



农业资源与环境学报

CSCD 核心期刊
中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

中国土壤质地分类系统的发展与建议修订方案

何海龙, 齐雁冰, 吕家珑, 彭佩佩, 晏梓然, 唐子茜, 崔珂, 张恺玥

引用本文:

何海龙, 齐雁冰, 吕家珑, 彭佩佩, 晏梓然, 唐子茜, 崔珂, 张恺. 中国土壤质地分类系统的发展与建议修订方案[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(3): 501–510.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0854>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

流域尺度下地形属性对土壤质地类型变异的影响——以重庆市彭水县一小流域为例

马冉, 刘洪斌, 武伟

农业资源与环境学报. 2019, 36(3): 279–286 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0184>

有机肥配施对中国农田土壤容重影响的整合分析

刘丽媛, 徐艳, 朱书豪, 高艺, 郑向群

农业资源与环境学报. 2021, 38(5): 867–873 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0500>

我国农作物秸秆分布特征与秸秆炭基肥制备应用研究进展

钟磊, 栗高源, 陈冠益, 王一喆, 陈红云, 武文竹, 李金磊, 宋英今, 颜蓓蓓

农业资源与环境学报. 2022, 39(3): 575–585 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0070>

光谱与纹理信息结合的黄河三角洲土壤盐渍化信息提取——以垦利区为例

黄静, 赵庚星, 奚雪, 崔昆, 高鹏

农业资源与环境学报. 2022, 39(3): 594–601 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0025>

免耕旧膜再利用对玉米产量及灌溉水生产力的影响

苏永中, 张珂, 刘婷娜, 王婷

农业资源与环境学报. 2016, 33(5): 491–498 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2016.0055>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

何海龙, 齐雁冰, 吕家珑, 等. 中国土壤质地分类系统的发展与建议修订方案[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(3): 501–510.

HE H L, QI Y B, LÜ J L, et al. Development and revision of the Chinese soil texture classification system[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, 40(3): 501–510.

中国土壤质地分类系统的发展与建议修订方案

何海龙^{1,2}, 齐雁冰¹, 吕家珑^{1,2*}, 彭佩佩¹, 晏梓然¹, 唐子茜¹, 崔珂¹, 张恺玥¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 农业农村部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 土壤质地一定程度上决定土体中水、气、热、盐/溶质的传输特征及其机械力学性能, 是进行工农业生产活动、建立土壤转换函数及开展土壤水热数值模拟研究所必需的关键参数。因此, 土壤质地分类是土壤学、农学、环境科学及工程等多门学科的研究基础。迄今为止, 世界各国制定了数十种土壤质地分类系统, 并建立了对应的三角图/三元相图用于土壤质地查询或制图。经过历代土壤工作者的不懈努力, 中国土壤质地分类在不断吸收美国制、卡庆斯基制和国际制经验的基础上, 结合我国实际制定了1986版的质地分类系统, 但该分类系统仍存在分类标准不清晰及无法制作土壤质地三角图的局限。本研究基于现行的1986版土壤质地分类系统提出了一种改进的修订方案供讨论, 目的是明确各个质地类型的界限, 并首次创建方便使用的土壤质地平面正三角和直角三角坐标图, 同时编写了基于Origin的查询/制图工具包。鉴于我国土壤学界普遍使用国际制、美国制或混用的现状, 国内迫切需要在各个行业中大力推广和应用中国土壤质地分类制, 这既可以统一标准, 也是我国土壤科学发展水平的重要体现。此外, 为了便于国际交流, 未来还应重点研究中国制和其他分类系统之间的定量转换关系并开发相关自动转换程序。

关键词: 土壤质地; 土壤质地分类三角图; 三元相图; 中国土壤质地分类系统; 正三角/直角三角坐标图

中图分类号: S155

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2023)03-0501-10

doi: 10.13254/j.jare.2022.0854

Development and revision of the Chinese soil texture classification system

HE Hailong^{1,2}, QI Yanbing¹, LÜ Jialong^{1,2*}, PENG Peipei¹, YAN Ziran¹, TANG Ziqian¹, CUI Ke¹, ZHANG Kaiyue¹

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China (Ministry of Agriculture and Rural Affairs), Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Soil texture largely affects the transport of water, heat, air, and solutes in soil, as well as the soil's mechanical properties. It is a key parameter required by industrial and agricultural sectors, as well as by the development of pedotransfer functions and related numerical simulation studies. Therefore, soil texture classification serves as the basis for multiple disciplines including soil science, agriculture, and environmental science and engineering. Numerous soil texture classification systems along with corresponding soil texture triangles have been established by many countries. Great efforts have also been devoted to develop the Chinese soil texture classification system, which considers Chinese soil characteristics while learning from the systems developed by the International Union of Soil Science (IUSS), United States Department of Agriculture (USDA), and Soviet Union. However, the Chinese soil texture classification system is still limited by undefined classification standards and lack of soil texture triangles. A revised version of the soil texture classification system presented in 1986 has been proposed to define the boundaries of the various texture classes and to create a ternary plot/triangle for ease of soil texture enquiry. An associated software tool based on the Origin program has been developed to automate soil texture class enquiry and the associated output of classification results. To standardize the use of soil classification in China and to reflect the development level of soil science in China, the revised Chinese soil texture classification system is encouraged to be widely adopted and applied in all disciplines

收稿日期: 2022-12-01 录用日期: 2023-03-01

作者简介: 何海龙 (1985—), 男, 四川乐至人, 博士, 教授, 主要从事土壤物理与水土保持研究。E-mail: hailong.he@hotmail.com

*通信作者: 吕家珑 E-mail: ljll@nwsuaf.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42177291)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China (42177291)

<http://www.aed.org.cn>

and sectors given that soil classification systems from the IUSS and/or USDA were predominant. In addition, it is recommended that the quantitative conversion functions between different soil texture classification systems and associated calculator are developed in order to facilitate international communication.

Keywords: soil texture; soil texture triangles; ternary plot/triangle plot; Chinese system of soil texture classification; plane equilateral/ right/ rectangular triangle coordinate diagram

土壤质地是土壤相对稳定的一种自然属性,可表征土壤水、气、热、溶质/盐运移特征和机械力学等物理性质,是开展土壤发生及分类学等研究的重要指标^[1-2]。土壤质地分类是土壤科学最重要的内容之一,是土壤调查制图的基础,是因地制宜推广农业生产技术和进行工程设计与施工的依据,也是开展相关数值模拟研究的基本输入参数^[3-6]。一个成熟的土壤质地分类制通常包含土粒分级(或土壤颗粒分级)表、土壤质地分类表和土壤质地三角图,部分分类制还有配套的土壤质地自动分类程序/软件工具及全国/区域土壤质地数据集或数据库^[7]。

