

南方山区生态环境观测成果与展望

王辉民, 杨风亭, 李庆康, 马泽清, 程 彤

(中国科学院 地理科学与资源研究所 生态系统网络观测与模拟重点实验室千烟洲生态站, 北京 100101)

摘要: 20 世纪 80 年代以来, 中国科学院南方山区综合考察队和中国科学院千烟洲红壤丘陵综合开发试验站(简称千烟洲站)的历代科研工作者从自然资源综合科学考察到农业科技攻关示范, 再到应用基础理论研究, 一步一个台阶, 不仅为红壤丘陵区的生态恢复和生态经济可持续发展作出了突出贡献, 而且在南方红壤丘陵区典型生态系统的物质循环过程、机理及其对全球变化的响应和适应机制方面取得了新的进展。论文以千烟洲站的发展为主线, 对南方山区生态环境观测成果与发展进行简单评述。

关键词: 南方山区; 综合科学考察; 千烟洲站

中图分类号: Q149 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3037(2010)09-1468-12

自 1980 年中国科学院南方山区综合考察队进入江西省, 1983 年在千烟洲建立试验点, 到 1988 年正式建立千烟洲站, 再到如今新的发展阶段, 回顾 30 年走过的风雨历程, 我们感慨万千: 昔日的荒山草坡已成郁郁森林, 昨天的土坯房已变成崭新的小洋楼, 到处是先进的试验仪器和设施。千烟洲站之所以能有今天的成就, 除归功于上级领导的支持外, 是几代科学研究人员艰苦创业、辛勤耕耘的结果。他们在南方山区和千烟洲奉献了自己美好的青春和宝贵的聪明才智, 用汗水把论文写在了红土地上, 为祖国和人民交出了一份满意的答卷。

1 区域概况

南方山区是中国南方亚热带东部丘陵山区的简称, 是南方队考察研究的一个特定区域概念。其范围大体是指淮河以南、云贵高原以东、雷州半岛以北的广大丘陵山区, 包括豫、鄂、皖、湘、浙、赣、闽、粤、桂九省(区)的 535 个县市(其中不包括两湖平原的 36 个县市), 总面积为 $108.52 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。其中, 红壤丘陵山区占 78.2%。地带性植被从北向南依次为落叶—常绿阔叶混交林、常绿阔叶林、季雨林。

受东南季风影响, 中国的亚热带在世界亚热带中是自然条件最为优越的地区, 与全国的其他山区相比, 本区的自然条件不仅独具特色, 而且优势明显^[1]。

(1) 热量资源丰富, 雨热同季, 生产潜力大。年平均太阳辐射总量为 $98 \sim 120 \text{ J/cm}^2$, 年平均温度在 $14.6 \sim 23 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间, $\geq 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 年活动积温 $4\ 700 \sim 4\ 800 \text{ }^\circ\text{C}$, 是我国大陆热量条件最好的区域之一; 年降水量平均在 $800 \sim 2\ 000 \text{ mm}$ 之间, 更为重要的是在农作物生长季节的每年 4—10 月, 其光、热、水量占全年总量的 70%~86%, 极有利于亚热带喜温作物和林木的生长。据测算, 本区生物生产量可达 $1\ 000 \sim 2\ 000 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 比华北地区高 1 倍, 比

收稿日期: 2010-08-24。

第一作者简介: 王辉民(1967—), 男, 吉林长春人, 研究员, 主要从事生态系统物质循环研究。E-mail: wanghm@igsnrr.ac.cn

黄土高原高 1~2 倍,比东北地区高 2~3 倍。

(2) 土地类型多样,自然生产力高,环境容量大。在复杂的地貌要素主导作用下,形成了多种土地类型。据统计,有 20 多个土地类,700 多个土地型,为发展多样化农业生产和立体农业提供了十分有利的自然条件。

(3) 水资源、生物资源在全国居重要地位。全区水资源总量 $9\,671.44 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占全国的 35.5%, 人均水资源 $3\,460 \text{ m}^3$, 每 hm^2 耕地 $60\,495 \text{ m}^3$, 分别是全国的 1.33 倍和 2.24 倍。全区水能资源理论蕴藏量为 $9\,691 \times 10^4 \text{ kW}$, 占全国的 10.25%, 仅次于西南地区。同时, 本区生物资源极为丰富, 仅高等植物就达万种之多, 是丰富的种质资源库。多种多样的生物品种资源与多种土地类型相适应, 形成资源多样化的特色。

以上这些自然资源都是本区把资源优势转化为经济优势的重要资源基础。然而, 这块得天独厚的宝地, 却由于长期以来对资源的不合理利用、土地尤其是耕地的大量减少、森林的过量采伐、人口猛增等, 致使上个世纪 80 年代前后, 红壤丘陵山区的生态环境非常脆弱。当时主要存在以下两方面的问题:

(1) 人均资源量贫乏。人口猛增造成本区按人均占量指标衡量, 多种主要资源均低于全国人均水平, 例如全区人均耕地仅 $0.057\,3 \text{ hm}^2$, 森林蓄积量 5.3 m^3 , 可开采水能资源仅 0.17 kW , 都低于全国平均水平。潜在的威胁使人均耕地越来越少, 人口与耕地矛盾日益尖锐。

(2) 水土流失严重, 生态环境恶化。本区能源相对较少, 仅支持发展工业仍感紧张, 广大农村不可能与工业争能源。因此只好将能源紧缺的矛盾绝大部分转嫁于丘陵山区的森林身上。由于过伐过樵, 甚至铲草皮作肥料, 其结果造成广大丘陵山区的植被破坏, 原生植被逆向演替, 最终退化为荒山草坡。

南方山区的植被破坏, 造成了严重的水土流失。上个世纪 80 年代, 区内水土流失面积达 $0.2 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 比 50 年代增加了近 2 倍。水土流失致使不少地方出现了土地质量下降乃至完全丧失生产力并以侵蚀地为标志的类似荒漠景观, 被学术界称作“红色荒漠”或“红色荒漠化”。同时, 生态环境的破坏, 使旱涝灾害的频度和成灾面积均不断扩大, 甚至一些历史上从未发生过旱涝灾害的地方也受了灾。

