

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1期总第6期

2018年4月4日

目录

项目研究成果以封面文章在 Nature 子刊发表.....	1
项目间交流合作情况.....	5
地表-地下水资源综合调控与高效利用技术.....	7
水土流失/漏失关键过程与阻控技术.....	15
有机物资源利用与退化土地肥力提升技术.....	24
植被复合经营与特色生态衍生产业培育技术.....	36
生态服务提升与民生改善的石漠化治理模式集成与示范...	42

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

Nature 子刊 Nature Sustainability 以封面文章发表项目研究成果

截止 2015 年底，喀斯特地区整合生态保护与建设方面的中央资金规模达 1300 多亿元。生态工程的投入与建设在多大程度上改善了区域生态系统服务，是政府生态工程成效评估的重要依据。大区域尺度上生态工程成效的识别与量化一直是国内外研究的难点和关注的核心问题。

集成长时间序列光学遥感影像、微波遥感影像、生态系统模型、气候变化及生态工程投入与治理地面核查等数据，发展了大区域尺度生态工程成效识别与厘定方法，发现西南喀斯特地区植被恢复突变年份的主要集中分布在 2002、2004 及 2009 年，植被恢复演变特征与生态工程的实施具有较好的一致性。首次证实了大规模生态保护与建设工程的投入显著改善了区域尺度喀斯特生态系统属性，与土地过度利用地区及非工程区的越南、老挝和缅甸等邻国相比，工程实施前（2000 年）与实施后（2015 年）相比，喀斯特地区植被生长季叶面积指数（LAI）变化速率由 $0.01 \text{ m}^2\text{m}^{-2}\text{y}^{-1}$ 增加到 $0.02 \text{ m}^2\text{m}^{-2}\text{y}^{-1}$ ($p < 0.05$)，地上生物量固碳速率由 $0.14 \text{ Mg C ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ 增加到 $0.3 \text{ Mg C ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ ($p < 0.01$)。

同时，发现生态工程的实施显著提高了区域尺度植被碳固定，工程实施后，仅滇桂黔三省植被地上生物量固碳达到 4.7 Pg C (2012 年)，增加了 9% ($+0.05 \text{ Pg C y}^{-1}$)，相比 2010-2050 年中国森林 14.95 Pg C 的固碳潜力，生态工程背景下西南喀斯特地区可能有巨大的固碳潜力；揭示了喀斯特区域生态系统恢复演变与气候变化、生态工程建设强度等的关联机制。

在碳酸盐岩特殊地质背景制约下西南喀斯特地区植被整体恢复较慢，本研究表明即便是不利气候条件下、大规模的生态保护与建设工程投入也能缓解气候变化对西南喀斯特地区脆弱生态系统的影响，加快喀斯特地区植被结构与功能的恢复，由于地质背景与人类活动强度的差异，西南三省中广西峰丛洼地区域植被恢复最为显著、贵州喀斯特高原次之、云南断陷盆地最慢。研究表明长时间序列卫星遥感数据监测能够揭示生态系统属性的连续变化，但其较粗的空间分辨率可能无法有效反映植被种类和功能变化，以至于可能会掩盖不合理治理措施的影响，

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

亟需结合较高分辨率的遥感数据及地面观测来开展西南喀斯特地区区域尺度生态工程成效系统评估，揭示生态工程成效，并识别人类活动（不合理干扰、保护与建设）和气候变化对不同尺度生态环境变化的影响。

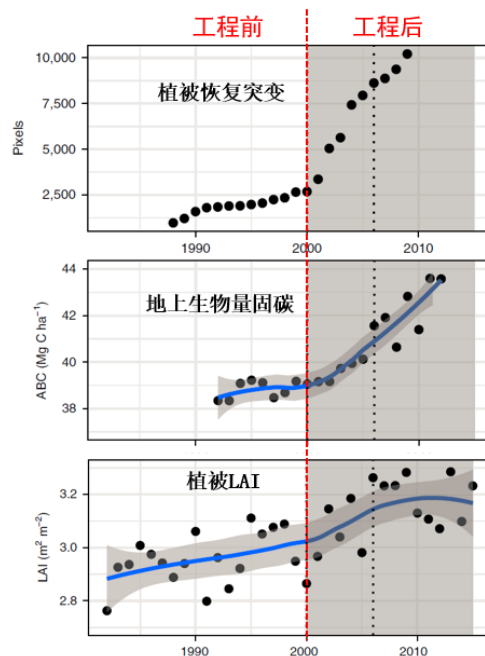


图 1.1 生态工程实施前后植被属性变化

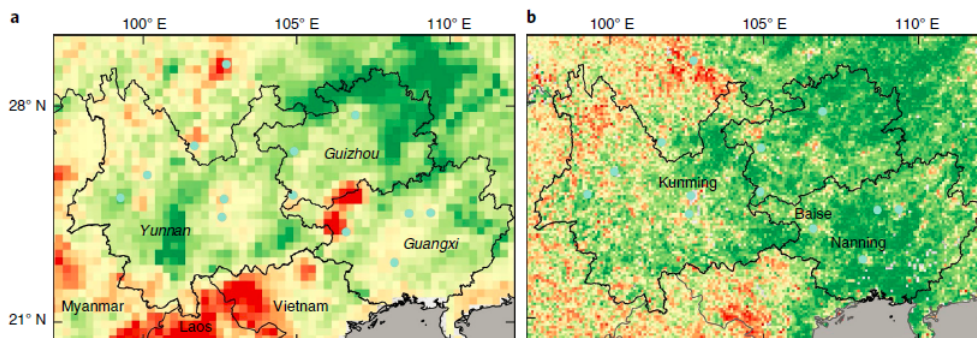


图 1.2 与周边国家相比西南喀斯特地区植被 LAI 及地上生物量变化状况

上述研究成果 2018 年 1 月 9 日以研究论文(ARTICLES)的形式发表在 Nature 子刊 Nature Sustainability (2018, 1: 44-50), 且被选为 Nature Sustainability 创刊号封面文章, 并辅以说明 (Forestry degraded landscapes: Southwest China is home to communities, agriculture and dramatic landscapes (pictured), but overuse of the land and drought have eroded regions bordering Vietnam, Laos and Myanmar. Yue et

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

al. analyse vegetation changes resulting from massive ecological engineering efforts, which since 2000 have promoted new forest growth and associated carbon storage) .

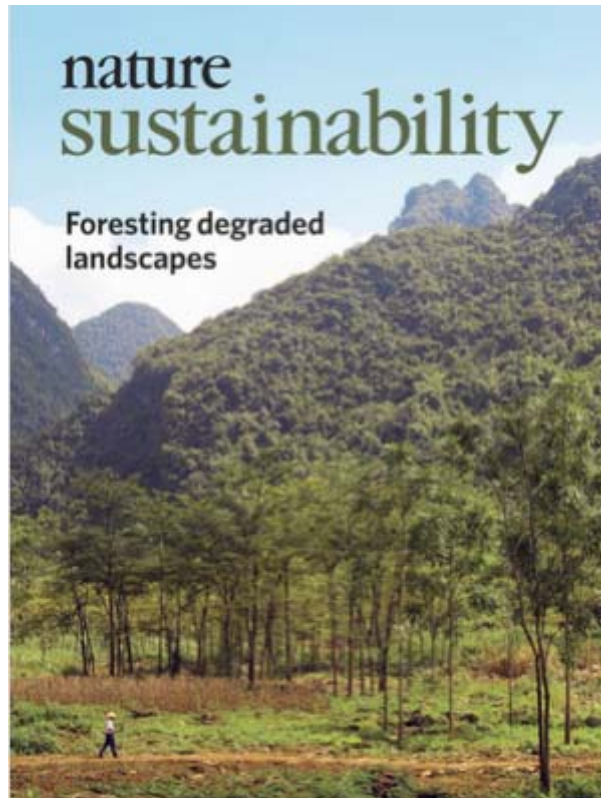


图 1.3 Nature Sustainability 创刊号封面 (图片:环江喀斯特站古周生态恢复示范)

上述研究成果得到国际同行的高度关注和肯定, 1月25日, Nature 发表英国牛津大学 Marc Macias-Fauria 教授的长篇评述“Satellite images show China going green” (Nature, 2018, 553: 411-413), 高度评价上述研究结果。该评述从研究背景、数据使用、研究方法等方面充分肯定了王克林团队开展的我国西南喀斯特区域生态恢复评估研究结果的高度可靠性, 认为该研究对如何开展区域尺度上大规模生态工程成效评估工作具有重要的借鉴意义。在这篇专门评述里, Marc 详细分析了喀斯特大区域尺度植被恢复评估的研究方法, 认为王克林团队利用三套独立的证据链 (相互补充的植被属性、动态生态系统模型、生态工程强度等) 和彼此印证一致的研究发现, 清晰地展示了生态工程对中国西南喀斯特地区植被的大尺度积极效应, 不仅显著提高了区域尺度植被覆盖, 同时还获得了让中国西南喀斯特区域成为全球重要碳汇的额外效益, 令人信服地证实了中国政府的生态工程显著促进中国西南喀斯特区域植被恢复的研究结论。

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

NEWS AND VIEWS · 22 JANUARY 2018

Satellite images show China going green

Large-scale tree-planting projects have taken place in regions of China prone to soil erosion. Satellite imagery reveals the effects of this work, and shows that a predicted vegetation decline didn't occur during a period of drought.

Marc Macias-Fauria

图 1.4 Nature 长篇评述“*Satellite images show China going green*”

喀斯特峰丛洼地项目与槽谷区项目开展交流合作

3月23日，应中国科学院亚热带农业生态研究所学术委员会主任王克林研究员的邀请，中国地质科学院岩溶地质研究所国土资源部岩溶动力学重点实验室副主任、国际岩溶研究中心常务副主任曹建华研究员到亚热带生态所进行学术交流，并作了主题为“岩溶系统关键带过程与碳循环”、“全球岩溶动力系统与资源环境效应”两个学术报告，王克林主持了会议，近40名青年科研骨干和研究生参加会议；亚热带生态所所长助理陈洪松研究员等陪同曹建华参观了中国科学院亚热带农业生态过程重点实验室，简要介绍了研究所近5年来取得的研究进展与成果。

曹建华在报告中强调指出，全球喀斯特分布面积占全球陆地面积15%、却提供了全球约25%人口饮用水，然而全球范围内喀斯特关键带研究与对比工作还很欠缺。全球岩溶地区关键带不但水文地质结构清晰，资源环境问题复杂多样，岩溶生态脆弱，导致地下水埋深大利用困难；人类活动导致岩溶水文地质条件突变（隧道等交通工程）或地下水污染（如农业活动），且含水层具不均一性，一旦污染很难恢复；碳酸盐岩溶蚀过程在现代碳循环中活跃，其碳汇效应可能是全球“遗失碳”的重要组成部分，可服务于应对气候变化。岩溶系统关键带过程与碳循环的相关研究有助于深化岩溶地质碳汇过程及影响机制的认识，为提出人为干预、增加岩溶碳汇技术途径，应对全球气候变化提供科学支撑。

随后，曹建华进一步介绍了与岩溶关键带研究密切相关的、由岩溶所/国际岩溶研究中心推动实施的“全球岩溶动力系统与资源环境效应”国际大科学计划。从建立全球岩溶生态环境监测网、创新资源勘探开发和环境治理技术体系、应对岩溶区生态环境面临的挑战、建立岩溶大数据平台、实现全球岩溶信息社会共享服务支撑岩溶区资源与环境可持续发展等五方面做了详细的阐述。他强调，该计划旨在建立全球岩溶环境监测网络，攻克岩溶关键带科学难题，编制“一带一路”岩溶地区和重点岩溶区专题图件，为人类利用岩溶资源、保护岩溶生态提供科学方案和公共服务。

针对“一带一路”倡议沿线国家岩溶分布、类型特征、岩溶监测网点建设思路

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

和未来合作，双方进行了深入的交流和探讨。本次学术交流，拓宽了从事喀斯特研究科技人员的视野和思路，为亚热带生态所喀斯特区物质循环、地球关键带结构与过程、生态水文、碳循环与全球变化等方面的研究工作提供理论和实践参考。同时，喀斯特峰丛洼地项目与槽谷区项目将继续更深层次的合作，取长补短相互促进。



图 2.1 喀斯特峰丛洼地项目与槽谷区项目开展交流合作

地表-地下水资源综合调控与高效利用技术

第二课题 2018 年第一季度主要开展了以下几项工作：平果示范区坡雷-果化岩溶流域系统水样测试及水化学分析；对二元共混高吸水树脂的合成工艺进行了优化；对环江示范区的水样进行了检测分析；开展了岩溶物种植物水分来源研究；开展平果研究区水资源利用示范区建设。

坡雷-果化岩溶流域系统水化学特征分析

对坡雷-果化岩溶流域系统采集的 21 件水样进行了水化学测试分析，分析结果显示：研究区地下水 pH 变化范围为 7.14~7.36，平均值为 7.25，变异系数仅为 1%。水中阳离子含量大小为 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ ，阴离子含量大小为 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ ，由图 3.1 的三线图显示，采样点的阳离子和阴离子分布较为集中，这表明该研究区地下水水化学类型较为一致，均为重碳酸-钙型水。进一步对水化学指标之间的相关性进行分析可知，TDS 与大多指标都有较好的相关性，在阳离子中 TDS 和 HCO_3^- 的相关性最强，相关性值为 0.99，与 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 的相关性值分别为 0.95、0.35、0.25。 HCO_3^- 与 Ca^{2+} 具有很强的相关性，相关性值达 0.95，说明地下水中该离子可能来源于研究区中广泛分布的灰岩、白云岩等可溶性碳酸盐岩的溶解和土壤大气中的 CO_2 的溶解以及人类活动的影响。