土粒粒级一般划分为2~11级不等(瑞士、俄罗斯为2级,其余国家一般为3~11级),砂粒(如1 mm或2 mm等)和黏粒(如0.01、0.006、0.001 mm及0.002 mm等)的上限粒径也不尽相同,迄今为止尚无统一的标准^[8]。1930年,第二届国际土壤学会(IUSS,现为IUSS)通过并决定采用瑞典土壤学家Atterberg^[9]提出的土粒分级方案,以2、0.02、0.002 mm为砂粒、粉粒、黏粒的粒径上限分级标准,该分级按十进制划分,方便记忆和使用,但未充分考虑粒级特性的变化。目前,仅有美国和前苏联等国的土粒粒级分类制(机械组成测定方法)考虑了粒级与吸湿水、持水量、胀缩性等理化性质的关系。

土壤质地分类建立在土壤颗粒分级标准之上,每一质地分类对应特定的砂粒、粉粒、黏粒含量组合,一般包含2~5组,再细分为7~31类(如德国1994版分类制包含31类土壤质地)^[10]。与土粒分级一样,世界各国制定了数十种土壤质地分类系统^[11-12],但缺乏被各国和各行业公认的土壤质地分类标准^[13]。目前国际上较为广泛使用的土壤质地分类制包括国际土壤学会(International Society of Soil Science, ISSS)分类制(简称国际制)、美国农业部(United States Department of Agriculture, USDA)分类制(简称美制、美国制、美国农业部制等)和前苏联的卡钦斯基制(Качинский, Kachinski或Kachinsky system,简称苏制)等^[11]。

土壤质地分类制除了采用表格形式呈现外,为了查阅方便通常还利用基于三元相图原理制作的土壤

质地三角图来表达。由于土壤中砂粒、粉粒、黏粒总含量为100%,因此只要已知其中两种颗粒的含量便可计算第三种颗粒的含量。土壤质地三角图包含正三角图和直角三角图两种形式,其中,土壤质地正三角图中每条边分别表示砂粒、粉粒、黏粒百分含量,常见的有国际制、美国制、英国制、日本制三角图;土壤质地直角三角图的两条直角边分别表示粉粒/黏粒、砂粒/黏粒或砂粒/粉粒百分含量,常见的有加拿大制、澳大利亚制和德国制^[14]。

中国土地面积居世界第三,多变的成土因素决定了我国土壤类型丰富、分布情况复杂,因而土壤质地类型和分布也具有显著的中国特色,不能直接套用国外的土壤质地分类制^[3,15-17]。实际上,长期以来我国就有建立中国特色的土壤质地分类系统的愿望。早在4 000多年前,我国劳动人民就对土粒分级提出过定性概念,将其分为砂、壤、泥、埴、垆、涂6级^[18]。我国定量的土壤质地分类制的建立先后经历了从借鉴外国分类制到形成中国土壤质地分类体系,再到不断完善修订的过程。1937年熊毅先生^[19]基于1930年美国土粒分级制(机械组成测定方法)创建了我国首个土壤质地分类制,并进行了土壤质地分类。之后经数次修订,我国土壤科技工作者在1959年、1961年分别提出了新的中国土壤质地分类体系完善方案^[20-21]。中国科学院南京土壤研究所与中国科学院水利部水土保持研究所等单位,在我国南方土壤质地分类^[22]和北京郊区土壤质地分类^[23]的基础上,于1975拟定了我国土壤质地分类暂行方案^[16],并编入1978年出版的《中国土壤》^[24](即1978版土壤质地分类制)。而关于我国土壤质地分类制的讨论仍一直在进行,付庆瑛^[25]认为1975年制定的土壤质地分类标准对土壤质地命名仍有不方便或比较含糊之处;邓时琴^[8]在1978版基础上对土粒分级、质地分类及土壤中砾石含量的分级进行了修订和补充,这些修订方案在文献中通常引用或标注为1982年或1985年版土壤质地分类制^[26-27],最后都编入了1986年出版的《中国土壤(第二版)》^[28](即1986版土壤质地分类制)。

1986版土壤质地分类制既考虑到了我国气候特

征,又有效结合了群众性命名经验,是现行的中国土壤质地分类系统。我国土壤质地北方粗、南方细,南北过渡带土壤质地居中。这是因为我国北方平均气温低、降水少,土壤风化较弱,土壤中砂粒、粉粒含量较多,而黏粒含量较少(局部流水作用形成的沉积物除外);南方平均气温高、降水多,导致土壤风化(尤其是化学风化与生物风化)较强,土壤中黏粒含量较多,而砂粒含量较少。基于此种情况,砂土质地分类中的砂粒含量等级主要以北方土壤的研究结果为依据,而黏土质地分类中的黏粒含量的等级主要以南方土壤的研究结果为依据^[8,28]。对于南北方过渡的黄绵土、瘠土、褐土、黄褐土、黄壤等,以其中含量最多的粗粉粒作为划分壤土的主要标准,再参照砂粒和黏粒的含量进行进一步区分,这种方式还可结合群众性的命名。此外,各级土壤颗粒的理化性质也是1986版土壤质地分类的重要依据之一^[8]。因此,1986年版的中国土壤质地分类暂行方案具有相当高的科学性与实用性。

然而,1949年以前我国使用最广泛的土壤质地分类制是美国制和国际制,之后使用较多的是苏联制^[13],即使是第三次全国土壤普查也未采用我国1986版的土壤质地分类。究其原因:与相对成熟的土壤分类制标准相比,我国土壤质地分类存在部分质地类型分级界限不明确的问题,导致无法绘制易于查询的土壤质

地三角图,严重限制了中国土壤质地分类制的推广和应用。建立一个更科学合理且适于我国国情的土壤质地分类制的需求非常迫切^[13],完善并推广中国制土壤质地分类系统具有重要意义。因此,本研究借鉴现有国际先进的土壤质地分类制经验,结合我国实际并改进1986版的分类制,提出新的中国土壤质地分类制方案供学界讨论,并建立对应的土壤质地正三角和直角三角图。

1 中国土壤质地分类制的修订建议

1.1 中国制土粒分级

由于农业土壤中的“土”可以泛指土壤及破碎的岩石,因此粒径分级中使用“土”比“土壤”更准确,之后的阐述将使用“土粒”来代表土壤和砂砾、小石块等。不同土壤质地分类制本质是相同的,它们之间的主要差别在于如何选取砂粒、粉粒、黏粒的有效直径界限用于土粒分级(图1)^[29-30],以及如何选取三者的百分含量组合用于定义某一土壤质地类别^[31]。除前苏联等国家外,其余大多数国家对砂粒、粉粒、黏粒的划分是在国际制基础上,根据本国的国情或应用情况进行了修改或细化,总级数从3级至11级不等。

