

中国水蚀区土壤可蚀性指数诺模图的制作与查用

张爱国, 陕永杰, 景小元

(山西师范大学城市与环境科学学院, 山西 临汾 041004)

摘 要: 为了使我国水蚀区土壤可蚀性指数回归方程的应用更为方便, 设计制作了土壤指数诺模图。先分析了土壤指数诺模图制作的数理基础, 再通过对比土壤指数诺模图和 K 因子诺模图的制作技术特点, 分析了“序解轴转换法”绘制土壤指数诺模图的技术创新之处; 然后对土壤指数诺模图的绘制过程和查用步骤进行了说明, 最后对土壤指数诺模图在制作和查用中尚存在的问题作了初步探讨。

关键词: 土壤指数回归方程; K 因子诺模图; 土壤指数诺模图; 序解轴转换法

中图分类号: X144, X82

文献标识码: A

在“中国水蚀区土壤可蚀性因子数学模型研究”^[1]中, 通过多元非线性回归分析, 得出的我国水蚀区土壤可蚀性指数(以下简称为“土壤指数”)与各土壤理化指标之间的回归方程是

$$S = 661 - 3.2X_1^2 + 0.4X_2 - 1.1X_3 - 2.8X_4 -$$

$$28.3X_5 - 105.5X_6 - 0.02X_7^2 + 4X_7$$

$$(F = 71.8, R^2 = 0.653, \alpha = 0.05)$$

式中 S 是土壤指数($t \cdot l^{-1} \cdot a^{-1} \cdot km^{-2}$), X_1 代表有机质含量(%), X_2 代表粉粘比(%), X_3 为 > 0.25 mm 风干土水稳性团粒含量(%), X_4 代表有效根密度($mm \cdot 1000^{-1} \cdot cm^{-3}$), X_5 代表 pH 值, X_6 代表容重($g \cdot cm^{-3}$), X_7 代表含水量(%).

在已知各土壤理化指标值的情况下, 用上述回归方程计算土壤指数是可行的, 但实践上不大方便。为了方便上述回归方程的应用, 借鉴美国通用流失方程中的 K 因子诺模图(以下简称为“ K 诺模图”)制作经验, 先制作土壤指数回归诺模图(以下简称为“ S 诺模图”), 再通过查图直接获取土壤指数值。

1 S 诺模图制作的数理基础

为了制图方便, 首先要把上述回归方程进行有序分解, 即变换为下式:

$$S = [121 - 3.2X_1^2 + 0.4X_2] - 1.1X_3 - 2.8X_4 - [28.3X_5 - 290] - [105.5X_6 - 200] - [0.02X_7^2 - 4X_7 - 50]$$

并令 $S_1 = 121 - 3.2X_1^2 + 0.4X_2$

$$S_2 = S_1 - 1.1X_3$$

$$S_3 = S_2 - 2.8X_4$$

$$S_4 = S_3 - [28.3X_5 - 290]$$

$$S_5 = S_4 - [105.5X_6 - 200]$$

$$S_6 = S_5 - [0.02X_7^2 - 4X_7 - 50]$$

之所以在上面几式中要加上适当的常数项, 主要是为了使分解项(S_1 至 S_6)的数值变为正值(“正数化处理”, 见后分析), 这样便于制图。

在输入 X_1 的值之后, 通过以上函数递推关系, 从而得到作为各个制图曲线(X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、

收稿日期(Received date): 2002- 12- 20; 改回日期(Accepted): 2003- 08- 10.

基金项目(Foundation item): 中国科学院知识创新项目“中国水土流失宏观分析与评价研究”(99- 01- 05); 中国科学院知识创新重大项目“黄土高原区域水土保持环境效应与生态环境建设对策”(KZCX1- 10- 04)。[Fund Items: Macro- Analysis- and- Assessment of Soil and Water Loss in China supported by the knowledge innovation project of Chinese Academy of Sciences. 99- 01- 05; The environmental effects of soil and water conservation and countermeasures of eco- environment construction in Loess Plateau supported by the knowledge innovation major project of Chinese Academy of Sciences. KZCX1- 10- 04]

作者简介(Biography): 张爱国(1966-), 男(汉族), 陕西省洛南县人, 土壤学博士, 副教授, 主要从事水土流失土壤因子和地理信息系统研究。[Writer Introduction: Zhang Aiguo(1966-), male, the Han nationality, native place is Luonan County of Shaanxi. Doctor of Agrology, associate professor, mainly engage in the study on soil factors for the soil and water loss process and GIS. Tel: 0357- 2053781. E- mail: zag345@163.com.]

