

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

[2017] 第1期 总第2期

2017年4月1日

目录

课题一工作进展情况.....	1
课题二工作进展情况.....	7
课题三工作进展情况.....	15
课题四工作进展情况.....	21
课题五工作进展情况.....	24
课题六工作进展情况.....	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

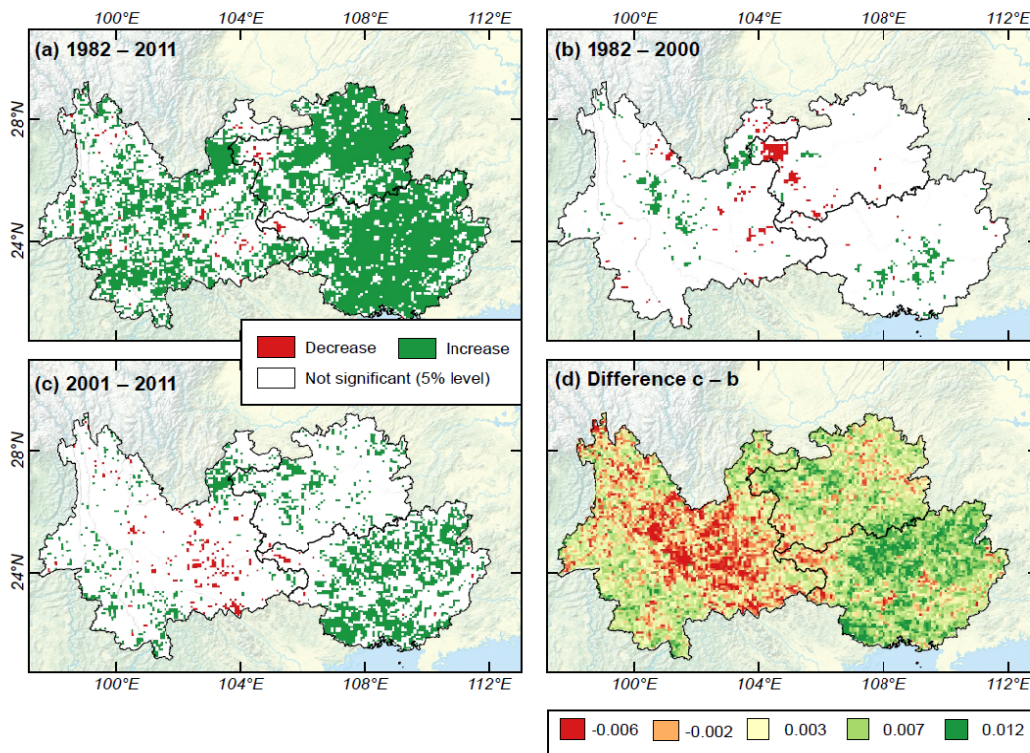
地址: 湖南省长沙市芙蓉区远大二路 644 号中科院亚热带农业生态研究所

联系方式: 0731-84615201

第一课题“生态工程背景下区域石漠化演变机制及治理成效评估”

西南喀斯特地区植被恢复总体趋势与特征

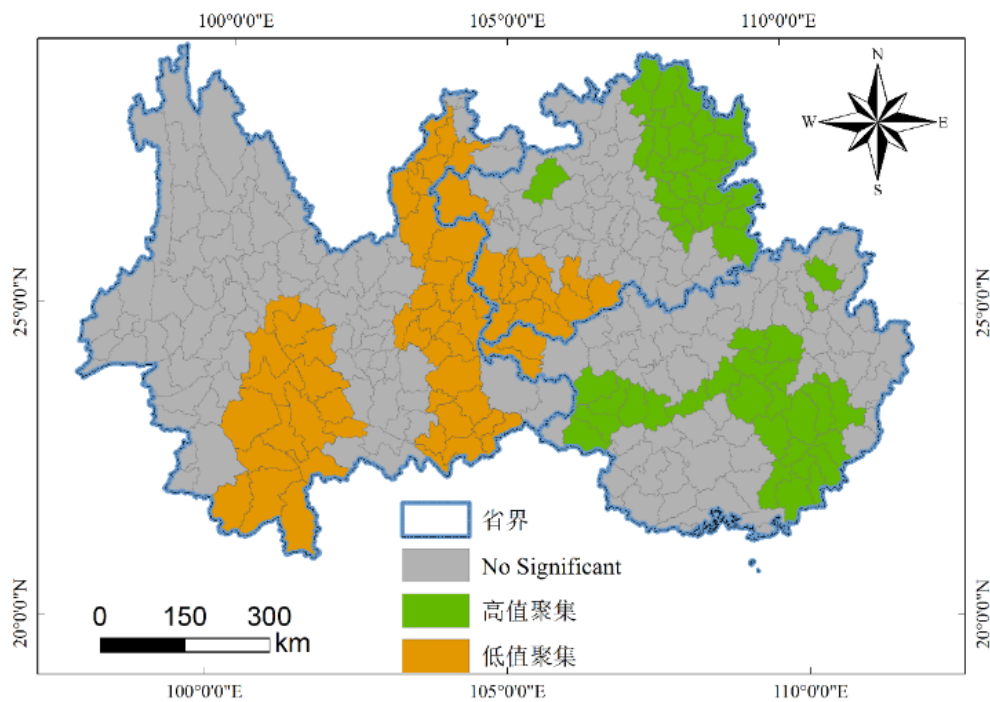
利用 1982-2011NOAA AVHRR NDVI3g 时间序列遥感数据,分析了西南喀斯特区(滇黔桂)植被恢复的总体趋势,研究发现近 30a 来西南三省植被总体上呈显著的增加趋势($R=0.2856, p<0.01$),生长季 NDVI (GSN) 以 0.002/年的速度显著增加,约 54%的区域植被显著增加,1%的区域 GSN 显著下降,45%的区域 GSN 变化不明显,说近 30a 来西南三省植被恢复趋势占绝对优势,生态环境总体呈良性发展。Mann-Kendall 分析结果表明,2001 年是西南 GSN 从低转高的突变年份。在 1982-2000 年间,西南三省约 94%区域植被 GSN 变化不显著,4%植被显著增加,2%的区域 GSN 显著下降(图 5b);在 2001-2011 年间,西南三省约 79%区域植被 GSN 变化不显著,19%植被显著增加,2%的区域 GSN 显著下降(图 5c)。对比工程前后西南地区植被恢复速率发现,72%区域其植被恢复速率有显著加快趋势,其中,最大速率差值主要发生在广西,说明广西植被恢复速率最快,贵州次之,云南较慢。



不同时段内西南喀斯特区植被恢复趋势的空间分布 (a:1982-2011, b:1982-2000, c: 2001-2011), d: 2001 年前后西南植被变化速率差值空间分布

喀斯特植被覆盖变化的空间格局差异

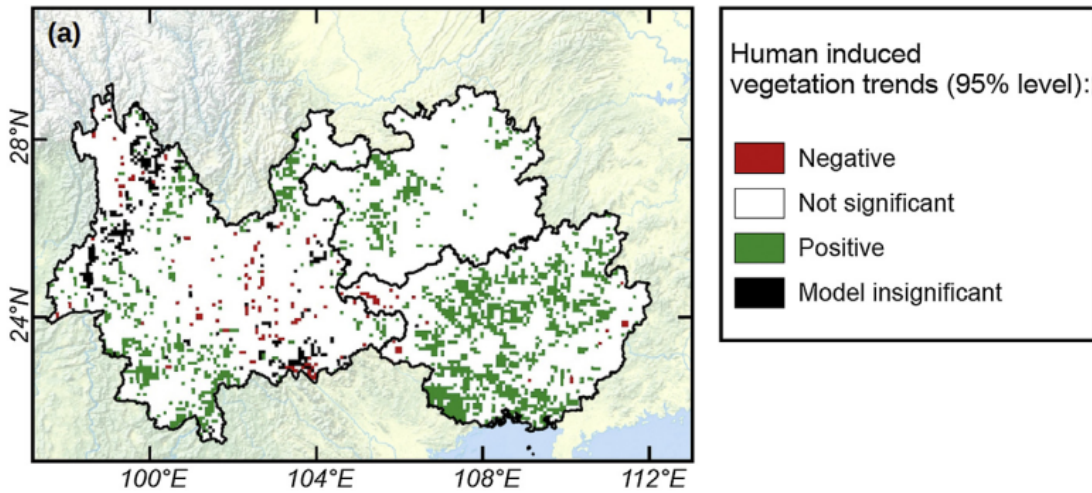
空间自相关性检验分析显示研究区 I_g 的正态统计量 Z 值为 30.30, 大于正态分布函数在 0.01 水平下的临界值 2.58, I_g 为 0.90, 表明研究区 GSN 具有显著的正空间自相关性。从 I_i 空间分布 (图 6) 可以看出: 部分岩溶槽谷、峰丛洼地和峰林平原地区呈现植被指数高值集聚, 是植被密集分布区; 岩溶峡谷、岩溶断陷盆地区的植被指数则呈现低值集聚, 即植被覆盖较小。因此, 工程实施后滇桂黔三省平均 GSN 在整体上具有显著的空间差异性, 在局部区域上具有显著的空间集聚性。



人类活动对喀斯特地区植被恢复的相对作用

针对石漠化治理与破坏并存、气候变化与人类活动双重作用下石漠化治理成效难以准确识别与监测等问题, 利用长时间序列遥感数据 (逐月 NOAA AVHRR NDVI), 基于植被生长突变分析并结合生态工程实施背景, 建立了月尺度 NDVI-气候模型, 发展了改进的残差趋势分析方法 (RESTREND) 来监测与评价生态工程的植被恢复成效。研究结果表明, 在 2001-2011 年间, 人类活动在 15% 的区域促进了其植被恢复, 在 1% 的区域上导致了植被退化, 在 84% 的区域上作用不

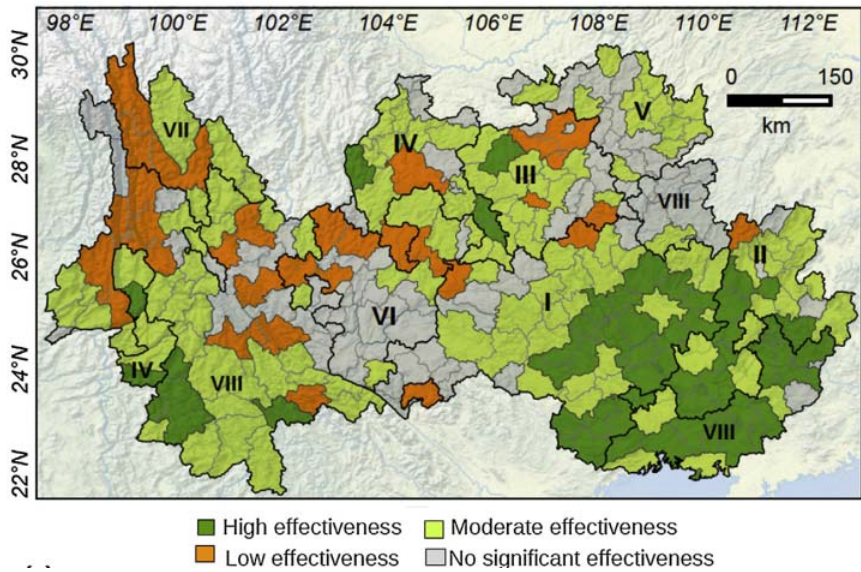
显著。在省级尺度上，由人类活动促进的植被恢复，其最大恢复速率发生在广西地区（0.0104GSN/年），其次为贵州（0.0088GSN/年）和云南（0.0080GSN/年）；而由人类活动导致的植被退化，其最大退化速率发生在云南（-0.0075GSN/年），其次为广西（-0.0067GSN/年）。基于本研究的监测方法，暂未发现贵州省有由人类活动导致的植被退化。



