

国家重点研发计划项目

喀斯特峰丛洼地石漠化综合治理与生态服务功能提升技术研究示范

(项目编号: 2016YFC0502400)

项目简报

[2018] 第 2 期 总第 7 期

2018 年 7 月 2 日

目录

项目工作进展情况.....	1
课题一工作进展情况.....	2
课题二工作进展情况.....	5
课题三工作进展情况.....	14
课题四工作进展情况.....	21
课题五工作进展情况.....	29
课题六工作进展情况.....	36

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家: 王克林

地址: 湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式: 0731-84615201

基于项目研究成果提交的咨询报告被中办采纳

2018年1月《自然》子刊 *Nature Sustainability* 创刊号封面论文，刊发本项目关于西南喀斯特区生态恢复评估的成果，利用三套独立的证据链和彼此印证的方法体系，证实生态工程显著改善了西南区域尺度生态服务，表明植被恢复特征与生态工程的实施具有较好的一致性；首次证实与邻国相比，西南喀斯特地区植被恢复显著。

针对上述成果，1月25日《自然》专文评述西南喀斯特区植被恢复成果，发表牛津大学教授长篇评述“卫星影像显示中国正变得更绿”，充分肯定本项目关于喀斯特生态恢复评估的成果，高度肯定生态工程对西南地区植被恢复的大尺度积极效应，令人信服地证实了中国政府的生态工程显著促进西南喀斯特区植被恢复的研究结论。

基于上述中国政府大规模生态工程的成效及其可持续性受到国际生态学界的关注。为更好落实十九大提出的“美丽中国”战略，以及回答国际社会对我国生态工程成效及其可持续性越来越强烈的关注，针对当前西南喀斯特地区石漠化治理存在的问题，提出《关于在西南喀斯特区实施生态服务功能提升工程的建议》，建议喀斯特区生态治理的重心由增加植被覆盖、减少石漠化面积为主，向以提升生态系统服务、发展生态衍生产业为主的战略转变，将石漠化治理与扶贫开发、民生改善结合，提升生态工程成效的可持续性，为“一带一路”喀斯特分布国家生态治理提供“中国方案”和防治石漠化的“中国样板”。

上述咨询报告被中办采纳（2018年3月9日）。

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

课题一、生态工程背景下区域石漠化演变机制及治理成效评估

研究证实生态工程的实施使西南喀斯特地区成为全球重要的碳汇

前期研究发展了大区域尺度生态工程成效识别与厘定方法，证实与越南、老挝和缅甸等邻国相比，生态工程背景下西南喀斯特地区可能有巨大的固碳潜力。进一步利用 SMOS、SSM/I, WindSat 微波遥感数据的 L-VOD (2011-2017) 和 X-VOD (1999-2012) 产品以及 SPOT VGT、MODIS 光学遥感数据的 GEOV2 FCover (1999-2017) 和 MOD13C2 (2000-2017) 产品分析了 1999-2017 年中国西南喀斯特地区在全球尺度上的“变绿”情况。

结果表明：中国西南喀斯特地区是全球植被覆盖和地上植被生物量增加最快的地区之一，其中，中国西南八省区植被覆盖度从 1999 年的 69% 增加到 2017 年的 81%，而地上植被生物量 1999-2012 年平均增加了 4%（图 1.1），占全球植被地上生物量增加最快地区 ($p < 0.05$) 的 5%（图 1.2）。

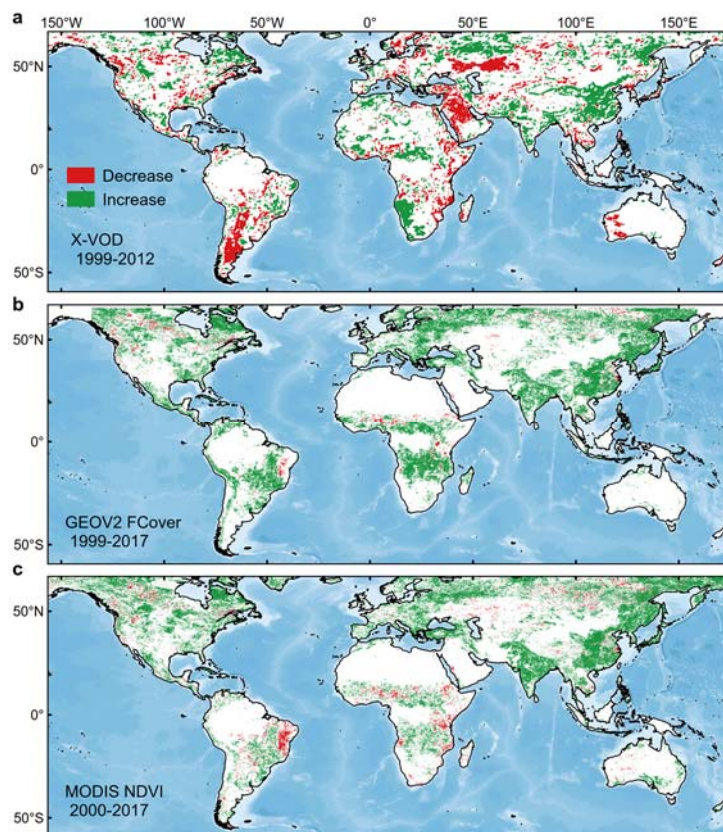


图 1.1 全球植被显著增加/减少区域 ($p < 0.05$): a. 植被地上生物量; b. 植被覆盖度 (GEOV2 FCover); c. 植被覆盖度 (MODIS NDVI)

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

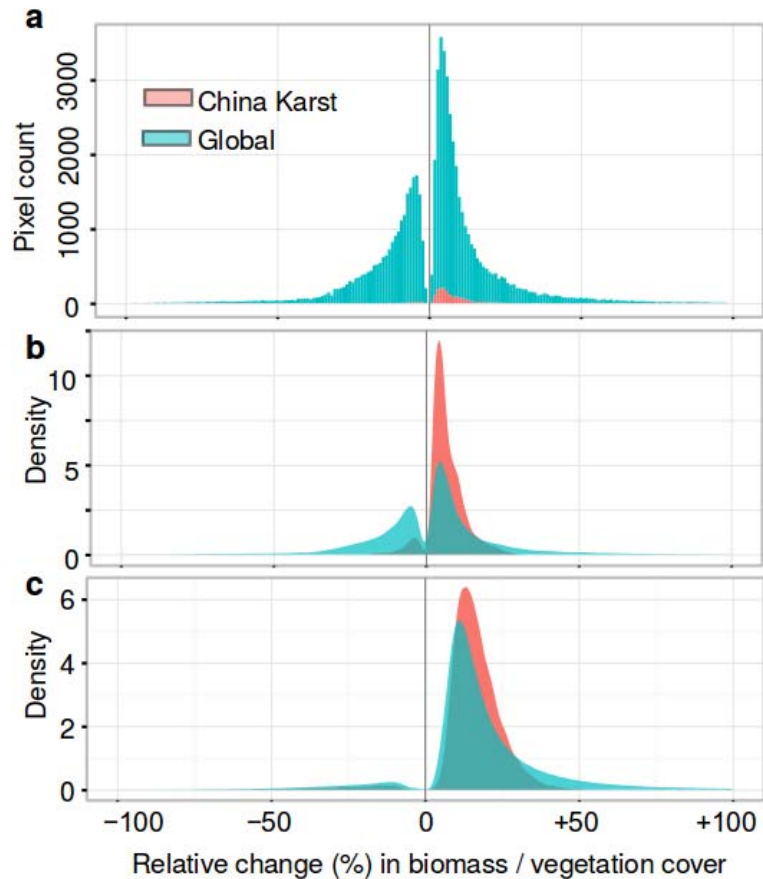


图 1.2 中国西南喀斯特地区对全球植被地上生物量和植被覆盖变化趋势显著 ($p < 0.05$) 的贡献。

中国西南喀斯特地区水分条件分析表明，同期降雨量和土壤水分含量分别减少了 8%和 5%，植被覆盖度和地上生物量的增加与西南喀斯特地区实施的人工造林和保护措施有密切关系（图 1.3）。自 2002 年西南喀斯特地区平均累积造林面积达 2 万 $\text{km}^2\text{yr}^{-1}$ ，不利水文条件下，大规模生态保护与建设工程的实施导致了我国西南喀斯特地区植被覆盖和地上植被生物量的显著增加。研究表明，全球尺度上，生态工程实施使中国西南喀斯特地区成为重要的碳汇，中国西南喀斯特地区通过生态工程来增加植被地上生物量固碳在全球碳循环中具有重要的意义。

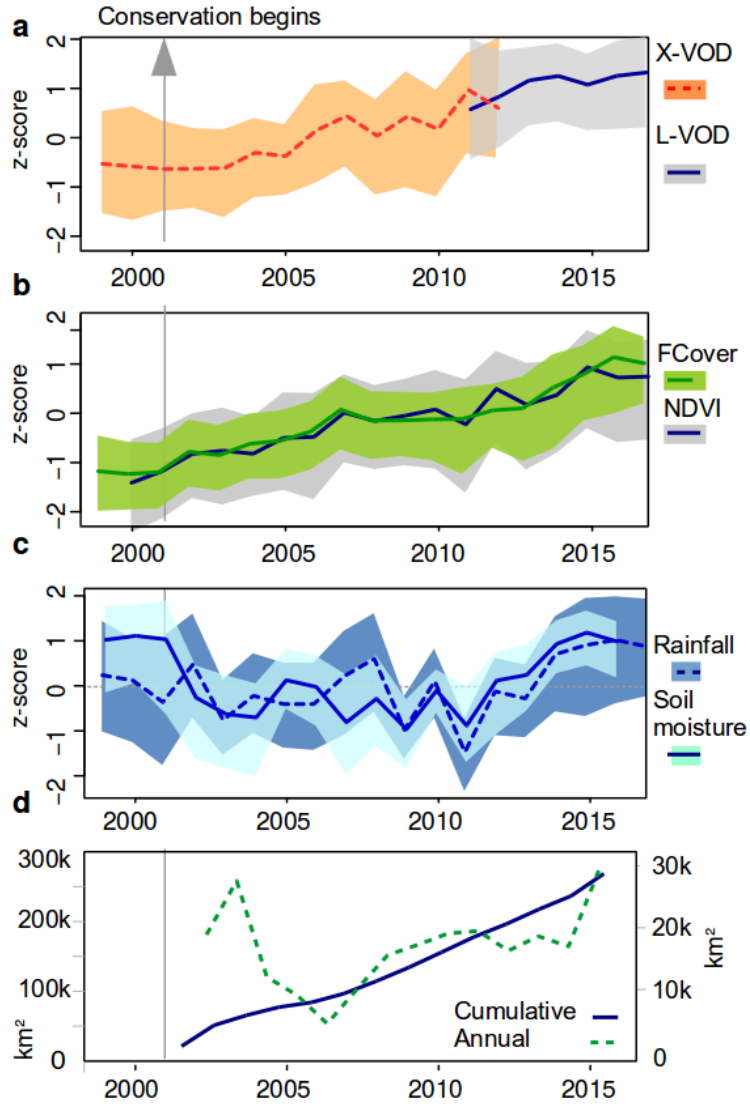


图 1.3 中国西南喀斯特地区 1999-2017 年植被和水文条件动态变化情况：a. 植被地上生物量；b. 植被覆盖度；c. 年均降水量（1999-2017）和土壤水分（1999-2016）；d. 累积年均造林和封山育林面积。

课题二、地表-地下水资源综合调控与高效利用技术

第二课题 2018 年第二季度主要开展了以下工作：组织召开课题 2018 年工作部署与中期评估部署会议，开展相关监测站点维护完善和示范区灌溉工程建设，进行了耐盐型复合吸水树脂 K-CMC-AA 吸水动力学研究并在环江野外基地开展水质试验，对典型喀斯特坡地不同演替阶段群落植物水分来源分异特征进行了研究。

组织召开 2018 年工作部署会

2018 年 5 月 6-8 日，由中国地质调查局岩溶地质研究所联合中国科学院亚热带农业生态所和武汉理工大学共同承担的国家重点研发计划课题“地表-地下水综合调控与高效利用技术”2018 年工作部署会在广西南宁召开。会议旨在通过总结 2017 年的研究成果并部署 2018 年工作，更好细化落实课题中期考核目标。



图 2.1 2018 年工作部署研讨

5 月 7 日，与会人员到国土资源部果化岩溶石漠化野外研究基地及平果县太平-耶圩示范区进行了野外工作部署，重点对砂糖橘-火龙果种植示范区的提水灌溉方式、水肥一体化应用以及钻孔细沙处理和抽水试验进行了讨论，与会专家针对各种类型的地表-地下水开发利用方式提出了指导意见，课题组成员进一步明确的工作区雨水收集与水质净化、地下水引-提-灌、洼地排涝-储水-灌溉等示范工作的部署。5 月 8 日的室内会议主要由课题各承担单位分别对任务指

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

标完成情况、2018年工作计划、示范工程部署完善、中期考核指标落实、经费使用情况等方面进行了汇报讨论，会议邀请了云南省地调局王宇研究员、广西师范学院胡宝清教授到会指导。

野外观测站维护及仪器安装

在前期水文地质调查和初步水文模拟的基础上，第二季度主要开展地下水测流和取样任务，测流方法包括定时测流和自动连续测水位，如图（2.2）为水文观测站维护和装水位传感器。另外在小流域几个主要的地下水排泄点做了2个观测堰，分别在丰水期、平水期、枯水期和暴雨过后测流量。本次调查工作请来易连兴研究员到野外现场指导工作（图2.3），为工作的开展提供重要参考意见。目前已获得1个连续水文年的地下水位数据，为相关模型的校正打下基础。