中国土粒基本分级包括石砾、砂粒、粉粒、黏粒4个基本粒级(4组),与国际制、美国制、苏联制、法国制、北爱尔兰/苏格兰制的基本粒级数相同或相近。

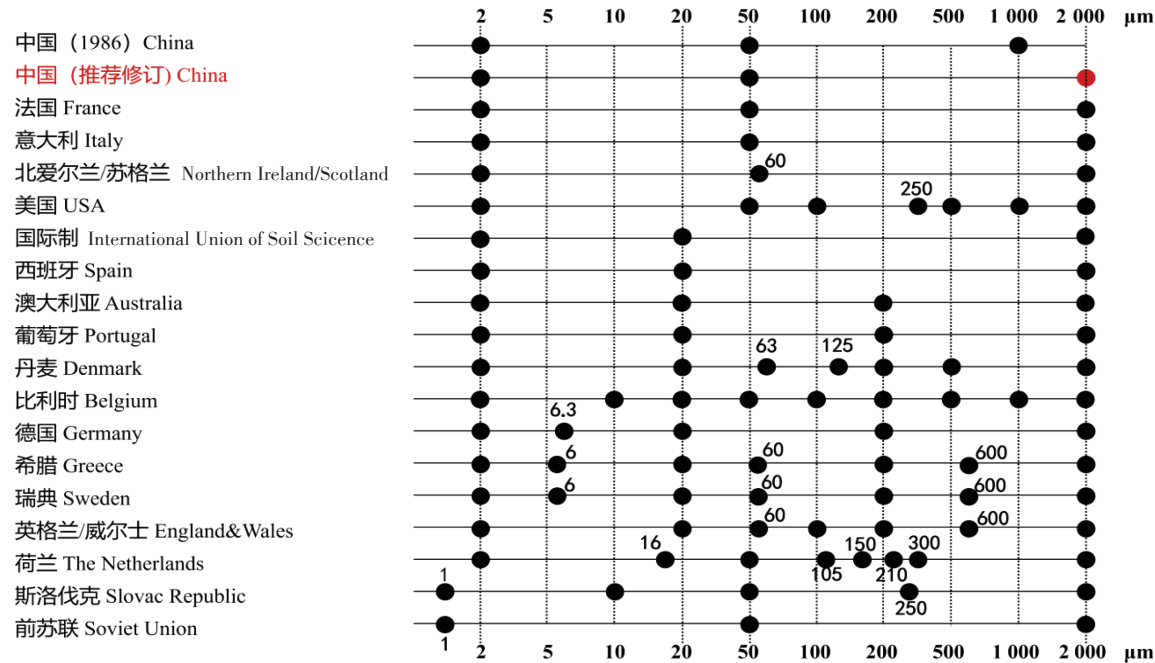


图1 世界主要土壤质地分类系统中土粒分级情况(坐标轴非等比例)

Figure 1 Selected grain size limits for soil classification in the world(not to scale)

其中,砂粒、粉粒、黏粒又再分为粗、中、细等共约5~9级(表1)。本研究在1986版土壤粒级分级基础上,提出拟调整砂粒的上限为2 mm。调整的主要原因是:自第二次土壤普查以来我国使用的土壤质地分类系统主要是美国制、国际制和卡庆斯基制,这些分类制的砂粒粒径上限为2 mm,之前测定的土壤质地数据便于修订后的中国质地分类制使用。调整后的砂粒和黏粒粒径上限分别为2 mm和0.002 mm,与国际制及美国制保持一致;粉粒粒径上限为0.05 mm,与美国制及苏联制保持一致。此外,砂粒分级增加“中砂”一级,砂粒由原来的粗(1~0.25 mm)、细(0.25~0.05 mm)2级变为粗(2~1 mm)、中(1~0.25 mm)、细(0.25~0.05 mm)3级,其余分级保持不变,调整后的土粒由原有5组9级变为5组10级(表1)。

1.2 中国制土壤质地分类

1975、1978、1986年版的中国土壤质地分类系统沿用了苏联制的粒级分级方法(表1),以引起最大持水量、吸湿量、阳离子交换量、膨胀与收缩性等理化性

质发生剧变的粒级(即0.01 mm和0.001 mm)作为粒级划分界限(表2、附表1~附表3)。这种划分方式没有涵盖0.01~0.001 mm之间的中、细粉粒,导致质地分类时粗粉粒和细黏粒两组土壤粒径之间不连续(即砂粒、粗粉粒、细黏粒三组土粒含量不足100%),所以不能用于绘制土壤质地三角图,也影响到不同土壤分类制的转换和对比研究。因此,笔者建议按照国际制和美国制采用的砂粒、粉粒和黏粒的粒径界限(表1)进行中国土壤质地的划分。

为了最大程度保留1986版土壤质地分类制的特点,本文主要调整了三个土颗粒组分及其对应的粒径区间:将“砂土”中“黏粒”比例由原来的<30%改为<15%并增加了粉粒占比阈值;调整了“壤土”中“砂粒”“粉粒”“黏粒”含量区间;另补充了“黏土”中“砂粒”和“粉粒”的占比数据。具体说明如下:

(1)颗粒组成的调整:1986版颗粒组成中砂粒的粒径区间从1~0.05 mm调整为2~0.05 mm。“粗粉粒”调整为“粉粒”,涵盖了中、细粉粒部分,粒径区间从

表1 我国及国外主要土粒分级标准

Table 1 The main types of Chinese and international soil particle size classification

序号 No.	土粒有效直径 Equivalent soil diameter/mm	国际制 ISSS system (4组 5级)	美国制 USDA system (5组 9级)	苏联制 Kachinsky system (3组 11级)		中国分级标准 Chinese classification system																									
						1937年 ^[19] (3组 8级)		1959年 (3组 10级)		1961年 (3组 5级)		1978年 ^[24] (5组 9级)		1986年 ^[28] (5组 9级)		修订建议 (5组 10级)															
1	>10	石砾	石块	石块		—		—		—		石块		石块		石块															
2	10~3											砾质			粗	石砾		石砾		石砾											
3	3~2																					石砾									
4	2~1	粗 砂粒	极粗 粗 中 细 极细	物理性 砂粒 粉粒	砂粒	砂粒	物理性 砂粒	粗 中 细	砂粒	砂粒	粗 细	粗 砂粒 细	粗 砂粒 细	粗 砂粒 细	砂粒	粗 细															
5	1~0.5																中 中 细 极细	中 中 细 极细	中 中 细 极细	中 中 细 极细	中 中 细 极细	中 中 细 极细	中 中 细 极细	中 中 细 极细	中 中 细 极细	中 中 细 极细	中 中 细 极细	中 中 细 极细	中 中 细 极细	中 中 细 极细	
6	0.5~0.25																														
7	0.25~0.2																														
8	0.2~0.1																														
9	0.1~0.05																														
10	0.05~0.02	粉粒	粉粒	粉粒	粉粒	粉粒	粉粒	粉粒	粉粒	粉粒	粉粒	粉粒	粉粒	粉粒	粉粒	粉粒															
11	0.02~0.01																中 细 极细	中 细 极细	中 细 极细	中 细 极细	中 细 极细	中 细 极细	中 细 极细	中 细 极细	中 细 极细	中 细 极细	中 细 极细	中 细 极细	中 细 极细	中 细 极细	中 细 极细
12	0.01~0.005																														
13	0.005~0.002																														
14	0.002~0.001																														
15	0.001~0.000 5	黏粒	黏粒	物理性 黏粒	黏粒	黏粒	物理性 黏粒	黏粒	黏粒	黏粒	黏粒	黏粒	黏粒	黏粒	黏粒	黏粒															
16	0.000 5~0.000 1																胶粒	胶粒	胶粒	胶粒	胶粒	胶粒	胶粒	胶粒	胶粒	胶粒	胶粒	胶粒	胶粒	胶粒	胶粒
17	<0.000 1																														

注:国际制为国际土壤学会土粒分级制(1930年);美国制为美国农业部土粒分级制(1972年);苏联制为卡庆斯基制(1957年)。1937年熊毅先生提出的中国制主要基于1930年美国土粒分级制(机械组成测定方法);1959、1961、1978、1986年及新的修订建议则主要基于卡庆斯基制。浅灰色背景部分为新推荐方案较1986版方案修改之处,下同。

Note: ISSS system—International classification system (1930); USDA system—US classification system (1972); Kachinsky system—Former Soviet Union classification system (1957). The Chinese classification system proposed by Mr. XIONG Yi in 1937 was mainly based on the USDA system in 1930 (mechanical composition determination method). The 1959, 1961, 1978, 1986 and new revision were mainly based on the Kachinsky system. The light gray background part is the modification of the new recommendation scheme compared with the 1986 version. The same below.