总之, 当时的南方山区是一个优势和危机并存的特殊区域。该区的资源优势主要是环境资源优势, 而环境资源优势的发挥, 主要依赖于生态系统的良性循环。如果生态环境继续恶化, 不仅资源优势不能发挥, 而且还会逐步导致资源的枯竭, 从而引发“生态危机”。如何运用科学的方法, 合理利用区域的资源优势, 改善生态环境, 促进经济发展, 是国家生态环境建设和经济可持续发展的重大需求。

2 南方山区自然资源综合考察与千烟洲模式的建立(1980—1989 年)

为了全面认识和评价南方山区的资源状况, 寻求自然资源的合理利用与治理途径, 1980 年初, 受国家委托, 以原中国科学院自然资源综合考察委员会(简称综考会)为核心, 组建了南方队, 席承藩院士任队长, 李孝芳、刘厚培、那文俊先后任常务副队长。在 1980—1989 年期间, 南方队对我国南方山区进行了大规模、多学科的综合考察。考察分为两期进行, 取得了丰硕的考察研究成果^[2]。

2.1 第一期考察(1980—1982 年)

本期考察以江西省吉泰盆地为重点区域, 以泰和县为点, 采取点面结合的方法, 对资源

开发利用特点、问题及其发展潜力等开展综合考察研究;同时南方队接受国家农委的委托,与湖南省农业区划办公室共同主持对湘、赣、浙、闽、粤、桂6省区、 $61 \times 10^4 \text{ km}^2$ 地域的中亚热带丘陵山区进行了农业资源调查和农业发展战略研究。在面上考察和点上实验的基础上总结出版了《江西省泰和县自然资源和农业区划》、《江西省吉泰盆地商品粮生产基地科学考察报告集》、《柑桔生态要求与基地选择——赣南柑桔基地考察报告文集》、《江西省泰和县土壤》、《中国亚热带东部丘陵山区农业发展战略》等专著。通过考察,促进了吉泰盆地商品粮生产基地建设;使宜橘而又少橘的赣南红壤丘陵区柑橘种植业有了迅速的发展;首次提出并论证了丘陵山区必须从“沟谷农业”转向“立体农业”的发展道路等科学论点。

2.2 第二期考察(1983—1989年)

为进一步深入探索红壤丘陵区生态环境与经济的综合发展途径,根据中国科学院和国家计划委员会的要求,开展了第二期综合考察研究,考察范围由第一期的中亚热带地区扩展至亚热带东南部9个省(区)。工作采取重点区域考察与面上考察相结合的方法,在每个重点区内,先选一、二个县进行重点剖析,取得一些系统的基础资料与数据,然后开展重点区的全面考察。同时,还把宏观的科学考察和微观的开发性试验研究工作结合起来,进行小范围的开发治理试点,开展一些试验和观测。本期考察所取得的不同范围与精度的考察、试验资料以《南方山区综合科学考察专辑》的形式出版,全面反映了南方山区国土资源概况,并从多方面探讨了与国土整治有关的科学技术问题。

由于本期考察范围广、任务重、时间紧,南方队先后组建5个分队,按照统一计划,分片包干。其中,二分队由原综考会主持并组建,主要承担湘赣丘陵山区的考察研究任务。为了验证、完善第一期考察的成果和观点,提高对红壤丘陵山区的理性认识,进而科学地指导山丘荒地(重点是红壤丘陵)开发治理的生产实践和加速南方山区的综合开发,二分队与江西省科学技术委员会合作,在江西省泰和县设立千烟洲试验点,开展生产性试验研究,成功创建了驰名中外的“千烟洲模式”,并根据科学试验研究结果撰写了具有重要指导意义的《红壤丘陵开发和治理》一书。“千烟洲模式”不仅为进一步开发我国南方大面积红壤丘陵资源提供了科学的、可行性强的模式样板,而且为该区域的资源综合利用与农业可持续发展探索了一条成功道路。相关研究成果被评为“国家科学技术进步三等奖”和“中国科学院科学技术进步一等奖”。

2.2.1 选点与规划

1983年初,由综考会组织南方二分队、江西省政府以及吉安行署和泰和县等领导组成的考察评估组对南山牧坊、三都乡、千烟洲等3个点进行了认真的实地勘查研究。最后,在综合考虑代表性、范围大小、自然单元完整性、综合性、地方政府重视程度的基础上,认为千烟洲最符合建点的要求。

千烟洲位于江西省泰和县($26^{\circ}44'48''\text{N}$, $115^{\circ}04'13''\text{E}$),总面积 204.17 hm^2 ,包括81个山丘、9条沟、3个小流域。地处典型的亚热带季风气候区,气候温暖湿润,夏热冬凉,四季分明;降水充沛,但年际变化大,且季节分配不均,季节性干旱问题突出。土壤类型主要为红壤、水稻土和潮土,成土母质多为红色砂岩、砂砾岩或泥岩、泥砾岩,以及河流冲积物,其中红壤是试区内分布面积最大的一类地带性土壤。

由于长期不合理的利用,开发前的千烟洲是个无林、缺水、土地大量荒芜,经营单一、不通车、不通电的贫困落后的山村,只有7户常住人家,31口人,11个劳动力,人均拥有农用地 6.3 hm^2 ,其中人均占有耕地 0.68 hm^2 ,荒山草坡 5.54 hm^2 。在这个小流域中,不仅人均占

有耕地、草山数量多,而且发展农林牧副渔业的后备资源亦很充裕,开发潜力极大。但在开发前这里资源利用极不合理,经营粗放单一,加之科学技术落后、人才匮乏,生产效率很低,农村经济不振。据 1982 年统计,农业总收入仅 5 828 元,其中种植业占 76.7%(而粮食收入占种植业收入的 98.05%),畜牧业占 20.2%,副业和渔业收入分别占 2.2%和 0.9%。除了上山砍柴伐薪之外,林业收入几乎为零。整个千烟洲土地利用系数仅为 10.9%。

