

国家重大科学研究计划 (2013CB956702)
贵州省一流学科 (GNYL [2017]007) 资助

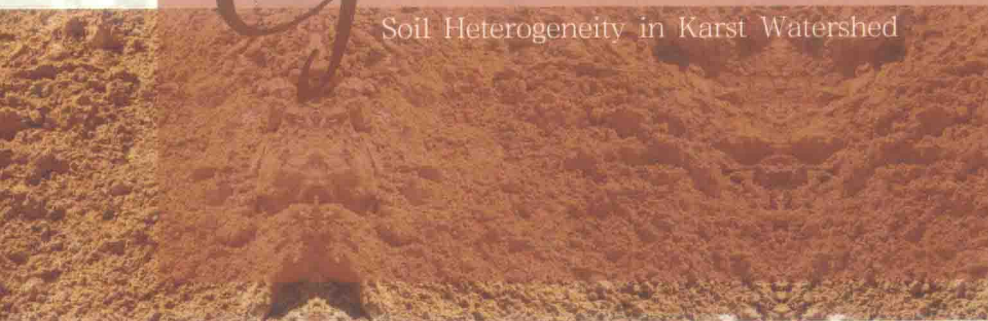
喀斯特小流域

土壤异质性研究

周运超 张珍明 黄先飞 / 著



Graduate Students of
Soil Heterogeneity in Karst Watershed

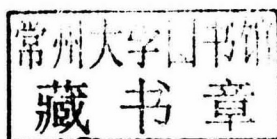


科学出版社

国家重大科学研究计划(2013CB956702)、贵州省一流学科(GNYL [2017]007)资助

喀斯特小流域土壤异质性研究

周运超 张珍明 黄先飞 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书在作者及其团队多年研究的基础上,结合国内外最新研究成果,借鉴相关研究,应用经典统计学、地质统计学及GIS技术,深入研究喀斯特区土壤空间异质性及其影响因素,突出土壤异质性的形成机理与质量特征,重在植被恢复潜力的研究;研究喀斯特小流域的基本属性、空间异质性的分布特征、形成机理及其综合影响因素,为喀斯特小流域土壤质量提高与植被恢复潜力的评估提供理论基础和技术支撑。研究成果对合理开发利用与保护喀斯特土壤资源、进行喀斯特石漠化治理研究、推动喀斯特生态恢复与重建都具有深远的意义。

本书可供从事土壤学与环境科学的科研、教学、生产、经营、自然保护及资源调查等领域的师生和工作人员参考,同时可为政府决策提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

喀斯特小流域土壤异质性研究 / 周运超, 张珍明, 黄先飞著. — 北京: 科学出版社, 2019.6

ISBN 978-7-03-060709-6

I. ①喀… II. ①周… ②张… ③黄… III. ①喀斯特地区-小流域-环境土壤学-异质-研究 IV. ①X144

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 040915 号

责任编辑: 冯 铂 唐 梅 / 责任校对: 彭 映

责任印制: 罗 科 / 封面设计: 墨创文化

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年6月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2019年6月第一次印刷 印张: 10 1/2 插页: 18 页

字数: 220 000

定价: 108.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

“土生万物，地降千祥”，人类脚下的大地，是大自然的伟大馈赠——一层薄薄的土壤。作为生命的自然载体，土壤是人类农业文明的源头，更是人类社会健康发展的自然保障。只有土壤的可持续，才有人类社会的可持续。研究土壤，保护土壤是土壤学工作者的最大使命。

农业和环境的发展，在于对土壤的合理利用。这种利用应该建立在对土壤自身特性的了解、对土壤变化的感知等基础上。作为地表的薄覆盖层，土壤不但在微观上存在土壤物质的结构、性质的异质性，而且在空间上存在个体分布的异质性，构成了土被的复杂性及不连续性，影响甚至制约土壤的演变过程、功能和生态系统服务。在受岩性高度制约的喀斯特环境中，土壤的异质性是制约其资源生产力和生态系统服务的关键因素。恢复退化喀斯特土壤，重建健康的土被，认识喀斯特土壤异质性成为土壤学和地理学的重要科学任务，更是艰难的科学挑战。