图 2.2 观测站点维修改造



图 2.3 专家现场指导

灌溉示范工程初步建设

示范工程正按任务书计划进行，示范工程共三处：桂林市会仙湿地高位洼地蓄水工程、百色平果县果化镇龙何屯天窗提水灌溉工程、太平镇耶圩乡火龙果灌溉水提取示范工程。目前高位洼地蓄水工程已完成前期准备和相关地质调查工作，龙何屯天窗提水工程也在进行中，火龙果灌溉水提取示范工程基本完成(图2.4)。该工程位于百色市平果县太平镇耶圩乡壮烈村附近，示范地被当地村民承包用来种植火龙果和砂糖橘，面积约350亩。由于该地地层岩性为灰岩，东南部上覆紫色薄层砂岩形成相对隔水层（图2.5），岩溶发育较强，底部有溶潭等，地表发育

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

石芽、石柱等地貌。强烈的岩溶作用使得地表水严重缺水，尤其在旱季。因此，要种植火龙果等经济作物必须解决水源问题，以前承包人为解决水源问题，在 1 公里远的水塘引水，成本和风险均较大。本次工程取水地选择底部溶潭为灌溉水源，据调查，溶潭水常年不干涸，但枯季水位较低，然后用泵把水抽到附近 500 m 远处的山顶上的水池里，目前水池已修好，溶积约 50 m³。引水高差约 32 m。考虑到水头损失，采用 40m 扬程的水泵（图 2.6）。到目前为止，相关仪器的按照和调试已完成。



图 2.4 工程范围

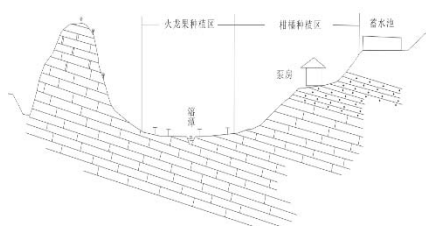


图 2.5 地质背景条件



图 2.6 提水泵

耐盐型复合吸水树脂 K-CMC-AA 吸水动力学研究

将 K-CMC-AA 高吸水树脂产品浸泡于 10mM 的 NaCl、KCl、CaCl₂、MgCl₂ 溶液中，不同时间下的吸水倍率如图 2.7 所示。不同金属离子对树脂产品的吸水倍率影响程度不同，影响大小为 Ca²⁺>Mg²⁺>K⁺>Na⁺。这是因为二价金属阳离子能和树脂结构中的—COO⁻发生螯合反应，生成络合物，从而增大了树脂网络的交联度，影响了吸水倍率。对于一价阳离子 Na⁺、K⁺，Na⁺对于树脂产品的影响较小，是由于其离子半径不同。

将 K-CMC-AA 高吸水树脂产品浸泡于不同离子强度 0mM、5mM、10mM、50mM、100mM、150mM 的 NaCl 溶液中，不同时间下的吸水倍率分别如图 2.8 所示。高吸水树脂产品在盐溶液中达到平衡时的吸水倍率随着离子强度的增大而减小，离子强度对离子型高吸水树脂的吸水倍率有显著影响，这是由于离子强度导致树脂网络内外渗透压差大小不同。当树脂外界同种盐溶液浓度较大时，树脂内外渗透压减小，导致吸水倍率减小。

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

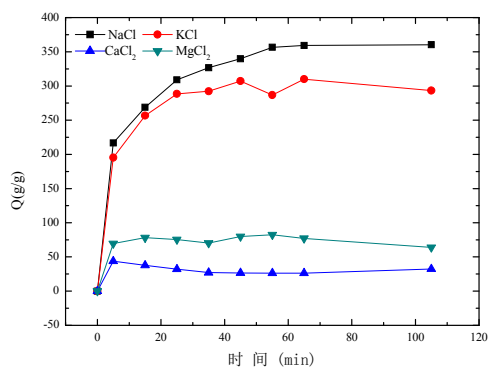


图 2.7 K-CMC-AA 在不同盐溶液中的吸水曲线

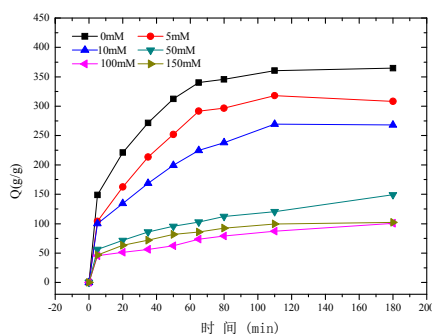


图 2.8 K-CMC-AA 在不同 NaCl 溶液中的吸水曲线

为了研究高吸水树脂产品在不同盐溶液和不同离子强度盐溶液中的吸水过程，采用准二级动力学方程对树脂产品的吸水过程进行拟合。以吸水时间 t 为横坐标， t/Q_t 为纵坐标，树脂产品在不同盐溶液和不同离子强度盐溶液中吸水过程的准二级动力学拟合图如图 2.9 所示，拟合参数见表 2.1 和表 2.2。

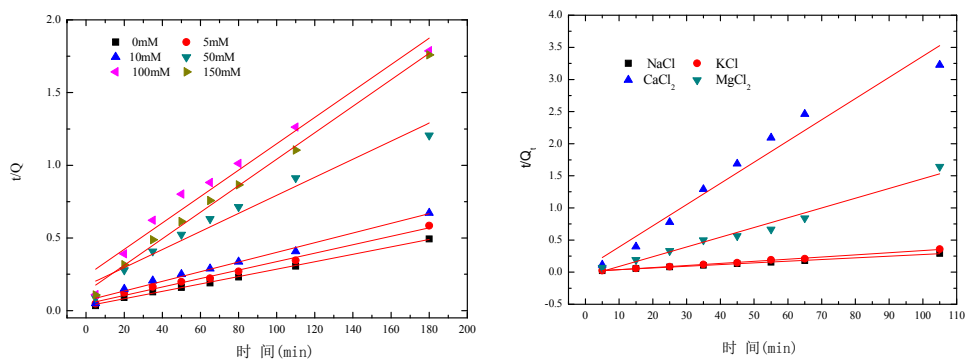


图 2.9 K-CMC-AA 在不同盐溶液（左）和不同离子强度盐溶液（右）中的准二级动力学拟合

根据表 2.1，相关系数都接近于 1，表明二级动力学可以很好的拟合树脂在不同离子强度溶液中的吸液过程。根据表 2.2 中拟合参数 $k_2Q_e^2$ 的值，可以判断

树脂产品在不同离子强度溶液中的吸水速率，结果表明，随着离子强度的不断增大，高吸水树脂产品的吸水速率同吸水倍率一样，基本呈现出逐渐减小的趋势；相关系数都接近于 1，表明二级动力学可以很好的拟合树脂在不同离子强度溶液中的吸液过程。

表 2.1 K-CMC-AA 在 10mM 不同盐溶液中准二级动力学拟合参数

树脂产品	盐溶液	$k_2Q_e^2$	Q_e	R^2
K-CMC-AA	NaCl	75.99	380.23	0.9988
	KCl	192.20	303.03	0.9962
	CaCl ₂	15.91	30.31	0.9597
	MgCl ₂	15.54	65.75	0.9732

表 2.2 K-CMC-AA 在不同离子强度盐溶液中准二级动力学拟合参数

树脂产品	不同离子强度盐溶液 (mM)	$k_2Q_e^2$	Q_e	R^2
K-CMC-AA	0	32.75	392.16	0.9972
	5	21.45	343.64	0.9897
	10	14.52	301.20	0.9863
	50	5.82	160.77	0.9562
	100	4.17	120.01	0.9627
	150	7.66	109.89	0.9943

环江站无动力水处理设备流量监测

对环江工作站的无动力水处理设备进行进一步调试，使其每天定时运行起来。并对其日处理量进行了监测。监测结果如下：

表 2.3 流量检测结果

日期	时间	流量 ml/s	备注	平均流量 ml/s	日运行时间	日平均流量(吨)
5月9日	12:40	30.00	阀门开的较大	29.00	6h	5.2
	12:50	32.00				
	12:59	31.56				
	17:00	28.33				

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

	18:00	29.78				
	18:58	28.90				
5月10日	7:05	17.77	阀门关 小部分	17.33	3h	1.44
	7:10	17.36				
	8:30	16.86				
	12:09	15.57				
	12:31	16.60		16.36		
	12:54	16.91				
	17:07	16.43				
	17:31	16.30		16.49		
17:55	16.73					
5月11日	8:05	16.30		16.32	3h	1.36
	8:34	16.32				
	8:55	16.33				
	12:03	15.74				
	12:31	15.86		15.81		
	12:50	15.83				
	17:01	16.14				
	17:30	15.67	15.69			
17:58	15.25					

由表可知，进水流量与阀门开关大小关系很大。当阀门大小恒定时，流量波动不大。且日处理量均在 1m^3 以上。

分别取环江工作站设备进水（001）、环江工作站设备出水（002）。进行了设备进出水质检测测试分析，分析结果如下图所示：

表 2.4 水质检测结果

序号	检测项目	检测结果			单位
		20180512W001	20180512W002	去除率(%)	
1	镉	0.0007	ND	100	mg/L
2	硝酸盐氮	2.1722	1.8746	13.70	mg/L
3	色度	ND	ND	ND	度
4	浊光度	ND	ND	ND	NTU
5	臭和味	无	——	——	——
6	肉眼可见物	无	——	——	——
7	pH	8.37	8.15	2.63	无量纲
8	铝	ND	——	——	mg/L
9	铁	0.0099	0.0059	40.40	mg/L
10	锰	0.0020	0.0016	20.00	mg/L
11	铜	0.0119	0.0087	26.89	mg/L
12	锌	0.0451	0.0386	14.41	mg/L

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

13	氯化物	1.8063	1.7368	3.85	mg/L
14	硫酸盐	20.8807	20.2598	2.97	mg/L
15	溶解性总固体	431	370	14.15	mg/L
16	总硬度	297.87	296.36	0.51	mg/L
17	化学需氧量 (Mn)	0.67	0.45	32.84	mg/L
18	总碱度	5.95	5.92	0.50	mg/L

备注：“ND”表示未检出。

由检测结果来看，环江站的水质主要以硬度偏高为主，其他指标均满足生活饮用水卫生标准。但设备对硬度的去除率较低，故下一阶段开展专项突破，主要解决环江站水质的硬度问题。

典型喀斯特坡地不同演替阶段群落植物水分来源分异特征

物种尺度的植物水分来源结果难以满足评价植被-土壤-表层岩溶带生态水文效应的需求，也限制了对提升系统水源涵养功能可能途径的探索。以自然恢复喀斯特不同演替阶段（稀疏灌丛、浓密灌丛和次生林）群落为研究对象，通过在生长季内连续采集各群落内优势物种茎水同位素样品和叶片样品，同时采集研究时段内雨水同位素样品，综合分析，探索可能存在的群落尺度植物水分来源分异特征。研究表明，基岩出露率接近 90% 的喀斯特坡地，生长季内不同演替阶段优势植物茎水同位素值分布在当地大气降水线上下两侧而非右下方(图 2.10)，表明储存在岩石裂隙裂缝中的雨水在被植物利用之前受蒸发影响小，同位素富集效应不明显。植物茎水同位素值的线性盈余 (LC-excess) 或大于 -10‰ 或与雨水的线性盈余值相当 (表 2.5)，同样表明植物利用的水源受蒸发影响较小。因此，可以直接将植物茎水同位素值与雨水同位素值协同分析。

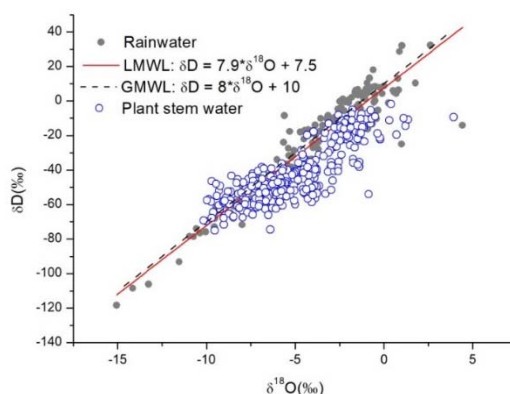


图 2.10 生长季内不同演替阶段优势植物茎水同位素值(plant stem water)与当地大气降水线(LMWL)相对位置关系图

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

表 2.5 不同采样时间前一个月内雨水同位素线性盈余变化范围及不同群落优势植物茎水同位素线性盈余平均值

Sampling time	Rainfall	Open shrubland	Dense shrubland	Secondary forest
May 28	-16.4/6.4 ^a	-11.1±3.2 ^b	-11.8±1.4	-15.7±3.2
Jul. 5	-9.3/6.1	-12.3±1.6	-13.5±1.7	-16.8±2.3
Aug. 9	-19.6/2.3	-14.3±2.7	-16.5±3.7	-8.8±2.9
Sep. 4	-20.8/4.2	-5.5±2.9	-5.7±2.6	-3.4±3.0
Sep. 28	-9.2/4.2	-1.3±3.0	-0.7±3.4	-3.2±2.0
Oct. 25	1.3/6.7	-20.1±2.4	-18.7±2.3	-21.3±6.5
Dec. 2	-4.6/16.8	-3.8±3.7	-8.8±2.5	-6.3±1.4

^a 最小值/最大值；^b 平均值±标准误，不同群落优势植物茎水同位素线性盈余无显著差异。

针对某一群落，将每个采样时间优势植物茎水同位素值平均值作为一组，采样时间用 1-7 序列号表示，分别建立每个群落优势植物茎水同位素值与采样时间序列号的拟合关系。结果显示，不同演替阶段群落植物茎水同位素值波动特征均可通过二次函数拟合，且基本所有茎水同位素值平均值均落在拟合曲线 95% 置信区间内（图 2.11），表明同一群落内优势植物茎水同位素值波动特征收敛，植物水分来源相似。

