



刘永红,李旭毅,杨勤,陈天宝,蒋鹏,苗明军,张力,钟建,陈玉锋,刘禹池,付敏,岳丽杰. 西南地区基本农作制度与发展途径探讨[J]. 中国农业大学学报,2025,30(12):50-62.

LIU Yonghong, LI Xuyi, YANG Qin, CHEN Tianbao, JIANG Peng, MIAO Mingjun, ZHANG Li, ZHONG Jian, CHEN Yufeng, LIU Yuchi, FU Min, YUE Lijie. Discussion on the farming systems and development approach in Southwest China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(12): 50-62.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.12.05

西南地区基本农作制度与发展途径探讨

刘永红¹ 李旭毅² 杨勤² 陈天宝³ 蒋鹏⁴ 苗明军⁵ 张力² 钟建⁵
陈玉锋² 刘禹池² 付敏³ 岳丽杰²

(1. 四川省农业科学院, 成都 610066;

2. 四川省农业科学院 作物研究所(四川省种质资源中心), 成都 610066;

3. 四川省畜牧科学研究院, 成都 610066;

4. 四川省农业科学院 水稻高粱研究所, 四川 德阳 618000;

5. 四川省农业科学院 园艺研究所, 成都 610066)

摘 要 西南地区是我国重要的农业生产区, 该区域气候生态条件复杂, 形成了独具特色的多熟农作制度。为全面了解西南地区的农业基本情况和现有农作制度, 加快建立现代化新型农作制度, 基于相关科研单位的长期试验示范结果及生产实例, 整理归纳相关统计数据和文献资料, 综合应用文献研究法、归纳法等研究方法, 分析西南地区农作制度区划、典型农作制度模式以及该区域农业发展的制约因素, 并进行展望。研究表明: 1) 西南地区可划分为盆地丘陵农区、高原农区、岩溶山地农区和盆地平原农区等4个农区, 各农业分区自然生态条件各异, 形成了各具特色的农作制度; 2) 稻田水旱轮作、稻田一种多收、旱地带状复合、旱地接茬粮油轮作、种养循环、菜地周年复种等6类多熟农作制度模式构成了西南地区基本农作制度; 3) 作物间争地矛盾突出、区域间发展不平衡、丘陵山区机械化水平较低等是制约该地区农业发展的主要障碍。综上, 当前西南地区农作制度受资源集约化利用程度较低、极端气候风险抵御能力较弱、产业融合度不足等难题制约。未来还需要结合该地区资源禀赋、围绕国家粮食安全和农业可持续发展, 加快构建资源节约、生态友好、集约高效、产业协同的现代化新型农作制度。

关键词 西南地区; 农作制度; 现代化; 多熟种植

中图分类号 S-1

文章编号 1007-4333(2025)12-0050-13

文献标志码 A

Discussion on the farming systems and development approach in Southwest China

LIU Yonghong¹, LI Xuyi², YANG Qin², CHEN Tianbao³, JIANG Peng⁴, MIAO Mingjun⁵,
ZHANG Li², ZHONG Jian⁵, CHEN Yufeng², LIU Yuchi², FU Min³, YUE Lijie²

(1. Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China;

2. Crop Research Institute of Sichuan Academy of Agricultural Sciences (Sichuan Provincial Germplasm Resources Center), Chengdu 610066, China;

3. Sichuan Animal Science Academy, Chengdu 610066, China;

4. Rice and Sorghum Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Deyang 618000, China;

5. Horticulture Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China)

Abstract Southwest China is an important grain-producing region, due to its complex climatic and ecological conditions, Southwest China has formed a distinctive multi-cropping farming system. This study aims to fully

收稿日期: 2025-05-31

基金项目: 中国工程院战略研究与咨询项目(2025-PP-12)

第一作者: 刘永红(ORCID:0009-0005-6142-7854), 研究员, 主要从事旱作农业与数智农业研究, E-mail: 13908189593@163.com

understand the basic situation of the agricultural region in Southwest China and the existing farming system, and accelerate the establishment of a modern and novel farming system. Documentary research and inductive analysis are employed to examine the regional division of farming systems, typical farming models, and limiting factors for agricultural development based on long-term experimental demonstrations and practical production examples from relevant research institutions, and prospects for future development are explored. The findings indicate that: 1) Southwest China can be divided into four agricultural zones: Hilly of basin agricultural region, plateau agricultural region, Karst mountainous agricultural region, and plain of basin agricultural region. Each zone has a distinct natural and ecological condition to shape its unique farming system; 2) Six types of multi-cropping systems form the backbone of the region's farming practices including paddy-upland rotation in rice fields, single-planting with multiple harvests in rice fields, strip intercropping in drylands, relay oil-grain rotation in drylands, crop-livestock recycling systems, and year-round multiple cropping in vegetable fields; 3) Key constraints on agricultural development include intense competition for land among crops, regional developmental disparities, and low mechanization levels in hilly and mountainous areas. In summary, the current farming systems in Southwest China are constrained by low levels of resource-use efficiency, weak resilience against extreme climate events, and insufficient industrial integration. Moving forward, farming-system design must be tailored to the region's resource endowments and national priorities for food security and sustainable agriculture, accelerating the establishment of a modern, resource-efficient, eco-friendly, intensive, and industrially synergistic farming system.

Keywords Southwest China; farming systems; modernize; multiple cropping

我国西南地区主要包括四川、云南、贵州、重庆、广西 5 个省(市、自治区),该地区土地面积约 1.37 亿 hm^2 , 占全国 14%, 其中耕地面积 1 931 万 hm^2 , 占全国 15%^[1]。该地区地形地貌复杂, 包含平原、丘陵、山地、高原等多种类型, 是山地面积占比最高的地区之一。除盆地和平原外, 该地区耕地主要分布于海拔较低的平坝、川地及丘陵山地坡地, 平坦土地较少, 丘陵山区的旱地面积约占现有耕地面积的 68%^[2]。西南地区的土壤类型主要以紫色土、黄壤、红壤和水稻土为主, 气候以亚热带气候为主, 雨热同期, 降水充沛但时空分布不均, 其中盆地是典型的短日照地区, 丘陵山地气候表现出鲜明的垂直差异。在复杂多样的地形地貌、气候特征及生态系统共同作用下, 西南地区形成了丰富多样的农业生产类型, 农作制度复杂, 同时也导致区域内部农业发展的不平衡性尤为突出。

西南地区历来是保障中国粮食安全的战略大后方, 粮食产量在全国占比超过 11%, 该地区同时也是果蔬、茶叶、中药材等特色经济作物重要产区, 提高西南地区农业产能对确保粮食安全和农民增收具有重要意义。得益于现代农作制的发展, 西南地区已经形成了一批适应农业机械化规模化生产、生态友好、集约高效的特色农作制度模式, 提升了该地区近年来粮食安全水平^[3]。但经济作物与粮食

作物争地矛盾突出、丘陵山区机械化水平较低、区域间发展不平衡等问题严重制约西南地区的农业发展^[4]。目前关于西南地区农作制度的系统分析梳理尚未见报道。本研究基于相关科研单位的生产实例、长期试验和示范结果以及文献资料系统总结了西南地区基本农作制度, 旨在全面了解西南地区的农业区域基本情况和现有农作制度, 加快建立现代化新型农作制度, 以期为保障粮食安全和该地区农业增产增收提供参考。

