

中国多熟种植的发展现状与研究进展

黄国勤, 孙丹平

(江西农业大学生态科学研究中心, 南昌 330045)

摘要:多熟种植是中国重要的农作制度之一,对于提高中国耕地综合生产能力和确保国家粮食安全具有重要作用。为了维护国家粮食安全,适应和领会中央文件精神,总结21世纪以来中国多熟种植的发展状况,在介绍中国多熟种植概况的基础上,详细分析了多熟种植的发展现状,体现在复种指数提升,区域模式多样化、投入产出高效化、机械作业科技化等方面,同时还总结了多熟种植的研究进展主要包括多熟种植对气候变化的响应、多熟种植的水分效应、多熟种植的高效栽培技术、多熟种植的研究方法等方面。最后,笔者认为,发展多熟种植是中国乃至世界实现农业可持续发展的必要途径,中国多熟种植未来的发展方向应坚持以多熟种植为主体的集约化可持续发展,发展现代化多熟种植,用地与养地相结合,发展绿色循环农业生产,并努力提高复种指数和资源利用率。

关键词:多熟种植;间混套作;复种;农业可持续发展;粮食安全

中图分类号:S181

文献标志码:A

论文编号:casb16030188

Development Situation and Research Progress of Multiple Cropping in China

Huang Guoqin, Sun Danping

(Research Center on Ecological Sciences, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045)

Abstract: Multiple cropping is one of the important farming systems in China, which improves the comprehensive production capacity of arable land and ensures national food security. In order to maintain the national food security, based on the development situation of multiple cropping since the 21st century in China, the authors introduced the development status of multiple cropping in detail, which reflected the improvement of multiple cropping index, diversification of regional patterns, high-efficiency of input and output, high-level of mechanical operations, and other aspects. Meanwhile, the authors summarized the research progress of multiple cropping, which mainly included the response of multiple cropping cultivation to climate change, water use efficiency, utilization of research methods and high-efficient cultivation technique, etc. Finally, the authors thought that developing multiple cropping was necessary for the sustainable development of agriculture in China and even the world. The future direction of multiple cropping should be taking multiple cropping as major part of intensive and sustainable development, develop the modernization of multiple cropping, combine land use with land nourishing, develop the green circling agricultural production, and improve the multiple cropping index and resource utilization rate.

Key words: multiple cropping; intercropping planting; sequential cropping; sustainable development of agriculture; food security

0 引言

2015年7月22日,在国务院常务会议上,李克强总理提倡推广循环农业和农作物间套作。2015年8月7日,《关于加快转变农业发展方式的意见》中进一步

基金项目:国家科技支撑计划课题“鄱阳湖生态经济区绿色高效循环农业技术集成与示范”研究任务1(2012BAD14B14-01);世界银行贷款可持续发展农业项目“冬闲田综合开发利用”(JX00Z13001)。

第一作者简介:黄国勤,男,1962年出生,江西余江人,二级教授,博士后,博士,主要从事耕作学、农业生态学的教学和科研工作。通信地址:330045江西省南昌市昌北经济技术开发区志敏大道1101号江西农业大学生态科学研究中心, Tel:0791-83828143, E-mail:hgqjxauhq@sina.com。

收稿日期:2016-03-25, **修回日期:**2016-06-22。

指出,要重点在东北、黄淮海、长江中下游以及西北等地区分别推广种植“玉米/大豆(花生)”轮作、“玉米/花生(大豆)”间作套作、“双季稻-绿肥”或“水稻-油菜”种植和“玉米/马铃薯(大豆)”轮作^[1],2015年10月15—17日,《作物多熟种植与国家粮油安全高峰论坛》在湖南长沙隆重举行,尤其以中国粮食总量“11连增”,如何实现多数制的稳定发展等问题,进行了深入交流,重点突破国家粮油作物多熟种植的学科研究和建设、人才培养、基地建设、技术创新等瓶颈。这些都充分体现了现今党和国家政府对多熟种植、作物间套作的高度重视,并提出在全国大力推广实施的具体方案。

现代化农业不断发展,农业科技程度不断提高以及经济生态效益最大化,区域单一化的种植结构越来越普遍,作物单一种植的面积不断扩大,官春云等^[2]认为中国南方稻田多熟种植快速发展中存在着熟制缩减、面积下降、模式单一、效益降低、地力衰退和耕地撂荒的问题,中国集约多熟区采用长期传统耕作技术造成严重的水土流失,肥、水、作物秸秆等资源利用率低,浪费严重等问题,使土壤生产能力明显下降,生产上存在成本高、经济和生态效益低的不协调现象,这无疑阻碍了中国现代化农业发展的步伐。对此,不少学者研究了多熟种植的现状调查、耕作技术、配套模式、综合效益评价、研究方法等方面^[3-7]。例如,陈社员等^[8]和谢立华等^[9]研究了稻田三熟制下油菜的轻简化栽培技术和耕作方式进行了研究;李向东等^[10-11]总结了南方集约多熟农区稻田耕作制度的发展、技术特征和模式,同时还研究了四川盆地稻田多熟耕作模式的生态系统服务价值;陈夔^[12]对中国南方地区的多熟种植模式进行了总结并对相应的综合效应进行了分析;潘复生等^[13]总结研究了“生菜-普通白菜-芹菜-菜薹”新型的一年多熟高效栽培模式的栽培要点和农业病虫害防治措施。虽然众多研究方向相当具体和深入,但缺乏全瞻性的视角,但很少有报道关于21世纪以来多熟种植的发展现状和研究进展的系统总结和梳理,本研究在学习和领会中央文件精神的基础上,着重对多熟种植的概述、研究进展和发展现状进行深入总结和概括,为维护中国粮食安全,大力发展多熟种植模式提供基本的理论依据。

1 多熟种植概述

多熟种植指的是在年内时间上或空间上同时种植一种以上的作物的种植方式,体现了时间和空间的集约化^[14-15]。多熟种植一般包括复种(Sequential Cropping)和间混套作(Intercropping, Mixed Cropping, and Relay Cropping)两个方面内容。复种侧重时间上

