

# 黄土塬区作物生产潜力分析

——以长武试验区为例

王宗明<sup>1,2</sup>, 梁银丽<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 教育部 水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 研究一个地区的作物生产潜力可以发现提高产量的主要障碍因子, 为合理进行农业生产规划提供依据。以长武试验区冬小麦和春玉米为例, 计算了黄土塬区光温潜力、气候潜力, 并与实际产量进行比较。结果表明, 该区光温潜力多年平均值冬小麦为  $6\ 910.5\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , 春玉米为  $10\ 718.6\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , 年际变化不大; 气候生产潜力多年平均值冬小麦为  $6\ 190.3\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , 春玉米为  $8\ 768.7\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , 年际波动较大。1986—1990 年, 试区作物产量潜势实现率较低。1990—1994 年, 小麦和玉米大田产量已经接近当地的气候生产潜力。今后的农业生产中应注意稳定化肥用量, 使 N、P 比更加合理, 并大力推广地膜及秸秆覆盖技术, 增施有机肥, 加强田间管理等。

**关键词:** 长武试验区; 冬小麦; 春玉米; 生产潜力

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2002)01-0030-04

中图分类号: F326.11

## Analysis of Crop Potential Productivity on Highland of Loess Plateau

WANG Zong-ming<sup>1,2</sup>, LIANG Yin-li<sup>1,2</sup>

(1. Research Centre of Soil and Water Conservation & Eco-environment, Chinese Academy of Sciences and Education Ministry,

Yangling 712100, Shaanxi Province, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Sci-Tech

University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** To research the crop potential productivity can find the obstacle to improve yield, and can offer grounds for programming agricultural production. The temperature and climate potential productivity of Changwu experimental district in many years are compared with practical yield of winter wheat and spring maize. The results show that the wheat average heat potential productivity of the district in many years is  $6\ 910.5\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , that of maize  $10\ 718.6\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , the variance between years is not big. The wheat average climate potential productivity is  $6\ 190.3\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , that of maize is  $8\ 768.7\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ; variance between years very large in 1986—1990, the realizing rate is comparative low, but in 1990—1994, the rate is very high, almost equal to the climate potential productivity of the district. The items that are important in the future are: to stable chemical fertilizer application and rational proportion between N and P; to universe use of film mulches and stubble mulches; to increase the mount of organic fertilizer and the efficiency of field managements.

**Keywords:** Changwu experimental district; winter wheat; spring maize; production potential

一个地区的作物生产潜力是评价该地区粮食生产能力、发展前景和提高生产能力的重要指标, 对指导粮食生产及制定经济发展战略有重要作用。光温生产潜力反映一个地区可能达到的最大生产力, 限于多方面原因, 现阶段的农田现实生产力远远达不到此水平。在缺乏人工补充水源的雨养农业区, 农田生产潜力可视为降水生产潜力, 即气候生产潜力, 在现实生产条件下, 农田现实生产力由于受到诸多因素的制约, 与气候生产潜力尚存在相当的距离。

黄土塬区是我国重要的旱作农业区之一。该地区

系典型高原沟壑区<sup>[1]</sup>; 气候生产潜力可观, 雨热同步, 是全国光能资源最丰富的地区之一, 但年降水和季节降水相对变率较大, 分别为 20%~30% 和 50%~90%, 蒸发量大<sup>[2]</sup>; 现实生产力水平低, 农田产量潜势实现率低, 按照人均粮食占有量  $400\ \text{kg}/(\text{年}\cdot\text{人})$  计算, 尚不能实现粮食自给<sup>[3]</sup>。本文以长武王东沟试区冬小麦和春玉米为例, 对黄土塬区作物生产潜力进行分析, 探查自然气候条件下能够实现的生产能力, 以便为制定农业发展规划, 揭示障碍因素, 提高黄土塬区作物产量提供依据。

