

DOI: 10.20103/j.stxb.202408131906

朱婉菁, 王克勤, 马建刚, 赵洋毅. 西南高山峡谷区坡面水土保持型生态农业及典型模式应用. 生态学报, 2025, 45(14): - .

Zhu W J, Wang K Q, Ma J G, Zhao Y Y. Application of soil and water conservation-oriented ecological agriculture and typical models on slope in Southwest Alpine-Canyon Area of China. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(14): - .

西南高山峡谷区坡面水土保持型生态农业及典型模式应用

朱婉菁, 王克勤, 马建刚, 赵洋毅*

西南林业大学水土保持学院, 昆明 650224

摘要:坡面水土保持型生态农业是针对山区极易发生水土流失的坡耕地建立的一种新型技术体系, 是西南高山峡谷山区坡地生态农业的具体化, 能够用来指导山区生态文明建设和农业可持续发展, 对山区坡地水土流失治理具有重要意义。西南高山峡谷区位于青藏高原生态屏障区、川滇生态屏障区和长江生态区, 生态环境脆弱却又资源丰富, 少数民族众多, 坡耕地面积占比大, 水土流失严重, 不合理的农业生产方式对农业现代化发展具有较大的阻碍作用, 生态农业经济发展落后于全国平均水平, 发展坡面水土保持型生态农业即有利于控制水土流失、提高土地生产力, 保护山区生态环境, 又能推动山区的经济发展, 增加农民的收入。通过归纳总结当前西南高山峡谷区因地形、气候、水资源等差异产生的五种生态农业模式: 生态种植型、生态养殖型、农林牧复合型、观光旅游型和创新性综合开发型, 梳理五种生态农业模式的概念、具体措施和主要分布地点, 在此基础上剖析西南高山峡谷区生态农业发展存在的问题; 且通过阐述坡面水土保持型生态农业的内涵和特征, 并对“等高反坡阶”整地和“截流+集蓄+光伏灌溉”一体化坡面水土保持型生态农业两种技术措施的原理、布设措施和效益进行分析, 提出坡面水土保持型生态农业可以使山区农业得到可持续发展的同时保护生态环境, 在干旱缺水与水土流失并存的山区中具有广阔的推广条件和应用前景, 能为山区坡耕地治理水土流失提供借鉴和启示。最后提出今后应加强其它坡面水土保持型生态农业技术模式的研究, 完善坡面水土保持型生态农业模式, 为山区坡耕地水土流失治理提供重要科学支撑。

关键词:西南高山峡谷区; 坡面水土保持型生态农业; 生态农业; 生态农业模式

Application of soil and water conservation-oriented ecological agriculture and typical models on slope in Southwest Alpine-Canyon Area of China

ZHU Wanjing, WANG Keqin, MA Jiangang, ZHAO Yangyi*

College of Soil and Water Conservation, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

Abstract: The slope soil and water conservation-oriented ecological agriculture is an innovative technological framework specifically designed for the management of slope farmlands in mountainous regions that are highly susceptible to soil erosion. This approach represents the practical application of ecological agriculture in the southwest alpine canyon area, providing valuable guidance for the establishment of ecological civilization and the pursuit of sustainable agricultural development. The method plays a crucial role in addressing soil erosion challenges in these sloped landscapes. The Southwest Alpine-Canyon Area of China is situated at the convergence of the Qinghai-Tibet Plateau ecological barrier, the Sichuan-Yunnan ecological barrier, and the Yangtze River ecological zone. Although the area's ecological environment is fragile, it possesses rich natural resources and functions as an important cultural center for a variety of ethnic minority

基金项目:“十四五”国家重点研发计划课题“西南高山峡谷民族聚集区水土保持生态产业发展技术与模式”(2022YFF1302904); 云南省青年人才专项(YNWR-QNBJ-2019-215)

收稿日期:2024-08-13; **网络出版日期:**2025-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yyz301@foxmail.com

groups, extensive areas of sloped farmland, and severe soil erosion challenges. Inefficient agricultural practices significantly impede agricultural modernization in the region, and the ecological agriculture development in this area lags behind the national average. The adoption of slope water and soil conservation-oriented ecological agriculture not only facilitates soil erosion control, enhances land productivity, and preserves the mountainous environment but also stimulates regional economic growth and increases farmers' incomes. This paper synthesizes current practices by identifying five prevalent models of ecological agriculture in southwest alpine canyon areas: ecological planting, ecological breeding, agroforestry, agro-tourism, and innovative integrated development. These models arise from variations in terrain, climate, and water resources. Systematically analyze and summarize the concepts, specific practices, and primary distribution areas of five ecological agricultural models. Furthermore, it examines the challenges faced in advancing ecological agriculture within this region. Additionally, the paper delves into the concept and characteristics of slope water and soil conservation-oriented ecological agriculture while providing a comprehensive analysis of two key technical strategies: "contour reverse slope terrace" method for land preparation and "interception+collection+photovoltaic irrigation" integrated technique. It discusses their principles, deployment strategies, as well as resulting benefits. The findings suggest that slope soil and water conservation-oriented ecological agriculture not only promotes sustainable agricultural practices but also ensures environmental protection in mountainous areas where droughts are prevalent along with water scarcity issues and soil erosion concerns. This approach demonstrates significant potential for widespread application while offering practical insights for managing soil erosion on sloped farmlands. Finally, the paper concludes by recommending further research into additional technical models related to slope soil and water conservation-oriented ecological agriculture in order to refine these strategies and provide essential scientific support for managing soil erosion on mountainous slope farmlands.

Key Words: the southwest alpine canyon area; the slope soil and water conservation-oriented ecological agriculture; ecological agriculture; ecological agricultural models

西南高山峡谷区位于青藏高原生态屏障区、川滇生态屏障区和长江生态区,是中国“三区四带”的重要生态安全屏障,也是保护生态环境的重点区域,生态环境脆弱却又资源丰富^[1-2]。该区以高山峡谷地貌为主,地形起伏大、地质结构复杂、水热条件垂直变化明显^[3],土层发育不完全、土壤贫瘠,水土保持能力较弱,农业水资源利用效率低于东部发达地区,农业生产规模较小,生产方式单一,以旱作农业为主,生产效率低,农业资源开发难度大。干旱、洪涝、泥石流、滑坡等自然灾害频繁发生,经济落后^[4]。西南高山峡谷区为少数民族聚居地,不少地区仍然还在使用传统的自然农业耕种方式,坡耕地面积占比大,因不合理的农业生产方式易产生水土流失,水土流失危害严重,水土流失是制约山区农业发展的主要原因,也是山区贫困的根源^[5-7]。发展山区农业经济、保护生态环境,必须防治水土流失,保障水土资源的合理利用,维护好生态环境健康发展,才能促进农业不断发展,保障西南高山峡谷区农业可持续发展。20 世纪 80 年代以来,我国农业发展取得了巨大成就^[8],基本解决温饱难题,但在发展农业的过程中引起许多生态环境问题,只有转变农业发展方式,发展生态农业,改善生态环境,才能扎实推进生态文明建设。生态农业理念一经提出就被各方所接纳^[9],生态农业是依据循环经济和可持续发展理念,在传统农业的基础上,运用现代高新技术和科学管理手段,因地制宜,建立起生态效益、社会效益和经济效益统一的现代高效绿色农业^[10-12]。生态农业主要体现在高效率低限制的利用农业自然资源,改善自然生态环境,促进农业绿色发展,实现乡村振兴,符合中国现代农业发展要求^[13-14]。近年来,我国生态农业的建设蓬勃发展,取得了显著的成果,过去因为不合理的农业生产方式导致的种种环境恶化与污染现象得到了有效的抑制。我国是一个多山的国家,山地面积占全国总面积的 69.4%,全国约有 70%的人口居住在山区^[15],农业生产大部分在山区,发展山区生态农业至关重要。发展生态农业对于山区来说既有自身优势又存在种种制约因素和巨大挑战,现有的生态农业模式并不适合坡耕地较多的区域。坡面水土保持型生态农业是专门针对山区的一种模式,可以使山区农业得到可持续发展的同时保护生态环境,在水