1 西南农业分区

依据地理位置、地形地貌和农业生产特征, 西南地区可分为盆地丘陵农区、高原农区、岩溶山地农区和盆地平原农区等 4 个农业生产区^[5], 见表 1。

盆地丘陵农区包括四川成都以东、以南以及重庆大部分地区, 农业基础条件及农业科技水平较好, 属于湿润半湿润季风气候, 气候垂直地域性明显。该区包括 108 个县(市、区), 面积 $31.6 \times 10^6 \text{ km}^2$, 现有耕地面积 $4.5 \times 10^6 \text{ km}^2$, 其中主要耕地为缓坡耕地类型。该区光、热条件优越, 降水资源丰富, 雨热同步, 降水分布不均。该区水田以稻-麦(油、菜、药)轮作、中稻-再生稻(渔)等模式为主, 旱地以玉米 || 大豆带状复合、玉米(红薯)-麦(油)轮作、以及粮经饲、果草畜、畜沼菜等复合模式为主。

表1 西南地区农业分区及面积^[5]

Table 1 Geomorphological types and agricultural division in Southwest China^[5]

指标 Index	盆地丘陵农区 Hilly of basin agricultural region	高原农区 Plateau agricultural region	岩溶山地农区 Karst mountainous agricultural region	盆地平原农区 Plain of basin agricultural region
国土面积/(10 ⁶ hm ²) Land area	31.6	45.3	49.0	11.5
国土面积占比/% Percentage to overall land area	23.0	33.0	35.7	8.3
耕地面积/(10 ⁶ hm ²) Cultivated area	4.5	5.3	12.3	0.8
耕地面积占比/% Percentage to total cultivated area	19.7	22.9	53.7	3.7

高原农区指以云贵高原为中心的低纬度高海拔地区,包括四川西部和西南部、贵州西部、云南大部、广西西北部的农业生产区。该区包括253个市(区、县),国土面积 $45.3\times10^6\text{ hm}^2$,区内人少地多,现有耕地面积 $5.3\times10^6\text{ hm}^2$,耕地多分布于高海拔地区。该区地貌以高山峡谷和高原为主,属于高寒气候区,日照时数长、太阳辐射强、气温低、气温日较差大、无霜期短、年降雨量少且地区之间差异大,气象灾害多且危害较大。该区农作制度主要包括玉米||马铃薯(豆科)带状复合、玉米-烟草轮作、豆科(饲草)-玉米(油菜、麦类)轮作、粮(小麦)-烟草轮作、菜-菜复种,以及粮经饲、果草畜等复合模式。

岩溶山地农区主要集中在云南、贵州、广西等少数民族聚集地,涉及178个市(区、县),其中122个农业县,国土面积 $48.9\times10^6\text{ hm}^2$,现有耕地面积 $12.3\times10^6\text{ hm}^2$ 。该区多属于亚热带季风气候,干季、湿季分明,易发生干旱等气象灾害。相较于其他区域,该区土地生产潜力较低,人口规模大、科学技术发展相对滞后、观念相对落后^[6],主要以玉米||马铃薯(豆科)带状复合、水稻-水稻(玉米)轮作、玉米-烟草轮作,以及果草畜等复合模式为主。

盆地平原农区主要集中在四川盆地和广西盆地等2个区域,国土面积 $11.5\times10^6\text{ hm}^2$ 。四川盆地包括龙泉山以西,龙门山脉以东、以北的地区,区域内年平均温度 $15.5\sim17.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,年日照时数900~1 200 h,区域平均为1 060 h,年降水量900~1 700 mm,主要种植水稻、小麦及果树等特色农产品,广西盆地位于广西中南部,以及广东西部,为三面环山的类盆地地区,面积与四川盆地相当,其平

原以小面积零星分布为主。盆地平原农区农作制度主要包括稻-麦(油、菜)轮作、早春玉米-秋玉米连作、菜-菜复种,以及粮经饲、果草畜、畜沼菜等复合模式。

2 基本农作制度

西南地区热量资源相对优越, $\geq10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 年积温为5 000~8 000 $^{\circ}\text{C}$,无霜期300~365 d,一年一熟、一年两熟、一年三熟并存,多数农作区介于一年两熟与一年三熟之间^[7]。稻田水旱轮作、稻田一种多收、旱地带状复合、旱地接茬粮油轮作、种养循环、菜地周年复种等模式构成该地区基本农作制度。

2.1 稻田水旱轮作制度

西南地区现有稻田面积约400万 hm^2 ,除部分冬闲田外,均属水旱轮作区,以水稻-小麦、水稻-油菜、水稻-蔬菜等轮作制度为主,这3种轮作制度占比分别为34%、32%、15%。水稻-小麦、水稻-油菜轮作制度主要分布在川西平原区、川中及川东北丘陵区、川东南区、渝东渝南丘陵低山区、黔中高原区、黔东黔南山地高原丘陵区、滇中高原区等区域^[8-9],水稻-蔬菜轮作制度在各稻作区均有分布^[10]。近年来,西南地区规模化生产水平进步显著,从过去的以小户经营为绝对主体发展到现在规模经营和小户经营并存。以四川省为例,2024年共有种粮大户4.2万户,种植面积53.1万 hm^2 ,其中水稻、小麦规模化种植面积占比分别为42.5%和25.0%。不同于传统生产模式,规模化生产模式以机械化为核心不断改进其生产方式和配套关键技术(表2)。

随着规模化生产的推进,机械化生产技术在生产上快速得到应用^[11],同时也催生了一批专门从事耕整、育秧、播栽、施肥、植保等农事操作的社会化服务新型主体,带动了西南地区粮食生产耕种管收农机化水平的提升^[12]。截至 2023 年,四川省累计培育农业社会化服务组织 3.3 万个,服务面积达 4 117 万亩次,服务小农户 468.3 万户,较 2020 年分别增长 70%、42% 和 30%。

表 2 不同时期稻田两熟制主要机械化种植模式及配套技术

Table 2 Dominant mechanized cultivation models and associated technologies in paddy field double-cropping systems across historical periods

种植制度 Cropping system	项目 Item	传统生产模式 Traditional decentralized production model	规模化生产模式 Large-scale intensive production model
稻-麦 Rice-wheat	生产方式 Production practice	小麦撒播+水稻人工移栽	小麦机械化直播+水稻机械化移栽/轻简化直播
	配套技术 Supporting technology	水稻:早育秧技术、水稻强化栽培、水肥耦合技术 小麦:浅旋露播技术	水稻:规模化育秧技术、机械化精量直播、无人机植保 小麦:免耕带旋播种技术;一喷多防技术
稻-油 Rice-rapeseed	生产方式 Production practice	油菜人工育苗移栽+水稻人工育秧移栽	油菜直播/机插+水稻机插/直播
	配套技术 Supporting technology	水稻:早育秧技术、水稻强化栽培、水肥耦合技术 油菜:轻简化栽培、分段收获	水稻:规模化育秧技术、机械化精量直播、无人机植保 油菜:无人机高密飞播、壮苗移栽、机械化分段收获

