

耕地生产潜力计算中土壤效应系数的评估

——以陕西省洛川县为例

聂庆华

(中国科学院西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

摘 要

估算土壤效应系数是耕地生产潜力计算模型中一个亟待解决的问题。该文尝试性地以层次分析法(AHP)进行土壤效应系数的测度,使土壤肥力对作物产量的影响得以定量表示,并且指出了不同土壤环境下,作物产量的差异程度。

关键词 土壤效应系数 层次分析法 生产潜力

1 问题起源与现状

以“机制法”计算耕地生产潜力,就是针对具体作物及生产方式,系用从光合生产潜力、温光生产潜力、水温光生产潜力、土壤生产潜力到耕地生产潜力的技术路线,详细地剖析作物产量的形成过程,量化各种生态因子的产量效应,指明产投关系。目前,人们就光、温、水等气候因子对产量影响的研究已日臻完善,但如何估算土肥因子的产量效应,自始至终是耕地生产潜力研究中的一个难题。

水温光生产潜力估算实质上是在理想土肥条件下,讨论作物——土壤——大气系统生产力。实际上,耕种土壤并不满足作物生长所要求的最适条件。进一步地考虑实际土壤与理想土壤^[1]之差别,即根据实际土壤肥力状况与作物生长最适条件土肥之差别,估算出的生产力,即是土壤生产潜力。按作物产量的形成机制,其计算公式为

$$y_s = y_w \cdot f(s) \quad (1)$$

式中 y_s 和 y_w 分别代表土壤、水温光生产潜力, $f(s)$ 代表土壤效应系数。

对土壤效应系数的确定,初期的处理方法常常忽视部分与整体关系,强调土壤的某一性状在土壤肥力中的重要性。以土壤的一个或一组物理性质表征土壤肥力这一综合指标,其代表人物是 В. Л. Дмитриенко^[2] 和 M. Frissel^[3] 等,他们分别用土壤容重和土壤阳离子饱和度来确定 $f(s)$ 值。或者以作物生长所需营养元素来替代土壤肥力,用土壤中氮、磷、钾等元素含量来表示土壤肥力水平,如 Mitscherlich 产量与施肥量关系的试验公式,以

及我国学者梁荣欣^[6]、杨子生^[6]等的 $f(s)$ 估算模型。

70 年代末,意大利植物营养实验研究所^[7]按 W. Larcher 建议,在采用 Mitscherlich 公式计算土壤中氮、磷、钾含量对产量效应基础上,提出用耕层深度、盐基饱和度、有机物百分比和土壤含盐度作为土壤肥力的订正指标。1980 年 R. Higgins 以“生产力的土壤学基础”为题,在国际水稻研究所主持召开的“不同环境下农田作物潜在生产力”学术讨论会上,介绍了粮农组织(FAO)的工作,他们采用定性评价模型,求得土壤生产潜力指数,作为土壤质量的综合指标。

由于作物——土壤——大气系统十分复杂,土壤与作物相互协调的机制仍欠明确。尽管前人在土壤性状与作物产量关系上已做了大量的工作。然而,直到今日尚没有理想的 $f(s)$ 计算模型,要进行作物产量与土肥关系——土壤效应系数的定量研究仍很困难。本文拟借助评价方法来估算土壤效应系数 $f(s)$ 。

2 土壤效应系数的估算方法

以计算土壤效应系数为目的的土壤评价,其基础是土壤属性,并不涉及土壤环境因素,也不考虑土壤水分状况。但评价建立在以下四个前提下:(1) 各种类型作物对土壤物理条件要求是不同的。由于大多数谷类作物对最适生态条件显示出许多共同的要求,所以,该评价适合各种作物;(2) 评价的前提之一,是维持土壤的持久利用,不引起土壤退化;(3) 评价要客观地反映各土壤要素对产量影响的相对重要程度;(4) 评价的结果在一定区域、时段内,具有可比性。本文评价的结论仅适于黄土高原渭北高原区现代耕作土壤。

2.1 评价单元

评价单元的选择应与所研究的区域范围相协调。考虑到县级耕地生产潜力计算单元是农业生态小区,与之相对应的土壤分类单位是土属,故采用土属作为评价单元。即以土属为土壤效应系数的计算单元。同一土属对产量的影响是一致的。