贵州是我国典型的喀斯特地区，喀斯特土壤资源的保护和利用事关贵州的经济、民生和社会的健康发展。所幸，贵州的地理、生态和环境科学工作者一直致力于喀斯特退化土壤研究，特别关注喀斯特土壤的空间异质性问题。周运超等作者长期坚持喀斯特土壤研究，对于贵州喀斯特土壤异质性积累了丰富的资料和科学认识，该书代表了这群朴实研究者的辛勤耕耘。他们的研究对于土壤学基础理论、对于喀斯特生态系统恢复和保护具有重要的借鉴意义。期望他们的成果能引起同行们的关注，对其中的认识和观点能有切磋交流，乃是对土壤学发展和社会服务价值的一大贡献。在本书付梓之际，对他们十余年的坚守，对他们突破常规的探索，由衷地表示钦佩，乃勉为序。

潘根兴

2019年初春于南京

前 言

全球碳酸盐岩地区分布广泛,中国岩溶面积占国土面积的 1/3。碳酸盐岩是全球最大的碳库,喀斯特山地的土壤和植被对外界反应敏感,易遭破坏,极难恢复,属典型的碳酸盐生态脆弱区。我国西南是全球主要的喀斯特连续集中分布区之一,其石漠化面积达 $29.22 \times 10^4 \text{km}^2$,且存在逐年扩大的趋势,西南地区以贵州省最为严重,占全国岩溶区总面积的 35%。近年来随着人口的迅速增加,不合理的人为活动加剧了贵州石漠化进程,对喀斯特地区的土壤理化性质及其土壤中的碳循环产生巨大影响,给该地区碳储量的估算和碳源/汇的评估带来很大困难。加上岩溶土壤具有特殊的碳循环机制,开展喀斯特土壤异质性及植被恢复潜力的研究十分必要。

在生态系统过程研究中,土壤一直都是十分重要的组成部分,因而土壤异质性研究就成为十分基础的工作,但是如何采集具有典型性和代表性的土壤样品,使之能够反映整个样地的真实水平却一直是十分重要而又极富争议的话题,为此研究区域土壤异质性是非常有必要的,这也是本书撰写的出发点。目前,土壤空间异质性研究主要采用经典统计学、地质统计学、随机模拟方法、分数维方法及 GIS 等方法,这些方法在本书中都有很好的体现。喀斯特区和非喀斯特区土壤养分均存在一定的空间自相关性,这对深入研究喀斯特区空间异质性、小生境分类和选择最佳土壤采样方法具有重要的指导意义。在喀斯特地区,生境异质性极高,主要表现在两个方面:一是由于石漠化致使大量表土流失、岩石裸露、土被不连续、生境复杂化;二是由于碳酸盐岩的岩溶作用等致使土壤的纵向分布结构不均一,土层厚度差异明显。这种生境高度异质性为开展喀斯特土壤碳储量研究带来极大的困难,特别是前期土壤采样面临巨大的挑战,如何深入认识喀斯特区异质性是学术界关注的焦点。

植被恢复是石漠化治理的关键环节,也是提高土壤质量的有效途径。近二十年来,在我国西南喀斯特地区先后启动了天然林保护、退耕还林、石漠化治理试点及生态公益林补偿等一系列生态建设工程,产生了较大的环境效益,但局部地区仍在恶化,防治形势仍然严峻。土壤有机碳(质)是土壤质量的重要组成部分,在植被恢复中起着举足轻重的作用。为此,充分了解喀斯特地区土壤有机碳的分布特征及其影响因素,准确估算喀斯特地区土壤有机碳储量是植被恢复潜力研究的前提和关键,在喀斯特地区生态恢复与重建中起着举足轻重的作用,为喀斯特地区土壤质量提高和农业可持续发展提供保障。

全书共分为7个章节，由周运超、张珍明、黄先飞撰写，研究生李会、田潇、白云星等对本书进行了校对。作者前期研究得到了科技部、贵州省科技厅的大力支持。在本书的编著过程中，承蒙李阳兵教授审核、修改，在此致谢！本书参考了大量国际国内前辈和同仁的相关资料，由于篇幅限制，未能一一列出，在此一并致谢！

