

# 我国耕作制度研究进展与展望

柴强<sup>1,2</sup>, 胡发龙<sup>1,2</sup>

(1. 省部共建干旱生境作物学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 农业生产在满足人们对粮食基本需求和美好生活需要的同时, 正面临耕地资源锐减、环境健康受损和土壤退化加剧等历史性挑战, 与此相关的耕作制度再一次受到人们关注, 并被赋予新的历史使命, 给当代农业生产问题的解决从耕作制度视角提供历史经验和参考。从耕作制度演变及内涵变迁、耕作制度研究的作用与贡献以及耕作制度发展的驱动力和现实挑战三个方面进行了详细综述, 同时针对耕作制度改革、智能化发展等提出了未来研究重点。

**关键词:** 耕作制度; 粮食安全; 农业区划; 利用效率; 可持续

**中图分类号:** S344

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2097-2172(2022)01-0019-07

**doi:** 10.3969/j.issn.2097-2172.2022.01.004

## Research Progress and Prospect of Farming System in China

CHAI Qiang<sup>1,2</sup>, HU Falong<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Arid Land Crop Science, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** Agricultural production providing essential foods and needs for peoples' demand and good life. However, it facing with historical challenges on farmland resources reduction, environmental health damage, and soil degradation aggravation. Farming system has once again attracted people's attention, and been excepted with new historical missions, therefore, providing the historical experience and reference to address agricultural production issues. The current study detailly reviewed the historical evolution and connotation evolvment, the research meaning and contribution and the driving force of development and realistic challenges of farming system. Besides, the study also proposed future key research directions regarding reform and intelligent development of farming system.

**Key words:** Farming system; Food security; Agricultural division; Utilization efficiency; Sustainability

农业的发展历程是人类文明史和进步史的直接映射, 展现了人类认识自然、改造自然的非凡成就, 体现了人类和自然和谐共处的伟大智慧。在任何一个历史阶段, 农业始终承载着提供人类物质需求和满足人们生活需要的多重功能。耕作制度作为农业生产的指导纲领, 被赋予解决好粮食安全和推动农业健康发展的重大责任<sup>[1]</sup>。纵观我国耕作制度的演变历程, 以复种、轮作、间混套作为特色的多熟种植在保障粮食安全方面做出了巨大贡献<sup>[2-3]</sup>, 是种植制度的核心; 以农田培肥、种养结合、保护性耕作为主的养地策略实现了农业可持续生产<sup>[4]</sup>, 是养地制度的核心。随着

近年来我国农业结构调整和种植业供给侧结构性改革, 耕作制度在优化种植结构、提高耕地健康和可持续生产水平方面的潜力亟需进一步挖掘。

进入 21 世纪以来, 生态和环境问题突出, 农业生产正面临着耕地资源锐减<sup>[5-6]</sup>、土壤退化和污染加剧<sup>[7-8]</sup>、资源格局发生根本性改变、自然灾害频发等多重压力。同时, 品种更新加速、土地流转加快、机械化普及、信息和人工智能迅速发展, 如何在多重变化环境条件下解决好粮食安全问题及可持续发展问题是时代赋予耕作制度的又一次重大考验。我们综述了我国耕作制度的演变及内涵变迁, 分析了耕作制度研究的主要作用和

收稿日期: 2022-09-15

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD1700204-05); 国家现代农业产业技术体系(CARS-22-G-12)。

作者简介: 柴强(1972—), 男, 甘肃武威人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事多熟种植、旱地绿肥栽培、节水及循环农业研究工作。Email: chaiq@gsau.edu.cn。