考虑到千烟洲的自然资源条件与社会经济状况,根据因地制宜、扬长补短、生态经济效益相结合、长期短期效益相结合、可持续发展并利于经营管理的原则,编制了详细的《千烟洲土地利用规划》(简称规划)。其核心是改变土地利用结构,将过去的谷地农业改变为丘谷并重、全面开发,并建立起新的经济构成。根据当地光、热、水、土资源条件和资源开发的潜力等因素,以小流域为治理单元,设计出了 33 种土地利用方式和 200 多个用地斑块,并将其划分为 6 个小区,即针阔混交林区,果农复合区、果林复合区、木本油料区、林牧渔业复合区和生活管理区等。在功能分区的基础上,把千烟洲作为一个整体,按照:“丘上造林种草,丘腰缓坡植果,丘间筑坝蓄水养鱼并用于灌溉,丘底、河谷滩地种粮”的立体布局。从丘上到丘下,从丘间水塘到河谷滩地,对小流域的每块可利用的土地进行逐块而又顾及全面的规划,并编制了详细的投资计划。

2.2.2 创建千烟洲模式

1983—1986 年,《规划》全面实施。在实施过程中,妥善处理了开发与治理的 3 组关系,即治用关系、长短关系和予取关系。治用关系,主要针对红壤丘陵区地形破碎,暴雨多而且季节性干旱严重的特点,把治坡治水和用坡用水作为一相互作用的整体,以用为目的、以治为手段,在坡上造林种草,缓坡植果,丘间沟谷洼地则根据给予面积的大小,因地就势修建了 22 座塘库,既拦截了山洪,又开辟了水源,还发展了淡水养殖业。长短关系,主要是针对村民生活贫困,而荒丘造林不仅当前没有经济效益,还需要投入足够的资金和劳力,试区开发中把造林种草和在幼龄果园中种植可在当年就有收益的经济作物综合在一起,形成一条“以短养中(果树),短中结合养长(林业),长短结合”的发展林业生态经济的道路。予取关系,主要针对本区农业经济不发达,农民生活贫困,无力投资开发治理红壤丘陵的特点,在开发过程中采取由国家资助造林、修塘等基础设施建设;个人贷款投标有偿承包果园等开发项目。这种“先予后取”的措施,可使承包户获得实惠,又可见农民看到开发前景,增强了开发者的信心,这样能使国家、集体、个人都有比较好的回报。

《规划》的实施使千烟洲发生了可喜的变化。1983—1986 年期间,土地利用率为 10.9% 增至 75.4%;耕地由 10.3% 降至 6.47%;果园、林地、养殖水面由原来的不足 1% 分别增至 13.2%、68.42% 和 2.4%;荒丘坡地由原来的 85.83% 降至 4.26%。农业总收入增加了 15.9 倍,试区人口由 31 人增至 156 人(主要由外地迁入),人均收入比 1982 年增加了 3.1 倍^[3]。土地利用结构的变化使千烟洲形成了“丘上林草丘间塘,河谷滩地果鱼粮;畜牧水产相成链,加工流通两兴旺”的生态格局,即著名的“千烟洲模式”(图 1)。

2.2.3 农林牧综合开发的技术体系

在“千烟洲模式”的建立过程中,创建了一套基于治用结合、立体开发、以短养长、商品生产理念的紅壤丘陵农林牧综合开发技术体系,技术体系主要有以下四个方面^[4]:

(1) 以水为突破口

亚热带红壤丘陵区共同的特点之一就是季节性缺水,即伏秋旱。红壤丘陵区的春季因正值雨季,阴雨连绵,农田作物并不缺水,一般在 7—10 月农作物特别需要水时,南方又正值

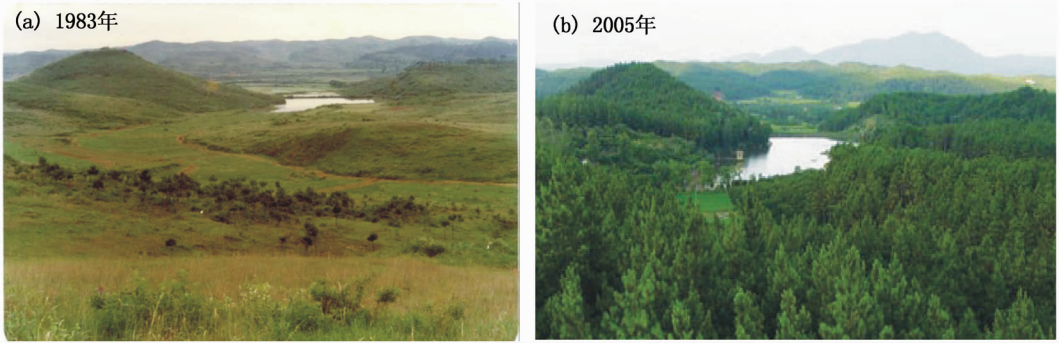


图 1 开发前后的千烟洲景观对比

Fig. 1 Landscape change of Qianyanzhou before and after exploitation

少雨的严重伏秋旱。过去不少千烟洲的开发者采取过“以短养长”的办法,但多因没有解决好伏秋旱的水源问题而受挫。千烟洲从开发治理起始就抓住了能够保证近期获得经济效益的“水”,以水为突破口。根据小地形和集雨面,在千烟洲境内修建了 22 座塘库,利用每年 4—6 月降水集中,雨量丰沛(约占全年雨量的 40% 以上)的自然特点大量蓄水。此举一下子就使全洲的蓄水量由过去的 $5.7 \times 10^4 \text{ m}^3$, 迅速增至 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$, 从根本上攻克了缺水的难关。随着水源条件的改善,农田得到整治,扩大了复种指数,农作物总产量和单产显著提高;果树及其行间的旱地作物也由于及时得到灌溉,而生长良好,迅速地获得了生态经济效益。同时,塘库由于常年有水,为发展渔业创造了条件,这也是“以水为突破口”带来的综合效益。