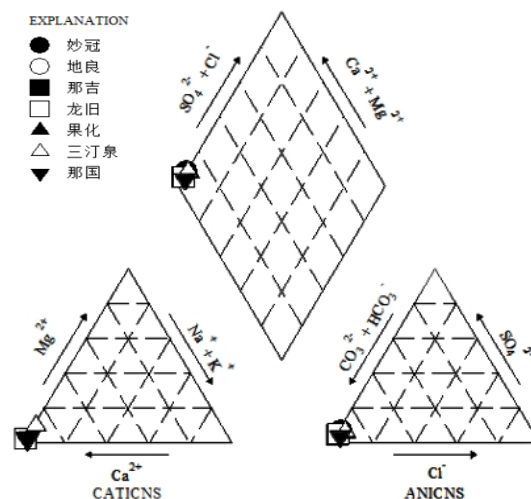


图 3.1 水化学三线图

耐盐型复合吸水树脂 K-CMC-AA 的制备及吸水性能试验

采用 20%NaOH、20%KOH 溶液同时中和 AA，其中引入 K⁺与 Na⁺、K⁺之和的摩尔百分比即为 KOH 中和比。取一定量的 CMC 于烧杯中，加入适量的蒸馏水进行搅拌，使其充分溶解，搅拌至糊化完全。另取一烧杯，加入一定量的 AA 溶液，置于冰水浴中，取事先配制的 20%KOH 和 20%NaOH 溶液逐滴加入，慢慢中和 AA 至一定中和度。将冷却后的丙烯酸溶液与搅拌完全后的 CMC 混合后，转移至三口烧瓶中。将一定质量的 MBA 和 KSB 加入含有 10mL 蒸馏水的烧杯中，搅拌至完全溶解后，加入上述三口烧瓶中。将三口烧瓶通入氮气后置于恒定温度的水浴锅中搅拌，进行接枝共聚反应。1.5h 后取出反应产物。静置其稍稍凝固后，用乙醇和水浸泡洗涤，充分去除未反应的单体和杂质。然后将其转移到恒温鼓风干燥箱中，烘干至恒重。粉碎过筛，得到最终产品。

对不同 KOH 中和比下制备的吸水树脂产品在 H₂O、0.1%NaCl、0.1%CaCl₂ 溶液中的吸水性能进行了试验分析，由图 3.2 的结果可知，随着 KOH 中和比的增大，即—COONa 逐渐被—COOK 取代时，高吸水树脂在不同溶液中的吸水表现不尽相同。在蒸馏水中，产品吸水倍率急速线性下降，中和比为 0%和 100% 时的吸水倍率分别为 433.24 g/g、253.68g/g；在 0.1%NaCl 溶液中，产品吸水倍率呈现出先增高后降低的趋势。在 KOH 中和比为 10%时，吸盐水倍率最大，为 285.06g/g，相比未加 KOH 的 CMC-AA 吸盐水倍率提高了约 80%，耐盐性明显提高。在 0.1%CaCl₂ 溶液中，产品的吸水倍率同样没有明显趋势变化，实验结果表明 KOH 的引入对树脂产品抵抗外界溶液中 Na⁺的抑制作用明显。

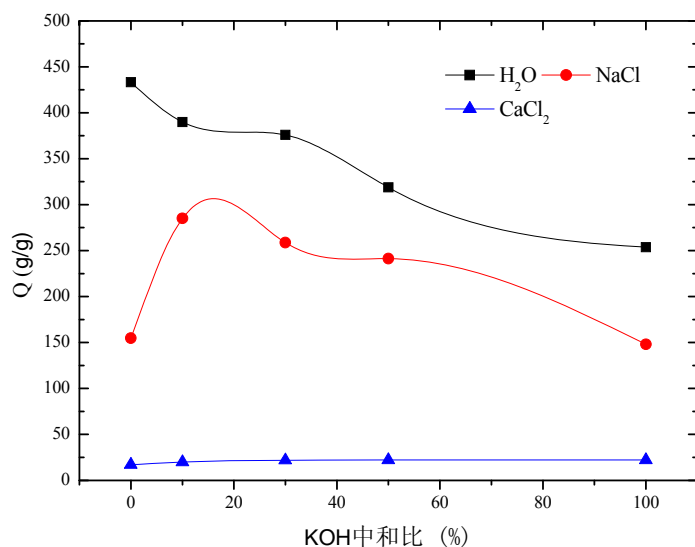


图 3.2 KOH 中和比对树脂吸水 (盐) 倍率的影响

不同盐溶液对树脂吸水性能的影响

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分别如图 3.3 所示。由图可知，不同金属离子对树脂吸水倍率影响程度不同，树脂在 NaCl、KCl 溶液中的吸水倍率明显高于 CaCl₂、MgCl₂ 溶液。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。Na⁺、K⁺的离子半径分别为 0.095nm 和 0.133 nm，使得 K⁺与水分子的水和作用较小，相同离子强度下产生的网络内外渗透压也较小，从而吸水倍率小于树脂在 NaCl 中的吸水倍率。于二价阳离子 Ca²⁺、Mg²⁺，由于生成螯合物的稳定性不同，Ca²⁺由于更稳定的螯合物生成，导致网络结构收缩程度更大，甚至时水凝结结构塌陷，严重影响了树脂产品吸水倍率。

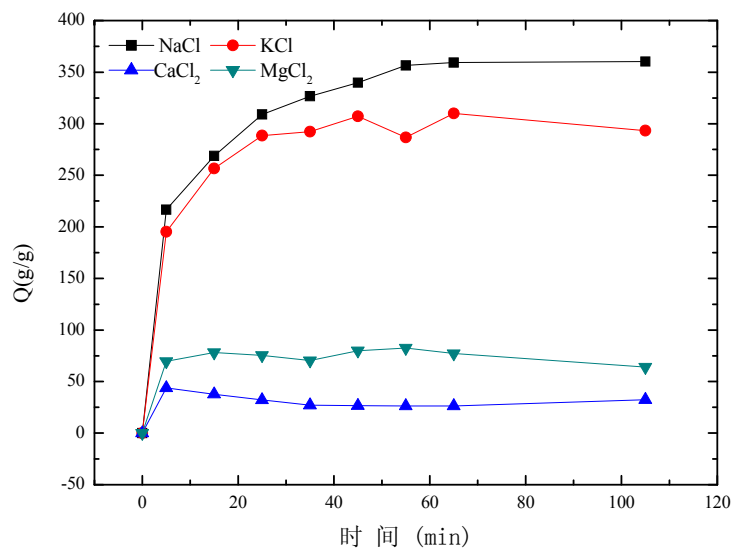


图 3.3 K-CMC-AA 在不同盐溶液中的吸水曲线图

环江示范区水质特征

分别取环江工作站地表水 (001)、古周农户家中的水 (002)、古周水窖中的水 (003)。进行了测试分析, 表 1 的分析结果说明环江站的水质主要以硬度偏高为主, 而古周水质结合现场调研来看, 水窖中滋生的藻类导致水体 COD 值较高, 造成污染。

表 1 水质检测结果

序号	检测项目	检测结果			单位
		20171106W001	20171106W002	20171106W003	
1	砷	ND	ND	ND	mg/L
2	镉	ND	—	—	mg/L
3	六价铬	ND	—	—	mg/L
4	铅	ND	—	—	mg/L
5	汞	ND	—	—	mg/L
6	硒	ND	—	—	mg/L
7	氰化物	ND	—	—	mg/L
8	硝酸盐氮	0.2	0.3	ND	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

9	三氯甲烷	ND	—	—	mg/L
10	四氯甲烷	ND	—	—	mg/L
11	色度	ND	ND	ND	度
12	浑浊度	ND	ND	ND	NTU
13	pH	7.85	7.02	8.35	无量纲
14	铝	ND	—	—	mg/L
15	铁	ND	ND	ND	mg/L
16	锰	ND	ND	ND	mg/L
17	铜	ND	—	—	mg/L
18	锌	0.20	—	—	mg/L
19	氯化物	ND	2.4	1.2	mg/L
20	硫酸盐	ND	ND	ND	mg/L
21	溶解性总固体	292	288	77	mg/L
22	总硬度	254	258	69	mg/L
23	耗氧量	0.55	0.95	6.43	mg/L
24	挥发酚	ND	—	—	mg/L
25	阴离子合成洗涤剂	ND	—	—	mg/L
26	*总 α 放射性	ND	—	—	Bq/L
27	*总 β 放射性	ND	—	—	Bq/L
28	总碱度	4.42	4.70	1.14	mg/L
29	氟化物	0.1	0.9	ND	mg/L
备注: 1、标注“*”为外包项目; 2、“ND”表示未检出。					

典型喀斯特生境植物水分来源粗化分析方法研究

针对深入分析植被-土壤-表层岩溶带生态水文效应的需求,我们从不同水源的补给与消耗特性的角度,拓展了传统的基于稳定同位素技术的植物水分来源分析方法(图 3.4),成功区分了不同生活型植物的水分来源。该方法的关键优势在于,一方面能够避开因喀斯特复杂水文地质结构造成的分层取样难的问题,另一方面,植物水分来源的判定结果不依赖于具体点位的物理特征,便于开展群落尺

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

度植物水分来源的研究。

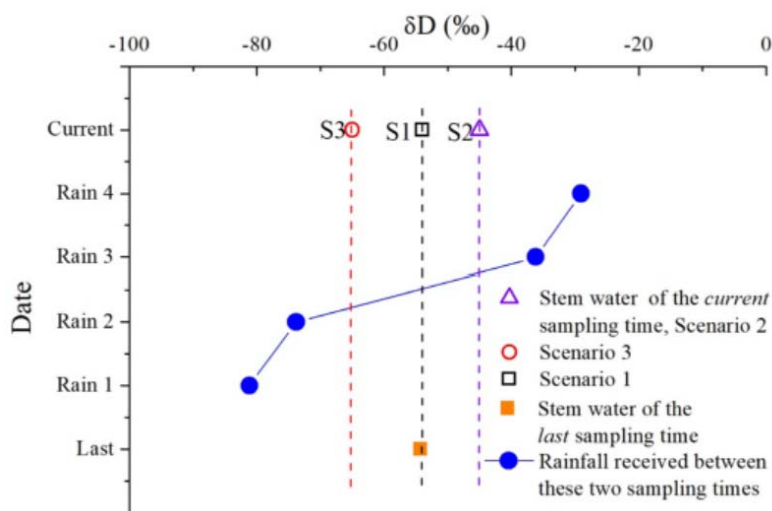


图 3.4 植物水分来源粗化分析方法概念图

喀斯特生态修复典型人工林物种植物水分来源研究

为评价不同类型人工林群落生态水文调节功能,本季度深入分析了喀斯特生态修复典型人工林物种植物水分来源差异特征。通过在水分亏缺的旱季雨前及雨后采集不同人工林植物茎水同位素样品和对应土壤水同位素样品,在真空抽提不同类型样品水分的基础上,测定了抽提水分的稳定性氢氧同位素值,通过对比植物茎水同位素值与 0-100 cm 范围内土壤水同位素值发现:植物茎水同位素值并未落在土壤水同位素值范围内,表明土壤水抽提过程中存在同位素分馏;通过模拟试验,证明了低含水率钙质粘土会造成传统的真空抽提过程中的同位素分馏(图 3.5),这进一步证实了部分针对钙质粘土会导致水分抽提过程中同位素分馏的认识;将真空抽提过程中的同位素分馏效应带入原始数据的分析结果表明,不同物种人工林植被在旱季雨前及雨后均以浅层土壤水为主要水源(图 3.6),这一结果与亚热带喀斯特地区降水较为丰富,土层相对深厚地区植物水分环境相对较好的基本特征吻合。