人类活动导致的西南喀斯特地区植被变化趋势空间分布

区不同喀斯特地貌类型区的工程成效与差异

人类活动导致的植被恢复区主要分布在工程实施面积较大的区域，但植被恢复面积与工程实施面积不存在线性关系。为进一步探讨植被恢复与生态工程之间的关系，我们提出了工程实施强度和生态工程成效指数（PEI）两个指标，其中，工程实施强度定义为县级单位上退耕资金投入与该县退耕面积之比，经归一化处理后，使其成为无量纲数据，工程实施强度介于 0 和 1 之间，其值越大表明工程实施强度越大；工程成效指数即为县域上工程强度与该县残差显著增加像元比例之比，其值介于 0 和 $\frac{1}{R_i(\min)}$ 之间，其中 $R_i(\min)$ 为研究区所有县域中县域单位上退耕资金投入与该县退耕面积之比中的最小值。当 $PEI < 1$ 时，表明生态工程具有高成效；当 $1 < PEI < 10$ 时，表明生态工程具有中等成效；当 $PEI > 10$ 时，表明生态工程具有低成效。结果表明，西南三省中有 55 个县监测到高成效，且主要分布在广西；115 个县具有中等成效；31 个县监测到低成效，且主要分布在云南省；其他县域暂未检测到显著的生态工程成效。



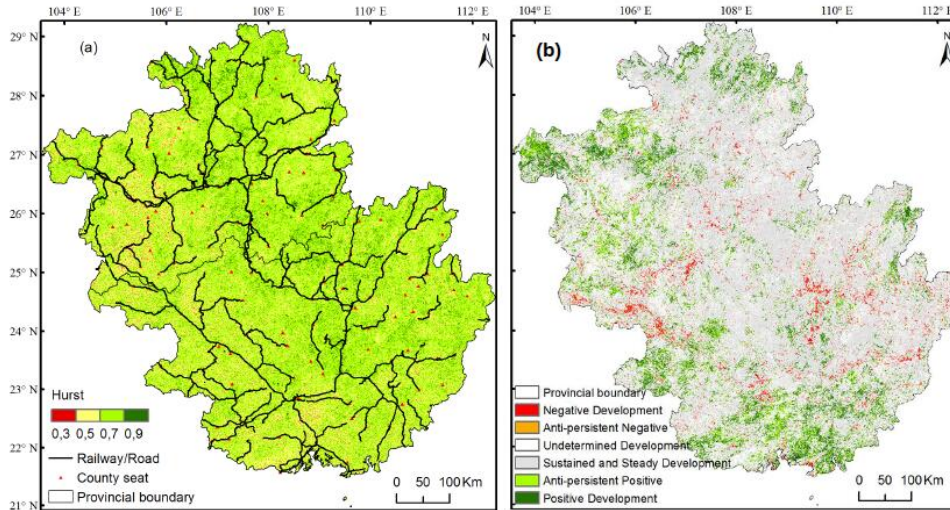
不同喀斯特地貌类型区生态工程成效等级空间分布

西南喀斯特区未来植被变化可持续性

2001-2013 年 MODIS NDVI 数据表明,黔桂地区约 82%的区域植被变化不显著, 15%和 3%的区域植被 NDVI 分别呈显著的上升和下降趋势。黔桂地区的平均 Hurst 值为 0.55 (大于 0.5), 表明在整个区域尺度上其植被变化趋势具有可持续性。低 Hurst 指数主要分布在研究区的西部和南部地区, 西部的低 Hurst 区与道路分布具有较好的一致性, 而南部的低 Hurst 区与县级驻地分布一致。结合 2001-2013 的植被变化趋势及其 Hurst 值, 我们预测了黔桂地区 2013 年后的植被趋势, 且将其分为 6 大类型 (表 1)。结果表明。黔桂地区 57%的植被其未来发展趋于稳定, 而 24%区域的植被发展不确定, 3%区域的植被将持续退化。

基于植被变化趋势及 Hurst 指数的未来植被变化趋势类型划分

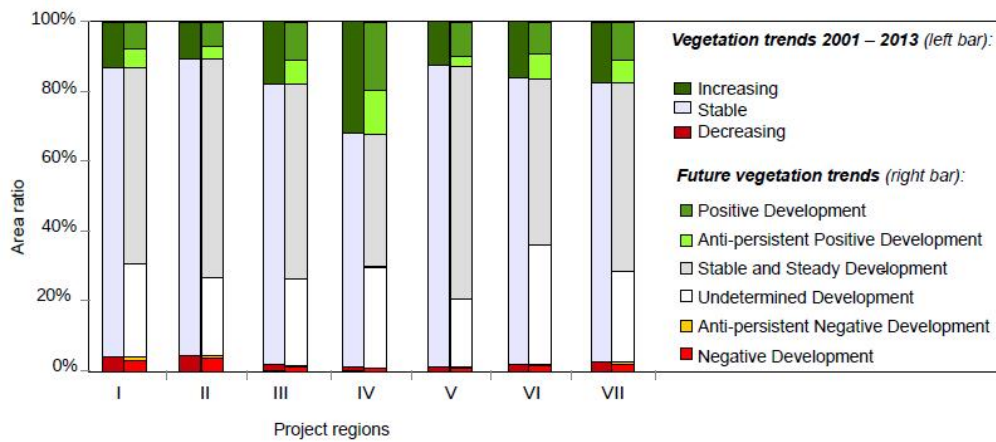
Hurst Trends	Persistent (0.5<H<1)	Anti-persistent (0<H<0.5)
Increasing	Positive Development (PD)	Anti-persistent Positive Development (APD)
Stable	Sustained and Steady Development (SSD)	Undetermined Development (UD)
Decreasing	Negative Development (ND)	Anti-persistent Negative Development (APD)



黔桂 Hurst 指数分布 (a) 及未来植被类型分布 (b)

不同地貌类型下的植被趋势及未来发展趋势分布

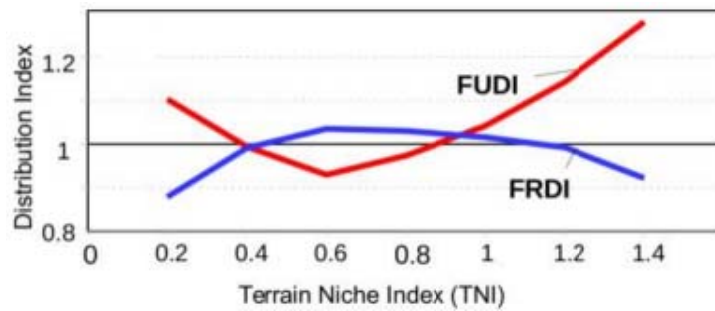
不同植被变化趋势类型比例表明，除喀斯特峡谷区及非喀斯特区外，其他喀斯特地貌类型上约 80% 的区域植被变化不显著；32% 的喀斯特峡谷区，其植被 NDVI 显著增加，表明该区域植被呈恢复趋势；植被 NDVI 显著下降的区域主要分布在峰林平原，峰丛洼地和非喀斯特区。未来植被稳定发展类型（SSD）在喀斯特和非喀斯特上的比例分别为 58% 和 54%，其中，喀斯特槽谷和峰林平原区，其 SSD 比例分别为 66% 和 63%，是所有喀斯特地貌中 SSD 类型占有比例最大的区域。34% 的断陷盆地和 28% 的喀斯特峡谷其未来植被发展不确定，4% 峰林平原区其未来植被可能持续退化（图 10）。



不同植被变化趋势 (左) 及未来植被变化趋势类型 (右) 在不同地貌类型上的分布比例

不同地形位上未来植被发展趋势分布

为了进一步明确未来植被发展趋势在不同地形位上的分布,我们进一步提出了两个分布指数,即 FUDI 和 FRDI 指数,分别用以监测未来植被发展不确定和植被恢复的优势区间。当 $FUDI_i > 1$ 时,对应的地形位 i 则为未来植被发展不确定的优势地形区间;当 $FRDI_i > 1$ 时,对应的地形位 i 则为未来植被恢复的优势地形区间。结果显示,地形位介于 0.4 和 1 的区域是未来植被恢复的优势区域,而地形位小于 0.2 及大于 0.8 的区域是未来植被发展不确定的区域。



FUDI 和 FRDI 指数在地形位上的分布趋势

主题词: 植被覆盖、格局、人类活动、植被发展趋势、可持续性

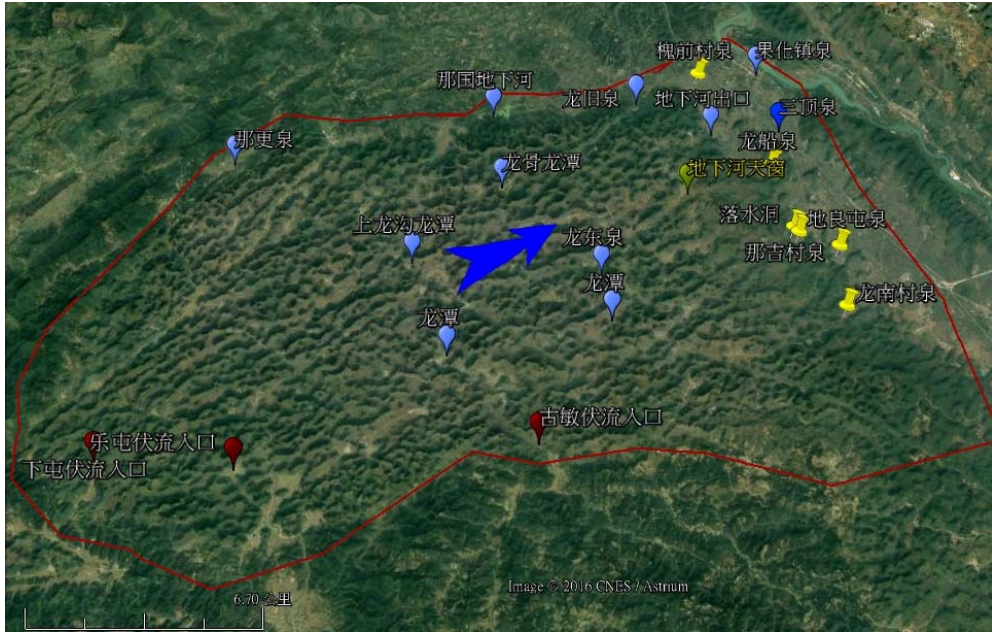
第二课题“地表-地下水资源综合调控与高效利用技术”

课题依据年度计划进度的安排，2017年第一季度主要开展了平果县研究区水文地质条件补充勘查、示踪试验点调查、工程示范选址等工作，在环江研究区开展了典型岩溶峰丛洼地小流域植被-土壤-岩石空间分布特征对水文过程研究，在武汉理工大学室内实验室开展了微滤膜单元水窖水质处理性能研究以及对微滤膜水质处理单元设备的研制等研究工作。为下一步推进岩溶峰丛洼地地区地表-地下水高效利用、岩土生界面的水文生态过程研究以及雨水收集和净化处理等工作的顺利实施奠定了基础。