稻麦轮作是西南地区占比最大的水旱轮作模式,生产上长期以产量为核心目标,往往采取高强度频繁耕作、超量施用化肥、忽视土壤保护和地力培肥,造成土壤质量下降,导致周年产量增幅逐渐下降甚至停滞^[13-14]。基于保护性耕作创新集成的以“稻茬小麦免耕带旋播种”为核心的高产高效栽培技术,通过减少氮循环过程中的氮素损失提高了氮素利用效率^[15],具有显著的增产效果,2017 年以来在西南各省(市、自治区)大面积推广运用。此外,西南稻田粮经复合种植也是重要的轮作模式,以稻菜轮作、稻药轮作及稻菌轮作为主的轮作模式(表 3),能够兼顾粮食安全与农民增收的双重需求,在各地发展迅速。但稻田水旱轮作制度当前还存在周年光温资源利用不高效^[4]、作物茬口矛盾突出^[2]、高产高效技术缺乏、机械机具不配套^[8]等问题,严重制约了周年粮食生产水平的提升。

表 3 “稻+”粮经复合种植模式应用面积及种植效益

Table 3 Adoption areas and economic returns of different “rice +” cropping patterns

轮作模式 Cropping pattern	主要经济作物 Primary cash crop	应用面积/(10 ⁴ hm ²) Adoption area	种植效益/(万元/hm ²) Economic benefit
稻-菜 Rice-vegetable	莴笋、萝卜、番茄、大蒜等	40.0~53.3	3.0~22.5
稻-药 Rice-medicinal plant	泽泻、川芎、车前草等	4.7~5.3	1.5~4.5
稻-菌 Rice-edible fungus	羊肚菌、大球盖菇、香菇等	1.3~2.0	15.0~22.5

2.2 稻田一种多收制度

西南地区是我国再生稻蓄留面积最大的区域之一,主要分布在四川盆地(包含重庆)等地区,常年再生稻蓄留面积保持在 40 万 hm² 以上,约占全国再生稻面积的 30%^[16-17]。其中四川省再生稻有收面积(单产 >750 kg/hm²)从 1997 年 20 万 hm² 增加到

2024年35万hm²,年均增加为0.3万hm²,平均产量由1997年1500kg/hm²增加到2023年2100kg/hm²,年均增幅为20.7kg/hm²;重庆市再生稻蓄留面积基本稳定在7.0万hm²^[18],平均单产基本维持在1800~2250kg/hm²。通过筛选适宜机械化轻简化栽培的强再生力杂交稻品种,集成“头季预留行机插”和“底肥一道清”、“高效施用粒芽肥”、“强化纹枯病防治”、“见芽收割头季稻”等核心栽培技术^[19],西南地区再生稻单产水平不断提升。此外,在川南等温光条件较好的区域,中稻-再生稻+鱼(虾)、中稻-小龙虾等特色

综合种养模式发展迅速,逐步形成“双稻双虾”模式(一季中稻+再生稻;冬春季节养殖小龙虾,初夏再次投放小龙虾或改养罗氏沼虾),该模式能够充分利用稻田秋季温光和稻田水体资源,实现错峰上市,经济效益突出^[20]。四川泸州等地的“双稻双虾”综合种养面积逐年增加,从2018年222hm²发展到2024年1.1万hm²,2季平均虾产量基本维持在1125kg/hm²,种养综合效益突出;宜宾市等地的中稻-小龙虾综合种养模式同样发展迅速,由2018年1467hm²增加到2024年接近1.45万hm²,见表4。

表4 中稻-再生稻+鱼(虾)、中稻-小龙虾综合种养面积、单产和总产

Table 4 Production metrics of integrated rice-aquaculture systems: Mid-season rice - ratoon rice + fish (crayfish), mid-season rice - crayfish co-culture

种养模式 Cropping patterns	指标 Index	年份 Year						
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
双稻-双虾 Double rice-double crayfish co-culture	面积/hm ² Area	222	951	6185	6987	7683	9755	10931
	虾单产/(kg/hm ²) Shrimp yield per unit	1105	1165	1271	1277	1268	1163	1259
	虾总产/(10 ³ kg) Shrimp output	245	1108	7861	8923	9739	11345	13765
中稻-小龙虾 Rice-crayfish rotational cultivation	面积/hm ² Area	1467	1623	2220	3333	6667	10887	14460
	虾单产/(kg/hm ²) Shrimp yield per unit	1624	1504	1518	1654	1249	1450	1493
	虾总产/(10 ³ kg) Shrimp output	2382	2441	3371	5512	8325	15791	21586

2.3 旱地带状复合制度

间、套作种植为西南丘陵旱地主要的生产模式,近年来西南地区玉米大豆带状复合种植面积不断扩大^[21]。2023年,西南五省(市、自治区)玉米大豆带状复合种植面积达53.2万hm²,占全国总面积的38.19%;其中四川、贵州、云南、重庆和广西的玉米大豆带状复合种植面积分别为34.9万、8.1万、4.9万、3.7万和1.5万hm²。在保障玉米产量与当地玉米净作相当的情况下,大豆玉米带状复合种植的大豆单产在1500kg/hm²以上,单位面积增效在4500元/hm²以上,纯收益高于净作大豆、玉米。各省(市、自治区)通过筛选宜带状复合种植的矮秆密植玉米品种和耐荫抗倒伏大豆品种,优化行比配置,构建“芽前封闭除草、苗后茎叶定向除草”为主的杂草防治技术,集成“一喷多防、一喷多促”以及“一拌一减一诱”等绿色防控技术解决了复合种植

适宜品种缺乏、杂草防治困难、适配机具少、综合效益差等问题,增加了该种植模式的综合产量及效益(表5)。但由于关键核心技术落实不到位、认知缺乏、理论技术及机具优化不足等问题,旱地带状复合种植制度的扩面推广还存在一定的局限性。

2.4 旱地接茬粮油轮作制度

近年来,随着农村劳动力的锐减及农业机械化的推进,西南地区传统的一年多熟制不断向一年两熟制发展,形成了油菜-玉米、油菜-高粱、小麦-玉米、玉米-薯类、玉米-饲草等新型两熟轮作粮油(饲)种植模式^[5,22]。当前,旱地新型两熟种植模式已超过100万hm²,且以每年10%左右的速度增长,其中小麦-玉米、油菜-玉米两熟轮作机械化种植制度已发展成为主体模式^[23]。该模式通过改中晚熟品种为耐密中早熟品种、改人工播栽为机械直播、改小群体栽培为大群体栽培、

表 5 西南地区玉米大豆带状复合种植平均单产、推荐品种及行比配置

Table 5 Average yield ,recommended varieties and row ratio configuration for soybean-maize strip intercropping planting in Southwest China

省份 Province	推荐品种 Recommended variety	行比配置 Row ratio configuration	玉米单产/(kg/ hm ²) Maize yield	大豆单产/(kg/ hm ²) Soybean yield
四川 Sichuan	玉米:仲玉 3 号、正红 6 号 大豆:南豆 25、贡选 1 号、川农夏 4 号	主推 3:2,辅以 4:2	6 331.5	1 552.5
云南 Yunnan	玉米:云瑞 47、华兴单 88、珍甜 8 号大 豆:滇豆 7 号、云黄 17、齐黄 34	间作以 3:2 和 2:2 为主 套作以 3:2 或 4:2 为主	7 699.5	1 114.5
重庆 Chongqing	玉米:东单 1331、先玉 1171 大豆:华圣 28、油春 1204、贡秋豆 5 号、 万州秋豆	主推 3:2		
贵州 Guizhou	玉米:金玉 579 大豆:黔豆 7 号、黔豆 8 号	主推 3:2,辅以 4:2	8 563.5	1 777.5
广西 Guangxi	玉米:青青 700、宜单 629 大豆:桂春 15 号、桂 1603、桂春 8 号、桂 1608 等	间作以 3:2 和 2:2 为主 套作以 3:2 或 4:2 为主	5 250.0	1 530.0

