

以土地利用现状信息为空间框架的大比例尺 土壤图制作方法初探^① ——以浙江富阳为例

蒋玉根¹, 吴豪翔^{2*}, 裘希雅¹, 程 渊³, 宋一龙³, 何旭华¹,
许 杰¹, 顾万帆¹, 戴学龙¹, 吴龙华⁴

(1 浙江富阳市农业局, 浙江富阳 311400; 2 浙江大学公共管理学院, 杭州 310020; 3 杭州思绘信息技术有限公司, 杭州 310020;

4 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008)

摘 要:以 1:10 000 土地利用现状图的部分土地利用分类信息为空间框架基础, 结合 1:10 000 乡镇土壤详查图、1:50 000 土壤图, 以及其他影响土壤特性的地形、地质等图件信息和野外剖面调查, 探索 1:10 000 大比例尺土壤图制作的可行性。结果表明, 得到的土壤图不仅在分布上更贴近于实际、分类图斑更细腻、土壤分类的面积精度更高, 而且制作方便, 易于土壤信息数据库的建设和在实际应用中与土地利用等的无缝叠加。该方法适于县级大比例尺制图, 可为更好地掌握区域土壤分布现状、精准农业和土地利用提供准确的土壤信息。

关键词:土壤图; 土壤调查与制图; 土地利用现状图; 富阳市

中图分类号: P934

土壤是农业生产的基础, 土壤调查和土壤制图则是土壤科学的重要内容和组成部分^[1]。近年来, 随着精准农业、环境管理以及生态过程模拟等的发展, 产生了对土壤信息的较高精度和大量需求^[2-4]。至今, 实际应用中的绝大部分土壤图形成于第二次全国土壤普查, 用传统土壤调查方法调查制作而成的 1:50 000 或更小比例尺的土壤图^[5]。为适应土壤信息服务的要求, 各国的土壤学家在近 20 年内相继开展了大量土壤调查研究, 以土壤-景观定量模型为理论基础、以“3S”、数字地面分析等空间分析和数学方法为技术手段的土壤调查方法得到了发展和应用^[6-7]。但是, 土壤调查研究和数字土壤制图侧重于建立土壤类型或土壤属性与景观类型、环境要素之间的定性^[8-9]和定量关系^[10-12], 在土壤图制作以及土壤分类成果方面缺乏实质性进展, 实际应用中仍以形成于 20 世纪 70 年代后期至 80 年代的 1:50 000 比例尺的土壤图为主, 难以满足当前精准农业的需要。

为适应精准农业对土壤的空间位置、土壤特性等信息服务的需要, 本文选择富阳市为研究区, 以 1:10 000

土地利用现状图为主要工作底图, 结合野外实地调查(包括土壤剖面)、土地利用现状和土壤分布的关联性特征分析, 采用 GIS 技术手段, 进行了 1:10 000 比例尺土壤图的研究与制作。利用土地利用现状图和土壤图的空间共性, 从土地利用现状图提取出具有一定决定性的土壤界线信息, 通过结合地形、地质等信息, 利用土壤和各类信息的相关性判别, 确定土壤类别和土壤界线, 然后经实地核准形成土壤图, 以期农业生产提供现时、科学、符合土地利用现状并与目前农业生产和科学技术相匹配的基础土壤图数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

富阳市位于浙江省西北部, 市域介于 29°44'~30°12'N, 119°25'~120°09'E, 属亚热带季风性气候, 气候温和, 日照充足, 四季分明, 雨水充沛, 平均海拔 300.5 m; 成土母质复杂, 山区主要为侏罗纪的流纹斑岩和凝灰岩, 震旦、寒武纪的石灰岩、页岩等; 丘陵地区主要为凝灰岩、砂岩、砂页岩等; 河谷平原

基金项目:浙江省科技厅公益技术研究社会发展项目(2010C33SAC0005)、杭州市农村农业科研推广专项(20101032B56)和 863 计划重大课题项目(2012AA06A204)资助。

* 通讯作者(hxwu@zju.edu.cn)

作者简介:蒋玉根(1964—), 男, 浙江富阳人, 高级农艺师, 主要从事土肥技术研究。E-mail: nyjtfz@163.com

主要为淤积的近代冲积体,以砂壤质及壤质为主。植被类型为常绿针叶林和落叶阔叶林,多见竹林和灌木林;全市土地总面积 $1.82 \times 10^5 \text{ hm}^2$,地貌以“两山夹江”为特点,平原谷地占 18.7%,土地利用类型以林地为主,占全市面积的 68%,耕地占全市 14%,是一个“八山半水分半田”的丘陵山区。

