^{-1} \times (1 - 0.14)^{-1} P_t (\text{公斤/亩})$$

其中: y_{pt} ——经过温度订正的光合生产潜力;

θ ——经济器官形成期的太阳总辐射;

ε ——光合有效辐射占太阳总辐射的比例, 取0.50;

α ——反射率, 取0.10;

β ——漏射率, 取0.10;

ρ ——非光合器官的无效吸收, 取0.10;

ϕ ——量子效率, 取0.224;

γ ——光饱和限制, 取0.20;

ω ——呼吸作用的损耗, 取0.30;

$\frac{3}{4}$ ——穗部容纳的光合产物开花后占 $\frac{3}{4}$;

0.014——籽粒中含有灰分的比例;

0.019——颖壳占谷重的比例;

4250——每形成1克干物质平均需要4250卡能量;

0.14——籽粒含水率;

P_t ——C₃、C₄作物的相对光合速率, 用它来表征温度订正函数 f_t 。

首先对相对光合速率 p_t 进行一些分析。据长谷川史郎、奥田明男的研究,

$$f_t = p_t = 4.301 \times 10^{-2} t - 5.771 \times 10^{-4} t^2$$

其中 t 表示白天的均温, 即光合作用进行时的温度。当温度处于最佳状态时, p_t 最大, 即为1。无论温度过高或过低, p_t 都会变小, 因而 p_t 距1的远近成了温度是否适合于光合作用进行的尺度。

笔者对1957—1984年南、北麓的 p_t 进行了统计。西安8月 p_t 的平均值为0.7496, $s = 0.0192$, $CV = 2.6\%$; 汉中的平均值为0.7394, $s = 0.0230$, $CV = 3.1\%$ 。西安8月 p_t 比汉中大的年份占85.2%。由此看出, 北麓不但光合有效辐射条件好, 和光合伴

随的温度条件也较南麓好，这样最终奠定了北麓的水稻生产潜力大于南麓的气候基础。

根据前述计算水稻光温潜力的公式，算出西安 $\bar{y}_{p_i} = 1266$ 公斤/亩， $s = 257$ 公斤/亩， $CV = 20.3\%$ ；汉中 $\bar{y}_{p_i} = 1201$ 公斤/亩， $s = 205$ 公斤/亩， $CV = 17.3\%$ 。即西安的水稻光温潜力每亩田比汉中高65公斤，但西安光温潜力的变异系数稍大。从这些数据可以看出，两地的潜力都非常大，不过北麓比南麓更甚。

为了深入了解每年水稻光温潜力之变化，下面列出西安和汉中各级光温潜力频数、频率及保证率（见表3）。

表3 西安和汉中各级光温潜力频数、频率及保证率

界限 (公斤/亩)	频数 (次)		频率 (%)		保证率 (%)	
	西安	汉中	西安	汉中	西安	汉中
625—775	0	1	0	4	100	100
775—925	4	1	14	4	100	96
925—1075	3	6	11	22	86	92
1075—1225	3	6	11	22	75	70
1225—1375	9	6	21	22	64	48
1375—1525	9	7	32	26	43	26
1525—1675	3	0	11	0	11	0

从上表可看出：1. 频数和频率，无论西安还是汉中最高者均出现在1375—1525公斤/亩档；但最低频数和频率出现之档次却大不相同，西安出现在最低档625—775公斤/亩，而汉中出现在最高档1525—1675公斤/亩。2. 各级保证率（除925公斤/亩 $\leq$ 这一级外），西安均比汉中为高，尤其在较高的级别，如1225公斤/亩 $\leq$ ，1375公斤/亩 $\leq$ 和1525公斤/亩 $\leq$ ，西安显著高于汉中。这说明，秦岭北麓有着更为巨大的水稻生产潜力可供挖掘，尤其在较高的级别上，占有明显的优势，这使北麓稻区水稻的发展呈现出令人鼓舞的前景。