表2 我国土壤质地分类标准(1982/1986年版)
Table 2 Standard for Chinese classification of soil texture
in 1982/1986

土壤质地组 Texture group	质地名称 Texture name	颗粒组成 Particle composition/%		
		砂粒 Sand (1~0.05 mm)	粗粉粒 Coarse silt (0.05~0.01 mm)	细黏粒 Fine clay (<0.001 mm)
砂土	极重砂土	>80	—	<30
	重砂土	70~80	—	<30
	中砂土	60~70	—	<30
	轻砂土	50~60	—	<30
壤土	砂粉土	≥20	≥40	<30
	粉土	<20	≥40	<30
	砂壤土	≥20	<40	<30
	壤土	<20	<40	<30
黏土	轻黏土	—	—	30~35
	中黏土	—	—	35~40
	重黏土	—	—	40~60
	极重黏土	—	—	>60

注:“—”表示无数据,下同。与1978年版相比,石砾直径从1~10 mm调整为1~3 mm,1986年版同样根据石砾含量将土分为三类:无砾质(<1%)、少砾质(1%~10%)、多砾质(>10%)。

Note: “—” denotes no data available, the same below. The gravel diameter was adjusted from 1~10 mm to 1~3 mm compared with the 1978 edition, the 1986 edition divided the soil into three categories according to the gravel content: gravel-free (<1%), low gravel (1%~10%), high gravel (>10%).

0.05~0.01 mm调整为0.05~0.002 mm。“细黏粒”调整为“黏粒”,涵盖了粗黏粒部分,粒径区间从<0.001 mm调整为<0.002 mm。该调整可以填补0.01 mm和0.001 mm之间的数值不连续问题,也可与国际其他分类制接轨。

(2)砂土中黏粒、粉粒占比的修正:1986版土壤质地分类制的砂土分类中,黏粒(<0.001 mm)的占比为<30%(表2);国际制中黏粒(<0.002 mm)占比为<15%;苏联制中黏粒(<0.01 mm)占比为<10%,美国制中黏粒(<0.002 mm)占比为<15%。结合我国南北土壤的特点及绘制土壤质地三角图的需要,建议将黏粒的占比由原来的30%调整为15%,结合三角图绘制确定粉粒含量区间,这样可以避免砂粒、粉粒、黏粒总含量超过100%的情况,也可避免因粉粒无阈值导致土壤质地三角图中各类别的界限不明等问题。

(3)壤土中黏粒占比的保留:1986版土壤质地分类制中,细黏粒(<0.001 mm)占比为<30%,在0.002~0.001 mm的粒径处没有要求。国际制中壤土类、黏壤土类中黏粒(<0.002 mm)的占比为<25%,美国制的壤土中黏粒(<0.002 mm)占比为<40%。苏联制是依据化学分类法而制定,粒级分类繁杂且无法绘制通用

的质地三角图。经过综合考虑,笔者建议在将细黏粒改为黏粒的基础上,保留<30%的阈值。

(4)壤土砂粒占比的修订:1986版土壤质地分类制中,砂壤和壤土的区别只在砂粒的占比上,砂壤中砂粒的占比大于壤土。美国制中壤土的砂粒(2~0.05 mm)占比为30%~50%,国际制中壤土的砂粒(2~0.02 mm)占比为40%~55%。通过综合我国经过改造的土壤质地三角图中的空位置,决定将壤土中的砂粒占比改为30%~50%,砂壤中的砂粒占比改为≥50%。

(5)黏土中黏粒占比的保留:在国际制分类系统中,黏土中黏粒(<0.002 mm)的占比为>25%。在美国制中,黏土中的黏粒(<0.002 mm)占比为>40%,而且砂黏壤、黏壤、粉黏壤中黏粒占比约30%。1986版土壤质地分类制中黏粒占比保留原有阈值30%。

(6)轻砂土与砂壤土重叠部分的划分:在对1986版土壤质地分类制进行质地三角图绘制时,会出现坐标(砂粒,黏粒,粉粒)为(50%,10%,40%)、(60%,0,40%)、(50%,0,50%)的三角形重叠区。这一重叠区内土壤的性质与壤土类似,因此划为壤土,并依照就近原则,划为砂壤土。

综上,中国土壤质地分类标准推荐修订方案如表3所示。

2 土壤质地分类三角图及自动分类程序/软件工具

2.1 土壤质地分类三角图

土壤质地分类三角图是一种典型的三元相图,通

表3 我国土壤质地分类标准推荐修订方案
Table 3 Proposal for Chinese classification of soil texture

土壤质地组 Texture group	质地名称 Texture name	颗粒组成 Particle composition/%		
		砂粒 Sand (2~0.05 mm)	粉粒 Silt (0.05~0.002 mm)	黏粒 Clay (<0.002 mm)
砂土	极重砂土	>80	<20	<15
	重砂土	70~80	5~30	<15
	中砂土	60~70	15~40	<15
	轻砂土	50~60	25~40	<15
壤土	砂粉土	20~60	40~80	<30
	粉土	<20	>50	<30
	砂壤土	≥50	<35	15~30
	壤土	30~50	20~40	10~30
黏土	轻黏土	<70	<70	30~35
	中黏土	<65	<65	35~40
	重黏土	<60	<60	40~60
	极重黏土	<40	<40	>60

过某一土样的机械组成(即砂粒、粉粒、黏粒所占的百分比)来确定其在土壤质地分类三角图中所处的区域,通过区域映射得到相应的分类结果,其优点是直观化、形象化,能够通过点移动经过的区域确定土壤粒级的变化与土壤种类“从量变到质变”的过程。国际制作为应用范围最广的土壤质地分类系统,其主要特征是分类连续,土壤质地三角形中邻域拓扑关系较为简单(图2a)。在不同土壤质地三角图绘制中,国际制三角图充当了“原初模型”的角色,各国在此基础上结合国情进行了修订。尽管土壤质地分类系统中土壤质地分类的名称、粒级划分各异,但是总体上土壤划分为砂土、壤土、黏土三大类的趋势与粒级的总

