

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2015.01537

长江中游不同玉米种植模式产量及资源利用效率的比较研究

李淑娅^{1,2} 田少阳¹ 袁国印^{1,2} 葛均筑^{1,2} 徐莹¹ 王梦影¹
曹凑贵¹ 翟中兵³ 凌霄霞¹ 展茗^{1,*} 赵明^{2,*}

¹ 华中农业大学植物科学技术学院 / 农业部长江中游作物生理生态与耕作重点实验室, 湖北武汉 430070; ² 中国农业科学院作物科学研究所 / 农业部作物生理生态重点实验室, 北京 100081; ³ 武穴市现代农业示范中心, 湖北武穴 435415

摘要: 发展长江中游玉米生产是解决本区域玉米供需矛盾的根本途径。近年来随着长江中游玉米的快速发展, 该地区出现了春玉米-晚稻、双季玉米和早稻-秋玉米等新型的一年两熟制种植模式。为探究其适应性和实用性, 2013—2014 年在湖北省武穴市设置了传统种植的双季稻(对照)、春玉米-晚稻、双季玉米和早稻-秋玉米共 4 种两熟制种植模式, 分析比较其周年产量及光、温、水资源利用效率和经济效益。结果表明, 春玉米-晚稻和双季玉米周年产量显著高于早稻-秋玉米和双季稻。与双季稻相比, 春玉米-晚稻周年产量、光能生产效率、光能利用率、积温生产效率、水分利用率及经济效益分别提高 18.3%、14.1%、23.4%、16.4%、37.2%和 44.3%, 双季玉米分别提高了 13.5%、8.1%、26.1%、11.4%、88.8%和 37.8%。春玉米其产量、积温生产效率、水分利用率及经济效益两年平均比早稻分别高出 30.6%、29.5%、57.2%和 96.1%, 而秋玉米和晚稻之间产量无显著差异。不同玉米模式周年产量差异主要源于第一季春玉米和早稻产量的差异。可见, 春玉米-晚稻和双季玉米是适宜在长江中游推广的两熟制种植模式。

关键词: 玉米种植模式; 产量; 资源利用效率; 经济效益

Comparison of Yield and Resource Utilization Efficiency among Different Maize and Rice Cropping Systems in Middle Reaches of Yangtze River

LI Shu-Ya^{1,2}, TIAN Shao-Yang¹, YUAN Guo-Yin^{1,2}, GE Jun-Zhu^{1,2}, XU Ying¹, WANG Meng-Ying¹, CAO Cou-Gui¹, ZHAI Zhong-Bing³, LING Xiao-Xia¹, ZHAN Ming^{1,*}, and ZHAO Ming^{2,*}

¹ Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation (The Middle Reaches of the Yangtze River) of Ministry of Agriculture / College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; ² Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology of Ministry of Agriculture / Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; ³ Wuxue Modern Agriculture Demonstration Center, Wuxue 435415, China

Abstract: The development of maize production is important to solve the contradiction between maize production and requirement for people in the middle reaches of Yangtze River. With the rapid development of maize production recently, some new double cropping systems in a whole year such as spring maize-late rice, double season maize, early rice-autumn maize have been emerged in this region. In order to explore the extension potential of these double cropping systems in this region, four kinds of double cropping systems were tested in Wuxue, Hubei province in 2013 and 2014, including traditional double season rice (RR), spring maize-late rice (MR), double season maize (MM) and early rice-autumn maize (RM). The field experiment with three replicates was conducted to analyze annual yield, use efficiencies of solar radiation, heat and water, and economic benefit of the four cropping systems. The results showed that annual yield of MR and MM were significantly higher than that of RM and RR. Compared with RR, MR increased annual yield, solar radiation productive efficiency, solar radiation use efficiency, accumulated heat productive efficiency, water use efficiency and economic benefit by 18.3%, 14.1%, 23.4%, 16.4%, 37.2%, and 44.3%, re-

本研究由国家科技支撑计划项目(2012BAD04B12), 湖北省楚天学者启动基金(55204-09135)和农业部作物生理生态与耕作重点实验室开放课题(201306)资助。

* 通讯作者(Corresponding authors): 展茗, E-mail: zhanming@mail.hzau.edu.cn, Tel: 027-87283775; 赵明, E-mail: zhaomingcau@163.net, Tel: 010-82108752

第一作者联系方式: E-mail: shuyalimail@163.com

Received(收稿日期): 2015-02-11; Accepted(接受日期): 2015-06-01; Published online(网络出版日期): 2015-06-29.