贡献,解析了耕作制度发展的驱动力及现实挑战,同时结合新时代农业发展需求和特征,提出了我国耕作制度改革和发展的研究重点,以期为我国农业现代化建设提供理论参考。

### 1 耕作制度的演变及内涵变迁

自有目的的获取稳定食物开始,围绕如何种好作物和养好土地,人类迈入了认识自然、改造自然的历史进程,而不同历史阶段针对提高土地利用效率所进行的创新,推动了耕作制度从撂荒耕作制向休闲耕作制、轮种耕作制和集约耕作制的更迭(表1),成为现代耕作制体系建立不可或缺的重要历史积淀和组成部分。进入工业社会以来,机械设备、化肥农药被广泛应用于农业生产,单位面积产量大幅提高<sup>[9]</sup>。然而,高强度、掠夺式的生产方式使土壤遭受破坏<sup>[10]</sup>,导致耕地资源面临可持续生产的重大挑战,这迫使现代集约耕作制不得不审视内在问题。以史为鉴,是寻找解决途径的关键。纵观耕作制度更迭的历史经纬,遵循自然规律、顺应自然法则、强化土地用养结合是其建立和发展的根本。为此,以资源禀赋和气候特征为约束、以种植—养地—防护(一经营)制度为核心、以智能机械和信息装备为辅助、以资

源高效利用和可持续发展为目标建立气候智慧型耕作制度<sup>[3]</sup>,将是解决当前农业生产问题,保障农业健康和持续发展的重点。

我国农耕历史悠久,但对耕作制度研究始于近代,其内涵也几经变迁(表2)。1936年,中华书局编印《农作学》一书,标志着我国耕作制度在学科尺度上的研究正式拉开帷幕<sup>[12]</sup>。到1994年的《耕作学》问世,耕作制度内涵从作物生产和土壤耕作技术措施向土地用养综合技术体系转变,成为耕作制度内涵变迁的一个里程碑,由此确立了种植制度(中心)和养地制度(基础)两个重要组成部分<sup>[13]</sup>。然而,农业生产涉及土壤、水分、作物、牲畜、劳动力、市场及其他资源和要素,以种植系统为主体研究耕作制度具有明显的局限性<sup>[14]</sup>,同时“耕作制度”一词在向纵深综合方向发展过程中也存在诸多限制。

2002年,中国耕作制度研究会学术年会在甘肃农业大学召开,会议倡导以农作制度与农作学替代耕作制度与耕作学。2005年,刘巽浩等<sup>[15]</sup>编制出版《农作学》,并对农作制度给出确切的定义(表2),使耕作制度研究以种植业为边界拓展到与其相关的养殖业和农产品加工业等领域,也标志

表1 不同类型耕作制度及其特点

耕作制度类型	代表农具	主要特点
撂荒耕作制	木耒、石耜	“刀耕火种”,仅有掘土、播种、收割等,无中耕除草和施肥灌溉,长期撂荒(生荒);或往复开辟一些固定土地,有中耕除草,但无养地措施,一般撂荒20~30年(熟荒) <sup>[9]</sup>
休闲耕作制	青铜铲、铁犁	“易田”,土地耕1年休1年,部分地力差的土地耕1年休2年,开始注重施肥(粪肥)养地,极少用灌溉 <sup>[11]</sup>
轮种耕作制	曲辕犁、耙、耱、耨	作物种类增多,种植业结构日益丰富,盛行豆科作物与其他作物轮作(草田轮作、绿肥轮作、禾豆轮作等);水利全面兴起;施肥体系逐渐完善,用地、养地紧密结合 <sup>[9]</sup>
集约耕作制	铧式犁、圆盘耙、旋耕机、播种机、喷雾机、联合收获机	间、混、套、复种等多熟种植为主,机械全面普及,化石能源及矿质营养投入多,土地连年种植,一熟地区以栽培集约化为主,多熟地区种植集约化结合栽培集约化 <sup>[11]</sup>

表2 我国耕作制度研究的代表著作及其反映的耕作制度内涵

年份	著作	主编	主要内涵
1936	《农作学》	陆费执,刘崇佑	作物栽培、土壤施肥、除草、灌溉、收获及贮藏方法 <sup>[12]</sup>
1981	《耕作学》	北京农业大学	农业生产中,为了农田持续高产所采用的全部的农业技术措施体系 <sup>[16]</sup>
1994	《耕作学》	刘巽浩	一个地区或生产单位的农作物种植制度以及与之相适应的养地制度的综合技术体系 <sup>[13]</sup>
2005	《农作学》	刘巽浩	一个区域或生产经营单位内,自然和人工环境与各类农业生物组成的多种亚系统及其直接关联的产后升级元的稳定统一体 <sup>[15]</sup>
2016	《农作学》	李军	在特定区域(地区、农场、农户)内,由种植业、养殖业、农产品加工和贮藏业、农产品营销业等农业子系统构成的综合性农业生产和经营管理体系 <sup>[4]</sup>