## 1 试区作物生产现状

长武试区位于黄土高原渭北旱塬的陕西省长武县,海拔 1 220 m,年均温 9.1℃,年均降水 584.1 mm,无霜期 171 d;年日照时数 2 226.5 h,年总辐射量 4 835.75 J/cm<sup>2</sup>,塬面 0~10 cm 活动积温 3 688℃,10~20 cm 活动积温 3 029℃;试区土壤为中壤质黑垆土,全剖面土壤质地疏松,孔隙率占 50% 左右,是较好的旱作土壤。主要粮食作物为冬小麦和春玉米<sup>[5,8]</sup>。

长武试区科研人员经过科技攻关,已完成了肥力因子由限制作物产量提高的首要障碍因子向非障碍因子的转变,水分因子取代肥力因子成为限制产量进一步提高的首要障碍因子<sup>[3]</sup>。1986—1995 年间,小麦缺水减产率为 0.0%~75.2%,平均为 25.8%;玉米缺水减产率为 4.6%~72.8%,平均为 23.1%;可知农田水分亏缺是生产潜力开发的严重障碍。

## 2 旱地作物生产潜力模型

作物生产潜力计算公式应用较多的有瓦格宁根法,FAO 推荐模型、阶段模型等。前两种模型考虑因素较为周全,机制比较合理,但参数源自国外,虽有一些现成的参数可供查用,但还没有经过我国通过系统试验取得的数据,如何取值及修正意见不一,而且有些参数所需数据难以得到<sup>[6,7]</sup>。因此本文选用我国学者提出的旱地作物生产潜力模型<sup>[4,6]</sup>,此模型属于阶段模型,是逐级订正而成的,首先估算作物的光合生产潜力;然后考虑各时段生长状态及温度对光合生产潜力的影响,估算出光温生产潜力,最后考虑水分条件对热量生产潜力的影响,订正得到光温水生产潜力。旱地作物生产潜力模型表述如下:

$$Y_w = CE \prod_{i=1}^n Q_i \cdot \frac{t_i}{T} \cdot \frac{L_i}{L} K_w \quad (1)$$

式中:  $Y_w$ ——光温水生产潜力;  $C$ ——能量转换系数;  $E$ ——光能利用率;  $i$ ——作物生长时段序号(按旬或月计);  $Q_i$ ——第  $i$  个生长时段太阳总辐射(MJ/m<sup>2</sup>);  $t_i$ ——作物各生育阶段的生理温度;  $T$ ——光合最适温度;  $L_i$ ——第  $i$  个生长时段群体的叶面积指数;  $L$ ——该作物理想群体的最大叶面积指数(小麦  $L = 6$ ,玉米  $L = 5$ <sup>[7]</sup>)。

## 3 模型的订正

### 3.1 温度订正

考虑温度条件对光合生产潜力的影响,利用黄土高原地区作物潜力温度订正公式<sup>[6]</sup>进行温度修正:

$$f(T) = t_i/T \quad (2)$$

式中:  $t_i$ ——作物各生育阶段的生理温度;  $T$ ——光合最适温度(小麦 12~25℃,玉米 18~27℃):

$$t_i = \begin{cases} 0, & t > T_{\text{上}} \text{ 或 } t < T_{\text{下}} \\ t, & T_{\text{下}} < t < T_2 \\ T_2 - (t - T_2), & t > T_2 \end{cases} \quad (3)$$

$$T = \begin{cases} T_1, & T_{\text{下}} < t < T_1 \\ t, & T_1 < t < T_2 \\ T_2, & t > T_2 \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $t$ ——实际温度;  $T_{\text{上}}$ ——作物生长的最高上限温度;  $T_{\text{下}}$ ——最低下限温度;  $T_1$ ——作物生长最适温度下限;  $T_2$ ——最适温度上限。

