

普定喀斯特生态系统观测研究站的 生物样地建设与监测工作

倪健^{1,2}, 王世杰^{1,2}, 刘立斌^{1,2}, 蔡先立^{1,2}, 程安云^{1,2},
彭韬^{1,2}, 黎廷宇^{1,2}, 胡刚³, 张忠华³, 周运超^{2,4},
郭柯⁵, 刘长成⁵, 白晓永^{1,2}, 刘秀明^{1,2}, 罗维均^{1,2},
张林^{1,2}, 吴洋洋^{1,2}, 李梦德^{1,2}, 郭纯子^{1,2}, 许海洋^{1,2},
钟巧连^{1,2}, 郭银明^{1,2}, 杨华妹^{1,2}, 许鑫^{1,2}, 杨勇^{1,2}

(1. 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550081; 2. 中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站, 贵州 普定 562100; 3. 广西师范学院 环境与生命科学学院, 南宁 530001; 4. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 5. 中国科学院植物研究所 植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

摘要: 生长和适应于喀斯特地貌环境的生态系统, 即喀斯特生态系统, 因人类活动干扰和石漠化进程影响, 其结构和功能均发生退化, 因此, 定位、长期监测喀斯特生态系统的组成、结构、过程和功能, 以及人类活动的影响和响应, 对研究该类特殊生态系统的格局和动态变化具有重要意义。作为中国科学院生态系统观测网络(CERN)仅有的两个喀斯特台站之一, 普定喀斯特生态系统观测研究站的生物监测总目标是开展喀斯特高原常绿落叶阔叶混交林的植被生态学(结构、过程、功能)监测与研究, 及其退化植被的恢复生态学示范, 建立喀斯特植被恢复与重建的优化模式和范式。本文初步介绍了普定站的生物观测网络, 以普定县后寨河流域的天龙山常绿落叶阔叶混交林样地作为永久监测样地(主观测场), 以陈旗不同干扰方式下的植被恢复样地、赵家田皆伐样地、沙湾主站址退耕样地作为辅助监测样地(辅观测场), 以高羊河流域陈家寨坡耕地恢复和滇柏林改造样地作为生态重建示范样地(辅观测场), 配合流域内外诸多样地与试验点(站区调查点), 可初步定位监测和预测代表性喀斯特森林和灌丛的长期变化与未来发展趋势。

关键词: 喀斯特生态系统; 结构与功能; 生态恢复; 长期定位研究; 石漠化

中图分类号: Q148 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2017)01-0106-08 doi: 10.14050/j.cnki.1672-9250.2017.01.014

在我国广袤的亚热带和热带北缘气候区, 连片、大面积分布着一类特殊的地貌类型-喀斯特地貌, 即由石灰岩、白云岩等组成的碳酸盐类岩石因水溶蚀作用而形成的地表与地下形态, 又称“岩溶地貌”, 主要分布在碳酸盐岩出露的西南地区, 包括贵州、广西、云南、四川、重庆、湖南、湖北、广东 8 个省市自治区, 面积约 50.58 万 km², 占整个国土面积的 5.8%, 尤以滇东、黔、桂所占面积最大、最具代表性, 是世界上最大的喀斯特区之一, 面积达 31.17 万 km², 占西南地区喀斯特分布总面积的 61.6%^[1]。

以贵州为中心的中国南方喀斯特地貌类型多

样, 可划分为热带喀斯特和非热带喀斯特两大地貌类型区, 根据其地貌形态组合又可进一步划分为八个地貌类型亚区, 包括热带喀斯特的黔中高原浅碟型峰丛洼地、黔-桂斜坡带漏斗型峰丛洼地和广西峰林平原等 3 个亚区, 以及非热带喀斯特的川西-滇西北中高山、滇东高原盆谷、北盘江高原峡谷、黔渝川鄂湘接壤的中低山槽谷、湘中-湘南-鄂东中低山丘陵区等 5 个亚区^[2-3]。东亚季风和印度季风为该地区带来了丰沛的雨水与温暖的气候, 雨热的区域控制相对均一。但喀斯特地貌的广泛发育, 造成其土壤和植被与非喀斯特地貌区的巨大差异, 该区广泛

收稿日期: 2016-09-15; 改回日期: 2016-11-25

基金项目: 国家重大科学研究计划项目(2013CB956704)。

第一作者简介: 倪健(1968-), 男, 博士, 研究员, 从事全球变化生态学和植被生态学研究。E-mail: nijian@vip.skleg.cn.