X_7 的函数表达式

$$X_2 = 2.5 S_1 + 8 X_1^2 - 302.5$$

$$X_3 = S_1 - S_2$$

$$X_4 = 0.36(S_2 - S_3)$$

$$X_5 = 0.04(S_3 - S_4) + 10.3$$

$$X_6 = 0.01(S_4 - S_5) + 1.9$$

$$X_7^2 - 200 X_7 = 50(S_5 - S_6) + 2500$$

2 S 诺模图制作的主要技术

2.1 K 诺模图制作技术及其评价

美国通用土壤流失方程中, K 值反映土壤的可蚀性。根据土壤几个主要性质与实测到的 K 值, Wischmier 等人建立了如下土壤 K 因子与土壤主要性质之间的数学关系式^[2]

$$K = [2.1 \times 10^{-4} \times (N_1 \cdot N_2)^{1.14} (12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)] / 100$$

式中 K 为无量纲的土壤可蚀性预测值, N_1 表示粉粒和极细砂粒(0.002~0.1mm)的含量(%), N_2 表示砂粒(0.1~2.0mm)含量(%), a 表示有机质百分含量(%), b 表示土壤结构的分级系数, c 表示土壤剖面的渗透分级系数。

美国学者根据上述公式编成了土壤可蚀性 K 诺模图^[3], 由此图可查出具有不同理化性质的土壤 K 因子值。

在绘制 K 诺模图的过程中, 主要使用了以下几个技术:

(1) K 因子方程的变量分解、叠加递进的多级近似技术。先把 K 值分解为如下四个叠加递进项形式:

$$S_1 = f(N_1, N_2) \quad S_2 = f(S_1, a)$$

$$S_3 = f(S_2, b) \quad K_4 = f(S_3, c)$$

式中 S_1 、 S_2 、 S_3 递推函数中多级逼近计算的虚拟因变量, K 、 N_1 、 N_2 、 a 、 b 、 c 的含义参前所述。

第一级近似值 S_1 只考虑 N_1 和 N_2 对 K 的影响, 第二级近似值再叠加 a 对 K 的影响, 依此类推, 进行多级近似逼近计算。在制图上, 把自变量 N_1 、 N_2 和 a 、第一近似值 S_1 和第二近似值 S_2 先绘在一个分幅图上, 再把自变量 b 和 c 、近似值 S_3 和最终查算值 K 绘在另一个分幅图上, 两幅图上的 S_1 、 S_2 、 S_3 和 K 有叠加递进关系, 这一递进关系也决定了查图时的先后次序。

(2) 方程自变量的曲线化处理。一般图幅是把自变量(影响要素)设置在纵横轴上, 把因变量绘成曲线, 但诺模图不同, 因为采用了上述的方程多级分解处理手法, 要是把因变量(中间近似值)绘成曲线, 则无法实现中间多级近似值的轴间变换。所以在绘制 K 因子诺模图时, 除了第一自变量 N_1 绘在纵轴上外, 其余的自变量(N_2 、 a 、 b 和 c) 全绘成曲线。

(3) 函数自变量的分级处理。为了避免成果图上的自变量曲线过密, 加强图的视觉效应, 对几个作为自变量的土壤属性指标进行了分级处理。如把土壤结构分为四级、土壤渗透性分为六级。

(4) 横轴隐藏处理。这主要是成图后为了简化图上内容而作的一种黑箱化处理, 因为横轴隐藏并不影响查图用图, 尽管绘图时必然要用到横轴(因为第一级和第三级近似值要在横轴上表示)。

(5) 添加副轴及其反向标度处理。主要是为了避免同一幅图上的几组曲线走向相同所带来的线条过密及其视角混乱效果。

(6) 纵轴对应变换处理。在绘制 K 诺模图时, 把 N_1 、 N_2 和 a 三个自变量、 S_1 和 S_2 两个近似值绘在一个分幅图上, 把 b 和 c 两个自变量、 S_3 近似值和 K 最终查算值绘在另一个分幅图上, 这两幅图通过 S_2 在 Y 轴上的对应转换有机地结合为一幅整图。