由于本书涉及范围广、跨度大，加之编著者水平有限，书中难免有不足之处，敬请各位读者批评指正。

周运超 张珍明 黄先飞
2019年3月

目 录

第1章 喀斯特小流域土壤形成条件	1
1.1 气候因素	1
1.2 地形地貌	1
1.3 生物因素	3
1.4 岩性	4
1.5 成土母质	4
1.6 人为活动	5
1.7 成土时间	5
第2章 喀斯特小流域土壤形成机理及类型分布	8
2.1 喀斯特土壤概念及形成机理	8
2.2 喀斯特土壤与喀斯特区域土壤辨析	8
2.3 不同土壤类型的空间分布	11
2.4 土壤类型及其剖面特点	13
2.4.1 黄壤	13
2.4.2 石灰土	14
2.4.3 水稻土	19
2.5 不同土壤类型的垂直分布	21
2.6 不同土壤类型的属性差异	22
第3章 喀斯特小流域土壤基本属性	24
3.1 喀斯特小流域土壤厚度分布特征	24
3.2 喀斯特小流域土壤容重分布特征	29
3.3 喀斯特小流域土壤有机质分布特征	31
3.3.1 土壤有机碳含量水平分布特征	31
3.3.2 土壤有机碳含量垂直分布特征	32
第4章 喀斯特小流域土壤空间异质性	34
4.1 喀斯特小流域岩石裸露率	34
4.2 喀斯特小流域样地尺度土壤异质性	34
4.2.1 石灰岩样地土壤空间异质性	34
4.2.2 白云岩样地土壤空间异质性	37
4.3 喀斯特小流域土壤基本属性的空间异质性	39

4.3.1	土壤厚度空间异质性	39
4.3.2	岩石裸露率空间异质性	40
4.3.3	石砾含量空间异质性	40
4.4	喀斯特小流域土壤有机碳空间异质性	41
4.4.1	土壤有机质垂直分布特征	41
4.4.2	土壤有机质水平分布特征	43
4.4.3	土壤有机碳的空间分布特征	51
4.5	喀斯特小流域土壤有机碳密度空间异质性	52
4.5.1	土壤有机碳密度水平分布特征	52
4.5.2	土壤有机碳密度垂直分布特征	54
4.5.3	土壤有机碳密度空间分布特征	55
第5章	喀斯特小流域土壤异质性影响因素	62
5.1	喀斯特小流域基本属性异质性的影响因素	62
5.1.1	土地利用方式空间分布特征	63
5.1.2	不同土地利用方式下岩石裸露率分布特征	64
5.1.4	坡度与基本属性的关系	65
5.1.5	坡位与基本属性的关系	69
5.1.6	坡向与基本属性的关系	70
5.1.7	海拔与基本属性的关系	70
5.2	喀斯特小流域土壤有机碳异质性的影响因素	72
5.2.1	母质对土壤有机碳含量空间分布的影响	72
5.2.2	土壤类型对土壤有机碳含量空间分布的影响	73
5.2.3	土壤厚度对土壤有机碳含量空间分布的影响	76
5.2.4	土壤容重对土壤有机碳含量空间分布的影响	77
5.2.5	石砾含量对土壤有机碳含量空间分布的影响	78
5.2.6	岩石裸露率对土壤有机碳含量空间分布的影响	80
5.2.7	坡位、坡向、坡度对土壤有机碳含量的影响	81
5.2.8	海拔对土壤有机碳含量空间分布的影响	85
5.2.9	小生境对土壤有机碳含量空间分布的影响	87
5.2.10	土地利用方式对土壤有机碳含量空间分布的影响	88
5.3	喀斯特小流域土壤有机碳密度的影响因素	90
5.3.1	母质对土壤有机碳密度空间分布的影响	90
5.3.2	土壤类型对土壤有机碳密度空间分布的影响	91
5.3.3	土壤厚度对土壤有机碳密度空间分布的影响	92
5.3.4	土壤容重对土壤有机碳密度空间分布的影响	94
5.3.5	石砾含量对土壤有机碳密度空间分布的影响	95