平果县研究区水文地质条件补充勘查、示踪和示范工程选址

2017年2-3月，课题组以1:20万水文地质调查的成果为基础，采用路线调查和遥感结合的方法，对平果研究区地下水的循环规律及与地表水的转化特征等水文地质条件进行了补充勘察、对示踪试验点和示范工程进行了选址调查。

果化示范区地下水为流域面积约200km²的近马蹄形半封闭系统，研究区地下水系统边界和水点调查结果显示，系统内含水岩层为石炭系、二叠系和三叠系的灰岩、白云岩、白云质灰岩等可溶岩层，岩溶作用强烈，发育有大量的溶隙，溶穴，溶洞，地下管道等，系统南部、北部和西部为相对阻水的砂页岩等碎屑岩层所圈闭，构成相对隔水边界，东部为以右江为排泄基准面的定水头边界，地下水整体流向为西南到东北。地下水补给来源除大气降雨外还存在外源水的入渗补给，主要为下屯、乐屯和古敏村的三个地表河流通过消水洞转入地下，南部可能存在少量的侧向补给。下屯伏流入口、乐屯伏流入口和古敏伏流入口到那国地下河出口的水力坡度分别为0.015、0.018和0.014，到东部排泄带的水力坡度分别为：0.01、0.011和0.012。地下水的化学类型基本为Ca-HCO₃型，仅古敏伏流入口处水混杂了部分碎屑岩区的水，但Ph值为碱性。补给区Ca²⁺含量（三个伏流入口）和那国地下河出口的含量相差不大，但普遍比东部排泄带的泉含量要小，最高差20mg/L，排泄带的那吉村泉，地良屯泉，龙南村泉和三顶泉Ca²⁺含量高达约100mg/L。在不考虑南部边界侧向补给的情况下，整个岩溶含水系统内的流量约为669L/s，可得枯季地下水径流模数约为3.345L/s.km²。



研究区流域系统范围



览屯伏流入口流量及水化学测量



龙南村泉



三顶泉水化学测量



西秀地下河出口流量测量

在调查水点的同时对一些特殊部位的地层岩性进行了调查,排泄区内的果化镇附近右江右岸的砂页岩地层对浅层地下水流产生阻隔作用,对果化镇岩溶大泉的形成有一定影响。对流域系统东南部分水岭进行的路线穿越调查结果说明该区域灰岩与砂岩地层产状为 $200^{\circ}\angle 34^{\circ}$,灰岩与碎屑岩呈整合接触关系。在补充调查水点的同时发现了一处断层,断层带内发现有断层角砾岩,大量方解石填充,5条较大的平行裂隙垂直分布,隙宽 10-25cm,走向北东东向,溶蚀较强,这条断层同时控制了龙南村泉的发育。



果化镇右江右岸砂页岩



灰岩与砂岩交界处

地良屯泉的泉水沿西北径流约 200 m 后进入了落水洞,落水洞呈不规则状,面积约 300 m^2 ,深约 4m。据访问,雨季落水洞经常被淹,洪水时水位可高出地表约 1.5m。考虑到该落水洞位于排泄带上且流入洞的水量约有 75 L/s,因此有必要对泉水的最终去向进行研究,可在此做示踪试验,开展地表-地下水的转化研究。

为解决当地干旱缺水的现实问题,课题组调查走访并了解了各村屯的用水需求,选择了迫切需要解决水资源问题的布尧屯作为本专题的示范点。布尧屯现有居民约 500 人,耕地约 450 亩,主要种植玉米等农作物,主要饮用和灌溉水源为屯里的一个地下河天窗,用一根 100m 扬程的水泵抽水。现状条件下,枯季刚好能满足饮用水要求,旱季则缺水,加上屯里要进行农业转型改造,种植几百亩的火龙果,用水则更加紧张,考虑到附近无其它水源,地下河天窗就必须得深入开发。经过实地勘察,发现天窗地下空间较复杂,存在双层结构,目前抽的水仅为上层滞水,下层地下河水则没有开采,因此,开采底部的地下水则成为解决目前难题的一个突破口。



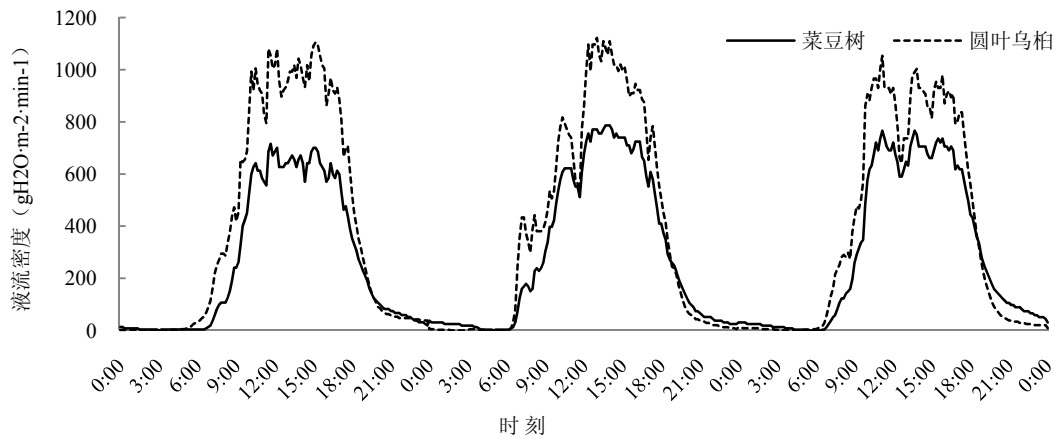
地良屯泉附近落水洞



布尧屯地下河天窗探测

植被-土壤-岩石空间分布特征对水文过程的影响研究

为分析典型岩溶峰丛洼地小流域植被-土壤-岩石空间分布特征对水文过程的影响,本季度重点分析了完全无可见土分布的出露基岩生境优势植物蒸腾耗水特征。结果发现:同为深根系落叶乔木的圆叶乌桕和菜豆树,前者的单位胸高断面年总蒸腾耗水量略高于后者,且蒸腾耗水发生的时段更为集中;2树种生长盛期液流均与光合有效辐射(PAR),水汽压亏缺(VPD),温度(T)均极显著正相关,与相对湿度(RH)呈极显著负相关;生长盛期,2树种日蒸腾耗水量不仅小于同处于亚热带季风区的非喀斯特地区,而且小于喀斯特地区非出露基岩生境,甚至低于降水稀少的典型干旱地区。研究结果表明,即使是深根系的乔木类植物,其蒸腾耗水量仍相对较低,这可能与出露基岩生境极为有限的水分储存能力有关,植物以适应恶劣的水分环境为主要特征。该研究为评估植被-土壤-表层岩溶带水源涵养与水文调蓄功能奠定基础。基于本研究的学术论文已被《应用生态学报》接收待刊。



喀斯特出露基岩生境优势乔木树干液流日变化

为剔除自然降雨不确定性对水分试验的影响,在原有出露基岩遮雨设施的基础上,本季度对遮雨大棚骨架进行了修缮,并重新铺设了耐用型遮雨材料,为人工模拟降雨,系统分析大块孤立出露基岩生境降雨入渗产流特征、探索喀斯特坡地地表产流水有效汇集方案提供保障。该遮雨设施最高点距离地面 14 m,总遮雨面积约 200m²。

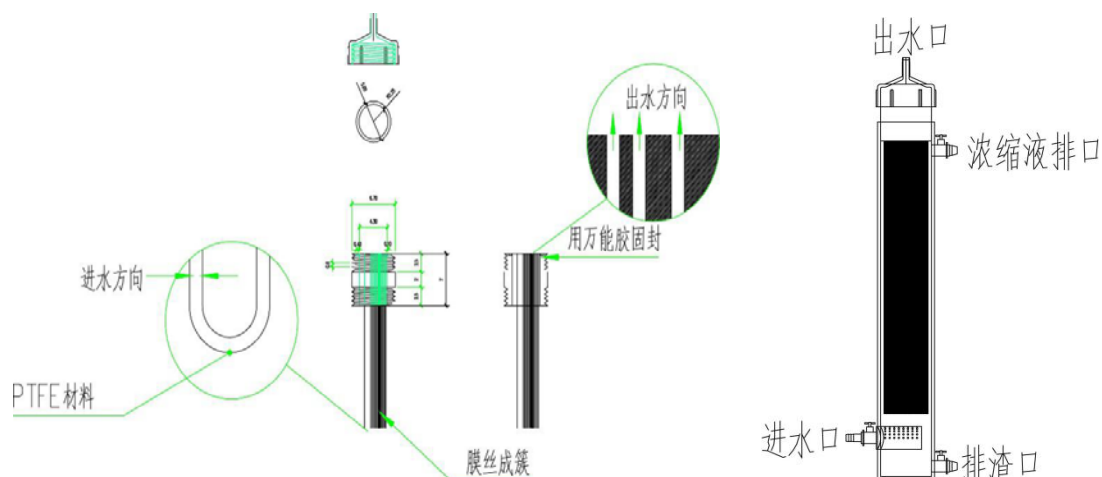


出露基岩遮雨设施修缮(左)与监测仪器安装(右)

微滤膜单元水窖水质处理性能研究及对微滤膜水质处理单元设备的研制

通过材料比选,由于 PTFE 微滤膜具有化学稳定性好、耐腐蚀,硬度、强度、刚度较小,不易变形,电绝缘性好,抗老化等优点,故微滤膜过滤单元使用耐氧化的聚四氟乙烯 (PTFE) 中空纤维微滤膜,平均孔径为 0.45um,内径为 0.8mm,外径为 1.6-1.7mm,膜面积为 0.1m²。膜反应柱分设进水口、排渣口、浓缩液排

口和出水口。膜反应柱和 PTFE 中空纤维膜构件如下图所示。



PTFE 微滤膜构件（左）和膜反应柱（右）

通过前期对不同停留时间下复合垂直流人工湿地出水水质效果的研究,研究表明(见下表),雨水出水水质指标能达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中 III 类水质指标限值要求,能达到饮用水水源水质要求,在满足处理效率和处理效果的前提下,选择了进水停留时间为 12h。本季度在此基础上,对停留时间为 12h 的微滤膜单元出水进行了测定。

表-微滤膜单元出水水质指标

水质指标	《生活饮用水卫生标准》限值
pH	不小于 6.5 且不大于 8.5
浊度 (NTU)	1
COD _{Mn} (mg/L)	3
总硬度 (mg/L)	450
溶解性总固体 (mg/L)	1000
硫酸盐 (mg/L)	250
氯化物 (mg/L)	250
锌 (mg/L)	1.0
锰 (mg/L)	0.1
铁 (mg/L)	0.3
细菌总数	100
臭和味	无异臭; 异味
肉眼可见物	无

2017 年第一季度,完成了微滤膜单元部分出水水质指标的测定,包括 pH、

浊度、COD_{Mn}、总硬度、臭和味、肉眼可见物、溶解性总固体浓度等指标，测试结果见下表。试验结果表明，pH、浊度、COD_{Mn}、总硬度、臭和味、肉眼可见物、溶解性总固体浓度均能达到《生活饮用水卫生标准》限值，pH的平均值为6.84，浊度的平均值为0.3，COD_{Mn}的平均值为2.3mg/L,总硬度的平均值为112mg/L，属于典型的软水，溶解性总固体浓度的平均值为149mg/L。