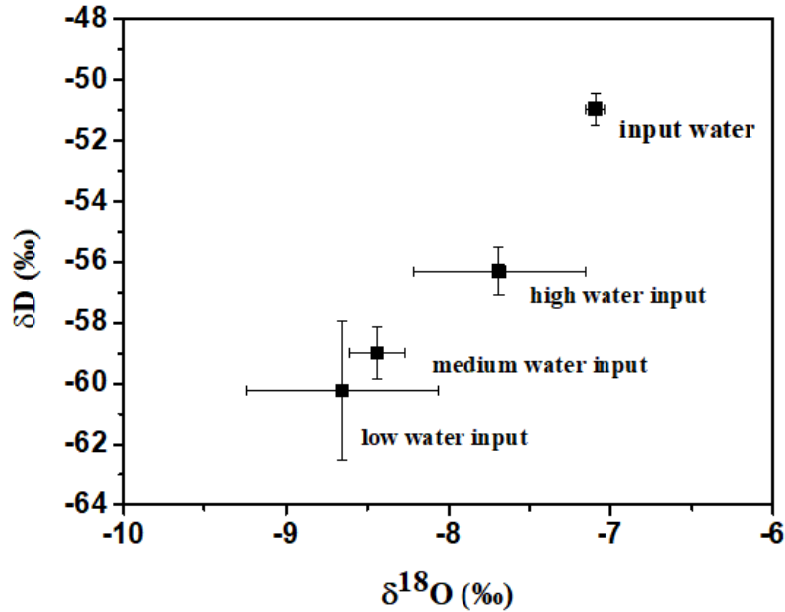


图 3.5 真空抽提对喀斯特钙质粘土水分的同位素分馏效应

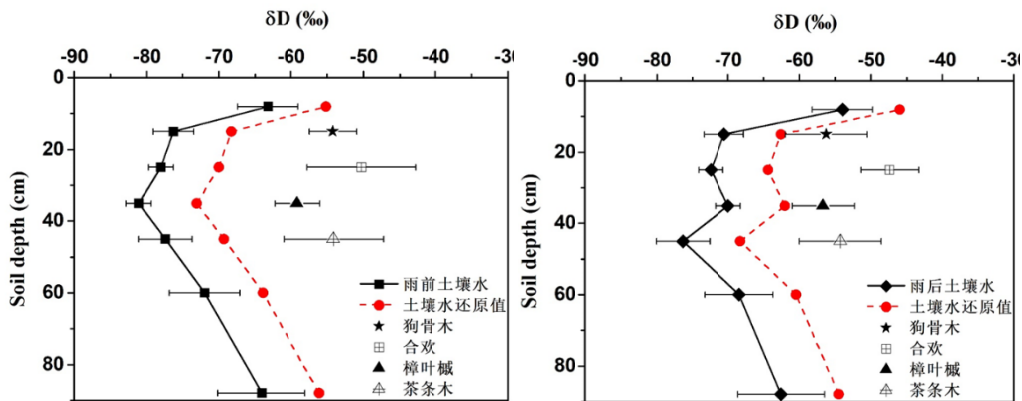


图 3.6 旱季雨前及雨后植物茎水与土壤水同位素值的相对位置关系

平果研究区水资源开发利用示范区建设

示范区的选定以精准脱贫为导向，以服务产业经济发展为目标，在平果县选择优势农产品种植为服务对象，对缺水地区开展响应的研究。基于以上原则，考虑到平果县目前的优势农产品为火龙果，经过前期部门对接，调查和走访，最终确定平果县耶圩乡一带火龙果和柑橘种植区为水资源开发利用示范区。涉及的村寨包括：壮烈村、雷坡村、长沙村和琴吉村等。种植的火龙果面积超过 400 亩，砂糖橘 300 多亩，直接缺水面积 200 多亩，取水困难 350 多亩。通过本项目的开展可有效解决 550 多亩的灌溉用水难题。

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

经过本次野外详细调查，发下研究区地表水资源较少，不能满足灌溉用水需求，但地下水资源较丰富，主要集中于琴吉村，长沙村一线，恰好区域性断层也经过这里，沿断层走向发育有大量的天窗，溶潭（图 3.7）等，地下水位距地表小于 5 米。其形成原因主要受构造和岩性的控制。构造方面表现为一条北西-东南向的压扭性断层为阻水断层（图 3.8），阻碍了地下水往南西方向流走，构成了西部一条大的隔水边界。并且断层的西边沿断层走向有一条砂岩条带分布，使得边界阻水相当的稳定。此外，研究区内发育一组近 60°走向的节理，倾角 75°左右，近乎垂直，控制了地下水的流向。这组节理范围很宽，跨度大约 1km，沿此节理岩溶非常发育，常可见泉水出露。如坡雷村的两个泉点，常年不断流，三壮村天窗，受这组节理和层面控制。基于此，在考虑打井找水时要考虑断层和这组节理的走向，故定在了长沙村溶潭附近。目前已在圈定的工作区及周边范围进行了较详细的水文地质调查工作以确定富水区和取水点。本次调查了水点 18 个，现场测了简单的物理化学成份并取水样带回实验室进行更全面的分析，结果尚没有出来。地质点调查了 8 个，对北西-东南走向断层进行了确认并划定了断层范围，对 20 万水文地质图进行了补充修正，为更好的选定取水点打下较好的基础。

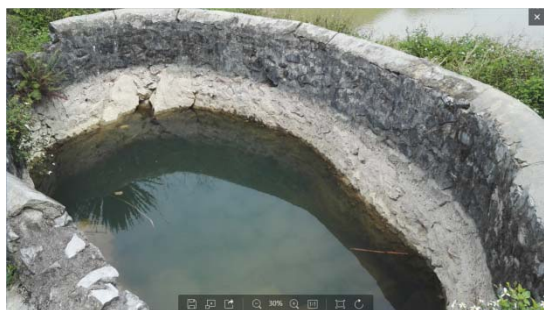


图 3.7 沿断层走向发育的溶潭



图 3.8 北西-南东走向的断层

水土流失/漏失关键过程与阻控技术

1、喀斯特基岩裂隙水土漏失过程模拟方法及装置（已申请专利）

采用机械工程材料形成一个如原理图所示的端面为等腰梯形的空间，该梯形的几何形状用上底 B 、下底 b 与腰倾斜角 α 描述。该空间用来模拟喀斯特基岩裂隙的几何形状。在该空间内填装试验土壤，模拟喀斯特基岩裂隙中的沉积土壤。土壤填装完成后，在该填装土体的上表面 ($L \times B$) 施加静水压，模拟喀斯特基岩裂隙中的沉积土壤上部的积水压力。当土体在上部水压和自身重力驱动向下运动时，将克服土壤与装置侧壁的摩擦力与出口局部阻力由底部出口 ($L \times b$) 排出。上述试验过程可以精确的模拟喀斯特基岩裂隙中，沉积土壤在上部积水压力驱动下，水流穿透裂隙中的土层，从下端出口排出并漏失到地下的过程。改变上述断面等腰梯形的腰倾角 (α)，可以形成并模拟不同规格的裂隙形状。改变上述端面等腰梯形的下底宽度 (b)，形成并模拟各种大小的裂隙出口。改变土体上方积水的深度，得到不同的表面的静水压力。改变缝隙中土壤的厚度，可以得到土壤层内不同的水力梯度。整体试验，模拟测量积水深度、水力梯度、土体上下断面面积比，三因素影响下基岩裂隙水土的漏失过程。

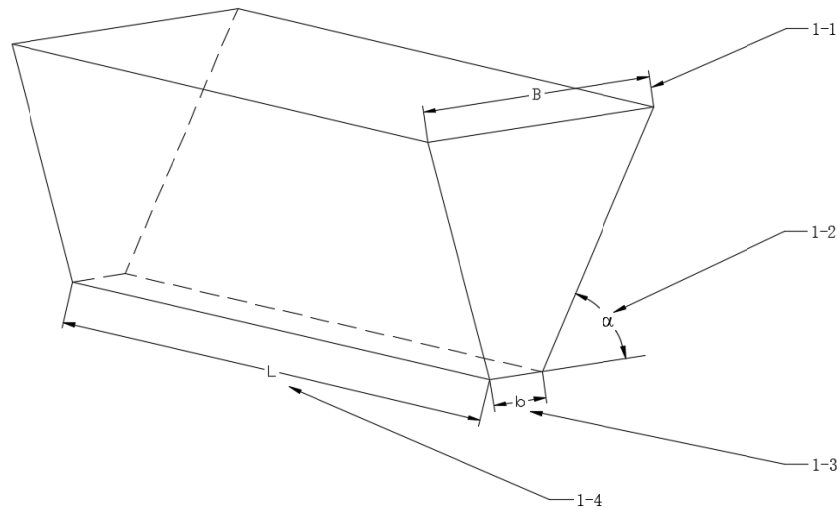


图 4.1 1-1 上底 1-2 腰倾角 1-3 下底 1-4 裂隙长度

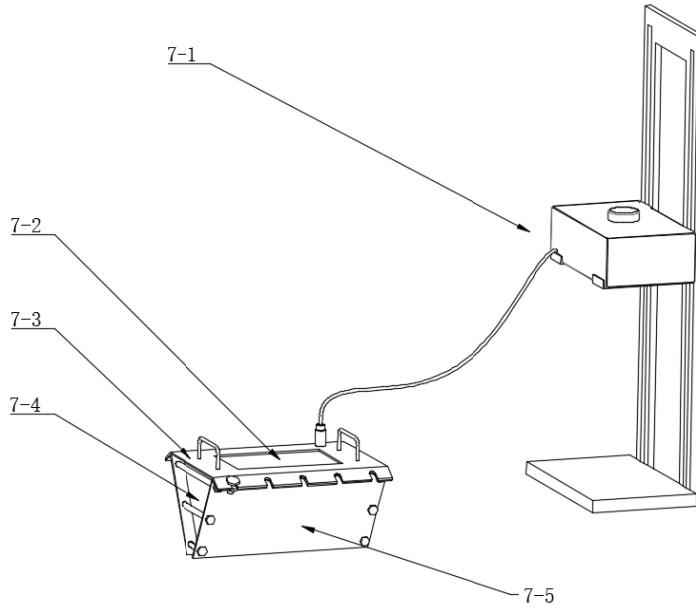
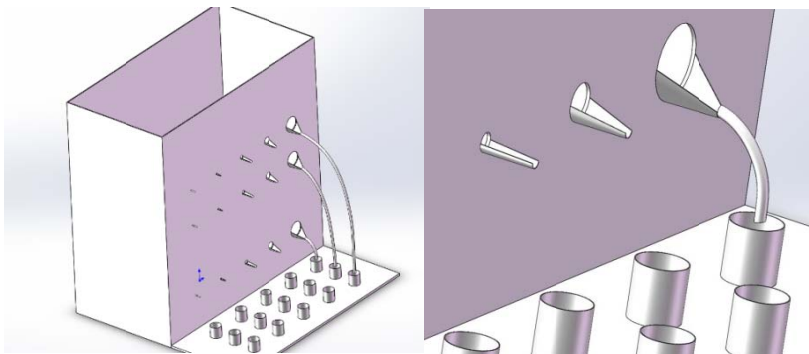


图 4.2 7-1 供水装置 7-2 矩形有机玻璃 7-3 盖板 7-4 梯形有机玻璃端板 7-5 侧板

2、喀斯特水漏失监测设施与方法研发

拟设计 3 个长 3 m、宽 1.5 m、高 3.5 m 的试验土槽，选择一长侧壁开孔，孔径大小设计 1、2、5、10、20cm。开孔高度设计 3 个，分别为 0.5 m、1 m、2m（具体指填土上表面至孔洞中心的距离）。设计填土高度为 3 m，每个孔洞内壁附有透水性良好的土工织物，用于拦截土壤。填土上部 0.5 m 装入清水，并设计循环水泵以保证上部供水高度基本不变。每个孔洞设计半圆形收集装置通过 1cm 管径的管道连接至样品收集器中，每个孔洞对应一个样品收集器。具体设计示意图见下图。



4.3 喀斯特水漏失监测设备设计图

3、不同地貌部位土壤斑块水土流失监测

针对不同地质地貌部位（洼地 W、垭口 Y、坡麓土壤改良地 G）设置土壤渗漏水监测剖面，这些地貌部位均种植火龙果作物。方法为：挖 1m×1m×1m 土坑，在四个剖面内 20cm 处、40 cm 处、60 cm 处、80 cm 处各埋设一个土壤渗漏水取样装置，于两次不同雨强，抽取土壤渗漏水，分析测试渗漏水量、泥沙含量及水化学特征。

监测结果显示：在雨强相同的情况下，土壤随着雨水下渗进入地下后，大致表现泥沙含量随深度增加而减小，不同地貌部位的泥沙含量不同，且大小表现为：洼地 W > 坡麓土壤改良地 G > 垭口 Y。当其他因素保持不变时，随着雨强增加，土壤下渗的泥沙含量相应增加（如图 4.4）。土壤渗漏水的水化学特征分析（如图 4.5 所示），对于同一地貌位置而言，土壤水电导率与 pH 值均随深度的增加而增加；整体来看，因地貌位置不同，电导率与 pH 值均表现为：坡麓土壤改良地 G > 垭口 Y > 洼地 W。

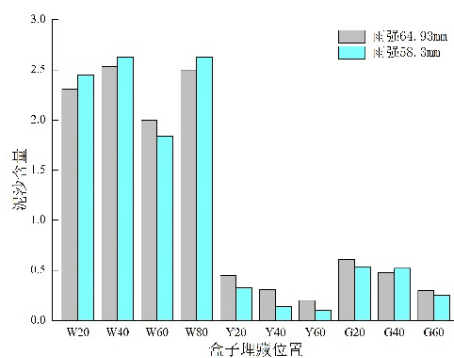


图 4.4 雨强对土壤下渗的泥沙含量的影响

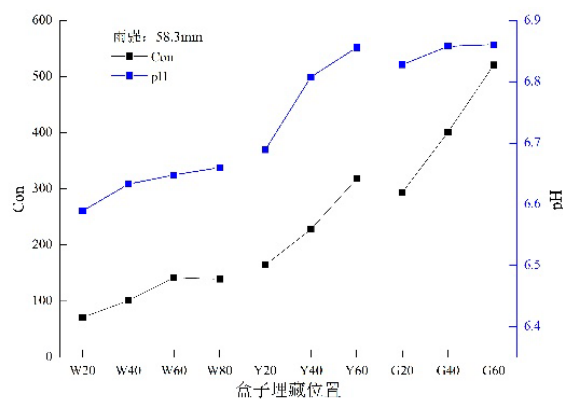


图 4.5 土壤渗漏水的水化学特征

4、坡耕地对比监测径流小区建设

在果化示范区龙烈洼地建造坡耕地径流小区，并进行水土保持试验，运用网格法实地测定坡耕地径流小区 A、B、C、D、E 的裸岩率，于今年春季种植不同作物做植物篱试验，其中 A 种植牧草，B 种植火龙果，C 种植凉粉果，D 种植玉米，E 种植扶芳藤。