1.2 基础资料来源及整理

本研究所用土地利用现状调查数据采用 2004 年土地利用现状图和 2010 年第二次土地利用现状调查图,矢量数据为 ArcGIS 的 SHP 格式文件;土壤图参照 1979 年富阳市作为全国第二次土壤普查南方试点时调查和手绘制作的纸质准 1:10 000 分乡镇土壤详查图,以及已量化的全市 1:50 000 土壤图。但由于 1:10 000 乡镇土壤详查底图形成时期较早,且受当时技术条件和原始资料的限制,土壤分类界限的精度相对较低,因此,本研究也将原有的 1:10 000 乡镇土壤详查图称之为准 1:10 000 乡镇土壤图。在土壤图制作中,应用土地利用现状图作为土壤图制作的框架,而只将原有乡镇土壤图作为土壤制图时的参照图件。另外,收集了 1:10 000 地形图和正射影像图、1:200 000 地质图作为土壤类别判别的形成环境和成土母质等的补充依据。

1.3 土壤分类体系

富阳市土壤以红壤、黄壤和水稻土为主,红壤面积最大,遍布全市,其次为黄壤,位于山地的上部。研究中土壤分类采用浙江省第二次土壤普查成果《浙江土种志》的分类体系^[13],按土类-亚类-土属-土种的 4 级分类。

1.4 土壤图制作方法

如何进行土壤类型和土壤界线的正确判定是土壤制图的关键,土壤是五大成土因素共同作用的结果,而土地利用与其中部分因子具有较好的一致性,如地形地貌、生物活动,甚至母质母岩类型,区域土壤制图中经常利用航片、土地利用图作为辅助图层。利用土地利用现状图资料作为空间框架基础进行土壤调查具有以下几个特点:①部分土壤图的界线与现状图一致。如土地利用现状调查的水田是水稻土与其他土壤的区分依据,道路、水域、建设用地可作为土壤图的道路、水域和建设用地界线;②土地利用类型的分类较细。如水田被分为灌溉水田和望天田,反映了洪涝和灌溉保证等环境条件,可作为土壤判读的依据之一,也为确定土壤图斑类别提供参考依据;③界线精度高。满足土壤图中部分如水稻土、道路、水域、建设用地等界线的精度要求;④调查资料新。耕地的分布表现符合现状,土地利用图斑具有坡度、权属等

属性数据,给土壤图的制作提供了方便。

因此,利用 1:10 000 土地利用现状图作为土壤图的空间框架基础,减少了建立土壤图矢量空间数据的工作量。而且土地利用现状图上包含了很多的土壤属性类别和土壤界线的信息,可以为土壤图提供土壤类别和土壤分类界线的总体界线分布空间架构。结合反映成土环境的地形图、反映土壤母质的地质图等空间信息,制作一个地区的 1:10 000 土壤图变得容易实现。本文对土壤图进行了两方面的研究,一是以土地利用现状图为基础底图,叠加早期的乡镇土壤图等图件作为参考进行全市 1:10 000 大比例尺土壤图制作的研究;二是为验证制图方法的实用性,针对没有 1:10 000 乡镇土壤图、而仅有 1:50 000 土壤图的情况,利用土地利用现状图开展 1:10 000 大比例尺土壤图的制作研究。土壤图制作的技术路线如图 1 所示。

