

# 土壤质地三角图的规范制作及自动查询\*

郭彦彪 戴军 冯宏 卢瑛<sup>†</sup> 贾重建 陈冲 熊凡

(华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

## STANDARD MAPPING OF SOIL TEXTURAL TRIANGLE AND AUTOMATIC QUERY OF SOIL TEXTURE CLASSES

Guo Yanbiao Dai Jun Feng Hong Lu Ying<sup>†</sup> Jia Chongjian Chen Chong Xiong Fan

(College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**关键词** 土壤质地三角图; 规范制作; Excel; 质地类型; 自动查询

**中图分类号** S152.3; S151.9 **文献标识码** A

土壤质地是土壤的一个较为稳定的自然属性,在一定程度上决定着土壤的蓄水导水性、保肥供肥性、通气性、耕性等物理性质<sup>[1-2]</sup>,进而影响到土壤微生物特征<sup>[3]</sup>及养分元素的有效性<sup>[4-5]</sup>,最终影响植物生长状况<sup>[6]</sup>,对土壤在生态环境中的功能也有明显的影响<sup>[7]</sup>,此外土壤质地还是工程建设中重点考虑的因素<sup>[8]</sup>。因此土壤机械组成的测定及土壤质地的准确判定是所有与土壤相关的研究工作中最基本的一项测定项目。目前还没有为各国和各行业统一使用的土壤质地制,国内使用的有国际制、美国农业部制和卡庆斯基制,近年来由于起始于美国的土壤系统分类在国际上日趋被广泛认可和采纳,美国农业部制有逐渐取代卡庆斯基制和国际制的趋势<sup>[9]</sup>,被越来越多的科研人员和技术人员使用。

美国农业部制的土壤质地名称可通过土壤质地三角图查出。传统方法是通过人工在质地三角图上查找黏粒、粉粒和砂粒三个粒级中任意两个级别的百分含量所对应的土壤质地名称,因此使用规范的土壤质地三角图及正确的查询方法是决定土壤质地判定准确性的关键,特别是对于非土壤学专业工作的人员来说则更为重要。土壤质地查询对土壤工作者来说应该是一项基本常识,但遗憾的是目

前我国高校广泛使用的土壤学教材和参考书中提供的土壤质地三角图及介绍的查询方法存在如下主要问题:(1)质地类型分界线不准确<sup>[9-12]</sup>或质地名称覆盖质地类型分界线,影响质地类型正确查询<sup>[10]</sup>;(2)无各粒级百分含量刻度线或其刻度线方向不对<sup>[9-15]</sup>,这是普遍存在的不足;(3)无质地类型分界线或质地类型分界线不全,导致无法查询<sup>[9,14]</sup>;(4)未标出各粒级的粒径范围<sup>[9-10,16]</sup>;(5)未介绍查询方法<sup>[9-11,16]</sup>或介绍的查询方法不清楚<sup>[13-14]</sup>,甚至介绍的查询方法错误<sup>[12]</sup>;(6)将砂粒、粉粒和黏粒写在质地三角图的三个顶点处,使质地三角图更加难以看懂<sup>[15-16]</sup>。有些英文参考资料虽然质地三角图制作较规范<sup>[17]</sup>,但纯英文描述对我国工作人员来说仍有不便,且不易获得,由此可见制作规范的中文版土壤质地三角图及给出清晰易懂的查询方法显得非常重要。

少量土壤样品的质地类型可以通过人工查询质地三角图进行土壤质地命名,但如果遇到土壤调查及制图<sup>[18]</sup>、农用地分等定级<sup>[19]</sup>、测土配方施肥<sup>[20]</sup>、土壤发生分类<sup>[21-22]</sup>以及开展土壤可蚀性<sup>[23-24]</sup>、水文循环<sup>[25]</sup>、生态环境相关因子<sup>[26]</sup>等与土壤质地有关的研究工作时,均需要进行大量样品的