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20150629.1349.004.html>

spectively; meanwhile, MM enhanced these parameters by 13.5%, 8.1%, 26.1%, 11.4%, 88.8%, and 37.8%, respectively. The grain yield of spring maize was 30.6% higher than that of early rice, and there was no significant difference in yield between autumn maize and late rice. In comparison with early rice, spring maize increased accumulated heat productive efficiency, water use efficiency and economic benefit in the two years by 29.5%, 57.2%, and 96.1%, respectively. So the difference in annual yield of different cropping systems mainly results from yield difference between the first season spring maize and early season rice. The cropping systems of spring maize-late rice and double season maize are appropriate to be extended in the middle reaches of Yangtze River.

Keywords: Maize and Rice Cropping system; Yield; Natural resource use efficiency; Economic benefit

当前玉米已跃居我国三大粮食作物之首,对保障国家粮食安全发挥了十分重要的作用^[1]。目前全国玉米产需基本平衡,但区域性产需矛盾依然突出。玉米产区主要集中在东北、华北和西北,产量占全国总产的80%左右,南方地区玉米生产仅占全国的20%左右,但消费量却达全国总产量的50%以上^[2-3]。长江中下游区是我国重要的粮食生产基地和畜牧业养殖基地,主要饲料来源于玉米,玉米常年产需缺口较大^[2]。发展长江中下游玉米生产,增强自身供应能力,是保障本区粮食安全、稳定农产品价格、实现畜牧业持续发展的重要途径,因此进行该区玉米生产体系的革新、新技术的创制及新的产业模式的探讨已迫在眉睫。在市场的带动下,近年来长江中游玉米发展迅速,尤其是向低丘平原稻区扩展较快。然而由于本区不属于国家玉米主产区域,玉米生产主要系农民自发行为,因此玉米生产技术的研发与示范推广严重滞后,不仅产量水平低,而且资源利用效率低,亟待新型种植模式与技术的探索与推广。

高光效的C₄作物进入稻田形成的玉稻轮作和双季玉米等新型两熟制种植模式已引起国内外学者的关注^[4-9]。在南亚部分国家,针对稻-玉系统在生态适应性、种植布局和面积、产量与产量潜力、养分管理等领域^[9-10]开展了有关研究,通过水稻生长模型ORYZA2000和杂交玉米模型模拟指出水稻和玉米的产量潜力分别可达到15.0 t hm⁻²和22.0 t hm⁻²左右,可获得产量通常为产量潜力的80%~90%,但是玉米实际产量通常只有可获得产量的50%左右,因此作为玉稻系统,其产量潜力的发挥还有很大上升空间。赵强基等^[6]在中国南方稻区开展的研究表明玉-稻模式比当地主体种植制度(麦-稻两熟制)增产10%以上。李小勇^[11]研究表明玉-稻周年产量可达19.9 t hm⁻²,玉-稻和双季玉米产量均显著高于双季稻,但玉-稻和双季玉米产量差异不显著;与传统双季稻模式相比,玉-稻周年土地资源利用率,光、温、水资源生产效率和光能利用率分别提高了9.75%、

14.7%、20.4%、12.1%和19.1%。稻-玉系统中,早季为早稻的晚季免耕玉米的产量要显著高于早季是水稻的晚季免耕玉米产量^[12]。与双季稻模式的连作晚稻比较,采用同一耕作方式,玉稻模式的晚稻产量增幅为2.13%~6.47%^[11]。李立娟等^[13]研究表明与传统冬小麦-夏玉米相比,黄淮海双季玉米产量略增,周年光、温生产效率平均增加26.1%和6.5%。就南方稻区双季玉米不同肥料密度模式^[14],播期与品种搭配^[15]等方面也进行了一定研究。但是在长江中游地区同等条件下同时比较研究玉-稻、双季玉米、稻-玉、双季稻4种两熟制种植模式周年产量和资源利用效率及经济效益的差异尚未见报道。