(2) 以柑桔为主导产品

据千烟洲红壤丘陵的土地条件看,宜发展粮食生产的土地面积有限,潜力不大。但是通过调查发现,有相当大面积可适种柑桔,而在全国果业区划中,千烟洲正处于宽皮桔的适宜种植区内。柑桔的经济收益高,栽种 3 a 后即可开始结果,第 4 年可投产,投产期可保持 30 a,一般在进入盛果期后每 hm^2 可产柑桔 $3 \times 10^4 \text{ kg}$ 以上,按平均 1.0 元/kg 计算,可收入 3×10^4 元以上;高产桔园每 hm^2 可产柑桔 $6 \times 10^4 \sim 7.5 \times 10^4 \text{ kg}$,如按平均 0.5 元/kg 计算,可收益 30 000~37 500 元。幼龄桔树在投产前行间可以种植大量作物或培育苗木等,亦能获得一定的经济效益。投产后就成了“摇钱树”并可有力地支持长期才能获得效益的林业的发展。可见,选定柑桔作为千烟洲红壤丘陵创造中期收益的果树是适宜的,最有条件列为本地区发展农村经济的主导产品。

(3) 尽量丰富短期受益的项目

中期受益的主导产品选定之后,短期收益如何安排? 在千烟洲开发治理的初期,我们的办法是充分利用桔园幼树行间的土地,种植收益快、经济收益好的花生、芝麻、西瓜、蔬菜、药材、苗木等经济作物。这样不仅当年就可获得相当的收益,而且通过中耕、除草、施肥等农事活动肥沃了土壤,改善了土壤的结构,更有利于柑桔幼树的生长发育。在安排好种植业的同时,还发展畜牧业与水产养殖业,进一步扩大了短期收益的内容。以 1985 年为例(开发后第 3 年),承包户利用柑桔幼树行间种植经济作物面积约 13.3 hm^2 , 产值达 $3 \times 10^4 \sim 4 \times 10^4$ 元,畜牧、水产等产值近 10×10^4 元,按当年千烟洲的人口计算,人均纯收入达 339 元,比开发初期人均收入提高了 1.8 倍。实现了以“短”养“中”,“中、短”结合养“长”的构想。

(4) 同步大力发展林业

即充分考虑开发者当前的利益又兼顾长远的生态和经济效益,这是使新建立的千烟洲

红壤丘陵生态系统保持稳定和可持续发展的关键。林业虽然是长期才有经济效益的产业,但近期不造林,远期则无林。为了尽快改善红壤丘陵的生态环境、涵养水源、控制水土流失保护农田和果园,达到治用目的,必须尽早造林,使近期只能收到生态效益、远期才能获得巨大经济效益的林业得到同步发展。所以,在千烟洲模式打造之初,发展中短期主导产品的同时,大力营造人工林。1984—1986年,第一期改造工程就造林 123.17 hm²,占千烟洲全部面积的 49%。

3 国家农业科技攻关与千烟洲站的稳定发展期(1990—2000年)

1988年,南方队的工作即将结束。为了把千烟洲试验点的工作继续下去,中国科学院和江西省人民政府批准建立了千烟洲站。试验站正式成立后,其开发试验与学科研究进入了持续稳定发展时期。1990年成为联合国教科文组织人与生物圈计划红壤丘陵综合开发治理国际试验示范研究站,1991年被纳入中国科学院生态系统研究网络,1994年被确定为联合国开发计划署(UNDP)援助江西“山江湖”项目的红壤丘陵区培训中心。

鉴于前期取得的成就,1990年千烟洲站成为国家区域农业综合发展试验示范区,并围绕“南方红壤丘陵综合开发治理与农业持续发展技术研究”,承担了“八五”和“九五”两期国家农业科技攻关项目。通过国家科技攻关专题研究,在原千烟洲模式基础上深化发展出了“林—果—经”、“林—牧—粮”和“水陆复合生态系统”3个子模式,同时进行了中低产果园和农田的改造及优质高效配套技术的研究。相关研究成果以《红壤丘陵生态系统恢复与农业持续发展》(第一、二集)和《资源科学》专刊的形式出版,并先后荣获“中国科学院自然科学三等奖”、“国家八五科技攻关重大科技成果奖”和“国家科技进步二等奖”。

(1) 林—牧—粮子模式

红壤丘陵“林—牧—粮”生态模式是“以林为基础、以牧为主、以粮食为稳定因素”的小流域配套生产系统,是对红壤丘陵发展草食畜牧业的适宜性、农牧结合的程度和可行性途径进行的有益探索。根据红壤丘陵特定的资源、生态、环境条件,在保证粮食生产自给并略盈余的同时,把林业、牧业与粮食生产有机地结合起来。中国南方典型红壤丘陵面积约 45×10⁴ km²,蕴藏着巨大的资源与生产潜力,该模式一经推出就被各地接受、推广,对当地的资源开发、区域经济发展、生态环境改善以及种草养畜发展草食畜牧业的建立起到了极大的促进作用。

(2) 林—果—经子模式

该模式强调在林业用地上采用空间的多层次和时间的多序列结构,使林—果—经的生产实现多层次的有机结合,使地上地下空间得到充分利用,同时通过树木、果树、经济林木种植的合理安排,在保证林木良好生长的前提下,能在短时间或不同时序上获得较高的经济效益,以此补偿林木在整个生产过程中周期长、经济效益来得慢的不足。

(3) 塘库水陆复合生态系统子模式

筑坝蓄水是综合开发治理红壤丘陵最重要的工程措施,是治理红壤丘陵生态环境的“突破口”。同时,水体及其周围陆地的组合搭配形成复合生态系统,土壤、水、热资源较优越,具有较高的生产力。水域养殖业周期短,经济效益高。充分利用红壤丘陵的牧草、饲料和饵料资源,开展鱼、畜、禽、草、果、林的综合开发和生态环境综合治理试验,对提高红壤丘陵区综合开发治理的经济效益和生态效益,推动吉泰盆地乃至整个红壤丘陵区小流域资源的开发,促进生活生态建设和农业可持续发展,都起到了十分重要的作用。