\* 国家科技基础性工作专项项目(2008FY110600)、国家自然科学基金项目(40801099,41271233)资助

<sup>†</sup> 通讯作者: 卢瑛(1966—),男,博士,教授,主要从事土壤质量和发生分类研究。E-mail: luying@scau.edu.cn

作者简介: 郭彦彪(1973—),男,硕士,讲师,主要从事水土保持方面的研究。E-mail: guoyanbiao@scau.edu.cn

收稿日期: 2013-05-16; 收到修改稿日期: 2013-07-11

土壤质地查询,人工查询无疑会耗费大量人力和时间,还可能会由于人为因素造成质地的“误判”,特别是在几个质地类型的分界线附近,人工难以在图中准确判断。土壤质地的计算机自动查询能够消除人为误差,且能够高效准确地实现土壤质地类型的自动查询。从 20 世纪 70、80 年代开始,国内外陆续出现了一些发展完善中的土壤质地查询计算机程序<sup>[27-30]</sup>,但这些程序是基于计算机编程知识或图形学知识,通过编写相关程序来实现质地的自动查询,无法直接在更普及和方便的 Excel 中运行或者需要特定的数据格式,使用时限制条件多,数据错误提示不明确或不提示,数据量大时处理速度慢,且使用者无法进行个性化修改,其思路和方法也难以应用到其他类似的自动查询工作中去。

为此,本文针对现有中文文献中土壤质地三角图及查询方法中存在的不足,提出了规范的土壤质地三角图制作的要求,绘制了适合我国科技工作人员方便查询的土壤质地三角图;并建立了一种在 Microsoft Excel 中实现土壤质地类型自动、快速查询的方法。

## 1 规范的土壤质地三角图的制作要求及人工查询方法

规范的土壤质地三角图是土壤质地判定正确与否的基础,如果土壤质地三角图存在问题,特别是质地类型分界线不准确,即便查询方法正确,查到的质地类型无法保证其准确性,因此利用土壤质地三角图查询土壤质地时,必须选择制作规范的土壤质地三角图。规范的土壤质地三角图应符合以下要求:

(1) 质地类型分界线必须准确。在查土壤质地三角图时,质地类型分界线就是标准,如果分界线的位置不准,必然导致质地判断错误。因此在制定质地三角图时,质地类型分界线必须准确,特别要注意的是分界线与三条边的交点位置及分界线之间的交叉点的位置必须准确;

(2) 线条清晰。表示砂粒、粉粒和黏粒含量的线条与质地类型分界线应有显著区别,达到清楚地显示各粒级含量与土壤质地之间的关系;

(3) 砂粒、粉粒和黏粒应标明各自的粒径范围,以确定在进行机械组成测定时所采用的粒级制与质地三角图所表征的质地制相对应;

(4) 质地名称不能覆盖质地类型分界线,避免无法判断质地类型;

(5) 在质地三角图的三条边外面用百分数和刻度线一起来表示砂粒、粉粒和黏粒的百分含量。百分数表示含量的多少,刻度线则表示该粒级含量在三角图内的等值线方向,即质地查询时的划线方向。

在满足以上要求的前提下,研究者可以绘制自己个性化的土壤质地三角图,图 1 为在《Keys to Soil Taxonomy》<sup>[17]</sup> 中土壤质地三角图基础上经修改完善而成的中文版美国农业部制土壤质地三角图。

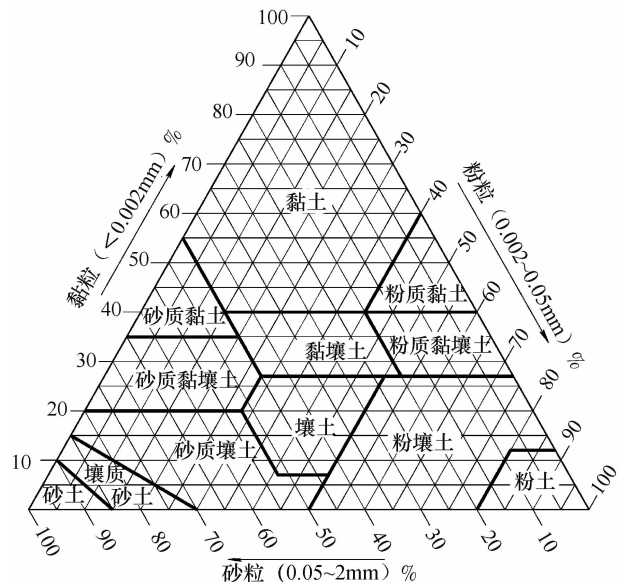


图 1 美国农业部制土壤质地三角图

制作出了规范的土壤质地三角图以后,查询工作就非常简单,查询时在砂粒、粉粒和黏粒所在的边上先找到其含量所在位置,再沿其刻度线方向向土壤质地三角图内划线,三线相交于一点(实际工作中只查询其中任意两个粒级即可),则交点处的质地类型即为所查土壤的质地类型。实际工作中可能会出现三条线无法相交于一点的情况,这大多是因为机械组成测定所得三个粒级含量相加并不等于 100%,为此在查询质地之前,应仔细检查测定结果。