分布的石灰土,其性质与黄壤这种亚热带的典型土壤完全不一致;植被类型也与亚热带典型的地带性植被—常绿阔叶林不同,主要以落叶树种占30%~40%的非地带性土壤顶极常绿落叶阔叶混交林为主,代表性的黔中高原喀斯特森林优势树种包括化香树(*Platycarya strobilacea*)、云贵鹅耳枥(*Carpinus pubescens*)、安顺润楠(*Machilus cavaleriei*)、窄叶石栎(*Lithocarpus confinis*)和滇鼠刺(*Itea yunnanensis*)等^[4],黔-桂斜坡带漏斗型峰丛洼地喀斯特森林优势种主要是化香树、天峨槭(*Acer wangchii*)、齿叶黄皮(*Clausena dunniana*)、紫弹朴(*Celtis biondii*)、黄杞(*Engelhardtia roxburghiana*)、西南米楸(*Castanopsis carlesii* var. *spinulosa*)、密花树(*Rapanea neriiifolia*)和杨梅叶蚊母树(*Distylium myricoides*)等^[5]。

喀斯特地区人类活动的加剧导致森林砍伐、水土流失严重、地表岩石裸露,由此形成了类似荒漠化的生态景观—喀斯特石漠化,不仅极大地削弱了生态系统的功能,也成为西南地区经济社会发展的严重障碍^[6]。据2000年的统计,西南喀斯特地区的石漠化面积达11.35万km²,是喀斯特分布面积的22.4%,其中滇、黔、桂石漠化面积占总石漠化面积的82%,造成森林面积减少、生物量降低、生物多样性丧失、水域面积减小、土壤特性改变、水土流失、地质灾害增加(干旱、洪水、滑坡)及区域气候变化^[1]。虽经多年的综合环境治理而使得石漠化趋势有所缓和与遏制,但石漠化喀斯特生境的生态修复仍迫在眉睫。

生态修复必然涉及到植被的恢复与重建,创造一个功能完善的生物群落,比如农林牧复合系统,并与人类耦合成自然-社会复合生态系统^[7],使其为人类提供最优的生态服务,这不仅可改善当地生态环境,提高居民生活水平,而且在植被正向演替过程中可累积更多的碳,从而达到植被与土壤增汇的目的,促进碳平衡。

为长期监测中国生态系统的水、土、气、生等生态过程,全面研究其结构、功能和动态特征,科学示范其可持续管理的途径与方法,由中国科学院主导、1988年启动建立的中国生态系统研究网络(CERN)科技部主导、2005年启动的国家野外科学观测研究站计划(CNERN),以及国家林业局主导、1998年联网的中国森林生态系统定位研究网络,在全国范围内建立了诸多定位观测研究台站,在亚热带地区代表性的台站如浙江天童站(中亚热带东部

常绿阔叶林)、湖北神农架站(北亚热带常绿落叶阔叶混交林)、广东鼎湖山站(南亚热带季风常绿阔叶林)、湖南会同站(中亚热带人工林)、云南哀牢山站(南亚热带山地常绿阔叶林)等,但分布于喀斯特地区的野外长期定位观测站很少,目前仅有广西环江站(喀斯特农林复合生态系统)与贵州普定站(喀斯特常绿落叶阔叶混交林),以及广西弄岗喀斯特季节性雨林15公顷固定监测样地。因此,喀斯特特殊生态系统的长期定位监测任重道远。

本文重点介绍位于贵州省普定县的中国科学院普定喀斯特(森林)生态系统观测研究站(以下简称普定站)的生物监测、研究与示范工作,为喀斯特地区乃至全国生态系统的长期定位研究贡献一份力量。在2007年之前,普定站主要以水文观测为主,生态及环境要素观测指标少,综合观测体系不健全,无固定综合观测场所;很多观测、监测工作主要以项目的形式开展,缺乏连续性和长期性;各项观测、监测工作缺乏规范化和统一标准(普定站,2011)。自2009年纳入CERN管理,并于2014年正式加入CERN之后,普定站按照陆地生态系统大气、生物、水环境、土壤的监测规范,全面统一规范了水、土、气、生各个方面的监测任务,建立了固定、长期观测样地。对已经建立的生物方面的定位监测样地,以下详细介绍其目的、意义和观测内容,以及取得的初步进展,并展望其未来发展方向。