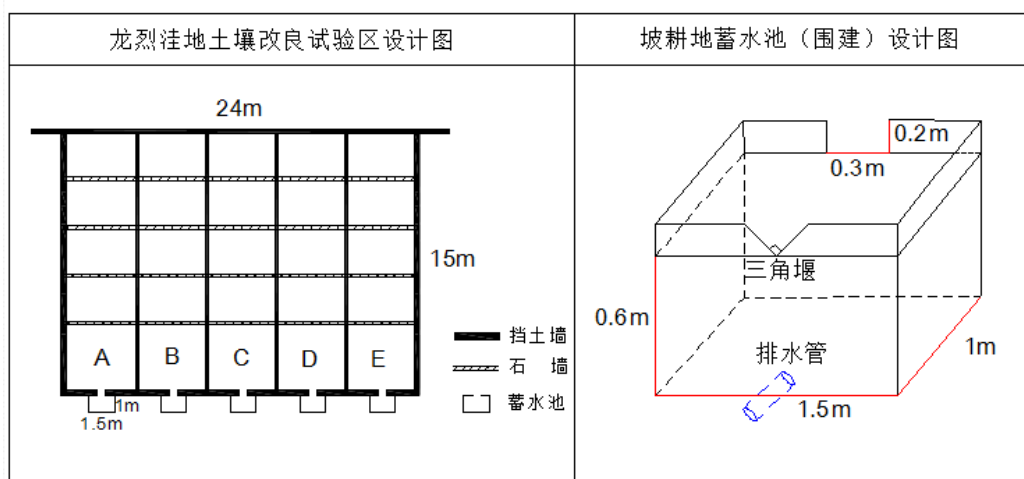


图 4.6 小区设计图

表 2 小区各部分特征

坡耕地径流区	A	B	C	D	E
面积 (m ³)	60	60	60	60	60
裸岩率	34.30%	25.70%	31.50%	26.70%	30.50%

5、火龙果种植水土保持效应监测

针对不同种植作物的地块安放土壤水分仪的探头，安放位置有基地村口土壤改良地（种有火龙果及黄豆等）、龙河下玉米地和洼地火龙果地等，沿着土壤剖面每 10cm 安装一个探头，动态监测下雨前和下雨后土壤水分的变化情况，持续监测一星期后取数据。

在洼地落水洞前沉砂池安装水位计及自动取水机以监测水位动态变化及化学特征。并在坡耕地、土壤改良试验区及径流场种植火龙果、牧草、玉米、扶芳藤、赤苍藤等之间的套种试验。



图 4.7 火龙果示范

6、木连小流域水质监测校准、维护与水样采集

2018年1-3月份,对环江试验站木连小流域的3个表层岩溶泉及其两个溪流水监测点(流域出口和封育出口)位置的多参数水质仪(Manta 3)进行了校正和设施维护。其中流域出口溪流水监测点监测指标有水位(流量),电导率,pH,浊度,钙离子,硝酸根离子,FDOM,氯离子;2号泉水监测指标有水位(流量),电导率,pH,浊度,钙离子,硝酸根离子,FDOM,若丹明;其他监测点监测指标分别为水位(流量),电导率,pH,硝酸根离子,钙离子。目前各监测点试验仪器正常校准,工作正常,连续性较好。



图 4.8 多参数水质仪监测点安装

2018年1月-3月，对木连小流域内的泉水和溪流水定期（间隔为1周）采集水样，溪流水共采集20次；1号泉水共采集12次；2号泉水共采集20次；4号泉水共采集10次。测定指标包括：泥沙浓度，氢氧同位素，电导率，钾钙钠镁，可溶性 SiO_2 ，硫酸根，TOC，氨硝氮，全氮。目前所有样品均已完成室内测试。



图 4.9 次降雨雨水收集装置；坡地地表产流和壤中流收集装置

2018年2月底至3月初，在环江站木连流域初步选择了适合供水土流失/漏失阻控的技术示范的两处示范点，并通过专家讨论基本确定了示范内容和实施方案。

7、水土流失过程模拟与预测

收集了峰丛洼地部分降雨-径流-泥沙观测资料。在明晰峰丛洼地地表水土流失与地下漏失的影响因素的基础上，进一步分析总结岩溶区水土流失模型的研究与应用的已有研究。倪九派等在GIS技术的支持下，用修正的引入石漠化因子通用土壤流失方程(RUSLE)，预测岩溶槽谷区重庆市南川区木渡河小流域土壤侵蚀量的估算。王珊以珠治工程广西项目区为例，基于GIS技术，选用RUSLE

模型修正主要影响因子，建立岩溶区土壤侵蚀的小流域尺度水力侵蚀估算模型。王明刚等通过人工降雨模拟粤北山区裸地、草坡地和耕地等 3 种石漠化土地土壤侵蚀，建立线性回归方程。冯腾通过校正土壤有效水力传导系数，探讨 WEPP 模型在喀斯特坡面的应用；结合有效径流计算方法并添加裸岩率因子应用 RMMF 模型模拟小流域的地表土壤侵蚀；通过校正 RUSLE 模型因子，模拟喀斯特地区小流域土壤侵蚀。但这些研究关注的是地表水土流失，而对喀斯特地区地下土壤漏失很少涉及。

在确定峰丛洼地地表水土流失与地下漏失的影响因素，分析总结岩溶区水土流失模型的研究与应用的已有研究的基础上，初步确定建立基于水量平衡的分布式水土流失模型，并初步拟定模型结构，见下图。

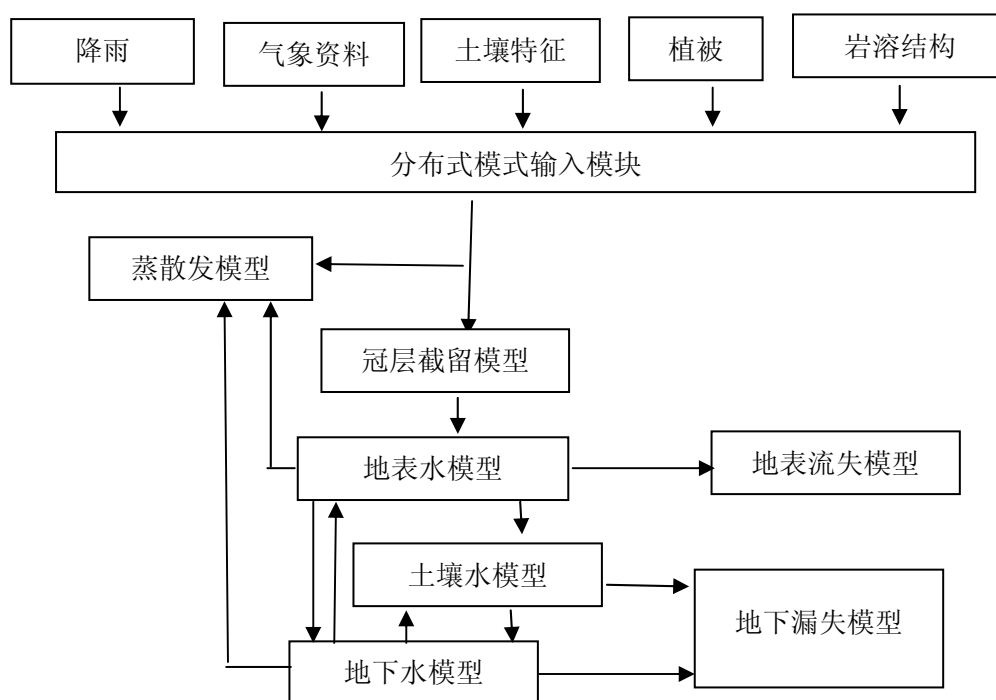


图 4.10 分布式模式结构

8、岩面径流调控技术研究

坡面径流调控是有效防治坡面水土流失的关键。峰丛坡地虽然土壤入渗速率快、较少在土表产生地表径流，但地表出露岩石容易产生岩面流，岩面流容易冲刷周围土面造成水土流失。目前，对岩面流的研究较少，对不同降雨条件下岩面流的流量特征、岩面特征对岩面流的影响等都不清楚。为进一步认识岩面流特征，

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

选择 6 个典型出露岩石（光滑岩面、溶盘发育岩面、裂隙发育岩面，如下图），安装径流自动观测装置，研究不同降雨和岩面特征条件下的岩面径流特征。



图 4.11 岩面径流观测试验

根据初步试验数据，提出了一种适用于喀斯特地区岩面径流的收集方法（图 3.6）。该方法具体其步骤是在山体中部的裸露岩石区寻找岩面平整的岩石，在岩石上方的四周用水泥砂浆砌筑围水埂，围水埂高 10cm，将围水埂区域内的凹坑填平，在雨水汇集处附近的围水埂上开 2cm 的孔口，使雨水从孔口出来后沿岩石表面泄流；然后在靠近土石边界处，用水泥砂浆在岩石表面进行砌筑，从岩石左端开始直到右端，水泥形状呈长条形，宽 4cm、厚 3cm，且保持 5°的坡度。待水泥砂浆具有一定塑性时，插入宽度为 6cm 的 L 型聚氯乙烯条，在有隆起、转弯处，截取 5cm 的 L 型聚氯乙烯条进行过渡。L 型聚氯乙烯条与水泥平行，其两端用水泥堵住，且在 L 型聚氯乙烯条最低处的水泥上开 2cm 的孔口，接通 10cm 的塑料管。待水泥和 L 型聚氯乙烯条粘接稳固，通过硅酮胶密封聚氯乙烯条与水泥的缝隙和聚氯乙烯条之间的缝隙，形成不漏水的承水槽，最后将承水槽上的塑料管与集水桶的进水口连接，集水桶的进水口直径 2cm，在集水桶靠近底部开一个直径 2cm 的孔口为出水口，出水口高于集水桶底部 5cm，并在出水口上安装阀门，集水桶的进水口与出水口方向不在同一直线上。沿着集水桶开口周边布设油布，油布剪裁呈扇形，一端与集水桶开口相连，另一端延伸到外围，油布有 10-20°的坡度，增加集水效率。该方法已经申请国家发明专利并通过初步审核，目前处于实质审查阶段（申请号 201711352597.6）。

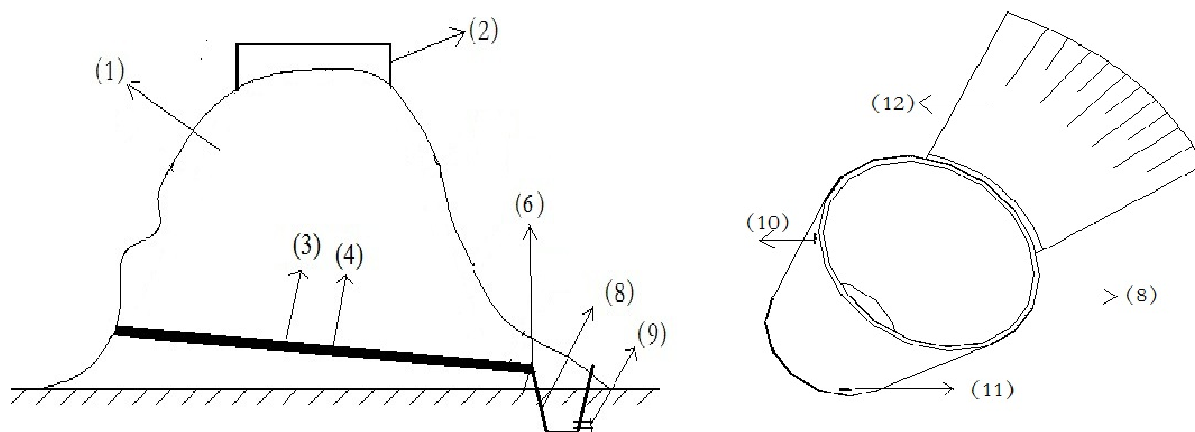


图 4.12 岩面径流收集示意图

注：1-岩石、2-围水埂、3-水泥砂浆、4-L型聚氯乙烯条、5-硅酮胶、6、第一出水、7-输水管、8-集水桶、9-第一阀门、10-第一进水口、11-第二出水口、12-防水油布

有机物资源利用与退化土地肥力提升技术

一、研究工作总结

基于我们前期的研究，发现喀斯特山区退耕后土壤总氮快速累积，然而，目前对喀斯特生态系统外源氮输入途径及通量认识非常不足。生物固氮与大气氮沉降是多数陆地自然生态系统外源氮输入的二条最主要途径，对于喀斯特生态系统我们发现岩石风化过程氮释放可能是一条主要途径。但是目前对喀斯特生态系统生物固氮与岩石氮释放的认识很薄弱。基于此，我们对喀斯特生态系统生物固氮及其控制机制开展了一系列研究。以下是近期我们取得的三方面研究工作进展。