的集约化利用,主要是季节性的换茬,这种集约化主要表现在高光效、高地效、高能耗、高投入、高产等方面^[16]。间、混、套作侧重于空间上的高效利用。

中国多熟种植的历史十分悠久,新中国成立以后多以“耕作制度”(后称“农作制”)的称谓推进多熟种植的发展^[17]。20世纪50—70年代,多熟种植侧重充分利用土地,提高复种指数和粮食总量,并逐步形成了“水稻-小麦”、“水稻-油菜”、“水稻-绿肥”等的一年二熟和一年三熟的多熟系统;20世纪80年代,主要推广多熟种植的立体种养模式,以提高单产、完善系统功能和提高经济生态效益为目标;20世纪90年代,学术界侧重立体多熟制的结构、功能及基础理论的探讨,并主张研究高投入高产高品质的高效集约可持续发展理论^[18]。进入21世纪以后,中国多熟种植模式得到进一步的发展,众多研究理论与实际应用紧密结合,为中国粮食安全和农业可持续发展创造了良好的基础条件。

面对中国农业土地资源日趋紧张,农村劳动力严重不足、熟制降低、复种指数缩减、耕地撂荒、农田地力衰退等问题,多熟种植无疑是解决这些问题的重要手段,对中国进入“十三五”时期农业体制改革和农业布局,具有重要的发展意义。首先,从1949年到2014年,中国粮食产量在1949年的1.1亿t基础上,以5个亿t级的增量,于2013年跨上6亿t的历史高度,2014年达到6.071亿t^[19]。中国农田单位面积的粮食产量虽低于美国,但单位面积年总产却超过美国,这主要源于多熟种植的贡献之大^[20],因此多熟种植是解决中国粮食安全问题的最有效的手段之一;其次,多熟种植具有充分利用土地、光、热、水、肥等资源的特点^[21-23],因此,合理安排种植作物的接茬时间及成熟的种植技术,能够提高农民的收入^[24],还促使农村剩余劳动力再就业^[21,25];再次,建立合理的多熟种植系统和模式,不仅能提高各种资源利用率,减轻旱灾,还能提高养分循环再利用率,使土壤中的养分元素配比更加优化^[26];最后,多熟种植系统中,由于作物之间的相生相克原理,使间混套作的多种作物合理组合,增加系统稳定性,规避病、虫、草、旱、涝害等自然灾害。

2 中国多熟种植的发展现状

2001年,中国南方种植水稻2700万hm²,占全国的85%,其中以长江流域为主的华中地区占南方稻田面积的71%^[27],是中国稻田多熟制发展的重点区域。中国北方地区多熟种植较普遍,主要是以玉米、小麦为主的多熟种植。刘巽浩等^[16]研究显示,中国多熟耕地约占总耕地面积的1/2,多熟覆盖的播种面积是总播种面积的2/3左右,其农作物产量约为总量的3/4。其中,

粮食产量的3/4(玉米3/5、水稻和小麦9/10)、油菜9/10、蔬菜9/10是通过多熟种植生产出来的,中国多熟吨粮田普遍存在,单位耕地面积的年产量远超发达国家。

中国多熟种植制度在全国范围内普遍存在,有一年一熟的间混套作,有一年两熟、一年三熟或两年三熟、两年五熟等,种植方式多样。据当前中国不同温度带的多熟种植模式主要分布图(图1所示^[28])显示,中国寒温带、中温带、青藏高原垂直温度带广泛分布着一

主,中国广大的亚热带地区主要分布着一年两熟/一年三熟模式,中国热带地区,面积较少,由于太阳光热资源丰富,作物获得的积温较高,非常适宜种植一年三熟模式。

虽然现今中国多熟种植模式存在复种面积减少、耕地撂荒、地力下降、熟制降低等问题,但中国部分地区充分利用有限的耕地资源,相关部门组织多方面力量加大投入,调动农民的积极性,大力发展多熟种植,使中国多熟种植取得不断发展,表现在耕地复种指数提升、区域模式多样化、投入产出高效化、机械作业科



图1 中国不同温度带多熟种植模式主要分布图

技化等方面。

2.1 复种指数提升

改革开放以来到2010年,虽然中国粮食主产区耕地面积逐渐减少,但农作物的总种植面积整体上提高,主产区粮食总产占全国的比重攀升。中国长江中下游地区的耕地复种指数在下降,但中国西南、东北、黄淮海地区耕地的复种指数均有所提高,提升幅度分别为36.1%、28%、48%,其中,中国西南地区复种指数提升潜力最大的是云南(45.2%),其次是广西(44.0%)、四川(42.0%)、重庆(40.4%)和贵州(25.0%)^[29-30]。柴强等^[31]通过评价及资源利用情况,测算出甘州区(绿洲灌区典型代表区)的复种指数提升程度为22.35%。由此可见,在总耕地面积减少的情况下,中国多熟种植的发展通过充分利用土地、空间和光热等资源,提升了农田复种指数潜力。

2.2 区域模式多样化

多熟种植呈现区域性特色发展,不同的地区具有不同的气候条件和地形条件以及人文农业特色,因此

发展多熟种植模式各不相同。现在的多熟种植模式的研究也较多,如谷登斌等^[32]介绍了长江下游6种棉田多熟种植类型。马艳芹等^[33]通过调研,了解到灵川县一年一熟和一年两熟占有所有种植制度的92.45%,其他熟制占比较低。其他众多学者对中国不同区域的多熟种植模式进行了细致的研究,本文将其归纳为北方多熟区、华东多熟区、华中多熟区和西南多熟区等。

(1) 北方多熟区

河北省邯郸“麦/棉”套种、“油/棉”套种、“棉/薯”套种、“棉花/洋葱”套种及“棉花/西瓜”套种等5种棉田多熟种植制度,河北省玉田县创新模式与技术体系包括4种四收模式(“西瓜-花生-玉米-包尖白菜”)和3种三收模式(“土豆-玉米-香菜模式”和“西瓜-玉米-甘蓝”)^[5,34]。