体分布趋势是相近的,这也体现了土壤质地分类多样性与原则性的辩证统一。美国制土壤质地分类主要是基于Baver等^[32]的分类方式进行修订的(图2b)。英国制在美国制的基础上,将范围较为宽泛的壤土划分到了砂质黏壤土、黏壤土、砂质壤土、粉砂质壤土4个邻域之中(图2c),并将粉壤土进行了邻域上的归并与细分。日本制在国际制的基础上,针对砂土与砂壤土进行了细分,并结合本国国情对黏土与壤土的界限进行了修订(图2d)。由于砂粒、粉粒、黏粒含量总量为100%,所以只需已知其中两类(如粉粒、黏粒)的含量就可以确定土壤质地。因此,美国制除了正三角质地图外还有直角三角图,而加拿大、澳大利亚、德国等

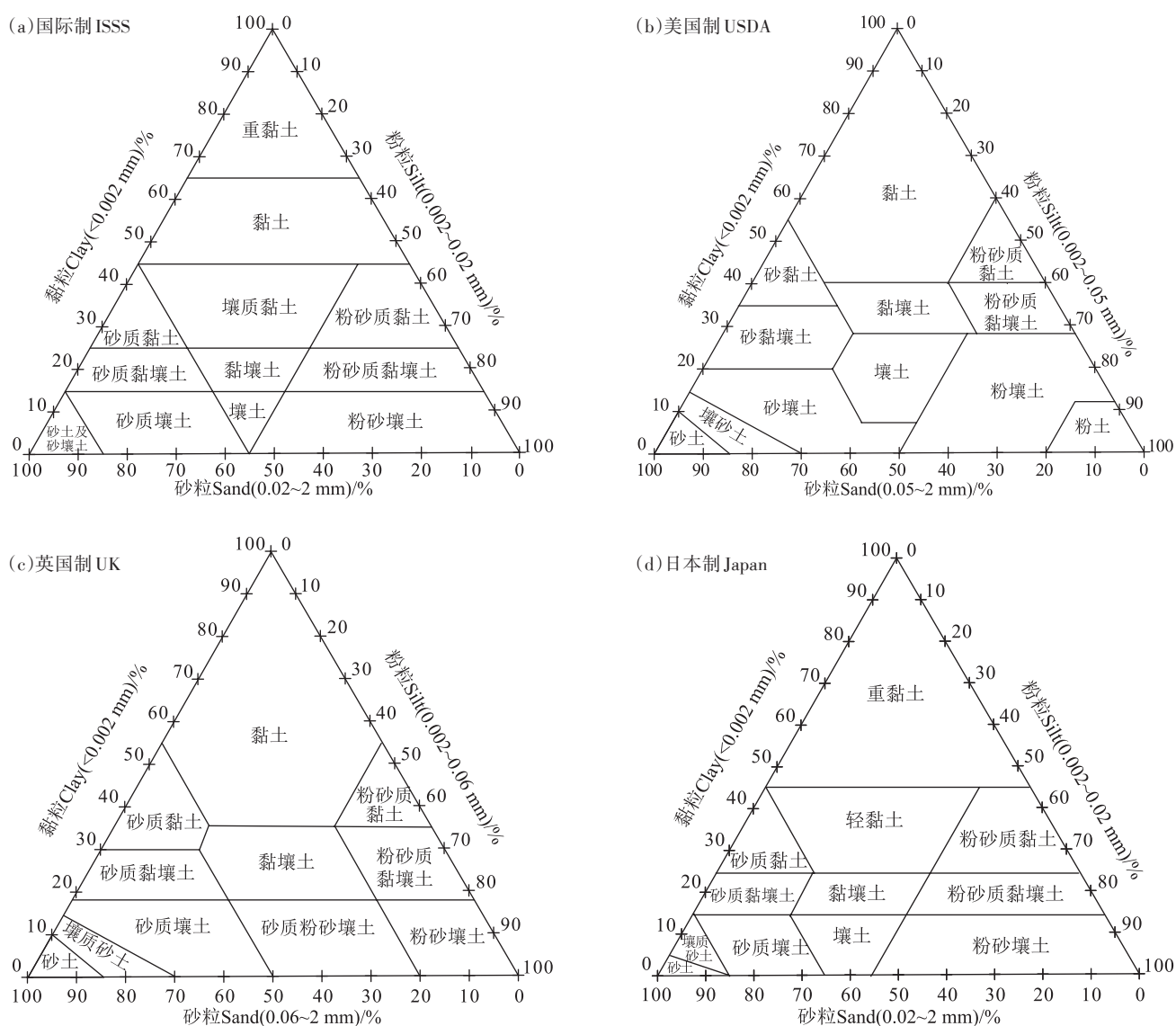


图2 国际土壤质地分类三角图

Figure 2 Triangle plots of selected international soil texture classification systems

则以直角三角图为主。

2.2 中国制土壤质地三角图

参照其他土壤质地分类三角图的绘制原理和方法,笔者根据中国制土壤质地分类建议方案(表3)绘制了中国土壤质地分类三角图,包括土壤质地正三角图和直角三角图2种形式(图3)。

2.3 中国制土壤质地自动分类软件/程序工具

土壤质地自动分类软件可以帮助使用者查询土壤质地,同时简化使用并促进土壤质地分类制推广。因此,主要的土壤质地分类制都有对应的土壤质地自

动分类程序/软件工具。张丽萍等^[7]综述了基于Texture AutoLookup(TAL)、TRIANGLE和STAC等国内外土壤质地自动分类程序。李建波等^[33]建立了基于WPF的三角图自动识别系统构建方法;本课题组基于Matlab GUI开发了一款土壤质地自动识别和分类软件,可单独或批量处理数据^[34];Moeys^[10]基于R语言编写了包含美、英、法等国的10余种土壤质地查询和分类软件。为了便于中国制土壤质地的查询和分类,通过修订USDA-NRCS Soil Texture Triangle 土壤质地Origin文件(下载网址: <https://www.originlab.com/file->