土流失严重的山区发展坡面水土保持型生态农业比其它任何地区更为迫切,更为重要。

山区坡面水土保持型生态农业不仅能够保持水土,还能实现物质和能量的循环利用,其带来的生态效益、社会效益和经济效益也较为可观,发展坡面水土保持型生态农业是西南高山峡谷区生态农业发展的必由之路。搞好水土流失山区的生态农业经济建设,推广坡面水土保持型生态农业模式,才能使农业创新成果惠及更多的农民,实现新农业模式的规模化经营,提高农民生产的积极性,激发农业的活力,增加农民经济收入,促进多民族的共同繁荣和社会稳定。因此,本文将在研究西南高山峡谷区生态农业现状、模式和限制其发展的因素的基础上,对“等高反坡阶”整地和“截流+集蓄+光伏灌溉”一体化坡面水土保持型生态农业技术措施的原理、布设措施和效益进行分析,提出坡面水土保持型生态农业在干旱缺水与水土流失并存的山区中具有广阔的推广条件和应用前景,能为山区坡耕地治理水土流失提供借鉴和启示,也能为西南高山峡谷区坡耕地水土保持型生态农业的发展和研究提供依据。

1 西南高山峡谷区生态农业现状、模式及限制因素

1.1 西南高山峡谷区生态农业现状

西南高山峡谷区包括丽江市、攀枝花市、昌都市、山南市、那曲市、阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州、凉山彝族自治州、大理白族自治州、怒江傈僳族自治州和迪庆藏族自治州中的 88 个县级行政单位,地理位置为 $24^{\circ}94'38.78''$ — $33^{\circ}15'40.93''$ N, $91^{\circ}39'78.17''$ — $104^{\circ}25'47.591''$ E(图 1),总面积约为 61.1 万 km^2 ,海拔落差大,属高山垂直立体气候,全区 <2000 m 的中低山河谷带占全区总面积的 11%、 2000 — 3500 m 的中山带占全区总面积的 25%、大于 3500 m 的高山带占全区总面积的 64%,以高山带为主^[16-17]。由于受东亚、南亚季风和青藏高原隆起的影响,气候复杂多样^[18],气温日较差大,年较差小,干湿季分明,5—10 月雨量充沛,多年平均降雨量在 300 — 2300 mm 之间,拥有丰富的水、光热、动植物和土壤资源^[19]。该区农业特色鲜明,农业自然资源丰富,是重点生态环境保护区,不能使用大规模的农业发展方式,顺应国家发展战略,贯彻生态文明理念,坚持可持续发展战略发展生态农业,保护生态环境以及恢复生物多样性。

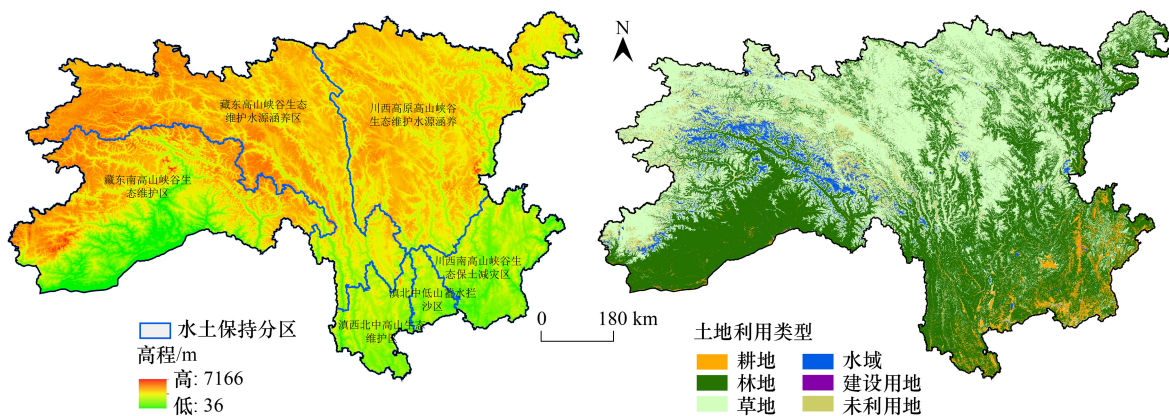


图 1 西南高山峡谷区概况图

Fig.1 Overview map of the southwest alpine canyon area

1.2 西南高山峡谷区生态农业模式分类

我国生态农业发展至今已有上百种生态农业模式,其中使用最多、技术最成熟的生态农业模式主要有十种^[20-21]。西南高山峡谷区也在生态农业的不断发展中形成特有的生态农业模式(表 1),本研究根据西南高山峡谷区的自然资源、特色产业、经济发展状况及相关文献将生态农业模式分为生态种植型、生态养殖型、农林牧复合型、观光旅游型、创新性综合开发型 5 类^[32-35]。

表 1 西南高山峡谷区生态农业模式

Table 1 Ecological agricultural models in southwest alpine canyon area

一级分类 Primary classification	二级分类 Secondary classification	措施 Measure	主要分布地 Main distribution location
生态种植模式 Ecological planting model	林草间作、林果间作、时空差间套模式、特色产业种植	林草、灌草复合种植 ^[22] 、咖啡+辣木+黄檀 ^[23] 、稻菌轮作 ^[24] 、林果种植	迪庆藏族自治州、兰坪县、攀枝花市、洱源县、昭觉县
生态养殖模式 Ecological breeding model	生态养殖模式、养殖加工模式	养殖加工、生态养殖 ^[25] 、“冷水鱼+科技”、“冷水鱼+基地”、“冷水鱼+市场” ^[26]	类乌齐县、米林县、林芝市
农林牧复合生态农业模式 Comprehensive ecological agricultural model integrating agriculture, forestry and animal husbandry	林草畜模式、畜沼果模式、种养结合大类、多元立体循环种养模式	林农种植、林下养殖、循环农业模式 ^[27] 、种养结合、绿色种养模式、“生物治理、工程治理、生态产业治理”相结合、“以湿养湿”模式 ^[28]	香格里拉市、漾濞彝族自治县、凉山彝族自治州、林芝市、美姑县
观光旅游型生态农业模式 Tourism-oriented ecological agriculture model	观光旅游型、康养模式	康养+农业 ^[29] 、观光农业 ^[30] 、开心农场	越西县、攀枝花、巍山彝族回族自治县、小金县、福贡县、道孚县
创新性综合开发模式 Innovative integrated development model	合作模式、订单认养模式、生态园区综合体模式	合作社+村党总支+农户+基地、龙头企业+村支部+合作社+农户、基地+专合社+农户、订单认养、畜禽+沼气+芒果+乡村旅游 ^[31]	越西县、永胜县、会理县、华坪县、会东县、美姑县、朗县、洱源县、冕宁县、华坪县、甘孜县、昌都市