表-微滤膜单元测试指标

水质指标	《生活饮用水卫生标准》限值	检测结果
pH	不小于6.5且不大于8.5	6.84
浊度 (NTU)	1	0.3
COD _{Mn} (mg/L)	3	2.3
总硬度 (mg/L)	450	112
溶解性总固体 (mg/L)	1000	149
臭和味	无异臭; 异味	无异臭; 异味
肉眼可见物	无	无

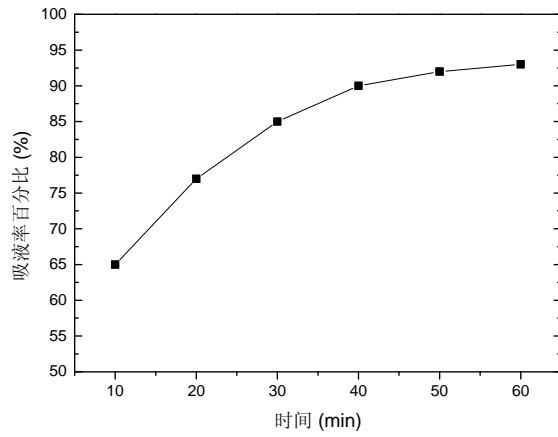
分别采用蒸馏水、自来水和0.9%NaCl溶液作为吸收液来测定二元共混高吸水树脂的吸液倍率。相关文献表明，树脂在吸水之前，彼此交联形成网络结构，遇水时，亲水基团与水分子水合作用，使高分子网束伸展，产生网内外离子浓度差。若高分子网结构中含有一定数量的亲水离子，网结构内外产生渗透压，水分子以渗透压作用向网结构内渗透。当被吸附水中含有盐，则渗透压降低，吸水能力下降。通过吸水速率测定获得二元共混高吸水树脂的吸液倍率和时间关系，该吸水材料在10min时达到饱和吸水量的65%，在40min时吸水量趋于平缓，60min后吸水率百分比可达93%，接近饱和吸水量。本研究采用不同温度条件下0-5h内产品的吸水倍率评价其保水性能。结果如下表所示。二元共混高吸水树脂通过重复吸水率性能测定，随着重复次数的增加，树脂产品在反复吸水、失水过程中，吸水速率逐渐降低，但其在重复吸水5次后，吸水倍率仍然可达到一次饱和吸水倍率的72%。综合以上性能测定，在最佳制备工艺下，该吸水树脂有较优良的吸水性能。

表-二元共混高吸水树脂产品吸液倍率

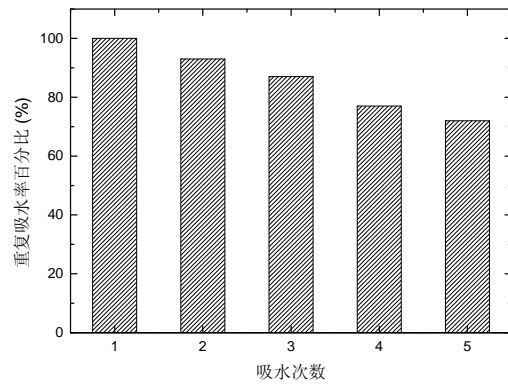
吸收液	蒸馏水	自来水	0.9%NaCl
Q(g/g)	1509	471	116

表-二元共混高吸水树脂产品不同温度下保水率

时间/h	保水率/%		
	40℃	60℃	80℃
1	97	93	88
2	93	88	83
3	90	84	78
4	87	81	75
5	85	78	72



吸水速率测定值



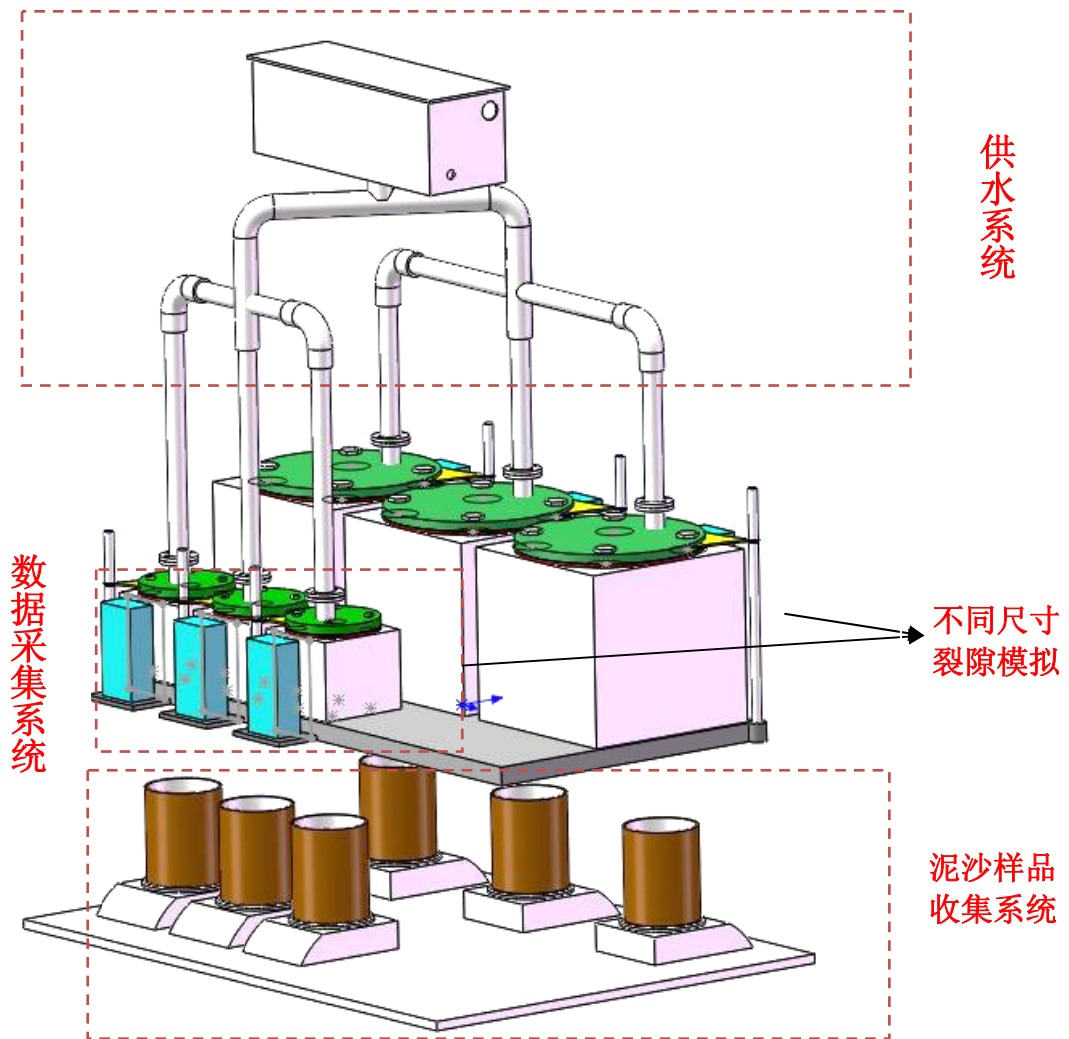
重复吸水率测定

主题词：水文地质勘查、示范工程选址、水文过程、微滤膜、水质、吸水材料

第三课题“水土流失/漏失关键过程与阻控技术”

喀斯特峰丛洼地岩石裂隙水土漏失过程模拟试验

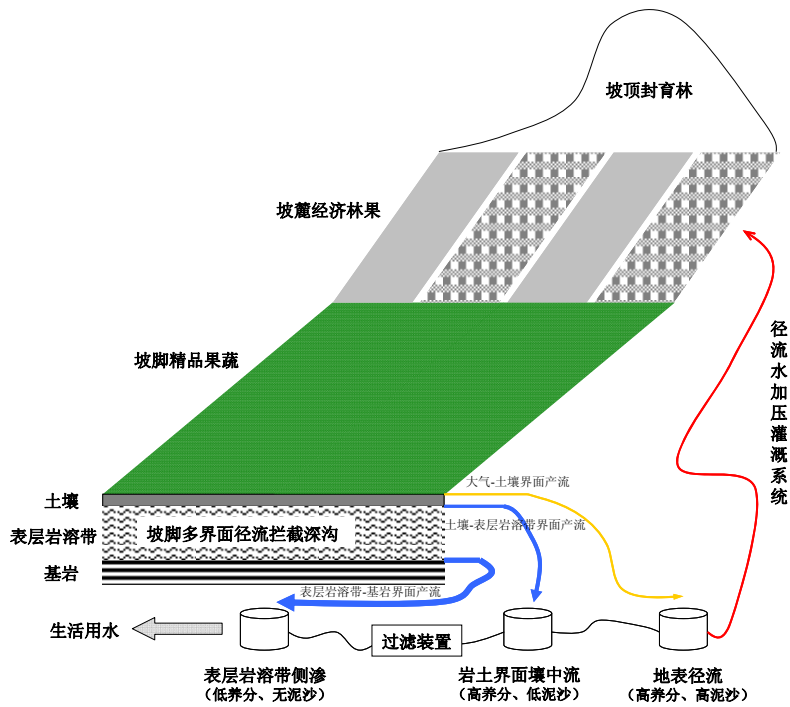
根据 2016 年度文献研究和初定试验方案展开研究工作，第一季度专题一针对研究内容开展试验设备、平台研发。设计研发喀斯特峰丛洼地岩石裂隙水土漏失过程模拟试验装置(如图)，计划 2017 年第三季度完成设备研发、制作与调试，及野外坡面尺度水土漏失监测技术设计，并于 2017 年底完成室内模拟试验并进行论文写作。



喀斯特裂隙水土漏失室内模拟装置

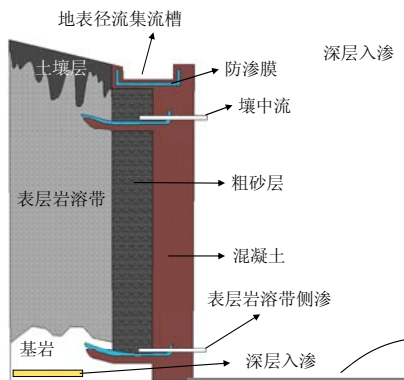
喀斯特峰丛坡地水资源立体调控与高效利用模式

西南喀斯特地区虽降雨充沛，但因岩石渗漏性强、成土速率慢、地表缺水少土，导致地表水大量渗漏，地下水深埋，水文过程迅速，岩溶干旱严重。因此，喀斯特地区水的问题的解决是实现该区经济、社会、生态可持续发展的关键。项目组前期通过野外模拟实验发现，喀斯特峰丛坡地降雨快速下渗，地下水文过程（包括岩土界面壤中流、表层岩溶带侧渗、深层渗漏）能占到降雨总量的60%以上，通过地下水文路径输移的养分通量能占到坡地养分总流失通量的80%以上。因此，研发针对喀斯特峰丛坡地地下水文过程的水资源调蓄和高效利用方法，是解决该区岩溶干旱、养分丢失、面源污染等问题的关键。针对这一关键问题，本项目研发出一种兼顾地表、地下水文过程的喀斯特峰丛坡地水资源立体调控与高效利用模式。通过在喀斯特峰丛坡脚修建深达基岩的多界面径流拦截深沟，在深沟断面上修建集流设施，将土壤-表层岩溶带-基岩作为一个整体考虑，对大气-土壤界面产流、土壤-表层岩溶带界面产流、表层岩溶带-基岩界面产流分别进行收集，汇入各自蓄水池储存，根据各界面产流水的水质水量情况用于坡地经济林果灌溉用水或人畜生活用水。以上水资源调控模式从喀斯特土壤-表层岩溶带三维多界面产流的视角出发，通过在坡麓关键部位修建简单工程设施，实现了对喀斯特地下水文过程这一关键水文路径的高效调控，克服了该区一直以来地表无水可调的难题。同时，通过将各界面产流水向断面上方坡地进行循环回灌，一方面极大地提高了坡地有限水资源的利用效率，另一方面还能有效地归还随水流失或漏失的养分和土壤等生源物质，对整个土壤-表层岩溶带系统土壤、养分通过地表和地下的双重流失过程进行了有效阻控。另外，喀斯特峰丛坡脚作为整个峰丛洼地单元产汇流过程最关键的地貌部位，通过对其径流水进行立体综合调控，能够在坡面乃至流域尺度达到旱季调节枯水径流、雨季消减洪峰的双重效果，因此具有降低喀斯特区旱涝灾害风险的潜力。