## 2 Excel 中实现土壤质地类型快速查询的方法

Microsoft Excel 的 VBA 提供了自定义函数的功能,用户可以运用 VBA 自定义符合自己需要的函数,实现特殊计算要求。本文介绍通过自定义一个 TEX(sand, silt, clay) 函数的方法,实现土壤质地类型的自动、快速、批量查询。

打开 Excel,按 Alt + F11(或者选择菜单工具→宏→Visual Basic 编辑器),见图 2,进入 Visual Basic

编辑器后,插入模块(插入→模块),见图 3。然后复制或输入以下代码至代码窗口中(图 4):



图 2 在 Excel 中打开 Visual Basic 编辑器

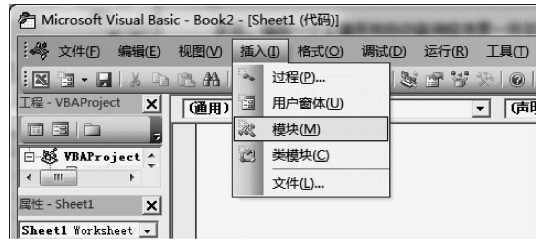


图 3 Visual Basic 编辑器中插入模块

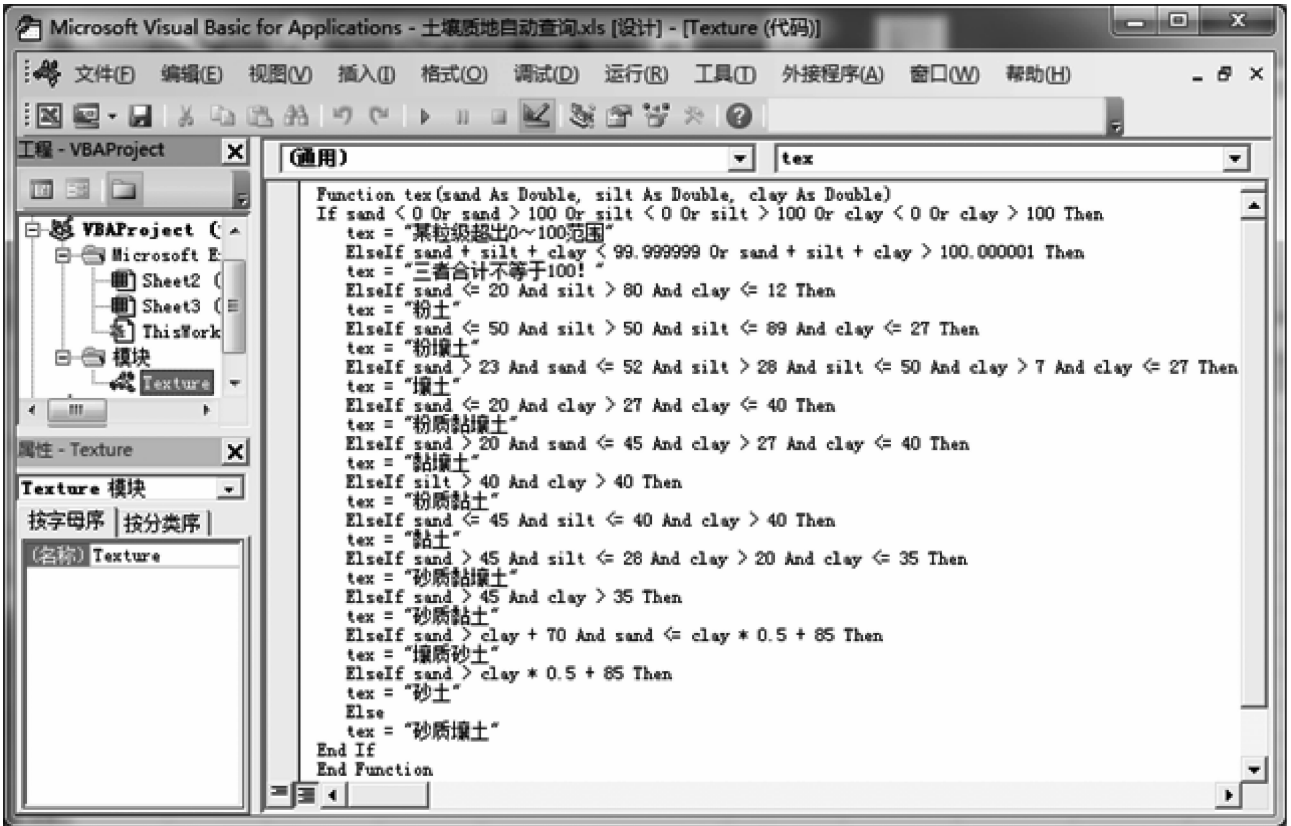


图 4 Visual Basic 编辑器中输入代码示意图

```
Function tex(sand As Double, silt As Double, clay As Double)
If sand < 0 Or sand > 100 Or silt < 0 Or silt > 100 Or clay < 0 Or clay > 100 Then
    tex = "某粒级超出 0~100 范围"
ElseIf sand + silt + clay < 99.999999 Or sand + silt + clay > 100.000001 Then
    Tex = "三者合计不等于 100!"
ElseIf sand < = 20 And silt > 80 And clay < = 12 Then
    Tex = "粉土"
```

```
ElseIf sand < = 50 And silt > 50 And silt < = 89 And clay < = 27 Then
    Tex = "粉壤土"
ElseIf sand > 23 And sand < = 52 And silt > 28 And silt < = 50 And clay > 7 And clay < = 27 Then
    Tex = "壤土"
ElseIf sand < = 20 And clay > 27 And clay < = 40 Then
    Tex = "粉黏壤土"
ElseIf sand > 20 And sand < = 45 And clay > 27 And clay < = 40 Then
    Tex = "黏壤土"
ElseIf silt > 40 And clay > 40 Then
    Tex = "粉质黏土"
ElseIf sand < = 45 And silt < = 40 And clay > 40 Then
    Tex = "黏土"
ElseIf sand > 45 And silt < = 28 And clay > 20 And clay < = 35 Then
    Tex = "砂质黏壤土"
ElseIf sand > 45 And clay > 35 Then
    Tex = "砂质黏土"
ElseIf sand > clay + 70 And sand < = clay * 0.5 + 85 Then