1.2.1 生态种植模式

生态种植是指以保护生态环境为前提,遵循生态学、生态经济学原理,将传统的耕种方式与现代科学技术结合,取得最大的生态经济效益的生态农业模式^[36]。西南高山峡谷区主要有林草间作^[37]、林果间作、林药间作、时空差间套、特色产业种植和作物间套作^[38]等模式。

兰坪县位于“三江并流”的核心地带,生物资源丰富,依托其资源优势实施特色产业种植模式^[39],在澜沧江干热河谷地带和部分符合种植环境的乡镇集中连片种植花椒;在山区、半山区发展中药材种植,培育绿色支柱产业。福贡县曾经是深度贫困县,2000 年以来依据当地特色,结合退耕还林还草政策大力种植特色农业,使群众脱贫致富,生态效益和经济效益共同发展^[40]。洱源县推行“农业龙头企业+蒜农+银行扶贫”的产业规划模式^[41],助推农户种植,带动产业发展,使农民致富增收。永胜县森林覆盖率高达 63%,野生食用菌资源丰富,适合建立林下仿生种植园,发展林下食用菌经济产业,将生态资源转换成经济发展资源,当地种采植农户人均收入超过 2000 元^[42]。美姑县,近年来大力推广“豆类+玉米+首子”带状复合种植模式,复合立体种植模式实验田地平均径流量比单模式种植大约能够减少 20%,年泥沙损失量大约减少了 40%,具有较好的保水保土能力^[43]。

1.2.2 生态养殖模式

生态养殖^[44]是一种以生态系统为基础的养殖模式,它的目标是通过最大限度地模拟自然环境,建立一个良好的生态平衡,实现养殖业的可持续发展。生态养殖更加注重生态系统的健康和保护,追求资源的高效利用和对环境的最小干扰,这种模式下所饲养的动物没有污染、绿色健康,对人体健康无害。西南高山峡谷区内有大面积的草地,适宜发展畜牧业,在条件适宜的地区进行规模化、专业化的畜牧业养殖。

类乌齐县平均海拔 4500 m 左右,牦牛产业是主导产业,打造“种草-养畜-加工-销售”的种养加工模式,倡导充分利用土地空间,房屋四周集中连片种植饲料,建立牦牛育肥基地,科学养殖、精细加工,扩大销售规模(图 2)。昌都市采用种养结合模式建立高效奶牛养殖场,养殖场饲料来源于当地,可以带动周边农户种植饲草料,建立奶牛养殖场,进行乳制品加工,增加就业岗位,使农牧民群众直接受益。

1.2.3 农林牧复合生态农业模式

农林牧复合生态农业模式是指两个或两个以上产业或组分的复合农业生产模式,即林草畜模式、畜沼果

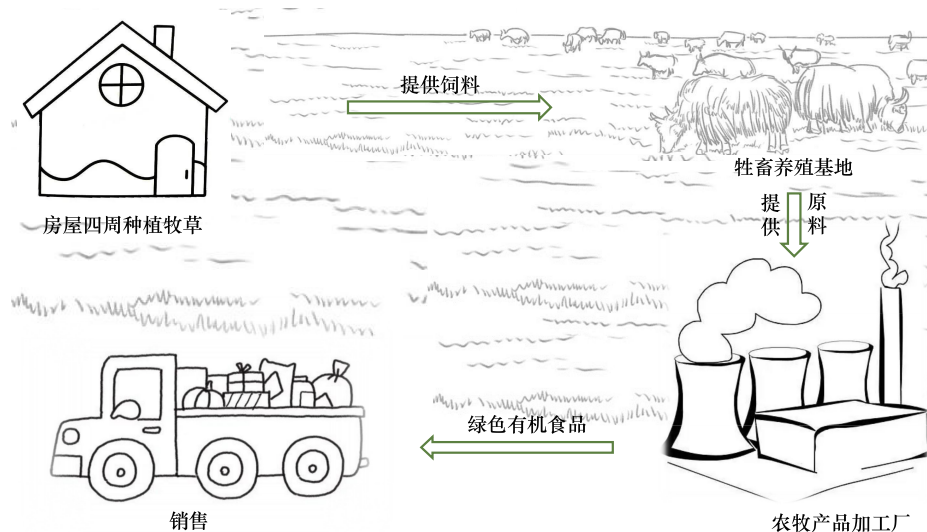


图2 类乌齐县生态养殖示意图

Fig.2 Schematic of ecological breeding in Leiwuqi County

模式、种养结合模式、种植修复模式和多元立体循环种养模式等。

香格里拉市基于当地的气候和林业资源,大力发展林下养殖业,林下养鸡,达到“林、草、鸡”有机平衡和统一,发展特色产业,实现农林资源优势互补,有效带动种植业和养殖业融合发展,增加经济效益,维护当地生态平衡。中国的大部分湖泊处于富营养化状态^[45],洱源县为了保护洱海,积极探索建立“以湿养湿”的湿地“自养”模式,通过种植海菜花、水果莲子和莲藕等农产品,吸收富营养物质氮磷钾,净化水质,恢复湿地的生态功能;农民种植海菜花每年每公顷水田经济收入可达到5万元以上,带动农民共同致富^[28]。

1.2.4 观光旅游型生态农业模式

随着人们生活水平的不断提高,越来越多的人开始追求精神需求,希望享受田园风光,回归自然,而观光旅游型生态农业模式就是将生态农业建设和自然文化资源结合在一起的一种新兴的发展模式,可以利用此模式发展当地经济,增加就业岗位和农民的收入^[46](图3)。西南高山峡谷区是多民族聚居的地区,具有独特的风景,拥有各种各样的民族文化特色,旅游资源丰富。

丽江市古城区金龙村居住纳西族、白族和傈僳族等九个民族,当地充分发挥民族特色,将房屋刷成九种颜色,种植九种颜色的玫瑰,建设玫瑰花微型景观,打造“九色玫瑰小镇”,共建玫瑰庄园,将当地旅游资源与玫

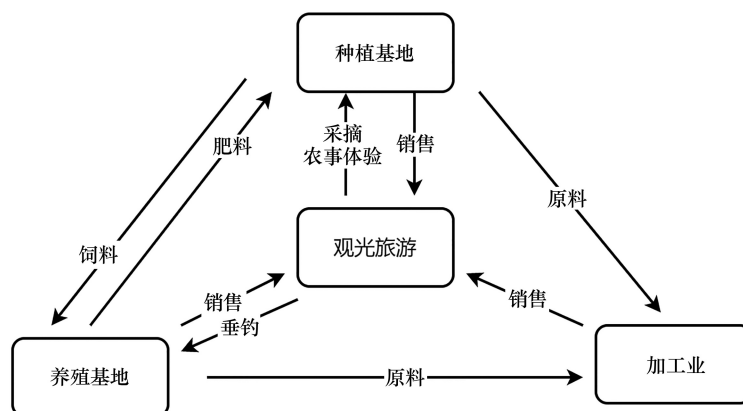


图3 观光旅游型生态农业示意图

Fig.3 Schematic of agro-tourism ecological agriculture

瑰产业相结合,打造观光农业带动旅游业的发展,优化地方产业,促进地方经济的持续发展^[30]。

1.2.5 创新性综合开发模式

创新性综合开发模式包括生态园区综合体模式、合作模式和订单认养模式等新型的生态农业模式。

订单认养农业模式是消费者通过提前支付费用,认养土地、农作物这类生产资料,到成熟季获得相应的新鲜、绿色、有机的农产品^[47]。认养农业通过集中优势资源,提高农业生产效率,增加农民收入。