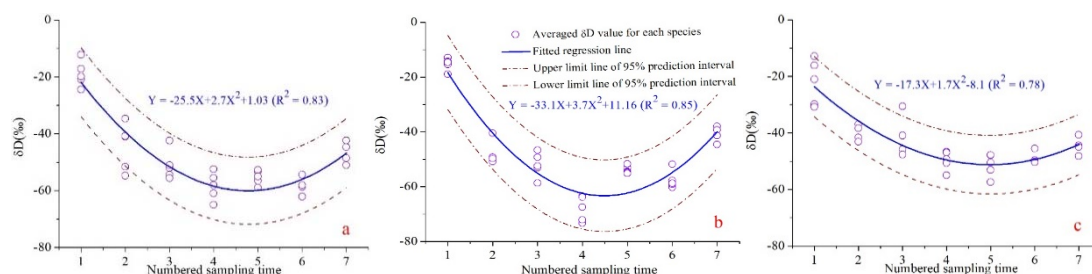


图 2.11 不同演替阶段群落优势植物茎水同位素值整合波动特征(a, 稀疏灌丛; b, 浓密灌丛; c, 次生林)

虽然不同演替阶段群落优势植物茎水同位素值整合波动特征类似，但波动幅度存在明显差异。通过对比分析不同群落优势植物种茎水同位素值整体特征发现，次生林群落优势植物茎水同位素值的变化范围、标准差和变异系数，均显著低于灌丛，而两类灌丛之间无显著性差异（表 2.6）。另外，针对不同演替阶段共有植物种的分析结果表明，无论是常绿还是落叶植物，生长在次生林内其茎水同位素值波动更为平缓，亦更靠近浅层地下水同位素值（图 2.12）。结合研究区内降水

同位素值变化特征的综合分析表明,与灌丛群落依赖短期内雨水相比,处于演替后期的次生林群落利用相对较长时间跨度内雨水混合。

研究结果从群落植物水分来源差异的角度,为不同演替阶段群落植物生态水文效应差异提供有力支撑,同时丰富了通过促进植被正向演替以提升植被生态水文功能的理论基础。

表 2.6 不同演替阶段群落优势植物茎水同位素值整体差异特征

	Open shrubland	Dense shrubland	Secondary forest
Average	-43.6±1.42a*	-43.1±1.11a	-42.2±2.16a
Range	42.2±1.47b	52.8±2.95b	30.4±5.27a
SD	14.6±0.63b	17.7±1.29b	10.4±1.60a
CV	-0.31±0.022ab	-0.37±0.023b	-0.25±0.039a

*同一行内不同小写字母表示在 $p < 0.05$ 水平上存在显著差异。

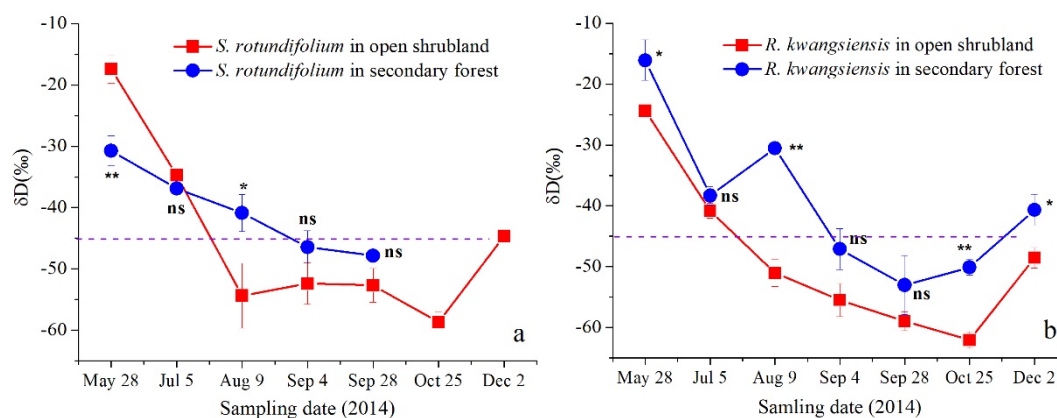


图 2.12 不同演替阶段群落共有植物种茎水同位素值波动特征
(a, 圆叶乌桕; b, 广西密花树)

课题三、水土流失/漏失关键过程与阻控技术

喀斯特基岩裂隙水土漏失过程模拟方法及装置

坡面岩石裂隙水土漏失过程模拟装置概念图如图 3.1 所示。模拟装置由不锈钢材料制成，底部为高度 20 cm 的漏斗幢结构，上部为高度 20 cm，长宽均为 50 cm 的立方体形状组成，如图 3.2 所示。另外配有长度 20 cm，深度 10 cm，宽度分布为 0.5 cm、1 cm、1.5 cm、2 cm 的模拟裂隙各一个；上部由可调整高度的供水水箱以及塑料软管组成可调节水压力的供水加压系统，下部裂隙处采用容积为 5 L 的塑料水桶进行漏失水样和土样的采集。

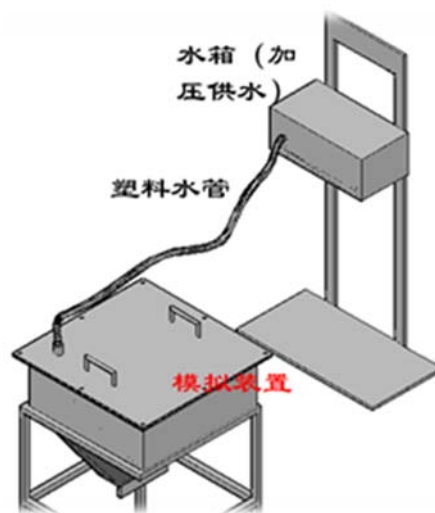


图 3.1 坡面岩石裂隙水土漏失过程模拟装置概念图



图 3.2 坡面岩石裂隙水土漏失过程模拟装置

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

表 3.1 试验变量及取值

供水压力 (m)	0 (实际 0.05)、1、2、5
土样颗粒大小 (mm)	0-1、1-2、2-5
裂隙宽度 (cm)	0.5、1、1.5、2

(1) 在裂隙宽度为 2 cm 的条件下, 针对不同颗粒大小的土样进行 0 m 水压力试验, 得到 0-1 mm、1-2 mm、2-5 mm 土样分别在裂隙开始漏水后 90-120 s、50- 60 s 和 0-5 s 内开始大量漏土, 并在随后不到 60 s 的时间内装置内部土样全部通过裂隙漏失。

(2) 在裂隙宽度为 0.5 cm 的条件下, 目前已有的试验数据可得到的结论有以下几点:

① 对土颗粒粒径范围为 1-2 mm 的土样进行模拟试验, 得到在填土厚度为 20 cm 的情况下, 不同水压力下土/土漏失过程如图 3.3 和图 3.4 所示。仅在水压力为 5 m 时装置内部土样大量漏失, 在 1 m 和 2 m 水压时漏失水量很小。

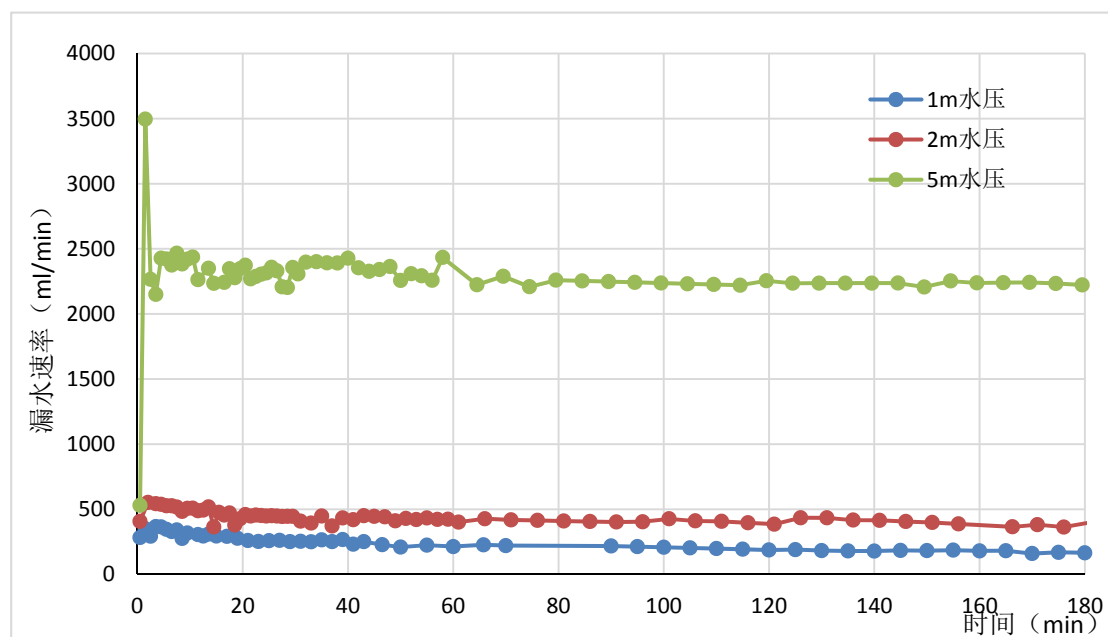


图 3.3 不同水压力下漏水速度随时间变化过程 (裂隙宽度 0.5 cm, 土颗粒粒径 1-2 mm、土层厚度 20 cm)

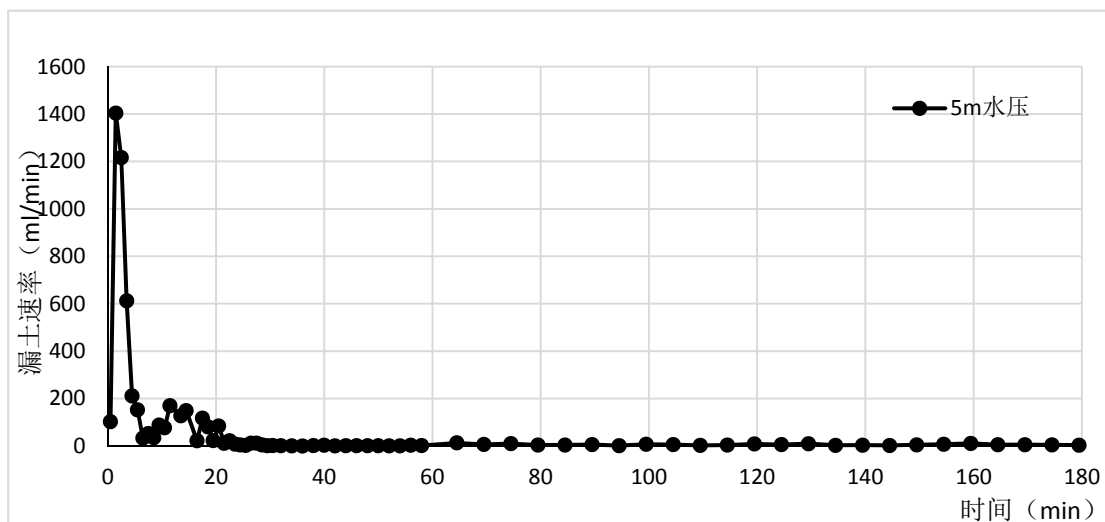


图 3.4 不同水压力下漏水速度随时间变化过程（裂隙宽度 0.5 cm，土颗粒粒径 1-2 mm、土层厚度 20 cm）

②对土颗粒粒径范围为 0-1 mm 的土样进行模拟试验，得到在填土厚度为 30 cm 的情况下，不同水压力下水/土漏失过程如图 3.5 所示。在水压力为 1 m 和 5 m 时装置内部土样均能观察到明显的漏失过程，水压力越大，水/土漏失速率越大，装置内部土样开始大量漏失的时间越早。在装置内部土样未开始大量漏失时，漏水速度随时间增加成减小的趋势。在装置内部土样为开始大量漏失的过程持续一段时间后，水/土漏失速率基本稳定。根据现有试验数据，5 h 内若发生土样大量漏失，则 5 h 内漏失土量总量约为 (1/3-1/2) 填土总量。

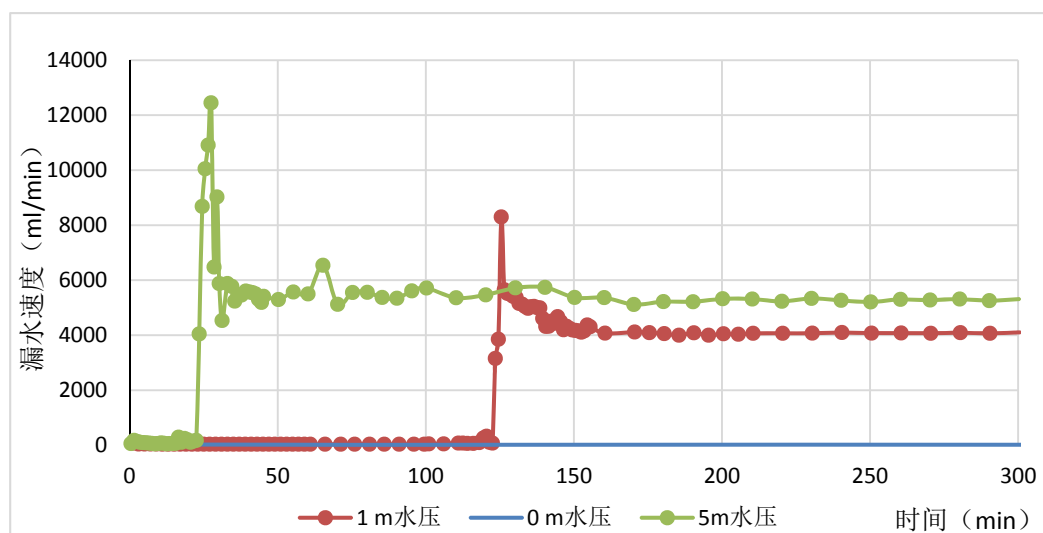


图 3.5 不同水压力下漏水速度随时间变化过程（裂隙宽度 0.5 cm，土颗粒粒径 0-1 mm、土层厚度 30 cm）

水土保持作物筛选

在龙烈洼地土壤改良试验区进行不同植物种植试验，在 A 种扶芳藤，B 种凉粉果，C 种赤苍藤，D 种火龙果，E 种玉米，于今年七、八月份进行监测，筛选出易于水土保持的农作物，进行推广试验。