2.2 评价因素

选定评价因素是整个评价的关键。能否正确地反映土壤生产力水平,与能否正确地选择评价因素有密切关系。FAO在评估土壤生产潜力指数时,曾采用土壤水分、排水状况、有效土层厚度、土壤结构、盐基饱和度(或可溶性盐含量)、有机质含量、粘土矿物特性和矿物质含量等 8 个指标作为评价因素。根据黄土高原农业生产状况,各土壤因素对作物产量的制约程度及差异性,我们选取土壤质地、耕层厚度、土体构型、有机质含量、碱解氮、速效磷、阳离子交换量和土壤侵蚀等 8 项因子。它们分别代表了土壤基础因素、土壤养分水平、土壤保肥状况和障碍因素,反映了土壤肥力水平。

2.3 评价方法

用因子加权评分和法进行土壤质量评估,它以土壤肥力作为土壤与作物关系的一个综合指标。评分和即代表土壤效应系数 $f(s)$:

$$f(s_i) = \sum_{j=1}^n w_{ij} A_{ij} \quad (2)$$

式中 w_{ij} 、 A_{ij} 分别是指第 i 土属、 j 因素的权重和评分,取值区间约为 $(0, 1)$ 。 $f(s_i)$ 是

第 i 土属土壤效应系数。若以土类为计算单元,各土类 $f(s)$:

$$f(s) = \sum_{i=1}^n f(s_i) \cdot x_i \tag{3}$$

式中 x_i 为 i 土属在该类土壤中所占有的面积百分比。

权重因素 w_{ij} 的测度采用层次分析法^[8](AHP)。具体步骤为:

2.3.1 建立递阶层次结构 把选定的土壤评价因素按其与土壤肥力的关系建立递阶层次结构(图1)。

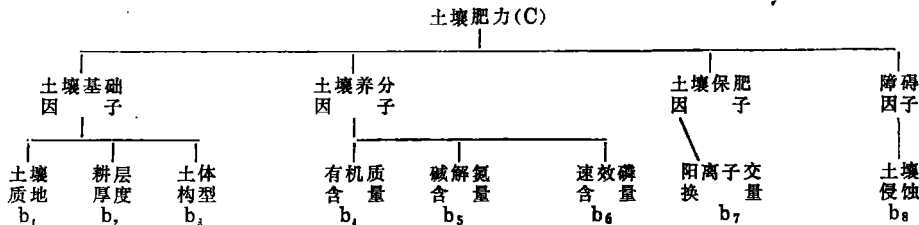


图1 影响土壤肥力因素递阶层次结构

2.3.2 构造两两元素比较判断矩阵 对土壤肥力水平(c),两个元素 b_m 和 b_n 相对重要性可以使用比例标度1~9来确定。标度的含义:两个元素相比较,若它们具有同等重要性,则取 $b_{mn} = b_{nm} = 1$;若 m 元素比 n 元素稍微重要, $b_{mn} = 3$;若 m 元素比 n 元素明显重要, $b_{mn} = 5$;若 m 元素比 n 元素强烈重要, $b_{mn} = 7$;若 m 元素比 n 元素极端重要, $b_{mn} = 9$ 。依此,在特定区域(黄土高原)条件下,可选用德尔菲法来比较所选元素 $b_1 \sim b_8$ 的相对重要程度,其结果构成一个判断矩阵 B :

$$B = \begin{matrix} & \begin{matrix} b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 & b_7 & b_8 \end{matrix} \\ \begin{matrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \\ b_7 \\ b_8 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 8 & 3 & 1/7 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 5 \\ 1/3 & 1 & 1 & 1/9 & 1/7 & 1/9 & 1/7 & 8 \\ 1/3 & 1 & 1 & 1/9 & 1/7 & 1/9 & 1/7 & 8 \\ 7 & 9 & 9 & 1 & 8 & 1 & 5 & 9 \\ 5 & 7 & 7 & 1/3 & 1 & 1/3 & 3 & 7 \\ 7 & 9 & 9 & 1 & 8 & 1 & 5 & 9 \\ 5 & 7 & 7 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/9 & 1/7 & 1/9 & 1/5 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

2.3.3 由判断矩阵计算元素相对权重 对矩阵 B ,解特征根方程:

$$Bw = \lambda_{max} w$$

所得 w 经正规化,即为元素 $b_1 \sim b_8$ 在肥力水平(c)下排序。求得 $w = [0.05, 0.03, 0.03, 0.30, 0.16, 0.30, 0.11, 0.02]^T$ 。