### 3.2 水分订正及 $K_y$ 的确定

水分订正取 FAO 推荐的通用公式:

$$f(W) = 1 - K_y(1 - E_{T_a}/E_{T_m}) \quad (5)$$

式中:  $K_y$ ——作物产量反应系数;  $E_{T_a}$ ——作物需水量;  $E_{T_m}$ ——为作物耗水量。

本文以试区连续多年的旱作水分产量潜势系数  $K_p$  值及  $E_{T_a}/E_{T_m}$  值来确定  $K_y$ :

$$K_y = (1 - K_p)/(1 - E_{T_a}/E_{T_m}) \quad (6)$$

式中:  $K_p$ ——在养分供应充足,栽培优化条件下的旱作产量  $Y_d$  与养分水分皆充足,栽培优化条件下的最大产量  $Y_m$  之比<sup>[4,9]</sup>,即  $K_p = Y_d/Y_m$ 。

计算表明,(1 -  $K_p$ ) 与 (1 -  $E_{T_a}/E_{T_m}$ ) 呈明显线性相关, $K_y$  多年平均值冬小麦 1.13,春玉米 1.25。

### 3.3 验证与分析

试验年份包括了干旱、平水和丰水 3 种水文年份,由表 1 可知 10 a 的平均降水量略低于多年平均值,冬小麦和春玉米生育期内 10 a 平均降水量和多年同期平均值非常接近。

为验证以上所选光合生产潜力公式及温度、水分修正函数、产量反应系数是否恰当,现将试区多年旱作产量潜势试验值与计算值相比较(见表 2,3)。

表 1 长武试区试验年份降水情况

mm

年份	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	平均值	多年平均值
生育期												
冬小麦	272.6	285.4	275.6	340.0	268.1	315.3	288.7	260.2	311.6	302.6	292.0	301.9
春玉米	352.2	326.7	358.8	590.1	399.6	538.2	204.2	472.9	380.5	195.7	381.9	401.6
生育年降水	490.4	442.4	532.7	734.3	559.8	582.3	710.8	359.2	550.8	544.8	550.8	587.4

表 2 长武试区冬小麦多年气候生产潜力、旱作产量潜势及大田产量比较

年 份	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	平均值
光温潜力/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	6 979.5	6 685.5	7 029.0	6 825.0	6 641.0	6 769.5	6 857.0	7 258.5	7 149.5	6 910.5
气候生产潜力	6 979.5	4 417.0	6 234.5	6 825.0	6 265.0	—	5 772.0	6 766.0	6 263.0	6 190.3
旱作产量潜势	5 895.0	4 209.0	6 117.0	6 343.5	5 158.5	4 779.0	5 242.0	6 378.0	5 749.5	5 541.3
相对误差/%	18.3	4.9	1.9	7.6	21.5	—	10.1	6.1	8.9	9.9
大田产量/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	4 174.5	1 695.0	2 298.0	4 395.0	4 800.0	3 384.0	5 466.0	6 210.0	4 360.5	—
大田产量/旱作潜势	0.7	0.4	0.4	0.7	0.9	0.7	1.0	1.0	0.8	—
大田产量/气候潜力	0.6	0.4	0.4	0.6	0.8	—	0.9	0.9	0.7	—

注:表中气候生产潜力和旱作产量潜势的单位为  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

表 3 长武试区春玉米多年气候生产潜力、旱作产量潜势及大田产量比较

年 份	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	平均值
光温潜力/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	9 869.5	10 716.5	10 769.5	9 958.0	10 754.5	11 797.5	10 884.0	11 760.5	9 558.0	10 718.6
$E_{T_a}/E_{T_m}$	1.0	0.7	1.0	0.8	0.9	—	0.9	—	0.8	0.9
气候生产潜力	9 869.5	6 028.0	10 769.5	7 966.5	9 544.5	—	9 795.5	—	7 407.5	8 768.7
旱作产量潜势	8 415.0	5 730.0	9 054.0	7 081.5	8 431.5	7 558.5	9 588.0	—	7 575.0	7 929.2
相对误差/%	17.2	5.2	18.9	12.5	13.2	—	2.2	—	2.2	10.2
大田产量/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	5 599.5	4 123.5	5 835.0	5 754.0	7 990.5	7 399.5	9 435.0	—	6 375.0	—
大田产量/旱作潜势	0.7	0.7	0.6	0.8	1.0	1.0	1.0	—	0.8	—
大田产量/气候潜力	0.6	0.7	0.5	0.7	0.8	—	0.9	—	0.9	—