改人工早收为机械晚收等关键技术措施,形成了旱地两熟全程机械化生产技术体系。基于四川简阳的定位试验表明,旱地两熟轮作机械化种植模式由于少种植一季作物,其周年粮油产量虽较传统三熟间套作种植模式降低,但实现了机械化生产,单位面积的劳动力投入减少,劳动生产效率显著提高,且显著提高了旱地粮油种植收益,

该模式被新型经营主体接受并在规模化生产中广泛应用(表 6 和表 7)^[5]。在玉米-小麦(油菜)轮作制度中,前后茬作物品种配置不合理,配套的秸秆还田、土壤耕作、抗逆播种、肥水管理等技术粗放、不规范,适合新型两熟的避灾减灾技术体系不完善^[24],农业机械研发及配套性研究不足等问题限制其快速发展和进一步扩大应用^[25-26]。

表 6 不同种植模式的产量和产值

Table 6 Statistical results of yield and output value for different cropping patterns

模式 System	周年产量/(kg/ hm ²)Annual yield				周年产值/ (元/ hm ²) Annual output value
	油菜(小麦) Rapeseed (wheat)	玉米 Maize	甘薯(大豆) Sweet potato (soybean)	合计 Sum	
油菜-玉米(机械) Rapeseed-maize (mechanized)	2 889.0	6 832.5		9 721.5	29 688.0
油菜-玉米 Rapeseed-maize	2 763.0	6 543.0		9 306.0	28 413.0
小麦-玉米(机械) Wheat-maize (mechanized)	6 048.0	6 678.0		12 726.0	30 543.0
小麦-玉米 Wheat-maize	5 667.0	6 132.0		11 799.0	29 451.0
小麦/玉米/大豆 Wheat/maize/soybean	4 119.0	6 360.0	2 142.0	12 621.0	33 717.0
小麦/玉米/甘薯 Wheat/maize/sweet potato	4 018.5	6 322.5	3 462.0	13 803.0	38 667.0

注:数据来自定位试验(简阳)。表 7 同。

Note: The data is from the positioning experiment (Jiayang). The same Fig. 7.

表 7 不同种植模式周年成本和效益统计结果

Table 7 Annual cost-benefit analysis of different cropping patterns

模式 System	周年产值/(元/ hm ²) Annual output value	农资成本/(元/ hm ²) Agricultural input cost			劳动成本 Labor cost	
		种子 Seeds	肥料 Fertilizers	农药 Pesticides	用工/人 Labor demand	工费/万元 Labor cost
油菜-玉米(机械) Rapeseed-maize (mechanized)	29 688	1 260	3 255	960	172.5	1.38
油菜-玉米 Rapeseed-maize	28 413	1 260	3 255	960	240.0	1.92
小麦-玉米(机械) Wheat-maize (mechanized)	30 543	1 740	3 840	1 140	195.0	15 600
小麦-玉米 Wheat-maize	29 451	1 740	3 840	1 140	270.0	21 600
小麦/玉米/大豆 Wheat/maize/soybean	33 717	1 890	4 530	1 230	300.0	24 000
小麦/玉米/甘薯 Wheat/maize/sweet potato	38 667	2 790	5 190	1 140	390.0	31 200

模式 System	农机成本/(元/ hm ²) Machinery cost	周年成本/(元/ hm ²) Total annual cost	周年收益/(元/ hm ²) Annual net profit	劳动效率/(kg/人) Labor productivity
油菜-玉米(机械) Rapeseed-maize (mechanized)	5 400	24 675	5 012.4	56.4
油菜-玉米 Rapeseed-maize	2 400	27 075	1 338.0	38.8
小麦-玉米(机械) Wheat-maize (mechanized)	4 800	27 120	3 423.0	65.3
小麦-玉米 Wheat-maize	2 400	30 720	-1 269.0	43.7
小麦/玉米/大豆 Wheat/maize/soybean	1 200	32 850	867.6	42.1
小麦/玉米/甘薯 Wheat/maize/ sweet potato	1 200	41 520	-2 853.6	35.4

2.5 种养循环制度

种养循环制度也是西南地区特色的农业生产模式,通过将种植业与养殖业有机结合,实现资源高效利用、废弃物再生循环和生态可持续。该区域常见种养循环模式包括粮经饲、果草畜、畜沼菜等^[27-29];其中粮经饲典型模式为川东北的“玉米-青贮饲料-肉牛”模式,玉米秸秆青贮后喂牛,牛粪堆肥后用于玉米种植;果草畜典型模式为四川眉山“柑橘-牧草-肉羊”模式,在柑橘园套种牧草养羊,羊粪发酵后回田,减少化肥使用;畜沼菜典型模式为攀西地区通过畜禽养殖场配套沼气工程,粪污发酵产生沼气,沼气用于养殖场能量供应,沼渣沼液用于种植作物或果树。为更好地发展种养循环,基于

“畜禽-耕地-作物”生产生态系统养分循环规律及种养平衡原理^[30],通过养殖环境容量与风险评估分析,已经建立了四川典型种植模式下畜禽适宜承载力及种养结合关键参数(表8),可为西南地区种养循环的健康发展提供理论依据。由于西南地区生态环境多样、种养结构复杂、复种指数高,如何以畜禽粪污的氮磷养分为基础,根据畜禽粪污养分供给能力、作物养分需求规律和土壤肥力状况,结合化肥使用情况,科学制定并实施粪肥还田计划是保障种养循环制度健康发展的重要举措,仍需要进一步开展研究。

2.6 菜地周年复种制度

西南地区是我国重要的“南菜北运”和“西菜东

表 8 四川典型农区耕地畜禽适宜承载力及种养结合关键参数
Table 8 Suitable carrying capacity of livestock and poultry and key parameters of planting and breeding in typical agricultural areas of Sichuan