生态园区综合体模式^[48],是集现代农业、休闲旅游、田园社区为一体的特色小镇和乡村综合发展模式,能够实现中国乡村现代化、社会经济全面发展的一种可持续性模式。华坪县是生态园区综合体的代表县,推广“畜禽+沼气+芒果+乡村旅游”的有机循环模式,在全县扩大芒果种植面积,推广光伏滴灌,培育出优良品种,组织技术人员开展种植培训,增加产量,提升芒果品质,促进有机晚熟芒果产业健康快速发展^[31]。

1.3 制约西南高山峡谷区生态农业发展的因素分析

当前在西南高山峡谷区蓬勃发展的生态种植型、生态养殖型、农林牧复合型、观光旅游型和创新性综合开发型生态农业五种典型模式大多来源于国内或国外其他地区已有的成功经验,大部分模式应用地点分布在平坝地,不适用于坡度较陡的山地,也不适用于水土流失严重的区域。西南高山峡谷区现代产业发展滞后,经济水平无法与东部地区相比,农业生产大部分分布在山区,农业种植导致水土流失严重。从西南高山峡谷区恶劣的自然条件及生态农业发展现状可以看出,该区发展生态农业存在一些制约因素,大部分的生态农业模式不适用于干旱缺水与水土流失并存的山区。影响和制约西南高山峡谷区生态农业发展的主要原因表现在以下几个方面。

1.3.1 生态环境脆弱,水土流失现象严重,农业生产条件差

西南高山峡谷区位于生态环境脆弱带,地貌地形复杂,山高谷深,海拔跨度大,成土缓慢,植被恢复困难,自我调节能力差^[49—51]。耕地数量少、质量差且分布破碎,突出的人地矛盾导致农民陡坡耕种、滥砍滥伐,造成水土流失,土壤肥力下降,土地退化^[52]。降水分布不均,水土资源开发利用难度大,农作物生长条件差,产量低,适宜种植的作物种类少。

1.3.2 农业基础设施薄弱,农产品竞争力差

西南高山峡谷区经济欠发达,资金不足,无法持续改善交通、水利、通信和物流等基础设施。此外,该区地处青藏高原,基础设施投入大、困难多、效益差,难以引进社会资本^[53]。西南高山峡谷区是少数民族聚集贫困区,农业生产结构传统单一,许多山区人民至今还是传统的种植养殖生产方式,生产效率低,效益不高,基本上属于自给自足式发展,农业生产规模较小、科技含量低、产业化程度低,所生产出的农产品质量低、品种单一,不能适应市场日益增长的需求^[54]。

1.3.3 交通不发达,劳动者数量少且文化水平低

西南高山峡谷区山路崎岖、弯道众多,道路密度低,路况差,影响农产品的运输和销售。西南高山峡谷区受资金、意识、师资力量等多重因素的影响,贫困人口多,普遍受教育程度低,劳动整体素质不高,对生态农业的认识不足,为追求短期效益过度开垦、放牧,破坏生态环境。另外,劳动力流失,农业技术人员缺少也是限制生态农业发展的原因^[55]。

1.3.4 缺乏对山区生态农业发展的政策扶持和有效激励机制

目前政府对生态农业发展资金投入不够,经济政策向山区倾斜不够,已有的政策较为分散,可执行性不强,至今尚缺少一套有利于山区农业开发的比较完整的配套政策^[56]。一些相关部门管理混乱,建设生态农业进展不大。只有从政策制度建设方面着手,才有可能使生态农业走向绿色可持续发展道路^[57]。

2 坡面水土保持型生态农业的内涵和特征

2.1 内涵

生态农业源于传统农业,具有鲜明的中国特色,是中国数千年农耕文明的重要载体^[21]。生态农业是在发

展农业生产中,既要充分利用水土资源,又要保护生态环境,使农业走上持续、稳定、协调的发展道路^[58]。在水土流失区建立生态农业,既有利于控制水土流失、提高土地生产力,促进山区生态环境的保护和恢复,又能推动山区的经济发展,增加农民的收入。

高山峡谷区坡面水土保持型生态农业的主要任务是保持水土,而与一般的生态农业内涵不同,它即包含一般生态农业的具体内容,又包含着改善环境、建设良性循环的生态经济系统的内容,是在生态农业思想指导下,使生态农业体系与水土保持综合防护体系建设的有机结合与统一^[59-60]。坡面水土保持型生态农业是针对山区坡耕地水土流失,是用来指导山区农业及经济可持续发展的科学模式,是山区坡地生态农业的具体化。坡面水土保持型生态农业就是以水土保持为主要手段,强化降水就地拦蓄入渗,合理利用水土资源,以恢复植被、建设基本农田、发展经济林为主导措施,实现生态农业经济良性循环与可持续发展,形成高效的农业生产系统,达到生态效益、社会效益和经济效益的有机统一^[61-63]。在山区发展生态农业具有较大优势,在水土流失区发展坡面水土保持型生态农业既有利于控制水土流失、提高土地生产力,促进山区生态环境的保护和恢复,又能推动山区的经济发展,增加农民的收入。与一般的生态农业相比,坡面水土保持型生态农业具有更注重水土资源的保护,防治水土流失,改善生态和生物生存环境,同时能够提供安全、健康、优质的农产品。

2.2 特征

坡面水土保持型生态农业具有四大特征:第一,保持水土;核心是防治水土流失,提高土地生产力,增加粮食作物产量,增加农民经济收入^[64]。第二,应用对象是山区坡地;特别是水土流失严重的山区坡耕地,山区地形复杂,水土流失现象严重,会降低山区农作物的数量与质量。第三,操作方法简单便捷;因应用地点位于山区,只有简单便捷的方式方法才能在山区推广应用。第四,目标是生态效益、经济效益和社会效益的有机统一;即通过水土保持型生态农业促进山区经济发展和人民物质文化生活水平的提高。

因此,坡面水土保持型生态农业具有三项基本任务,一是防治水土流失,改善生存环境,净化、绿化、美化环境,形成优越的生产条件和生活条件;二是高效率地利用水土资源,增加农作物产量,使农民生活富裕,实现农业现代化与可持续发展;三是提高劳动力素质,使人类能够自觉地适应和改造自然^[65]。