5.3.6	岩石裸露率对土壤有机碳密度空间分布的影响	96
5.3.7	坡位、坡向、坡度对土壤有机碳密度空间分布的影响	98
5.3.8	海拔对土壤有机碳密度空间分布的影响	102
5.3.9	小生境对土壤有机碳密度空间分布的影响	103
5.3.10	土地利用方式对土壤有机碳密度空间分布的影响	104
5.4	喀斯特小流域土壤异质性的主导因素及预测	105
5.4.1	土壤有机碳影响因素回归分析	105
5.4.2	土壤有机碳含量影响因素主成分分析	107
5.4.3	基于地理环境因子的喀斯特土壤异质性预测	110
第6章	喀斯特小流域土壤质量特征	113
6.1	喀斯特小流域土壤物理性质	113
6.1.1	土壤容重	113
6.1.2	土壤厚度特征	114
6.1.3	土壤石砾含量	115
6.2	喀斯特小流域土壤有机质特征	116
6.2.1	土壤有机质含量	116
6.2.2	土壤有机质含量分级	117
6.2.3	土壤有机质的肥力分级	118
6.3	喀斯特小流域土壤质量评价及影响因素	119
6.3.1	各因子间相关性分析	119
6.3.2	影响土壤质量的主导因子	120
6.3.3	土壤质量评价	121
第7章	喀斯特小流域植被恢复潜力	123
7.1	喀斯特小流域小生境分布特征	123
7.2	不同植被类型下群落多样性	124
7.2.1	物种丰富度和生活型组成	124
7.2.2	群落组成变化	125
7.2.3	主要代表性物种组成	125
7.2.4	群落多样性指数	127
7.3	喀斯特小流域植被恢复潜力评价体系	127
7.3.1	评价体系建立的原则	127
7.3.2	构建植被恢复潜力评价体系	128
7.3.3	构造评价指标的判断矩阵	129
7.4	喀斯特小流域植被恢复潜力评价	130
7.4.1	植被恢复潜力的评价指标属性	130
7.4.2	模糊综合评价模型的建立	131

7.4.3 植被恢复潜力模糊综合评价·····	132
7.5 喀斯特小流域林地恢复的主要备选植物·····	133
7.5.1 主要乔木分布特征及其在林地恢复中的可行性·····	133
7.5.2 主要灌木分布特征及其在林地恢复中的可行性·····	140
7.6 喀斯特小流域林地恢复空间·····	143
7.6.1 林地恢复的依据与原则·····	143
7.6.2 林地恢复空间估算主要参考依据·····	143
7.6.3 估算原则及林地恢复空间·····	145
参考文献·····	148
彩图	
附图	

第 1 章 喀斯特小流域土壤形成条件

1.1 气候因素

贵州地处纬度较低的中亚热带(东经 $103^{\circ}36'$ ~ $109^{\circ}35'$, 北纬 $24^{\circ}37'$ ~ $29^{\circ}13'$), 由于特殊的地理位置和地貌特点, 决定其在太平洋季风和印度洋季风交汇影响下, 全省各地年均温为 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$, 最冷 1 月均温为 $2\sim 8^{\circ}\text{C}$, 最热 7 月均温为 $22\sim 26^{\circ}\text{C}$, 但各地温度地域性差异依然存在。贵州年均降水量最多的是 1600mm(晴隆), 最少的为 850mm(赫章), 大部分地区年均降水量为 1100~1300mm。4~9 月各地降水量为 785.6~1265.8mm, 占全年降水量的 73%~85%。贵州有冬无严寒、夏无酷暑、雨量丰沛、雨热同季的气候特点。同时, 贵州省日照时间较少但热量条件较为丰富, 日均温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$, 积温为 $2200\sim 6500^{\circ}\text{C}$, 其间总辐射量平均为 $2512\sim 2930\text{MJ}/\text{m}^2$ 。形成雨热同季, 降雨集中, 共同构筑喀斯特土壤的气候环境。

1.2 地形地貌

后寨河流域属高原型喀斯特小流域, 地形地貌复杂, 类型多样, 地表主要有溶蚀谷地、溶蚀洼地、峰丛、峰林、孤峰、落水洞和漏斗等地貌类型, 地下主要有溶洞、地下河等地貌类型。各种地形地貌空间分布格局极其复杂, 但所有峰丛、峰林、孤峰的峰顶几乎处于同一平面, 而溶蚀谷地、溶蚀洼地又几乎处于另一个平面。流域海拔在 1190.4~1567.4m, 海拔落差较大, 最高点与最低点相差 344m。