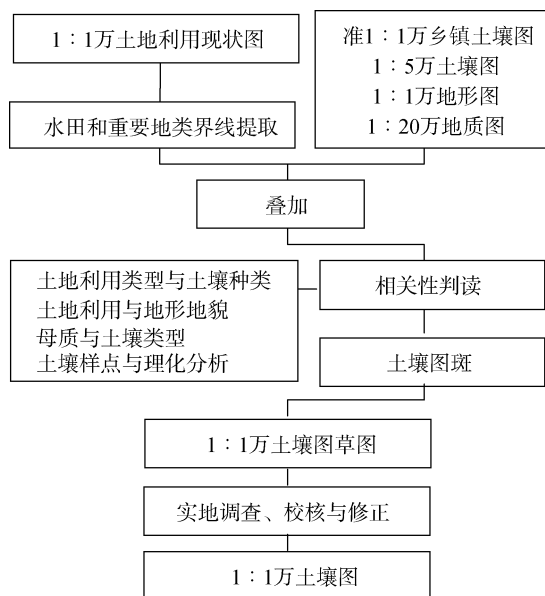


图 1 土壤图制作技术流程

Fig. 1 Technical route of soil mapping

2 结果与讨论

2.1 基础框架信息的提取

根据土壤发生学的特点,水稻土形成于种植水稻的水田,土地利用现状图的水田图斑通常视为土壤图上水稻土的空间分布范围。在制图中,提取土地利用现状图的全部水田图斑,将其外围界线作为水稻土与其他土壤的分界线。由于土地利用现状相对土壤属性在空间分布上具多变性,部分水田在近期可能并不种植水稻,土地利用现状图上也可能被表示为其他地类,在水稻土界线的提取中,也参照更早时期(2004 年)的土地利用现状图,将当时为水田、2010 年土地利用现状调查为其他农用地的图斑,作为疑似水稻土处

理,实地核实时作进一步确认。鉴于水稻土的形成需要一定的水耕时期,对于早期(2004年)的土地利用现状图并非水田,在2010年土地利用现状图上为水田的图斑,作为准水稻土处理,也在实地核实时作进一步确认。其次,提取河流水面和因人为作用形成的道路、农村居民点等建设用地图斑以及乡镇界线,与水田图斑一起组成土壤图中土壤图斑界线的基础空间框架,这些图斑界线也是土壤图的地类和土壤分类界线。

结果显示,由于富阳市耕地以水田为主、地类图斑破碎程度主要受耕地和建设用地分布的影响,土地利用现状图上提取的界线与土壤图图斑界线分布有

着极大的一致性。图2显示乡镇合并前洞桥镇范围被提取界线和加入土壤图斑界线后的土壤图界线分布情况,该镇位于山区、且岩性种类较多,两者除因成土母质岩性的区别、位于山地部位的土壤类型需要补充土壤界线外,整个土壤图界线的框架基本没有大的变化。如按图内的土壤界线长度来评价两者间的界线区分,土地利用现状图上提取出的界线占了区域范围内界线长度的86%,补充的土壤界线仅占14%。位于丘陵、岩性较简单区域或平原地区,需补充的土壤界线所占比例则更小,就全市土壤图而言,补充的土壤界线仅占全市土壤界线总长度的10.5%。