着“耕作制度”被“农作制度”包含和代替。2016年,李军<sup>[4]</sup>编制出版《农作学》(第2版),将农作制度基本组成归纳梳理为农田种植制度、农田养地制度、农田防护制度和农作经营制度等4个方面,使农作制度研究内容更趋系统和完善。将自然和社会资源,种—养—加—运—销全产业链,农业法律、法规和规章等纳入现代农作制研究已成为作物栽培学与耕作学科发展的必要趋势。

## 2 耕作制度研究的作用与贡献

### 2.1 建立农业综合区划,提高资源利用效率

农业生产具有强烈的地域性,与之相适应的资源种类、数量和性质也千差万别,因地制宜是首要原则<sup>[17]</sup>。针对我国复杂的地形地貌和气候环境特征,前人根据农业生产状况(社会经济条件)和自然资源特点编制了我国第1部《中国综合农业区划》<sup>[18]</sup>,为耕作制度区划的制定奠定了理论基础。1984年出版的《中国种植业区划》<sup>[19]</sup>,以作物种植结构和布局为依据,突显了农业区划中种植制度的重要性。之后的《中国耕作制度区划》和《中国农作制》中区划的制定均以耕作制为单元进行(表3),确立了耕作制度在农业区划制定中的主导地位。同时也使农业区划更趋生产现实,对区域种植结构安排和资源高效利用具有重要的指导意义。

当前,气候变暖、自然灾害增多,以传统耕作制确立的农业区划在熟制界定、防灾减灾等方面表现出一定不足。因此,陈阜等基于气候变化、技术进步及资源环境保护综合因素,运用遥感、地理信息系统,通过模型模拟将全国分为3个熟制带,11个一级区和41个二级区<sup>[3]</sup>,为“国家粮

食安全产业带”建设提供了科学参考。然而,我国农业生产正面临着资源限制加剧、生产成本剧增、环境足迹加重等突出问题,同时面临作物品种更新、土地流转加速、智能机械普及的生产变革,现有农业区划应根据现代农作制的基本内涵和国家战略需求,加快形成以产业带为基础的功能性区划体系,以此针对性布局粮、经、饲等主要作物,调整性完成轮作休耕战略任务,使各产业带内光、热、水、土资源得到合理和充分利用。

### 2.2 促进作物持续高效生产,保障我国粮食安全

耕地锐减、土壤退化、资源短缺已成为全球性问题<sup>[22]</sup>,严重威胁着我国乃至全球的粮食安全<sup>[23]</sup>。同时,人口不断增长导致粮食需求进一步加大<sup>[24]</sup>,持续高效生产粮食是不同国家应对当前问题的唯一途径。纵观我国耕作制度的演变和发展历程,以轮作复种、间套作等为代表的多熟种植<sup>[25-26]</sup>,在不同历史阶段承担了持续产出粮食的重要使命<sup>[27]</sup>。但进入21世纪以来,机械化使间套作种植受到严重冲击,应用面积大幅缩减<sup>[26]</sup>;同时,资源性限制(劳力、水资源)使传统的间套作、复种难以为继,造成了种植模式单一且严重依赖化肥的不可持续生产现状。

以耕作制度为依循,在辨识不同区域特定农业资源条件下合理构建作物多样化种植,可实现作物稳定增产、持续高效和绿色环保目标<sup>[23,28]</sup>。近年来,北方的冬小麦—夏玉米轮作、春小麦—春玉米轮作,以及南方的水稻—小麦轮作、水稻—油菜轮作等以多熟种植为主的多样化种植模式已形成完整的技术体系,基本实现机械化、标