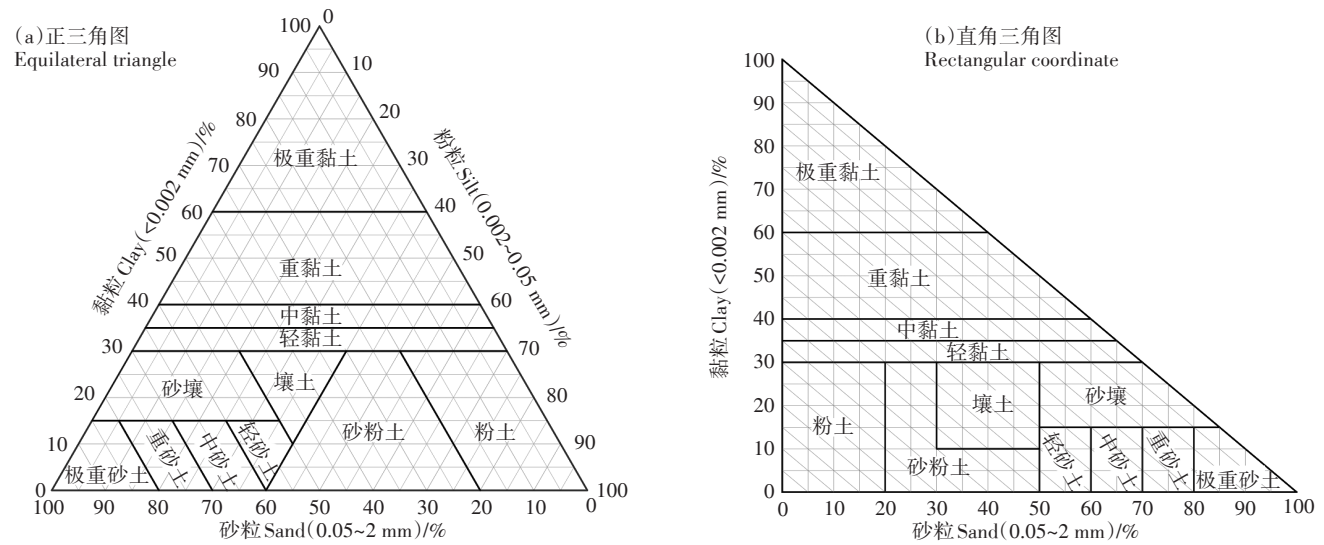


图3 中国土壤质地分类三角图
Figure 3 Triangle plots of Chinese soil texture classification

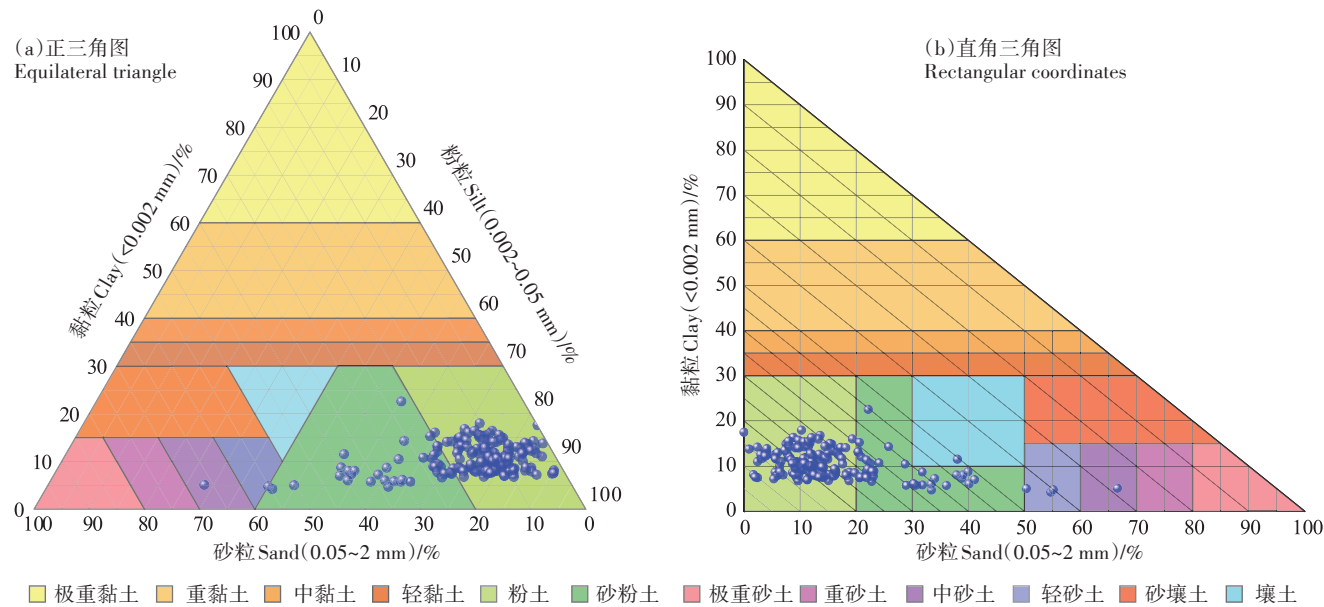


图4 中国制土壤质地分类建议修订方案质地计算/查询结果示意图(附部分数据实例)
Figure 4 Example of soil texture plotting using Chinese soil texture calculator(with superimposed measurements)

Exchange/details.aspx?fid=300),笔者根据中国制土壤质地分类建议修订方案(表3、图3)编写了对应的土壤质地分类查询软件(图4,该制图包的下载地址: <https://xn-esp.github.io/download.html>)。

3 讨论与展望

吴克宁等^[13]通过统计中国知网、Science Direct和百度学术上国内学者发表的研究成果中所使用的土壤质地分类制发现,美国制是应用最多的分类制,其次是国际制、卡庆斯基制,最后才是中国制。我国环境、地质、国土和农业等部门开展的各种行业调查(包括第二次全国土壤普查)以及发布的各种国标、行标也主要基于美国制、国际制或苏联制^[13,35]。1986年版中国制土壤质地分类是中国科学院南京土壤研究所邓时琴研究员等老一辈土壤学家根据苏联制改进而来^[8,28],但因难与其他分类体系接轨及无法绘制三角图等原因,推广和应用甚少^[13]。至今距离第二次全国土壤普查已经40余年,在第三次全国土壤普查启动之际,完善并推广中国制土壤质地分类系统具有重要意义。为了今后在科研和各个行业和领域的实践工作中更好地推广和应用中国制土壤质地分类,本研究对1986版的方案进行了初步修订,供学界继续开展深入讨论和完善,从而推动中国制土壤质地分类体系的改进和优化。同时,笔者绘制了土壤质地分类三角图并开发了查询软件/程序工具。

为了更好地衔接我国之前利用的美国制、国际制或苏联制调查的成果,同时与国际上其他土壤质地分类制接轨,建议未来重点利用换算公式^[36-37]或机器学习^[38]等手段开展不同分类制之间的转换研究工作,建立中国土壤质地分类制与世界其他主要国家分类制的转换关系并开发相关自动转换软件/程序工具,也可以更好地利用第二次全国土壤普查的数据为第三次土壤普查服务。同时,结合人工调查、地统计(考虑土壤质地的空间变异)^[39-40]、地理信息系统技术^[41]、高光谱遥感技术^[42-43]等进行土壤质地分类特征提取与数据融合,创建基于中国土壤质地分类制的全国土壤质地分布电子数据集/库,为不同尺度研究提供重要的基础数据。此外,土壤质地三角图也可以结合容重等信息用于机械力学分析或工程设计等^[31]。

参考文献:

