

长武试区耕地生产潜力和人口容量估算

聂庆华 宋桂琴 杨勤科 文雅

(中国科学院水利部西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘要 以长武农业生态试验区为例,采用地块为计算单元,探讨黄土高原沟壑区小区域范围内土地生产力估算。通过对各地块光、热、水、肥等生态因子对小麦、玉米两个主要作物产量效应分析,计算了试验区耕地生产潜力。并且结合试验区人口及人口消费资料,估算出试验区人口容量。

关键词 地块 耕地生产潜力 土地人口容量 长武试验区

Calculation of the Potential Productivity and Population Carrying Capacity of Cultivated Land at Changwu Experimental Station

Nie Qinghua Song Guiqin Yang Qinke Wen Ya

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract Taking Changwu agro-ecology experimental station as an example, the yield effectiveness of ecological factors is analyzed. These factors include sunshine, temperature, water and soil fertility, etc., which affect the yield of crops such as wheat and maize. and the potential productivity of cultivated land resources is calculated based on landpatch units within the small watershed of the loess plateau-gully region. Then population carrying capacity of land resources is estimated according to the consumption levels.

Key words Landpatch the potential productivity of cultivated land the population carrying capacity of land resources Changwu Experimental Station

土地人口容量是在确定区域范围及可预见时期内,一定投入水平下土地生产食物的能力和给定人均食物消费标准下,土地资源所能持续养活人口的数量。尽管人们对此已做过大量工作,然而,在小区域范围内,如何从理论上较精确地估算土地生产潜力和人口容量,却很少有人去探讨。本文以长武农业生态试验区为例,采用地块为计算单元,对耕地生产潜力和人口容量加以讨论,为试验区作物布局和发展规划的制定,提供科学依据。

长武试验区地处陕西省长武县西部王东沟流域,位居陇东—渭北塬区腹地。地貌分塬、梁坡和沟坡三大单元,坡塬兼有,利于发展以粮食为主的种植业及多种经营。试区属暖温带半湿润季风气候,热量资源能满足作物一年一熟和两年三熟需要,但降水变率大,易形成干旱,致使农业生产不稳

定,耕地土壤以黑垆上和黄垆上为主,物理性状良好,但养分不足,限制了作物产量提高。试区面积8.3km²,人口2 014人,其地理环境特征及社会经济条件,均可作为黄土高原沟壑区的缩影。

1 地块单元

地块是土地类型的最小单位,组成一地块的各要素(地貌、地形、土壤、土地利用方式、土壤侵蚀方式等)是相对一致的。地块是进行小尺度的土地资源研究和土地利用规划的基本单元也是进行小区域大比例尺土地生产潜力研究的基础,可以作为试区生产潜力的计算单元。

试验区地块的划分,由高级向低级逐级进行。首先确定塬边线和沟缘线,将整体分成塬、梁坡、沟坡三个地貌单元,面积分别占35%、36%和29%。塬面平坦,坡向单一。由塬地向南,四条冲沟与三条缓梁相间,构成沟坡土地系统。沟缘线以上至塬边线是古高原面被侵蚀切割成的谷坡即古代沟坡。当地习惯上将这谷坡连同以下的现代沟坡统称为“沟坡地”,我们称之为梁坡地。沟缘线以下至沟底是沟谷地。在这三部分的基础上,再根据坡度、坡向、土壤、土地利用等因素逐个划分出708块地块。因地形自北向南倾斜,因此,地块以南坡为主。

土地利用基本依据,地块性状以及所处位置,大体形成了利用上的规律:地面平坦,靠近村庄的土地为高产粮作带,向外延伸则为经济作物(含瓜类)带,向阳、光热能充足的坡、台逐渐成为高产优质的果树带。经营管理的集约化程度,随着交通运输条件的改善,基本改变了过去那种与距村庄远近成负相关的状况。

2 耕地生产潜力估算

作物产量形成,是在一定管理水平下,作物(及其群体)与环境相互作用的结果。通常,管理水平与投入有关。作物品种改良周期较长,作物群体结构也较稳定,故其对产量的影响在一定阶段内可以是一个常量,作物产量主要取决于环境条件。据此,逐一地量化各环境因子对产量的影响,并最终估算出耕地生产潜力,这是求解生产潜力的有效途径。