    Tex = "壤质砂土"
ElseIf sand > clay * 0.5 + 85 Then
    Tex = "砂土"
Else
    Tex = "砂质壤土"
End If
End Function
```

```

Tex = "黏壤土"
ElseIf silt > 40 And clay > 40 Then
Tex = "粉黏土"
ElseIf sand < = 45 And silt < = 40 And clay >
40 Then
Tex = "黏土"
ElseIf sand > 45 And silt < = 28 And clay > 20
And clay < = 35 Then
Tex = "砂黏壤土"
ElseIf sand > 45 And clay > 35 Then
Tex = "砂黏土"
ElseIf sand > clay + 70 And sand < = clay * 0.5
+ 85 Then
Tex = "壤砂土"
ElseIf sand > clay * 0.5 + 85 Then
Tex = "砂土"
Else
Tex = "砂壤土"
End If
End Function
    
```

然后关闭 Visual Basic 编辑器,返回 Excel 界面,在需要输出质地名称的单元格中输入公式 TEX (sand, silt, clay),其中参数 sand、silt 和 clay 分别为砂粒、粉粒和黏粒百分含量,在 TEX(sand, silt, clay)公式中直接选择砂粒、粉粒和黏粒所在单元格,如图 5 中,在 E2 单元格中输入“=TEX(B2, C2, D2)”,回车确认,即可确定位于第二行的 1 号样品的土壤质地为“黏土”,如图 6,其用法与 Excel 内置的函数完全相同,可处理的数据量不受公式本身的限制,只与 Excel 有关,Excel 2003 最大可达 65536 行,Excel 2007 则多达 1048576 行,用复制公式的方法瞬间可完成计算,完全满足日常的数据处理,然后再利用 Excel 的统计、排序、自动筛选等功能可实现灵活的数据处理要求。

	A	B	C	D	E
1	样品编号	砂粒/%	粉粒/%	黏粒/%	土壤质地类型
2	1	35.467	10.433	=100-B2-C2	=tex(B2, C2, D2)
3	2	4.000	55.440	=100-B3-C3	=tex(B3, C3, D3)
4	3	2.400	59.380	=100-B4-C4	=tex(B4, C4, D4)
5	4	1.600	56.280	=100-B5-C5	=tex(B5, C5, D5)
6	5	49.660	15.376	=100-B6-C6	=tex(B6, C6, D6)
7	6	46.742	11.370	=100-B7-C7	=tex(B7, C7, D7)
8	7	48.606	16.192	=100-B8-C8	=tex(B8, C8, D8)
9	8	39.658	16.303	=100-B9-C9	=tex(B9, C9, D9)
10	9	49.811	13.498	36.692	=tex(B10, C10, D10)
11	10	32.699	42.761	110.5	=tex(B11, C11, D11)