表3 我国农业区划的代表性著作及主要内容

年份	著作(期刊)	主编(作者)	主要内容
1981	《中国综合农业区划》	全国农业区划委员会	土地资源利用,作物生产布局和结构调整,农业技术改造;将全国分为19个一级农业区和38个二级农业区 <sup>[18]</sup>
1984	《中国种植业区划》	中国科学院《中国种植业区划》编写组	我国种植业发展和现状,种植业生产结构和布局安排;将我国种植地区划分为10个一级区和31个二级区 <sup>[19]</sup>
1987	《中国耕作制度区划》	刘巽浩	对区划的多种参考要素和耕作制度的各个环节进行系统梳理,以作物结构和熟制为中心,将全国划分为3个熟制带,12个一级区和38个二级区 <sup>[20]</sup>
2005	《中国农作制》	刘巽浩、陈阜	综合考虑农、林、牧关系及商品经济要素,以农作制为单元,将我国划分为10个一级区和41个二级区 <sup>[21]</sup>
2021	《中国农业资源与区划》	陈阜、姜雨林、尹小刚	基于气候变化与技术进步及资源环境保护综合考虑和要求,将全国分为3个熟制带、11个一级区和41个二级区 <sup>[3]</sup>

准化,有效保障了粮食产出。然而,玉米/花生、玉米/豌豆等间作模式,尽管在资源互补利用、增加产量、减少温室气体排放等方面有诸多优势<sup>[29-30]</sup>,但由于配套机械缺乏,生产中大面积应用的困难日益加剧。近年来,以杨文钰教授为首的四川农业大学玉米大豆带状复合种植团队,在该模式的机械化播种、施肥、喷药和收获等领域取得了突破性进展<sup>[31]</sup>,有望为带状间作现代化提供重要理论和实践支持。通过间作机械化全面普及,可缓解我国粮食自给压力,消除国际封锁对我国制造的不利影响。

### 2.3 增强土地用养结合,提高农田土壤肥力

农业生产的高质量发展离不开健康的土壤,提高土壤保肥、保水、供肥、供水能力需要构建用养并重的综合技术体系<sup>[32-33]</sup>。早在休闲耕作制时期,有机肥就被用来培肥土壤;到轮种耕作制时期,豆科、绿肥被纳入轮作系统中,实现了土地用养的紧密结合。进入21世纪以后,化肥成为大多数种植业系统唯一养分来源,辅助以农药施用,使粮食产量获得了大幅提升,但同时面源污染、土壤退化也随之加重<sup>[7]</sup>,探索绿色、可持续生产方式成为时代的迫切需要。近年来,国家绿肥产业技术体系、有机类肥料和微生物肥产业技术创新战略联盟相继成立,为新时代土地用养结合创新发展建立了一流平台,为“农田必须是良田”的期望和目标实现提供了有力支撑。

耕作措施方面,以少免耕、秸秆覆盖免耕等为主导的保护性耕作措施得到快速发展,缓解了土壤结构的损害和破坏,达到养地、保地目的<sup>[34-35]</sup>。2005年,中央一号文件提出“改革传统耕作方法、发展保护性耕作”,倡导土壤耕作技术改革;2025年,保护性耕作实施面积将达933万 $\text{hm}^2$ ,可有效减轻土壤风蚀水蚀、增加土壤肥力和保墒抗旱能力。同时,轮作休耕制度、黑土地保护与利用科技创新、北方干旱半干旱与南方红黄壤等中低产田能力提升科技创新重点专项相继实施,为养地制度的科技创新和发展提供了智力和技术保障。耕地用养已迎来理论、技术和制度全面发展的最佳历史机遇,使“藏粮于地、藏粮于技”战略实施得以稳步实现。以化肥减施替代和保护性耕作为实现路径的耕作制度改革,已成为我国农田土壤保

育和健康发展的重点突破方向。

### 2.4 保护生态环境,推进农业可持续发展

自1993年我国成为世界上化肥消费第一大国以来<sup>[32]</sup>,化肥施用量持续增高,但粮食产量增加缓慢<sup>[36]</sup>,养分资源浪费严重<sup>[37]</sup>,大量未被作物利用的养分进入土壤、大气和水体生态系统中,导致氮素沉降、酸雨以及温室气体排放等生态环境问题<sup>[38-39]</sup>。研究表明,免耕、秸秆还田、配方施肥优化等措施能降低农田温室气体排放,减少土壤氮素残留<sup>[40-43]</sup>;同时,将保护性耕作、施氮制度等养地技术措施与间套作种植模式结合可提高水、氮利用效率,同步减排农田温室气体<sup>[44-45]</sup>。因此,将种植制度与养地制度有效衔接,建立资源节约型、生产经营集约型和环保可持续型耕作制度,是未来农业健康、稳定、持续发展的重要基础。