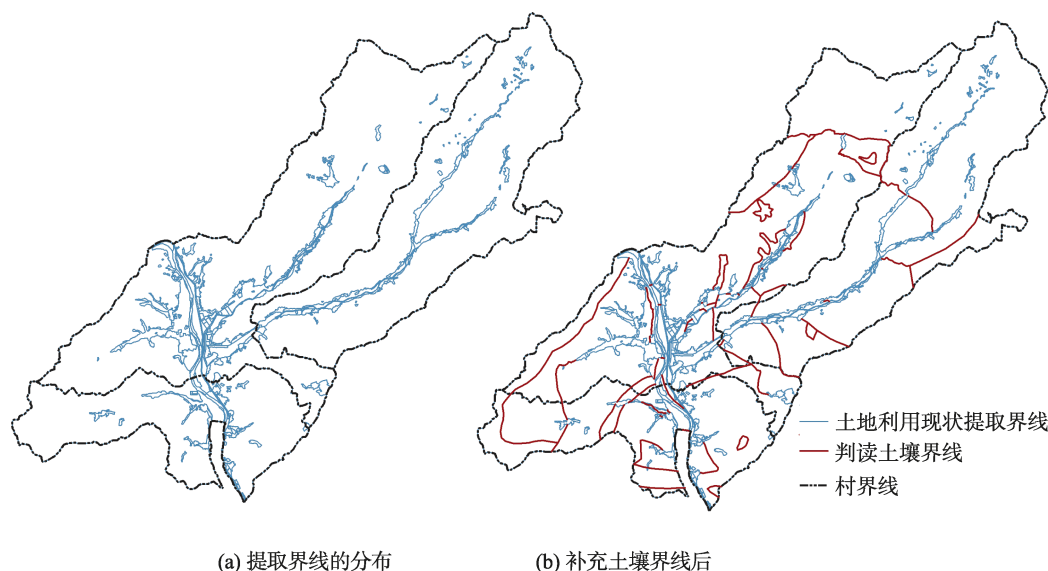


图2 土地利用现状图提取的土壤图界线分布情况

Fig. 2 Distribution of soil boundaries abstracted from land use map

2.2 土壤图的制作

富阳市乡镇土壤图的制作年代较早,且为手工绘制,与1:10 000的土地利用现状图的空间坐标存在较大误差,在整体形状上也存在变形现象。因此,首先在土地利用现状图的空间框架的基础上,从土壤图上找出河流、道路交叉点等对应的明显地物点,利用ArcGIS软件的图形纠正功能,从整体上对乡镇土壤图等各类图件数据进行空间位置的匹配,然后在土地利用现状图上提取的空间框架线条基础上补充缺少的土壤图斑界线。补充原则参照乡镇土壤图、土地利用现状等进行综合判断。各个土壤图斑的土壤类别根据乡镇土壤图的土壤种类确定,对乡镇土壤图上难以定位和新增的图斑,根据土壤成土因素和周边土壤类别情况综合判断。经室内判断输入土壤图斑界线和图斑属性后,形成1:10 000富阳市土壤图草图,然后到实地进行进一步验证,对有疑问的图斑,进行挖土壤剖面进行论

证,最终经ArcGIS的图形和图斑属性处理,形成全市数字土壤图成果。

实地验证结果发现,图斑界线基本与现实土壤分布一致,差异主要发生于山区个别小范围地类图斑的界线产生位置偏移,通过实地调查、土壤剖面分析和影像判读进行纠正。土壤类别也与实际基本一致,只是因受环境或耕作条件影响较大的个别土壤类型发生了变化,且主要发生于耕作土壤,如第二次土壤普查时的部分烂泥田,因水利建设等导致土壤水分状况改善,因而土壤类型已发生变化;第二次土壤普查时河谷两边较多的半沙田,受长期的耕作和山谷洪积物等的影响,从土壤性质上已改变成为洪积泥砂田。对这些类型的土壤,在土壤图上按现实土壤性质作修订。结果显示,用该方法制成的土壤图不仅修订了原有乡镇土壤图位置精度不高的缺点,部分发生变化的土壤类别得到修正,而且道路、水域和农居等建设用地的地理空间坐标完全与现状一致,土壤的分布符合

土地的实际利用状况。

表 1 显示了乡镇合并前洞桥镇范围按上述方法制作的土壤图(简称新土壤图)与第二次土壤普查的乡镇土壤图(简称旧土壤图)的差异情况:新土壤图的图斑数量明显增多,图斑变得更为细腻,分布与实际土地利用相一致;在不同土壤类别的面积变化上,主要表现为水稻土面积的减少、道路和农村居民点等建设用地面积的扩大,水稻土面积减少了 1/3 以上,道路和农村居民点等建设用地面积扩大了 5 倍;个别土壤如烂泥田、半砂田改变成为黄泥田、洪积泥砂田,清水砂改变成为洪积泥砂土。图 3a、b 显示了制作的新土壤图与原乡镇土壤图旧图间的图形和分布的差异状况。

按上述方法制作的全市土壤图,共包含 6 个土类、11 个亚类、26 个土属和 51 个土种。图 4 是富阳市 6 个土类的土壤分布状况。

2.3 缺乏准 1:10 000 乡镇土壤图情况下的土壤图制作

为了进一步判断基于 1:10 000 土地利用现状图的土壤制图方法的实用性,在洞桥镇进行了完全不使用准 1:10 000 乡镇土壤图,仅参考 1:50 000 土壤图的 1:10 000 大比例尺土壤制图的研究。各相关图件

的重叠匹配和判读制图与上述制图方法一致,土壤界线判读人员选用具有一定土壤分类和调查知识,但没有接触研究区域准 1:10 000 乡镇土壤图和对研究区进行过土壤调查的一般专业人员。

得到的室内判读土壤图与上述借助了准 1:10 000 乡镇土壤图成图的土壤图相比较,由于所采用的土壤制图的基本构架完全相同,水稻土以及土壤图上的水域、道路、农村居民点等建设用地界线,两者完全一致。表 2 和图 5a 显示了不使用准 1:10 000 乡镇土壤图情况下的室内判读结果。土壤界线上的差异主要是对一些母质不一致的土壤类别判断上,界线位置偏移,图上难以确定土壤母质,不能细分出土壤类型而难以定界。在土壤属性上,部分面积较小,在 1:50 000 图上未被表示的土种,室内难以被判读出。这几种情况均需要通过实地补充调查才能确定。