3 典型坡面水土保持型生态农业技术模式

坡面水土保持型生态农业主要是针对山区坡耕地的一种水源涵养农业技术模式,以防治土壤侵蚀保护水土资源为重点,治理改善生态环境的同时进行农业生产,将治理与开发融为一体,增加经济收入。西南高山峡谷区是生态环境脆弱与多民族聚居耦合的山区,坡耕地众多,干湿季分明,降水时空分布不平衡,面临着严重的土壤侵蚀问题,全区水力侵蚀面积高达 56.66 万 km²,占全区总面积的 92%^[16]。现有的西南山区农业耕种水土保持模式相对单一,不能够很好的保持水土资源,与生态农业的结合不够全面。为了发展西南山区的农业,治理山区坡耕地水土流失,要充分利用现有资源,探索适合西南山区生态农业发展的方式,总结探究适合水土流失严重的山区生态农业发展的技术措施,发展山区坡面水土保持型生态农业,改善山区的生态环境和增加经济收入。

3.1 “等高反坡阶”整地技术措施

等高反坡阶是人为干预的一种微地形整地措施;是在坡面上,沿等高线自上而下里切外垫,修建成坡度为 15°,宽 1.5 m,反坡 5°里低外高的台面(图 4)。等高反坡阶可以纵向分割原坡面,缩小原坡面地表径流汇水面积,调节地表径流,拦蓄降水,改善土壤水分和养分条件,保墒保水,减少径流泥沙产生^[66-70]。等高反坡阶在降雨时通过改变微地形对地表径流进行再分配;当降雨较小时,产生的地表径流和泥沙量也少,等高反坡阶可以将全部径流和泥沙拦蓄在阶面上部的土壤内;当降雨较大时,形成的地表径流量大于等高反坡阶上部土壤的拦蓄量及入渗量,坡面地表径流经过等高反坡阶后流出阶面,地表径流流速降低,且产生的泥沙量大部分被拦截在等高反坡阶内提高水土资源的利用率,改善坡耕地土壤肥力状况^[71]。等高反坡阶整地措施对降雨充沛的南方红壤地区更有效果^[72]。

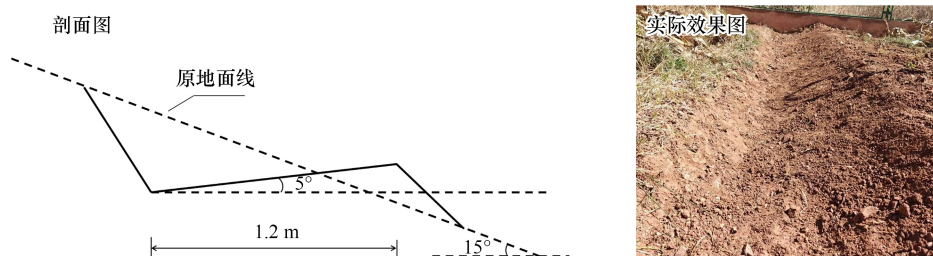


图4 等高反坡阶示意图

Fig.4 Schematic of contour reverse slope terrace

华锦欣等研究表明,等高反坡阶对弃耕荒坡地植物演替有正向作用,草本植物的丰富度指数、多样性指数和均匀度指数均大于原状坡地^[73]。李学峰^[74]等研究表明,等高反坡阶可有效促进植物生长,提高云南松林下植被层及土壤层碳储量的积累。前人学者^[75—78]研究表明,等高反坡阶可以提高土壤的水源涵养能力,具有较好的减流减沙效益,且减流效益小于减沙效益,平均可削减地表径流 65.3%、减少泥沙流失 80.7%;对坡耕地氮、磷流失也具有的削减作用,可以减少氮流失 68.75%,减少磷流失 82.16%。等高反坡阶整地措施可以减少土壤的蒸发量,增加农作物的蒸腾量,提高土壤水分含量,促进农作物的生长^[79];还可以改善土壤的物理现状,提高土壤中粉黏粒的含量,提高土壤酶活性,改良土壤肥力增加玉米产量,且玉米增产效果随着整地年限的增加而增加^[80]。

等高反坡阶是一种保护性耕作措施,与其他的生物措施、耕种措施和工程措施相比,该措施对坡耕地不但具有良好的水土保持效果,而且具有环保、操作简单便捷、工程量小、占用耕地面积少和能够增加农作物产量等优点,可以作为一种在西南高山峡谷区坡耕地推广的坡面水土保持型生态农业措施,具有广阔的推广条件和应用前景。

3.2 “截流+集蓄+光伏灌溉”一体化技术措施

“截流+集蓄+光伏灌溉”一体化技术措施是在“等高反坡阶”整地技术措施的基础上进行改进,该技术措施是由集水区、蓄水设备和光伏灌溉水分利用区三个不同的区组成具有一定的面积(100—1000 m²)^[81]。兰坪县和云龙县位于云南的西北部,坡耕地水土流失现象严重,对当地农民生产生活造成严重的影响,在兰坪县七联官坪小流域和云龙县长新乡南塘箐小流域的坡耕地建立了“截流+集蓄+光伏灌溉”一体化技术措施进行研究(图5)。“截流+集蓄+光伏灌溉”一体化技术措施是在坡耕地修建等高反坡台阶、导流槽、沉砂池和水窖(20—50 m³)等工程建筑;采用自然坡面为集水区,顺坡每间隔 5—10 m 布设一道反坡阶,反坡阶整地截流,导流槽集蓄,沉砂池沉淀,水窖收集,光伏太阳能板智能调节节水灌溉。能够有效拦截雨季地表径流,收集地表径流,在干旱缺水时将水窖中的水通过太阳能光伏抽取,将水送入喷灌带中,进行农田节水灌溉,解决旱季缺水的问题,促进农作物的增收,增强农作系统抵御自然灾害的能力^[82]。在不改变当地农民传统顺坡耕作习惯的同时,通过完善的“截流+集蓄+光伏灌溉”一体化技术措施减少泥沙的产生,有效防治水土流失,提高水肥的利用效率,增加农作物产量。

据前人学者^[83—84]在昆明市松华坝水源区迤者小流域山区实施微区域集水系统技术实践研究表明,该技术措施在集中降雨过后,能够将 80% 以上的地表径流转化为土壤水分,而无措施的自然坡面降雨转化率只有 22%,对降雨进行时空上的再分配,最大限度截蓄利用自然降水,增强坡耕地的水源涵养能力,防治水土流失,减轻农业面源污染,且每年每公顷微区域集水系统可以产生近 10 万元的收益。“截流+集蓄+光伏灌溉”一体化技术措施使用可再生清洁能源——太阳能,成本低且节能环保,安装简单便捷易移动,该技术体系已在云南省各州市成功进行推广,共计推广面积 400 余万亩,约占云南省坡耕地总面积的 7%,应用环境经济评价的理论方法计算相关技术措施在推广应用期间所减少的水土流失直接经济损失约 3.44 亿元。综上所述“截流+集蓄+光伏灌溉”一体化技术也是西南高山峡谷区防治水土流失、提高坡耕地持续生产力和提高农民收益的一