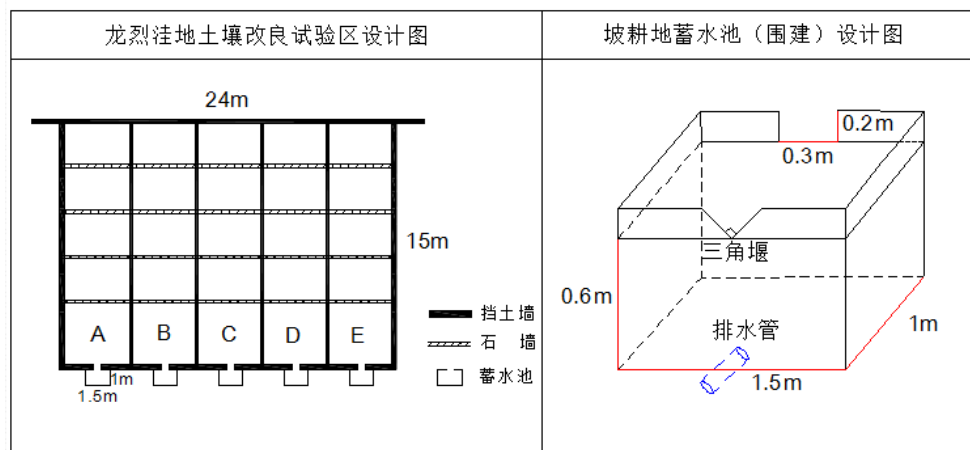


图 3.6 水土保持作物筛选试验布设

岩溶泉降雨监测

在布洋一号岩溶泉观测站安装在线监测浊仪，针对不同降雨量、降雨强度、降雨时长，探索浊度的动态变化。

监测结果显示：按照国家气象部门规定降水量标准划分降雨等级可以发现，果化基地 4 月至 5 月两个月的降雨有 1 次暴雨，2 次大雨，2 次中雨。从各降雨级别对浊度的影响发现，在 4 月 24 日，在历时较短的情况下，浊度上升明显，在这几场降雨中浊度平均值最大；5 月 2 日，浊度平均值也较大，但是降雨历时较长，呈下降趋势，原因可能是，随着降雨量的增加，流量也相应增加，水流混浊度逐渐变低；5 月 4 日、5 月 5 日两次降雨对浊度的影响较小，降

雨量为中雨，历时较短，降雨对土壤侵蚀较小，因此浊度也较低。因此可以得到：浊度的趋势变化不仅与降雨量相关，还与降雨历时长度相关。

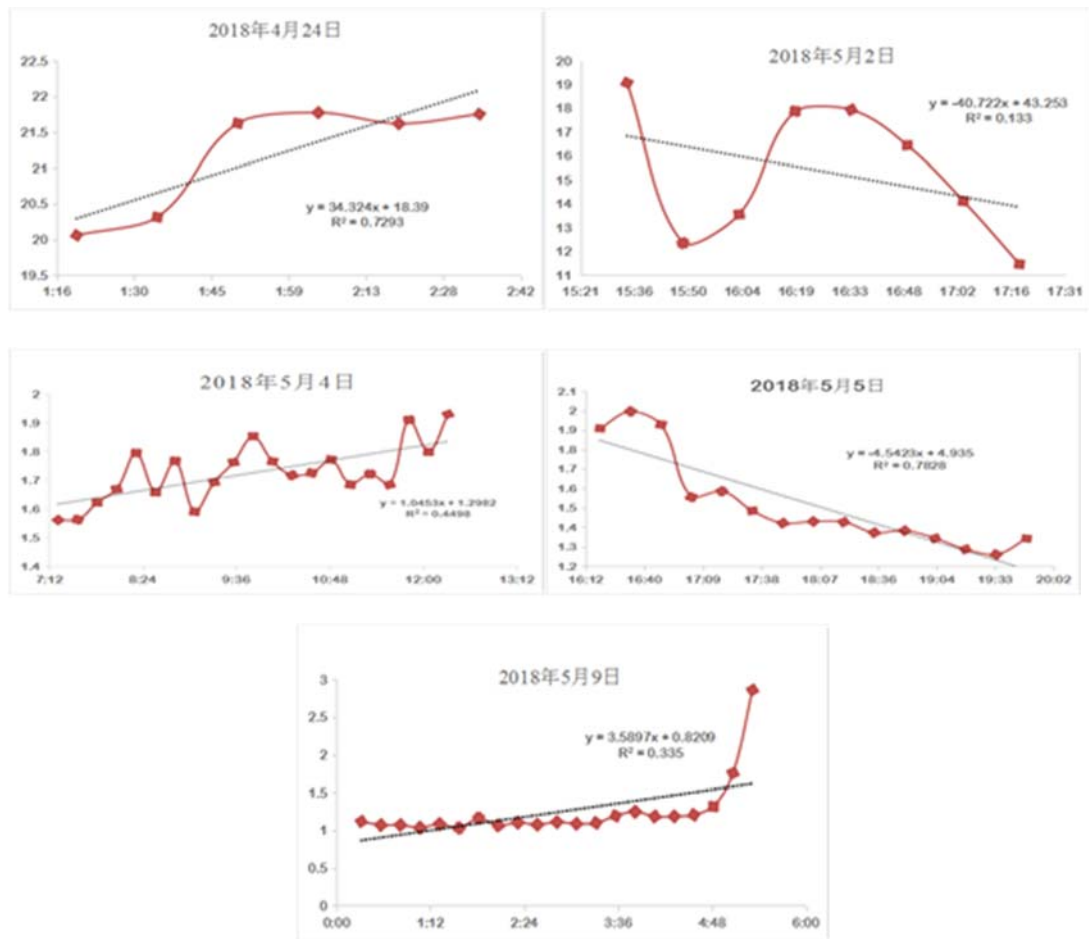


图 3.7 2018 年 4 月至 5 月降雨时的浊度变化

一种确定喀斯特岩溶管道泥沙淤积深度的方法及装置

所提出的装置的目的是为了提供了一种确定喀斯特岩溶管道泥沙淤积深度的方法,方法易行,操作简单,提出了确定喀斯特岩溶管道泥沙深度的定量方法,解决了传统方法不能明确岩溶管道泥沙深度的缺陷,促进了在喀斯特地区岩溶管道泥沙淤积深度、淤积量的计算,为喀斯特地区土壤侵蚀通量估算,水土保持措施布设、洪涝灾害预警等方面提供技术手段。

另一个目的在于提供了一种可以确定喀斯特岩溶管道泥沙淤积深度的装置,制作简单、投入小、安装方便,能够获取实验区域的径流开始时间,岩溶管道中的介质成分,满足了喀斯特地区评价土壤侵蚀的相关装置需求,解决了在喀斯特

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家: 王克林

地址: 湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式: 0731-84615201

地区获得泥沙淤积深度的难题，实现动态监测泥沙淤积深度的目的。

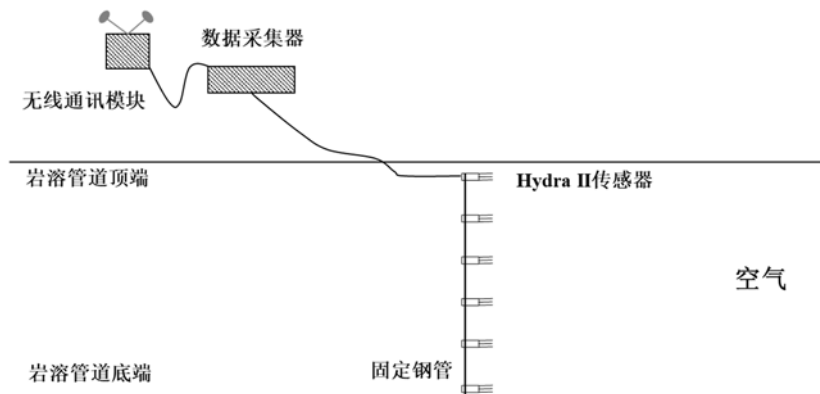


图 3.8 一种确定喀斯特岩溶管道泥沙淤积深度的方法及装置

一种喀斯特地区岩土界面流高效收集方法及装置

提供了一种适用于喀斯特地区岩土界面流高效收集方法，方法易行，操作简便，具有高效性，简单性等特点，根据测钎装置探测土壤厚度分布，找到了一个坡面的下坡位相对土壤层较厚的地方，该申请发明的另一个目的是在于提供了一种下坡断面土层厚度相对较厚的地方修建岩土界面流收集装置，结构简单，使用方便，非常有效的收集岩土界面产流，本发明侧重预测喀斯特地区岩土界面上任一点处的产流潜力方程，通过野外测量方程的一些参数，根据产流潜力估测收集岩土界面流的位置，修建岩土界面流的收集装置，缓解喀斯特地区缺水和干旱的问题。

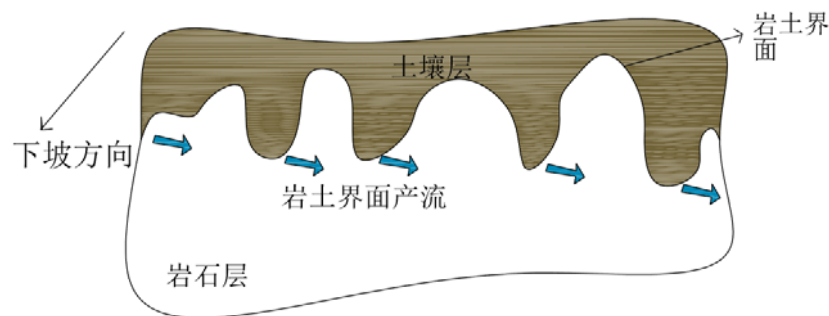


图 3.9 一种喀斯特地区岩土界面流高效收集方法及装置

玉米秸秆覆盖对坡面水土流失的影响

秸秆覆盖是坡耕地常见的水土保持措施，为研究玉米秸秆覆盖在喀斯特玉米坡地的水土保持效益，通过人工模拟降雨试验，对比分析了不同秸秆覆盖度下的玉米坡地的产流产沙特征。研究表明，玉米秸秆覆盖在不同类型小区的水土

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

保持效益差别较大。只有在土层较厚的下坡位置的试验小区，玉米秸秆覆盖才有效减少了地表径流，且在 20%覆盖度时减少地表径流的效果最好，而在基岩出露的中坡位置径流小区和砾石含量高的上坡位置径流小区，有玉米秸秆覆盖时，地表径流产流时间更早，减少地表径流的量的效果也不显著。

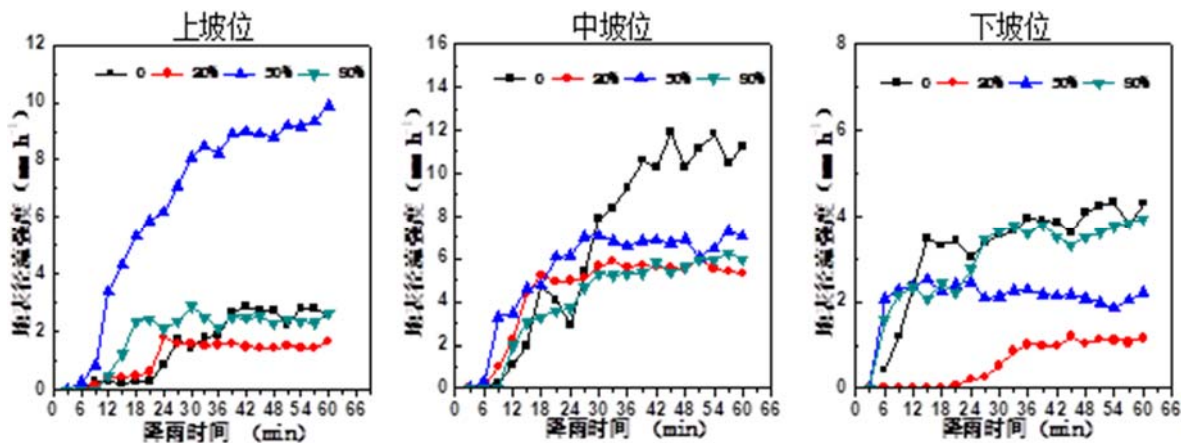


图 3.10 不同玉米秸秆覆盖条件下地表径流过程

在不同秸秆覆盖度下，玉米秸秆都能有效地减少地表侵蚀量（表 1）。在下坡位小区，无秸秆覆盖时地表侵蚀量为 $21\text{kg}/\text{h}^2$ ，分别是玉米覆盖度为 20%、50% 和 80% 的 6.0、8.0 和 4.8 倍。在中坡位小区，无秸秆覆盖时为 $68\text{kg}/\text{h}^2$ ，分别是覆盖度为 20%、50% 和 80% 的 6.0、7.1 和 4.8 倍。在上坡位小区，无秸秆覆盖时地表侵蚀量为 $68\text{kg}/\text{h}^2$ ，分别是覆盖度为 20%、50% 和 80% 的 1.8、2.4 和 2.0 倍。

表 3.2 不同玉米秸秆覆盖条件下地表总侵蚀量

秸秆覆盖度 (%)	地表侵蚀量 (kg/h^2)		
	上坡位	中坡位	下坡位
0	$21.94 \pm 1.23\text{a}$	$68.28 \pm 0.43\text{a}$	$67.38 \pm 6.79\text{a}$
20	$12.03 \pm 3.64\text{b}$	$10.72 \pm 5.72\text{b}$	$10.02 \pm 5.04\text{b}$
50	$8.80 \pm 3.99\text{b}$	$9.52 \pm 1.74\text{b}$	$8.64 \pm 4.53\text{b}$
80	$10.78 \pm 1.80\text{b}$	$15.79 \pm 4.65\text{b}$	$14.10 \pm 3.01\text{b}$