种植模式 Planting pattern	成都平原 Chengdu plain		川中丘陵 Central Sichuan hilly		盆周山区 Mountain area around Sichuan basin		川西南山地 Moutain area of southwestern Sichuan	
	最大承载力 Maximum bearing capacity	适宜参数 Suitable parameters	最大承载力 Maximum bearing capacity	适宜参数 Suitable parameters	最大承载力 Maximum bearing capacity	适宜参数 Suitable parameters	最大承载力 Maximum bearing capacity	适宜参数 Suitable parameters
水稻(冬闲水田) Rice (winter fallow paddy field)	46.9	21.1	42.3	19.0	36.4	16.3	37.3	16.8
水稻-小麦 Rice- wheat	82.9	37.5	74.8	33.7	64.5	29.1	66.1	29.8
水稻-油菜 Rice + rape	83.5	37.6	75.3	33.9	64.8	29.2	66.6	30.0
水稻--牧草(青饲料) Rice + forages (green fodder)	91.5	41.2	82.5	37.2	71.1	32.1	73.0	32.8
小麦-玉米 甘薯 Wheat - maize + sweetpotato	93.4	42.1	84.3	37.9	72.6	32.7	74.5	33.6
小麦-玉米/豆类 Wheat - maize + legume crops	84.0	37.8	75.7	34.0	65.2	29.2	67.0	30.3
优质高产饲草基地 High quality and high yield forage base	124.9	56.2	112.6	50.7	97.0	43.6	99.6	44.8
林果+饲草 Forest fruit + forage grass	105.4	47.5	95.1	42.9	81.9	36.9	84.1	37.9
油菜-玉米 甘薯 Rape - maize- sweetpotato	94.0	42.3	84.7	38.1	72.9	32.8	75.0	33.7
油菜-玉米 豆类 Rape - maize + legume crops	84.3	37.9	76.0	34.2	65.4	29.4	67.2	30.3
专用蔬菜地 Special vegetable field	89.1	40.2	80.4	36.3	69.1	31.2	71.1	32.1

注：表中单位是猪的头数。
Note：The unit of measurement in the table is number of pigs.

运”供应基地,在我国农产品流通体系中占据战略地位^[31-34]。据《中国统计年鉴(2024)》^[1]数据显示,该地区蔬菜产业自21世纪初持续扩容,2023年播种面积达689.3万hm²,产量达到18635.7万t,分别占全国的30.1%和22.5%(表9)。“菜-菜复合种植”主要集中在川西高原、川西平原、黔西北、滇中地区等高山高原和平坝区域(表10),主要包括一年两茬或一年多茬蔬菜周年轮作模式,配套优质品种搭配、集约化育苗、水肥精准调控等主推技术,该种

植模式具有经济附加值及土地利用率高的优势^[31-34]。此外,通过科学配置蔬菜轮作序列,可显著改善土壤理化性质与微生物群落结构,是长期可持续发展的优势种植模式^[35]。近年来,随着农业技术不断创新与新观念持续输入,西南地区高山高原区域由先前的一年一茬,逐步发展为一年两茬(菜-菜复合),有效提升了光热和土地资源利用率,增产增效增收成效显著^[36]。但是,在菜-菜复合制度发展过程中,部分地区仍存在茬口衔接不合理,季节转

表9 西南地区各省份蔬菜播种面积及产量(2013—2023年)
Table 9 Vegetable cultivation area and yield in Southwest China (2013-2023)

年份 Year	四川 Sichuan		重庆 Chongqing		云南 Yunnan	
	播种面积/(10 ⁷ hm ²)	年产量/(10 ⁹ kg)	播种面积/(10 ⁷ hm ²)	年产量/(10 ⁹ kg)	播种面积/(10 ⁷ hm ²)	年产量/(10 ⁹ kg)
	Cultivation area	Annual yield	Cultivation area	Annual yield	Cultivation area	Annual yield
2013	12.1	37.1	6.8	15.4	9.0	16.3
2014	12.4	38.4	6.8	16.3	9.5	17.4
2015	12.7	39.9	7.0	17.1	10.3	19.4
2016	12.9	41.2	7.1	18.0	10.4	19.7
2017	13.3	42.5	7.3	18.6	10.9	20.8
2018	13.7	44.4	7.4	19.3	11.3	22.1
2019	14.1	46.4	7.5	20.1	11.7	23.0
2020	14.5	48.1	7.7	20.9	12.3	25.1
2021	14.8	50.4	7.9	21.8	12.9	27.5
2022	15.4	52.0	8.1	22.7	13.1	28.6
2023	15.8	54.2	8.3	23.6	13.4	29.6

年份 Year	贵州 Guizhou		广西 Guangxi	
	播种面积/(10 ⁷ hm ²)	年产量/(10 ⁹ kg)	播种面积/(10 ⁷ hm ²)	年产量/(10 ⁹ kg)
	Cultivation area	Annual yield	Cultivation area	Annual yield
2013	8.9	16.0	12.4	25.2
2014	9.8	17.4	13.1	27.2
2015	10.5	18.5	13.9	29.2
2016	11.5	20.3	13.5	31.1
2017	12.5	22.7	14.0	32.8
2018	14.0	26.1	14.4	34.3
2019	14.3	27.3	14.9	36.4
2020	15.1	29.9	15.3	38.3
2021	15.1	32.8	15.9	40.5
2022	14.6	33.6	16.5	42.4
2023	14.4	34.7	17.1	44.3

表 10 西南地区菜-菜复合制度主要分布区域及模式

Table10 The main distribution areas and patterns of vegetable-vegetable compound system in Southwest China

省份 Province	区域 Region	栽培模式 Cultivation pattern	茬口安排 Cropping arrangement	主要品种 Main variety	主推技术 Main technology	周年效益/ (万元/hm ²) Annual planting benefit
四川 Sichuan	川西高原 Western Sichuan plateau	莴笋-莴笋 莴笋-大白菜 (棒菜)	3—7月, 7—10月	莴笋:蜀青笋、 青神、 大白菜:怀春2号、 夏逢春	集约化育苗、 定孔宽厢栽 培、水肥精准 调控等技术	12.0~22.5
	川西平原 Western Sichuan plain	春露地果菜-秋冬 根、叶菜 大棚早春果菜-秋 延后果菜 夏秋果菜-大蒜	3—8月,9—12月 2—6月,7—11月 4—9月,9—次 年4月	黄瓜:川绿11号、 川绿小玉 芥菜:川芥2号 萝卜:蜀萝11号 辣椒:红冠3号 大蒜:川蒜2号	集约化育苗、 病虫害绿色 防控、水肥一 体化、蔬菜避 雨栽培等技 术	12.0~33.0
重庆 Chongqing	平坝区 Flatland area	茄果类-甘蓝 (萝卜)	3—7月, 8—次年3月	番茄:渝番718、 渝粉109 辣椒:渝椒五号、渝 椒13号 茄子:渝茄五号 萝卜:秋雪	集约化育苗、 病虫害绿色 防控、水肥一 体化栽培等 技术	12.0~22.5
	高山区 Alpine area	茄果类(或甘蓝)- 甘蓝	5—10月, 11—次年4月	番茄:金红十三、金 红十六、渝番718 辣椒:尊虎 甘蓝:秋实1号、 春晓	集约化育苗、 病虫害绿色 防控、水肥一 体化、避雨栽 培等技术	12.0~30.0
贵州 Guizhou	黔西北地区 Northwest Guizhou	春露地白菜-夏秋 香葱(莴笋) 大棚早春甘蓝- 番茄	3—6月,7—11月; 2—5月,6—10月	白菜:CR114白菜 葱:四季小香葱 莴笋:青皮莴笋 甘蓝:奥奇娜 辣椒:黔椒3号	集约化育苗、 高效错季栽 培、番茄嫁接 等技术	22.5~30.0
	黔中地区 Central Guizhou	春甘蓝-夏秋黄瓜 春夏茄果-秋冬 叶菜	3—5月,6—9月 4—7月,8—12月	甘蓝:争春、川脆 辣椒:苏椒、黔椒 茄子:黔茄 白菜:黔白	集约化育苗、 高效错季栽 培、黄瓜嫁接 等技术	12.0~22.5
云南 Yunnan	滇中坝区 Central Yunnan flatland	茄果类-白菜类+ 豆类	3—7月, 8—10月, 11—3月	辣椒:晶翠 豆类:芸黑豆1号 白菜:迷你黄1号、 迷你黄2号 番茄:火神2号	集约化育苗, 病虫害绿色 防控,膜下滴 灌等技术	22.5~30.0
	滇北高寒山区 Northern Yunnan alpine region	大白菜+甘蓝 大白菜+莴笋	4—7月, 7—10月	白菜:德高CR117、 抗大3号 莴笋:青神	集约化育苗, 病虫害绿色 防控,膜下滴 灌等技术	4.5~7.5
广西 Guangxi	桂南地区 Southern Guangxi	黄瓜+辣椒(设施 大棚) 豇豆+辣椒+叶菜 (露地)	5—10月,11— 次年4月 2—5月,6—10月, 11—次年1月	黄瓜:雄成6号、 绿丰8号 辣椒:天椒3号、金 富175、桂椒10号 白菜:中白76	集约化育苗、 病虫害绿色 防控、水肥一 体化等技术	12.0~33.0
	桂北地区 Northern Guangxi	高山设施番茄长茬 口栽培	4—11月	番茄:瑞菲、福瑞	集约化育苗、 避雨栽培、水 肥一体化等 技术	22.5~30.0