图 5 土壤质地自动查询公式输入

在进行大批量样品测定和数据处理时,难免出现测定结果错误或数据输入错误,对大量的数据进行检查又是一项非常耗时、耗力的工作,为此该函数加入了对砂粒、粉粒和黏粒含量数据的合理性进行初步检查的功能,防止明显的测定结果错误或输入错误出现,该功能包括两个方面,一是判断各粒级含量是否在 0~100% 范围内;二是判断砂粒、粉粒和黏粒含量相加是否等于 100%,如不满足则不显示土壤质地名称,而显示提示信息,方便检查各粒级含量数据,如图 6 中第 9、10 号样品。

	A	B	C	D	E
1	样品编号	砂粒/%	粉粒/%	黏粒/%	土壤质地类型
2	1	35.467	10.433	54.100	黏土
3	2	4.000	55.440	40.560	粉质黏土
4	3	2.400	59.380	38.220	粉质黏壤土
5	4	1.600	56.280	42.120	粉质黏土
6	5	49.660	15.376	34.964	砂质黏壤土
7	6	46.742	11.370	41.888	砂质黏土
8	7	48.606	16.192	35.202	砂质黏土
9	8	39.658	16.303	44.039	黏土
10	9	49.811	13.498	44.039	三者合计不等于100!
11	10	32.699	42.761	110.500	某粒级超出0~100范围

图 6 土壤质地自动查询结果显示

本文利用该方法对 50 个样品的质地自动判别结果与随机抽取的三位分析人员的“要求质地判别确保零失误”的人工质地查询结果完全一致。以 800 个实测样品的查询结果与 TAL 软件<sup>[29]</sup>相比,两者对位于质地类型分界线上的样品的处理方式不同,TAL 同时显示质地类型分界线两边的质地名称,而本文的处理方法是统一将分界线上的质地类型归入小于该分界线所表示的粒级含量的质地类型中去,除此之外,其他查询结果完全一致。

用以上方法建立的自定义函数在应用时需要将宏的安全性设置为中或者低,且只能在当前工作簿中运用,也就是只能在当前的 Excel 文件中运用,如果要在本机或其他电脑的任何 Excel 文件中运用,则可以通过以下几种方式实现:

- (1)保存好以上代码,按以上介绍的方法在每个工作簿中建立自定义函数;
- (2)将带有自定义函数的 Excel 文件另存为自己的工作文件,使用时打开该文件,输入机械组成分析数据,即可使用该函数自动查询出土壤质地名称;
- (3)将带有自定义函数的 Excel 文件另存为 Excel 加载宏,在本机或其他电脑的 Excel 中加载该宏后,即可使用该函数。

该方法虽然操作简单,但是对于某些计算机操作不够熟练的人员而言仍然存在困难,或者代码输

入错误时不能够找出原因而影响函数使用,为此本文作者已经制作好以上第(2)和第(3)种方法中介绍的两个文件,且制作了详细的使用方法说明,对以上操作方法有困难的人员可直接通过电子邮件索取和咨询。

本文提出的自定义函数方法其目的不仅在于提供一种实现土壤质地类型自动、快速查询的方法,更为重要的是该方法代码公开,其自动查询的思路可以应用到其他土壤学相关工作中去,如土壤各类养分的自动分级、土壤系统分类中高级分类单元的自动分类等类似工作,实现举一反三。