新疆多熟种植的发展模式主要模式有“冬小麦/玉米”,“粮-棉”、“粮-油”、“粮-粮”两种两收,“小麦/大豆”,“玉米||大豆”,“冬小麦/油菜”等。具体如“冬小麦-西瓜或蔬菜”、“果树/棉花或蔬菜”、“双膜瓜-蔬菜”、“棉花/小茴香”、“红枣-棉花”和“红枣-小麦”等2种两

收制和“果树/棉花-小茴香”、“果树/蔬菜或双膜瓜-蔬菜”和“果树/冬小麦-瓜菜”等一年三熟制^[35-36]。

辽宁省多熟种植模式主要有“玉米/马铃薯(或小麦、紫花苜蓿、香菇、西瓜)”、“大豆/大蒜等套种模式”、“小麦-大豆(或向日葵、红小豆、谷子、玉米、水稻、高粱、花生)”、“鲜大豆-鲜玉米”、“马铃薯-玉米(或水稻)”、“西兰花(或西瓜)-玉米”、“秋菠菜-春番茄-秋黄瓜”、“瓜菜/大豆”、“西瓜-黄瓜或大葱”、“鲜玉米-青贮玉米(或大葱、圆葱、大蒜、白菜、萝卜)”等复种模式和“南果梨(或大扁杏) || 花生”、“速生杨 || 大豆(或紫花苜蓿、葡萄)”以及“聚合草 || 白三叶”等间作模式^[37-38]。

(2) 华东多熟区

2011年江苏建湖县示范“水稻-蔬菜-马铃薯/西瓜”一年三熟栽培模式,其复种指数不断提高,经济效益较稻麦轮作模式有较大幅度提高^[39]。山东省德州市主要有“粮-棉”、“棉-菜”、“棉-草”或“棉-粮-草”等三大棉田多熟制,且均能取得良好成效^[40]。安徽省太湖县一直以来以“肥-稻-稻”和“油-稻-稻”为稻田多熟种植主要模式,近几年主要推广“油菜-西瓜-水稻”、“春甘蓝-水稻-秋茼蒿”等模式^[41]。

(3) 华中多熟区

湖北省多熟种植模式主要有“油菜-棉花”、“油菜-水稻”、“小麦-水稻”、“冬闲-早稻-晚稻”、“绿肥-早稻-晚稻”、“蔬菜-早稻-晚稻”、“玉米/花生”、“马铃薯-玉米”。旱地间套作模式较多,棉花间套瓜菜(西瓜、甜瓜、黄金瓜、蕃茄、无架虹豆、辣椒、青菜),还套作大豆、花生、芝麻、春玉米等。湖南省优质高产、低耗高效、节本增收的多熟种植模式较多,稻田有“绿肥(油菜)-双季稻”、“春玉米 || 春大豆-晚稻”、“春玉米-晚稻”、“西瓜 || 春玉米-晚稻”、“西瓜-晚稻”、“烤烟-晚稻”等;丘陵旱地有“油菜-春玉米”、“大麦/玉米/红薯”、“绿肥(满园花)-烤烟”、“蔬菜-大豆 || 春玉米”、“蔬菜-花生 || 春玉米”以及“中药材/春玉米”等;棉田有“菜-棉(或瓜)”、“油(或麦)-棉-菜(或瓜、油)”、“菜-菜-菜(瓜) || 棉”以及“油菜(或麦)-棉 || 菜(或果树) || 菜”等复种模式和“油菜/棉花”、“裸大麦/棉花”、“油菜/棉花/春玉米”、“蔬菜/棉花/春玉米”、“芥菜/棉花/西瓜”、“蔬菜/辣椒/棉花”、“小麦/玉米/棉花”、“大蒜/棉花/玉米”、“小麦/花生/棉花”、“白菜/马铃薯/棉花”、“小麦/辣椒/棉花”等套种模式^[42-44]。

(4) 华南多熟区

中国华南多熟区高产高效种植模式有:“春烟草-水稻-蔬菜”、“玉米-晚稻-蔬菜”、“花生-晚稻-马铃薯”、“春毛豆-中稻-秋四季豆-荷兰豆/甜豌豆”、“早稻-再生稻-

蔬菜”、“春烟草/玉米/甘薯-蔬菜”等多熟种植模式^[45]。其中,稻田多熟制度主要以“冬作物-双季稻”为主,冬季作物主要有麦、马铃薯、花生、绿肥、大豆等,还有“麦-水稻-花生”,“花生-水稻-绿肥”等,部分地区仅种植“冬季作物-中稻”的两熟制。

(5) 西南多熟区

云南省以水稻为主要的种植模式有“早蚕豆(油菜、秋马铃薯)-早玉米-水稻”、“冬马铃薯-青玉米(西瓜、番茄、青菜)-水稻”、“白菜-番茄-水稻”、“早熟大蒜-玉米-水稻”等一年三熟复种和“小麦-水稻-蔬菜-早玉米-水稻”两年熟复种模式^[46]。

四川省成都平原和巴州多熟种植模式主要有“小麦-水稻(或玉米、油料、蔬菜、西甜瓜、工业番茄)”、“油菜-水稻”、“水稻-马铃薯/油菜(或小麦)”、“春菜-水稻-秋冬菜”、“小麦(油菜)-水稻-秋菜”、“水稻-泽泻/小麦(油菜)”、“孜然/玉米(或工业番茄、工业辣椒、西甜瓜)”、“小麦/胡萝卜(或大豆、苏丹草)”、“早稻-马铃薯/玉米”、“果树 || 小麦”、“果树 || 棉花”、“果树 || 饲草”、“果树 || 经济作物”、“玉米 || 大豆”等^[3,47]。