施用肥料是养地制度的核心,合理施肥是减少农田温室气体的关键<sup>[46-47]</sup>,将有机与无机肥料配合施用,可提高肥料利用率、降低净温室效应,实现“减排”和“固碳”目标<sup>[48-49]</sup>。近年来,围绕化学肥料减施增效,以新型缓/控释肥料与稳定肥料研制、新型复混肥料及水溶肥料研制、功能水溶肥料研制与产业化、新型绿肥产品创制与产业化等为代表的一大批国家重点研发计划项目相继启动,为养地制度的不断完善提供了创新动力,为土壤质量修复提升以及绿色可持续发展提供了有力保障。改进和优化耕作措施、创新种植模式、优化肥料配置方式等已成为我国耕作制度改革的重点方向,在土壤有机碳贮量稳步提升、农田温室气体持续减排等方面将发挥重要作用。

## 3 耕作制度发展的驱动力及现实挑战

从耕作制度的发展史中能清晰看到人口增长(粮食需求)压力下人类在适应自然、改造自然过程中做出的一系列突破和创新,而不同时期的科学技术水平和经济基础决定了人们所做突破的方向以及所做创新的价值。当然,所有的尝试都离不开资源禀赋的限制。因此,在耕作制度发展过程中,社会需求是基本动力、资源禀赋是决定因素、科技进步是技术保证<sup>[4]</sup>。现代农业生产中,无论社会需求、资源禀赋还是科学技术都发生了根本改变,也使耕作制度面临变革需要。明确当

前农业生产的现实挑战, 对耕作制度改革具有重要指导意义。

伴随着经济快速发展和生活质量不断提升, 我国居民对肉、蛋、奶产品的需求不断增加<sup>[50]</sup>。然而, 我国种养业发展的协调度不足, 大量农产品生产后形成农业废弃物, 秸秆、畜禽粪污循环受阻, 普遍采用焚烧和集中堆放的方式处理<sup>[51]</sup>, 在造成资源浪费的同时加重了环境危害, 因此构建区域内、跨区、甚至产业带间的种养结合农作制度成为迫切需要。在农产品种类和数量的要求之外, 人们对食品安全的意识逐渐增强, 绿色、无公害农产品需求不断增大。但传统农业生产过程缺乏农作制度统筹管理, 种植业严重依赖化肥和农药, 农产品环境足迹普遍较高。通过种养结合、资源合理配置和生态区位联通构建生态环保型农作制, 将是未来高品质农业发展的主导模式。

受气候变暖影响, 作物种植北界持续扩展, 伴随其右的是降水格局发生转变, 我国降水已多年呈现“北多南少”的倒置现象, 南方夏伏旱严重, 北方秋季极端性强降水频发, 同时风雹、低温冷冻等极端灾害事件时有发生。除水、热资源特征发生变化外, 耕地资源面临着退化和贫瘠化的风险, 且随着生产性变革, 土地流转加速进行<sup>[52]</sup>, 但部分土地流转后被掠夺式利用, 引起严重的板结和污染问题。社会资源方面, 劳动力结构发生改变, 农业生产人员年龄普遍偏高, 劳动生产率较低, 而种子、化肥、地膜等生产资料成本剧增, 极大削弱了生产部门在土地养护方面的投入。积极应对自然及社会资源新变化, 需要从种植模式、耕作方式、施肥制度等多个环节对耕作制度做出优化和调整。

工业的快速发展推动了我国农业机械化和智能化步伐, 一大批复式作业和联合作业机械被应用于农业生产中, 且部分机械具备操控智能化、自动化功能, 大幅提高了工作效率<sup>[53]</sup>。与大型智能机械的普及相反, 适用于多样化种植模式的机械研发却严重滞后, 特别是针对间套作种植的微小机械十分短缺, 造成相关种植模式在生产中的应用受限严重。与农业机械的现状相似, 随着育种手段的科技水平不断提高<sup>[54]</sup>, 适宜规模化种植的作物品种类型较为丰富, 但针对多样化种植,