K 诺模图的上述几个绘制技术是很有特色的创举, 不但使图上表达了较多的制图内容, 而且使图上线条清晰易于查看。更重要的是, 上述几个绘制技术能给我们带来新的思路启发:

(1) 横轴隐藏处理方法启发我们产生“虚拟轴”的思想。因为有时在图上不标出横轴(或纵轴)并不影响查图用图, 反过来说, 在制图过程中重叠共享使用同一轴以及同轴异制标度也是可行的。事实上, 在一个直角平面内, 除了常用的、可见的两个轴(X 轴和 Y 轴)之外, 其余反复使用的 X 轴和 Y 轴皆为虚拟轴。在绘制 S 诺模图时, 若把 X_1 和 S_2 绘制在同一 X 轴上(S_4 和 S_6 也是如此处理), S_1 和 S_5 绘制在同一 Y 轴上, 这就是共享同轴的一种虚拟轴处理方法。

(2) 纵轴对应变换处理启发我们产生“坐标象限轴变换”的思想。在平面几何中, 一个直角坐标系可分出四个象限, 任何两个相邻象限必然要共享某一个轴, 这个轴上的数据也必然会在两个相邻象限间进行自然变换。在绘制 S 诺模图时, 就可把除 X_1

之外的其余六组自变量曲线分别绘在四个象限中(经过“正数化处理”后), 由于多级近似值 S_1 至 S_6 都标在 X 、 Y 轴上, 低级近似值的输出结果自然被相邻轴变换利用为较高级近似值计算的输入数据, 实现了近似值叠加递进、逐级逼近的技术要求。

2.2 S 诺模图制作技术

绘制 S 诺模图与 K 诺模图的背景有所不同, 作为 K 诺模图绘制对象的 K 因子, 诺模方程只涉及到五个自变量, 图上绘制内容相对较少, 而且有作为函数自变量的土壤理化属性指标分级的前期成果, 这种情况下绘图相对较易, 而绘制 S 诺模图要涉及到 7 个自变量, 而且没有土壤属性指标分级的前期成果, 所以欲绘制出比较理想的 S 诺模图, 必须要寻求新的绘图思路和采用更合理的绘图技术。在绘制 S 诺模图时, 笔者借鉴和继承了 K 诺模图的一些绘制技术, 引伸了 K 诺模图的“横轴隐藏处理方法”和“纵轴对应变换处理”, 扬弃了“函数自变量的分级处理”和“添加副轴及其反向标度处理”方法, 并创新出以下“序解轴转换法”对土壤指数 S 的诺模方程进行图解:

(1) 空间分维处理。以直角坐标象限为制图基面, 利用“相邻轴技术”进行土壤指数多级近似值在四个坐标象限之间的对应切换(由于土壤指数近似值 S_1 至 S_6 都标度在 X 、 Y 轴上, 低级近似值的输出结果自然被相邻轴变换利用为较高级近似值计算的输入数据, 实现了近似值叠加递进、逐级逼近的制图目的); 利用“共享轴技术”(把 X_1 和 S_2 、 S_4 和 S_6 分别绘制在同一 X 轴上, 把 S_1 和 S_5 绘制在同一 Y 轴上)进行同轴异制标度处理(有机质含量 X_1 实行隔 1 标度, 土壤指数第二近似值 S_2 实行隔 50 标度), 在有限的坐标轴上安排四个以上的土壤指数近似值数组。

(2) 制图的有序化处理。包括回归方程自变量分解的有序化(因为要在四个直角坐标象限中绘出六组自变量曲线, 必然会产生两组自变量曲线在一个象限中交织的现象, 如果两组自变量曲线走向相同或曲线密度皆为很大, 势必会影响到查图时的视角分辨效果, 而方程自变量分解的相邻次序安排, 由于土壤指数近似值的叠加递进作用必然影响到哪两组自变量曲线会在同一个象限中交织)、利用坐标象限分维进行制图和查图的序号化处理。