课题四、有机物资源利用与退化土地肥力提升技术

秸秆降解与土壤有机碳矿化过程中微生物群落的变化

研究以布设在广西环江喀斯特生态系统观测研究站的旱地长期施肥定位试验棕色石灰土作为供试土壤，施肥处理包括不施肥（CK）、单施化肥（NPK）和秸秆还田配施化肥（NPKS）三种，通过设置氮素水平：Control（不添加物料）；S（ ^{13}C -玉米秸秆：2g/kg 干土）；S+N1（低 N 0.07g/kg 干土）；S+N2（高 N 0.20g/kg 干土）（下同），进行 ^{13}C -玉米秸秆和氮素（硝酸铵）混合物料的 100 天室内培养试验，定量研究秸秆、土壤有机碳转化与去向，分析土壤有机碳矿化过程中微生物群落及关键酶活性的变化，探讨喀斯特地区旱地长期施肥土壤有利于土壤有机碳固持的秸秆与氮素配施比例，解析氮素水平调控土壤有机碳固持的内在微生物作用机制，以期挖掘有机物资源利用的合理途径，提升退化喀斯特地区土地肥力。我们的研究表明高氮素会导致土壤微生物生物量以及细菌丰度下降，真菌丰度有所升高，建议在实际生产中应适当减少氮素的施用量。

培养期间，使用熏蒸浸提法对 1d、5d、100d 的土壤微生物量碳含量进行测定（图 4.1）。各处理的 MBC 含量能在 1d ~ 5 d 内保持高峰，此时微生物代谢活动较强，后持续降低至稳定，且培养过程中各处理 MBC 含量有显著的波动，但是各处理之间没有显著差异，表明外源物料的添加能显著促进微生物代谢，而且配施的氮素水平高低没有显著差异。

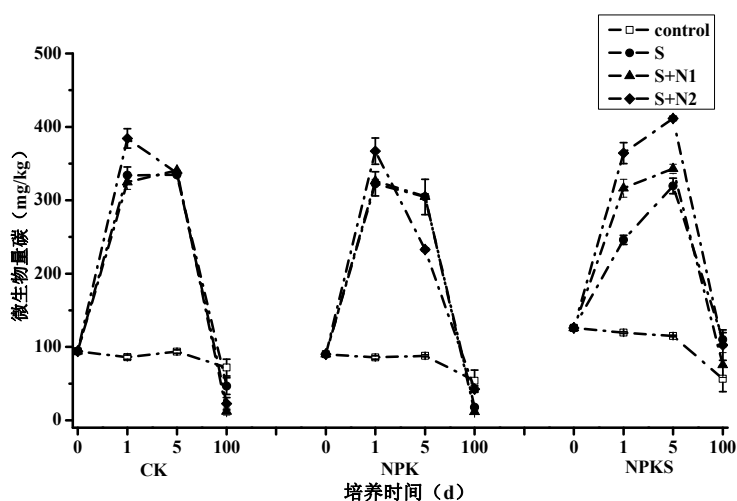


图 4.1 培养期间土壤 MBC 的变化趋势

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

三种长期施肥处理的土壤，在培养时间为 1d-5d 时，细菌与真菌丰度的变化趋势类似（图 4.2、4.3）：在低氮素水平（S+N1）范围内，微生物丰度随着氮素含量的增加呈现显著上升的趋势，但是在施加高氮素（S+N2）处理时，微生物丰度没有显著增加反而会有显著降低的趋势，说明在培养初期土壤中有机质含量丰富，细菌与真菌竞争小，且微生物不适宜高氮素的生存环境，且高氮素显著影响土壤微生物群落。而培养结束后（100d），土壤中适应高氮素并且将氮素转化为自身营养物质的微生物类群比如自生固氮菌等的含量增加，来维持自身的生长和繁殖，且 CK 的秸秆与氮素配施处理的真菌丰度要显著高于 NPK 和 NPKS 处理。

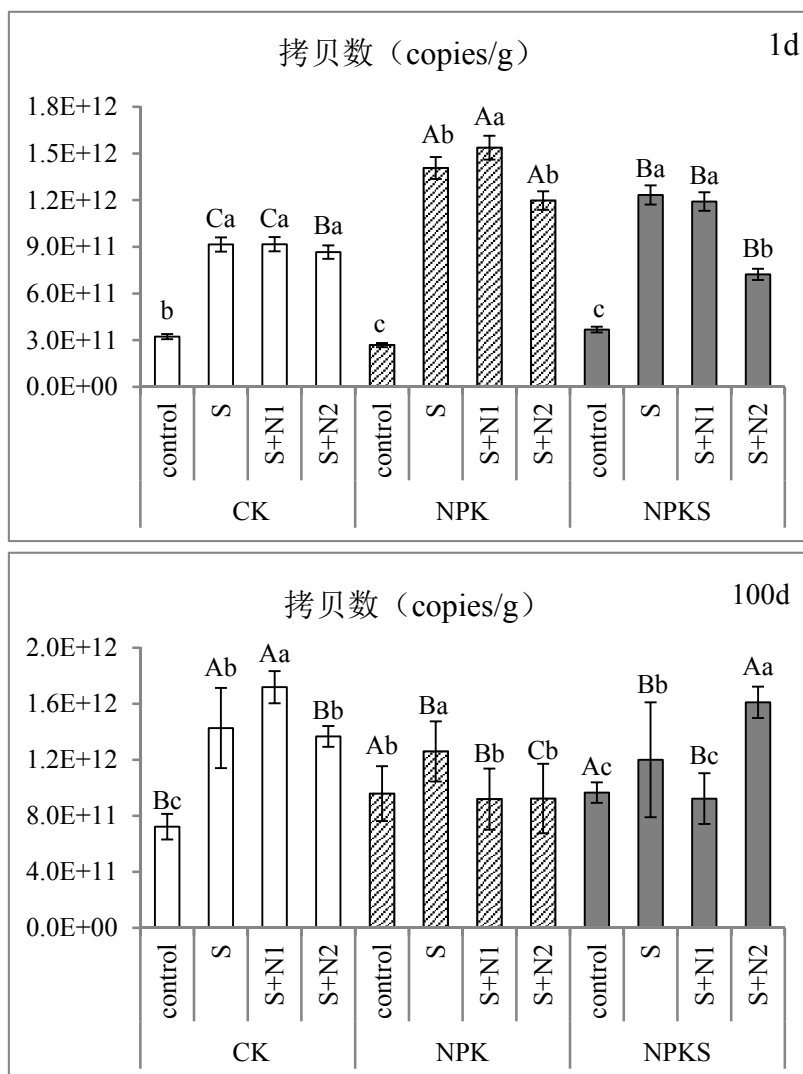


图 4.2 培养期间土壤中细菌丰度的变化特征

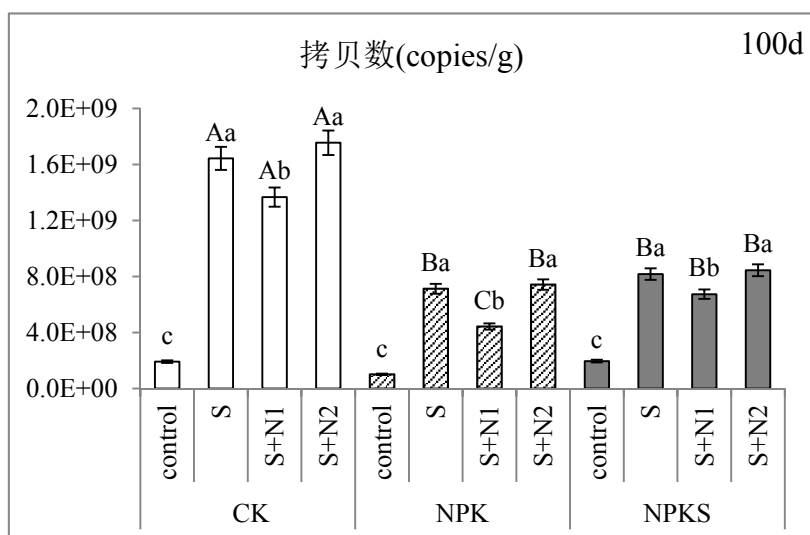


图 4.3 培养期间土壤中真菌丰度的变化特征

喀斯特区不同岩性、土地利用方式下土壤微生物养分限制状态

了解土壤微生物资源限制状态对于理解生态系统功能和过程以及预测生态系统对全球变化的响应至关重要。喀斯特生态系统在世界范围内普遍存在，并在调节全球气候方面发挥关键作用，然而，目前关于喀斯特生态系统微生物养分限制的类型和机制仍不甚清楚。研究选择中国西南喀斯特地区两种主要岩性类型（白云石和石灰岩），四种主要的土地利用方式（农田，草地，灌丛和次生林），利用微生物化学计量学作为微生物资源限制的指标，对其土壤微生物资源的限制进行了调查。总体而言，喀斯特生态系统土壤微生物不受氮限制，而受碳和磷限制（图 4.4）。进一步分析表明，土壤微生物碳、磷限制的程度在不同土地利用类型和岩性类型间有显著的差异。微生物碳限制在农田和森林中最高但在草地最低，在白云岩区比在石灰岩区高（图 4.5）。微生物磷限制从白云岩区的农田向次生林演替过程中不断上升，但在石灰岩区的不同土地利用类型之间没有显著差异（图 4.6），表明岩性控制了农田退耕演替过程中微生物磷限制的变化。该研究第一次描述了喀斯特生态系统土壤微生物养分限制的一般模式，并认为岩性可能为解释不同地区农田退耕演替过程中微生物资源限制差异性的变化提供了新的机制。

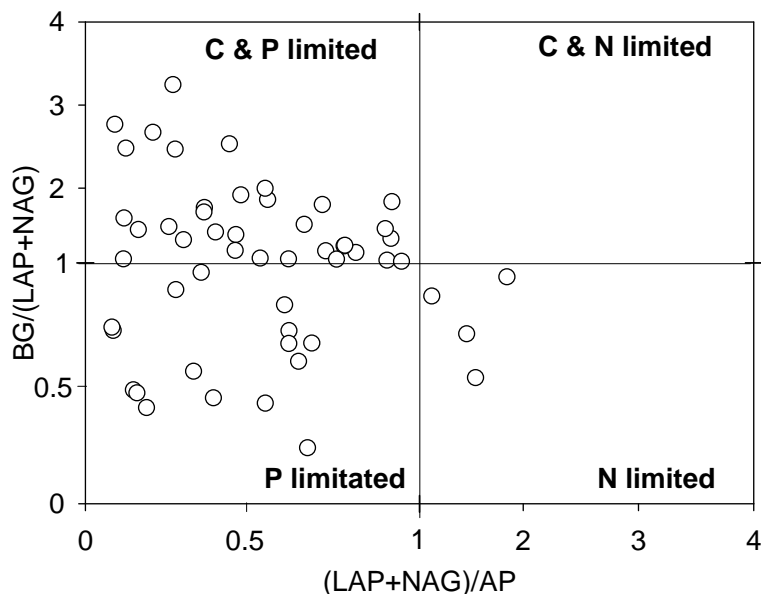


图 4.4 研究区内所有采样点的土壤酶化学计量散点图。BG、LAP、NAG 和 AP 分别是 β -D-葡萄糖苷酶、L-亮氨酸氨肽酶、 β -N-乙酰氨基葡萄糖苷酶和酸性磷酸酶

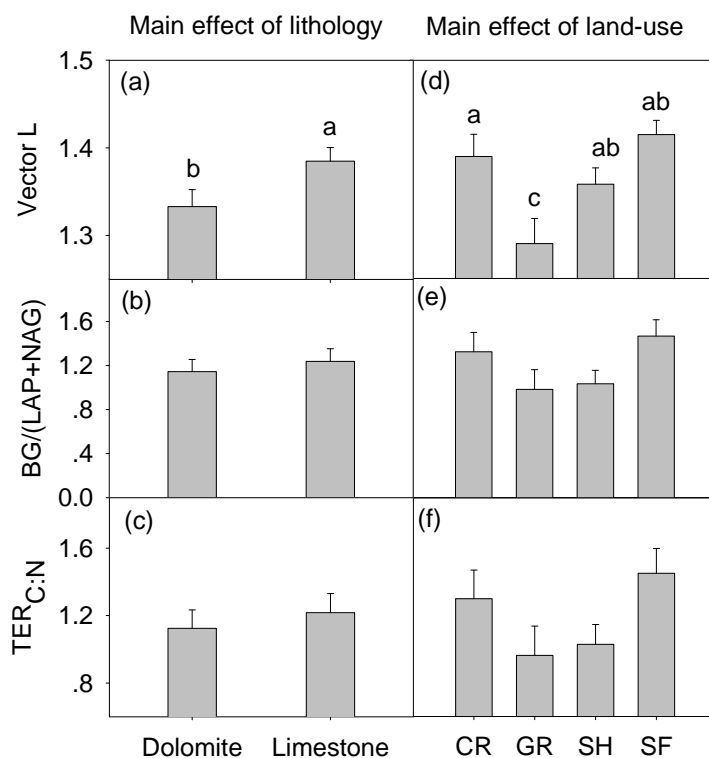


图 4.5 岩性和土地利用对 (a, d) 矢量长度, (b, e) $BG / (LAP + NAG)$ 和 (c, f) $TER_{C:N}$ 影响的主效应。CR 为农田, GR 为草地, SH 为灌丛, SF 为次生林。矢量长度是微生物碳限制的指标。较高的矢量长度意味着更大的微生物碳限制; $BG / (LAP + NAG)$ 和 $TER_{C:N}$ 是微生物氮限制的两个指标。较高的 $BG / (LAP + NAG)$ 和 $TER_{C:N}$ 意味着较低微生物氮限制