耐阴、耐密的品种严重缺乏。此外, 众多研究人员瞄准种植模式、耕作方式、灌水施肥等进行科技创新, 获得了大量研究成果, 但科技转化率较低。以耕作制度改革的现实需求为出发点, 针对种植、养地、防护及经营制度中不足的进行专项研发, 是提高科技进步对农业贡献率的关键。

#### 4 耕作制度未来研究重点

以精耕细作为特征的中国耕作制度在中华五千年发展历程中扮演着重要角色, 使我国农业生产水平一度领先于世界<sup>[55]</sup>, 在近代, 更是创造了用世界 7% 的土地养活世界 21% 人口的伟大奇迹<sup>[56]</sup>。中国耕作制度向来具有包容性和发展性, 在 21 世纪, 将向着信息化、智能化和可持续的方向发展, 所涉及的内容在秉承粮食自给和可持续原则基础上将逐步深入到现代农业建设的各个方面。

##### 4.1 耕作制度未来改革方向始终以可持续为原则

我国农业发展面临着耕地不断减少、水资源短缺和自然灾害频发等突出问题<sup>[24, 55]</sup>, 不适宜的生产方式造成了严重的土壤退化和生态问题<sup>[8]</sup>, 耕作制度的改革应寻求资源节约、生态平衡、生产效率提高、农业技术创新、农产品质量安全、人民生活水平提高的可持续发展路径<sup>[56]</sup>。现代耕作制度的改革还应充分了解生物与生物、生物与环境的关系, 依靠先进的科学技术来提高资源利用率, 形成农业生产与资源环境承载力相匹配、农产品产出与市场需求相匹配的高效生产模式。

##### 4.2 耕作制度改革需要大数据为基础的宏观决策作为支撑

农业是一个非均匀的、具有复杂结构的非平衡开放系统, 该系统中, 有人口、资源、环境、生态等诸多因素, 也有生产、流通、分配、消费等诸多过程<sup>[57]</sup>。因而, 耕作制度改革必须及时、有效和准确地掌握这些因素与过程之间的联结特征, 必须通过农业信息的收集、处理和反馈来促进各因素和不同过程的相互协调。加强我国农业信息化建设, 以信息作为耕作制度改革的决策依据, 可科学优化农业产业结构, 不断完善农业标准化服务体系<sup>[58]</sup>, 从而提高农产品科技含量, 推进我国农业现代化进程。

##### 4.3 耕作制度智能化发展需要智慧农业作为依托

智慧农业是提供全程智能服务的综合性策略,

它利用 3S 技术对农业信息进行全面感知、采集和分析,通过云计算、物联网、自动控制实现智能预警、智能决策和智能分析,同时结合专家在线指导,为农业生产提供精准化调控策略<sup>[59]</sup>。在未来,耕作制度所涉及的生产、加工、经营等各个环节必将越来越依靠自动化智能服务系统,以此实现精准化种植、可视化管理、互联网销售和智能化决策<sup>[60]</sup>,使农业系统更加有效、智慧地运行。