长武试验区属雨养农业,无灌溉条件,农业投入主要是品种、耕作、培肥和防治病虫害。故拟定(1)高投入:采取最佳农业措施,消除有肥料不足和病虫害对农作物影响;平整土地,使土壤充分蓄水,并使土壤水分可能满足作物需要。(2)中投入:采取适当农业措施,用相当数量肥料(取试区最高施肥量),无病虫害;平整土地,使土壤充分蓄水,但有径流流出。(3)低投入:采用目前试区最低施肥水平,基本无病虫害;平整土地,但以最大径流流出量作为水分损失部分。在此基础上,计算冬小麦和玉米两个主要作物生产潜力。

2.1 光能生产潜力(Y_0)

国内外学者常用光能利用率估算光合潜力,他们的思路和方法大体一致。作物光能生产潜力估算通式简化为:

$$Y_0 = K \cdot E \cdot Q \quad (1)$$

式中, K 是能量转换系数($=1\ 568.5\text{kg}/\text{ha}/\text{J}/\text{cm}^2$), E 为光能利用率, Q 为太阳总辐射。光能利用率有一个理论上限值,Loomis^[1]等从理论上推算是5.3%,Monteith认为5%,日本国际生物圈计划取值是4.36%。黄秉维取值为2.93%^[2],邓根云等取值4%^[3]。一般认为理论上光能利用率为3%~5%。根据笔者早先在洛川塬研究结果^[4]。黄土高原沟壑区冬小麦生长的四个阶段中,光能利用率分别为:(1)苗期—分蘖,0.44%;(2)越冬,2.91%;(3)返青—抽穗,6.57%;(4)成熟,5.19%。全生育期4.4%。玉米三个生育阶段中,(1)苗期—抽雄,4.1%;(2)抽雄—乳熟,6.5%;(3)乳熟—黄熟,3.7%。全生育期为5.56%。以上此作为长武试验区光能利用率的理论值。计算总辐射 Q 的一般通

式为:

$$Q = Q_0(a + bs) \quad (2)$$

式中 Q_0 代表比较稳定辐射值, S 为日照百分率。翁笃鸣^[5]以 Q_0 代表天文辐射, 西北地区 $a = 0.344$, $b = 0.390$, 进行大区域辐射分析。考虑其对长武试验区计算上不太适合, 我们按式(2)形式, 据西安市太阳辐射观测资料, 拟合得:

$$Q = Q_0(0.1645 + 0.5583s) \quad (3)$$

式中 Q_0 是天文辐射。进一步考虑坡度、坡向影响, 采用傅抱璞坡地公式计算 Q_0 。把 Q_0 代入(3)便可求出长武试验区太阳总辐射 Q , 进而估算出光能生产潜力(表1)。

表1 长武试验区作物光能、温光、水温光生产潜力 (t/ha)

作物	源地	缓坡		斜坡		陡坡	
		南坡	东西坡	南坡	东西坡	南坡	东西坡
冬小麦	Y_0	29.697	30.084	29.639	30.703	29.431	30.862
	Y_T	23.460	22.871	21.681	22.905	19.499	23.434
	Y_w	13.818	12.928	14.418	11.315	16.301	10.463
	Y_0	30.062	30.050	30.002	29.884	29.749	29.292
玉米	Y_T	24.589	24.664	24.550	24.212	23.802	21.628
	Y_w	19.388	19.096	19.124	18.401	19.446	16.848

2.2 温光生产潜力(Y_T)

与光能生产潜力相比, 温光生产潜力进一步考虑了热量条件对作物生产潜力影响。它等于温度效应系数($f_{(T)}$)与光能生产潜力之积:

$$Y_T = Y_0 \cdot f_{(T)} \quad (4)$$

研究表明, 维持作物正常光合作用需要有一个适当温度范围, 温度与作物光合速率近似于抛物线关系。人们常把这种关系表示为线性分面函数、二次曲线函数等形式。本文采用 В. π. дмитренко^[6]温度与光合速率模式:

$$f_{(T)} = e^{-a \left(\frac{T-T_0}{10} \right)^2} \quad (5)$$

式中, T_0 为最适温度, T 为气温, a 为参数: 当 $T \leq T_0$, $a = 1$; 当 $T > T_0$, $a = 2$ 。该式较好地反映了从生物学下限温度到最适温度, 温度光合速率曲线缓慢上升; 从最适温度到生物学上限温度, 曲线急剧下降这一规律。它在 $0^\circ\text{C} \sim 36^\circ\text{C}$ 气温范围内适合于作物全生育期中任一生长阶段, 并且此式在 $T_0 - 6^\circ\text{C} \leq T \leq T_0 + 6^\circ\text{C}$ 范围内, 效果良好。