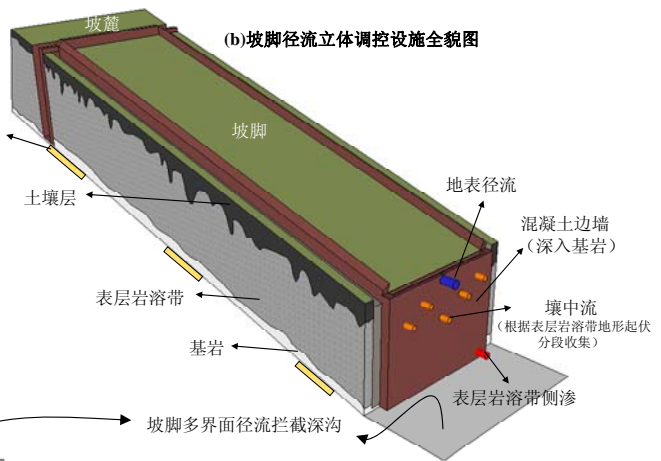


喀斯特峰丛坡地水资源立体调控与高效利用模式

(a) 坡脚径流立体调控设施纵剖面图

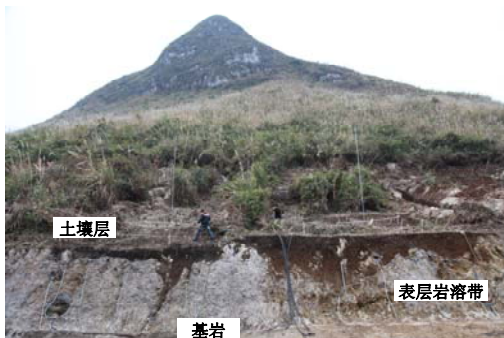


(b) 坡脚径流立体调控设施全貌图



喀斯特峰丛坡地地表地下水资源立体收集方法

坡脚土壤-表层岩溶带-基岩多界面三维结构 (施工过程中)



坡脚径流立体调控设施实景 (完工后)

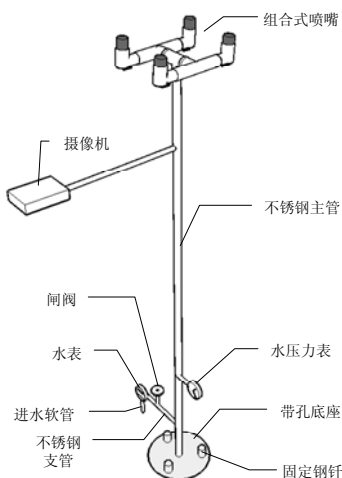


喀斯特峰丛坡地水资源立体调控田间示范区实景

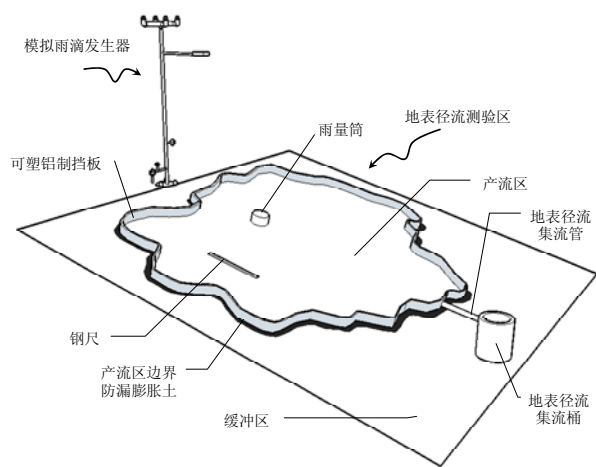
确定喀斯特坡面蓄水工程修建位置的方法技术

喀斯特地区地下水深埋，岩溶干旱严重，在坡面尺度上判断产生径流的准确部位是指导喀斯特地区修建坡面蓄水工程的关键所在。由于喀斯特山区不同类型碳酸盐岩在岩石裂隙发育程度、岩溶形态、上覆土层厚度及风化壳持水性等方面都存在明显差异，地表土壤岩石分布的非均匀性以及地下岩石裂隙结构的多样性导致其坡面产流位置、水文路径、水文过程等表现出极强的空间异质性。适用于在非喀斯特地区判别和评价坡面水文过程和水文路径的方法，如标准小区观测法和水文模拟法，其在喀斯特地区明显不适用。迄今为止，由于判断喀斯特坡面径流形成位置的装置和方法的缺失，导致目前已经建成的大部分喀斯特坡面蓄水工程存在收不到水或收集水量过少等问题，这严重阻碍了喀斯特坡面蓄水工程效用的有效发挥。针对以上问题，本项目提出了一种确定喀斯特坡面蓄水工程修建位置的方法和装置，方法易行，操作简便，提出了评价喀斯特坡面蓄水工程的修建位置的定量方法，解决了传统仅凭主观判断喀斯特坡面径流形成位置的方法的缺陷，促进了喀斯特坡面蓄水工程效用的有效发挥。相关装置制作简单、投入小、携带方便、安装便捷，能够同时获取测验区坡面起始产流时间、起始产流降雨量、稳定入渗速率等关键水文参数，满足了在喀斯特地区评价坡面蓄水工程修建位置适合度的相关装置的实际需求，解决了田间尺度上准确定量获取喀斯特坡面水文参数的难题。该方法技术体系已经成功用于指导环江县大才乡岩溶干旱区修建蓄水工程的生产实践，蓄水工程成功率大幅提高，坡面蓄水工程效用得到充分发挥。

(a) 模拟雨滴发生器



(b) 判断喀斯特坡面蓄水工程修建位置的装置-整体示意图



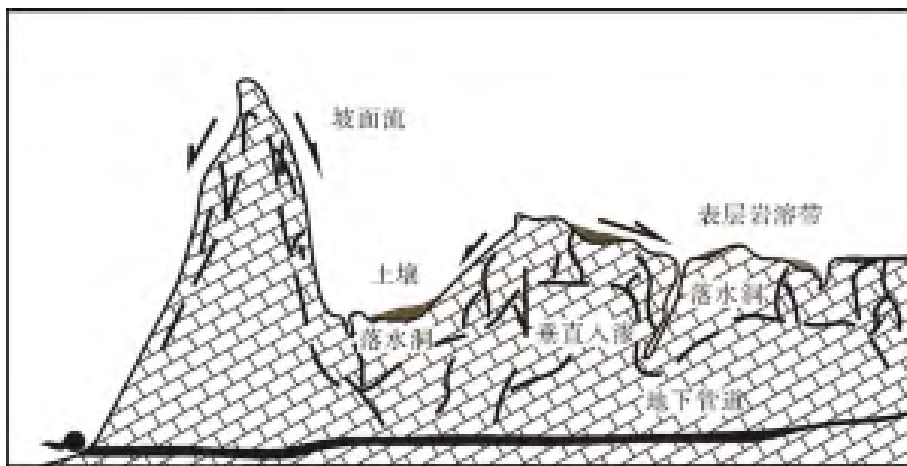
确定喀斯特坡面蓄水工程修建位置的方法技术

表.运用连乘法评估喀斯特坡面蓄水工程修建位置适合度的评分标准及计算方法

评价项目	评价等级	取值区间	标准分数
起始产流时间 (h)	一级	<1	3
	二级	1~5	2
	三级	>5	1
起始产流降雨量 (mm)	一级	<60	3
	二级	60~150	2
	三级	>150	1
稳定入渗速率 (mm/h)	一级	<20	3
	二级	20~60	2
	三级	>60	1
适合度计算及其评价标准	适合度计算采用连乘法, 适合度得分=起始产流时间得分*起始产流降雨量得分*稳定入渗速率得分; 最高 27 分, 最低 1 分, 其中, 27 分~12 分为适合, 11 分~6 分为基本适合, 5 分~1 分为不适合。		

水土流失过程模拟与预测

由于岩溶区表层带溶蚀孔隙、裂隙、管道等发育, 导致其水土流失过程与非岩溶区存在较大的不同, 存在地下水土漏失现象, 尤其以喀斯特地区峰丛洼地表现更严重。喀斯特峰丛洼地水土流失过程包括坡面冲刷水土流失, 孔隙、裂隙与落水洞水土漏失, 地下河管道流失与沉积, 地下河出口排泄流失等。喀斯特峰丛洼地水土流失量包含地表水土流失量与地下水土漏失量两部分。由此建立水土流失概念模型, 即: 水土流失量=地表水土流失量+地下水土漏失量, 并构建概念数学模型: $E=L+F$ 。



峰丛洼地系统水土流失过程

坡改梯措施的水土保持效益评价

坡改梯是喀斯特峰从洼地石漠化治理工程和小流域水土保持综合治理工程中常见的水土保持措施。为科学评价坡改梯措施的保水保土效益，专题 5 对喀斯特峰从洼地的坡改梯措施进行了广泛的野外考察和试验取样。专题 5 调查分析了喀斯特峰从洼地水平梯田和坡式梯田的分布特征，主要土地利用类型、石坎损毁情况以及当地农户对坡改梯工程的评价等。



喀斯特峰从洼地坡改梯措施

通过对比分析典型喀斯特坡地土壤含水量的空间变化，分析了坡改梯措施的保水效益，对比分析了田坎对土壤含水量空间变化的影响；取坡地和梯田的土样分析质地、有机质、孔隙度饱和含水量、饱和导水率等土壤性质，分析了坡改梯措施的保土效益。后期将通过室内试验分析坡地土壤和梯田土壤的入渗过程，并进行模型模拟，进一步深入分析坡改梯措施在保水保土方面的作用。



梯田取样和测土壤含水量

主题词：水土流失、水土保持、模拟装置、方法技术

第四课题“有机物资源利用与退化土地肥力提升技术”

不同退耕模式土壤有机碳和氮变化特征

耕作活动是导致喀斯特山区土地退化及土壤肥力下降的主要因素之一,为了评估喀斯特山区退化耕地退耕后土壤肥力变化特征,研究了四种退耕模式(即种植经济树种香椿(TS)、种植牧草桂牧一号(GG)、种植任豆与杜牧一号(ZG)及自然抛荒(SR),并以未退耕的玉米-大豆轮作地为对照)土壤有机碳和总氮变化。退耕13年后,种植香椿和自然抛荒的样地土壤有机碳相比对照分别增加了40%和50%,但其它二种退耕模式的样地土壤有机碳与对照相比无显著变化。除种植杜牧一号的样地无显著变化外,TS、ZG和SR样地土壤总氮分别增加了130%、81%和117%。土壤有机碳与总氮表现出很强的线性关系,但总氮相对于有机碳变化更快,表明土壤总氮相对有机碳增长更快。同时,TS、ZG和SR样地土壤硝态氮浓度、净硝化速率和 $\delta^{15}N$ 值也高于GG和对照样地。多元线性回归分析表明土壤交换性钙能很好解释有机碳及总氮的变化,说明交换性钙对于土壤有机碳和总氮固持具有重要影响,并最终影响退耕后有机碳和总氮累积。该研究表明种植经济植物香椿和自然抛荒二种退耕模式对提升土壤肥力具有很好的效果,值得进一步推广。该内容2017年已有一篇文章发表在Ecological Engineering.