从流域的坡向空间分布图来看, 东坡、南坡、西坡、北坡与无坡向交错分布, 说明流域峰丛、峰林、孤峰等地貌空间分布极其复杂, 流域内地形起伏多变。流域上游区域的坡向分布斑块面积相对中、下游小得多, 说明上游的峰丛、峰林、孤峰等地貌分布较为密集, 而中下游区域较为稀疏(图 1-1)。东坡面积占流域总面积的 14.47%, 南坡面积占流域总面积的 19.34%, 西坡面积占流域总面积的 22.63%, 北坡面积占流域总面积的 21.17%, 无坡向面积占流域总面积的 22.39%。

从流域的坡度分级空间分布图来看, 各坡度等级在流域内交错分布, 但洼地至峰丛之间, 越接近峰丛的区域坡度越大; 流域内坡度大于 25° 的区域集中分布在上游, 中下游则呈带状或块状零星少量分布; 坡度小于 8° 的区域集中分布在中、下游, 上游则呈零星分布(图 1-2)。流域内坡度小于 5° 的面积占流域总面积的

51.28%，坡度为 $5^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 的面积占流域总面积的 7.84%，坡度为 $8^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的面积占流域总面积的 12.04%，坡度为 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 的面积占流域总面积的 11.77%，坡度为 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 的面积占流域总面积的 10.84%，坡度大于 35° 的面积占流域总面积的 6.23%。

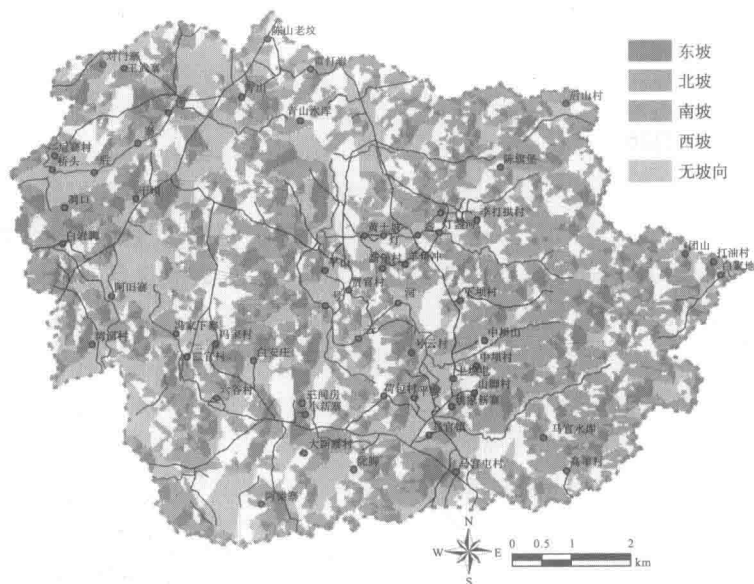


图 1-1 后寨河流域坡向空间分布图(后附彩图)

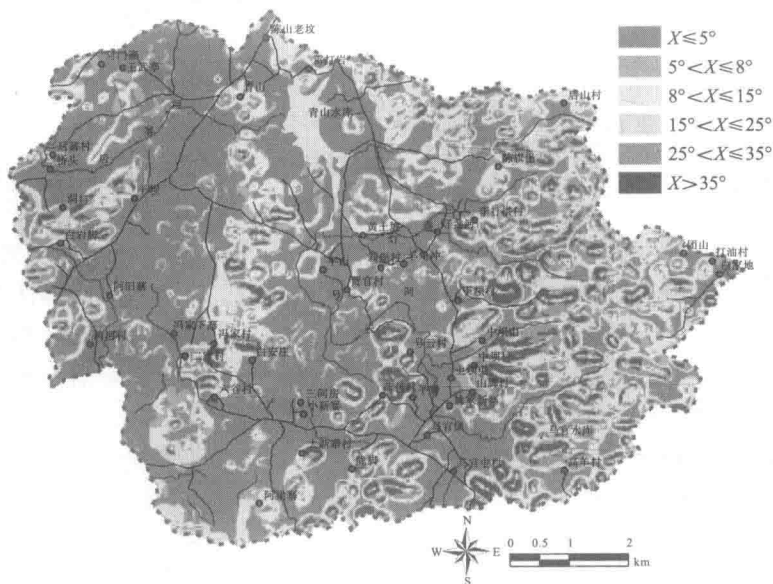


图 1-2 后寨河流域坡度分级空间分布图(后附彩图)