重庆市各地积极探索多元化高效生产模式,生产特色粮油,不仅推广传统多熟种植模式,“中稻-冬水田”、“中稻-再生稻”、“中稻-小麦”、“麦/玉/苕”、“麦/薯/苕”,还大面积种植“中稻-油菜/秋马铃薯”、“中稻-秋冬蔬菜”、“中稻-秋马铃薯-春马铃薯”、“中稻-秋糯玉米”、“中稻-蚕(豌)豆”、“薯/玉/豆”、“玉/豆/油菜”、“薯/玉/苕/菜”、“薯-玉-苕-薯”、“蚕豆-高粱”,“蚕豆-玉米/甘薯”、“高粱-再生高粱-菜”、“马铃薯/玉米-荞麦”等高效多熟种植模式,充分利用自然资源,追求高产高效高品质的多熟种植,不断提高农业综合效益。

2.3 投入产出高效化

四川省东北部通过原有旱地多熟种植模式取得了良好的经济效益。经济效益如下所示:(1)“麦/玉/豆”或“麦+菜/玉/豆 || 菜”型:粮食产量为12000 kg/hm²,产值为20250元/hm²;大豆产量2250 kg/hm²,产值为9000元/hm²;蔬菜产量为15000 kg/hm²,产值为30000元/hm²,总产值59250元/hm²。(2)粮-药型,即川明参/小麦/玉米:粮食产量为12000 kg/hm²,产值为20250元/hm²;产药3750 kg/hm²,产值为52500元/hm²,总产值72750元/hm²。(3)“粮-菜”型,即“小麦 || 菜/玉米 || 大豆/红苕 || 菜”:粮食产量为15000 kg/hm²,产值为26250元/hm²;大豆产量375 kg/hm²,产值为1500元/hm²;蔬菜产量为15000 kg/hm²,产值为30000元/hm²,产值共计57750元/hm²。(4)“粮-油”型,即“小麦 || 菜/花生/花生”:粮食产量为15000 kg/hm²,产值为8250元/hm²;春花生产量

4500 kg/hm², 产值为 22500 元/hm²; 夏花生产量为 3000 kg/hm², 产值为 15000 元/hm², 蔬菜产量为 7500 元/hm², 产值共 15000 元/hm²。(5)“粮-经”型, 即“小麦/榨菜/玉米/西瓜/白菜”: 产粮 15000 kg/hm², 产值 25050 元/hm²; 产榨菜 7500 kg/hm², 产值 6000 元/hm²; 产西瓜 22500 kg/hm², 产值 22500 元/hm²; 产菜 15000 kg/hm², 产值 30000 元/hm²。总产值 83550 元/hm²。(6)粮-粮”, 即“小麦/马铃薯/玉米/红苕/玉米”: 产粮 22500 kg/hm², 产值 33750 元/hm²[48]。

又如 2015 年 8 月, 作为西南地区的主推农业技术的“玉米-大豆”带状复合种植模式, 提高水、肥、光、温等利用率, 并产生了一系列配套机械化设备和管理方案, 对比传统“玉米/甘薯”套作, 使玉米产量增产 8%~10%, 大豆增产平均 8 kg/hm² 以上, 提高经济效益 600 元/hm² 以上。通过 10 年的试验和实践, “玉米-大豆”带状副歌种植技术每年以 2 万~3.3 万 hm² 的推广面积递增, 累计推广 209.2 万 hm², 新增粮食 464.4 万 t, 新增效益 193.3 亿元[49]。

浙江省丽水市“甘蓝-晚稻-萝卜”的稻田高效多熟种植模式, 甘蓝产 360 kg/hm²、晚稻产 41.3 kg/hm², 萝卜产 290.7 kg/hm², 全年产值 906.7 元/hm², 经济效益可观[50]。贵州省都匀市河阳乡主要模式有“马铃薯-豆-萝卜”、“马铃薯-辣椒-萝卜”等种植模式, 稻田一年三季收入 165000 元/hm² 左右, 经济效益明显提高。江西省莲花县总共 6 种主要的多熟种植模式, 即“冬闲-双季稻”、“紫云英-双季稻”、“油菜-双季稻”、“蔬菜-双季稻”、“冬闲-中稻”、“油菜-中稻”, 年总收入分别为 24000 元/hm²、331620 元/hm²、34740 元/hm²、33240 元/hm²、13530 元/hm² 和 19650 元/hm²[51]。

云南省多熟种植模式主要有“玉米 || 杂豆”、“玉米 || 大豆”、“玉米-红薯”、“冬马铃薯 || 玉米”、“甘蔗 || 玉米”、“玉米 || 花生”、水稻品种多样性混栽、“玉米 || 蔬菜”等模式。其中“玉米 || 杂豆”、“玉米 || 大豆”、“玉米-红薯”、“冬马铃薯 || 玉米”, 水稻品种多样性混栽等模式的混合单产分别为 6194 kg/hm²、6540 kg/hm²、5576 kg/hm²、7896 kg/hm²、8121 kg/hm² 和 82890 kg/hm²[52]。云南省麻栗坡县一直大力发展多熟种植模式, 截至 2013 年全县农作物多熟间套作面积达 21333.3 hm², 比“九五”期末增加了三倍; 总产值为 50048 万元, 比“九五”期末增加了 11.9 倍; 多熟种植的平均产值为 23460 元/hm², 经济效益显著提高。

2.4 机械作业科技化

除了多熟种植的模式多样化, 投入产出高效化外, 目前, 中国多熟种植的科学技术研究方面特别是适应

多熟种植模式的机械化研究也不断得到重视和加强。比如利用船式旋耕埋草机水田耕作新技术新装备[53], “稻-油”多熟种植的机械化研究[54-55], 多熟制稻作区水田旋耕埋草机的结构与性能研究[56]和“小麦-玉米-大豆”带状复合种植机械化[57]等。旋耕埋草机适用于中国南方多熟制稻作农田, 其工作流程主要包括“压杆→翻耕→碎土→埋秆→平田”, 能毫无困难的完成全部工序, 实现水稻移栽前土壤的耕作与秸秆翻压还田的机械化联合作业。中国多熟种植机械化作业强度增强, 体现了中国现代化农业的高科技水平与农业的接轨融合。