### 3 结 论

基于目前我国大多数参考资料,特别是广泛使用的大学教材和参考书中土壤质地三角图制作不够规范、缺少质地三角图查询方法的介绍等现状,提出了制作规范的土壤质地三角图的基本要求,并制作了规范的中文版美国农业部土壤质地三角图。提供了一种通过在 Excel 中建立自定义函数的途径实现土壤质地类型自动、快速查询的方法,大大提高工作效率,且避免人为因素导致的查询错误。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 张亚丽,李怀恩,张兴昌. 土壤质地对坡地土壤水分运动与转化特征的影响研究. 灌溉排水学报, 2008, 27(6): 27—30
- [ 2 ] 李毅,邵明安,王文焰,等. 质地对土壤热性质的影响研究. 农业工程学报, 2003, 19(4): 62—65
- [ 3 ] Sugihara S, Funakawa S, Kilasara, M, et al. Effect of land management and soil texture on seasonal variations in soil microbial biomass in dry tropical agroecosystems in Tanzania. *Applied Soil Ecology*, 2010, 44(1): 80—88
- [ 4 ] Sugihara S, Funakawa S, Nishigaki T, et al. Dynamics of fractionated P and P budget in soil under different land management in two Tanzanian croplands with contrasting soil textures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012, 162: 101—107
- [ 5 ] 李潮海,王群,梅沛沛,等. 不同质地土壤上玉米养分吸收和分配特征. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 561—568
- [ 6 ] 郭天财,高松洁,王晨阳,等. 土壤质地对不同面筋含量冬小麦品种籽粒淀粉合成关键酶活性的影响. 中国农业科学, 2005, 38(1): 191—196
- [ 7 ] Richards B K, Steenhuis T S, Peverly J H, et al. Effect of sludge-processing mode, soil texture and soil pH on metal mobility in undisturbed soil columns under accelerated loading. *Environmental Pollution*, 2000, 109(2): 327—346
- [ 8 ] 杨广庆,高民欢,张新宇. 高速公路路基填料承载力影响因素研究. 岩土工程学报, 2006, 28(1): 97—100
- [ 9 ] 潘剑君. 土壤调查与制图. 北京: 中国农业出版社, 2010: 112—113
- [ 10 ] 邵明安,王全九,黄明斌. 土壤物理学. 北京: 高等教育出版社, 2006: 20—21
- [ 11 ] 秦耀东. 土壤物理学. 北京: 高等教育出版社, 2002: 7
- [ 12 ] 黄昌勇,徐建明. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2010: 116—118
- [ 13 ] 陆欣,谢英荷. 土壤肥科学. 北京: 中国农业大学出版社, 2011: 25—26
- [ 14 ] 沈其荣. 土壤肥科学. 北京: 高等教育出版社, 2001: 16—17
- [ 15 ] 陈怀满. 环境土壤学. 北京: 科学出版社, 2005: 82—83
- [ 16 ] 李法虎. 土壤物理化学. 北京: 化学工业出版社, 2006: 21—22
- [ 17 ] Soil Survey Staff, Keys to Soil Taxonomy. 11th ed. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, 2010: 329
- [ 18 ] 章明奎,夏建强,符娟林. 基于土层空间变异性的比例尺土壤调查制图研究. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2006, 32(3): 346—349
- [ 19 ] 王洪波,郭润红. 山西省太原市万柏林区农用地等级评价研究. 土壤通报, 2005, 36(2): 149—154
- [ 20 ] 唐秀美,赵庚星,路庆斌. 基于 GIS 的县域耕地测土配方施肥技术研究. 农业工程学报, 2008, 24(7): 34—38
- [ 21 ] 陈志诚,赵文君,龚子同. 海南岛土壤发生分类类型在系统分类中的归属. 土壤学报, 2003, 40(2): 170—177
- [ 22 ] 王秋兵,汪景宽,胡宏祥,等. 辽宁省沈阳样区土系的划分. 土壤通报, 2002, 33(4): 246—252
- [ 23 ] 姜小三,潘剑君,杨林章,等. 土壤可蚀性 K 值的计算和 K 值图的制作方法研究——以南京市方便水库小流域为例. 土壤, 2004, 36(2): 177—180
- [ 24 ] 杨萍,胡续礼,姜小三,等. 小流域尺度土壤可蚀性(K 值)的变异及不同采样密度对其估值精度的影响. 水土保持通报, 2006, 26(6): 35—39
- [ 25 ] 云文丽,侯琼,李友文,等. 内蒙古地区土壤水文特征的空间分布. 干旱区资源与环境, 2013, 27(2): 193—197
- [ 26 ] 刘康,欧阳志云,王效科,等. 甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布. 生态学报, 2003, 23(12): 2711—2718
- [ 27 ] Gerakis A, Baer B. A computer program for soil textural classification. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63(4): 807—808
- [ 28 ] Liebens J. Spreadsheet macro to determine USDA soil textural subclasses. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2001, 32(1/2): 255—265
- [ 29 ] Teh C B S, Rashid M A. Object-oriented code to lookup soil texture classes based on any soil classification scheme. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2003, 34(1/2): 1—11
- [ 30 ] 张丽萍,张懿锂,王英安. 基于计算机图形学的土壤质地自动分类系统. 地理科学进展, 2006, 25(3): 86—95