1.3 生物因素

生物因素是土壤形成的五大因素之一。在地球表层系统中，生物圈与相邻圈层间发生着物质和能量的交换和传递，使生物圈贯穿整个地球表层系统，生物的存在极显著地促进土壤的形成及其与环境间的物质交流。贵州岩溶森林具有较多的物种和较丰富的生物多样性，即便在已经石漠化的地区的山地灌丛香叶树植物群落也有较丰富的物种多样性。在 400m² 的样区中，一般有乔灌木 20 余种，而草本植物较少，主要是蕨类和菊科植物等。从退化岩溶区向森林区自然植被恢复过程中，物种数量为 19~50 种，多样性指数为 0.99~4.72。曹建华等(2003)研究表明，由于灰岩面地衣繁殖，导致溶蚀强度上升 1.2~1.6 倍，加强了岩溶作用。潘根兴等(2000)研究表明，土壤覆盖较无土壤覆盖下岩溶系统的岩溶作用的强度大，土壤呼吸 CO₂ 释放促进着这种驱动作用。土壤呼吸 CO₂ 即是土壤微生物生命活动过程中的产物，因此土壤微生物活动促进了岩溶作用的进行。林木生长条件下较长草及无植物覆盖下岩溶作用强度大，植物根在生长发育过程中对碳酸盐岩溶蚀消耗大气 CO₂ 的量与区域综合化学溶蚀消耗大气 CO₂ 的量处于同一数量级，表明植物根系生长过程中对岩溶作用的促进。而植物的光合呼吸作用是制约灌丛群落内环境大气 CO₂ 动态的主导因素，相应影响到岩溶作用。路南石林地区不同植被下土壤空气 CO₂ 浓度分布规律为：人工草坪>柏树林>天然草被>松林>无植被耕地，土下溶蚀主要发育区与土壤空气 CO₂ 浓度分布规律相吻合，表明植被类型的差异影响到岩溶作用，即影响到岩溶土壤发育形成的速度。因此，生物因子驱动了岩溶地区土壤的形成。

后寨河流域林地类型较多，乔木、灌木、草本种类丰富，且空间分布格局极其复杂。林草地共有 21.88km²，占流域总面积的 29.17%。其中，常绿针叶林 2.42km²，占林草地总面积的 11.06%；常绿阔叶林 0.01km²，占林草地总面积的 0.05%；常绿阔叶灌木林 14.16km²，占林草地总面积的 64.70%；落叶阔叶林 1.55km²，占林草地总面积的 7.08%；落叶阔叶灌木林 1.96km²，占林草地总面积的 8.96%；稀疏灌木林 1.78km²，占林草地总面积的 8.14%(表 1-1)。

表 1-1 后寨河流域不同林地类型分布面积

林地类型	常绿针叶林	常绿阔叶林	常绿阔叶灌木林	落叶阔叶林	落叶阔叶灌木林	稀疏灌木林
面积/km ²	2.42	0.01	14.16	1.55	1.96	1.78
比例/%	11.06	0.05	64.70	7.08	8.96	8.14

1.4 岩 性

后寨河流域分布三叠系下部至中部以关岭组地层为主。流域内主要有白云岩、石灰岩、泥灰岩三大类岩石(见附图)。

1.5 成 土 母 质

母质是岩石风化形成的,受地形地貌的影响会产生运移,在山顶地形平坦、坡脚、坡中下部形成的坡积物相对较厚。成土母质是土壤的物质基础,不仅是土壤的骨架,也是植物养分的来源,它直接影响土壤的物理化学性质和成土过程,从而影响土壤有机碳累积和淋失(张建杰等, 2009),是决定土壤有机碳含量和密度的大背景。不同母质在成土过程中,对土壤性质有深刻的影响,直接或间接地影响土壤的理化性质、耕作性能及肥力特征。