长武试验区塬面条件与长武县气象站一致, 其温度可以直接采用测站结果。影响试验区沟坡温度微变化的主要因子有坡向、坡度以及植被、土壤干湿状况等。由于试区不同地形部位气温观测太短, 本文采用翁笃鸣^[7]方法, 结合定性分析, 对试验区坡面温度粗略估算。

黄土高原局地温度差异主要取决于太阳辐射、夜间冷空气下沉和地形对冷平流滞留作用等因素。考虑试区相对海拔高差不大于 286m, 平缓宽沟走向偏南, 窄沟耕地极少, 以及试区内地表性质均一, 故温度随地形变化仅与辐射有关, 可用坡地太阳辐射差异来近似说明温度分布差异。

大陆性气候区, 温度变化比辐射变化的位相落后一个月, 以长武试验区第 i 月总辐射 Q_i 和 $i+1$ 月冷温下 T_{i+1} 测值进行拟合, 得:

$$T_{i+1} = -20.72 + 0.31Q_i \quad (6)$$

T_{i+1} 与 Q_i 相关系数为 0.97。 Q_i 单位是 $\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{month}$ 。代入各地形部位总辐射值, 则得出不同地形各月气温值。

据式(5)、(4),即可求出长武试验区温光生产潜力(表1)。

2.3 水温光生产潜力(Y_w)

水温光生产潜力是光、热、水三大生态因素对作物产量效应的综合作用结果,也是试区作物产量的理论上限。它与气候生产潜力的差别在于不仅考虑了有效降水对作物产量的影响,而且也考虑了土壤水在作物产量形成中的作用。按照作物产量形成机制,理论上确定水温光生产潜力的方法是:用水分效应系数乘以温光生产潜力。即

$$Y_w = Y_T \cdot f(w) \quad (7)$$

国内外水分效应系数研究,大体有两种方法:一是采用降水量与作物需水量比较;二是采用实际蒸发量与作物需水量比较,实际蒸发量是大气、作物、土壤综合作用的结果,它更实际地反映了水与产量关系。Stewart^[9]在总结前人工作基础上,认为在考虑水分因子时,下式可以更好地用于预报产量:

$$f(w) = 1 - K_y(1 - ET/ET_m) \quad (8)$$

式中, K_y 是作物产量反映系数,据 J. Doorenbos 等^[8]研究冬小麦全生育期 $k_y = 1.0$,玉米 $k_y = 1.25$, E_T 为作物实际耗水量, ET_m 是作物需水量。

作物需水量等于可能蒸发量与作物系数(f)之积

$$ET_m = ET_0 \cdot f \quad (9)$$

式中, f 是与季节、作物品种及群体结构有关的参数, ET_0 可由改进后 Penman 公式^[10]确定。

作物耗水量,即实际蒸发量的观测在长武试验区尚未开展,没有这方面实测资料。考虑黄土高原旱作农业区生产特点,根据水分平衡原理,可以粗略地认为实际耗水量即是有效降水量(R)和土壤水分变化(ΔW)之和

$$E_T = R + \Delta W \quad (10)$$

式中, R 是降雨量减去径流流失量,在坡地上降雨量尚需进行坡度订正

$$R_a = R \cdot \cos \alpha \quad (11)$$

式中 R_a 为坡地降水量, α 为坡度。

ΔW 是各种作物生育期前后土壤水分变化,它与土壤水分有效性和土壤含水层厚度有关。代入各作物生育阶段 R 、 ΔW 值,即可求得 E_T 。

根据式(8)、(7),则可求得水温光生产潜力(表1)。它从一定意义上,也代表了试验区高投入下的产量水平。

2.4 土壤—气候生产潜力(Y_s)

土壤—气候生产潜力研究是在水温光生产潜力基础上,引入了土肥因子。其计算是先确定土壤效应系数,再加以乘以水温光生产潜力,所得结果土壤—气候生产潜力

$$Y_s = f(s) \cdot Y_w \quad (12)$$

目前,土壤效应系数的确定尚没有较为理想的模型。对前人在这一领域研究情况,笔者曾作过评述^[11]。本文采用因子加权评分和法来估算 $f(S)$:

$$f(s_i) = \sum_{j=1}^n W_{ij} A_{ij} \quad (13)$$

式中, W_{ij} 是 i 土类中 j 因子重, A_{ij} 是 j 因子评分(取值为0~1)。

与地块相对应的土壤单位是土种。以土种为评分单元,选择土壤质地、耕层厚度、土体构型、有机质含量、碱解氮含量、速效磷含量及阳离子交换量和土壤侵蚀等8个因子。用 AHP 法确定它们的产量权重分别为 $[0.05, 0.03, 0.03, 0.30, 0.16, 0.30, 0.11, 0.02]^T$