换期土地闲置^[37];品种更新缓慢,新品种引进评价体系亟待完善;集约化育苗技术落后,种苗质量有待提升^[38];配套基础设施建设不足^[34];生产技术不规范,不同生态区地方标准有待制定颁发;采后处理及加工体系缺乏,运输成本及采后贮藏成本高^[39]。

3 存在问题与发展途径

3.1 存在问题

西南地区种植制度多样,但特色不突出,竞争力不强,还存在资源集约化利用程度低、极端气候风险抵御能力弱、产业融合度不足等问题。资源集约化利用程度低主要表现为部分种植模式下生产方式不规范、适宜农机缺乏、技术集成度低严重阻碍机械化程度和劳动生产率的提高;不合理的施肥、耕作、植保等生产方式导致资源投入高、利用效率低、成本收益差等问题,不适应农业绿色发展的主题;作物茬口矛盾造成周年温光资源利用欠高效。极端气候风险抵御能力弱主要表现为丘陵山区基础设施条件差、作物生产防灾减灾技术缺乏与土壤及生态条件脆弱等。产业融合度不足主要表现为农业生产多关注于单方面的产出,未能充分发挥农田生态系统在改善土壤功能、增强生物多样性、景观服务等方面的功能。

3.2 发展途径

为保障粮食安全和重要农产品供给,促进农民增收,需要根据区域资源禀赋,立足区域地形复杂、气候多样、生态脆弱的特征,统筹山地、丘陵、平坝等不同地貌类型,以资源的高效利用和合理配置为原则,优化调整农作制度布局体系,因地制宜发展粮粮复合、粮经复合、菜地周年复种、种养复合等种植模式,研发构建轻简化、机械化、智能化、绿色化配套技术体系,加快建立西南地区现代化的新型农作制度。

一是优化种植布局。提倡区域化、规模化、设施化发展,完善主要种植模式的全程机械化生产,集成农田全程机械周年高产高效的技术。推动西南作物布局由原来的“小而全”,向跨行政区域的片状、带状发展,以建设成渝现代高效特色农业带为引领,逐步形成西南典型地域各具特色的优势产业带和产业群。

二是加大对传统农作制度的改革和创新。围

绕专业生产、产业建链,建立资源-生产-技术-市场为一体的新型农作制度,强化农田系统的生态、景观等功能,通过区域差异化布局、资源高效循环利用、一二三产融合,实现粮食安全、生态保护与特色产业增值的协同发展。

三是增强农业生产对气候变化的韧性。针对气候变化特征及关键气候制约因素,通过不同抗性、生育期的作物品种搭配,灌溉等农田基础设施的改进,合理的改进农作制度,积极适应气候变化对农业生产带来的挑战。

四是以场景打造为驱动,整合科技要素协同创新。多作物、多学科、多产业融合,研发山地立体资源结构优化理论与技术,水肥协同高效理论与技术,农机装备高效配置与管控系统,产业融合新业态新模式理论与技术,构建具有地域特色的现代农作技术体系,在典型区域布局打造集“田丰收、坡坎美、资源节、产出多、效益增”于一体的示范场景,引领西南农业现代化高质量发展。

参考文献 References

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2024. National Bureau of Statistics of China. *China Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2024 (in Chinese)
- [2] 鲍玉海, 贺秀斌, 尹飞虎, 伍巧, 龚道枝, 崔宁博. 西南地区农业水资源利用及雨水资源高效调控技术路径研究[J]. 中国工程科学, 2024, 26(6): 169-180. Bao Y H, He X B, Yin F H, Wu Q, Gong D Z, Cui N B. Current situation of agricultural water resource utilization and technology path for the efficient regulation rainwater resources in southwestern China[J]. *Strategic Study of Chinese Academy of Engineering*, 2024, 26(6): 169-180 (in Chinese)
- [3] 刘现, 王儒桐, 张凤, 贾露瑶, 刘世薇. 西南地区粮食安全评价研究[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2024, 46(2): 115-124. Liu X, Wang R T, Zhang F, Jia L Y, Liu S W. Research on evaluation of food security in Southwest China[J]. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2024, 46(2): 115-124 (in Chinese)
- [4] 郭耀辉, 况嘉欣, 杜兴端, 刘宗敏, 王永志. 中国西南地区粮食增产潜力、影响因素与策略研究[J]. 资源开发与市场, 2024, 40(6): 843-850. Guo Y H, Kuang J X, Du X D, Liu Z M, Wang Y Z. Research on the potential, influencing factors, and strategies of grain production increase in Southwest China[J]. *Resource Development & Market*, 2024, 40(6): 843-850 (in Chinese)
- [5] 刘永红, 岳丽杰, 杨勤, 李卓, 李奇. 西南地区玉米农作模式的演变与发展[J]. 玉米科学, 2017, 25(3): 99-104. Liu Y H, Yue L J, Yang Q, Li Z, Li Q. Evolution and development of farming system in maize region of southwest China[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2017, 25(3): 99-104 (in Chinese)
- [6] 龙健, 江新荣, 邓启琼, 刘方. 贵州喀斯特地区土壤石漠化的本质特征研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 419-427. Long J, Jiang X R, Deng Q Q, Liu F. Characteristics of soil rocky