项坡面水土保持型生态农业措施,具有广阔的应用前景。

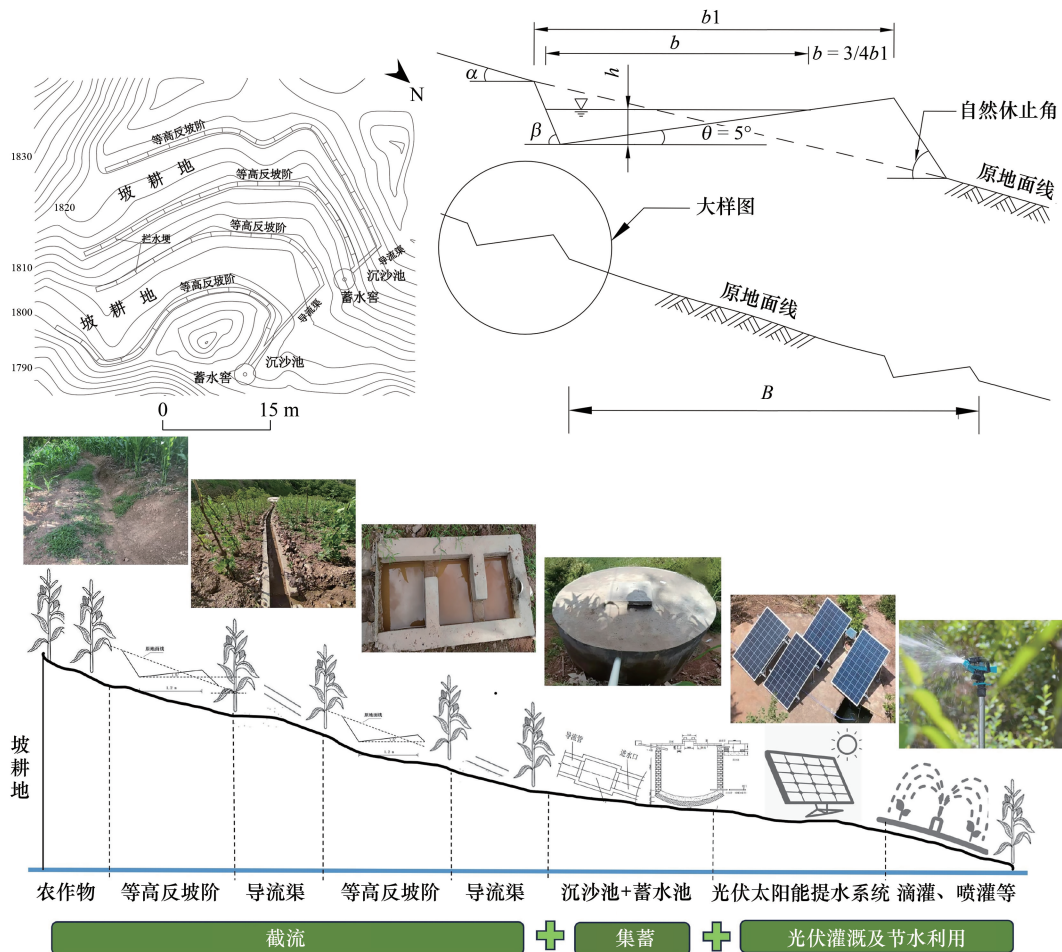


图5 云龙县坡耕地“截流+集蓄+光伏灌溉”一体化技术措施布设图

Fig.5 Layout map of the “interception+collection+photovoltaic irrigation” integrated technique on slope farmland in Yunlong County

3.3 坡面水土保持型生态农业发展建议

第一是提高农民对坡耕地开展水土保持工作重要性的认识,利用各种传播工具,大力进行坡面水土保持型生态农业的宣传,转变农民传统重产量轻环境的思想,合理利用自然资源开展保水保土的农业生产,使水土保持的概念深入人心。第二是培育新型农业经营主体,提高劳动者素质,地方政府部门应组织专业技术人员在乡下免费开展坡面水土保持型生态农业技术培训班,提高农民的知识和技术,培养农民具有独立开展实施的能力,提升农产品的质量。第三是政府部门应发挥引导作用,应结合山区实际情况,做好规划布局,引导农民摒弃传统的小农思想,并搭建各个企业单位之间交流沟通合作的平台、建立信息共享机制、落实各项惠农政策,对山区进行有针对性农业的补贴,加大资金支持,为农民修建导流渠和水窖等硬化设施,提供良好的基础建筑设施,并且制定完善生态环境保护、农业资源利用和农产品补偿政策奖励机制,调动群众发展生态农业的积极性,提高坡面水土保持型生态农业模式的推广。

4 小结

西南高山峡谷区受地形和不合理的人为耕种方式等的影响,山区坡面水土流失问题比较严重,生态农业的发展远远落后于全国平均水平;坡面水土保持型生态农业是针对山区极易发生水土流失的坡耕地建立的一种新型技术体系,发展坡面水土保持型生态农业即有利于控制坡面水土流失,保护山区生态环境,又能推动山

区的经济发展,增加农民的收入。本文通过对西南高山峡谷区生态农业模式进行分类总结,分析制约该区生态农业发展的因素,发展山区农业最主要的措施是防治水土流失,加强西南高山峡谷区水土资源的利用率;通过梳理坡面水土保持型生态农业的内涵和特征,分析“等高反坡阶”整地和“截流+集蓄+光伏灌溉”一体化两种坡面水土保持型生态农业技术措施,提出两种技术措施可以改善坡耕地种植带来的土壤侵蚀问题,能够高效率利用水土资源,解决坡面土壤退化的问题,增加农作物产量,修复生态系统,并且具有工程量小、占用耕地面积少,施工简单,操作便捷等优点,在山区农作物种植、抗旱保苗和特色农业发展中发挥重要的作用,是一类适宜在西南高山峡谷区发展的坡面水土保持型生态农业技术,具有广阔的应用推广条件和前景。未来应在西南高山峡谷区农村推广应用“等高反坡阶”整地和“截流+集蓄+光伏灌溉”一体化技术措施,调整产业结构,使农业创新成果惠及更多的农民,促进山区水土保持型生态农业持续发展。此外,还应加强开发推广其他的水土保持型农业技术措施:坡地生态种植结合“等高反坡阶+植物篱”径流拦截阻控生态农业关键技术、坡地生态种植结合“截流+集蓄”微区域集水生态农业关键技术和农林牧复合生态农业融合蓄水保土及秸秆还田措施的坡地土水肥协同的地力提升生态农业关键技术,开展长时间、大尺度和多因素的坡面水土保持型生态农业技术措施的综合研究与示范推广,探索出一条治理山区坡耕地水土流失的道路。

参考文献 (References):