1 普定站简介

普定站的前身为贵州省科委1986年批准成立的以水资源监测与开发为目标的普定岩溶研究综合试验站,2007年中国科学院地球化学研究所和贵州省科技厅对该试验站进行了重新规划和建设,补充和改造了监测内容。2009年10月和12月分别经中国科学院和贵州省科技厅批准,在原有台站基础上分别建立了贵州省普定喀斯特生态系统观测研究站和中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站,并纳入CERN管理。2014年7月经中国科学院科技发展促进局验收合格,正式成为CERN的44个野外台站之一。

普定站主站址位于安顺市普定县城北约5 km处的城关镇陇嘎村沙湾组,地理坐标为北纬26°22′07.06″,东经105°45′06.65″,海拔高度1176 m,占地约11.3 hm²,办公、实验与生活用房建筑面积为2900 m²(图1)。



图1 普定站的地理位置及主站址外观

Fig.1 Geographical location and main building of the Puding station

普定县地处贵州高原长江水系与珠江水系的分水岭处,以浅碟型峰丛洼地地貌为主,海拔介于1100~1400 m。出露地层以二叠系和三叠系的碳酸盐岩为主,夹薄层碎屑岩。喀斯特分布面积占全县土地面积的84%,石漠化土地面积为39093 hm²,占喀斯特出露面积的47.1%;全县人口密度大(430人/km²)、耕地少(仅占全县面积的27.3%),是我国南方喀斯特石漠化最为严重、居民生活最为贫困的典型地区之一。位于中亚热带季风温暖湿润气候区,根据普定县气象站1961~2013年的统计,年均气温为15.2℃,1月均温5.2℃,7月均温23.0℃,极端最高气温34.4℃,极端最低气温-11.1℃;年均降雨量1341 mm,年日照时数仅1189 h,日照百分率低至26.3%。全县土壤以石灰土的比例最大,其次是黄壤。山地植被受人为干扰影响,原生性的典型喀斯特常绿落叶阔叶混交林已经不存在,次生性的、次顶极的常绿落叶阔叶混交(矮)林残留于环境条件较好、人为干扰较少的小区域内,藤刺灌丛和灌草丛占绝对优势。后寨河流域为其中典型的代表性喀斯特流域,普定站的主要监测样地皆建于此流域中(图2)。

因其喀斯特区域代表性、隐域性土壤顶极生态系统类型代表性和地球表层系统与关键带科学学科代表性,我们选择普定县建设生态站。根据2011年完成的普定站近期建设方案及中长期发展规划,其总体目标与任务是对喀斯特生态系统进行立体、综合的长期定位观测,并逐步建立和完善与喀斯特实际相结合的CERN、CNERN规程规范。依据长期

日常监测、专项监测和控制性试验,以多要素、多界面相互作用下生物地球化学循环过程与机制研究为主线,揭示在全球变化和人类活动共同驱动下喀斯特生态系统结构与功能、过程与格局的变化规律,探索其调控管理途径,提升解决重大科学问题和国家、地区重大需求的能力,为国家 and 当地决策提供科技咨询。转化观测和研究成果,开展试验示范,积极服务于国家、地区社会经济发展。打造一流平台,成为中国乃至世界喀斯特科学研究、试验示范、人才培养、公众教育培训的中心。

2 生物监测样地建设

在普定站总体目标的支撑下,建设普定喀斯特生态系统永久和辅助样地的目标是为了开展喀斯特常绿落叶阔叶混交林的植被生态学(结构、过程、功能)监测与研究,及其退化植被(灌丛为主)的恢复生态学示范。具体来说,以黔中喀斯特高原面的常绿落叶阔叶混交林及其不同演替和干扰阶段作为监测、研究和示范的对象,长期监测其结构与功能的动态变化,研究其物种组成、空间分布格局、种群竞争与扩散、群落生物量与生产力、物质循环和能量流动等的生态学规律,分析这些生态学特征与高度异质性喀斯特生境和人类干扰方式与程度的相互关系,从而揭示喀斯特区域植被的生物多样性和生产力维持机制,探索喀斯特常绿落叶阔叶混交林退化后的生态恢复和生态重建过程与机理,示范不同退化阶段和不同人为干扰方式的喀斯特植被的生态恢复与生态重建,建立喀斯特植被恢复与重