比较 1:50 000 土壤图(表 2、图 5b),1:10 000 土壤图图斑明显被细化、图斑位置和土壤分类的空间位置更精确,如洞桥镇的 1:50 000 土壤图仅被划分出 37 个图斑,基于 1:10 000 土地利用现状图经室内判读形成的土壤图,图斑数量达 317 个,去除水域、道路、农居等建设用地图斑后的土壤图斑也达 119 个,其结果无疑更适宜于现代农业对土壤信息的需要。

表 1 洞桥镇土壤图斑数量与面积的比较
Table 1 Comparison of numbers and areas of soil polygons on Dongqiao Town

土壤类型	旧土壤图		新土壤图	
	图斑 (个)	面积 (hm ²)	图斑 (个)	面积 (hm ²)
黄泥田	39	147.25	41	65.47
黄油泥田	24	45.91	15	25.32
洪积泥砂田	7	5.55	13	67.04
焦砾塬洪积泥砂田	17	79.58	14	59.78
谷口泥田	1	4.68	3	5.60
黄泥砂田	4	7.97	2	4.24
黄大泥田			5	7.72
半砂田	10	69.85		
烂泥田	1	5.47		
黄泥土	16	1 584.09	19	1 711.61
山黄泥土			2	71.00
油黄泥	12	1 397.51	34	1 893.30
片石砂土	2	138.90	1	155.94
洪积泥砂土			8	4.09
清水砂	1	1.65		
石灰岩夹页岩或砂岩	6	594.84		
道路	3	1.00	4	6.84
河流水塘	69	136.85	34	35.25
农居等建设用地	71	29.14	160	145.70
合计	284	4 258.90	355	4 258.90

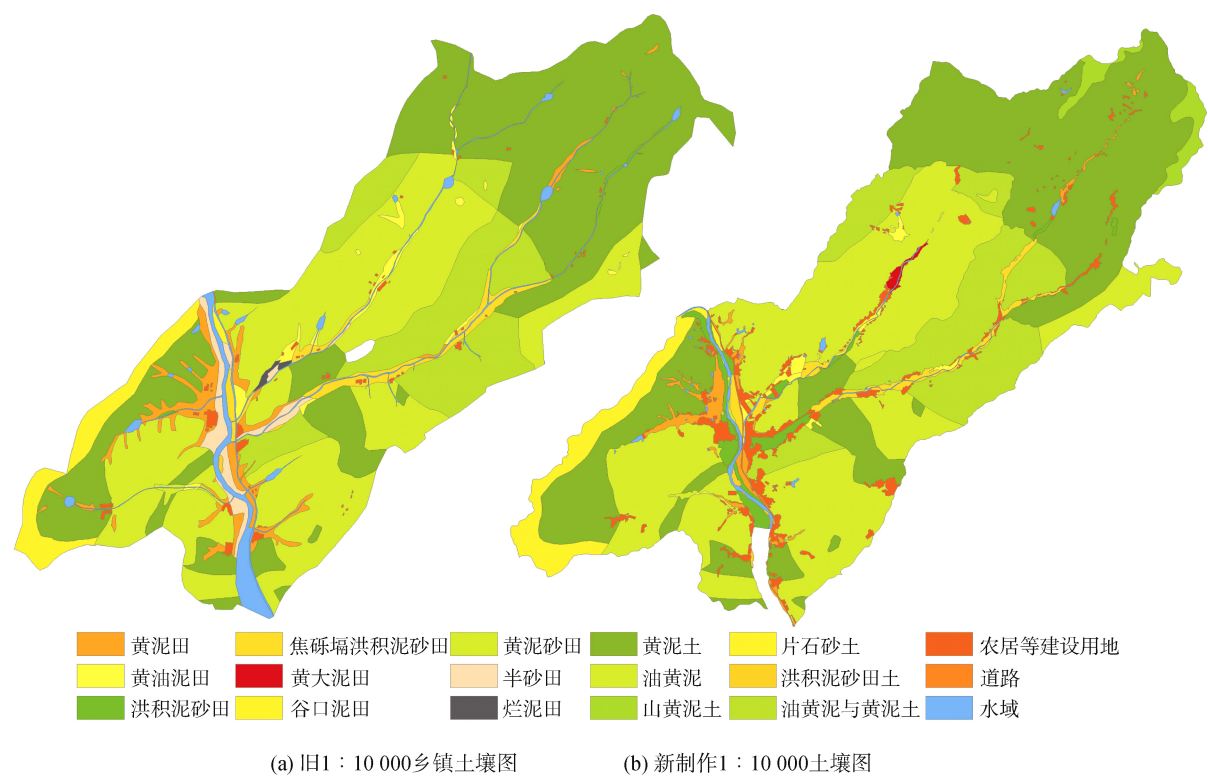


图 3 洞桥镇新旧 1：10 000 土壤图的土壤分布比较
Fig. 3 Soil distribution of new and old soil maps on 1：10 000 scale