- [1] HILLEL D. An overview of soil and water management: the challenge of enhancing productivity and sustainability[M]//KIRKHAM M B. Soil management: building a stable base for agriculture, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, 2011: 1-11.
- [2] BOCKHEIM J G, GENNADIYEV A N, HARTEMINK A E, et al. Soil-forming factors and soil taxonomy[J]. *Geoderma*, 2014, 226: 231-237.
- [3] 张甘霖, 朱阿兴, 史舟, 等. 土壤地理学的进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2018, 37(1): 57-65. ZHANG G L, ZHU A X, SHI Z, et al. Progress and future prospect of soil geography[J]. *Progress In Geography*, 2018, 37(1): 57-65.
- [4] 张甘霖, 吴华勇. 从问题到解决方案: 土壤与可持续发展目标的实现[J]. *中国科学院院刊*, 2018, 33(2): 124-134. ZHANG G L, WU H Y. From "problems" to "solutions": soil functions for realization of sustainable development goals[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33(2): 124-134.
- [5] HE H L, HE D, JIN J M, et al. Room for improvement: a review and evaluation of 24 soil thermal conductivity parameterization schemes commonly used in land-surface, hydrological, and soil-vegetation-atmosphere transfer models[J]. *Earth-Science Reviews*, 2020, 211: 103419.
- [6] HE H L, DYCK M F, HORTON R, et al. Development and application of the heat pulse method for soil physical measurements[J]. *Reviews of Geophysics*, 2018, 56: 567-620.
- [7] 张丽萍, 张懿铨, 王英安. 国内外土壤质地自动分类程序介绍[J]. *土壤通报*, 2007(5): 989-992. ZHANG L P, ZHANG Y L, WANG Y A. Computer programs of automatic classification for soil texture[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007(5): 989-992.
- [8] 邓时琴. 关于修改和补充我国土壤质地分类系统的建议[J]. *土壤*, 1986(6): 26-33. DENG S Q. Suggestions on revising and supplementing soil texture classification system in China[J]. *Pedosphere*, 1986(6): 26-33.
- [9] ATTERBERG A. De klastiska jordbeståndsdelarnas terminologi[J]. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, 1905, 27(4): 225-232.
- [10] MOEYS J. The soil texture wizard: R functions for plotting, classifying, transforming and exploring soil texture data[R/OL]. [2012-08-01] (2022-12-01). <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?jsessionid=0C220F1BAC21DDDF248B7A3170D26113?doi=10.1.1.231.2176-&rep=rep1&type=pdf>.
- [11] 张丽萍, 张懿铨, 王英安. 基于计算机图形学的土壤质地自动分类系统[J]. *地理科学进展*, 2006, 25(3): 86-95. ZHANG L P, ZHANG Y L, WANG Y A. Automatic soil texture classification system based on computer graphics[J]. *Progress in Geography*, 2006, 25(3): 86-95.
- [12] 邓时琴. 关于修改和补充我国土壤质地分类系统的建议[J]. *土壤*, 2017, 18(6): 304-311. DENG S Q. Suggestions on revising and supplementing soil texture classification system in China[J]. *Pedosphere*, 2017, 18(6): 304-311.
- [13] 吴克宁, 赵瑞. 土壤质地分类及其在我国应用探讨[J]. *土壤学报*, 2019, 56(1): 227-241. WU K N, ZHAO R. Soil texture classification and its application in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2019, 56(1): 227-241.
- [14] BORMANN H. Towards a hydrologically motivated soil texture classi-

- fication[J]. *Geoderma*, 2010, 157(3/4):142-153.
- [15] 张甘霖, 王秋兵, 张凤荣, 等. 中国土壤系统分类土族和土系划分标准[J]. 土壤学报, 2013, 50(4):826-834. ZHANG G L, WANG Q B, ZHANG F R, et al. Criteria for establishment of soil family and soil series in Chinese soil taxonomy[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(4):826-834.
- [16] 中国科学院南京土壤研究所, 中国科学院西北水土保持生物土壤研究所协作小组. 对我国土壤质地分类的意见[J]. 土壤, 1975(1):43-45. The cooperative group of Nanjing Institute of Soil Research, Chinese Academy of Sciences, and Northwest Institute of Biological Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences. Opinions on the classification of soil texture in China[J]. *Pedosphere*, 1975(1):43-45.
- [17] 陈邦本, 方明, 胡蓉卿, 等. 三种土壤质地分类制的比较——对江苏省沿海土壤适用性的评价[J]. 南京农业大学学报, 1983(2):52-62. CHEN B B, FANG M, HU R Q, et al. Comparison of three soil texture classification systems: an evaluation of availability for the coastal soils of Jiangsu Province[J]. *Journal of Nanjing Agricultural College*, 1983(2):52-62.
- [18] 王云森. 中国古代土壤科学[M]. 北京:科学出版社, 1980. WANG Y S. Soil science in ancient China[M]. Beijing:Science Press, 1980.
- [19] 熊毅. 土壤质地之研究[J]. 地质论评, 1937:26-133. XIONG Y. Study on soil texture[J]. *Geological Review*, 1937:26-133.
- [20] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1978. Nanjing Institute of Soil Research, Chinese Academy of Sciences. Physical and chemical analysis of soil[M]. Shanghai:Shanghai Science and Technology Press, 1978.
- [21] 南京大学. 土壤学基础与土壤地理学[M]. 北京:高等教育出版社, 1980. Nanjing University. Fundamentals of pedology and soil geography[M]. Beijing:High Education Press, 1980.
- [22] 邓时琴. 土壤普查鉴定与土壤分类制图问题[M]//中科院土壤研究所土壤普查工作组, 对南方土壤质地分类的初步意见. 北京:农业出版社, 1959:526-535. DENG S Q. Soil survey and identification and soil classification mapping[M]//Working Group of Soil Survey, Institute of Soil Research, Chinese Academy of Sciences. A preliminary opinion on the classification of soil texture in south China. Beijing: Agricultural Press. 1959:526-535.
- [23] 田积莹. 京郊群众鉴别和改良土壤耕性的初步总结[J]. 土壤, 1961(3):13-20. TIAN J Y. A preliminary summary of the identification and improvement of soil fertility in Beijing suburbs[J]. *Pedosphere*, 1961(3):13-20.
- [24] 朱显谟, 李玉山, 田积莹. 中国土壤[M]. 北京:科学出版社, 1978. ZHU X M, LI Y S, TIAN J Y. Chinese soil[M]. Beijing:Science Press, 1978.
- [25] 付庆瑛. 对我国土壤质地分类的管见[J]. 土壤, 2017, 19(4):212-214. FU Q Y. Humble opinion on the classification of soil texture in China[J]. *Pedosphere*, 2017, 19(4):212-214.
- [26] 邓时琴, 徐梦熊. 中国土壤颗粒研究: I. 太湖地区白土型水稻土中白土层土壤及其各级颗粒的理化特性[J]. 土壤学报, 1982, 19(1):22-33. DENG S Q, XU M X. Studies on soil particles in China I. Some physical and chemical properties of soil particles in different size fractions of the “Whitish Horizon” in bleached paddy soil of Tai Lake basin[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1982, 19(1):22-33.
- [27] 邓时琴, 徐梦熊. 中国土壤颗粒研究 II. 太湖地区黄泥土型水稻土及其各级颗粒的理化特性[J]. 土壤学报, 1986, 23(1):57-68. DENG S Q, XU M X. Studies on soil particles in China II. Some physical and chemical properties of soil particles of different size fractions in the permeable paddy soil of Tai Lake basin[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1986, 23(1):57-68.
- [28] 熊毅, 李庆逵, 龚子同, 等. 中国土壤[M] 二版. 北京:科学出版社, 1986. XIONG Y, LI Q K, GONG Z T, et al. Chinese soil[M]. 2nd Edition. Beijing:Science Press, 1986.
- [29] KOVACS B, CZINKOTA I, TOLNER L, et al. The determination of particle size distribution (PSD) of clayey and silty formations using the hydrostatic method[J]. *Acta Mineralogica-Petrographica*, 2004, 45:29-34.
- [30] NEMES A, CZINKOTA I, CZINKOTA G, et al. Outline of an automated system for the quasi-continuous measurement of particle-size distribution[J]. *Agrokémia és Talajtan*, 2002, 51(1/2):37-46.
- [31] SHIRAZI M A, BOERSMA L. A unifying quantitative analysis of soil texture[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1984, 48(1):142-147.
- [32] BAYER L D, GARDNER W H, GARDNER W R. Soil physics[M]. 4th Edition. New York:John Wiley & Sons, 1972.
- [33] 李建波, 房宗启, 纪全菊, 等. 基于 WPF 的三角图自动识别系统构建方法——以土壤质地分类系统为例[J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(4):339-345. LI J B, FANG Z Q, JI Q J, et al. Triangle coordinate diagram automatic recognition system software design based on WPF: a case study of soil texture[J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2016, 34(4):339-345.
- [34] 西北农林科技大学. 土壤质地计算器软件 V1.0:2020SR0132109 [CP/OL]. 2020-02-12. Northwest A&F University. Soil texture calculator software V1.0:2020SR0132109[CP/OL]. 2020-02-12.
- [35] 曹秀玲, 厉仁安. 土壤颗粒组成的微机处理[J]. 浙江农业大学学报, 1987(4):396-399. CAO X L, LI R A. The conversion for soil mechanical composition by means of microcomputer[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Zhejiangensis*, 1987(4):396-399.
- [36] MINASNY B, MCBRATNEY A B. The Australian soil texture boomerang: a comparison of the Australian and USDA/FAO soil particle-size classification systems[J]. *Soil Research*, 2001, 39:1443-1451.
- [37] 黄炎和, 卢程隆, 傅勤, 等. 土壤质地转换模型的探讨[J]. 福建水土保持, 1993(1):37-40. HUANG Y H, LU C L, FU Q, et al. Discussion on the transformation model of soil texture[J]. *Soil and Water Conservation in Fujian*, 1993(1):37-40.
- [38] CISTY M, CELAR L, MINARIC P. Conversion between soil texture classification systems using the random forest algorithm[J]. *Air, Soil, and Water Research*, 2015, 8:S31924.
- [39] 姬祥, 李登秋, 李玉环, 等. 基于地统计和GIS的土壤养分与土壤质地空间变异研究[C]. 智能信息技术应用学会论文集, 2011. JI X, LI D Q, LI Y H, et al. Study on spatial variability of soil nutrients and texture based on geostatistics and GIS[C]. Proceedings of International Conference on Fuzzy Systems and Neural Computing, 2011.