- [1] 周金星, 关颖慧, 汪亚峰, 秦伟, 何丙辉, 王克勤, 吴秀芹, 万龙, 丁亚丽. 西南高山峡谷区水土流失综合防治技术与示范. 生态学报, 2024, 44(18): 7937-7943.
- [2] 赖金林, 齐实, 廖瑞恩, 崔冉冉, 李鹏, 唐颖. 2000—2019 年西南高山峡谷区植被变化对气候变化和人类活动的响应. 农业工程学报, 2023, 39(14): 155-163.
- [3] 张闯娟. 西南高山峡谷区生物多样性时空分布格局及环境变化影响评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
- [4] 罗雁, 陈良正, 张思竹. 云南山区生态农业发展思路与对策研究. 西南农业学报, 2010, 23(6): 2137-2142.
- [5] 杨子生, 刘彦随, 卢艳霞. 山区水土流失防治与土地资源持续利用关系探讨. 资源科学, 2005, 27(6): 146-150.
- [6] 杨子生, 贺一梅. 中国西南边疆山区耕地水土流失研究——以云南省为例. 水土保持研究, 2009, 16(1): 1-7.
- [7] 黄柔, 吴秀芹, 石婕妤, 李旭, 倪朦朦, 刘亚楠. 西南高山峡谷区水土保持技术与生态产业协调发展定量研究——以云南省永胜县为例. 生态学报, 2024, 44(21): 9924-9934.
- [8] 刘旭, 李文华, 赵春江, 闵庆文, 杨信廷, 刘某承. 面向 2050 年我国现代智慧生态农业发展战略研究. 中国工程科学, 2022, 24(1): 38-45.
- [9] Frison E. From uniformity to diversity: a paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems. Brussels: IPES-Food, 2016.
- [10] 宋晓梅, 裴会芳. 扬州市生态农业发展评价及预测研究. 中国农业资源与区划, 2018, 39(10): 229-235.
- [11] 谭明交, 冯伟林. 中国生态农业发展的理论探析与启示. 区域经济评论, 2019(1): 137-142.
- [12] 白贺兰, 乔德华, 张东伟, 王建连, 王志伟. 甘南生态农业现状与高质量发展对策. 农业经济, 2024(5): 38-40.
- [13] 巩前文, 严耕. 中国生态农业发展的进展、问题与展望. 现代经济探讨, 2015(9): 63-67.
- [14] Niggli U, Wang-Müller Q, Willer H, Fuchs J. Innovation in agroecological and organic farming systems. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29(3): 423-430.
- [15] 翁伯琦, 罗旭辉, 应朝阳. 山地水土流失防控应与流域循环农业开发联动发展——“水土保持技术集成创新与乡村循环农业转型升级”学术研讨会综述. 福建农业科技, 2015(9): 85-88.
- [16] 丁琳, 黄婷婷, 秦伟, 周金星. 西南高山峡谷区土壤侵蚀空间分异特征. 泥沙研究, 2023, 48(6): 51-58, 66.
- [17] 赖金林, 齐实, 崔冉冉, 廖瑞恩, 唐颖, 李鹏. 西南高山峡谷区植被变化及影响因素分析. 环境科学, 2023, 44(12): 6833-6846.
- [18] 刘洋. 纵向岭谷区山地气候时空变化及其生态效应[D]. 西双版纳: 中国科学院研究生院, 2009.
- [19] Lai J L, Zhao T H, Qi S. Spatiotemporal variation in vegetation and its driving mechanisms in the southwest alpine canyon area of China. Forests, 2023, 14(12): 2357.
- [20] 胡涛, 齐晔, 孙鸿良. 中国生态农业四十年: 回顾与展望——纪念生态农业理念倡导者马世骏先生逝世 30 周年. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(12): 2107-2115.
- [21] 赵桂慎. 中国生态农业现代化: 内涵、任务与路径. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(8): 1171-1177.
- [22] 鄢武先, 邓东周, 余凌帆, 张伟, 武碧先, 郭祥兴, 刘屈原. 川西北地区沙化土地治理有关技术问题探讨——以川西北防沙治沙试点示范工程为例. 四川林业科技, 2015, 36(3): 62-68.

- [23] 刘胜林, 陈显波. 攀枝花市咖啡产业发展优势与策略研究. 安徽农业科学, 2015, 43(23): 320-322.
- [24] 罗喜秀. 稻菌(菇)模式生态足迹和经济效益评估[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [25] 杨树晶. 阿坝州牦牛标准化养殖模式探索. 畜牧兽医杂志, 2022, 41(5): 151-152, 157.
- [26] 聂虎子, 尹立鹏. 高原渔业集装箱设施养殖试验研究. 现代农业装备, 2020, 41(2): 59-63.
- [27] 张伟亮, 杨文燕, 丁一民, 赵丽芳. 大理市发展生态循环农业保护洱海的思考. 云南农业, 2016(5): 12-14.
- [28] 蒋诗怡, 毛佩强, 缪伟, 杨正龙, 杨春冰, 刘建文, 钟邦耀, 王林霞. 人工湿地的可持续发展模式研究——以洱源县海菜花湿地为例. 绿色科技, 2022, 24(18): 91-96.
- [29] 乔燕艳, 贾翔. 微观视角看康养: 特色鲜明-后劲长远. 四川省情, 2019, (12): 17-21.
- [30] 李章虎. 丽江玫瑰小镇田园综合体项目模式研究[D]. 昆明: 云南大学, 2020.
- [31] 李显伟. 华坪县芒果产业农企利益联结机制研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2023.
- [32] 冯芸, 陈幼芳. 西南少数民族山区生态农业产业化的模式选择及实施对策——以云南怒江州为例. 经济问题探索, 2009(7): 162-166.
- [33] 梁丹丹. 西南山区生态农业发展模式研究. 农业经济, 2014(9): 20-22.
- [34] 张丽华. 云南石林县生态农业发展问题研究. 中国林业经济, 2020(6): 19-21.
- [35] 王曙, 诸云强, 钱朗, 宋佳, 袁文. 中国农业生态文明模式空间分布数据集(2018—2020). 全球变化数据学报(中英文), 2021, 5(2): 181-188, 300-307.
- [36] Li P F, Liu J, Saleem M, Liu M. Editorial: Soil microorganisms under ecological planting. *Frontiers in Microbiology*, 2023, 14: 1227230.
- [37] 陈磊, 熊康宁, 汤小朋. 林草间作系统研究概况. 世界林业研究, 2019, 32(6): 25-30.
- [38] Li X F, Wang Z G, Bao X G, Sun J H, Yang S C, Wang P, Wang C B, Wu J P, Liu X R, Tian X L, Wang Y, Li J P, Wang Y, Xia H Y, Mei P P, Wang X F, Zhao J H, Yu R P, Zhang W P, Che Z X, Gui L G, Callaway R M, Tilman D, Li L. Long-term increased grain yield and soil fertility from intercropping. *Nature Sustainability*, 2021, 4: 943-950.
- [39] 陈春艳, 廖望科, 周维佳. 滇西民族贫困地区特色农业产业转型升级研究——基于兰坪县的调研. 经济研究导刊, 2019(22): 18-19.
- [40] 王江全. 浅析福贡县高原特色生态农业的发展现状与对策. 农民致富之友, 2014(8): 34-34, 35.
- [41] 李莲, 李秀英. 洱源县发展高原早熟大蒜助推农民增收. 农民致富之友, 2015(4): 46.
- [42] 宁加朝. 永胜县食用菌产业现状与发展对策. 现代农村科技, 2020(9): 103-104.
- [43] 张玲玲. 建平县坡耕地复合农业技术水土保持效应研究. 黑龙江水利科技, 2021, 49(1): 105-107.
- [44] 陈岩锋, 谢喜平. 我国畜禽生态养殖现状与发展对策. 家畜生态学报, 2008, 29(5): 110-112.
- [45] Qin B Q, Gao G, Zhu G W, Zhang Y L, Song Y Z, Tang X M, Xu H, Deng J M. Lake eutrophication and its ecosystem response. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(9): 961-970.
- [46] 李金才, 张士功, 邱建军, 任天志. 我国生态农业模式分类研究. 中国生态农业学报, 2008, 16(5): 1275-1278.
- [47] 梁丹, 黄萍. 我国“互联网+认养农业”发展现状及策略. 南方农业, 2022, 16(7): 18-21, 25.
- [48] 吴屹豪, 刘阳, 高璟. 基于活态遗产保护的田园综合体生态构建路径——以云南景迈山古茶林文化景观申遗示范区为例. 中国园林, 2023, 39(12): 67-73.
- [49] Wang J S, Zhang X Z, Chen B X, Shi P L, Zhang J L, Shen Z X, Tao J, Wu J S. Causes and restoration of degraded alpine grassland in northern Tibet. *Journal of Resources and Ecology*, 2013, 4(1): 43-49.
- [50] 高树全, 蒋良文, 牟元存, 李星, 王树栋, 赵思为, 王光权, 尹小康. 西南复杂艰险山区铁路隧道超前地质预报技术. 现代隧道技术, 2024, 61(2): 52-59.
- [51] 齐芳, 丁建林, 崔嘉琪, 蒲光兰, 向双, 吴彦, 刘庆. 西南生态脆弱区重大建设工程渣场的生态修复技术和策略. 应用与环境生物学报, 2024, 30(4): 848-860.
- [52] Guo F, Jiang G H, Yuan D X, Polk J S. Evolution of major environmental geological problems in Karst areas of Southwestern China. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 69(7): 2427-2435.
- [53] 丁晓良. 西南少数民族贫困山区发展支柱产业的组织形式研究. 系统工程理论与实践, 1994, (10): 49-52.
- [54] 许察金. 川西南生态特色农业差异化发展研究. 重庆行政: 公共论坛, 2015, 16(1): 80-82.
- [55] 景晓卫, 林正雨, 李晓. 四川藏区生态农业发展对策研究. 农业科技管理, 2017, 36(2): 7-10.
- [56] 彭泽军. 发展生态产业是云南藏区的必然选择. 市场周刊, 2019, (12): 69-71.
- [57] 骆世明. 构建我国农业生态转型的政策法规体系. 生态学报, 2015, 35(6): 2020-2027.
- [58] 杨桂红, 沈英浩. 略论水土保持型生态农业问题. 中国科技信息, 2007(13): 59-60.
- [59] 高尔维. 试论水土保持型生态农业. 中国水土保持, 1995, (6): 40-43.
- [60] 蔡昆争, 牟子平, 陈荣均. 水土保持型生态农业模式分析. 水土保持研究, 2000, 7(3): 190-193.
- [61] 刘平, 吴志峰, 李定强, 程炯. 石马河流域水土保持型生态农业体系建设及效益分析. 农业现代化研究, 2004, 25(2): 124-126.