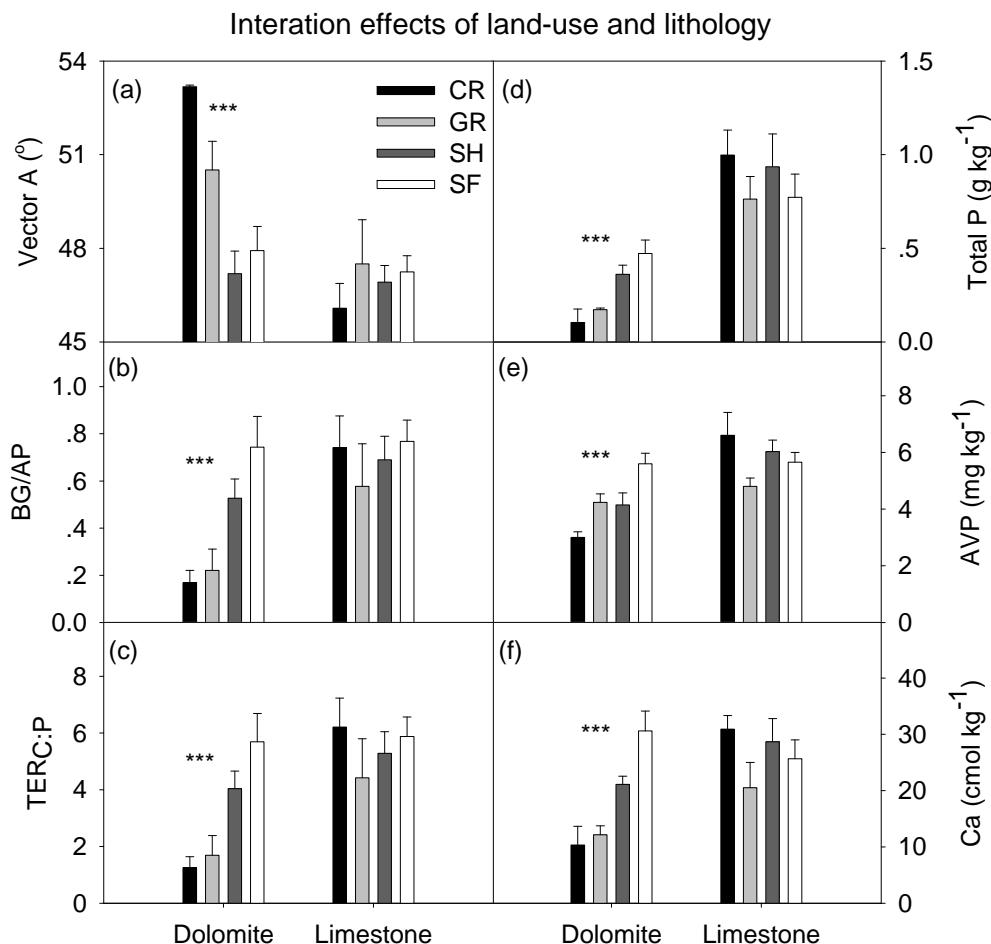


图 4.6 岩性和土地利用对 (a-c) 微生物氮或磷限制的三个指示指标 (即矢量角度、BG/AP 和 TERC:P) 和 (d-g) 土壤的三个理化指标 (土壤总磷, 速效磷和交换性钙) 的交互效应。矢量角度是指示微生物氮和磷限制的指标 (矢量角 $< 45^\circ$ 时为氮限制; 矢量角 $> 45^\circ$ 时为磷限制)。BG/AP 和 TERC:P 是微生物磷限制的两个指标。较高的 BG/AP 和 TERC:P 意味着较低微生物磷限制。***表示土地利用类型之间有显著差异。CR 为农田, GR 为草地, SH 为灌丛, SF 为次生林。

不同农田转化策略对土壤微生物养分限制状态的影响

农田转化被认为是提高退化农田的肥力的主要策略,但是农田转化是否改变微生物养分限制的状况仍然知之甚少。研究利用中国西南喀斯特区三种常见的农田转化策略,即 i) 种植香椿 (TS), ii) 种植桂牧一号 (GG), 和 iii) 任豆和桂牧一号混种 (ZG), 并以玉米-大豆轮作的农田 (CR) 作为参考, 利用微生物酶化学计量学作为指示微生物资源限制的指标, 研究了不同农田转化策略对土壤微

生物养分限制状态的影响。结果表明,农田转化后土壤酶活性发生改变(图 4.7)。酶化学计量学的结果进一步表明微生物碳限制在三种转化策略下都得到缓解,但在 TS 和 GG 下氮和磷限制加剧(图 4.8)。缓解的微生物碳限制可能是由于土壤碳含量升高所致,而微生物氮和磷限制的加剧可能分别是由于土壤 C/N 和 C/P 增加所致(图 4.9)。研究说明农田转化可以改变微生物的养分限制状态,这对于农田退化后重建的生态系统的评估和管理有重要参考意义。

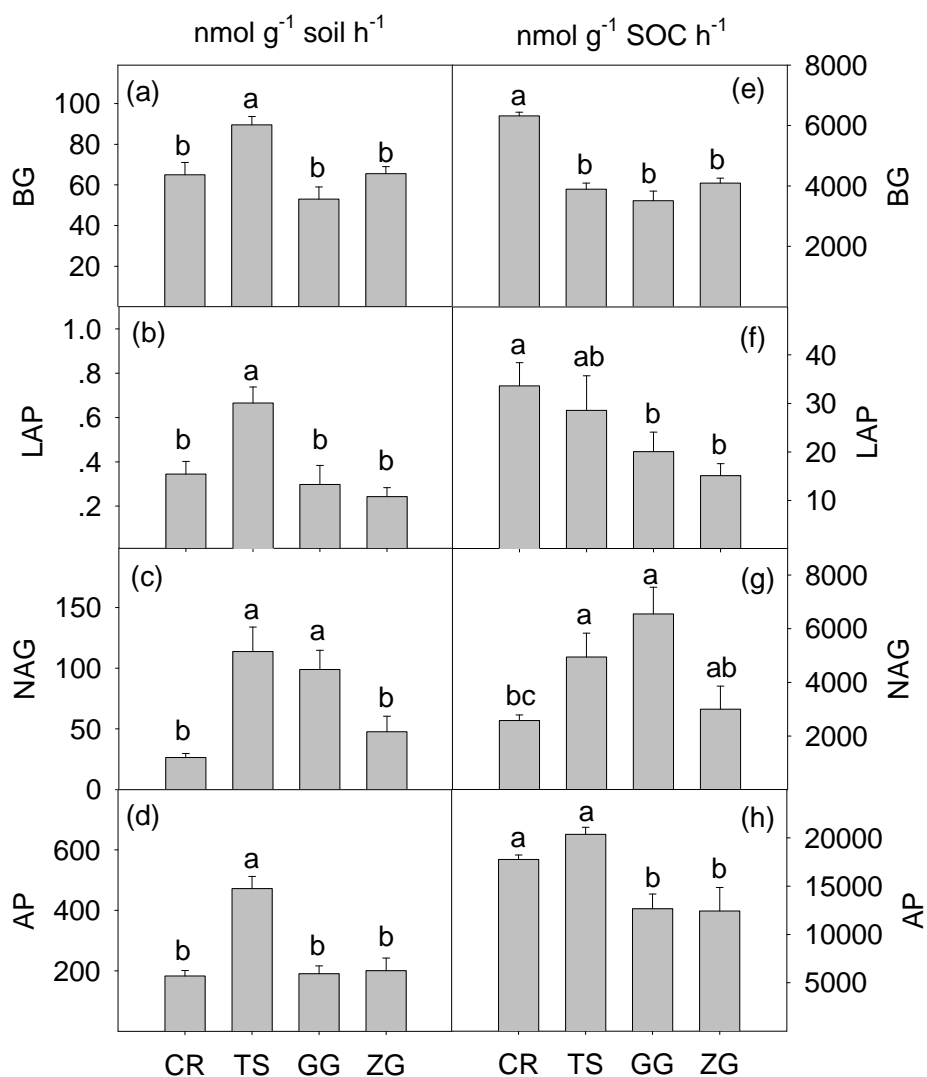


图 4.7 农田转化策略对土壤酶活性的影响(单位分别为 $\text{nmol g}^{-1} \text{ soil h}^{-1}$ 和 $\text{nmol g}^{-1} \text{ SOC h}^{-1}$)。(a, e) β -D-葡萄糖苷酶(BG), (b, f) L-亮氨酸氨肽酶(LAP), (c, g) β -N-乙酰氨基葡萄糖苷酶(NAG), 和 (d, h) 酸性磷酸酶(AP)。CR, GG, TS, ZG 分别为农田、香椿、桂牧 1 号、以及任豆和桂牧 1 号混种。

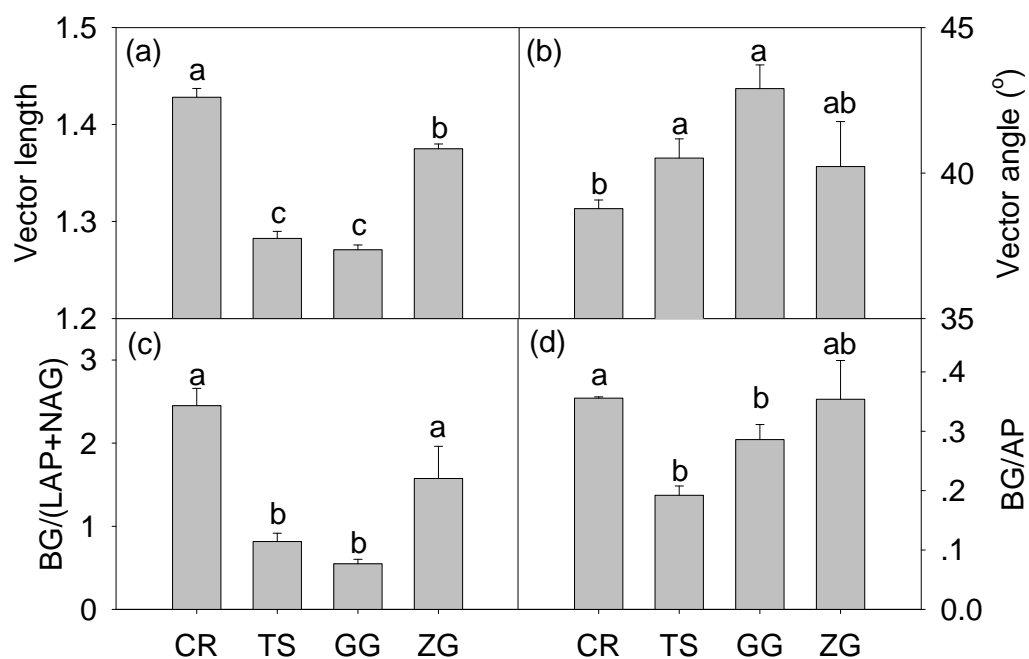


图 4.8 农田转换策略对 (a) 矢量长度, (b) $BG/(LAP+NAG)$, (c) 矢量角度和 (d) BG/AP 的影响。BG、LAP、NAG 和 AP 分别是 β -D-葡糖苷酶、L-亮氨酸氨肽酶、 β -N-乙酰氨基葡糖苷酶和酸性磷酸酶。CR, GG, TS, ZG 分别为农田、香椿、桂牧 1 号、以及任豆和桂牧 1 号混种。

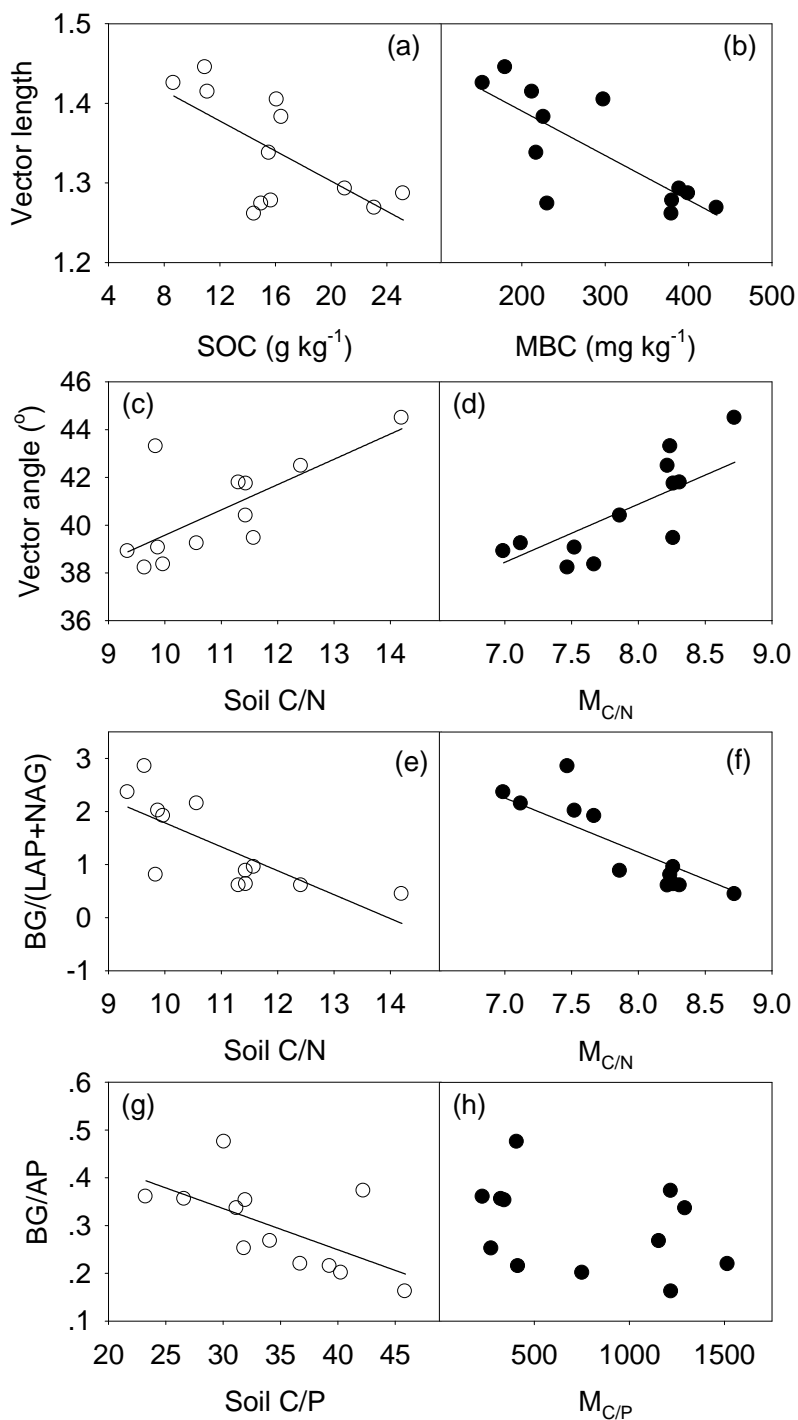


图 4.9 化学计量学特征指标与土壤属性之间的关系。(a, b) 矢量长度和 SOC、MBC 之间的关系；(c, d) 矢量角度与土壤 C/N 或微生物生物量 C/N 之间的关系；(e, f) $BG/(LAP+NAG)$ 和土壤 C/N 或微生物生物量 C/N 之间的关系，以及 (g, h) BG/AP 与土壤 C/P 或微生物生物量 C/P 之间的关系。BG、LAP、NAG 和 AP 分别是 β -D-葡萄糖苷酶、L-亮氨酸氨肽酶、 β -N-乙酰氨基葡萄糖苷酶和酸性磷酸酶。