各因子评分标准以黄土高原土壤调查资料为基础,并结合高原沟壑区农业生产特点,加以确认。便可得长武试区各地块土壤肥力评分值,即是其土壤效应系数 $f(s)$,把 $f(s)$ 值代入(12),便可得试区各地块土壤—气候生产潜力(表2)。

2.5 耕地生产潜力(Y_1)

在 Y_1 基础上,耕地生产潜力还应考虑培肥和病虫害及其它不可测因子对产量影响,实际上即应考虑投入这一实际情况。

高投入水平下,由于土壤能满足作物对肥料的需要,故土效应系数计算中,应消除氮素和磷素不足的影响;其次,假定灾害及其它不可测因子造成减产5%。则求出高投入水平下耕地生产潜力 Y_1 (表2)。

$$Y_1 = 0.95Y'_1 \tag{14}$$

表2 长武试验区作物土、气候生产潜力和耕地生产潜力(t/ha)

作物		源地	缓坡		中坡		陡坡	
			南坡	东西坡	南坡	东西坡	南坡	东西坡
冬小麦	Y_0	5.372	4.909	5.479	3.926	5.656	3.578	5.282
	Y_1	6.564	6.141	6.840	5.375	7.579	4.969	7.81
	Y_2	4.676	4.153	4.635	3.321	4.785	3.027	4.469
	Y_3	3.463	3.191	3.561	2.552	3.676	2.325	3.433
	Y_4	7.474	7.251	7.267	6.401	6.748	5.672	6.659
玉米	Y_1	9.209	9.071	9.084	8.741	9.162	8.002	9.286
	Y_2	6.353	6.163	6.177	5.441	5.736	4.898	5.660
	Y_3	4.858	4.713	4.724	4.161	4.386	3.745	4.328

中投入下,长武试区塬面和缓坡地施尿素(已折合)0.6t/ha, P_2O_5 0.225t/ha,灾害及其它不可测因子造成减产10%。若以作物以尿素利用率39.1%,对 P_2O_5 利用率:小麦10%,玉米18%。折算为土层碱解氮和速效磷增量,代入式(13)和(12),重新计算 $f(s)$ 和 Y_s ,则得中投入下 Y_2 为

$$y_2 = 0.9 \cdot Y'_1 \tag{14}$$

低投入下,根据调查资料,试区塬面和缓坡地尿素施量为0.2t/ha, P_2O_5 0.075t/ha;以灾害及其它不可测因子造成减产20%。得耕地的生产潜力 Y_3

$$Y_3 = 0.8Y'_1 \tag{14}$$

其计算结果接近现阶段产量实际水平。

3 土地人口容量

作为土地生产潜力研究的延续,土地人口容量是一个更加综合的问题,且一般方法很难使之得到圆满处理。本文在试区人口及人口消费水平连续详查基础上,结合预测和假定方法,来讨论长武试区人口容量。

3.1 试区和生活水平确定

生活水平是一定社会条件下,维持人类生活所需的物质资料和精神环境,其中最基本的是维持人类生存所需食物量。这里我们仅以粮食需求量作为指标,拟定长武试验区三种生活水平:(1)第Ⅰ级,年均粮食500kg,这一假设中已包含了林、果等用对地粮食潜力的影响;(2)第Ⅱ级,年人均粮食400kg。相当于试验区调查成人标准日用粮食量;(3)第Ⅲ级,年人均粮食为300kg,这一标准接近于目前试验区人均粮食实际消耗量。

3.2 用地结构与土地生产潜力

确定用地结构及其可能变化是人口容量研究的一个难题,因为各种用地之间并没有一个永恒

的比例;通常的优化用地结论中,其优化的准则也随人们对问题探讨的角度和需求而异,故此优化也不是一定有理由说明满足了区域实况,加上经营单位以家庭为主。这些就给用地规划增加了不可测因子。本文结合长武试验区土地规划资料,近似地假定三种不同投入水平用地结构(1)玉米均分布在试区塬面上,高投入,玉米面积40.5ha;中投入,玉米面积28.7ha;低投入,玉米面积25.3ha。(2)三种不同投入,冬小麦在不同地形部位种植面积见表3。

表3 不同投入水平冬小麦种植面积(ha)

投入水平	塬地	缓坡		中坡		陡坡	
		南坡	东西坡	南坡	东西坡	南坡	东西坡
I	70	10	20	3	6	6	12
II	75	15	25	5	8	10	15
III	80	20	30	7	10	15	20