2.3.4 一致性检验 对矩阵 B 。求得最大特征根 $\lambda_{max} = 8.819$ 。定义一致性指标 $(C.I.)$:

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (n \text{ 为矩阵阶数})$$

求得 $C.I. = 0.117$ 。从宾州大学构造的平均随机一致性指标 $(R.I.)$ 表上查得当 $n = 8$ 时, $R.I. = 1.41$ 。则一致性比例 $(C.R.)$ 为

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} = 0.083 < 0.10$$

故上述判断矩阵的一致性是可以接受的。

因此各元素对土壤肥力影响权重 w_j 分别为：土壤质地 0.05，耕层厚度 0.03，土体构型 0.03，有机质含量 0.30，碱解氮 0.16，速效磷 0.30，阳离子代换量 0.11，土壤侵蚀 0.02。

各因素评分等级 A_j ，参照《陕西土壤》，结合黄土高原沟壑区特点，拟定如下(表1)。土

表1 耕地土壤质量因素评分指标

质量因素	代号	指标项目	单位	初值	肥土值	比值	A_j
基础因素	b_2	耕层厚度	cm	0	≥ 18	1.8	$0^+ \sim 1^-$
养分因素	b_4	有机质含量	%	0.24	≥ 1.8	0.16	
	b_5	碱解氮	$mg \cdot kg^{-1}$	9.5	≥ 150	14	$0^+ \sim 1^-$
	b_6	速效磷	$mg \cdot kg^{-1}$	1.9	≥ 40	3.8	
保肥因素	b_7	阳离子代换量	me/百克土	3.0	15	1.2	$0^+ \sim 1^-$

壤质地(b_1)中、轻壤最佳，取 $A = 1.00$ 重壤、粉土， $A = 0.90$ ；粉粘土、砂粉土， $A = 0.80$ ；壤粘土、面砂土， $A = 0.70$ ；粘土、细砂土， $A = 0.60$ ；粗砂土、重粘土， $A = 0.50$ 。土体构型(b_3)以上轻下重者最佳， $A = 1$ ；质地均一型， $A = 0.75$ ；上重下轻型， $A = 0.50$ 。土壤侵蚀(b_8)以坡度为 $15^\circ \sim 25^\circ$ 时最为强烈，取 $A = 0.25$ ；坡度 $10^\circ \sim 15^\circ$ ， $A = 0.50$ ；坡度为 $3^\circ \sim 10^\circ$ ，取 $A = 0.85$ ；坡度 $0^\circ \sim 3^\circ$ ， $A = 1.00$ 。

则据式(2)和研究区土壤特征，即可求得土壤效应系数 $f(s)$ 。

3 洛川县土壤效应系数的估算

洛川县位于陕西省中部，系渭北黄土高原沟壑区。本区属暖温带半湿润大陆性季风气候区，光热条件可以满足作物二年三熟需要，但降水分配不均且年际变化大，制约农业的发展。该县土地面积 18.05 万 ha，山川塬兼有，且塬面积大，土壤质地良好，利于粮食生产基地的建立和农林牧多种经营的发展。长期以来，洛川县就是陕西省重要产粮县之一。

洛川县主要耕作土壤有分布在塬面的黄盖粘黑垆土、黄盖侵蚀粘黑垆土，黄盖淋溶粘

表2 洛川县重要耕作土壤肥力状况及其 $f(S_1)$

土属名称	指标状况								$f(s_1)$
	b_1	b_2 (cm)	b_3	b_4 (%)	b_5 $mg \cdot kg^{-1}$	b_6 $mg \cdot kg^{-1}$	b_7 me/100g土	b_8	
黄盖粘黑垆土	中壤	19	轻壤 中壤	0.911	43.01	5.4	9.84	$0^\circ \sim 5^\circ$	0.384
黄盖侵蚀粘黑垆土	中壤	15	轻壤 中壤	0.861	41.8	5.1	11.10	$0^\circ \sim 10^\circ$	0.374
黄盖淋溶粘黑垆土	中壤	13	轻壤 中壤	0.943	45.87	6.5	12.73	$0^\circ \sim 3^\circ$	0.421
塬黄壤土	中壤	16	质地均一	0.890	39.0	5.77	9.63	$3^\circ \sim 10^\circ$	0.363
坡黄壤土	中壤	13	质地均一	0.847	36.8	6.55	9.63	$> 10^\circ$ $> 15^\circ$	0.347 0.342
川台黄壤土	中壤	15	质地均一	0.900	42.8	6.17	9.63	$0^\circ \sim 10^\circ$	0.371
河淤土	砂粉土	20	粉土 砂土	0.857	39.5	9.5	9.60	$0^\circ \sim 3^\circ$	0.378