不同农田类型对土壤肥力的影响

《全国农业可持续发展规划(2015-2030年)》建议在西南喀斯特山区“突出草地资源开发利用”、“在生态保护中发展特色农业,实现生态效益与经济效益相统一”、“开展退耕还林还草,鼓励人工种草,合理开发利用草地资源,发展生态畜牧业”。《岩溶地区石漠化综合治理工程“十三五”建设规划》指出在喀斯特山区“强化草地改良与建设,适度发展草食畜牧业”、“发展草食畜牧业是兼顾生态治理、农村扶贫和调整农业产业结构,促进农业产业化发展的重要举措”。2015年11月农业部发布的《农业部关于“镰刀弯”地区玉米结构调整的指导意见》指出在包括西南喀斯特山区在内的“镰刀弯”地区推进“六个调整”,包括“种养结合型调整”,即减少玉米种植面积,发展草食畜牧业。

为了配合国家在西南喀斯特山区开展的农业结构调整需求,本课题采用完全随机区组设计在环江采集了喀斯特山区牧草地、甘蔗地、玉米地和桑园,每种农

业用地包括不同利用年限，并采集了原生林土壤作为对照，目的在于评估玉米地转变为牧草地或玉米地转变为甘蔗地和桑园后土壤肥力特征变化。目前已完成土壤氮总转化速率、氮净转化速率、土壤微生物群落结构（PLFA 法）、微生物生物量碳氮、土壤线虫群落丰度和多样性、土壤胞外酶活性、土壤可浸提性碳氮组分的测定。下一步将分别采样粒径分组法和核磁共振法研究不同稳定性土壤有机质组成。目前正对已测定数据进行统计分析并作图。

有机物料利用效率室内培养实验

利用室内控制试验，开展了喀斯特旱地秸秆还田与氮素水平对外源有机物转化影响及其微生物驱动机制研究。供试土壤采自广西环江站长期定位实验土壤三种，分别为：对照土壤（不施肥）、40%NPK+60%秸秆处理和 NPK 处理，供试材料有 ^{13}C 标记的玉米秸秆和氮源 NH_4NO_3 。处理包括：CK：土壤；T1：土壤+玉米秸秆；T2：土壤+玉米秸秆+N（高施氮水平 $400\text{Kg}/\text{hm}^2$ ，硝酸铵施用量 $0.571\text{g}/\text{Kg}$ ）；T3：土壤+玉米秸秆+N（低施氮水平 $150\text{Kg}/\text{hm}^2$ ；硝酸铵施用量 $0.214\text{g}/\text{Kg}$ ）。培养实验已进行到 18 天，土样第 0 天、1 天、5 天的 DOC，MBC 数据已处理， ^{13}C -DOC， ^{13}C -MBC 已冷冻干燥。 CO_2 ， N_2O ， ^{13}C - CO_2 三个气体指标的数据重复之间挺好，处理间差异显著。第 0 天、1 天、5 天铵态氮和硝态氮的数据已处理；近十天在做土壤酶，有上机测的数据不能用的情况，已做改正处理。土样基本指标（土壤机械组成、有机质、全氮等）计划做完酶活之后测定。已完成了三次采集土样的 DNA 提取工作，并对其浓度进行了测定，目前正在试高通量体系和程序，尚未最终确定。

有机物料高效堆肥试验

利用桑枝与猪粪等农业有机废弃物原料，开展了好氧堆肥（预）试验，试验方案与进展如下：试验方案 4 个处理，桑枝+猪粪 +发酵菌种（0.1%）；桑枝+猪粪；桑枝+猪粪+桑园表层土（5%）；空白对照（无填充料），调节碳氮比为 25:1，含水量为 60%，每个处理 5 次重复。主要目的是了解利用桑园表层土代替购买发酵菌剂与试验装置的可行性。目前已经完成原料收集和部分试验设备的购买（制作）。

示范基地建设

桑园有机物资源利用控制性试验小区建设。试验设置 5 个处理：桑枝与猪粪

发酵堆肥（购买菌剂）、桑枝与猪粪发酵堆肥（桑园微生物区系菌剂）接种；桑枝还田等量的无机肥 CNP；传统桑园施肥；不施肥，每个处理 4 次重复。根据传统施肥量保证每个处理添加的 CNP 元素含量一致。检测每个处理土壤养分流失（含地下漏失）、温室气体释放和作物生产量等。目前已经部分完成小区建设。



学术交流与考察

2017 年 1 月李德军、宋同清等一行去南宁考察了一个利用蚯蚓处理有机废弃物的大型基地及一个有机物料原位处理示范基地；去龙州考察了喀斯特高值特色经果林示范基地。李德军分别在广西农科院、钦州学院及广西南亚热带农业科学研究所做了“科技论文写作与交流”、“国家自然科学基金申请交流”学术报告。

研究成果

2017 年第一季度已正式发表 SCI 二区论文 2 篇（第一和第二标注各 1 篇）。

[1] Xiao K, He T, Chen H, Peng W, Song T, Wang K, Li D (2017) Impacts of vegetation restoration strategies on soil organic carbon and nitrogen dynamics in a karst area, southwest China. *Ecological Engineering* 101: 247-254

[2] Li D, Wen L, Yang L, Luo P, Xiao K, Chen H, Zhang W, He X, Chen H, Wang K (2017) Dynamics of soil organic carbon and nitrogen following agricultural abandonment in a karst region. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 122(1): 230-242

主题词： 有机物资源利用，肥力提升，有机碳固持，氮固持，示范基地建设

第五课题“植被复合经营与特色生态衍生产业培育技术”

白丹示范区林下中草药基地完成第一期种植

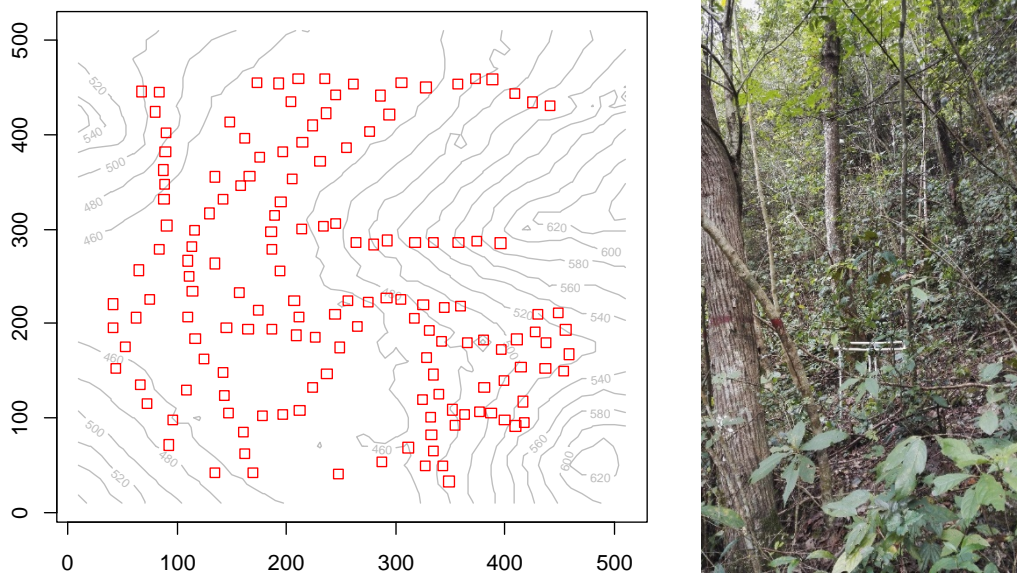
2016年12月18-28日，白丹喀斯特多功能生态农业示范区林下中草药基地完成第一期种苗种植，完成种植面积30亩，本次所选中草药品种为通草、白芨和山豆根，均为林下种植模式。通草选择在林间小道两旁，遮阴比例小的生境中种植；白芨选择在林下土壤条件较优越，遮阴度中等的区域种植；山豆根选择在略微空旷的林下种植。



基地一角

木论大样地完成凋落物收集器、幼苗样方设置及土壤微生物样品采集

2016年11月，根据森林生物多样性监测网络调查规则，在位于环江县木论国家级自然保护区的木论喀斯特常绿落叶阔叶混交林 25ha 固定监测样地内，布置了 151 个凋落物收集器（面积 0.5m²/个）和 452 个面积 2m×2m 的幼苗监测样方。通过长期连续监测，了解喀斯特常绿落叶阔叶混交林凋落物总量及动态变化及林下幼苗更新机理。另外在样地内，按网格法采集了 313 份表层土壤微生物生物量样品及 85 份土壤细菌和真菌高通量测验样品，以期开展喀斯特顶极群落土壤微生物多样性空间异质性以及其维持机制的研究。



凋落物种子雨收集器布置图

白丹示范区完成居民生活娱乐区篮球架安装

2016年12月30日，国家重点研发专项“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”，课题负责人宋同清研究员、李德军研究员及彭晚霞副研究员、杜虎助理研究员、肖孔操助理研究员，木论国家级自然保护区管理局谭卫宁工程师，同川山镇镇领导、白丹村村干一行前往白丹喀斯特多功能生态农业示范区进行示范基地休闲娱乐设置安装，以期促进群众开展更加广泛的体育活动，推动精神文明建设。



篮球架安装现场

环江特色橘种植推广示范基地挂牌

2017年1月6日，国家重点研发计划项目“植被复合经营与特色生态衍生产业培育技术（2016YFC0502405）”课题负责人宋同清研究员、杜虎助理研究员前往环江县大安乡、宜州市怀远镇、德胜镇考察特色柑橘育苗、种植示范基地，目前柑橘育苗品种包括：砂糖橘、贡柑、纽荷尔脐橙、沃柑，采用“科研+公司+合作社+基地+农户”的模式，新建柑橘种植示范基地500亩。



柑橘种植示范

环江生态高值富硒果业发展研讨会顺利召开

2017年1月8日，为顺利实施国家重点研发专项“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”课题五“植被复合经营与特色生态衍生产业培育技术”基地建设及产业培育任务，推动环江毛南族自治县生态高值果业的发展，由中国科学院亚热带农业生态研究所、环江县政协、环江县水果局共同召开了环江生态高值富硒果业发展研讨会。会议由亚热带生态所宋同清研究员主持，来自环江县政协、环江县水果局、广西农业科学院农业资源与环境研究所、广西农业技术推广总站、广西南亚热带农业科学研究所、广西木论自然保护区管理局、环江家文果业公司、环江盛霖果业公司、立地肥业公司等20家科研单位、企业、合作社及种植大户、专业村的90余名代表参加了会议。