由于科技攻关紧密联系生产实际,研究成果很快被当地农民采用。仅“九五”期间,在吉泰盆地就建立了千烟洲模式示范推广点 38 处之多,推广面积达 $2.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$,直接经济效益 1450×10^4 元,推广效益为 2.02×10^8 元。鉴于“千烟洲模式”所取得的巨大成功,众多的考察团和专家到站参观、考察(图 2)。据不完全统计,先后有 30 多个国家和国际组织的专家(团)曾来千烟洲参观、访问、考察。中央电视台、凤凰卫视、江西电视台、北京电视台等新闻媒体都在一些重大专题新闻中报道过千烟洲模式。“建国 50 周年农业成就展”也展出了千烟洲试验区的成就。我国教育部门还把千烟洲开发红壤丘陵的成功经验编入国家高中地理教科书,产生了深远的社会影响。



图 2 1995 年底中国科学院院士代表团视察千烟洲,肯定了千烟洲模式
(图中左起依次为李博、孙鸿烈、刘东生、周立三、吴传钧院士及程彤站长)

Fig. 2 Scientific mission composed of 8 Academicians visited Qianyanzhou Station and gave high praise for Qianyanzhou mode in 1995 (From left to right: LI Bo, SUN Hong-lie, LIU Dong-sheng, ZHOU Li-shan, WU Chuan-jun and CHENG Tong)

4 长期生态学定位观测研究与试验站的快速发展期(2001 年—至今)

1999 年中科院进行体制改革,综考会与地理研究所合并为中国科学院地理科学与资源研究所。2001 年,该所进入中科院知识创新工程一期,及时根据学科发展趋势和国家/地方需求,对千烟洲站进行了战略性调整,将千烟洲站的学科方向调整为:研究我国中亚热带红壤丘陵生态系统恢复与重建的过程及其环境效应,以及红壤丘陵区水土资源的可持续管理。根据监测、研究、示范等三大基本任务,把千烟洲站定位于:中亚热带红壤丘陵区农林生态系统长期定位监测和基础数据积累的生态网络监测站;中亚热带红壤丘陵区生态系统恢复过程、发生机理及其生态环境效应的野外试验研究基地;中亚热带红壤丘陵区自然资源综合利用和生态环境与经济可持续发展的研究示范基地;国际合作研究、学术交流基地;地学、生态学和资源科学的人才培养基地和科普教育基地。

通过调整,千烟洲站的科研条件和人员结构得以改善和优化。依托中科院创新工程试点项目及其它一些重大科研项目,装备了价值 700 多万元的仪器设备,同时投资近 500 万元用于基础配套设施的维修和建设,研究设施及其平台保障条件得到了根本性改善。现有固定人员 9 名,其中有博士学位者 7 人,王辉民站长为从日本引进的中科院百人计划研究员。另有学术指导 2 人,回聘人员 3 人,流动人员 6 人,实验工与辅助人员 7 人,在读硕、博士研

究生 9 人,博士后 1 名,是一支专业搭配合理、年龄结构优化的监测研究队伍。

调整后的千烟洲站进入快速发展期,不仅通过生态环境的长期监测积累了大量一手数据,而且在基础研究方面取得了重要进展。

4.1 监测与数据积累

千烟洲站建立以来十分注重环境的观测与基础数据的积累,尤其是随着中科院知识创新工程的推进,各项监测工作逐渐走向规范化。按照中国生态系统研究网络(CERN)的有关规范,千烟洲试验站设有 1 个综合观测场、1 个气象观测场、5 个辅助观测场、2 个站区调查点,18 个长期采样地,积累了大量的水、土、气、生监测数据。此外,千烟洲试验站还拥有江西省、泰和县和千烟洲站三级基础地理数据集、专题地理数据集和遥感数据集以及不定期的观测和研究数据集。

4.2 主要研究进展

2001 年来,围绕“中亚热带红壤丘陵区生态系统恢复过程、发生机理及其生态环境效应”,千烟洲站申请到国家部委、地方及国际合作项目 60 余项,总经费 2 000 多万元。在研项目 18 项,总经费 901 万元,其中包括 973 专题 2 项,自然科学基金 1 项,国际合作项目 2 项。在相关项目的支持下,千烟洲站开展了大量的基础研究并取得了一定进展,特别是在亚热带生态系统结构功能以及应对气候变化的碳水循环研究中取得了重要成果。

4.2.1 亚热带针叶人工林碳循环研究

千烟洲试验站的生态系统为典型的人工恢复生态系统,其中人工针叶林在我国亚热带红壤丘陵区具有很强的代表性。千烟洲试验站对人工针叶林的碳循环特征开展了以微气象、森林碳计量以及模型模拟为主要技术手段的多尺度观测和研究。

作为我国最早利用涡度相关技术开展森林生态系统碳通量观测的试验站之一,千烟洲站首次对红壤丘陵区人工针叶林的碳收支过程进行了长期连续观测和研究。基于 2002 年以来的多年连续观测数据,研究了亚热带人工林生态系统的总生态系统生产力(GEP)、生态系统呼吸(RE)和净生态系统生产力(NEP)变化及其与气候因子的关系,初步阐明了亚热带人工林生态系统碳通量变化规律及驱动机制,揭示了生态恢复后人工林生态系统的碳收支过程及其对环境因子的响应规律,精确地测定了森林生态系统的碳蓄积能力^[5-8]。同时在不均匀下垫面通量观测方法、通量计算平均时长的确定、通量贡献区的确定等方面做了深入的探索和研究,为开展相关的长期观测提供了理论依据^[9-11]。配合涡度相关技术,利用森林计测学手段调查了群落固碳速率的年际动态及其同气候因子的关系^[12]。此外,还利用模型模拟手段,结合土壤与植被碳储量的实测数据,对千烟洲站人工林生态系统恢复与碳储量变化规律进行了深入研究,明确了植树造林对红壤区生态系统碳库的影响^[13]。此研究结果经 Nature 等国际期刊的转载,引起了国内外的广泛关注,为我国近年来通过生态恢复和林业管理减缓温室气体排放所取得的成就提供了科学依据。