黑垆土和塬黄壤土。分布于坡面上的坡黄壤土。分布于川台地上的川台黄壤土和河淤土。它们的肥力状况如表2所示。

把表2中各土壤肥力状况指标值代入式(2)中,则求得洛川县各主要耕作土壤的土壤效应系数 $f(s_i)$ (表2)。

再把 $f(s_i)$ 和各土属在各自所属土类中所占百分比(表3)代入式(3),即得各耕作土类土壤效应系数 $f(s)$ 。

表3 洛川县耕作土类 $f(s)$ 值

土 类	土 属	面积百分比	$f(s)$
黑 垆 土	黄盖粘黑垆土	44%	0.381
	黄盖侵蚀粘黑垆土	48.6%	
	黄盖淋溶粘黑垆土	7.4%	
黄 土 性 土 (黄壤土)	塬黄壤土	9.5%	0.347
	坡黄壤土	87.1%	
	川台黄壤土	3.4%	
淤 土	河淤土	≈100%	0.378

从计算结果可见,土肥条件是洛川县作物产量的主要限制因素,它使水温光生产潜力下降55%~65%。其中养分不足又是主要因素。增施氮肥、磷肥均会有良好的增产效果。当然上述讨论仍未考虑因子间的相互拮抗,也没有讨论当养分充足时,整个土壤中,主要限制因子的转化及各因子相对权重的变化。

4 小 结

按层次分析法确定土壤各肥力因子相对重要程度,并最终确定土壤效应系数。它使土壤效应系数中所含的有形与无形、可以定量测定和定性描述的因子在建模中得到反映,克服以往用简化假设方法去适应定量化模拟的缺陷。其处理问题的方式顺应了土壤肥力测度上的复杂性。

但是以上方法仍有较大局限性。其结论是否准确取决于两个方面。其一是对土壤肥力各因素的定量测度能力,包括土壤要素的选择与各要素在土壤肥力中相对重要性的判断是否准确,和土壤实测资料的准确性与代表性;其二是肥土条件的设定与难以定量表示的理想土壤条件间的差异程度。尽管如此,当AHP与德尔菲法相结合时,往往会使结论比较客观。AHP法的一致性检验也是进一步从整体上判别相对重要性准确与否的一个准则。

参考文献

- [1] 黄秉维. 中国农业生产潜力—光合潜力. 地理集刊, 科学出版社, 1985; 17
- [2] В Л Дми́тренко. 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
- [3] 牛文元. 农业自然条件分析. 科学出版社, 1981
- [4] E W 腊塞尔. 土壤条件与植物生长. 科学出版社, 1979
- [5] 梁荣欣等. 环境因子对旱地农作物产量影响程度的系统分析. 干旱区农业研究, 1988; (3)
- [6] 杨子生. 四川西昌市土地生产潜力评价的探讨. 自然资源, 1989; (6)
- [7] 意大利植物营养实验研究所. 农业生产潜力计算. 国外农学—农业气象, 1987; (4)
- [8] T L Satty. 层次分析法—在资源分配、管理和冲突分析中的应用. 煤炭工业出版社 (许树柏等译), 1988

THE EVALUATION OF SOIL EFFECTIVE COEFFICIENT IN CALCULATION OF THE POTENTIAL PRODUCTIVITY OF CULTIVATED LAND

—With Luochuan County as an Example

Nie Qinghua

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

Abstract

It is a problem to be solved urgent need to estimate soil effective coefficient in calculation model on the potential productivity of cultivated land. The Analytic Hierarchy process (AHP) is used attemptly for the evaluate of soil effective coefficient. The effect of soil fertility on crop product is expressed quantitatively. And the difference level of yield is indicated further in the different soil condition.

Key words the soil effective coefficient the analytic hierarchy process the potential productivity