(3) 土壤指数近似值的正数化处理。因为按“空间分维处理”的要求, 欲在四个坐标象限中绘出六组

自变量曲线, 必然不能有(土壤指数多级近似计算过程中)土壤指数近似值出现负数的情况, 否则会导致制图空间重叠的矛盾, 所以要进行土壤指数近似值的正数化处理。正数化主要是通过回归方程自变量分解时的常数项加减处理、自变量分解时的有序化处理(一是自变量的相邻次序安排要保证各级近似值在叠加递进计算过程中始终为正数, 二是把能导致近似值最大的自变量安排在初次近似计算中)。由于正数化处理的缘故, 土壤指数制图过程中使用的坐标象限已与平面几何中的坐标象限概念有所不同, 因为前者已经没有坐标象限中的正负数之分了, 坐标象限只是布局制图曲线的空间而已。

另外, S 诺模图的绘制过程中, 还注意到了制图白箱化问题, 尤其是在制图曲线方程、共享轴的异制标度单位、自变量和土壤指数多级近似值等的标注上, 制图曲线的色彩和线条粗细处理上更是如此。

3 S 诺模图的制作过程与查用步骤

先根据回归方程分解项(S_1 至 S_6)的数值计算表, 利用 *EXCEL* 制作分幅图, 再利用“图片编辑器”进行分幅图的旋转和拼接, 最终制成“土壤可蚀性指数 S 的相关诺模图”^[4]。

在查用 S 诺模图时, 按文献[4]图中带箭头的黑实线走向查图。先在图中 X_1 轴上找到有机质含量值, 然后依次对应上粉/粘、水稳性团粒含量、有效根密度、 pH 值、容重、含水量等的数值, 最终在 S_6 轴上得出土壤可蚀性指数 S 值。

例如, 当 $X_1 = 2.5$, $X_2 = 210$, $X_3 = 70$, $X_4 = 50$, $X_5 = 9$, $X_6 = 2$, $X_7 = 20$ 时, 查图得出 $S = S_6 = 300$ 。

4 经验总结与问题讨论

采用“序解轴转换法”对土壤指数 S 的诺模方程进行图解, 相对于 K 诺模图而言, 在以下几个制图技术方面进行了创新: 1. 有效地利用直角坐标象限, 把多达七个自变量的回归方程曲线比较合理地布局在同一张图上; 2. 在回归方程自变量不分级的情况下, 通过空间分维、制图的有序化、土壤指数近似值的正数化等处理办法达到图上曲线比较清晰的制图效果。事实上, 方程自变量不分级, 不但图上表达的内容更加详细, 也避免了用图时先要查寻自变量分级表的麻烦; 3. 创立“虚拟轴技术”进行制图。

仅以共享同轴方法制图而言,在理论上讲,完全可在一个直角平面内(即数学中的某一个象限内)通过反复使用 X 轴和 Y 轴绘制出无穷多组曲线;若考虑视角分辨效应,在四个直角坐标象限中也可至少绘出比较清晰的十几组曲线;4. 利用最常用的制图软件 EXCEL 和“图片编辑器”进行制图。利用专业制图软件(如 ARC/INFO、AUTO. CAD、MAP/INFO 等)绘制 S 诺模图相对容易,但目前难于普及使用。而采用“序解轴转换法”制图技术能很方便地通过常用制图软件实现。

总之,“序解轴转换法”制图技术对于各种学科中的多元相关分析图绘制均具有制图方法论上的普遍参考与示范意义。

尽管如此, S 诺模图在制作和查用上还有不少问题需要进一步探讨:一是由于土壤指数计算涉及的自变量较多(上述的 X_1 至 X_7),制作的土壤指数诺模图相应地就比较复杂,主要是图上的线条较密,带来了查图时视觉上的一些困难,是否有更好的方

法简易查解回归方程?其二、如何解决在若干自变量数据有缺项的情况下进行更合理的制图和查图?其三、回归方程中的自变量作轴是否也可制出图来?

参考文献(References):

- [1] Zhang Aiguo, Li Rui, Yang Qinke. The Mathematical Models on Soil Factor of Water and Soil Loss in China [J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20(3): 284~ 289. [张爱国,李锐,杨勤科. 中国水土流失土壤因子数学模型[J]. 山地学报, 2002, 20(3): 284 ~ 289.]
- [2] W. H. Wischmier, D. D. Smith, Predicting Rainfall Erosion Losses- A Guide to Conservation Planning[Z]. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook. No. 1978. 537. 8~ 11.
- [3] K. G. Renard, G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. Mccool, and D. C. Yoder. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [Z]. USDA Agriculture Handbook. 1997. No. 703.
- [4] Zhang Aiguo, Zhang Pingcang, Yang Qinke. A Study on Soil Factor of Regional Soil and Water Loss[M].