3 多熟种植的研究进展

随着多熟种植不断向多元高效方向的发展, 相应的理论研究也不断向广度和深度发展。许多研究者围绕多熟种植开展了不同程度和不同角度的研究, 本文对近些年来中国多数种植的最新研究方向进行了梳理和总结, 主要包含多熟种植对气候变化的响应、水分效应、高效栽培技术和研究方法等内容, 为多熟种植提供了坚实的理论基础。

3.1 多熟种植对气候变化的响应

最近几十年, 全球气候变暖, 温室效应明显, 中国北方增暖趋势明显大于南方, 内陆增暖趋势大于沿海地区, 通过气象资料变化和检测, 控制和减轻气候变暖问题一直是学术界研究的热点问题。研究表明, 气候变暖使得作物多熟种植导致结构变化, 向更高纬度区域发展, 从而使得中国主要作物种植界线大幅度北移[58], 而气候变化对多熟种植的研究国内外学者已经展开大量深入研究[59-60]。李晓鹤等[61]通过分析 1964—2013 年天水市主要粮食作物玉米和冬小麦的热量资源变化, 得出气候变暖已对农作物生长发育产生了较大影响。喜温作物和越冬作物复种面积增加, 种植区界限向北抬升; 春播玉米播种期提前, 但生育期延迟; 冬小麦播期延迟, 返青期提前, 全生育期缩短; 气温升高已导致主要农作区作物物候期变化, 华北地区冬小麦生长期缩短, 造成减产[62-63]。赖纯佳等[64]对淮河流域“小麦-水稻”种植制度的气候适宜性进行了研究, 何琦瑾[65]对 1961—2010 年春玉米的种植分布代际变化进行了分析, 得出有利于扩大春玉米种植, 但某些区域受水分条件限制。因此, 多熟种植已不再仅仅停留在种植结构本身的研究, 还与国际大气候变化紧密相连。

3.2 多熟种植的水分效应

多熟种植能充分利用光、热、水、肥、气、土等资源, 多年研究表明, 多熟种植具有水资源高效利用的特点, 水分生产率达到 1.3~2.0 kg/m³, 较传统种植增产 2400~

8400 kg/hm², 增效 1950~5583 元/hm², 能充分利用水资源并保证作物高产高效^[66], 对于中国乃至全世界现阶段, 水资源面临紧缺和农业用水高度浪费的情况, 发展节水农业必不可少。对旱地常见作物玉米和花生的单作和间套作实验进行比较分析, 表明玉米间套花生的需要吸收的土壤水分虽然较大, 但能提高作物综合产量和水分利用率分别为 27.6%, 28.6%^[67]。近年来, 多熟种植的节水效益研究不断增多, 或研究根系吸水规律^[68], 根系耗水特征及影响因素^[69]; 或研究黄土高原半湿润区旱作农田一年两熟种植模式, 探寻可以提高水分利用效率的途径^[70], 通过对干热河谷旱地覆盖间作两熟种植模式^[71]、高温伏旱区旱地农作系统^[72]、绿洲灌区多熟种植的水分利用特征及其影响因素等的研究, 或建立单作和间作种植模式下的作物棵间土壤蒸发估算模型, 或建立作物水分生产潜力模型, 或通过调控根间作用提高间作水分利用效率提供依据, 或适当减少灌溉量来提高水分利用效率, 得出水分是限制作物产量最关键的因素, 不断提高降水资源利用效率。总之, 研究多熟种植的水分效应, 就是为了高效利用水资源, 推广节水农业。

3.3 多熟种植的高效栽培技术

多熟种植的模式随不同区域而多样化, 其不同的栽培模式的栽培技术研究配套, 才能实现多熟种植的高产高效。如“贝母-春玉米-甘薯”栽培技术^[73]、“蚕豆/春玉米-夏玉米-秋马铃薯”四熟高产高效栽培技术^[74]、“小麦-玉米”一年多熟高产高效栽培技术^[75]、木薯间套作模式栽培技术^[76]、鄂东南地区“花生 || 棉花”间作模式研究^[77]、“水稻-蔬菜-马铃薯/西瓜”多熟制种植模式及操作程序^[78]、“甘蓝-晚稻-萝卜”高效多熟种植模式, 甘蓝产量约 81000 kg/km², 晚稻产量约 9300 kg/km², 萝卜产量约 65400 kg/km², 全年产值 204000 元/km², 经济效益可观。王军等^[79]介绍了四川棉区以一年三熟制和一年四熟制主要种植模式及栽培技术。王正功^[80]介绍了“棉花-花生”间作制度栽培技术及生理生态, 雍太文等^[81]着重描述了旱地新三熟“小麦-玉米-大豆”模式栽培技术。吴贵云^[82]对匀东镇“菜-稻-菜”一年三熟栽培技术、主要经验及存在问题进行了阐述, 并为下一步工作的改进提出了合理建议。

3.4 多熟种植的研究方法

多熟种植的研究不仅需要针对某个地区某个点的试验, 还需要通过遥感观测影像法, 遥感识别法, 遥感反演法, 窗口阈值法, 综合效益评价等进行多熟种植的大面积大范围的宏观分析。21 世纪以来, 中国多熟种植的各种研究方法层出不穷, 而且精确度越来越准