图 2 普定站生物监测样点分布图

Fig.2 Biological monitoring sites of the Puding station

建的优化模式和范式,为西南喀斯特地区石漠化治理奠定坚实的理论基础和实践经验。

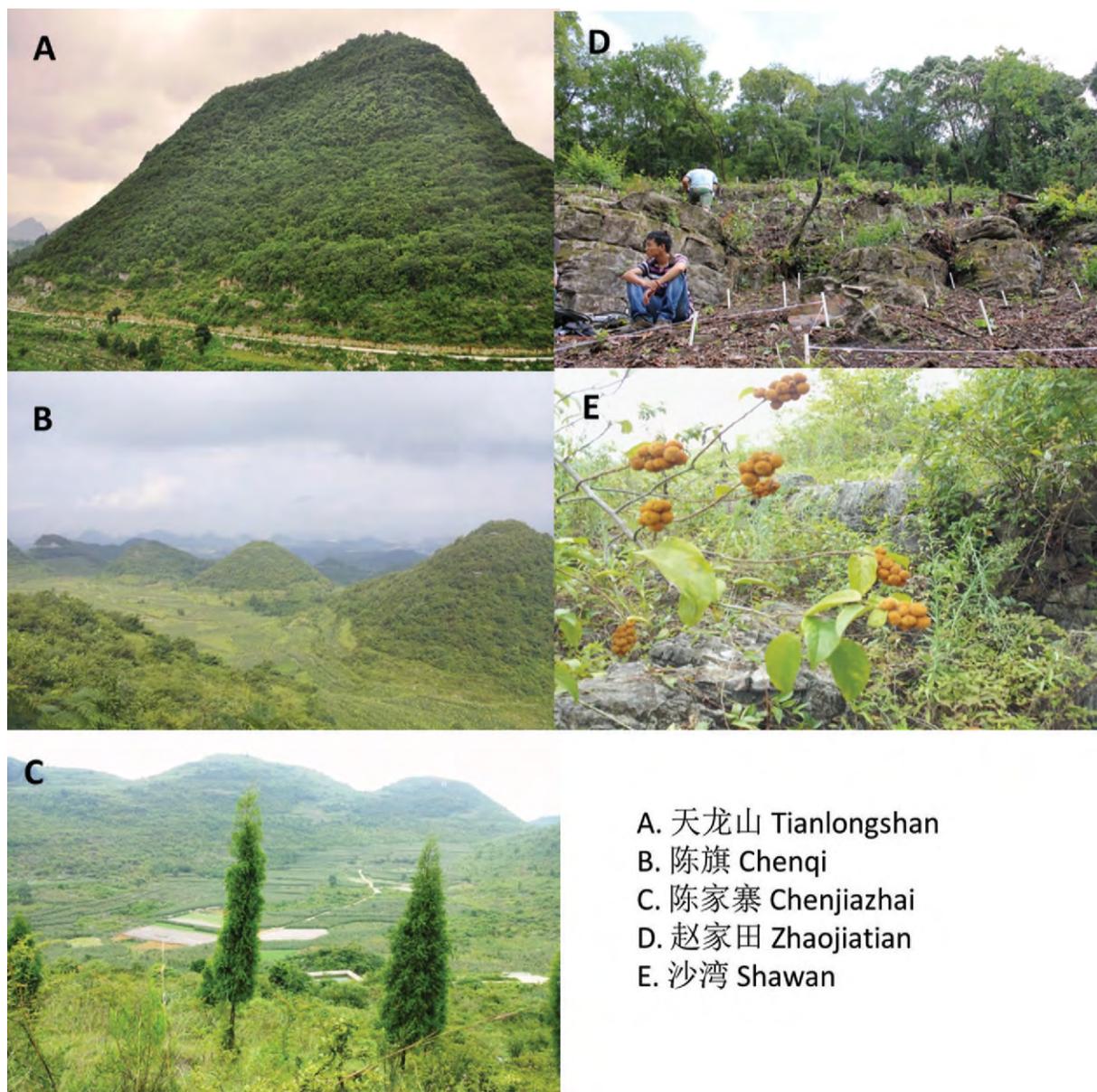
按照 CERN 的生物监测规范^[8]要求,“主观测场要求设置在研究站所在地区内最具代表性的森林植被类型分布的地段,最好同时开展包括水分、土壤和小气候等环境因子在内的综合性观测。鉴于水物理要素监测要求以集水区为基本观测单元,主观测场应该尽量设置在一个集水区内”。然而,由于喀斯特地貌特殊性所造成的喀斯特植被分布不连续(片段化/破碎化),以及人为干扰方式和强度的差异所造成的退化与非退化喀斯特植被的镶嵌性分布,使得我们很难在一个较小集水区内找到连续成片的常绿落叶阔叶混交林及其不同退化阶段植被,以同时设置主观测场和辅观测场,因此普定站的观测场建设地点相对分散。