环江县政协主席谭勉充分肯定了亚热带生态所推动环江产业发展所做的巨大贡献，殷切希望企业、合作社、种植大户、专业村学以致用，以点带面，带动全县的果业发展。环江县水果局局长廖涌洪介绍了环江县水果产业概况，各专家讲解了柑橘种植管理、有机肥施肥管护、澳洲坚果种植管理、富硒功能农产品开发等技术要点。随后，宋同清分析了全国、广西和环江县的水果产业现状，并针对环江县果业的实际情况，提出了切实可行的决策与建议。最后，环江县政协副主席覃文更总结，认为这次研讨会议召开非常成功，提供的水果种植、施肥、喷药等管理措施与技术让大家受益匪浅，强调环江县人民政府相关部门、企业、合作社、专业村应继续加强与科研院所的紧密合作，致力于环江生态高值富硒产业发展，推动环江经济和社会发展，早日实现精准扶贫。



会议现场

喀斯特石山物种种子收集

2016年12月至2017年1月，国家重点研发计划项目“生态高值功能植物种类筛选与定向培育技术”专题负责单位广西植物研究所文淑均博士、郭屹立博士、谭艳芳工程师和黄甫昭助理研究员等陆续到桂林周边喀斯特石山采集石山物种种子，采集到的种子主要有青冈栎、栲树、银合欢、石栎等。



种子收集

2016 年度课题总结暨学术研讨会在桂林召开

2017 年 1 月 10 日，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特色生态服务功能提升技术研究示范”第五课题“植被复合经营与特色生态衍生产业培育技术（2016YFC0502405）”2016 年度总结会议暨学术研讨会在广西桂林召开。会议由课题负责人宋同清研究员主持，来自中国科学院亚热带农业生态研究所、广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所、中国地质科学院岩溶地质研究所、广西大学、环江毛南族自治县技术开发中心等科研单位的 40 余名科研人员参加了会议。

研讨会上，李先琨研究员、罗为群副研究员、杨钙仁教授、杜虎博士分别作了“石漠化区植被恢复的限制因素、树种选择与促进策略”、“岩溶峰丛洼地土地整理与土壤改良技术研究”、“广西猪场沼液土地消纳主要模式及其对土壤环境质量的影响”、“不同尺度森林生态系统生物量/碳储量及其影响因素”的学术报告。随后，课题 4 个专题负责人详细汇报了各专题启动半年以来的主要工作进展、考核指标完成情况、存在的问题及解决的方案、2017 年的工作计划与打算。听取汇报后，与会人员对各专题汇报内容进行了热烈讨论，针对各专题存在的问题，提出中肯的建议。最后，宋同清研究员做了总结发言。他首先感谢了岩溶所对课题会议的承办，希望各专题严格按照计划开展工作，及时凝练成果，突出亮点，要求承担单位之间要加强交流合作，群策群力，推进代表性成果产出，积极推动课题今后的研究与工作开展。



2016 年度课题总结暨学术研讨会

广西植物研究所育苗基地苗木繁育

2017年2月20-21日，国家重点研发计划项目“植被复合经营与特色生态衍生产业培育技术（2016YFC0502405）”课题，“生态高值功能植物种类筛选与定向培育技术”专题，组织相关成员在广西植物研究所苗木基地进行了叉花草种苗的育苗工作，收集了2000多个叉花草茎段进行扦插繁殖，为课题实施进行苗木准备。叉花草是一种多年生草本植物，具有易繁殖，花期长的特点，研究拟开展叉花草在岩溶山区的引种及适生性研究，探讨其丰富岩溶山区的草本植物资源的可行性。



叉花草茎段扦插前处理

环江站种质资源圃育苗

2017年3月6-10日，国家重点研发计划项目“植被复合经营与特色生态衍生产业培育技术（2016YFC0502405）”课题，“生态高值功能植物种类筛选与定向培育技术”专题负责单位广西植物研究所文淑均博士、黄甫昭助理研究员至环江站进行育苗，此次育苗的种类主要有辣木、降香黄檀、栲树、银合欢、木豆、青冈和石栎等。

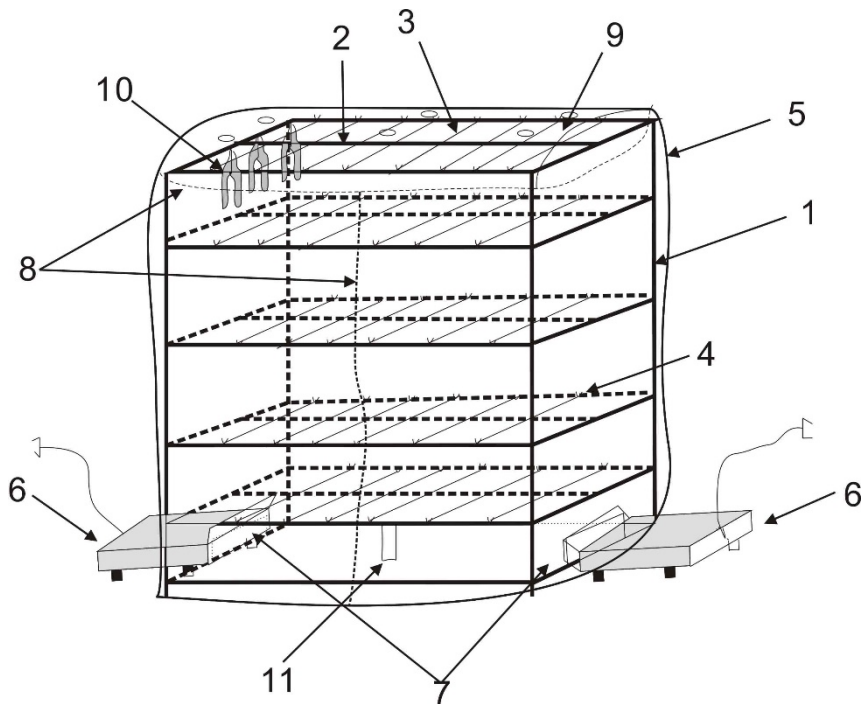




种子收集与育苗

小型火龙果花朵烘干装置研发

针对岩溶石山区火龙果种植以零散家庭种植为主，在生产中缺少适合于零散户使用的火龙果花朵烘干装置，课题组开展了相关技术研究，并初步形成了火龙果花朵烘干装置的设计和构建，试应用取得较好效果，细化技术后申请了一个发明专利和一个实用新型专利，并获得受理。



小型火龙果花朵烘干装置示意图

完成平果示范区土地质量地球化学调查野外采样工作

完成平果县土地质量地球化学调查，采集表层土样 2403 件、深层土样 624 件。该项工作的目的是获取平果县土地质量数据，查明全县土壤地球化学元素分布及化合物的分布与分配特征，依据平果县土壤地球化学元素分布特征和土地环境质量评价结果，研究峰丛山区火龙果种植治理石漠化的生态环境效应，为全县制定火龙果种植规划方案提供支撑。

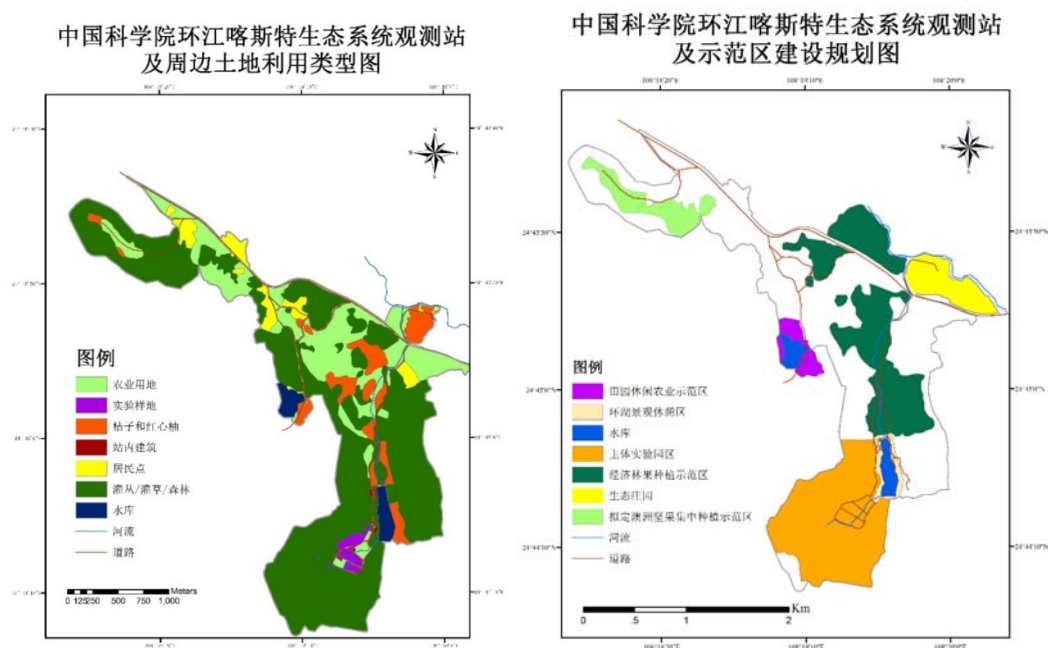


主题词：会议、种子收集、育苗、示范、土壤采样

第六课题“生态服务提升与民生改善的石漠化治理模式集成与示范”

产业模式示范区规划的生态服务价值提升计算

在广西区环江县中国科学院环江喀斯特生态系统观测站(木连综合试验示范区),通过多次实地勘查并结合无人机航拍调查,绘制了研究区土地利用类型图。通过得到土地利用现状,分析该区域农业景观分布特点和具体的地形地貌、土层厚度等生境特点,根据“因地制宜,面向市场需求,发展高值农业”的设计原则,根据示范区的土地现状,气候条件,市场需求以及交通状况等因素,初步开展了研究区产业结构调整 and 布局的设计规划图,将部分适宜当地种植、经济产出较高、生态效益较好地农业产业集中分布,为之后分析各类产业模式的生态效应和经济效益做准备,以期形成规模化示范效应,从而为构建区域生态-高值产业,指导该地区精准扶贫工作提供基础。主要的规划思路如下:



研究区土地利用类型图

研究区农业产业规划设计图

发展坚果经济,推广澳洲坚果种植区域。通过开展市场调研和品种筛选发现,澳洲坚果的市场需求日益增加,而且经过改良后适宜在广西喀斯特坡地上生长,是一种产量高、品质优良而且市场前景广阔的经济果树。因而,将澳洲坚果作为石漠化治理、民生改善以及生态-生产相结合的重要品种进行推广,设置示范区,影响和带动周边农户自发种植澳洲坚果,采用点面多尺度的方式逐渐推进坚果种

植面积，从而推动新型农业产业的发展和应。

集约化管理柑橘的种植和生产，规范管理措施。从事柑橘种植已经成为当地农民重要的经济来源，具有较高的经济收益，农户的积极性也较高。但是种植区域分散，由于缺乏集中统一的管理措施，产量无法达到最优的水平；市场收购口径不一致，影响了农民增收；而且管理低下，易于产生水土流失、氮磷面源污染等生态环境问题。因此建立柑橘连片种植的示范区，提高管理水平，提升柑橘的经济产出，改善民生，同时降低农业管理的生态环境风险，提高生态服务价值。

发展生态旅游示范区，提高农业附加值和单位面积产出。在发展果园经济的同时，改善农村生态环境，发展生态庄园、农家乐等第三产业，调整农村产业结构，增加农业附加值，实现民生改善和生态服务功能提升，并在发展生态旅游同时，以“美丽乡村建设”为契机，将城镇化和新农村建设相结合，进行适宜性景观生态设计，在示范区内建立生态、农业经济可持续发展的新模式。