4.2.2 南方红壤丘陵区退化生态系统恢复的生态效应评估

南方红壤丘陵地区生态恢复使小流域环境发生了巨大变化。千烟洲站对生态恢复后的生态效益以及功能进行了综合的调查和观测研究,包括生物多样性、气候效应、水文效应、土壤理化性质以及水土流失变化等。

利用定量群落学手段,调查分析了生态恢复后生态系统的物种组成变化及生产力变化,揭示了生态恢复对提高群落生产力和增加物种多样性的重要作用^[14-16];通过林内和林外对比观测,揭示了生态恢复和人工造林后的小气候变化,阐明了森林在调节小气候中的重要作

用,特别是在极端高温或极端干旱条件下,森林的重要调节功能^[17];通过林内降雨分配以及泥沙输出规律观测,阐述了人工林的水源涵养和保土功能,进一步证实森林在减少地表径流的作用^[18];根据对几种主要的森林群落的养分结构及降水化学的连续观测,揭示了人工林生态系统在元素积累、水分调节及养分平衡中的作用^[19];通过分析植物活体、凋落物和土壤养分含量,阐明了群落不同器官与组分中的养分关系,揭示了树木对养分的吸收、存留、归还的基本规律,并论述了造林对土壤养分状况的影响,为林地管理提供了科学依据^[20]。

4.2.3 农田生态系统对全球变化的响应机理研究

臭氧耗损所带来的地表 B 区紫外辐射(UVB)的增强是人类普遍关注的一个全球变化效应。但我国关于地表 UVB 辐射增强对农作物及农业生产的影响研究甚少。李海涛博士采用可调式自动控制系统和滤光实验方法,选取在千烟洲试验站广泛种植的农作物品种进行实验,得出了地表 UVB 辐射增强或滤减 20% 对我国南方主要水稻品种群体的生长发育性状及产量和品质基本没有显著影响的结论^[21]。上述两种试验方法避免了目前国内已有的“方波实验”可能夸大紫外辐射处理效应的弊病,所得试验结果与国内多数方波处理的实验结果不同,对于正确预测臭氧层衰竭对我国南方水稻生产的影响具有一定的指导意义和参考价值。

4.2.4 亚热带常绿阔叶林生态系统结构与物质循环过程研究

位于江西省南端赣粤交界处的九连山是千烟洲试验站的观测点之一,这里的原始林代表着亚热带地带性植被。通过国际合作,试验站对森林生态系统进行了较为全面的综合研究,包括动植物区系、群落种类组成、初级生产力、养分循环、气候及水分平衡。通过植被调查阐明了该区动植物区系特征,并建立了动植物名录;通过群落调查,分析了主要森林类型的水平与空间结构;通过树木生长测定,首次揭示了该区原始林群落的生物量、生产力结构;通过枯枝落叶归还过程以及水分输出规律研究,阐明了常绿阔叶林生态系统的养分循环功能;利用量水堰对小流域降水以及流出过程观测,阐明了天然原始林在调节水文平衡中的重要作用^[22-24]。本研究为亚热带常绿阔叶林生态系统保育及生物多样性保护提供了丰富而系统的数据支撑。

4.2.5 低产油茶林改造技术体系研究

油茶是我国特有的木本食用油料树种,也是林业建设一大优势资源,在我国南方广大丘陵山地有悠久的经营历史和良好的生产基础,为我国食用植物油产量平衡发挥了重要作用。但较长时期以来,由于各地对油茶生产的管理措施削弱,很多地方油茶林的树龄老化,品种混杂,加上粗放经营,资源没有得到很好的开发利用,造成生产力水平下降,比较经济效益较低,在很大程度上抑制了油茶作为一项特色产业的持续发展。

近年来,千烟洲站依托有关项目,通过嫁接、平衡配比施肥和修剪整形等 3 项新技术,在站区开展低产低效油茶林的改造与示范研究工作。目前,已在站区内完成 3.33 hm² 低产油茶林的高接换冠,成活率达 90% 以上,其它两项新技术的试验效果在跟踪调查中。另外,引种了油茶优良品种赣无系列 12 个优良无性系种苗栽植于千烟洲站内,拟通过试验研究从中筛选适应于千烟洲的优良油茶树品种,建立试验站油茶优良品系采穗园。

5 未来展望

全球变化是当今世界最重要的生态环境问题之一。为应对全球变化,各国不懈努力以减少二氧化碳等温室气体排放,增加碳汇潜能。因此,如何走出传统工业经济发展的“先污

染后治理”的老路成为国际社会关注的焦点。有鉴于此,2009年12月2日,国务院批准了鄱阳湖生态经济区规划,以便为江西的发展确定科学的绿色经济之路,确保鄱阳湖一湖清水不变质,同时为其他经济欠发达省区提供新的发展模式。

千烟洲站自建立之时起就一直进行着南方红壤丘陵区生态经济可持续发展的探索,具有深厚的基础。因此,必将在鄱阳湖生态经济区建设中发挥积极作用。我站依据国家和区域发展的需求和自身的特点,确立了一站四点的发展框架,即依托千烟洲,辐射赣江流域的九连山、兴国和井冈山等研究基地。我们的研究简单概括为三大科学问题、两大试验示范和一个总体目标。