- [40] 江厚龙, 王新中, 刘国顺, 等. 烟田土壤质地的空间变异性研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 724-729. JIANG H L, WANG X Z, LIU G S, et al. Spatial variability of soil texture in tobacco field [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(4): 724-729.
- [41] 张时煌, 彭公炳, 黄玫. 基于地理信息系统技术的土壤质地分类特征提取与数据融合[J]. 气候与环境研究, 2004(1): 65-79. ZHANG S H, PENG G B, HUANG M. The feature extraction and data fusion of regional soil textures based on GIS techniques[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2004(1): 65-79.
- [42] 钟亮, 郭熙, 国佳欣, 等. 基于数据挖掘技术的高光谱土壤质地分类研究[J]. 中国农业科学, 2020, 53(21): 4449-4459. ZHONG L, GUO X, GUO J X, et al. soil texture classification of hyperspectral based on data mining technology[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(21): 4449-4459.
- [43] 曾庆猛, 孙宇瑞, 严红兵. 土壤质地分类的近红外光谱分析方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(7): 1759-1763. ZENG Q M, SUN Y R, YAN H B. NIR spectral analysis for soil textural classification[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2009, 29(7): 1759-1763.

附表1 熊毅先生拟定的土壤质地分类标准(1937年版)

Attached table 1 Chinese soil texture classification system proposed by XIONG Yi in 1937

质地	砂土							壤土						黏壤土			黏土						
	粗砂土	砂土	细砂土	极细砂土	粗壤砂土	壤砂土	细壤砂土	极细壤砂土	粗砂壤土	砂壤土	细砂壤土	极细砂壤土	壤土	粉砂壤土	砂黏壤土	黏壤土	粉砂黏壤土	砂黏土	粉砂黏土	壤黏土	黏土	重黏土	
黏粒	<20%														20%~30%			≥30%					
粉砂粒及黏粒	<15%			15%~20%				20%~50%					>50%		—			—					
黏粒	0~20%												<20%		—			30%~50%			50%~70%	>70%	
粉砂粒	0~20%					0~50%								30%~50%	>50%	<30%	20%~50%	50%~80%	<20%	50%~70%	<50%	—	—
极细砂	<50%	<50%	>50%	>50%	<35%	<35%	>35%	>35%	—	<35%		>35%	30%~50%	<50%	50%~80%	20%~50%	<30%	50%~70%	<50%	<50%	—	—	
细砂				—						>50%													
中砂	—	>35%			—	>35%		—	>25%		—												
粗砂	>35%				>35%				>45%														
细砾		—																					

附表2 我国土壤质地分类标准(1975年版)

Attached table 2 Chinese soil texture classification system in 1975

土壤质地组	质地名称	颗粒组成/%		
		砂粒 (1~0.05 mm)	粗粉粒 (0.05~0.01 mm)	黏粒 (<0.001 mm)
砂土	粗砂土	>70	—	<30
	细砂土	60~70	—	<30
	面砂土	50~60	—	<30
壤土	砂性两合土	>20	>40	<30
	小粉土	<20	>40	<30
	两合土	>20	>40	<30
	胶性两合土	<20	>40	<30
胶泥土	泥土	—	—	30~35
	胶泥土	—	—	35~40
	胶土	—	—	>40

附表3 我国土壤质地分类标准(1978年版)

Attached table 3 Chinese soil texture classification system in 1978

土壤质地组	质地名称	颗粒组成/%		
		砂粒 (1~0.05mm)	粗粉粒 (0.05~0.01 mm)	黏粒 (<0.001 mm)
砂土	粗砂土	>70	—	<30
	细砂土	60~70	—	<30
	面砂土	50~60	—	<30
壤土	砂粉土	>20	>40	<30
	粉土	<20	>40	<30
	粉壤土	>20	<40	<30
	黏壤土	<20	<40	<30
	黏土	>50	—	>30
黏土	砂黏土	>50	—	>30
	粉黏土	—	—	30~35
	壤黏土	—	—	35~40
	黏土	—	—	>40

注:按照土石山区的土壤特性拟定了我国土壤石砾含量分类,根据 1~10 mm 石砾含量,将土分为三类:无砾质(<1%)、少砾质(1%~10%)、多砾质(>10%)。

Note: The soil was divided into three categories according to the gravel content: gravel-free (<1%), low gravel (1%~10%), high gravel (>10%).