以普定县后寨河流域的天龙山 2 hm² 常绿落叶阔叶混交林样地作为永久监测样地(主观测场),以陈旗不同干扰方式下的植被恢复样地、赵家田皆伐样地、沙湾主站址退耕样地作为辅助监测样地(辅观测场),以高羊河流域陈家寨坡耕地恢复和滇柏林改造样地作为生态重建示范样地(辅观测场),以

及附近诸多样地与试验点(站区调查点),我们初步构建了普定站的生物观测网络(图 2)及建设了多个植被样地(图 3)。

2.1 天龙山主观测场

天龙山综合观测场位于普定县马官镇下坝村(图 3A),地理坐标(105°45′50″E, 26°14′40″N, 1402~1512 m),主样地面积 2 hm²(200 m×100 m),破坏性样地面积 30 m×100 m。按照森林生物多样性大样地的建设方法,2012 年围封建成,划分为 200 个 10 m×10 m 的小样方,当年夏季首次全面调查,对胸径大于等于 1 cm 的所有木本植物进行挂牌标记和定位,记录其物种名、胸径/基径、高度/长度、冠幅;2015 年夏季复查。群落类型为隐域性土壤顶极的次生性常绿落叶阔叶混交林,主要优势树种包括化香树、窄叶石栎、安顺润楠、云贵鹅耳枥和滇鼠刺,主要灌木种有异叶鼠李(*Rhamnus heterophylla*)、贵州花椒(*Zanthoxylum esquirolii*)、倒卵叶旌节花(*Stachyurus obovatus*)和铁仔(*Myrsine africana*)。本样地主要研究喀斯特高原面典型次生常绿落叶阔叶混交林的植被动态变化,其结构与功能、过程与格局以及物质循环对全球变化的响应与反馈,且可



A. 天龙山 Tianlongshan
 B. 陈旗 Chenqi
 C. 陈家寨 Chenjiazhai
 D. 赵家田 Zhaojiatian
 E. 沙湾 Shawan

图3 普定站植被观测样地外貌

Fig.3 Physiognomy of vegetation monitoring plots in the Puding station

以作为区域不同阶段生态系统演替到最高阶段的参照样地。

其主要科学问题包括：黔中高原面喀斯特次生常绿阔叶混交林的物种组成及其空间分布格局如何适应喀斯特小生境的变化？关键常绿和落叶植物种群是如何竞争、更新和扩展的？喀斯特植被生物多样性的维持机制及其如何响应气候变化？研究内容有：喀斯特次生常绿阔叶混交林的物种组成、空间分布格局及其与小生境的关系；关键常绿和落叶种群的竞争关系、更新策略及其种群扩散和定植过程研究；木本植物功能性状在物种空间

分布格局、种群更新扩散中的作用；喀斯特次生森林的生物多样性维持机制；气候变化对喀斯特森林生态系统格局及关键生态过程（包括碳水循环）的影响。

目前已经完成建设的监测项目有：木本植物调查、枯倒木调查、树木更新调查、凋落物现存量、凋落物月动态变化、生物量调查与估算^[9]、植物茎干生长双月动态、主要木本植物的生理生态特征、优势植物叶、茎、枝、树皮、根系化学元素含量、树木年轮、整体植株性状和叶、根系性状等。鸟类种类与数量、两栖爬行类动物种类与数量、小型土壤动物、