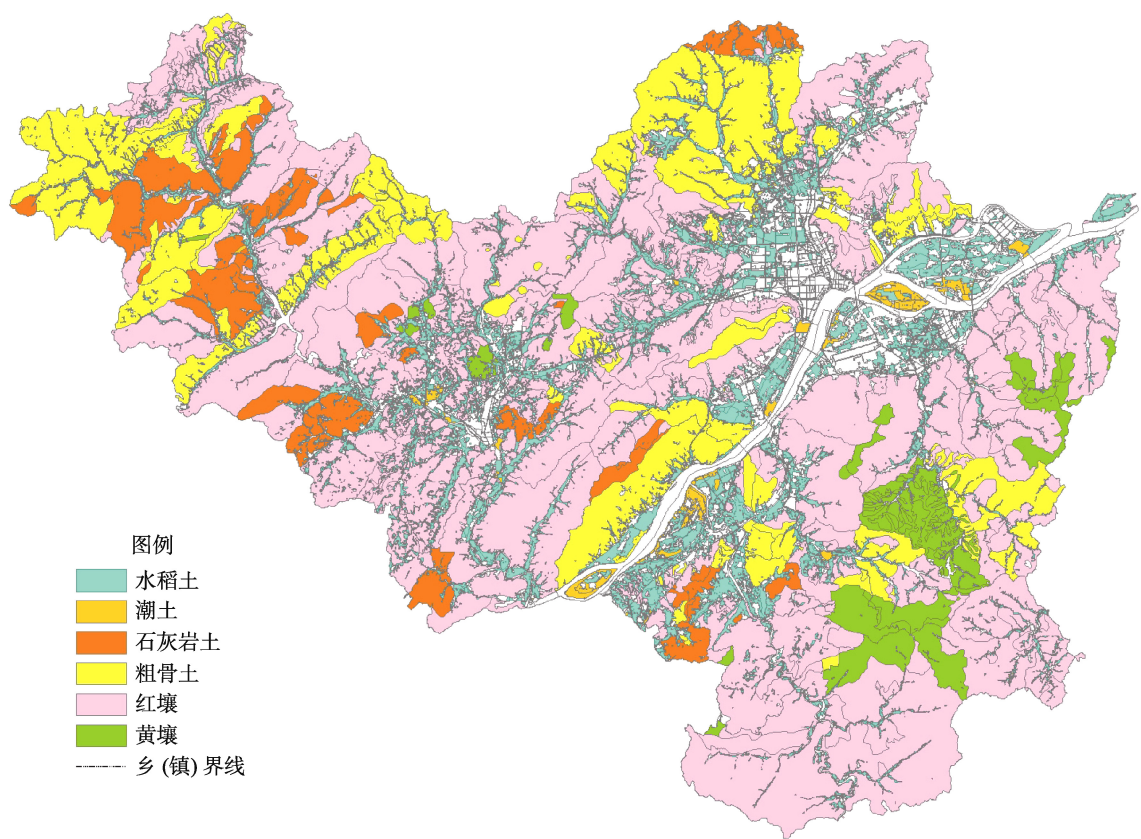


图 4 富阳市 1：10 000 土壤图
Fig. 4 Soil map of Fuyang City on 1：10 000 scale

表 2 不同基础资料情况下的土壤制图结果比较
Table 2 Comparison of soil maps formed under various basic data

土壤类型	1 : 10 000 土壤图		1 : 50 000 土壤图	
	数量 (个)	面积 (hm ²)	数量 (个)	面积 (hm ²)
黄泥田	13	48.43	5	31.56
黄油泥田	1	16.81	2	8.18
洪积泥砂田	31	5.80	5	184.36
焦砾塌洪积泥砂田	9	89.62	2	52.50
谷口泥田	2	36.81	1	35.67
黄泥砂田	15	21.32	5	139.43
黄大泥田	9	16.36	3	31.65
黄泥土	5	1 255.24	3	1 275.69
山黄泥土	2	71.00	2	71.00
油黄泥	27	1 911.99	7	1 863.61
片石砂土	5	597.72	1	559.10
道路	4	6.84		
河流水塘	34	35.25	1	6.15
农居等建设用地	160	145.70		
总计	317	4 258.90	37	4 258.90