确。闫慧敏等^[83]通过窗口阈值法(即高空间分辨率卫星影像)利用遥感影像反演植被指数, 提取鄱阳湖圩堤区域不同熟制水稻的空间分布及面积, 进而计算出复种指数, 分析 2001—2010 年 10 年来, 鄱阳湖圩堤区域水稻种植面积与复种指数变化情况, 定量评估该区域水稻种植制度空间分布格局的变化, 并分析其变化的原因, 又采用多时相 MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer 即中等分辨率成像光谱仪) 遥感观测影像、多熟种植遥感识别方法, 并应用农业气象站点数据和作物历数据等分析了鄱阳湖农业区黄淮海农业区的多熟种植时空格局特征, 结果表明, 上述的方法和提取的不同季节作物的作物历时空数据能够估算不同地带农田生产力、模拟生物地球化学循环和检测农业生态系统等方面^[84-85]。黄国勤等^[86]采用加权灰色聚类分析法地红壤旱地多熟种植系统进行了综合效益评价。鱼静^[87]通过数学模型建立法, 提出到 2015 年, 阿克苏绿洲要维护粮食安全, 必须使可耕农田保持在 180000 hm² 左右, 农作物产量超过 98.26 万 t。王开磊等^[88]采用造林成本法、化学制氧法、机会成本法和影子价格法, 结合市场价格核算, 表明 2008—2009 年, 4 种不同多熟种植系统(冬闲、紫云英、蚕豆、豌豆-双季稻)的生态服务总价值平均为 73821.47 元/hm², 占总价值的 26.44%。何月等^[7]采用改进的 Savitzky-Golay 滤波进行平滑降噪, 研究生长季信息, 利用卫星遥感获取的植被指数, 遥感反演的种植制度来获取像元的复种指数。胡宗辰^[89]采用阈值法, 并不断试验, 完成了小麦及玉米的辨识方法模型, 并借此模型提取了有用的小麦和花生的种植区域, 结论是 MODIS/EVI 可在区域多熟种植系统进行遥感识别并能发挥巨大潜力。高应波^[90]采用特征时相识别的方式提取熟制信息(包含时间序列预处理、特征时相识别和熟制确定等 3 个算法环节), 得出, 该方法能有效提取熟制信息, 总体精度达 88.11%, Kappa 系数为 0.765, 该方法使用时, 只要设好合理结构元素的窗口值就能搜集到多熟制农田范围, 可大面积推广实践。总之, 通过不同的多熟种植研究方法, 可以计算大面积区域性的农田复种指数, 或通过方法验证和模型建立, 分析地区性多熟种植的潜力。

4 展望

多熟种植的研究日渐成熟, 发展模式不断优化完善, 土地利用率和水分利用率不断提高, 中国农田复种指数潜力总体提升, 这些都充分体现了多熟种植的高效、集约和高产的时空利用技术, 提高光、温、水、肥、气、土地、空间、时间的利用率, 而且利用农作物存在相生相克原理, 合理的搭配种植能有效减轻农田病虫害、

旱涝等自然灾害,同时还能减少化肥农药等施用,减少农资投入,实现农业发展过程中农产品高质、高产和增效增收的目的,同时保护自然资源,创造和谐可持续的农业生态环境。因此,中国的多熟种植前途决定了中国农业发展的前景,大力推广多熟种植模式和技术,是中国乃至世界实现农业可持续发展的必要途径,应坚持以高产、优质、高效、生态、安全为宗旨的集约农业战略,积极推进现代农业科技成果。未来中国多熟种植的发展方向:(1)坚持以多熟种植为主体的集约化可持续发展农业和生产多熟、高产、优质、生态、安全的农业发展方针。(2)发展现代化多熟种植模式,主要是推进适宜多熟种植的机械化、水利化、信息化、规模化、区域化、市场化技术,做到耕、种、管、收的全程机械化作业,提高多熟种植生产效率和不断提高土地利用率,增加多熟种植面积和单位面积产出,增加熟制,避免熟制缩减和耕地撂荒。(3)用地与养地相结合:采取秸秆还田和绿肥轮作种植模式,减少化肥农药的使用,鼓励使用农家肥、有机肥,进行合理的用地与养地,合理进行年内和年间的轮耕,使免耕、翻耕、旋耕、浅松、耙地相协调,提高土壤肥力。(4)发展多熟种植的绿色循环农业生产:发展节水农业,提高水资源利用率,完善节水灌溉系统和水利建设,减少部分地区水对多熟种植的限制;提高复种指数,能发展多熟制的地区尽量发展,提高土地资源利用率,同时做好土地流转和耕地规范化,进行土壤污染的防治、建立肥厚耕层和协调土壤三相比;平衡施肥,避免化肥浪费,提高肥料利用率。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院办公厅.国务院办公厅关于加快转变农业
发展方式的意见. [http://www.moa.gov.cn/zwl/m/zcfg/flfg/201508/
t20150807_4781221.htm](http://www.moa.gov.cn/zwl/m/zcfg/flfg/201508/t20150807_4781221.htm)[OL].中国政府网,2015-7-30.
- [2] 官春云,黄璜,黄国勤,等.中国南方稻田多熟种植存在的问题及对
策[J].作物杂志,2016(2):1-7.
- [3] 李朝苏,汤永禄,黄钢,等.成都平原多熟制现状调查与分析[J].作物
杂志,2010(6):105-108.
- [4] 衣莹,张雯,刘喜波,等.中国北方小麦多熟种植发展现状与前景[J].
安徽农业科学,2007,35(6):1631-1632.
- [5] 李继军.邯郸棉田多熟种植制度调查及推广问题研究[D].北京:中
国农业大学,2005.