进展一：树种类型对非共生固氮（ANF）的效应受岩性调节

非共生固氮（ANF）是森林生态系统氮输入的一条主要途径，但是森林内部及森林之间 ANF 速率存在很大的波动，然而目前对造成这些波动的机制的认识还很不足。我们研究了石灰岩区的喀斯特和板页岩区的非喀斯特森林主要树种对凋落物与土壤 ANF 的影响。发现岩性显著影响凋落物 ANF，但对土壤 ANF 无显著影响（图 5.1）。喀斯特森林凋落物 ANF 速率是非喀斯特森林凋落物 ANF 速率的 4.9 倍（图 5.2）。树种类型对二类森林凋落物 ANF 均有显著影响，其中喀斯特森林树种之间 ANF 速率差异达 23 倍，而非喀斯特森林树种之间 ANF 的差异高达 71 倍（图 5.2）。树种对土壤 ANF 的影响仅在非喀斯特森林显著。逐步回归结果表明造成森林内部树种之间 ANF 差异的主要控制因子因森林及基质类型而异。对非喀斯特森林而言，影响凋落物 ANF 差异的主要因子是湿度和氮含量，而影响土壤 ANF 差异的主要因子是钙水平。对喀斯特森林而言，影响凋落物 ANF 差异的主要因子是磷含量，而影响土壤 ANF 差异的主要因子是有机碳水平。我们的研究结果表明树种类型和岩性条件为解释 ANF 在森林内部及森林之间差异提供了新的解释机理。

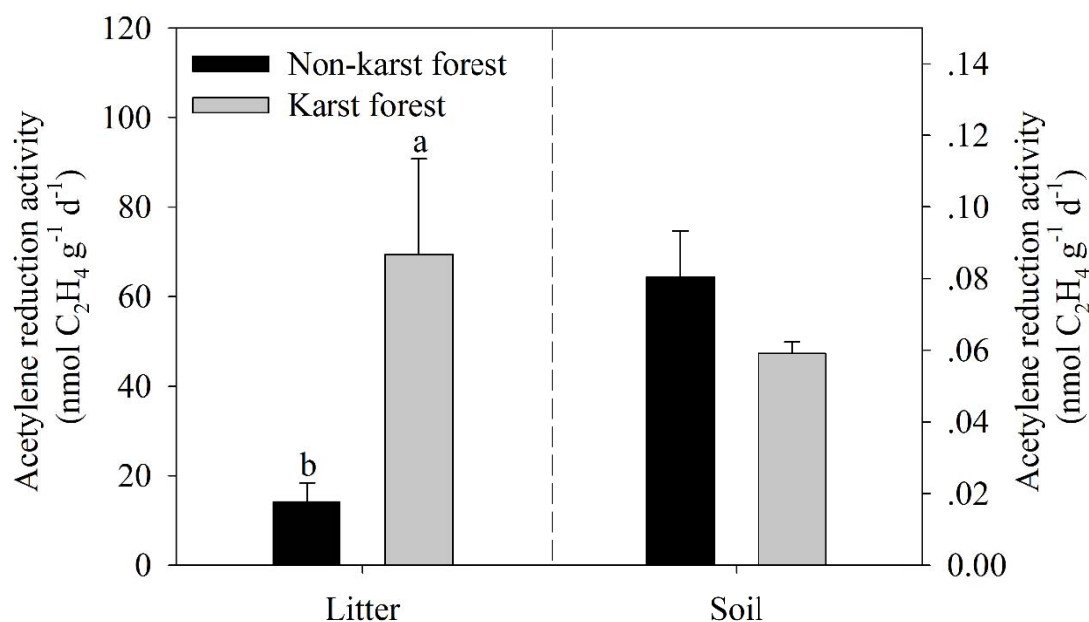


图 5.1. 喀斯特与非喀斯特森林凋落物与土壤 ANF 速率比较。数据为平均值 \pm 标准误。不同字母表示喀斯特与非喀斯特森林之间在 $P < 0.05$ 水平上存在显著差异。

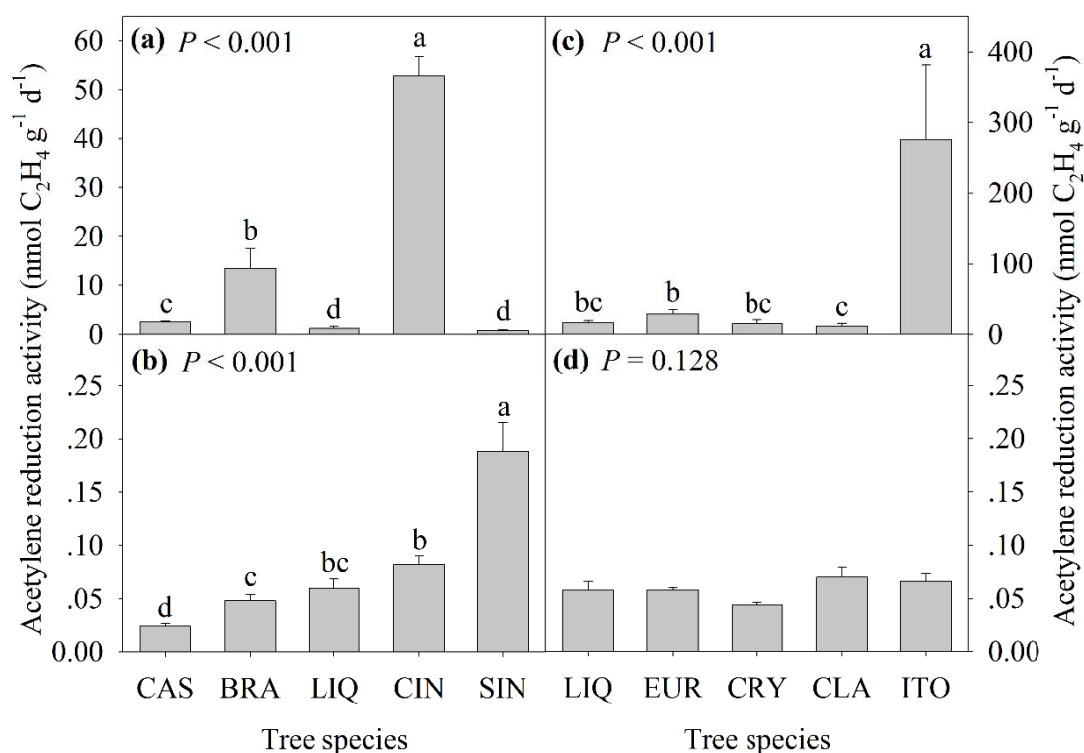


图 5.2. 树种类型对 ANF 的影响。(a) 非喀斯特森林凋落物 ANF, (b) 非喀斯特森林土壤 ANF, (c) 喀斯特森林凋落物 ANF, (d) 喀斯特森林土壤 ANF。数据为平均值 \pm 标准误。不同字母表示树种之间在 $P < 0.05$ 水平上存在显著差异。

对于非喀斯特森林，树种分别为 *Castanopsis chinensis* (CAS)、*Brassaiopsis glomerulata*(BRA)、*Liquidambar formosana* (LIQ)、*Cinnamomum bodinieri* (CIN)及 *Sinoadina racemosa* (SIN)。对于喀斯特森林树种分别为 *Liquidambar formosana* (LIQ)、*Eurycorymbus cavaleriei* (EUQ)、*Cryptocarya chinensis* (CRY)、*Cladrastis platycarpa* (CLA)及 *Itoa orientalis* (ITO)。

进展二：喀斯特森林土壤、凋落物和苔藓非共生固氮对温湿度的响应存在差异

非共生固氮 (ANF) 是森林生态系统氮输入的一条主要途径，然而，目前对生态系统内不同组分如土壤、凋落物和苔藓 ANF 速率及其对气候变化因子如温度、湿度响应的认识还很薄弱，这一点在热带与亚热带森林地区尤其突出。我们通过室内培养实验研究了喀斯特典型森林土壤、凋落物和苔藓 ANF 对温度 (15、25 和 35°C) 和湿度 (分别设置低、中和高三个水平) 的响应。我们发现土壤、凋落物和苔藓 ANF 对温湿度的响应不一致 (图 5.3)。凋落物和土壤 ANF 速率在三个湿度水平下均随温度增加而增加 (图 5.4)。然而，苔藓 ANF 速率在低、中和高湿度水平下随着温度上升分别表现出下降、不变和增加三种变化模式。苔藓和凋落物 ANF 速率在每一个温度水平下均随湿度上升而增加。然而，土壤 ANF 速率随湿度上升的变化模式因温度条件而异。在 15 和 25°C 条件下，土壤 ANF 速率随湿度上升分别表现出不变及增加二种模式；在 35°C 条件下，土壤 ANF 速率以中等湿度时最高，而以低湿度水平时最低。ANF 的温度敏感性(Q10) 以凋落物最高，土壤次之，而以苔藓最低 (图 5.3, 图 5.5)；但是 ANF 的湿度敏感性则以苔藓最高，土壤次之，而以凋落物最低 (图 5.3, 图 5.6)。我们的研究表明，在气候变化背景下，为了提高模型对生物固氮模拟或预测精度，有必要将不同组分差异化的温度/湿度敏感性整合到模型中。

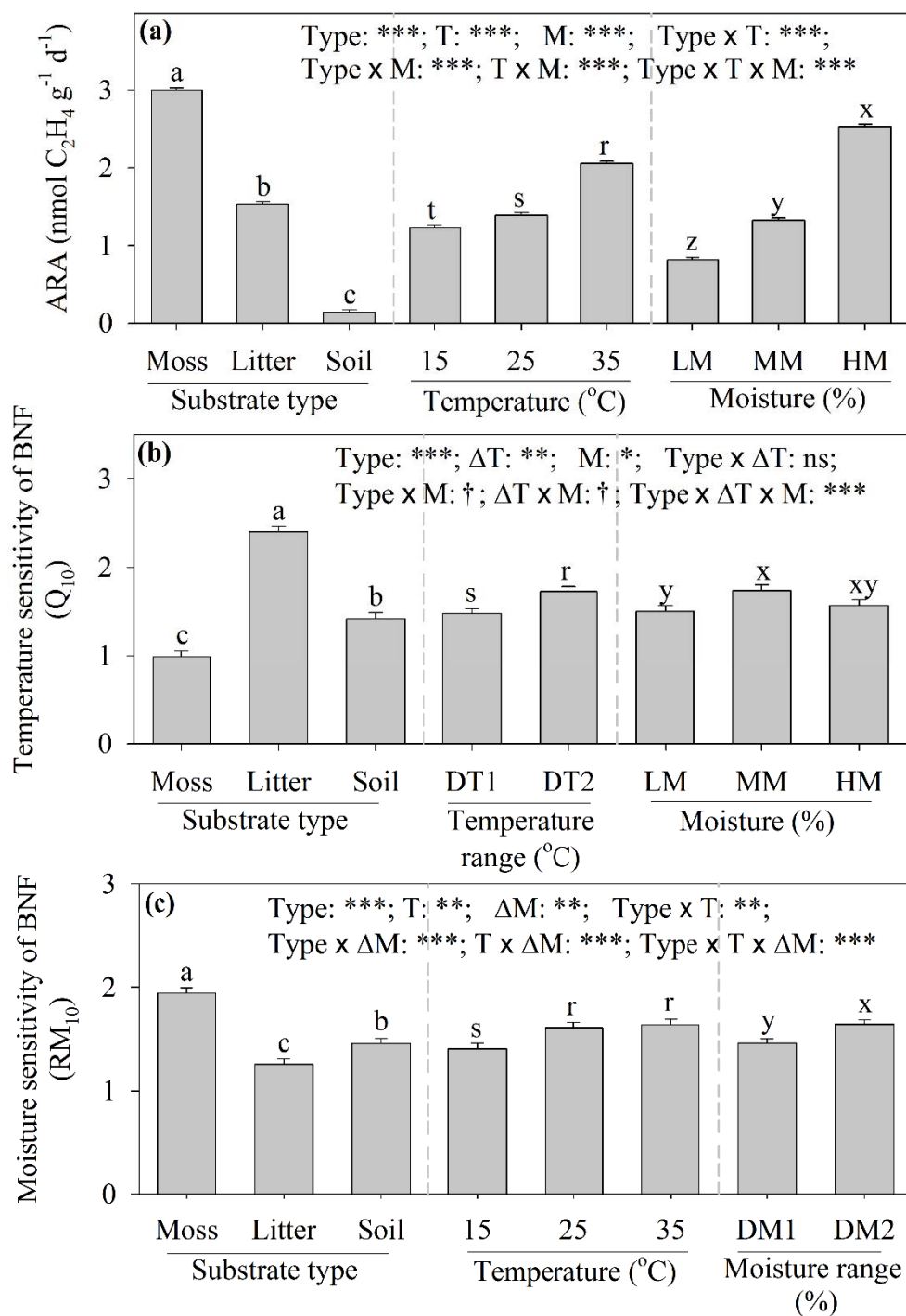


图 5.3. 底物类型、温度/温度范围 (ΔT) 及湿度/湿度范围 (ΔM) 对 (a) ANF 速率, (b) ANF 温度敏感性 (Q_{10}) 及 ANF 湿度敏感性 (RM_{10}) 的影响。数据为平均值 \pm 标准误。