上面分析的是第一类茬口光温生产潜力的情况。下面简述第二类茬口，即麦茬和马铃薯茬等的情况。

第二类茬口水稻播种、插秧和成熟均较迟，秦岭北麓的成熟期大约在9月中一下旬，南麓大约在9月中旬。因而，经济器官形成期处在盛夏的后期和初秋的前期。同样，按照前述计算相对光合速率的公式，分别计算西安和汉中这一时期的 p_i 。

西安： $\bar{p}_i = 0.7228$ ， $S = 0.0122$ ， $CV = 1.7\%$ ；

汉中： $\bar{p}_i = 0.7215$ ， $S = 0.0213$ ， $CV = 2.9\%$ 。

就 p_i 而言，西安比汉中大的年份占53.8%，和汉中相同的年份占15.4%，比汉中小小的年份占30.8%。因而，相对光合速率北麓仍比南麓稍优。

就光合有效辐射而言，这一时期秦岭南、北麓每平方厘米地面上平均分别得到5.41千卡（汉中）和5.71千卡（西安）的能量，变异系数分别为12.9%和17.7%。北麓的光

台有效辐射仍比南麓多0.3千卡,但变异系数较大。

据前述计算水稻光温潜力的公式得到如下数据:

西安, $\bar{y}_{P_1} = 1073$ 公斤/亩, $S = 212$ 公斤/亩, $CV = 19.7\%$;

汉中, $\bar{y}_{P_1} = 1018$ 公斤/亩, $S = 155$ 公斤/亩, $CV = 15.2\%$;

平均每亩田西安可比汉中多收55公斤稻谷。第二类茬口亦同样显示了两地的巨大潜力,且北麓胜于南麓。

又据水稻各级光温潜力频数、频率及保证率之分析可知,结论和第一类茬口的极为相似,即对于第二类茬口来说,秦岭北麓也具有更大的光温潜力,供水稻利用的光温资源也更为可靠,因篇幅有限,具体数据不再罗列。

从以上两类茬口水稻光温生产潜力的分析可知,固然秦岭南麓是陕西省的主要稻区,单产较高,总产所占比重甚大,但从气候潜力看,北麓更优,若以每亩多产50公斤稻谷这种最保守的潜力估计计算。北麓20万亩稻田可比南麓同面积多收1千万公斤稻谷,这是一个可观的数字,但由于北麓稻田主要分布在冷、瘦、毒的烂泥田,水利系统未很好建立,排灌不畅,且栽培管理处于落后状态,关键性措施贯彻不力,就连安全齐穗期这样重要的指标也不明确。另外,缺乏高产优质的品种,现有的还多染纹枯病、稻瘟病,有的倒伏严重,因而,现在平均亩产只有250—300多公斤,距亩产1千多公斤的潜力相差极大,因而优势还远未发挥出来。现在中央提出农产品要优质化的号召,根据近几年在秦岭北麓进行的水稻育种和栽培试验,北麓稻区具有生产出高产、优质稻米的现实可能性,只要今后狠抓水利,提高栽培管理技术,注意品种更迭,充分发挥自己的优势,这一地区水稻生产还是大有可为的。

参 考 文 献

- [1] 高国栋等著,《中国地表面的辐射平衡和热量平衡》,科学出版社,1982年。
- [2] 于沪宁等:光热资源和农作物的光热生产潜力——以河北省栾城县为例,《气象学报》,1982年,第3期,第331—332页。

Some Characteristics of Photosynthetic Effective Radiation
in the Hottest Summer Days in the Riceplanting
Area at the Northern Part of the Qinling Mountains

Zhang Songwu

(*the Department of Basic Courses, Northwestern Agricultural University*)

Abstract

This paper analyses some of characteristics of photosynthetic effective radiation in the hottest summer days in rice-planting area at the northern part of the Qinling Mountains. Also, it expounds the importance in agriculture in detail so as to provide sufficient climatic basis for accelerating progress in raising both yield and quality of rice crop in this particular area.

Key words photosynthetic effective radiation, correlation, characteristics, productive potential of light and heat