- [6] 卞新民,冯金侠.多元多熟种植制度复种指数计算方法探讨[J].南
京农业大学学报,1999,22(1):11-15.
- [7] 何月,张小伟,李仁忠,等.浙江省作物多熟种植制度遥感反演及其
时空格局[J].生态学杂志,2011,30(12):2827-2835.
- [8] 陈社员,官春云.稻田三熟制油菜简化栽培技术研究[J].作物研究,
1996(2):19-21.
- [9] 谢立华,涂运昌,李金树.湘南红壤稻田三熟制油菜耕作方式的研
究[J].湖南农业科学,1996(4):25-26.
- [10] 李向东,陈源泉,隋鹏,等.中国南方集约多熟稻田保护性耕作制度
[J].生态学杂志,2007,26(10):1653-1656.
- [11] 李向东,陈尚洪,陈源泉,等.四川盆地稻田多熟高效保护性耕作模
式的生态系统服务价值评估[J].生态学报,2006,26(11):3782-3788.
- [12] 陈夔.中国南方地区多熟种植制度的模式及效益浅析[J].南方农
业,2012,06(3):13-15.
- [13] 潘复生,彭顺和,席兰萍.生菜-普通白菜-芹菜-菜薹一年多熟高效
栽培模式[J].中国蔬菜,2016(5):97-100.
- [14] Papendick R I, Sanchez P A, Triplett G B. Multiple Cropping[M].
ASA, 1976,378.
- [15] 刘巽浩.论中国耕地种植指数(复种)的潜力[J].作物杂志,1997(3):
1-3.
- [16] 刘巽浩,陈阜,吴尧.多熟种植--中国农业的中流砥柱[J].作物杂志,
2015(6):1-9.
- [17] 黄国勤.论大力发展多熟种植技术[J].耕作与栽培,2008(6):1-2,24.
- [18] 中国农业科学院烟草研究所.中国烟草栽培学[M].上海:上海科学
技术出版社,1987:334-335.
- [19] 王立祥.近 65 年中国粮食生产能力提升及发展预期[J].西北农林
科技大学学报:社会科学版,2015,15(4):1-13,15.
- [20] 刘巽浩.论中国耕作制度的发展方向[J].农业技术经济,1983(8):4-
7.
- [21] Willey R W. Intercropping-its importance and research needs. part
I. Competition and yield advantages[J]. Field Crops Abstract, 1979,
32(1):1-10.
- [22] Li L, Sun J H, Zhang F S, et al. Wheat/maize or wheat/soybean
strip intercropping: I. Yield advantage and interspecific interactions
on nutrients [J]. Field Crops Research,2001,71(2):123-137.
- [23] 刘广才,杨祁峰,李隆,等.小麦/玉米间作优势及地上部与地下部因
素的相对贡献[J].植物生态学报.2008,32(2):477-484.
- [24] 王开磊,黄国勤,罗奇祥,等.江南丘陵区稻田多熟种植系统的生态
服务价值评估[J].江西农业学报,2010,22(11):157-160.
- [25] Allen J R, Sinclair T R, Lemon E R. Radiation and microclimate
relationships in multiple cropping systems[J]. Field Crops
Research, 1976,1:171-200.
- [26] 黄国勤,刘秀英,刘隆旺,等.红壤旱地多熟种植系统的综合效益评
价[J].生态学报,2006,26(8):2532-2539.
- [27] 杨新春,张文毅,袁钊和.中国水稻生产机械化的现状与前景[J].中
国农机化,2001(1):20-21.
- [28] 中国乡村之声微信.[http://country.cnr.cn/gundong/20160303/
t20160303_521524231.shtml](http://country.cnr.cn/gundong/20160303/t20160303_521524231.shtml)[OL].央广网.2016-3-3.
- [29] 金姝兰,徐彩球,潘华华.中国粮食主产区耕地复种指数变化特征
与潜力分析[J].贵州农业科学,2011,39(4):201-204.
- [30] 赵永敢,李玉义,逢焕成,等.西南地区耕地复种指数变化特征和发
展潜力分析[J].农业现代化研究,2010,31(1):100-104.
- [31] 柴强,高育峰,黄高宝.绿洲灌区多熟种植现状潜力与开发对策-以
张掖市甘州区为例[J].甘肃农业大学学报,2005,12(6):532-536.
- [32] 谷登斌,朱永歌.长江下游棉区棉田多熟种植技术的发展[J].农业
科技通讯,2009(8):101-104.
- [33] 马艳芹,黄国勤,时炜,等.广西灵川县种植业的可持续发展[J].生态
学报,2014,34(18):5164-5172.
- [34] 张春芳.优势农作物多元多熟种植技术[J].吉林农业,2009(10):83-
84.