课题五、植被复合经营与特色生态衍生产业培育技术

喀斯特常绿落叶阔叶混交林物种多样性分布格局的尺度效应

物种多样性的空间分布格局及其与尺度的关系研究对于了解群落物种多样性形成机制具有重要意义。为了探讨喀斯特地区物种多样性空间分布格局的尺度效应,以喀斯特常绿落叶阔叶混交林 25 hm² 样地的(胸径 DBH \geq 1)木本植物为研究对象,分析了多度、物种丰富度、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数以及 Pielou 均匀度指数随 6 个空间取样尺度(5 m \times 5 m, 10 m \times 10 m, 20 m \times 20 m, 50 m \times 50 m, 100 m \times 100 m, 250 m \times 250 m)的变化。结果表明:物种多样性指数的空间分布均表现出较高的空间异质性;物种多样性指数的方差随取样尺度增加呈现单峰分布特征,并且在 100 m \times 100 m 尺度上达到最大值;物种多样性指数的变异系数随尺度的增加呈线性下降趋势,Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数以及 Pielou 均匀度指数在 5 m \times 5 m 至 20 m \times 20 m 尺度上下下降急剧;物种丰富度与多度的正相关性在 50 m \times 50 m 尺度之后随着区域尺度的不再显著。喀斯特常绿落叶阔叶混交林物种多样性的空间分布格局是基于空间尺度存在的,想要了解物种多样性随空间尺度的变化模式,我们还需要更进一步研究环境异质性与物种所需求的生境之间的关系。

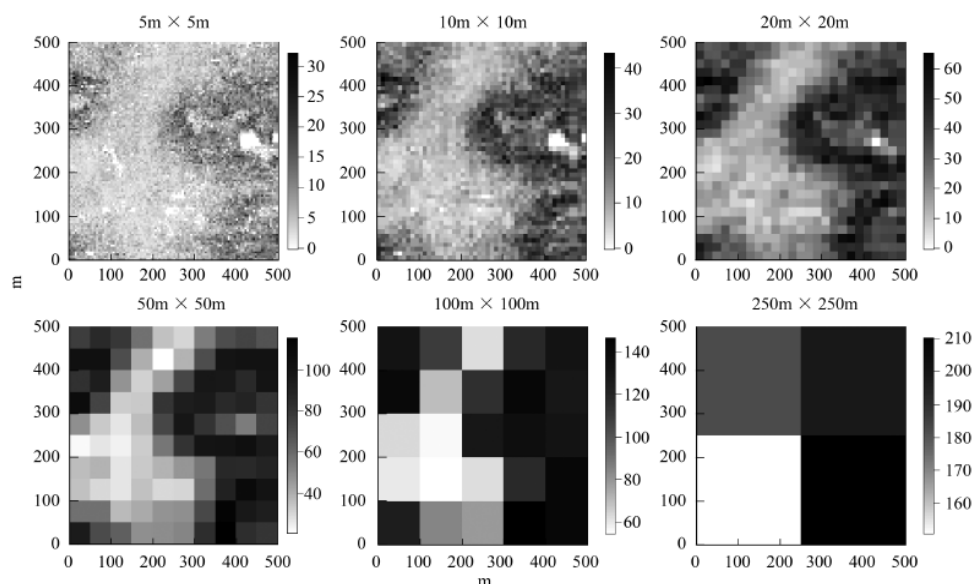


图 5.1 种群物种丰富度在 6 中取样尺度下的空间分布特征

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家: 王克林

地址: 湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式: 0731-84615201

喀斯特峰丛洼地不同植被恢复阶段细根生物量、形态特征及其影响因素

以喀斯特峰丛洼地不同植被恢复阶段的草丛、灌丛、次生林和原生林为研究对象,采用土芯法,分 0~10、10~20、20~30 cm 等 3 层获取群落活细根(直径 ≤ 2 mm),分析其生物量、形态特征及其与土壤性状的关系。结果表明:各恢复阶段细根生物量为 194.63~255.19 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$,集中分布在 0~10 cm 表层土壤中,占 0~30 cm 土层总生物量 60%以上,不同恢复阶段群落生物量的差异不显著;细根比根长和比表面积在不同恢复阶段差异显著,随着植被由草丛向原生林正向恢复而逐渐降低;超过 66%的根长和 64%的根面积分布在 0~10 cm 表层土壤中,多数细根根长和根面积均在 0~0.5 mm 和 0.5~1 mm 径级,这两级根长和根面积占其总量的 87%和 72%以上。冗余分析表明,喀斯特峰丛洼地植物群落细根特征与土壤性状之间存在着不同的相关性,其中土壤有机碳、速效钾和全氮对细根特征影响较大。这是植物长期适应生境条件形成的有效策略。

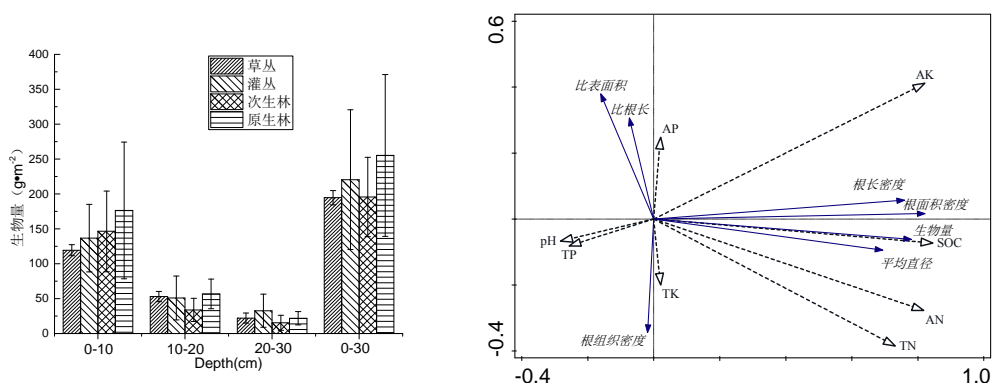


图 5.2 不同恢复阶段细根生物量 (左)、细根形态特征对土壤性状响应 (右)

研制了火龙果快速嫁接专用工具, 提高了嫁接的效率和质量

随着火龙果种植在石漠化山地的发展,以及市场的需求不断提高,传统品种需要更新换代,嫁接换冠成为重要途径。火龙果嫁接方法较多,包括平接、楔接、靠接、插接、套接等在实际生产中都有所应用。但这些方法或操作繁琐、成活率低,或费时费力,或接穗用量大、对砧木和接穗要求高等,限制了火龙果嫁接技术的应用。在火龙果嫁接换冠过程中,急需一种简便快捷、高效

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家: 王克林

地址: 湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式: 0731-84615201

的嫁接工具。

根据生产实际需要，项目组不断改进技术和设备，最终开发了一种火龙果快速芽接剪不仅操作简单，而且有效提高了火龙果嫁接速度和成活率，减少了接穗用量。这一装置申请了实用新型专利“一种火龙果快速芽接剪”，2018 年获得授权，授权专利号为 201720866960.5。



图 5.3 火龙果快速芽接剪及应用效果

环江试验示范区推广魔芋种植

魔芋，属天南星科磨芋属多年生草本植物，喜阴，主要生长在疏林下，其地下块茎扁圆形，营养十分丰富，含淀粉 35%，蛋白质 3%，以及多种维生素和钾、磷、硒等矿物质元素，是有益的碱性食品。块茎通过加工成魔芋粉供食用，并可制成魔芋豆腐、魔芋挂面、魔芋果汁等食品。本项目与广西环江毛南中欧食品有限公司合作开展环江区域魔芋种植、加工、销售合作。2018 年已进行魔芋品种适应性种植试验示范 100 余亩，种植品种包括珠芽魔芋、白魔芋、花魔芋，种植方式包括大田遮阳种植、人工林林下种植、果树套种及盆栽种植等方式，通过本年生长长期筛选出适合与环江区域内适合的种植品种及优化的种植方式。

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201



图 5.4 旱地种植（左上）、水田种植（右上）、澳洲坚果套种（左下）、林下种植（右下）

环江种质资源圃培育适生营养杯苗

2018年5月，从项目合作单位广西南亚热带农业科学研究所引进500余株澳洲坚果小苗至环江站苗圃，通过营养杯种植、集中管护提高小苗生长速率，计划待生长至中苗阶段再带杯定植至果园，以期提高种植成活率、缩短挂果时间。该苗圃培育了降香黄檀、枇杷等一批营养杯苗。



图 5.5 澳洲坚果杯苗（左）、降香黄檀杯苗（右）

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

喀斯特次生灌丛近自然改造试验

黄荆条是我国亚热带岩溶石漠化地区植被自然恢复的先锋树种之一，在石漠化地区植被恢复初期通常能形成单优群落。在环江川山镇白丹喀斯特多功能生态农业示范园就存在大量黄荆条单优群落。这种先锋群落普遍存在物种多样性低、群落层次单一等问题，需引入其他适生树种来增加群落层次和植物多样性，以提高群落生产力和生态服务功能。

为了筛选适合改造黄荆条纯林树种及方法，课题组在白丹喀斯特多功能生态农业示范园对黄荆条野外单优群落进行改造试验。改造方案分 4 个处理，3 个重复，12 个小区，各小区面积为 20m×20m，小区间隔 4m，改造面积总计 1 公顷，各处理如下：① 对照：保留原来植被；② 常绿乔木：萍婆、狗骨木按 1:1，4m×4m 间距栽植；③ 落叶乔木：秋枫、红椿按 1:1，4m×4m 间距栽植；④ 常绿落叶乔木：红椿、萍婆按 1:1，4m×4m 间距栽植。试验小区设置如图 5.6，两种树交错栽植，各树种大小均匀分配。

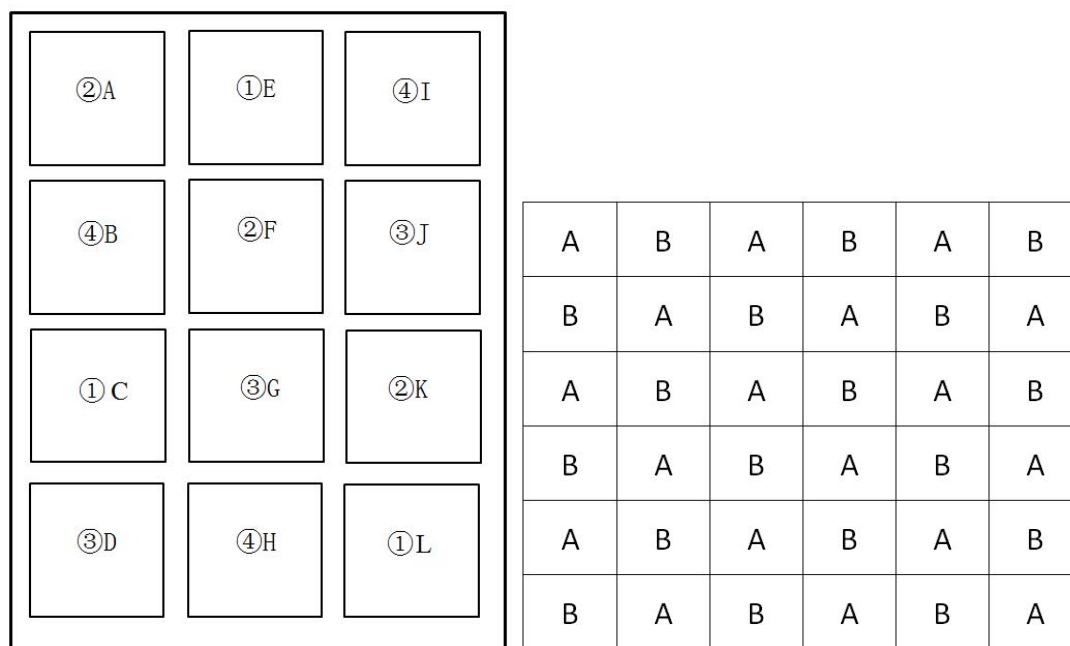


图 5.6 黄荆条改造小区设置示意图（左），栽种示意图（右）

黄荆条单优群落植被本底调查表明，整个改造小区现有木本植物 13 种，包括黄荆、菜豆树、豆梨、杜茎山、香椿、灰毛浆果楝、毛桐、伊桐、火棘、鸡

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

仔木、楝木、毛果巴豆、紫珠，总个体数为 1214 个，其中黄荆的个体数为 1154 个，各小区情况见表 5.1。

表 5.1 黄荆林改造前各小区植被情况

物种名	各小区物种株数												总计
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
黄荆 (<i>Vitex negundo</i>)	104	123	94	52	/	146	138	54	168	139	/	136	1154
菜豆树 (<i>Radermachera sinica</i>)					/	1					/		1
豆梨 (<i>Pyrus calleryana</i>)				1	/	1					/	1	3
杜茎山 (<i>Maesa japonica</i>)			1	1	/			1			/		3
香椿 (<i>Toona sinensis</i>)	1	12		1	/		1		5		/		20
灰毛浆果楝 (<i>Cipadessa cinerascens</i>)			1	1	/			5			/	2	9
毛桐 (<i>Mallotus barbatus</i>)				1	/	1					/		2
伊桐 (<i>Itoa orientalis</i>)				1	/			1			/		2
火棘 (<i>Pyracantha fortuneana</i>)					/			11			/		11
鸡仔木 (<i>Sinoadina racemosa</i>)					/						/	1	1
楝木 (<i>Cornus macrophylla</i>)					/						/	6	6
毛果巴豆 (<i>Croton lachnocarpus</i>)					/						/	1	1
紫珠 (<i>Callicarpa bodinieri</i>)				1	/						/		1
各小区物种数	2	2	3	8	/	4	2	5	2	1	/		1214