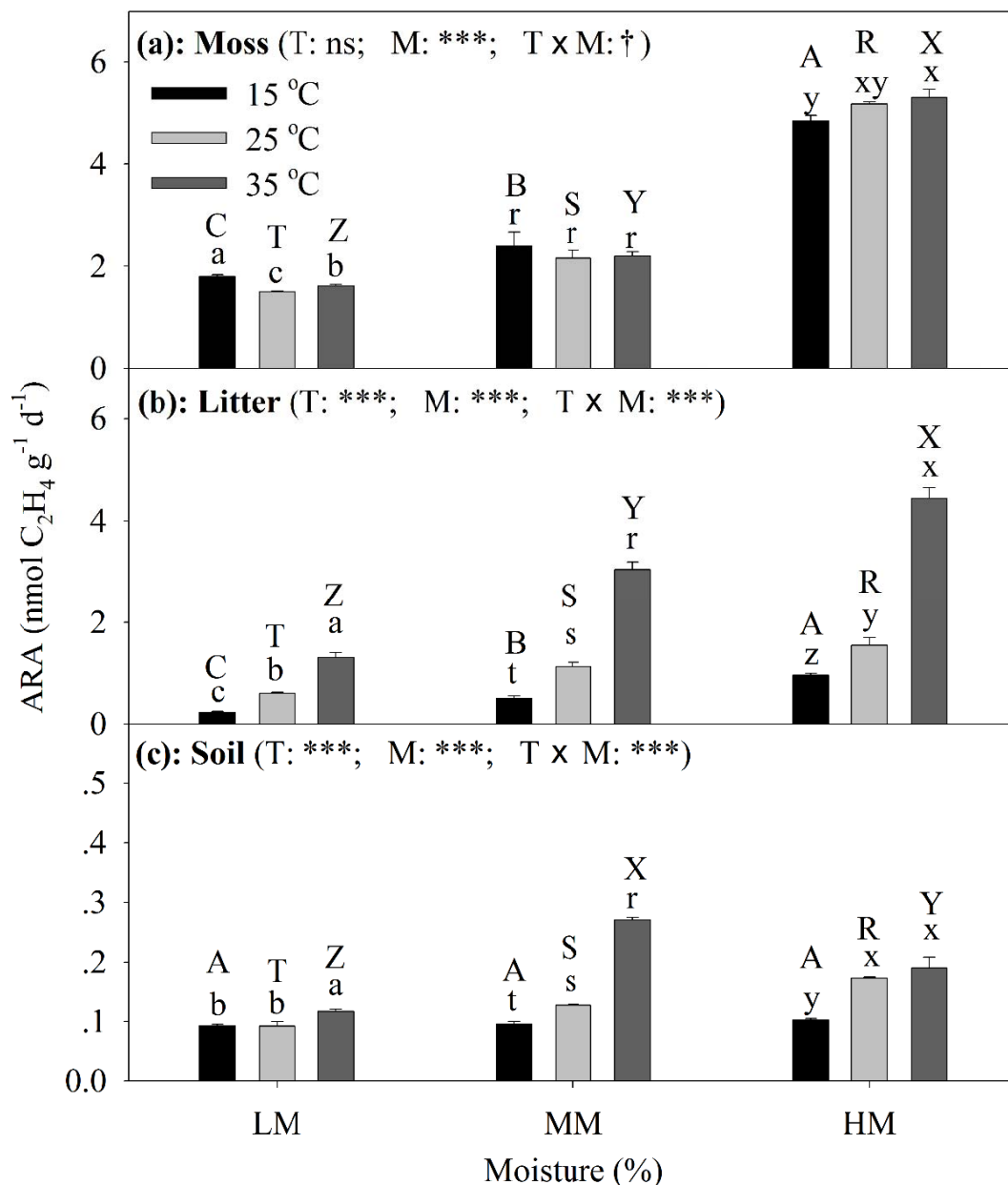


图 5.4. 不同湿度 (或温度) 条件下 ANF 对温度 (或湿度) 的响应:(a) 苔藓 ANF ,(b) 凋落物 ANF ,(c) 土壤 ANF。数据为平均值 \pm 标准误。LM、MM 和 HM 分别表示低、中和高湿度水平。

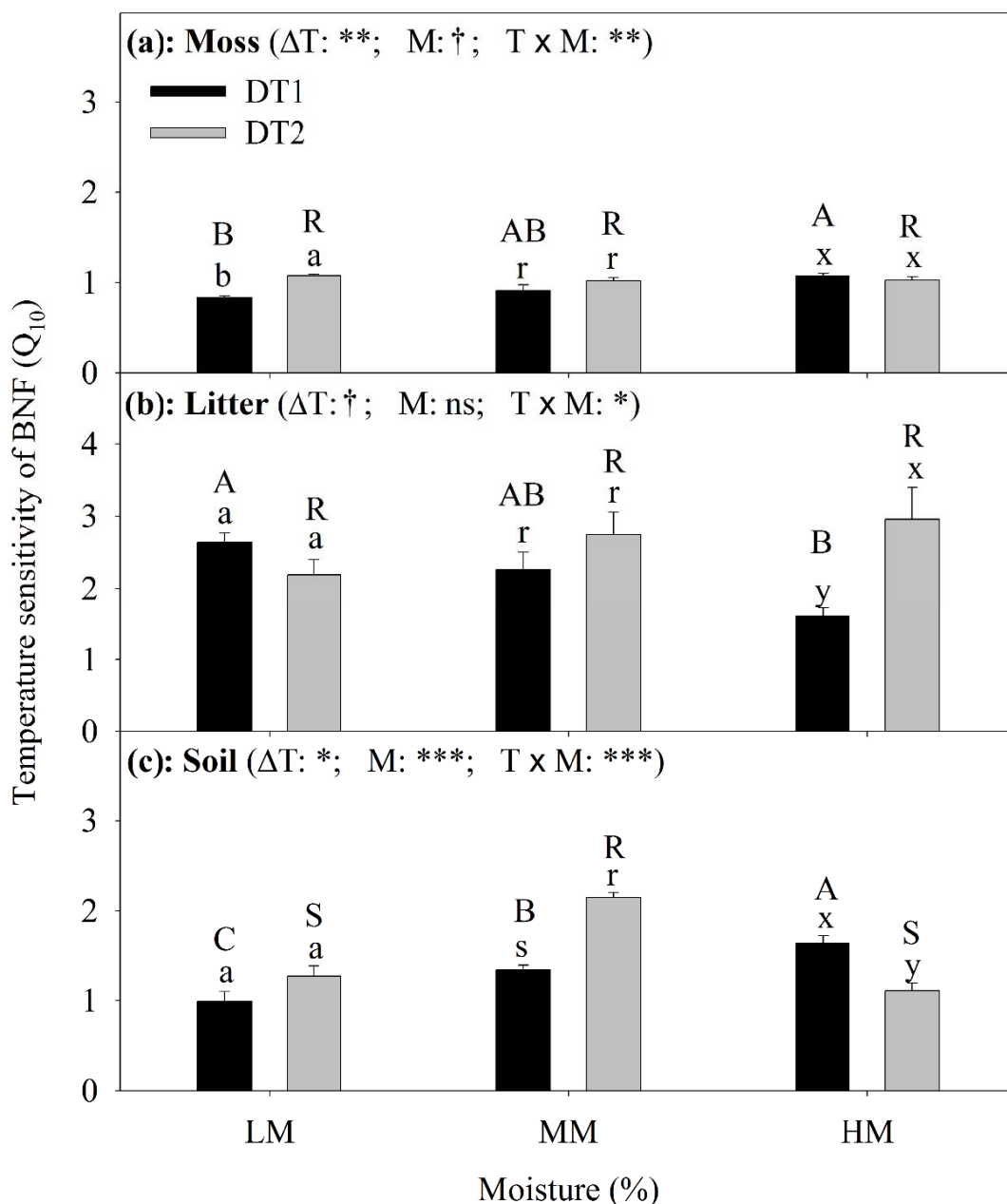


图 5.5. 不同湿度 (或温度范围) 下 ANF 温度敏感性 (Q_{10}) 对温度范围 (ΔT) 或湿度的响应 : (a) 苔藓 ANF , (b) 凋落物 ANF , (c) 土壤 ANF。数据为平均值 \pm 标准误。LM、MM 和 HM 分别表示低、中和高湿度水平。

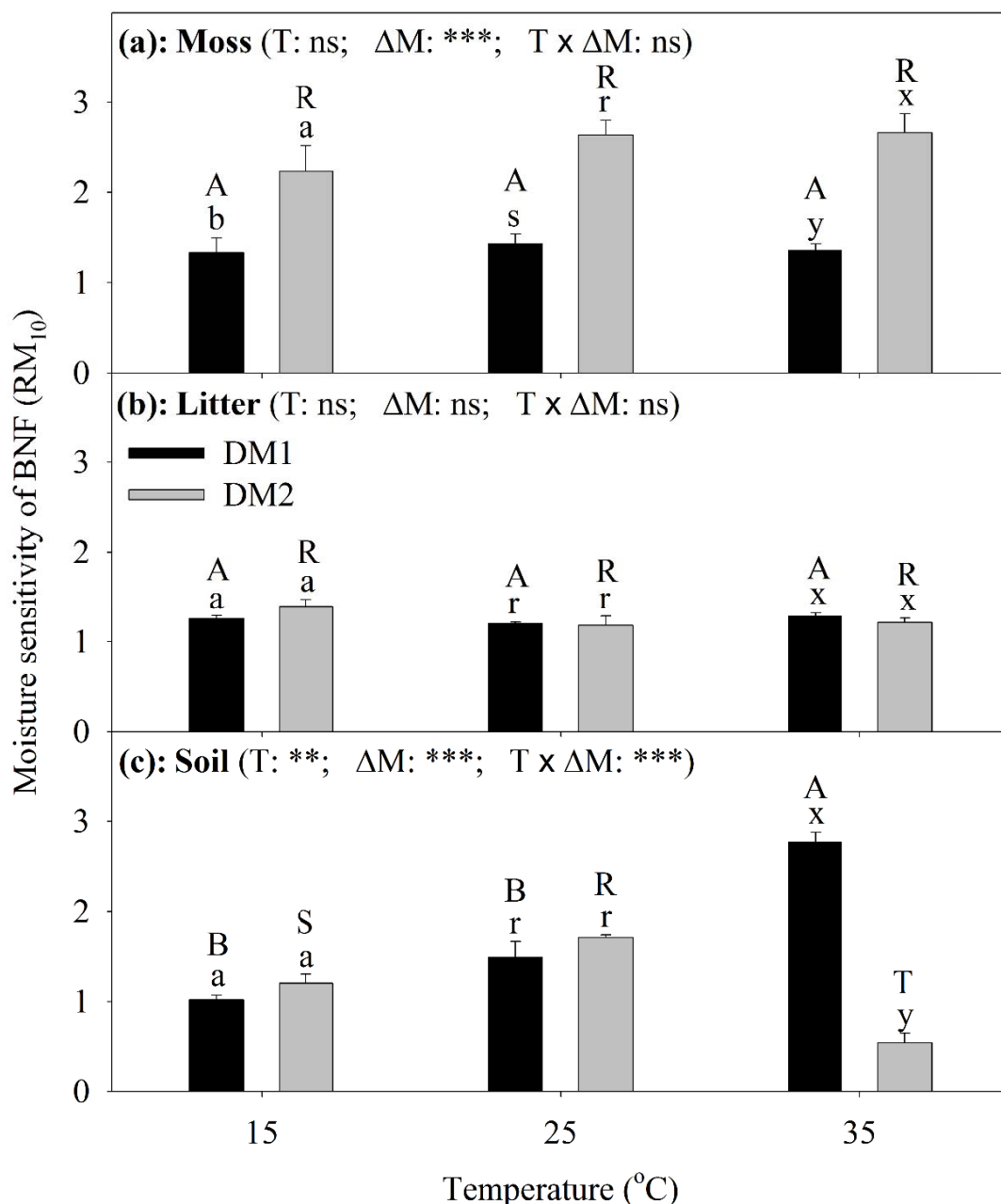


图 5.6. 不同温度(或湿度范围)下 ANF 湿度敏感性(RM10)对湿度范围(ΔM)或温度的响应:(a) 苔藓 ANF,(b) 凋落物 ANF,(c) 土壤 ANF。数据为平均值 \pm 标准误。LM、MM 和 HM 分别表示低、中和高湿度水平。DM1 和 DM2 分别代表低(LM 到 MM)和高(MM 到 HM)二个湿度范围。

进展三：在秸秆就地/原位利用方面取得了以下二方面进展

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，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，分析土壤有机碳转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。目前得到了以下二方面进展：

3.1 氮素对喀斯特旱地秸秆降解的影响及秸秆碳的去向

100 天室内培养结束后，秸秆的 CO_2 总排放量和矿化率如下图所示，NPK 土壤和 NPKS 土壤两者的秸秆 CO_2 总排放量显著大于 CK 土壤，为 CK 土壤的 1.25-1.7 倍；CK 土壤的秸秆 CO_2 总排放量和矿化率在高氮素水平下虽然大于其它处理，但仍显著低于 NPK 土壤和 NPKS 土壤的所有处理，结果表明，长期施 NPK 肥、秸秆与 NPK 肥配施这两种模式能显著增加秸秆降解率；对于无长期定位施肥的土壤而言，配施的氮素水平越高，越能加快秸秆降解，可见，土壤肥力基础及氮素水平是影响秸秆降解的主要因素。