- [35] 管建生.新疆多熟种植的发展模式及技术措施[J].新疆农垦科技, 2008(3):10-11.
- [36] 周保兰.多熟制高效种植模式调查[J].农村科技,2012(3):63.
- [37] 蔡纪新,高淑坤,吕阳芹.辽宁省多熟种植模式及其发展对策[J].现代农业科技,2008(23):89-90.
- [38] 李月梅,孙宝凯,龙云程,等.辽西地区作物多熟种植模式研究[J].现代农业科学,2009,16(6):276-277.
- [39] 徐宝玉,刘学进,孙长锋,等.水稻-蔬菜-马铃薯/西瓜多熟制种植模式[J].中国园艺文摘,2012(8):134-135.
- [40] 庞金柱.德州棉区棉田主要高效种植模式与效益[J].辽宁农业科学,2006(4):60-61.
- [41] 都昌华.太湖县粮田多熟制高效栽培模式[J].安徽农学通报(下半月刊),2010,16(8):163.
- [42] 王正功,李林.棉田间作套种制度研究进展[J].湖南农业科学,2009(8):37-40,44.
- [43] 汤文光,肖小平,唐海明,等.湖南农作制高效种植模式及其发展策略[J].湖南农业科学,2009(1):36-39.
- [44] 张光梅.湖北省棉田多熟高效间套模式发展的现状与展望[J].湖北农业科学,1998(6):22-24.
- [45] 张宝文.全国粮区高效多熟十大种植模式[J].北京:中国农业出版社,2005:108-119.
- [46] 蓝永平,陈金华.甘蓝-晚稻-萝卜高效多熟种植模式[J].丽水农业科技,2013(3):47,53.
- [47] 王健,谢新,张革.巴州多熟种植模式发展初探[J].农村科技,2008(9):90-91.
- [48] 李长江.阆中市旱地作物多熟种植新模式[J].四川农业科技,2010(3):24-25.
- [49] 四川省农业厅.四川:玉米-大豆带状复合种植技术列为国家农业重点推广技术.http://www.moa.gov.cn/fwllm/qgxxlb/qg/201508/t20150819_4796355.htm[OL].中华人民共和国农业部,2015-8-18.
- [50] 张玉华.大理州农业多熟制气候区划[J].云南农业科技,2008(3):6-10.
- [51] 赵梅,吴春平,贺景文.莲花县耕作制度情况的调查与思考[J].江西农业学报,2011,23(12):199-201.
- [52] 刘成兰,骆振,骆颖,等.麻栗坡县农作物间套种推广现状及发展对策[J].现代农业科技,2015(4):308-309,311.
- [53] 周勇,许绮川,夏俊芳,等.南方多熟制稻区水田耕作新技术新装备研究[J].安徽农业科学,2011,9(19):11922-11923,11927.
- [54] 罗锡文,吴明亮,马旭,等.稻油多熟种植机械化研究[A].中国作物学会.作物多熟种植与国家粮油安全高峰论坛论文集[C].2015:11.
- [55] 吴明亮,官春云,沈宇峰,等.南方稻田油菜全程生产机械化的思考[A].中国作物学会.作物多熟种植与国家粮油安全高峰论坛论文集[C].2015:5.
- [56] 夏俊芳,张国忠,许绮川,等.多熟制稻作区水田旋耕埋草机的结构与性能[J].华中农业大学学报,2008,27(2):331-334.
- [57] 吴维雄,罗锡文,杨文钰,等.小麦-玉米-大豆带状复合种植机械化研究进展[J].农业工程学报,2015,31(z1):1-7.
- [58] 杨晓光,刘志娟,陈阜.全球气候变暖对中国种植制度可能影响 I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J].中国农业科学,2010,43(2):329-336.
- [59] 云雅如,方修琦,王媛,等.黑龙江省过去20年粮食作物种植格局变化及其气候背景[J].自然资源学报,2005,20(5):697-705.
- [60] Ureta C, Martínez M E, Perales H R, et al. Projecting the effects of climate change on the distribution of maize races and their wild relatives in Mexico[J]. Global Change Biology, 2012, 18: 1073-1082.
- [61] 李晓鹤,朱拥军,袁佰顺,等.1964-2013年天水市热量资源变化及对农业生产的影响[J].中国农学通报,2015,31(6):153-160.
- [62] Tao F, Yokozawa M, Liu J. Climate- crop yield relationships at provincial scales in China and the impacts of recent climate trends [J]. Climate Research, 2008, 38: 83-94.
- [63] Chen S Y, Shi Y Y, Guo Y Z, et al. Temporal and spatial variation of annual mean air temperature in arid and semiarid region in northwest China over a recent 46 year period[J]. Journal of Arid land, 2010,2(2):87-97.
- [64] 赖纯佳,千怀遂,段海来,等.淮河流域小麦-水稻种植制度的气候适宜性[J].中国农业科学,2011,44(14):2868-2875.
- [65] 何奇瑾,周广胜.中国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性[J].生态学报,2012,32(12):3931-3939.
- [66] 赵印英.作物组合种植高效用水试验[J].山西农业科学,2004,32(1):72-75.
- [67] 陆序春,刘振之.玉米间套花生的节水增产效果研究[J].湖南农业科学,2005(2):27-29.
- [68] 刘浩.间作条件下作物根系吸水规律研究[D].北京:中国农业科学院,2006.
- [69] 陈桂平,于爱忠.根间作用对玉米间作豌豆耗水特征的影响[J].西北农业学报,2014,23(12):68-73.
- [70] 熊晓锐.黄土高原半湿润区旱作农田一年两熟种植模式水分效应研究-杨凌为例[D].杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [71] 胡兵辉,王维,张红芳.干热河谷旱地覆盖间作两熟种植模式的水分效应[J].水土保持学报,2015,29(1):274-278.
- [72] 胡小东.高温伏旱区旱地农作系统水分生产潜力及效益评价[D].北碚:西南大学,2010.
- [73] 周慧卿,陶丽萍.贝母-春玉米-甘薯栽培技术[J].浙江农业科学,2015,56(2):207-208,213.
- [74] 李新文.蚕豆/春玉米-夏玉米-秋马铃薯四熟高产高效栽培技术分析[J].农民致富之友,2015(14):77.
- [75] 李璐.新疆小麦-玉米“一年多熟”高产高效栽培模式及关键技术的研究[D].石河子:石河子大学,2014.
- [76] 严炜,刘光华,娄予强,等.木薯间套作栽培研究概况及产业发展对策[J].南方农业学报,2011,42(4):391-394.
- [77] 李宁,胡海珍,王明辉,等.鄂东南地区花生+棉花间作模式研究[J].江苏农业科学,2015,43(2):113-115.
- [78] 徐宝玉,刘学进,孙长锋,等.水稻-蔬菜-马铃薯/西瓜多熟制种植模式[J].中国园艺文摘,2012,(8):134-135.
- [79] 王军,张宗勋,秦大英,等.实行合理间套作提高棉田综合效益[J].四川农业科技,2002(2):13.
- [80] 王正功.棉花-花生间作制度栽培技术及生态生理初步研究[D].长沙:湖南农业大学,2009.
- [81] 雍太文,杨文钰,任万军,等.旱地新三熟小麦-玉米-大豆模式栽培技术要点[J].四川农业科技,2005(5):11.
- [82] 吴贵云.匀东镇菜-稻-菜一年三熟栽培技术[J].农技服务,2014,31(12):24,26.
- [83] 闫慧敏,刘纪远,曹明奎.近20年中国耕地复种指数的时空变化[J].

地理学报,2005,60(4):559-566.

[84] 闫慧敏,黄河清,肖向明,等.鄱阳湖农业区多熟种植时空格局特征遥感分析[J].生态学报,2008,28(9):4517-4523.

[85] 闫慧敏,肖向明,黄河清.黄淮海多熟种植农业区作物历遥感检测与时空特征[J].生态学报,2010,30(9):2416-2423.

[86] 黄国勤,刘秀英,刘隆旺,等.红壤旱地多熟种植系统的综合效益评价[J].生态学报,2006,26(8):2532-2539.

[87] 鱼静.阿克苏绿洲种植制度演变规律及发展对策[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2009.

[88] 王开磊,黄国勤,罗奇祥,等.江南丘陵区稻田多熟种植系统的生态服务价值评估[J].江西农业学报,2010,22(11):157-160.

[89] 胡宗辰.基于MODIS的中国主要粮食作物种植时空分布信息提取方法研究[D].成都:电子科技大学,2013.

[90] 高应波,柳钦火,李静,等.基于时序植被指数特征时相识别的多熟制耕地提取新方法[J].遥感技术与应用,2015,30(3):431-438.