土壤微生物群落结构与生物量碳。

2.2 陈旗辅观测场

整个陈旗小流域综合观测场面积为 1.3 km^2 , 主要开展喀斯特水文、水化学观测研究, 设置 6 个植物群落辅助样地(图 3B), 主要包括陈旗 1 号样地: 面积 $30 \times 10 \text{ m}^2$, 自然恢复的次生常绿落叶阔叶混交林; 2 号样地: 面积 $20 \times 10 \text{ m}^2$, 放牧干扰方式下的退化灌丛; 3 号样地: 面积 $30 \times 10 \text{ m}^2$, 砍伐干扰方式下的灌丛-次生常绿落叶阔叶混交林植被; 4 号样地: 面积 $30 \times 10 \text{ m}^2$, 退耕后人工经济林; 5 号样地: 面积 $20 \times 10 \text{ m}^2$, 火烧自然恢复灌草丛; 6 号样地: 面积 $20 \times 10 \text{ m}^2$, 火烧持续砍伐控制恢复的灌草丛。对不同演替阶段(次生林、灌丛、灌草丛)、主要人为干扰方式(放牧、火烧、樵采、退耕还林)的植被样地进行水、土、气、生的长期观测、监测, 研究不同受损程度的生态系统在全球变化及人类活动双重驱动下的演替过程与物质循环规律、控制因素等。

2.3 陈家寨辅观测场(示范区)

选择陈家寨作为恢复生态学试验观测研究的具体区域, 总面积 1.5 km^2 (图 3C)。依据喀斯特坡地水土配置与植被恢复的垂向分异特征和样带建设思路, 对陈家寨坡地进行垂向分带, 上部石质坡地进行自然生态恢复、中部土石质坡地进行生态和经济效应兼顾的经果林种植、下部石土质坡地进行高效农业开发。设置山体上部白云岩石质坡地生态林分改造样地(仿针叶纯林、针阔混交林、多种针叶混交林)及对照样地 4 个(面积分别为 $48 \times 78 \text{ m}^2$), 山体中下部石灰岩石质坡地人工促进植被恢复样地(仿常绿阔叶落叶混交林、常绿阔叶林、藤本灌丛、草丛)及对照样地 5 个(面积 $48 \times 78 \text{ m}^2$), 山脚石土质坡地高附加值经济作物和中草药种植 50 亩。主要开展石漠化综合治理的试验示范, 一是建立兼顾生态和经济效益的喀斯特坡地石漠化垂向分带治理模式, 二是研发石漠化治理技术, 包括生态系统的林分改造、经果林和高效农业的种植、路沟池集雨储水灌溉模式。

2.4 赵家田辅观测场

在赵家田辅助样地(图 3D) 建立皆伐样地和对照样地(各 1000 m^2), 植被为常绿成分占优势的近顶极常绿落叶阔叶混交林, 以猴樟(*Cinnamomum bodinieri*)、响叶杨(*Populus adenopoda*)和月月青(*Itea ilicifolia*)为主。主要开展喀斯特皆伐迹地水土流失时空格局变化与恢复过程、植被恢复阶段与

进程等方面的研究。

2.5 沙湾辅观测场

在沙湾主站区设置退耕坡地恢复样地(图 3E), 面积 1200 m^2 , 属于农田(玉米)退耕裸地自然恢复, 自 2012 年开始定期进行植被调查。研究退耕坡地在自然恢复过程中水土保持控制因素、植被恢复阶段与过程等。

主站址内还建设有大型碳水综合试验场 500 m^2 , 以水为主线, 主要剖析植被-土壤-岩石相互作用过程的碳迁移转化规律, 定量解析土地利用变化背景下喀斯特作用的碳汇效应。另外有微生物试验钢构大棚 250 m^2 , 5 个模拟降雨控制实验场, 1 个生物炭试验场, 1 个保水试验场, 以及 1 个施肥试验样地。