流域内的母质主要有白云岩、石灰岩、泥灰岩、砂页岩和第四纪黄黏土五大类来源(表 1-2)。空间分布格局差异大。白云岩和石灰岩来源母质主要集中分布于上游的峰林、峰丛、洼地等区域,分布面积最大,而中、下游呈带状分布于峰丛、孤峰等区域,分布面积较小,峰林、峰丛和孤峰区域土层较为浅薄,而洼地区域土壤较为深厚。泥灰岩来源母质主要集中呈块状分布于上游的坡耕地,分布面积较小,其他区域也有少量分布,土层较为浅薄。砂页岩来源母质主要集中呈块状分布于上游的坡耕地、水田等区域,分布面积较小,其他区域少量分布,土层较深厚。第四纪黄黏土来源母质主要集中分布于中、下游平缓坡地,分布面积较大,土层较为深厚(田潇, 2015)。坡面水流冲刷与携带作用使斜坡的中、下部及坡麓造成的堆积物形成坡积物。风化壳保留在原地,形成残积物,在重力、流水、风力等作用下风化的母岩被迁移形成冲积物、湖积物等,称为运积母质,也叫运积物。

表 1-2 后寨河流域母质来源调查

母质来源	空间分布	地貌类型	土壤类型
白云岩	上游集中分布,中、下游带状分布	峰丛、洼地	石灰土、水稻土
石灰岩	上游集中分布,中、下游带状分布	峰丛、洼地	石灰土、水稻土
泥灰岩	上游块状分布	峰丛、洼地	石灰土
砂页岩	上游块状分布	洼地	黄壤、水稻土
第四纪黄黏土	中、下游集中分布	岗地	黄壤、水稻土

1.6 人为活动

到目前为止，在石漠化严重，生态脆弱，欠发达、欠开发，人地关系矛盾突出的西南岩溶地区，对岩溶山地生态退化、石漠化、土地利用变化和生态治理模式的研究较多。受自然条件、社会经济发展水平和速度影响，中国西南岩溶山区聚落很长时期内发展缓慢，而城镇化、生态建设、乡村道路建设促进了岩溶山地农村经济发展和可达性改善，在此背景下，岩溶山地的聚落与人口有何变化特点与规律，就值得深入研究。

在后寨河地区，聚落总的特征是围绕中部的峰丛洼地呈环状分布。首先，聚落集中分布在西部、东北部和东南部等耕地集中、交通条件相对较好的地区，1963~2010年，西部丘陵平坝区聚落占总面积的比例从40.30%增长到46.30%（表1-3）；分布于丘陵坝子等与峰丛洼地等地形地貌过渡的槽谷沟口（如中西部过渡区）的聚落面积占总面积的比例一直在20%以上；中部的峰丛洼地区由于适耕土地资源少和交通不便等条件限制，聚落在这一区域分布很少，只在少数洼地形成“一洼一聚落”分布格局，发展相对缓慢，其聚落面积在1963年、1978年、2004年和2010年分别占研究区聚落总面积的比例为10.65%、10.34%、7.13%和8.03%。

表 1-3 后寨河流域不同地貌的人口分布比例 (%)

年份	中部峰丛洼地区	中西部过渡区	西部丘陵平坝区	东北部	东南部
2010年	8.03	20.03	46.30	14.84	10.80
2004年	7.13	21.00	44.6	15.23	12.04
1978年	10.34	21.38	43.53	13.68	11.07
1963年	10.65	22.47	40.30	14.45	12.13

1.7 成土时间

土壤随时间推移而不断变化发展。从开始形成土壤时起，直到土壤目前状态的这段时间，称为土壤的年龄。土壤年龄分为绝对年龄和相对年龄，它是土壤发育的强度因子。土壤绝对年龄的开始，是指冰川消融、退缩后地面出露，或河流、湖泊沉积物基本稳定地露出了水面，或海岸升高和海水退缩后海滩成陆。原地残积风化物上形成的土壤，年龄一般都较大，冲积物上的土壤则年龄较轻。生物、地形、气候、母质四大因素随着成土年龄的增长而加深。