#### 参考文献:

- [1] 蒋春姬,于海秋,赵姝丽,等.中国耕作制度历史演变与未来发展趋势[J].沈阳农业大学学报,2020,22(3):335-341.
- [2] 刘巽浩,陈卓.中国农作制[M].北京:中国农业出版社,2005.
- [3] 陈卓,姜雨林,尹小刚.中国耕作制度发展及区划方案调整[J].中国农业资源与区划,2021,42(3):1-6.
- [4] 李军.农作学[M].2版.北京:科学出版社,2016.
- [5] TILMAN D, BALZER C, HILL J, et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture[J]. PNAS, 2022, 108: 20260-20264.
- [6] HU F, GAN Y, CHAI Q, et al. Boosting system productivity through the improved coordination of interspecific competition in maize/pea strip intercropping [J]. Field Crops Research, 2016, 198: 50-60.
- [7] ZHOU P, WEN A, ZHANG X, et al. Soil conservation and sustainable eco-environment in the Loess Plateau of China[J]. Environmental Earth Sciences, 2013, 68: 633-639.
- [8] CHEN X, CUI Z, FAN M, et al. Producing more grain with lower environmental costs[J]. Nature, 2014, 514(7523): 486-489.
- [9] 王立祥.耕作学[M].重庆:重庆出版社,2001.
- [10] 张卫信,申智锋,邵元虎,等.土壤生物与可持续农业研究进展[J].生态学报,2020,40(10):3183-3206.
- [11] 刘巽浩,牟正国.中国耕作制度[M].北京:农业出版社,1993.
- [12] 陆费执,刘崇佑.农作学[M].上海:中华书局,1936.
- [13] 刘巽浩.耕作学[M].北京:中国农业出版社,1994.
- [14] 王世魁.面向 21 世纪的中国农作制度[M].石家庄:河北科学技术出版社,1988.
- [15] 刘巽浩,高旺盛,陈卓,等.农作学[M].北京:中国农业大学出版社,2005.
- [16] 北京农业大学.耕作学[M].北京:农业出版社,1981.
- [17] ARULBALACHANDRAN D, MULLAINATHAN L, LATHA S. Food security and sustainable agriculture. Dhanarajan, A. (ed.), Sustainable Agriculture towards Food Security[M]. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2017.
- [18] 全国农业区划委员会.中国综合农业区划[M].北京:农业出版社,1981.
- [19] 中国科学院《中国种植业区划》编写组.中国种植业区划[M].北京:农业出版社,1984.
- [20] 刘巽浩,韩湘玲.中国耕作制度区划[M].北京:北京农业大学出版社,1987.
- [21] 刘巽浩,陈卓.中国农作制[M].北京:中国农业出版社,2005.
- [22] PELLEGRINIA P, FERNÁNDEZA R J. Crop intensification, land use, and on-farm energy-use efficiency during the worldwide spread of the green revolution [J]. PNAS, 2017, 115: 2335-2340.
- [23] CHAI Q, NEMECEK T, LIANG C, et al. Integrated farming with intercropping increases food production while reducing environmental footprint[J]. PNAS, 2021, 118(38): e2106382118.
- [24] CUI Z, ZHANG H, CHEN X, et al. Pursuing sustainable productivity with millions of smallholder farmers [J]. Nature, 2018, 555(7696): 363-366.
- [25] 韩茂莉.中国古代农作物种植制度略论[J].中国农业通史,2000,19(3):91-99.
- [26] 李隆.间套作强化农田生态系统服务功能的研究进展与应用展望[J].中国生态农业学报,2016,24(4):403-415.
- [27] 王建林.高级耕作学[M].北京:中国农业大学出版社,2013.
- [28] LI X, WANG Z, BAO X, et al. Long-term increased grain yield and soil fertility from intercropping[J]. Nature Sustainability, 2021, 4: 943-950.
- [29] FENG CHEN, SUN Z, ZHANG L, et al. Maize/peanut intercropping increases land productivity: A meta-analysis[J]. Field Crops Research, 2021, 270: 108208.
- [30] HU F, TAN Y, YU A, et al. Optimizing the split of N fertilizer application over time increases grain yield of maize-pea intercropping in arid areas[J]. European Journal of Agronomy, 2020, 119: 126117.
- [31] 张园.徐州市大豆玉米带状复合种植全程机械化