2018 年 5 月对 2017 年 4 月移栽的苹婆、秋枫、狗骨木和红椿进行生长与存活情况调查，并对死亡植株进行补植。

同时，为了进一步筛选适合改造黄荆林的树种，2018 年 4 月，在试验小区外围移栽了栾树、合欢、辣木、广西九里香、仪花、山黄皮等喀斯特乡土树种共计千余株。2018 年 5 月抽查，广西九里香成活率 100%、仪花成活率 65%、山黄皮成活率 65%、闽楠成活率 51%。



图 5.7 白丹示范区植树造林

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

《石漠化贫困区火龙果栽培管理技术》标准立项通过网上公示

2017年9月份，项目组向国家标准委提交了《石漠化贫困区火龙果栽培管理技术》标准立项申请。2018年1月份，该标准立项申请通过了网上公示，现处于标准起草阶段。


全国标准信息公共服务平台
试运行

National public service platform for standards information

首页
国家标准
行业标准
地方标准
团体标准
企业标准
国际标准
国外标准
示范试点
重点工程

石漠化贫困区火龙果栽培管理技术要求

Technical regulation for Pitaya production in poor desertification area

国家标准项目
制订
推荐性

国家标准计划《石漠化贫困区火龙果栽培管理技术要求》由TC93（全国国土资源标准化技术委员会）归口上报及执行，主管部门为国土资源部。
 主要起草单位：中国地质科学院岩溶地质研究所、广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所、广西农业科学院、广西平果县质量技术监督局。

目录	1 项目进度	5 范围和主要技术内容
	2 基础信息	6 国内外简要情况说明
	3 起草单位	
	4 目的意义	

项目进度

网上公示
起草
征求意见
审查
批准
发布

基础信息

制修订	制订	国际标准分类号	65.020
项目周期	24个月	归口单位	全国国土资源标准化技术委员会
申报日期	2017-09-07	执行单位	全国国土资源标准化技术委员会
公示开始日期	2018-01-03	主管部门	国土资源部
公示截止日期	2018-01-17		

起草单位

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

课题六、生态服务提升与民生改善的石漠化治理模式集成与示范

项目组赴黔桂两省调研石漠化治理模式

2018年5月18-27日以及6月3-10日，项目组成员对广西、贵州两地的峰丛洼地、峰林平原等地貌类型进行了实地调查，主要考察此类地区在区域石漠化治理上采取的恢复/修复模式以及取得成效，并核对自然地域分区工作的准确性，同时对于典型地形地貌和治理模式，采用无人机航拍的形式获取高清遥感影像，为后续的生态服务功能评价提供支持。

本次调查历时半个月，共调研了环江、罗成、融水、田阳、独山、普定等14个县市，总结得到石漠化治理通用措施两项，即基于水土资源集约化利用的路池与坡改梯工程，以及喀斯特坡地环境改善与地力提升的生物措施，这两项措施可以普遍适用于喀斯特石山条件下的农业产业，推广前景较强；归纳有代表性的石漠化治理模式4个，包括喀斯特石山坡麓灌木林提质与改造模式，喀斯特土地集约化利用的立体生态发展模式，喀斯特石生环境适应型特色高效经济林果产业模式，以及侧重生态效益提升的喀斯特传统林木种植模式。

本次调研总结出的石漠化治理模式已经基本成型，下一步将组织专家学者对该模式进行完善并加以论证。该模式的提出，将有助于石漠化地区选择更加科学合理的生态治理模式和经济发展模式，为喀斯特地区生态恢复、农村脱贫提供新的发展思路，为乡村振兴工作提供了坚实的理论依据。



图 6.1 实地调研考察喀斯特地区的农业产业

石漠化治理模式归纳成果简述

在 5-6 月份的石漠化治理模式调研的基础上，共总结归纳出 4 个西南喀斯特山区石漠化治理模式，模式的总结方式是以区域自然生态环境和社会经济中所暴露的问题为导向，根据地貌地质特点、石漠化状况、生态环境条件以及社会需求等特点，综合各类恢复措施、产业类型等农业发展模式而梳理整合成一套适合具有区域特色石漠化治理模式，不仅具有高度的概括性，而且有较强的实用性，可以较好地指导该区域的石漠化治理工作。模式的概要如下：

1. 喀斯特石山坡麓灌木林提质与改造模式主要针对：（1）石山坡麓地带灌木林为主，林相低下，经济效益差；（2）水热资源丰富，但利用率低；石多土少，难以发展速生林、经果林；（3）农村劳动力不足，难以承担劳动密集型农业产业等问题，适用于水热资源丰富，且人地关系相对宽松的南亚热带喀斯特峰丛洼地区。模式主要是对灌木林进行改造：在坡麓、塔裙自然生长灌木林中间种珍贵树种，从而改变自然生长的灌木林地土地闲置，水热资源得不到充分利用的现状。对于已有人工林地进行提质，在这些区域间种珍贵树种，改变人

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

工林经济效益低的现状。根据区域生态环境选择种植沉香、蚬木、红豆杉、柚木和降香黄檀等适生珍贵树种，提高灌木林和人工林质量，加速石山植被恢复，提高经济效益。该模式能够发挥石漠化治理的长期效益，同时能提高喀斯特地区土地资源储备。通过利用自然灌草坡地和人工林地，解决石漠化治理和退耕还林过程中长期效益与短期效益之间的矛盾，提高长期经济效益。在石多土少的坡地发展名贵树种，产生收益需要较长时间，但是可节省劳动生产力，节约人力成本，并充分利用稀缺的水热资源，在人地关系宽松的地区具有显著的推广优势。



图 6.2 喀斯特石山坡麓灌木林提质与改造模式（扶绥，间种红豆杉和黄檀，提高坡麓灌木林经济价值）

2. 喀斯特土地集约化利用的立体生态发展模式主要针对（1）石山面积比例大，石漠化程度高，土地资源匮乏；（2）人多地少，人均坝地面积低，人地关系高度紧张；（3）农民人均收入水平低等问题，适用于人口密度大，土地资源匮乏，人均坝地面积较低、山地面积比例较大的喀斯特石山区。西南喀斯特丘陵坡地山顶为石质坡地，土壤极其匮乏，采用封山育林的方式恢复，山腰为土石质坡地，可以间种石山适生的生态高效林木和高经济附加值林木，如任

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

豆、竹子和黄梨木、楠木间种，或者在生态高效林木下发展林下经济，如香椿林下种植山豆根等喜阴中草药。低洼地区为土质坡地，种植桑树、火龙果或者柑橘等，发展桑蚕产业和林果产业，确保农民增收。通过合理布局，利用有限空间，形成山体之中农、牧、林紧密结合，相互支持的立体生态农业格局。该模式能充分利用有限的土地资源，缓解人地关系紧张的问题，促进了农村产业结构调整与升级，同时能兼顾石漠化治理的长中短效益，获得较大的经济效益和生态效益。可以与异地扶贫搬迁工作紧密结合，易得到政府部门支持，有利于该模式的大面积推广。

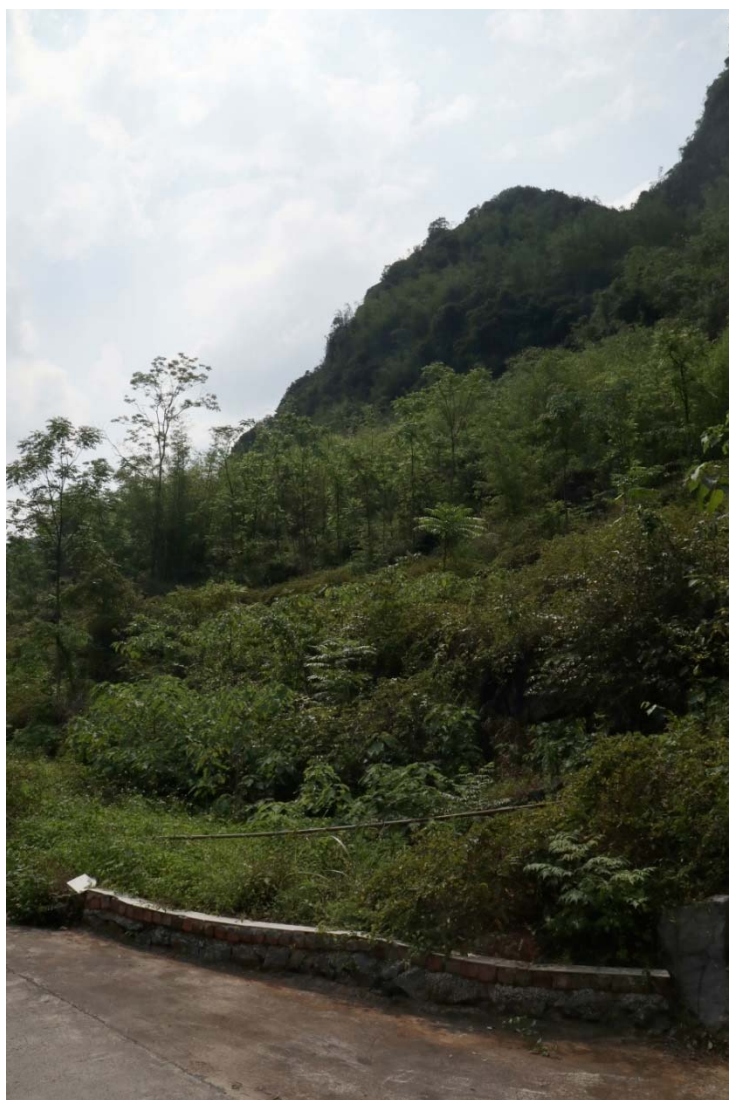


图 6.3 喀斯特土地集约化利用的立体生态发展模式（马山，山顶封育，山腰种竹子，山脚种金银花，充分利用土地资源）

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201

3. 喀斯特石生环境适应型特色高效经济林果产业模式主要针对:(1)人地关系紧张,人口贫困;(2)具有较好的水热资源,土层相对较厚,但利用效率低下;(3)具有较好的土地资源,但以传统农耕模式种植大豆、玉米等低经济效益的作物为主的地区。在这些地区筛选适宜当地种植的无患子、毛葡萄、苏木、火龙果、澳洲坚果等特色经济林果品种,培育喀斯特特殊生态衍生产业,有针对性地发展产品深加工产业和旅游产业。发展坡面路池工程,解决经济林灌溉用水问题。该模式适宜发展短平快的喀斯特经济林果农业生态产业,在短时间内缓解农民生计问题,促进农民增收。在较长时间内稳定产出,保证收入稳定。实现合理分配短缺的可利用水资源,增加雨水的利用效率,确保人畜饮水和灌溉用水充足,减轻洪涝灾害,增强区域可持续发展能力。该模式易于被农民接受,有助于培育喀斯特特色生态产业。这一模式在贵州省独山县得到了较好的发展,在田阳、凭祥等地也有体现。



图 6.4 喀斯特石生环境适应型特色高效经济林果产业模式(独山,坡麓地带种植刺梨和梨树,修建路池工程,充分利用水热资源)

4. 侧重生态效益提升的喀斯特传统林木种植模式主要针对(1)石漠化程度高、具有较大水土流失风险的坡地、坡耕地;(2)人为干扰程度大,生态功能低下,生态系统退化严重等不适合继续发展农林经济的石山区等问题。适用于重度石漠化比重大的区域,以及植被覆盖度低,结构简单,生态功能差而人类活动影响频繁石漠化程度持续加重的区域。模式的主要内容为选用耐干旱瘠薄、喜钙、岩生、速生、适用范围广、经济价值高的乔灌木、藤和草进行生态修复,如任豆、香椿、女贞等喀斯特石生环境适生植物,并进行封育,禁止砍伐,同时辅之以坡改梯工程,形成退耕还林的综合治理模式。将自然生长的灌木林改良为套种吊丝

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家:王克林

地址:湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式:0731-84615201

竹、香椿、任豆、构树等提高生态效益的混交林，促进植被群落演替。该模式适合在石漠化程度较高或者石漠化程度仍持续加重的区域实施，能够快速恢复植被和固持水土，提升生态功能，为区域林草植被快速恢复提供保障，但该模式主要侧重生态效益，经济效益不高，农民难以从中得到较高的经济收益，制约了该模式的可持续性。生态效益提升程度有限，任豆，香椿虽然能够快速提高地表植被覆盖度，但形成的植物群落单一，多样性低，群落结构不稳定，易发生退化。



图 6.5 喀斯特传统林木种植模式（来宾，封育并种植任豆等适生植物，快速恢复植被）

主题词：咨询报告、实验研究、技术研发、标准立项、模式集成、考察、示范

发送：国家科技部 21 世纪议程管理中心、中国科学院亚热带农业生态研究所

项目咨询专家组、项目首席科学家、各课题负责人

抄送：各课题研究骨干

稿源：项目管理秘书组

国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)管理办公室

首席科学家：王克林

地址：湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式：0731-84615201