The Making and Application of the Soil Erodibility Index Nomograph Suitable for Water Erosion Region in China

ZHANG Aiguo, SHAN Yong-jie, JING Xiao-yuan

(School of Urban and Environmental Science, Shanxi Teachers University. Linfen 041004, Shanxi Province, PRC)

Abstract: The regressive equation between the soil erodibility index S suitable for Chinese water erosion region and some indicators of the soil physical and chemical characters set up by prophase research is

$$S = 661 - 3.2X_1 + 0.4X_2 - 1.1X_3 - 2.8X_4 - 28.3X_5 - 105.5X_6 - 0.02X_7^2 + 4X_7$$

$$(F = 71.8, R^2 = 0.653, \alpha = 0.05)$$

The experience of K factor nomograph in USLE has been used for reference for convenient application of the soil index regressive equation as above, which is that the soil index value can directly be obtained through the soil index S nomograph, if the nomograph had been made.

In this article, the making principle and method of the S nomograph is introduced firstly. The S nomograph is made by the method of “Regressive Equation Analysis Orderly and Variables Transformed in Coordinate Axes” invented by the writer, which includes the several techniques of dimensions division of the drawing space, drawing orderly, the disposal of approximate values of the soil index to be positive numbers, and white-box disposal. The main innovative spots in the drawing techniques compared with that of the K nomograph are shown as follows:

(1) The seven curves reflecting the corresponding independent variables in the regressive equation have reasonably been arranged in one chart by effectively using right angle Coordinate quadrant;

(2) The S nomograph is effectively made without gradation of variables in the regressive equation, curves

in the nomograph are comparatively distinctive, avoiding the trouble of consulting the gradation tables of the independent variables in use of the nomograph;

(3) The S nomograph is reasonably made by the skill of fictitious coordinate axes;

(4) The S nomograph can easily be drawn by using the most common drawing software, such as Excel or Photoshop.

In a word, the drawing method of “Regressive Equation Analysis Orderly and Variables Transformed in Coordinate Axes” has the general significance toward the drafting of various multitude-variables correlative analysis plots in various subjects.

Notwithstanding, there are many problems to be solved in the making and application of the S nomograph.

Key words: Soil index regressive equation; K factor nomograph; the soil index nomograph; the method of regressive equation analysis orderly and variables transformed in coordinate axes

《山地学报》征订征稿启事

《山地学报》由中国科学院—水利部成都山地灾害与环境研究所和中国地理学会山地分会主办,系中国自然科学核心期刊之一,被评为全国优秀地理期刊、中国科学院优秀期刊、四川省优秀科技期刊。

《山地学报》是目前我国唯一专门报道山地学科学研究理论与山区开发、整治、建设实践相结合的综合性科技期刊,内容涵盖自然科学与人文科学两大门类中与山地研究、开发等有关的多学科知识,重点刊登山地资源开发与山地生态环境演变、山区工程建设与山地灾害(泥石流、滑坡、水土流失、山洪等)防治、山区社区发展与城镇规划、山区可持续发展与产业结构调整等领域的理论文章,及报道应用技术、研究和实验方法、管理经验等内容。适合于从事上述工作的科技人员、决策者、管理干部和大专院校师生阅读、参考,各级综合图书馆(室)、政府的国土资源、水利电力、农林牧等部门的资料(情报)室收藏。

《山地学报》为双月刊、大开本(210mm×297mm)。2004年正文改为铜版纸印刷,同时根据需要配彩色插图,但定价不变,仍为每期10.00元(国内定价)。由四川省德阳市邮政局总发行,全国各地邮局均可订购,也可来函径直向编辑部整订、零购。

欢迎订阅,欢迎赐稿(来稿务必严格按照本刊规范格式打印,特别是辅文部分,如参考文献的编排、英文摘要的内容、作者简介等须符合要求,否则退回)。

联系地址:610041 成都市一环路南二段10号中科院成都山地所《山地学报》编辑部

联系电话:028—85223826;E-mail:Hyfeng@imde.ac.cn.