三大科学问题是:①典型生态系统碳水等物质循环及其对全球变化的响应规律。通过对典型农田、森林等典型生态系统结构和功能的观测与定位研究,揭示生态系统物质循环、能量流动及其对环境变化的响应规律,阐明不同环境条件下生态系统结构变化及其与碳源/汇等生态服务功能的时空分异规律;通过野外控制试验,研究典型生态系统对全球变化的响应,阐明我国南方典型生态系统对全球变化的适应和响应机制,揭示南方红壤区对气候变化的区域响应特征。为准确评价南方典型生态系统对缓解全球变化的贡献提供依据。②生态系统服务功能的形成机制、综合评估及生态补偿机制的建立。我国南方生态系统复杂多样,服务功能各异。针对南方典型生态系统,探讨生态服务功能的形成机制及其内在相互关系;综合评估生态系统和区域尺度的生态系统服务功能,结合鄱阳湖生态经济区建设,探讨可行的生态补偿机制。③农田生态系统综合管理及面源污染的防控机制;以千烟洲站为主要依托,建立地表水和地下水污染物的动态监测体系,重点对农药、化肥等面源污染物质进行监测,研究农村污染物的运移规律、环境污染形成机理;通过强化农田生态系统的综合管理、控制污染物排放以及开展土壤修复等措施,探索绿色生态农业发展之路,为面源污染控制及治理提供切实可行的技术和方法。通过开展农民健康监测,揭示环境变化对人类健康的影响,为新农村生态文明建设服务。

两大试验示范研究:①千烟洲模式的深化与示范研究。基于以往建立的千烟洲模式,结合区域经济发展和环境保护的新需求,优化模式的组成,特别是通过对果林结构进行优化改造,提高生态经济效益,更好地服务于新农村建设和鄱阳湖生态经济区绿色农业发展的需求。②南方低效林改造、提高生态系统服务功能的试验示范研究。20世纪80年代初开展的大规模植树造林为治理我国南方严重的水土流失和生态环境改善发挥了巨大作用。但是由于当时对生态学认识的局限性及条件的限制,在生态恢复过程中营造了过多的针叶纯林,导致森林生态系统服务功能低下。通过对现有低效林进行改造,优化结构,提高生态系统的碳汇等生态服务功能,并建立南方低效林改造的技术体系。

一个最终目标:千烟洲站自1983年建立以来,在红壤丘陵区资源综合开发和小流域治理等方面已经取得了较大成绩,为本区域生态环境的综合发展起到了良好的示范作用。通过对农林生态系统物质循环规律、生态服务功能、面源污染及人为调控措施的综合影响,结合城镇、工矿企业点源污染的监测研究,通过点面结合的技术手段,探索大流域生态环境与经济可持续发展的理论与模式,为赣江流域以及鄱阳湖流域生态环境与经济可持续发展提供科技支撑。

经过20多年艰苦卓绝的努力,千烟洲站已经建设成为一个设施良好、生态类型多样的野外生态环境综合监测基地、生态实验研究基地、高等院校野外实习基地、生态农业的观光旅游和科学普及教育基地。作为一个日益开放的国际科研平台,我们热诚欢迎一切有兴趣的朋友来参观指导,也期待着与您的合作、创新。

参考文献(References):

- [1] 中国科学院南方山区综合科学考察队. 中国亚热带东部丘陵山区自然资源开发策略[M]. 北京: 科学出版社, 1989. [Integrated Scientific Survey Team of Chinese Academy of Sciences in Southern China Mountainous Region. The developing countermeasures of natural resources in the red soil hilly area of China. Beijing: Science Press, 1989.]
- [2] 中国科学院南方山区综合科学考察队. 南方山区的出路(南方山区综合科学考察总报告)[M]. 北京: 科学出版社, 1990. [Integrated Scientific Survey Team of Chinese Academy of Sciences in Southern China Mountainous Region. The Way Out of the Red Soil Hilly Area in Southern China. Beijing: Science Press, 1990.]
- [3] 中国科学院南方山区综合科学考察队. 红壤丘陵开发和治理[M]. 北京: 科学出版社, 1989. [Integrated Scientific Survey Team of Chinese Academy of Sciences in Southern China Mountainous Region. Development and Harnessing in Red Earth Hilly Area—A Case Study on Integrated Development and Harnessing in Qianyanzhou. Beijing: Science Press, 1989.]
- [4] 程彤, 李家永. 红壤丘陵生态系统恢复与农业持续发展研究[J]. 资源科学, 1998, 20(增刊): 1-9. [CHENG Tong, LI Jia-yong. Studies on ecosystem restoration and sustainable development of agriculture in red soil hilly area of China. *Resources Science*, 1998, 20(Supp 1): 1-9.]
- [5] YU Gui-rui, WEN Xue-fa, LI Qing-kang, *et al.* Seasonal patterns and environmental control of ecosystem respiration in subtropical and temperate forests in China [J]. *Science in China, Ser. D: Earth Sciences*, 2005, 48(Supp. D): 93-105.
- [6] LIU Yun-fen, SONG Xia, YU Gui-rui, *et al.* Seasonal variation of CO₂ flux and its environmental factors in evergreen coniferous plantation [J]. *Science in China, Ser. D: Earth Sciences*, 2005, 48 (Supp. D): 123-132.
- [7] WEN Xue-fa, YU Gui-rui, SUN Xiao-min, *et al.* Soil moisture effect on the temperature dependence of ecosystem respiration in a subtropical Pinus plantation of southeastern China [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 137: 166-175.
- [8] WEN Xue-fa, WANG Hui-ming, WANG Jian-lin, *et al.* Ecosystem carbon exchanges of a subtropical evergreen coniferous plantation subjected to seasonal drought, 2003—2007 [J]. *Biogeosciences*, 2010, 7: 357-369.
- [9] SONG Xia, YU Gui-rui, LIU Yun-fen, *et al.* Comparison of flux measurement by open-path and close-path eddy covariance systems [J]. *Science in China, Ser. D: Earth Sciences*, 2005, 48 (Supp 1): 74-84.
- [10] ZHU Zhi-lin, SUN Xiao-min, ZHOU Yan-lian, *et al.* Correcting method of eddy covariance fluxes over non-flat surfaces and its application in ChinaFlux [J]. *Science in China, Ser. D: Earth Sciences*, 2005, 48(Supp 1): 42-50.
- [11] 米娜, 于贵瑞, 温学发, 等. 中国通量观测网络(ChinaFLUX) 通量观测空间代表性初步研究[J]. 中国科学, 2006, 36(增刊 1): 22-33. [MI Na, YU Gui-rui, WEN Xue-fa, *et al.* Spatial representativeness for surface flux measurements with eddy covariance system in ChinaFlux. *Science in China, Ser. D: Earth Sciences*, 2006, 36(Supp 1): 22-33.]
- [12] MA Ze-qing, LIU Qi-jing, WANG Hui-min, *et al.* Observation and modeling of NPP for Pinus elliottii plantation in subtropical China [J]. *Science in China, Ser. D: Earth Sciences*, 2008, 51(7): 955-965.
- [13] Huang Mei, Ji J J, Li K R, *et al.* The ecosystem carbon accumulation after conversion of grasslands to pine plantations in subtropical red soil of South China [J]. *Tellus*, 2007, 59B: 439-448.
- [14] 胡理乐, 闫伯前, 刘琪璟, 等. 南方丘陵人工林林下植物种间关系分析[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2019-2024. [HU Li-le, YAN Bo-qian, LIU Qi-jing, *et al.* Interspecific association between understory species in a southern hilly plantation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(11): 2019-2024.]
- [15] 刘琪璟, 胡理乐, 李轩然. 小流域治理 20 年后的千烟洲植物多样性[J]. 植物生态学报, 2005, 29(5): 766-774. [LIU Qi-jing, HU Li-le, LI Xuan-ran. Plant diversity in Qianyanzhou after 20 years of small watershed treatment. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29 (5): 766-774.]
- [16] 胡理乐, 闫伯前, 刘琪璟, 等. 生态恢复后的千烟洲植物群落组成及结构特征[J]. 林业科学研究, 2006, 19(6): 807-812. [HU Li-le, YAN Bo-qian, LIU Qi-jing, ZHU Jiao-jun. Composition and structure of plant communities in Qianyanzhou, Jiangxi Province under ecological restoration. *Forest Research*, 2006, 19(6): 807-812.]
- [17] 刘允芬, 李家永, 陈永瑞, 等. 红壤丘陵区森林植被恢复的增湿效应初探[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 457-