- desertification in the karst region of Guizhou Province[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(3): 419-427 (in Chinese)
- [7] 刘巽浩,陈阜. 中国农作制[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005
- Liu X H, Chen F. *Farming Systems in China* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005 (in Chinese)
- [8] 周评平, 朱从桦, 叶江红, 李旭毅, 陈涓. 西南稻麦周年生产农业科技集成转化现状及展望[J]. 通信与信息技术, 2024(6):120-124
- Zhou P P, Zhu C H, Ye J H, Li X Y, Chen J. Current status and prospect of integrated agricultural technology transformation for rice and wheat continuous production in Southwest China [J]. *Communication & Information Technology*, 2024(6): 120-124 (in Chinese)
- [9] 侯雯嘉. 近 30 年长江下游地区稻油关键生育期灾害性气候特征及对稻油产量的影响[D]. 南京:南京农业大学, 2015
- Hou W J. Effects of disaster climatic characteristics during rice and rape key growing stage on rice and rape production in the lower reaches of Yangtze River last 30 years[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015 (in Chinese)
- [10] 黄才浚, 廖继超, 钟建, 李菊, 王一鸣, 林昊, 唐建, 欧阳裕元, 苗明军. 稻-蒜轮作高产高效栽培技术[J]. 四川农业科技, 2024(7):26-28
- Huang C J, Liao J C, Zhong J, Li J, Wang Y M, Lin H, Tang J, Ouyang Y Y, Miao M J. High yield and high efficiency cultivation techniques of rice-garlic rotation[J]. *Sichuan Agricultural Science and Technology*, 2024(7): 26-28(in Chinese)
- [11] 朱从桦, 任丹华, 欧阳裕元, 李彬, 黄海波, 廖为, 郑家国, 李旭毅. 水稻无人机施肥技术要点及展望[J]. 四川农业与农机, 2022, (6):48-49, 51
- Zhu C H, Ren D H, Ouyang Y Y, Li B, Huang H B, Liao W, Zheng J G, Li X Y. Key points and prospect of fertilization technology for rice unmanned aerial vehicle[J]. *Sichuan Agriculture & Agricultural Machinery*, 2022, (6): 48-49, 51 (in Chinese)
- [12] 陈百羽. 农业社会化服务对农户农药减量施用的影响研究: 基于参与程度与服务类型组态效应的分析[D]. 雅安:四川农业大学, 2024
- Chen B Y. Study on the impact of agricultural socialized services on farmers' pesticide reduction: Based on the analysis of participation degree and configuration effect of service types [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2024 (in Chinese)
- [13] Li M, Li C S, Liu M, Xiong T, Wu X L, Tang Y L. Balancing grain yield and environmental performance by optimizing planting patterns of rice-wheat cropping systems[J/OL]. *Science of the Total Environment*, (2024-01-01). DOI:doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167813
- [14] 李朝苏, 李明, 吴晓丽, 魏会廷, 刘森, 汤永禄, 熊涛. 耕作播种方式对稻茬小麦生长和养分吸收利用的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(5):1435-1442
- Li C S, Li M, Wu X L, Wei H T, Liu M, Tang Y L, Xiong T. Effects of tillage and sowing practices on plant growth, soil nutrient uptake and utilization of wheat after rice[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(5): 1435-1442 (in Chinese)
- [15] 吴晓丽, 李朝苏, 汤永禄, 刘于斌, 李伯群, 樊高琼, 熊涛. 氮肥运筹对小麦产量、氮素利用效率和光能利用率的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(6): 1889-1898
- Wu X L, Li C S, Tang Y L, Liu Y B, Li B Q, Fan G Q, Xiong T. Effect of nitrogen management modes on grain yield, nitrogen use efficiency and light use efficiency of wheat[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(6): 1889-1898 (in Chinese)
- [16] Xu F X, Zhang L, Zhou X B, Guo X Y, Zhu Y C, Liu M, Xiong H, Jiang P. The ratoon rice system with high yield and high efficiency in China: Progress, trend of theory and technology[J/OL]. *Field Crops Research*, (2021-10-01). DOI:doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108282
- [17] Jiang P, Zhang L, Chen C, Zhou X B, Liu M, Xiong H, Guo X Y, Zhu Y C, Xu F X. Progress and challenges of rice ratooning technology in Sichuan Province, China [J]. *Crop and Environment*, 2023, 2(3): 111-120
- [18] 徐富贤, 熊洪, 张林, 朱永川, 蒋鹏, 郭晓艺, 刘茂. 再生稻产量形成特点与关键调控技术研究进展[J]. 中国农业科学, 2015, 48(9):1702-1717
- Xu F X, Xiong H, Zhang L, Zhu Y C, Jiang P, Guo X Y, Liu M. Progress in research of yield formation of ratooning rice and its high-yielding key regulation technologies[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(9): 1702-1717 (in Chinese)
- [19] 刘茂, 张林, 蒋鹏, 郭晓艺, 郑雪彬, 周兴兵, 朱永川, 郭长春, 田绍平, 徐富贤. 冬水田区杂交中稻-再生稻高产高效节肥技术[J]. 中国稻米, 2025, 31(2):70-75
- Liu M, Zhang L, Jiang P, Guo X Y, Zheng X B, Zhou X B, Zhu Y C, Guo C C, Tian S P, Xu F X. Fertilizer-saving application technology for high yield and efficiency of hybrid medium rice-ratoon rice in winter paddy fields[J]. *China Rice*, 2025, 31(2): 70-75(in Chinese)
- [20] 谭科, 罗其刚, 张德明, 谢航, 刘行, 刘运军. “双稻双虾”综合种养新模式探索:以四川省泸县新山村养殖基地为例[J]. 渔业致富指南, 2024(12):21-25
- Tan Q, Luo Q G, Zhang D M, Xie H, Liu X, Liu Y J. Exploration on the new comprehensive breeding mode of “double rice and double shrimp”: A case study of Xinshan Village breeding base in Luxian County, Sichuan Province [J]. *Fishery Guide to Be Rich*, 2024(12): 21-25 (in Chinese)
- [21] 李雪, 张霞, 陈国鹏, 王小春, 杨文钰. 西南地区玉米-大豆带状套作成本及综合效益分析[J]. 中国油料作物学报, 2023, 45(2):427-436
- Li X, Zhang X, Chen G P, Wang X C, Yang W Y. Cost and comprehensive benefit analysis of maize-soybean relay strip intercropping system in Southwest China[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2023, 45(2): 427-436 (in Chinese)
- [22] 刘永红. 西南山地玉米机械化高产高效生产理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2022
- Liu Y H. *Theory and Technology of Mechanized High-Yield and High-Efficiency Maize Production in Southwest Mountainous Areas* [M]. Beijing: Science Press, 2022 (in Chinese)
- [23] 宋全安. 四川丘区旱作农业发展研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006
- Song Q A. *Research on Dryland Agriculture Development in Sichuan Hilly Areas* [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2006 (in Chinese)
- [24] 刘永红, 李茂松. 四川季节性干旱与农业防控节水技术研究[M]. 北京: 科学出版社, 2011
- Liu Y H, Li M S. *Study on Seasonal Drought and Water-Saving Technology of Agricultural Prevention and Control in Sichuan* [M]. Beijing: Science Press, 2011 (in Chinese)
- [25] 杨鸿. 丘陵山区农业机械化发展分析[J]. 四川农业与农机, 2024(3):68-69
- Yang H. Analysis on the development of agricultural mechanization development in hilly and mountainous areas [J]. *Sichuan Agriculture & Agricultural Machinery*, 2024(3): 68-69 (in Chinese).
- [26] 陶成林. 丘陵山区农业机械化发展主要问题及应对策略分析[J]. 农业工程与装备, 2023, 50(4):6-8
- Tao C L. The main problems and response strategy analysis of the development of agricultural mechanization in the hilly mountain area [J]. *Agricultural Engineering & Equipment*, 2023, 50(4): 6-8 (in Chinese).
- [27] 欧阳伏亭, 陈天宝, 付敏, 赖靖雯, 陈敏, 曾洪良. 基于玉米大豆带状复合种植模式肉牛粪肥氮素矿化特征研究[J]. 四川农业科技, 2023(6):51-54
- Ouyang Y T, Chen T B, Fu M, Lai J W, Chen M, Zeng H L. Study on nitrogen mineralization characteristics of beef cattle manure based on corn-