注:气候生产潜力和旱作产量潜势的单位为  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

由比较结果可知,冬小麦试验值与气候潜力计算值之间的相对误差变化范围为 1.92%~21.45%,多年平均误差为 9.91%;春玉米相对误差变化范围在 2.16%~18.90%之间,多年平均误差为 10.19%,说明以上公式的选择及参数的修正较为合理。

该区冬小麦光温生产潜力在 6 641.0~7 258.5  $\text{kg}/\text{hm}^2$  之间,多年平均值为 6 910.5  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,标准差 197.3  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,最高值为最低值的 1.09 倍,说明光温生产潜力年际变化不大。气候生产潜力在 4 417.0~6 979.5  $\text{kg}/\text{hm}^2$  之间,多年平均值为 6 190.3  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,标准差 818.2  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,最高值为最低值的 1.58 倍;说明由于降水变率大,气候生产潜力年际波动较大。春玉米光温生产潜力在 9 558.0~11 797.5  $\text{kg}/\text{hm}^2$  之间,多年平均值为 10 718.6  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,标准差 738.3  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,最高值为最低值的 1.23 倍,年际变化不大。气候生产潜力在 6 028.0~10 769.5  $\text{kg}/\text{hm}^2$  之间,多年平均值为 8 768.7  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,标准差 1 677.2  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,最高值为最低值的 1.79 倍,年际波动较大。

从表 2 及表 3 可以看出,1986—1990 年,试区小麦大田产量只占旱作潜势的 38%~71%,气候潜力的 37%~64%;玉米大田产量只占旱作潜势的 64%~81%,气候潜力的 54%~72%,潜势实现率较低。通过增施肥料和加强田间管理,提高降水利用率;1990—1995 年,小麦大田产量提高到旱作潜势的

71%~100%,气候潜力的 70%~94%;玉米大田产量提高到旱作潜势的 84%~98%,气候潜力的 84%~96%,已经接近当地自然降水条件下冬小麦和春玉米的气候生产潜力。

## 4 讨 论

本文选用我国学者提出的旱地作物生产潜力模型<sup>[4]</sup>估算作物光合生产潜力;温度修正采用黄土高原地区作物潜力温度订正公式<sup>[6]</sup>;水分订正取 FAO 推荐的通用公式,以试区连续多年旱作水分产量潜势系数  $K_p$  值及  $E_{T_a}/E_{T_m}$  值来确定  $K_y$ ,结果表明,  $(1 - K_p)$  与  $(1 - E_{T_a}/E_{T_m})$  呈明显线形相关。冬小麦及春玉米试验值与气候潜力计算值之间多年平均误差均较低,表明公式的选择及参数的修正较为合理。

黄土塬区的光能充足,不是造成该区作物产量低而不稳的原因,而温度、降水等远不如江南和华北丰富,故必然成为影响旱作生产潜力实现的重要因素<sup>[6]</sup>,本文通过分析温度满足率  $T_{CR}$  和水分满足率  $W_{CR}$  来揭示黄土塬区温度和水分对生产潜力的影响程度,即温度和降水满足作物需求的程度。温度满足率可以用光温生产潜力平均值与光合潜力之比来表示,  $T_{CR} = Y_T/Y_P$ ;在自然降水条件下,水分满足率可以用气候生产潜力平均值与光温生产潜力平均值之