当前，已初步确定了砂糖橘、贡柑、沃柑等柑橘种植示范区、澳洲坚果种植示范区、生态庄园与生态旅游示范区等不同生态产业模式示范区的规划位置和面积范围（下表），并与当地农户、合作社和公司达成了初步的合作意向，为示范区的下一步建设奠定了基础。

表-示范区各园区的设计面积

土地利用类型	澳洲坚果集中种植示范区	生态庄园	经济林果种植示范区	主体实验园区	田园休闲农业示范区	环湖景观休憩区	水库
总面积（亩）	382.80	389.77	1518.83	1744.55	154.30	103.29	185.58

通过比较规划前后区域的总体生态服务价值差异，来判断示范区规划实施后，该区域生态服务功能的改变，从而判断规划可能产生的生态效应，评价规划效果（由于主体实验园区基本没有变化，因此以下计算不含主体实验园区）。基于 Costanza 方法，根据谢高地调整的生态系统单位面积生态服务价值当量，来计算农村居民点用地的生态服务价值。首先，在研究区域各粮食作物播种面积、粮食单产、各粮食作物的全国平均价格基础上，根据谢高地等提出的“中国陆地生态系统服务价值当量因子表”计算不同生态系统的生态服务价值系数。该区域在示范区规划前，产出的主要粮食作物是玉米，部分区域有少量水稻。单位面积农

田生态系统提供食物生产服务功能的经济价值计算见公式（1）。

$$Ea = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n m_i p_i q_i / M \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

式中 Ea : 单位面积农田生态系统提供食物生产服务功能的经济价值, 元/hm²; i : 作物种类; p_i : i 种作物价格, 元/kg; q_i : i 种粮食作物单产, kg/hm²; m_i : i 种粮食作物面积, hm²; M : n 种粮食作物总面积, hm²; $1/7$: 在没有人力投入的自然生态系统提供的经济价值与单位面积农田提供的食物生产服务经济价值的比例。

进而根据式（2）得到示范区规划区域不同土地利用类型年均单位面积的生态价值表, 计算结果见表 2。

$$E_{ij} = e_{ij} E_a \quad (i=1,2,\dots,9; j=1,2,\dots,6) \quad (2)$$

式中 E_{ij} : j 种生态系统 i 种生态服务功能的单价, 元/hm²; e_{ij} : j 种生态系统 i 种生态服务功能相对于农田生态系统提供生态服务单价的当量因子; i : 生态系统服务功能类型, 包括气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性维持、食物生产、原材料生产、休闲娱乐; j : 生态系统类型, 包括林地、草地、耕地、园地、湿地、河流/湖泊、荒漠和未利用土地生态系统等。这里转化为示范区的园区的生态服务功能单价, 澳洲坚果和经济林果参照园地计算, 并赋予权重计算, 水库依照湖泊计算, 生态庄园等按照各生态系统类型可能的所占比例进行赋权计算。

最后, 由式（3）根据各类生态系统面积和各类生态系统服务功能的单价, 计算出研究区域生态系统服务功能的经济价值。

$$V = \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^6 A_j E_{ij} \quad (i=1,2,\dots,9; j=1,2,\dots,6) \quad (3)$$

式中 V : 区域生态系统服务总价值; E_{ij} : j 种生态系统 i 种生态服务功能的单价, 元/hm²; A_j : j 类生态系统的面积。

除主体实验园区外的共计 2735 亩规划用地, 在规划实施并投入正常运行后, 每年能够实现的生态服务功能总价值共计 5.76*10⁶ 元, 相比规划前的原土地利用类型提高了 2.84*10⁶ 元。在经济收入方面, 将原有玉米地（玉米地以 1000 元/亩计算）转化为澳洲坚果用地可为农民实现 10000 元/亩的增收幅度（表 3）, 从而实现经济效益的大幅提升。因此可以认为, 当前的示范区规划较好地提高了区

域生态服务功能，形成生态友好的生产技术体系，建立石漠化综合治理的新型产业模式，最终可以实现生态环境可持续发展下的农民增收和民生改善。

表-示范区各规划园区年均单位面积的价值表

生态服务类型		价值 (元/ (hm ² · a))					
一级类型	二级类型	澳洲坚果集中种植示范区	经济林果种植示范区	水库	生态庄园	田园休闲农业示范区	环湖景观休憩区
供给服务	食物生产	1137.48	1242.50	774.74	1110.94	1251.27	425.78
	原材料	2675.04	2437.48	511.62	1257.12	982.31	1368.22
	气体调节	4502.25	4502.25	745.50	2582.46	1970.46	2926.46
调节服务	气候调节	4356.07	4356.07	3011.24	2684.78	2178.04	6270.99
	水源涵养	5189.28	5035.98	27437.41	2845.58	2157.57	6455.17
	废物处理	2104.95	2104.95	21707.27	2022.11	2026.01	5864.62
支持服务	土壤形成与保护	4604.57	4604.57	599.33	3342.58	2865.07	3283.13
	生物多样性保护	3669.04	3421.04	5013.87	2631.18	2175.11	3142.80
文化服务	娱乐文化	3012.83	3332.83	6490.25	1617.69	1070.01	2803.67
	总计	31251.51	31037.68	66291.23	20094.45	16675.86	32540.85

功能分区确定与示范区建设

为保证中国科学院 STS 项目示范基地建设和试验示范内容的顺利实施，课题组成员多次前往环江古周、下塘示范基地和木连综合试验示范区开展示范区规划与功能分区调研工作，并推进当地示范区建设，取得了较好的成果（图 3）。在古周和下塘示范基地，通过实地调研，因地制宜确定种植品种，并在以往试验示范工作的基础上，初步划定种植澳洲坚果、杂交构树的可选区域，并与当地村干部和村民代表洽谈合作开展产业升级和土地整理事项，确定示范区的种植模式和合作机制。在木连综合试验示范区，通过多次实地勘察并结合无人机航拍调查，确定了砂糖橘、贡柑、沃柑等柑橘种植示范区、澳洲坚果种植示范区等不同生态产业模式示范区的规划设计，并与当地农户和公司达成了合作意向。与琼园山庄达成协议，共同建设生态庄园与生态旅游示范区，优先发展高值经济果树，采用生态管理措施保肥增产，防止面源污染，同时发展果树旅游经济，增加农业产业附加值，对于丘陵山地，则以保护为主，适当开发为农家休憩区，提升旅游潜力，为示范区的下一步建设奠定了基础。

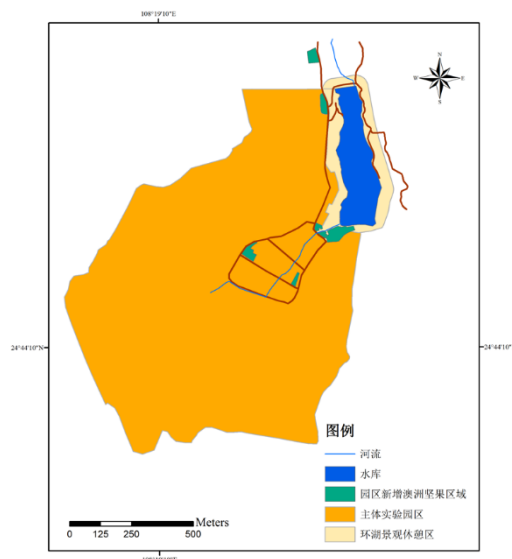


现场确定功能分区，洽谈合作事项

环江站木连综合试验示范园区澳洲坚果大苗种植示范建设

课题组在环江站木连综合试验示范园区及园区周边扩展种植澳洲坚果大苗，并为园区场地管理人员和园区周边种植区农户讲解澳洲坚果种植护理技术。本次种植的澳洲坚果大苗具有易成活、前期投入少、挂果快等特点，预计种植2年后即可产生经济效益。目前，站区的澳洲坚果大苗种植面积约15亩，配套建设水肥池2个。通过木连综合试验示范园区澳洲坚果大苗种植示范，有望提高当地农户种植澳洲坚果的积极性，推动地方澳洲坚果高值生态产业的发展，将环江站综合试验示范园区及周边地区建设成为生态-生产耦合的高值产业示范基地。

环江站园区拟新增澳洲坚果
区域位置示意图



环江站区内澳洲坚果培育基地位置示意图

超载区域人口空间安置规划研究

进一步细化及明确研究方法手段。项目研究工作进入 2017 年度以来，课题组成员加紧着手开展各项研究，广泛阅读收集前人对于生态脆弱地区生态承载力及生态移民的相关研究。通过专题内部及与同行专家讨论，确定本专题以生态承载力理论为基础，以生态足迹为手段，在对研究区社会文化和历史背景及现状分析的基础上，对研究区的生态承载力状况进行定量评估，正确认识研究区的发展水平以及在发展过程中存在的问题，利用生态承载力评价结果，指导生态移民方案的编制，对百色市及河池市今后的可持续发展提出合理的对策建议。同时进一步细化及明确了以生态足迹分析方法为基础的生态承载力研究方法体系。

开展研究区资料收集与调研工作。广泛收集《广西统计年鉴》、《中国统计年鉴》、《中国环保年鉴》以及《广西年鉴》、《广西省国民与社会经济发展公报》、《广西省环境状况公报》和其他相关数据、文字、图件等资料，为研究提供较为详实的基础资料。同时，对典型区域的实地调查方案进行了初步研讨，明确了调研的主要目的、重点区域、主要内容、调研方式方法等。

举行专题讨论会。项目组于 2017 年 3 月 4 日和 2017 年 3 月 18 日召开了两次专题讨论会，各小组成员就各自承担的任务的进展情况进行了介绍，总结了研究工作中的主要问题及拟采用的解决问题的方案。会议中还对专题研究任务的目标进行了分解，细化了研究成员的考核指标。

撰写论文。2017 年第一季度，项目组成员先后撰写完成《喀斯特地区耕地生态承载力供需平衡研究》和《基于微粒群-马尔科夫复合模型的生态空间预测模拟》等 2 篇学术论文，均被《生态学报》接受，其中《喀斯特地区耕地生态承载力供需平衡研究》一文将在 2017 年第 21 期刊用。

特色经济植物种植技术与培训

考虑石漠化地区土层薄、土壤贫瘠，移栽的苗木出圃前需要精心护理，现已将澳洲坚果苗、碧根果苗、苹婆苗等装袋 4000 株，分批管理，提高种植前营养，为核心示范基地建设做准备。3 月 12 号，广西南亚热带农业科学研究所广西岑溪召开广西坚果产业协会第三届理事会暨广西贫困村科技特派员坚果产业科技服务团澳洲坚果栽培技术培训会，从全区角度系统阐述了澳洲坚果产业的发展前景及所存在的问题。针对岑溪及区内其他地区近年坚果病虫害爆发引起产

量、品质下降等情况，专家们分别从澳洲坚果花期的病虫害防治、果园控草技术、澳洲坚果生产过程中的食品安全与质量控制、采收与保质等进行系统培训，并介绍云南、贵州澳洲坚果产业发展情况与经验。本次培训对象主要是区内澳洲坚果加工龙头企业、种植大户、贫困村坚果种植户等近 300 多人。且到横县石漠化种植地调查：植后管理到位，澳洲坚果同样适植石漠化区，长势良好。本次培训提高了种植户的管理水平，促进了产学研交流与合作，为广西乃至全国坚果产业，起到积极的推进作用。



苗圃装袋



会议培训



基地培训

主题词：示范基地建设、示范区规划、人口超载，空间安置规划、澳洲坚果

发送：国家科技部、中国科学院亚热带所、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