- soybean strip compound planting model[J]. *Sichuan Agricultural Science and Technology*, 2023(6): 51-54 (in Chinese).
- [28] 钟珍梅, 黄勤楼, 翁伯琦, 黄秀声, 冯德庆, 陈钟佃. 以沼气为纽带的种养结合循环农业系统能值分析[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(14): 196-200
- Zhong Z M, Huang Q L, Weng B Q, Huang X S, Feng D Q, Chen Z D. Energy analysis on planting-breeding circulating agriculture ecosystem linked by biogas [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(14): 196-200(in Chinese)
- [29] 古学英, 邱玲, 刘琴, 吴周燕, 江瀚, 欧阳佚亭, 付敏. 德阳原野有机牧场休闲观光典型模式解析[J]. *四川农业科技*, 2023, 6: 96-98
- Gu X Y, Qiu L, Liu Q, Wu Z Y, Jiang H, Ouyang Y T, Fu M. Analysis of typical leisure and sightseeing mode of organic ranch in Deyang Yuan Ye[J]. *Science and Technology of Sichuan Agriculture*, 2023(6): 96-98 (in Chinese)
- [30] 陈天宝, 万昭军, 付茂忠, 张红, 张金灵, 杨朝武, 蒋小松. 基于氮素循环的耕地畜禽承载力评估模型建立与应用[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(2): 191-195
- Chen T B, Wan Z J, Fu M Z, Zhang H, Zhang J L, Yang C W, Jiang X S. Modeling and application of livestock supporting capacity estimation of cropland based on nitrogen cycling in southwest China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(2): 191-195 (in Chinese).
- [31] 任昊奎, 唐小付, 徐满意, 聂圣贤, 陈宏昊. 广西蔬菜产业发展现状及对策[J]. *中国蔬菜*, 2022(8): 12-16
- Ren H K, Tang X F, Xu M Y, Nie S X, Chen H H. Present situation and countermeasures of vegetable industry development in Guangxi[J]. *China Vegetables*, 2022(8): 12-16 (in Chinese).
- [32] 徐靖, 王德祥, 农万相, 何静玥, 文军. 云南省蔬菜产业发展现状问题及对策[J]. *南方农业*, 2023, 17(9): 232-235
- Xu J, Wang D X, Nong W X, He J Y, Wen J. Development status, problems, and countermeasures of vegetable industry development in Yunnan Province[J]. *South China Agriculture*, 2023, 17(9): 232-235 (in Chinese)
- [33] 李玉芳, 况觅, 李姗姗, 彭翎凌. 重庆市蔬菜产业发展现状及对策建议[J]. *长江蔬菜*, 2024(22): 81-83
- Li Y F, Kuang M, Li S R, Peng L L. Development status and countermeasures of vegetable industry in Chongqing [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2024(22): 81-83 (in Chinese).
- [34] 王娅, 毛妃凤, 屈立武, 朱守亮, 周韬. 贵州高原夏秋蔬菜产业集群建设现状及对策[J]. *长江蔬菜*, 2025(4): 6-8
- Wang Y, Mao F F, Qu L W, Zhu S L, Zhou T. Present situation and countermeasures of vegetable industrial cluster construction in summer and autumn in Guizhou Plateau[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2025(4): 6-8 (in Chinese).
- [35] 刘会芳, 韩宏伟, 王强, 庄红梅, 王浩. 不同蔬菜与番茄轮作对设施土壤微生物多样性、酶活性及土壤理化性质的影响[J]. *微生物学报*, 2021, 61(1): 167-182
- Liu H F, Han H W, Wang Q, Zhuang H M, Wang H. Effect of vegetables-tomato rotation on soil microbial diversity, enzyme activity and physicochemical properties of vegetables in greenhouse [J]. *Acta Microbiologica Sinica*, 2021, 61(1): 167-182 (in Chinese)
- [36] 王润, 李思民, 陈鹏峯, 赵林艳, 丁一伟, 官会林, 向萍, 徐武美. 我国西南地区代表性蔬菜对重金属的积累特征[J]. *云南师范大学学报: 自然科学版*, 2022, 42(4): 49-54
- Wang R, Li S M, Chen P L, Zhao L Y, Ding Y W, Guan H L, Xiang P, Xu W M. Heavy Metal Accumulation in the Representative Vegetables in Southwest China[J]. *Journal of Yunnan Normal University: Natural Sciences Edition*, 2022, 42(4): 49-54(in Chinese).
- [37] 韩爱武. 长江流域蔬菜生产周年茬口安排探讨[J]. *安徽农学通报*, 2017, 23(11): 77-80
- Han A W. Discussion on the annual stubble arrangement of vegetable production in the Yangtze River Basin [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2017, 23(11): 77-80 (in Chinese)
- [38] 赵晓晨, 董莉, 徐猛, 赵俊, 崔家迅, 杨莹彪, 赵家进. 云南高原蔬菜集约化育苗现状与对策建议[J]. *中国蔬菜*, 2025(7): 24-28
- Zhao X C, Dong L, Xu M, Zhao J, Cui J X, Yang Y B, Zhao J J. The current situation and countermeasures of intensive seedling cultivation of vegetables in Yunnan Plateau[J]. *China Vegetables*, 2025(7): 24-28 (in Chinese)
- [39] 李劲然. 四川蔬菜产业发展及贸易情况分析报告[J]. *四川农业与农机*, 2025(2): 4-5, 19
- Li J R. Analysis report on the development and trade of the vegetable industry in Sichuan[J]. *Sichuan Agriculture and Agricultural Machinery*, 2025(2): 4-5, 19(in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅



第一作者简介: 刘永红, 博士, 现任四川省农业科学院副院长, 研究员, 国家玉米产业技术体系岗位科学家, 四川省学术技术带头人。兼任中国作物学会栽培委员会玉米栽培学组副组长、农业农村部玉米专家指导组成员、南方丘区节水农业研究四川省重点实验室主任。主要从事玉米耕作栽培、旱作农业领域研究工作。先后主持和参与国家“863”计划、国家科技支撑计划、国家重点研发计划、国家玉米产业技术体系、农业部跨越计划、农业部行业专项、四川省科技支撑和应用基础等省部级项目(课题)10余项。发表论文50余篇, 主编专著4部, 参编4部; 在西南地区季节性干旱防控、农业抗旱节水新技术、西南坡耕地玉米高产高效栽培等方面有创造性研究成果, 获得国家科技进步奖二等奖3项, 省部级科技进步奖特等奖1项, 省部级科技进步奖一等奖3项、二等奖5项、三等奖2项; 获授权发明专利1项、实用新型专利3项。2000年享受国务院“政府特殊津贴”, 2014年荣获农业部“科技入户四川首席专家”, 2010年获“四川省劳动模范”称号, 2017年获国家百千万人才工程“有突出贡献的中青年专家”称号, 2019年获第二届“四川杰出人才奖”, 2021年获“神农领军英才”称号。