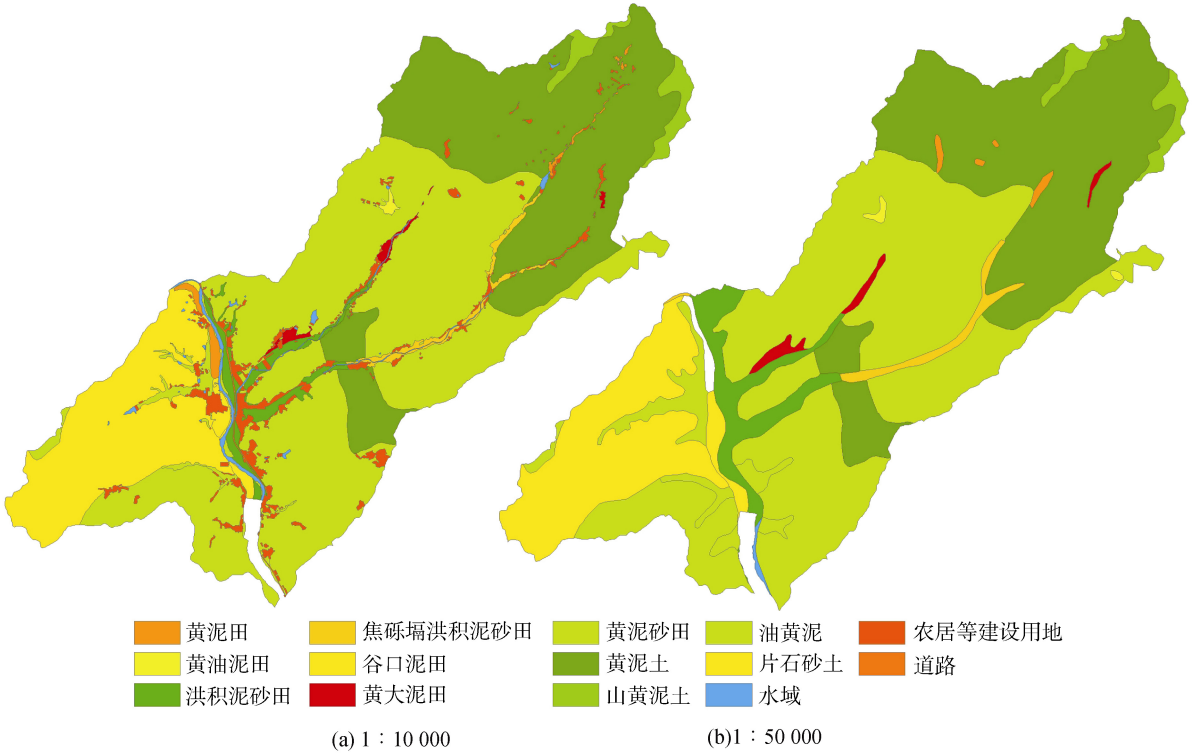


图 5 洞桥镇两种比例尺土壤图的土壤分布情况
Fig. 5 Soil distribution of two soil maps on 1 : 10 000 and on 1 : 50 000 scales

3 结论

1 : 10 000 大比例尺土壤图的制作旨在更好地掌握区域土壤分布现状,为精准农业和土地利用提供准确的土壤信息。以 1 : 10 000 土地利用现状图的部分土地利用分类信息为土壤图的空间框架基础,结合参考大

比例尺乡镇土壤图或 1 : 50 000 土壤图,以及其他影响土壤特性的地形、地质等图件信息,制作 1 : 10 000 大比例尺土壤图切实可行。得到的土壤图不仅在分布上更贴近于实际、分类图斑更细腻、土壤分类的面积精度更高,而且制作方便,易于土壤信息数据库的建设和在实际应用中与土地利用图等其他图件数据的精准叠加。