3 未来展望

普定站的生物监测工作刚刚起步, 植被观测与研究样地设置较多, 监测内容也较系统和全面, 但物候监测任务尚未启动, 大型动物、昆虫、土壤动物和微生物群落的长期观测尚未系统设置, 植被与土壤、大气、水文等的联合观测任务尚较缺乏。因此, 作为 CERN 的新台站之一, 未来的观测和研究任务仍然是十分繁重的。除了按照 CERN 的要求完成常规的监测任务之外, 在全球变化和关键带等新兴科学理论的指导下, 在石漠化治理与生态恢复实践需求的带动下, 普定站仍需进一步加强喀斯特生态系统的长期定位监测任务, 并利用单点和联网观测数据开展喀斯特森林的动态研究, 积极推进喀斯特地貌区的生态系统恢复重建工作。以下观测和研究需在今后重点考虑:

第一, 扩大样地面积, 完善观测体系: 目前最大样地面积是 2 hm^2 , 对于喀斯特地区丰富的生物多样性来说, 这样大小的面积是远远不够的。然而, 喀斯特锥状地貌的特殊性决定了喀斯特植被样地面积无法过大, 比如通常的森林大样地面积均在 $20 \sim 50 \text{ hm}^2$, 这在喀斯特地区的单个山体上是很难实现的。因此, 可以考虑多个小型样地并存。对森林和灌丛而言, 可分别设置 5 个 $4 \sim 5 \text{ hm}^2$ 的小型样地。在此基础上, 建立健全喀斯特植被的生物监测指标和监测体系, 以其土壤-岩石景观的高度异质性为特征, 充分考虑喀斯特植被的特殊性而建立其独特的监测体系。

第二, 设置大型控制实验: 目前建成有大型碳

水综合试验场,其目标仅是监测和研究不同土地利用方式下岩溶系统的碳水通量。仍需要建设其它大型控制实验场所,比如在全球变化研究大背景下,布设增温、降雨、添氮等单因子与多因子野外控制实验,以及不同土地利用方式和不同土地利用强度对喀斯特植被影响的交叉控制实验。

第三,推进模型模拟研究:野外观测与控制实验的长期运转可获得有效的生态系统长期变化数据,但如何预测其未来发展和变化趋势,仍需要生态学 and 地学模型的支撑。可同时利用不同尺度的模型,从种群和群落落到景观与生态系统,综合集成与模拟喀斯特生态系统结构与功能、格局与过程的特殊性及其长期发展趋势。

第四,开展喀斯特关键带研究:从植被冠层到地下含水带的地球关键带(Earth's Critical Zone)是最近10年来由美国科学家提出并蓬勃发展到全球的热点研究领域,并逐渐上升到了地球关键带科学的层次上。其核心内容是跨学科和跨尺度整合与集成理解地球关键带的所有过程,通过生物与非生

物的相互作用,支撑地球表层的生命系统,提供地球系统的功能和服务;将自然过程和人类活动的影响有机联接在一起,促进地球关键带的可持续发展^[10]。由于碳酸盐岩强烈的溶蚀作用,造成喀斯特地貌区发育特殊的地表与地下二元结构,地表岩石裸露、地下管道与裂隙纵横联通,导致土层浅薄、土壤分布零星、空间异质性强^[11],这使得喀斯特关键带的研究更具有挑战性。因此,以地球关键带科学理念搭建地上与地下生态学的桥梁,整合研究喀斯特生态系统的地上和地下组分及其与土壤结构与功能的关系,可深入探讨喀斯特关键带的生态系统服务及其调控机制,促进我们对石漠化导致的植被退化机理与生态恢复机制的全面理解。

致谢:普定站的建设由中国科学院科技促进发展局、中国生态系统研究网络和贵州省科技厅联合资助。感谢普定县人民政府、岩溶办公室、下坝村、陈旗堡村、赵家田村、陈家寨等在野外台站建设、样地设置与监测活动中给予的大力支持!