土壤相对年龄并不是指土壤存在的持续时间，而是指各种成土因素综合作用下的成土速度，即土壤矿物的风化速率，与元素迁移有着密切的关系。例如，在贵州省的紫色岩上，如果地形、植被等因素有利于成土作用稳定地进行，可以形成发育程度较深，有富铝化特征的黄壤；反之，由于土壤侵蚀、地面物质不断更新，土壤发育始终停留在幼年阶段，只能形成保留着许多母质特征的紫色土，而与黄壤差别甚大。石灰土的发育由于受到母质中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的影响，土壤中保持有较多的盐基，其矿物的风化一直处于幼年状态，因此形成幼年土—石灰土。

贵州碳酸盐岩除侏罗系、白垩系地层外，自震旦系到三叠系均有发育，区域内岩石的种类按照碳酸盐含量和酸不溶物的多少大致可分为：纯质的碳酸盐岩类[含石灰岩组、白云岩组、白云岩与石灰岩组(互层或夹层)]、较纯的碳酸盐岩类和不纯的碳酸盐岩类。碳酸盐岩是一类可溶性矿物的集合体，只有其中的酸不溶性矿物才是喀斯特地区土壤矿物量的来源，尽管目前有研究认为碳酸盐岩石分布区土壤的物质来源还存在着其他的类型，如在热带—亚热带气候条件下，在喀斯特开放体系中，在常温、常压条件下进行的，以地下水为载体的物质携入。根据前人对贵州不同地质时代形成的碳酸盐岩成分的分析，贵州不同时期形成的碳酸盐岩石平均组成状况见表 1-4。表 1-4 表明，贵州碳酸盐岩石组成中可溶性成分占绝大多数，而不溶性成分含量低。贵州地矿部门对发育在贵州各个时代的碳酸盐岩石组成成分进行的测定结果也得出相似的结论。

表 1-4 贵州不同地层碳酸盐岩石成分(%)

岩层	CaCO_3	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	$\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	资料来源
三叠系	46.90	47.07	4.26	杨汉奎等，1994； 袁道先等，1988
二叠系	89.62	7.47	2.12	
石炭系	4.54	92.65	1.28	
泥盆系	2.04	87.75	7.00	
奥陶系	78.65	17.16	7.03	
寒武系	4.63	88.88	7.02	

据杨汉奎(1994)对贵州不同时期地层成土时间的计算，即取岩石酸不溶物含量为 4%，以贵州各时期地层风化剥蚀率为 2370~118750mm/万年，要形成 1m 厚的残积土壤层，需要 21 万~120 万年(表 1-5)。王世杰等(1999)研究了 3 个泥质含量为 11%~39%的灰岩剖面，形成 1m 厚的残积土，仅需溶蚀 2~5m 碳酸盐岩，所需时间为 2.8 万~8.4 万年。另两个泥质含量差别较大的白云岩剖面(平坝剖面为 0.625%，新蒲剖面为 4%)，两者形成 1m 残积土所需溶蚀的碳酸盐岩层厚度和时间差别也极大，分别为 13m 与 22 万年和 79m 与 79 万年。平坝剖面的实际厚度

为 5~6m，如果不考虑土层形成过程中所遭受的地表侵蚀作用，则形成该剖面目前的土层厚度需 474 万~9500 万年。同样，在广西壮族自治区贵港市观测结果也表明，形成 1m 厚的土层，需要溶蚀 25m 厚的碳酸盐岩，需 25 万~85 万年才能完成。即非可溶性岩石成分的多少决定了碳酸盐岩石区土壤形成速度的快慢。我国南方地区众多的研究均表明，碳酸盐岩石风化形成土壤的速度缓慢，这与区域内形成土壤的物质基础即岩石组成性质有很大的关系。由于贵州碳酸盐岩石组成分中，可溶性组分占绝大多数，因此，岩石风化而形成土壤的能力十分微弱，表现出较弱的土壤可更新性特点，即碳酸盐岩石发育形成土壤的形成时间很长，但由于母质影响下 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 较多，速度极慢，因而形成的是幼年土。

表 1-5 喀斯特土壤形成的时间

研究地点	形成土壤厚度/cm	酸不溶物含量/%	成土时间/万年	资料来源
贵州	100	4	21~120	韩至钧等，1996
贵州和湖南	100	11~39	28~84	王世杰等，1999
贵州	100	0.625~4	22~79	王世杰等，1999
广西	100	—	25~85	袁道先等，1988