本研究中土壤图制作的土壤分类级别为土种,土壤学界也有专家认为1:10 000土壤图要求上图的土壤分类级别为变种,而非土种,这仍有待于商榷。本研究认为,土壤图精度的标志应在于土壤的分类界线精度是否符合相应比例尺的上图精度,本研究方法不仅在精度上符合1:10 000大比例尺土壤图的精度,也有利于对第二次土壤普查后已发生变更的土壤做出修正,提高土壤图的精度和准确性。利用1:10 000土地利用现状图作为空间框架进行土壤图的制作,其数据无疑也更容易使农业部门与土地管理部门达到图件和面积数据资料等的统一和相互应用。

参考文献：

- [1] 赵其国. 我国土壤调查制图及土壤分类工作的回顾与展望[J]. 土壤, 1992, 24(7): 281-284
- [2] 赵量, 赵玉国, 李德成, 孙孝林, 张甘霖. 基于模糊集理论提取土壤—地形定量关系及制图应用[J]. 土壤学报, 2007, 44(6): 961-967
- [3] Zhu AX, Band L, Vertessy R, Dutton B. Derivation of soil properties using a soil land inference model(SoLIM) [J]. Soil Science Society of American Journal, 1997, 61: 523-533
- [4] Gessler PE, Chadwick OA, Chamran F, Althous L, Holmes K. Modeling soil-landscape and ecosystem properties using terrain attributes[J]. Soil Science Society of American Journal, 2000, 64: 2 045-2 056
- [5] 席承藩, 章士炎. 全国土壤普查科研项目成果简介[J]. 土壤学报, 1994, 31(3): 330-335
- [6] Scull P, Franklin J, Chadwick OA, McArthur D. Predictive soil mapping :A review[J]. Progress in Physical Geography, 2003, 27: 171-197
- [7] McBratney AB, Mendonca ML, Minasny B. On digital soil mapping[J]. Geoderma, 2003, 117: 3-52
- [8] Hu YM, Dai J, Wang RC. GIS-based red soil resources classification and evaluation[J]. Pedosphere, 1999, 9(2): 131-138
- [9] 杨胜天, 朱启疆, 李天杰. RS 和 GIS 支持下的土壤系统分类制图方法研究——以贵州省贵阳市为例[J]. 土壤学报, 2001, 38(1): 41-48
- [10] 朱阿兴, 李宝林, 杨琳, 裴韬, 秦承志, 张甘霖, 蔡强国, 周成虎. 基于 GIS、模糊逻辑和专家知识的土壤制图及其在中国应用前景[J]. 土壤学报, 2005, 42(5): 844-851
- [11] 孙孝林, 赵玉国, 赵量, 李德成, 张甘霖. 应用土壤—景观定量模型预测土壤属性空间分布及制图[J]. 土壤, 2008, 40(5): 837-842
- [12] 张庆利. 美国基于 GIS、专家系统和模糊推断的土壤制图方法[J]. 水土保持科技情报, 2002(2): 1-5
- [13] 浙江省土壤普查办公室. 浙江土种志[M]. 科学技术出版社, 1993: 249-273

Study on Method of Soil Mapping on Large Scale —— A Case Study of Fuyang City in Zhejiang Province

JIANG Yu-gen¹, WU Hao-xiang^{2*}, QIU Xi-ya¹, CHENG Yuan³, SONG Yi-long³, HE Xu-hua¹,
XU Jie¹, GU Wan-fan¹, DAI Xue-long¹, WU Long-hua⁴

(1 Agriculture Bureau of Fuyang City, Zhejiang Province, Fuyang, Zhejiang 311400, China; 2 Department of Land Administrations, Zhejiang University, Hangzhou 310020, China; 3 Hangzhou Sihui Infomation Technology Co. Ltd., Hangzhou 310020, China; 4 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: The purpose of this paper is to make soil map at 1:10 000 scale based on part land use classification information of land use type map at 1:10 000 scale as space frame, combined with large scale soil map at township level, soil map at 1:50 000 scale and some soil property-related information from topographical and geological map. The results showed that the formed soil map at 1:10 000 scale had the following advantages: being closer to the actual situation in distribution; with clearer classification map delineation; with high precision of soil classification area; being more convenient to make; being easier to overlap soil use status map seamlessly in the establishment of soil information data base and in the actual application. The soil mapping method developed in this paper is suitable for the large scale mapping at county level and it could better represent the actual situation of soil distribution in the range of a region and provide precision agriculture and land use with accurate soil information.

Key words: Soil map, Soil survey and mapping, Land use status map, Fuyang City