比来表示  $W_{CR} = Y_w/Y_T$ 。

表 5 长武试区主要作物的  $T_{CR}$ ,  $W_{CR}$

作物	光合潜力/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	光温潜力/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$T_{CR}$	气候潜力/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$W_{CR}$	旱作产量潜势/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	大田产量/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
冬小麦	16026.0	6910.5	0.43	5904.6	0.85	5541.3	3198.2
春玉米	19388.0	10663.4	0.54	8148.4	0.76	7929.2	6037.5

研究结果表明,黄土塬区春玉米的温度满足率  $T_{CR}$  为 0.54,明显高于冬小麦的温度满足率;而春玉米的水分满足率  $W_{CR} = 0.76$ ,明显低于冬小麦的水分满足率。从表 5 可以算出,试区冬小麦大田产量多年平均值  $3198.2 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ,只占旱作产量潜势的 57.7%,光温潜力的 46.3%;试区春玉米大田产量多年平均值  $6037.5 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ,占旱作产量潜势的 82.8%,光温潜力的 61.6%;若能采用合理施肥方式和加强田间管理,进一步提高水分利用效率,发展节水农业,该区主要作物还有较大的增产潜力。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 中国科学院水利部水土保持研究所. 土地资源及生产力研究[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991. 4—6.
- [2] 杨文治, 余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京:

科学出版社, 1992. 68—72.

- [3] 梁银丽, 党廷辉, 张成娥. 黄土区农田生态系统生产力研究[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2000. 56—60.
- [4] 信乃谄, 王立祥. 中国北方旱区农业[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1998. 150—164.
- [5] 李玉山, 苏陕民. 长武王东沟高效生态经济系统综合研究[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991. 115—119.
- [6] 山仑, 陈培元. 旱地农业生理生态基础[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 194—211.
- [7] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区农业气候资源的合理利用[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990. 44—50.
- [8] 黄明斌, 李玉山. 黄土塬区旱作冬小麦增产潜力研究[J]. 自然资源学报. 2000, 15(2): 143—148.
- [9] 郝明德, 梁银丽. 长武农业生态系统结构、功能及调控原理与技术[M]. 北京: 气象出版社, 1998. 57—62.

(上接第 21 页)

三级地: 包括梁峁缓坡地和陡坡塌地, 坡度  $15^\circ \sim 25^\circ$ ; 该级土地对一般种植业有较严重的限制, 需投入较多的费用和劳动力才能获得好的收成, 粮食产量  $1200 \sim 1500 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 为该区重要农耕地。

四级地: 坡度  $25^\circ \sim 35^\circ$ ; 包括梁峁陡坡地及缓坡沟坡地。在该区面积很大, 占总面积的 34.30%。该级土地对种植业有严重限制, 水土流失严重, 地面起伏大, 较适宜林草生长, 现在为耕地者需退耕还林种草, 发展林牧业, 并配置水平阶等以保持水土。

五级地: 坡度为  $35^\circ \sim 45^\circ$ ; 包括梁峁±瓜地及陡坡沟坡地, 在研究区占地面积最大。该级土地由于土层薄, 植树造林也有严重限制, 投入产出比很低, 水土流

失相当严重, 现应采取封育改良措施, 发展天然草地, 并配以一定工程措施保持水土, 发展畜牧业。

六级地: 坡度  $> 45^\circ$ ; 主要包括崖±瓜地, 另外还有裸岩、沟床和陡崖。该级土地可用作生长灌木林及荒草, 必须限制人畜扰动, 防止崩塌、泻溜发生, 强制实行生态保护。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 宋桂琴. 黄土高原土地资源研究的理论与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [2] 常庆瑞. 渭北黄土台塬区土地资源评价及其开发利用[J]. 西北农业大学学报, 1993, 21(增刊): 50—55.
- [3] 常庆瑞. 黄土台塬区土地评价方法研究[J]. 干旱地区农业研究, 1995, 13(增刊): 119—127.