- [62] 卢喜平, 史东梅. 坡地水土保持型生态农业体系建设研究. 中国生态农业学报, 2006, (1): 220-222.
- [63] 秦绪丽. 建设水土保持型生态农业措施分析. 黑龙江水利科技, 2015, 43(4): 206-207.
- [64] 毛凤滨, 栾琳. 水土保持型生态农业治理模式示例. 黑龙江水利科技, 2007, 35(5): 208.
- [65] 任小平, 汪有涛, 白岗栓, 王继军, 侯喜禄. 安塞县水土保持型生态农业建设探索. 水土保持通报, 2007, 27(5): 159-163.
- [66] 李秋芳, 王克勤, 王帅兵, 李太兴, 李宝荣. 不同治理措施在红壤坡耕地的水土保持效益. 水土保持通报, 2012, 32(6): 196-200.
- [67] 武军, 王克勤, 华锦欣. 松华坝水源区等高反坡阶对坡耕地雨季土壤水分空间分布的影响. 水土保持通报, 2016, 36(1): 57-60.
- [68] Gupta G N, Limba N K, Mutha S. Growth of *Prosopis cineraria* on Microcatchments in an Arid Region. *Annals of Arid Zone*, 1999, 38(1): 37-44.
- [69] Ojasvi P R, Goyal R K, Gupta J P. The micro-catchment water harvesting technique for the plantation of jujube (*Zizyphus mauritiana*) in an agroforestry system under arid conditions. *Agricultural Water Management*, 1999, 41(3): 139-147.
- [70] Gupta G N. Rain-water management for tree planting in the Indian Desert. *Journal of Arid Environments*, 1995, 31(2): 219-235.
- [71] 王帅兵. 等高反坡阶对滇中红壤坡耕地土壤水分运动影响研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2019.
- [72] 褚利平, 王克勤, 白文忠, 李太兴, 李云蛟, 舒江. 水平阶影响坡地产流产沙及氮磷流失的试验研究. 水土保持学报, 2010, 24(4): 1-6.
- [73] 华锦欣, 王克勤, 张香群, 翟子宁, 朱晓婷. 昆明松华坝水源区等高反坡阶对坡耕地土壤磷含量的影响研究. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(3): 76-81.
- [74] 李学峰, 宋娅丽, 王克勤, 张雨鉴, 杨小倩. 等高反坡阶对滇中云南松林下碳储量及增量分配格局的影响. 水土保持研究, 2019, 26(4): 19-25.
- [75] 袁希平, 雷廷武. 水土保持措施及其减水减沙效益分析. 农业工程学报, 2004, 20(2): 296-300.
- [76] 王萍, 王克勤, 李太兴, 李云蛟. 反坡水平阶对坡耕地径流和泥沙的调控作用. 应用生态学报, 2011, 22(5): 1261-1267.
- [77] 王帅兵, 王克勤, 宋娅丽, 陈雪, 王震. 等高反坡阶对昆明市松华坝水源区坡耕地氮、磷流失的影响. 水土保持学报, 2017, 31(6): 39-45.
- [78] 陈雪, 宋娅丽, 王克勤, 赵洋毅, 张华渝. 布设等高反坡阶对滇中松华坝水源区坡耕地土壤饱和导水率的影响. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2019, 48(5): 649-655.
- [79] 闫腾云, 王克勤, 赵洋毅, 冷鹏, 陈宇, 张洋. 等高反坡台阶整地对坡耕地农田耗水及水量平衡的影响. 水土保持研究, 2020, 27(4): 93-98, 104.
- [80] 刘晓微, 赵洋毅, 王克勤, 马彩霞, 段旭, 张洋. 坡耕地等高反坡阶整地年限对土壤改良和玉米产量的影响. 水土保持学报, 2022, 36(1): 307-315.
- [81] 王克勤. 云南山区农业面源污染控制微区域集水系统技术体系. 中国水土保持, 2011(2): 37-40.
- [82] 王龙昌, 谢小玉, 张臻, 薛兰兰, 邹聪明, 张云兰, 胡小东. 论西南季节性干旱区节水型农作制度的构建. 西南大学学报(自然科学版), 2010, 32(2): 1-6.
- [83] 王克勤. 微区域集水系统在西南山区水土保持生态修复的应用//中国水土保持学会第三次全国会员代表大会. 中国北京, 2006: 212-219.
- [84] 张盛华, 王克勤. 云南山区微区域集水系统的经济效益评价. 绿色科技, 2014(1): 164-166, 167.