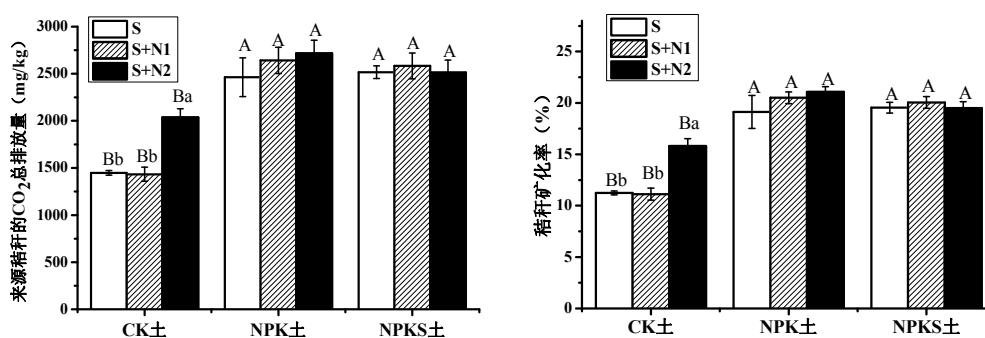


图 5.7 秸秆 CO_2 总排放量和秸秆矿化率

* 图中不同标识的小写字母代表同一土壤、不同处理间有显著性差异 ($p < 0.05$)，没有小写字母的则无显著性差异 ($p > 0.05$)；不同标识的大写字母代表同一处理、不同土壤间有显著性差异 ($p < 0.05$)，没有大写字母的则无显著性差异 ($p > 0.05$)；下同。图例说明：control 表示空白；S 表示仅添加玉米秸秆 (2g/kg 干土)；S+N1 表示添加等量玉米秸秆和低硝酸铵 (400kg/hm²，即 0.214g/kg 干土)；S+N2 表示添加等量玉米秸秆和高硝酸铵 (150kg/hm²，即 0.571g/kg 干土)；硝酸铵均以溶液形式加入。

经过 100 d 培养后，秸秆有机碳极小一部分转化为土壤中 DOC、MBC 等活性成分，一部分矿化为 CO₂ 释放出来，为 20%左右，剩余的大部分残留在土壤中，如下表。

表 3 培养期间秸秆碳去向

	处理	矿化	DOC	MBC	其他
CK 土壤	S	11.2%Bb	0.05%	0.28%Ba	88.4%Aa
	S+N1	11.1%Bb	0.07%	0.07%Bb	88.7%Aa
	S+N2	15.8%Ba	0.04%	0.12%b	84.0%Ab
NPK 土壤	S	19.1%A	0.09%	0.10%Cb	80.7%B
	S+N1	20.5%A	0.07%	0.05%Bb	79.4%B
	S+N2	21.1%A	0.10%	0.27%a	78.6%B
NPKS 土壤	S	19.5%A	0.03%	0.67%Aa	79.8%B
	S+N1	20.1%A	0.03%	0.36%Ab	79.6%B
	S+N2	19.5%A	0.04%	0.46%b	80.0%B

*图中不同标识的小写字母代表同一土壤、不同处理间有显著性差异 ($p<0.05$); 不同标识的大写字母代表同一处理、不同土壤间有显著性差异 ($p<0.05$), 没有大小写字母的则无显著性差异 ($p>0.05$)。

3.2 外源物料对喀斯特长期施肥旱地土壤可溶性有机碳 (DOC) 含量的影响

培养期间土壤 DOC 含量的变化如下图所示，外源物料添加各处理的 3 种土壤 DOC 含量在培养初期 1 d 时迅速达到高峰，这与 DOC 是土壤有机碳形成和矿化的中间形态等性质有关，而且因为它是能被微生物快速吸收和利用的有机碳组分，所以在达到峰值之后持续降低至稳定。培养过程中各处理 DOC 含量有显著的波动，但是各处理之间没有显著差异，一定程度上表明外源物料的添加能促进土壤 DOC 周转，即促进土壤有机碳周转，而且配施的氮素水平高低没有显著差异。

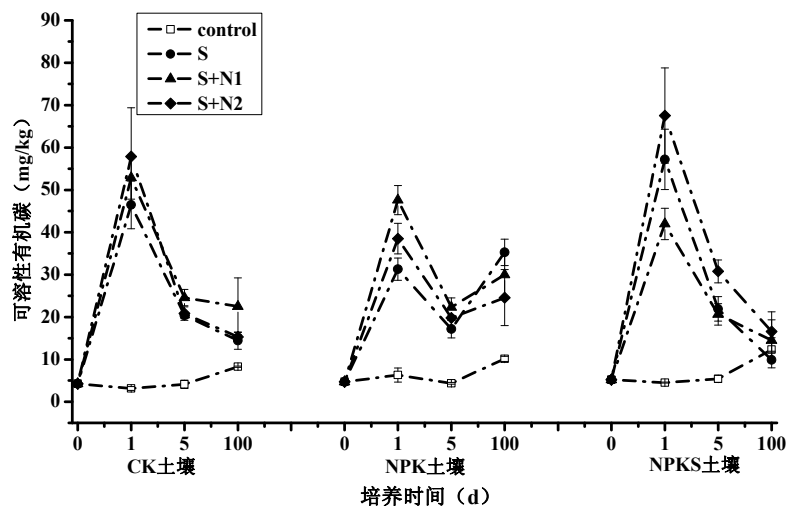


图 5.8 培养期间土壤 DOC 的变化趋势

进展四：峰丛洼地不同土地利用类型土壤属性含量差异特征及空间变异性分析

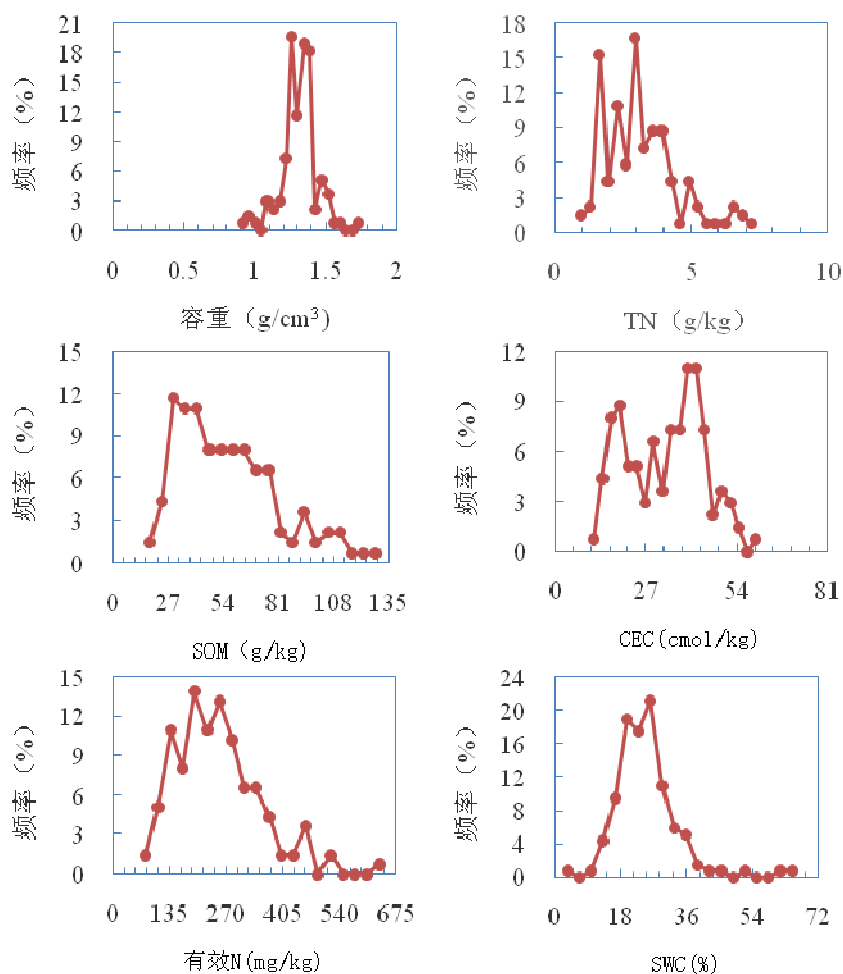


图 5.9 峰丛洼地土壤属性频率分布

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

2016年果化基地周围的峰丛洼地采集的样品6种土壤属性分析结果(图5.9)峰丛洼地6种土壤属性中,只有土壤容重和CEC基本呈正态分布,其余4种属性都向左偏倚、右侧出现长尾现象,表明它们的值都处在中低水平。

从表4和5中可以看出,峰丛洼地土壤容重和土壤含水量均值为1.31 g/cm³和24.95%,处在0.92~1.73 g/cm³和3.65~64.61%之间。不同土地利用类型中土壤容重和土壤含水量具有一定的负相关性。土壤容重最大值和土壤含水量最低值分别分布在甘蔗地为1.40 g/cm³和桉树林19.82%,而土壤容重的最小值和土壤含水量的最大值都分布在水田,分别为1.07 g/cm³和47.75%。土壤有机质含量、全氮、有效N和CEC含量均值分别为55.92 g/kg、3.17 g/kg、252.20 mg/kg和32.87 coml/kg,分别处在18.20~128.20 g/kg、0.97~7.20 g/kg、79.70~638.00 g/kg和11.80~59.50 coml/kg之间。不同土地利用类型中土壤有机质含量、TN、有效N含量和CEC含量分布极为相似,呈现出正相关性,它们的最高值都分布在杂草地,分别为68.1 g/kg、3.6 g/kg、289.2 mg/kg和36.6 coml/kg;最低值都分布在桉树林地,分别为29.4 g/kg、1.6 g/kg、160.8 g/kg和18.2 coml/kg。在众多的土地利用类型中,火龙果地各项土壤属性含量值都处于一个较好的水平。

表4 果化峰丛洼地土壤理化性状统计特征

	容重 (g/cm ³)	TN (g/kg)	SOM (g/kg)	CEC (cmol/kg)	有效N (mg/kg)	含水量 (%)
最小值	0.92	0.97	18.20	11.80	79.70	3.65
最大值	1.73	7.20	128.20	59.50	638.00	64.61
平均值	1.31	3.17	55.92	32.87	252.20	24.95
标准差	0.12	1.34	24.36	11.25	101.02	8.37
变异系数	8.94	42.20	43.57	34.23	40.05	33.56
偏度	-0.28	0.92	0.82	-0.04	0.91	1.66
丰度	2.15	0.78	0.12	-1.01	1.07	5.69

表5 峰丛洼地不同土地利用类型土壤属性统计特征

土地类型	容重 (g/cm ³)	TN (g/kg)	SOM (g/kg)	CEC (cmol/kg)	有效N (mg/kg)	含水量 (%)
桉树林	1.32	1.6	29.4	18.2	160.8	19.82
甘蔗	1.40	2.1	35.4	18.7	181.2	23.23

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

耕地	1.32	2.6	39.4	26.6	204.5	20.87
荒耕地	1.31	3.3	58.6	35.2	263.6	24.23
火龙果	1.29	3.0	46.7	34.8	226.0	26.01
水田	1.07	3.3	57.3	22.2	255.0	47.75
杂草	1.33	3.6	68.1	36.6	289.2	25.38

峰丛洼地 6 种土壤属性中, CEC 的块基比 (C0/Sill) 为 0.25, 具有较强的空间变异性 (表 6)。其空间变异主要是由土壤质地、土壤类型等内在因素引起的, 而人类活动等随机因素的影响较少。其它 5 种土壤属性的块基比都处在 0.32~0.49 之间, 都具有中等强度的空间变异性。它们的空间异质性受到内在因素和随机因素 (土地利用、田间管理等人类活动) 影响。

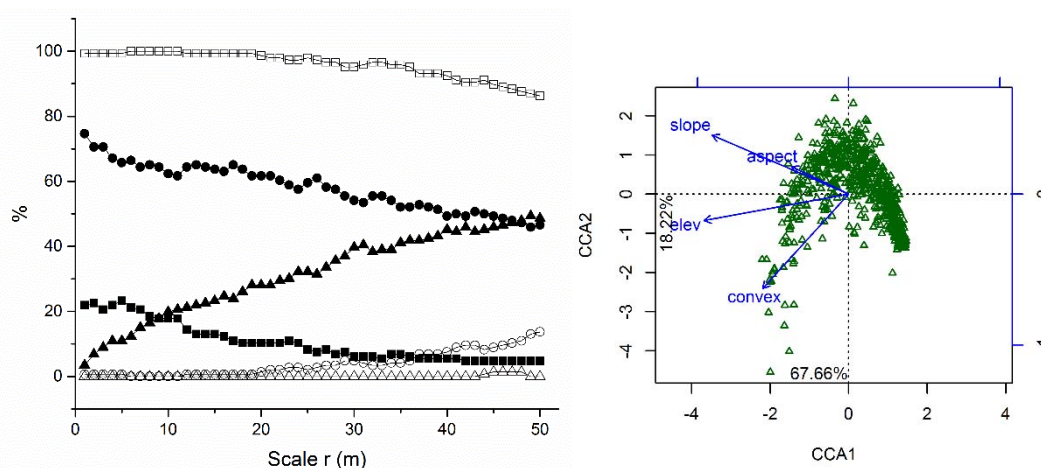
表 6 峰丛洼地土壤属性变异函数

	容重 (g/cm ³)	TN (g/kg)	SOM (g/kg)	CEC (cmol/kg)	有效 N (mg/kg)	含水量 (%)
模型	指数	高斯	球状	高斯	球状	球状
C0	0.006	0.092	0.082	48.2	0.090	0.035
Sill	0.014	0.233	0.205	189.3	0.183	0.110
Range (m)	660	2500	1800	3000	2400	578
R2	0.78	0.96	0.88	0.98	0.86	0.70
C0/Sill	0.43	0.39	0.40	0.25	0.49	0.32