依此,长武试区在不同投入水平下,土地粮食生产潜力分别为:高投入时,1 208.24t;中投入时,863.4t;低投入时,728.76t。

3.3 土地人口容量估算

比较长武试验区土地生产潜力与人均粮食需求量,试区土地人口容量结果如表4所示。若试区

表4 长武试验区土地人口容量(人)

生活水平	高投入	中投入	低投入
I	2417.0	1727.0	1458.0
II	3021.0	2159.0	1822.0
III	4027	2878.0	2429.0

人口2 014人计,目前试区基本已解决温饱问题;假如生产在一个较长时期内维持中等投入,按人均400kg/a 粮食计,则试区最大人口容量为2 159人。在目前人口自然增长率22‰下,“八五”期间,试区人口达到饱和,人口增长势必导致粮食用地面积扩大及经济收益下降。若人均所需粮食按300kg/a 计,则试区人口容量为2 878人,以目前人口增长率计,则到2008年将达到饱和。

4 结 论

4.1 长武试验区农业生产的主要限制因素是土肥条件,水分状况在较大程度上影响产量提高,而光温条件却能满足作物高产要求。今后试区粮食生产的出路在于培肥地力和合理安排种植,充分利用有限水土资源。

4.2 试区耕地粮食生产量足以维持现有人口生活所需,但若不控制人口增长,中等投入下按人均400kg 粮食生活水准,则3年后,人口饱和,土地将处于临界人口容量状况。

4.3 上述计算的不足在于对林网胁迫造成减产及因为水、肥观测资料的限制,仍使一些可能造成试区潜力下降因子未能量化,从而使结论只有概略意义。

参考文献

- 1 R. S Loomis. et al. 1963, Maximum crop productivity: An Estimate. Crop Sci. Vol. 3, No. 1
- 2 黄秉维. 中国农业生产潜力—光合潜力. 地理集刊, 1985, Vol. 17, 科学出版社
- 3 邓根云. 我国光温资源与生产潜力. 自然资源, 1988, No. 4
- 4 聂庆华. 陕西省洛川县土地生产潜力及其人口容量研究. 自然资源, 1992, No. 3
- 5 翁笃鸣. 试论总辐射的气候学计算方法. 气象学报, 1964, Vol. 34. No. 3
- 6 В. π. Дмценко. 论作物产量形成的水分气象条件评价方法. 作物气象生态译丛, 农业出版社, 1984
- 7 翁笃鸣. 山区地形气候. 科学出版社, 1990年
- 8 J. Doorenbos. et al. 1979, Yield Response to Water. FAO. Rome

- 9 J. I. Stewart. et al, 1977, Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil Utab. Water lab. pub. No. PRWG151—1, Logan P. 191
- 10 H. L. Penman, Evaporation over the British Isles, Quart. J. Roy. Meteo. Soc. Vol. 76. No. 330
- 11 聂庆华. 耕地生产潜力计算中土壤效应系数的评估. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, Vol. 16, 1992

~~~~~  
(上接第105页)

离沟头30m处,开挖蓄水涝池。涝池上下底为不规则梯形断面,深2.2m,蓄水容积2200m<sup>3</sup>,从1987—1989年3年累计拦蓄泥沙469t。

沟头泻洪建筑物由挑洪鼻坎和刚性泻水槽组合而成。洪水来量较大时,水流经挑流鼻坎把洪水抛向空中,借空气摩擦作用消除能量,散向沟底,来水较小时,水流跌入刚性泻水槽,流入沟底。

淤地坝是抬高沟床侵蚀基准面,停止沟床侵蚀的一项骨干工程。大岔沟淤地坝高28m,拦蓄着上游的所有来洪和冲刷下来的泥沙,今蓄水约40000m<sup>3</sup>,又是台地的灌溉水源工程。

在淤地坝区两岸的坡地上,整地造林种草,固定岸坡。

## 4 结束语

实践证明,大岔沟流域这种以强化降水就地拦蓄入渗的水土保持工程措施体系的配置方式,是符合这里的气候条件和自然地理条件的,并已初步发挥效益。但由于时间较短,以及工程措施施工的强烈季节性,一些工程措施还刚刚配置就位,未曾经历更多的洪水考验,需继续观测,使之臻于完善。

## 参考文献

- 1 朱显谟. 黄土高原土地的整治问题. 水土保持通报, 1984, 第4期
- 2 王继武等. 固原县上黄试验区高产人工草地建设途径与技术. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1990, 第11期