参 考 文 献

- [1] Jiang Z C, Lian Y Q, Qin X Q. Rocky desertification in Southwest China: Impacts, causes, and restoration[J]. *Earth-Science Reviews*, 2014, 132: 1-12.
- [2] 王世杰,张信宝,白晓永. 2013. 南方喀斯特石漠化分区的名称商榷与环境特点[J]. *山地学报*, 2013, 31(1): 18-24.
- [3] 王世杰,张信宝,白晓永. 中国南方喀斯特地貌分区纲要[J]. *山地学报*, 2015, 33(6): 641-648.
- [4] 刘长成,魏雅芬,刘玉国,等. 贵州普定喀斯特次生林乔灌层地上生物量[J]. *植物生态学报*, 2009, 33(4): 698-705.
- [5] Zhang Z H, Hu G, Zhu J D. *et al.* Stand structure, woody species richness and composition of subtropical karst forests in Maolan, south-west China[J]. *Journal of Tropical Forest Science*, 2012, 24(4): 498-506.
- [6] 王世杰,李阳兵,李瑞玲. 喀斯特石漠化的形成背景、演化与治理[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(6): 657-666.
- [7] 张新时. 关于生态重建和生态恢复的思辨及其科学涵义与发展途径[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 112-118.
- [8] 中国生态系统研究网络科学委员会(吴冬秀主编) [M]. 陆地生态系统生物观测规范. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [9] Liu L B, Wu Y Y, Hu G, *et al.* Biomass of karst evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest in central Guizhou province, southwestern China: A comprehensive inventory of a 2 ha plot[J]. *Silva Fennica*, 2016, 50(3): article id 1492.
- [10] Brantley S L, Goldhaber M B, Ragnarsdottir K V. Crossing disciplines and scales to understand the Critical Zone[J]. *Elements*, 2007, 3: 307-314.
- [11] 王世杰,卢红梅,周运超,等. 茂兰喀斯特原始森林土壤有机碳的空间变异性与代表性土样采集方法[J]. *土壤学报*, 2007, 44(3): 475-483.

Establishment and Monitoring of Biological Plots at Puding Karst Ecosystem Research Station

NI Jian^{1,2}, WANG Shijie^{1,2}, LIU Libin^{1,2}, CAI Xianli^{1,2}, CHENG Anyun^{1,2},
PENG Tao^{1,2}, LI Tingyu^{1,2}, HU Gang³, ZHANG Zhonghua³, ZHOU Yunchao^{2,4},
GUO Ke⁵, LIU Changcheng⁵, BAI Xiaoyong^{1,2}, LIU Xiuming^{1,2}, LUO Weijun^{1,2},
ZHANG Lin^{1,2}, WU Yangyang^{1,2}, LI Mengde^{1,2}, GUO Chunzi^{1,2}, XU Haiyang^{1,2},
ZHONG Qiaolian^{1,2}, GUO Yinming^{1,2}, YANG Huamei^{1,2}, XU Xin^{1,2}, YANG Yong^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China; 2. Puding Karst Ecosystem Observation and Research Station, Chinese Academy of Sciences, Puding 562100, China; 3. School of Chemistry and Life Science, Guangxi Teachers Education University, Nanning 530001, China; 4. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 5. State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Changes, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: The ecosystem grown in and adapted to the habitat of karst morphology, the so-called “karst ecosystem”, is very special and vulnerable to human disturbances and rocky desertification, leading to degradations in its structure and functions. It is therefore necessary and significant to permanently and long-term monitor compositions, structures, processes and functions of karst ecosystem as well as impacts from and responses to human disturbances, in order to explore its pattern and dynamic of this ecosystem. As one of the only two monitoring and research stations of karst ecosystems of the China Ecosystem Research Network (CERN), the Puding Karst Ecosystem Research Station (hereafter Puding station) aims to build up biological monitoring plots to investigate the structure, processes and functioning of the evergreen-deciduous broadleaved mixed forest on the Guizhou Plateau, and to demonstrate the ecological restoration of the degraded vegetation on karst terrain. The final destination is to establish an optimized paradigm of vegetation restoration and recovery in karst region, and to enhance ecological service of karst ecosystems. The monitoring network of the station is mainly set in the Houzhai River Watershed, a karst peak-depression landform in the central Guizhou Plateau with a total area of 82 km²: one primary site at Tianlongshan (evergreen and deciduous broadleaved mixed forest permanent plot) and four subsidiary sites (six human-disturbed plots at Chenqi, a clear cutting plot at Zhaojitian, and an abandoned crop plot at Shawan). Another demonstration site is built in the Gaoyang River Watershed: one subsidiary site with nine vegetation restoration plots at Chenjiashai. Various investigation plots and sites are widely distributed in these two watersheds and in other regions of the Guizhou Plateau. Such biological monitoring network of the Puding station can be potentially used to investigate and predict long-term changes and future development of the representative karst forest and shrubland in southwestern China.

Key words: Karst ecosystem; structure and function; ecological restoration; long-term permanent monitoring; rocky desertification