461. [LIU Yun-fen, LI Jia-yong, CHEN Yong-rui, *et al.* The effects of forest rehabilitation on microclimate in red soil hilly area of China. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(5): 457-461.]
- [18] 陈永瑞, 林耀明, 李家永, 等. 江西千烟洲试区杉木人工林降雨过程及养分动态研[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 74-76. [CHEN Yong-rui, LIN Yao-ming, LI Jia-yong, *et al.* Rainfall process and nutrient dynamics of artificial Chinese fir plantation in Jiangxi Qianyanzhou experimental station. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(1): 74-76.]
- [19] 蔡玉林, 李飞, 李家永, 等. 红壤丘陵区人工林降水化学研究[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 99-104. [CAI Yu-lin, LI Fei, LI Jia-yong, *et al.* A study on rainfall chemistry of artificial forest in red earth hilly area. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(1): 99-104.]
- [20] 陈永瑞, 林耀明, 李家永, 等. 千烟洲试验区人工林养分循环的研究[J]. 江西科学, 2001, 19(3): 147-152. [CHEN Yong-rui, LIN Yao-ming, LI Jia-yong, *et al.* Studies on nutrient biological cycling in plantations in Qianyanzhou Experimental Area. *Jiangxi Science*, 2001, 19(3): 147-152.]
- [21] 李海涛, 董铭, 廖迎春, 等. 模拟 UVB 增强胁迫对大田水稻生长及内源激素含量的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(3): 392-397. [LI Hai-tao, DONG Ming, LIAO Ying-chun, *et al.* The effects of modulated UVB supplementation on growth, leaf chlorophyll contents and endogenesis hormone contents of rice(*Oryza sativa* L.) in field. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(3): 392-397.]
- [22] 川口英之, 李昌华, 片桐成夫, 等. 中国南部九连山常绿阔叶林的区系组成和林分结构[J]. 江西林业科技, 2005(增刊): 1-16. [Hideyuki Kawaguchi, LI Chang-hua, Shigeo Katagiri, *et al.* Floristic composition and stand structure of evergreen broad-leaved forest in Jiulianshan, southern China. *Jiangxi Forestry Science and Technology*, 2005(Supp 1): 1-16.]
- [23] 长山泰秀, 李昌华, 片桐成夫, 等. 中国南部天然常绿阔叶林的地上生物量、净初级生产力、养分分不和养分利用效率[J]. 江西林业科技, 2005(增刊): 17-24. [Yasuhide Nagayama, LI Chang-hua, Shigeo Katagiri, *et al.* Above-ground biomass, net primary production, nutrient distribution and nutrient use efficiency in natural evergreen broad-leaved forest in southern China. *Jiangxi Forestry Science and Technology*, 2005(Supp 1): 17-24.]
- [24] 片桐成夫, 李昌华, 川口英之, 等. 中国南方天然常绿阔叶林枯叶分解的养分元素变化[J]. 江西林业科技, 2005(增刊): 25-41. [Shigeo Katagiri, LI Chang-hua, Hideyuki Kawaguchi, *et al.* Changes of nutrient elements in decomposing leaf litter in a natural evergreen broad-leaved forest in southern China. *Jiangxi Forestry Science and Technology*, 2005(Supp 1): 25-41.]

Achievements and Prospective of Eco-environment Study in Red Earth Hilly Region of Southern China

WANG Hui-min, YANG Feng-ting, LI Qing-kang, MA Ze-qing, CHENG Tong
(Qianyanzhou Ecological Station, Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling,
Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Since the 1980s, researchers from Integrated Scientific Survey Team of Chinese Academy of Sciences in Southern China Mountainous Region and Qianyanzhou Ecological Station, Chinese Academy of Sciences, have done a lot of study on the comprehensive scientific investigation of natural resources, the demonstration of agricultural science and technologic development, and the application of fundamental theories. Outstanding contributions have been made to the ecological restoration and sustainable development of economy in red soil hilly regions. New progress has been made in material cycling mechanism and its responses to global climate change. Based on the main structure thread of the de-

velopment of Qianyanzhou Station, this paper reviews on the achievements and development of the eco-environment study in red earth hilly region of southern China.

Key words: red earth hilly region of southern China; integrated scientific survey; Qianyanzhou