- 技术[J]. 农业机械, 2022, 9: 80-82.
- [32] 李奕赞, 张江周, 贾吉玉, 等. 农田土壤生态系统多功能性研究进展[J]. 土壤学报: 1-15. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.P.20220121.0822.002.html>.
- [33] FUREY G N, TILMAN D. Plant biodiversity and the regeneration of soil fertility[J]. PNAS, 2021, 118(49): e2111321118.
- [34] 高云超, 朱文珊, 陈文新. 秸秆覆盖免耕土壤微生物生物量与养分转化的研究[J]. 中国农业科学, 1994, 27(6): 41-49.
- [35] 姜 勇, 梁文举, 闻大中. 免耕对农田土壤生物学特性的影响[J]. 土壤通报, 2004, 35(3): 347-351.
- [36] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
- [37] 李新旺, 门明新, 王树涛, 等. 长期施肥对华北平原潮土作物产量及农田养分平衡的影响[J]. 草业学报, 2009, 18(1): 9-16.
- [38] 商庆银. 长期不同施肥制度下双季稻田土壤肥力与温室气体排放规律的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [39] ZHANG W, DOU Z, HE P, et al. Improvements in manufacture and agricultural use of nitrogen fertilizer in China offer scope for significant reductions in greenhouse gas emissions[J]. PNAS, 2013, 110: 8375-8380.
- [40] SAINJU U M, STEVENS W B, CAESAR-TON THAT T, et al. Net global warming potential and greenhouse gas intensity influenced by irrigation, tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization[J]. Journal of Environmental Quality, 2014, 43: 777-788.
- [41] HU F, CHAI Q, YU A, et al. Less carbon emissions of wheat-maize intercropping under reduced tillage in arid areas[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2015, 35: 701-711.
- [42] JIN V L, BAKER J M, JOHNSON J M F, et al. Soil greenhouse gas emission in response to corn stover removal and tillage management across the US Corn Belt [J]. Bioenergy Research, 2014, 7: 517-527.
- [43] HUANG T, GAO B, CHRISTIE P, et al. Net global warming potential and greenhouse gas intensity in a double-cropping cereal rotation as affected by nitrogen and straw management[J]. Biogeosciences, 2013, 10: 7897-7911.
- [44] HU F, FENG F, ZHAO C, et al. Integration of wheat-maize intercropping with conservation practices reduces CO<sub>2</sub> emissions and enhances water use in dry areas[J]. Soil & Tillage Research, 2017, 169: 44-53.
- [45] CHAI Q, QIN A, GAN Y, et al. Higher yield and lower carbon emission by intercropping maize with rape, pea, and wheat in arid irrigation areas[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2014, 34: 535-543.
- [46] 朱小红, 马友华, 杨书运, 等. 施肥对农田温室气体排放的影响研究[J]. 农业环境与发展, 2011, 28(5): 42-46.
- [47] 张光亚, 方柏山, 闵 航, 等. 设施栽培土壤氧化亚氮排放及其影响因子的研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(1): 144-147.
- [48] 刘运通, 李玉娥, 万运帆, 等. 不同氮磷肥施用对春玉米农田 N<sub>2</sub>O 排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(7): 1468-1475.
- [49] 翟 振, 王立刚, 李 虎, 等. 有机无机肥料配施对春玉米农田 N<sub>2</sub>O 排放及净温室效应的影响[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(12): 2502-2510.
- [50] 李德发, 宋国隆, 赵丽丹. 饲料工业对玉米的数量需求和质量要求[J]. 玉米科学, 2003(S2): 83-87.
- [51] 王希全, 杨亚东, 张 凯. 农牧结合的意义、发展历程及前景[J]. 农学学报, 2020, 10(1): 27-31.
- [52] 李亚琴. 乡村振兴战略下农村土地流转困境及应对策略[J]. 农业工程技术, 2022, 42(12): 90-91.
- [53] 罗锡文, 廖 娟, 胡 炼, 等. 提高农业机械化水平促进农业可持续发展[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 1-11.
- [54] XIAO J, LIU B, YAO Y, et al. Wheat genomic study for genetic improvement of traits in China [J]. Science China Life Sciences, 2022, 65(9): 1718-1775.
- [55] 王宏广. 中国耕作制度 70 年[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [56] 郑宏艳, 米长虹, 郑宏杰, 等. 农业绿色发展的来源、内涵与理论基础浅析[J]. 科技经济导刊, 2019, 27(23): 11-12.
- [57] 孙良超. 建立信息化农业体系推进农业宏观决策科学化[J]. 农业图书情报学刊, 1997(S1): 116-118.
- [58] 邹振宇. 我国农业信息化发展存在的问题及对策[J]. 现代农业科技, 2019(19): 260-262.
- [59] SCHERR S, SHAMES S, FRIEDMAN R. From climate-smart agriculture to climate-smart landscapes[J]. Agriculture & Food Security, 2012, 12: 1-15.
- [60] 周国民. 浅议智慧农业[J]. 农业网络信息, 2009(10): 5-7.