植被复合经营与特色生态衍生产业培育技术

喀斯特顶极群落—常绿落叶阔叶混交林种群空间格局

种群的空间分布格局是由多种机制的交互作用而形成，是探究生物多样性维持机制的基础。喀斯特常绿落叶阔叶混交林是我国亚热带喀斯特地区非地带性顶极群落，由于富钙偏碱的地球化学背景及多样性的生境类型，该森林具有群落结构多样、树种组成丰富、优势物种突出等特点。基于 25ha 动态监测样地植被调查资料，采用双关联 $g(r)$ 函数点格局法分析了样地内个体数 ≥ 25 株的 146 个种的种群空间分布格局、不同类群的差异及生境的作用。研究结果表明：绝大多数物种呈聚集分布，且随着空间尺度的增大，聚集度呈下降趋势；物种的种群聚集度与物种多度、平均胸径、最大胸径呈负相关；稀有种聚集度显著高于常见种和优势种，而常绿物种与落叶物种、不同生活型间及喀斯特特有种与非特有种间种群聚集度差异不显著；剔除生境异质性后大部分物种表现为随机分布；不同物种受生境异质性影响程度不同，68.5%的物种至少与一种生境呈显著相关性，大多数物种偏向于上坡位生境。因此，喀斯特常绿落叶阔叶混交林种群分布受物种属性和生境异质性共同塑造。在进行喀斯特地区植被恢复过程中应根据地形差异和物种偏好实施造林。



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

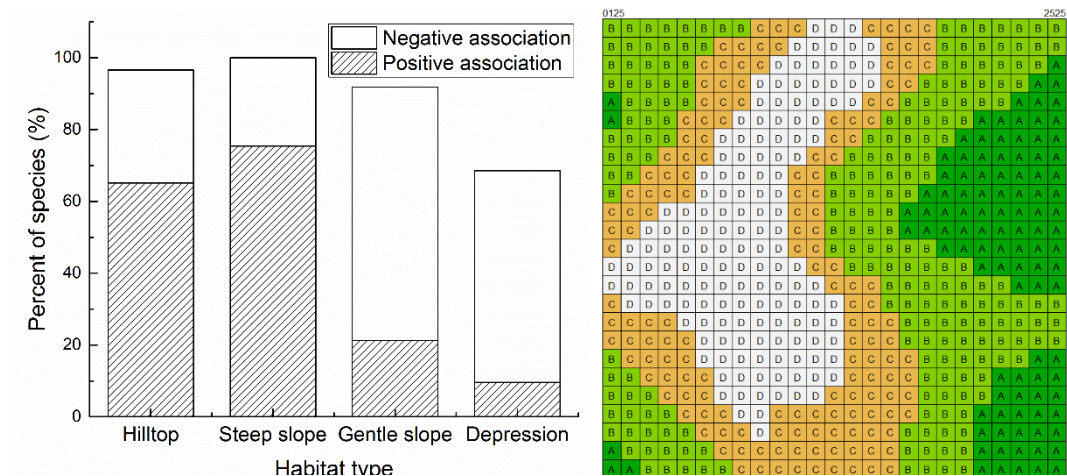


图 6.1 种群在不同尺度下聚集、规则和随机格局的比例 (左上); 木本植物和地形因子 CCA 排序图 (右上); 物种与四类生境的关联性 (左下); 样地生境类型图 (右下)

喀斯特适生树种苗木繁育

2018年3月22-25日,“生态高值功能植物种类筛选与定向培育技术”专题承担单位广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所文淑均博士到环江站喀斯特适生树种苗木繁育基地进行苗木繁育。此次繁育的树种主要有降香黄檀、拐枣、杜仲、吴茱萸、余甘子等兼具生态和经济价值的树种,同时也繁育了圆果化香树、伊桐等喀斯特地区典型优势树种。





图 6.2 环江苗木繁育基地育苗情况

今年以来，除了在环江喀斯特适生树种苗木繁育基地进行苗木繁育外，研究组还在平果示范区、广西植物研究所内进行苗木繁育，主要繁育有仪花、顶果木、中华安息香、无患子、山黄皮等苗木。



图 6.3 平果示范区及植物所内育苗情况

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

喀斯特适生树种苗木繁育

2018年3月20-25日，专题承担研究组成员黄甫昭、王斌、李冬兴、陈婷4人至平果果化示范区进行植树造林并对前期采集的石山树种种子进行播种繁育。此次造林树种有降香黄檀、仪花等具有固氮功能的豆科植物，移栽地选择撂荒坡耕地和初造林地。撂荒地原有植物主要有自然生长起来的芒草和银合欢幼苗，造林树种选用地径1cm左右的降香黄檀裸根苗，并用浸泡催芽的仪花种子进行直播造林；初造林地原有植物主要是前期种植的茶条木、安息香、樟叶槭、黄荆条等，植被高度2-3m，造林树种也是降香黄檀裸根苗，其中200株在种植的同时拌入筛选培养的菌种，另外也在林下移栽200株仪花幼苗。本次造林，希望通过在引入具有固氮功能的豆科珍贵植物，增加土壤的氮含量，同时也可以优化群落结构，完善喀斯特森林群落的生态功能并提高其生态效益和经济效益。此外还在辣木林下，通过直播方式套种牛大力等药用植物，以增加土地的综合效益。



图 6.4 平果示范区石山造林

环江站大才示范区柑橘丰收

环江喀斯特试验站所在的大才乡示范区 2017 年柑橘喜获丰收，示范乡水果面积达 9000 亩，主要品种包括沃柑、砂糖橘、皇帝柑、默科特等优质果品，产值近 9000 余万元。本项目指导成立的环江木连生态果业农民专业合作社柑橘种植面积达 800 亩，2017 年挂果面积达 600 亩，初期挂果产值 300 余万元。在该合作社初步试验的富硒砂糖橘经检测达到富硒柑橘的标准，2018 年将进一步扩大富硒水果的种植面积，且在出售前取得官方认定。目前合作社准备新建的选果厂基础工程已经完工，选果厂的建立将集选果、洗果、打蜡、包装一条龙服务。特色水果将是该示范区最重要的产业，是未来村民脱贫致富的主要途径。



图 6.5 环江站宋同清研究员应邀出席大才乡首届沃柑、砂糖橘节

新建水土流失保持试验区

在果化示范区龙烈洼地新建水土保持试验区 1 处，试验区由 9 个 5m×14m 的样区组成，每个样区连接一个内径长×宽×高为 1.2m×1m×1m 的蓄水池，蓄水池高出地表 0.2m，进水口宽 0.3cm，出水口安装三角堰，出水口连接宽 0.2m，深 0.25m 的排水渠。每个试验区均种有火龙果，下一步计划在火龙果底下套种不同经济作物以观察不同套种模式的水土保持效应。

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

成立百色市工程技术研究中心

2018年1月，中国地质科学院岩溶地质研究所联合平果县东和农业有限公司组建申报“百色市岩溶石山火龙果生态产业开发工程技术研究中心”，获得通过。该中心的组建目的是通过土壤改良、节水灌溉、水肥一体、废枝利用、补光、套种等一系列试验研究，研发岩溶石山区火龙果的立体高效栽培管理技术，为岩溶石山区火龙果生态产业发展提供技术支撑。

附件 2 受理编号:

百色工程技术研究中心组建申请书

中心名称: 百色市岩溶石山火龙果生态产业开发工程技术研究中心

依托单位: 平果县东和农业有限公司 (签章)

共建单位: 中国地质科学院岩溶地质研究所 (签章)

主管部门: 平果县科学技术局 (签章)

所属领域: 工业 农业 社会发展

填报时间: 2018年1月15日

百色市科学技术和知识产权局编制
二〇一八年一月

图 6.6 百色市工程技术研究中心组建申请书

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

生态服务提升与民生改善的石漠化治理模式集成与示范

高值农业产业——澳洲坚果产业示范区建设进展顺利

一月中旬，环江县副县长杨波，县林业局局长覃栋等相关同志考察环江站申请建设的澳洲坚果产业示范基地，为政府对申请审批的决策制定提供依据。项目骨干张伟副研究员和张浩副研究员陪同考察。张伟向杨波一行详细介绍了澳洲坚果的生长习性、产量和市场前景，以及在大才乡推广的可行性，并对示范区规划面积、管理模式和示范效果进行阐述。他认为，根据环江站在站内十年来的种植培育经验，澳洲坚果适宜在桂西北喀斯特山区坡地生长，能够有效地保护区域生态环境，产量亦能得到保证。近年来澳洲坚果市场需求旺盛，海外市场前景广阔，产业产值高，潜力大。在环江县及其周边推广澳洲坚果产业，可以实现生态环境保护与农业产业发展相协同，从而践行“两山理论”，带动农村脱贫致富。与环江站合作开展示范区建设工作的“琼园山庄有限公司”总经理欧永成在示范区建设资金投入、与当地农村合作等方面进行了介绍。杨波仔细听取了汇报，他指示林业局相关部门要继续保持与环江站相关工作的对接，协助澳洲坚果产业示范区的建设工作按期进行。

新建示范区位于环江县大才乡同进村象军山南麓，距离环江站站区仅 2 公里，是典型的喀斯特地貌，示范区建设前为退化荒山。示范区规划面积 150 亩，主要是山峰南麓。在县政府、林业局和地方企业配合协助下，建设工作已经顺利开展。



图 7.1 张伟副研究员向杨波副县长介绍示范区情况

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 7.2 山峰南麓的种植行已经初现雏形

环江站邀请培育专家现场培训农户种植澳洲坚果

环江站内及周边现有澳洲坚果种植区 50 余亩，其中部分示范点的澳洲坚果已经是第三年，已经有不少果树开花，出现了挂果的趋势，而当地农户缺乏坚果种植经验，不熟悉正确管理措施，因此亟需专业人员的培训与指导。针对这一情况，环江站邀请广西南亚热带作物研究所专家于 1 月中旬来站，面向澳洲坚果种植户开展坚果种植技术的培训工作。共有澳洲坚果种植户二十余人参与了本次培训。

种植专家现场讲解了澳洲坚果各个时期的管护措施，对于何时剪枝，如何修建，施肥管理等方法进行了详细的解说，并在种植园当场演示和指导，挑选农户种植中出现的突出问题和主要错误，进行规范和修正。技术专家表示，在科学的管理措施保证下，来年澳洲坚果有望大面积挂果，产量将逐步攀升。培训之后，农户们纷纷表示，这次培训给他们打了一支强心剂，更有信心实现稳产、高产和收入提升。



图 7.3 专家在环江站澳洲坚果栽培区现场讲解种植技术

南亚带所赴宜州开展澳洲坚果产业科技服务培训

2018年2月2日，广西南亚所贫困村坚果产业科技服务团一行3人应河池市满山坚果开发有限公司邀请参加河池宜州市“暨故乡梦&澳洲坚果万亩启动大会”。宜州市加贵乡石漠化较为严重，自然条件恶劣，农业产业结构单一，农民致富门路少，难以脱贫致富奔小康。在全区禁种桉树的环境下，澳洲坚果作为石漠化经济树种，可巩固石漠化治理效果，促进石漠化贫困地区的精准扶贫工作。通过这次服务团培训，使合作社、广大农户对澳洲坚果的栽培技术有了新的认识和提高，有助于该地区坚果产业的顺利开展。



图 7.4 澳洲坚果技术操作示范

南亚带所调研石漠化区域种植澳洲坚果成功案例

2018年3月5日至9日，广西南亚所贫困村坚果产业科技服务团一行分别

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

到横县校椅镇、防城港上思县考察调研了“石漠化澳洲坚果栽培技术集成与示范”和“富硒澳洲坚果栽培技术示范”基地。两基地都是由桉树林改造成坚果种植基地。横县示范区目前完成种植澳洲坚果 2000 亩，其中石漠化面积 500 亩；上思县则是将 600 亩石漠化区域改造为澳洲坚果种植区。

南亚带所栽培技术的推广，为区域石漠化地区澳洲坚果产业的发展提供了科技支撑。经过一年半的科学种植和管理，澳洲坚果在石漠化地区适应性很强，长势良好，较好地实现了该地区的石漠化治理工作，并预计在两年后大面积挂果，实现生态-经济效益的协同增长。



图 7.5 横山县石漠化区域种植澳洲坚果后的生态恢复效果

主题词：研究成果的影响、交流合作、研究进展、技术示范与集成

发送：国家科技部、中科院亚热带所

项目跟踪专家、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