本研究设置长江中游4种两熟制种植模式,分析比较其产量、资源利用效率和经济效益的差异及其原因,以期为长江中游种植结构调整,协调水稻、玉米合理发展提供理论依据与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

湖北省武穴市现代农业示范中心试验基地(30°00'N, 115°44'E)处亚热带季风性湿润气候,试验期间2年的旬平均温度和降雨量见图1,2013年7月至8月比2014年同期降水偏少,气温偏高。试验田土壤为黄棕壤,0~30 cm耕层含有机质16.8 g kg⁻¹、全氮1.95 g kg⁻¹、硝态氮7.46 mg kg⁻¹、氨态氮17.15 mg kg⁻¹、全磷0.45 g kg⁻¹、速效磷10.78 mg kg⁻¹、全钾2.32 g kg⁻¹、速效钾108.50 mg kg⁻¹, pH 6.30。

1.2 试验设计

2013—2014年春玉米与秋玉米品种均为郑单958,早稻为常规籼稻中嘉早17,晚稻为多穗型杂交籼稻岳优9113。试验共设4个处理,分别为春玉米-晚稻(MR)、双季玉米(MM)、早稻-秋玉米(RM)和传统种植的双季稻(RR)两熟制模式。不同模式的播栽及收获期见表1。采用随机区组设计,3次重复。

1.2.1 春玉米-晚稻模式 春玉米采用厢作,厢宽为1 m,沟宽为20 cm,厢沟模式单位宽度为120

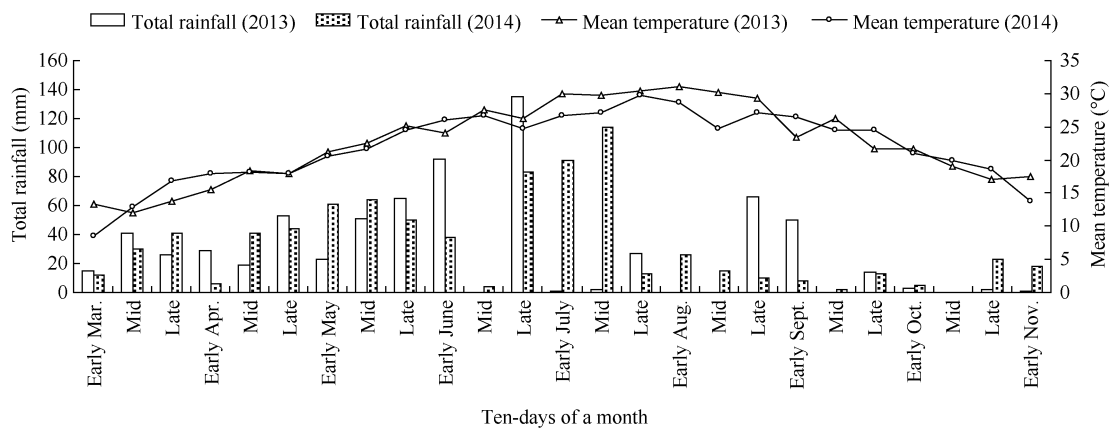


图 1 试验期间的旬平均气温和降雨量

Fig. 1 Mean temperature and total rainfall of every ten-days during experimental period

表 1 不同玉稻种植模式生育期天数及播栽期和收获期

Table 1 Growth period and date of sowing, transplanting and harvest of different maize and rice cropping systems

处理 Treatment	播种期-移栽期-收获期 Date of sowing, transplanting, and harvest (month/day)		生育期天数 Growth period (d)			
	第 1 季 1st season	第 2 季 2nd season	第 1 季 1st season	第 2 季 2nd season	周年 Whole year	重叠期 Overlapping period
2013						
MR	3/15-7/17	6/24-7/27-10/25	124	123	224	23
MM	3/15-7/17	7/20-11/6	124	109	233	0
RM	3/29-5/1-7/17	7/20-11/2	110	105	215	0
RR	3/29-5/1-7/17	6/24-7/26-10/25	110	123	210	23
2014						
MR	3/16-7/15	6/25-7/26-10/26	121	123	224	20
MM	3/16-7/15	7/20-11/2	121	105	226	0
RM	3/27-4/28-7/19	7/27-11/3	114	99	213	0
RR	3/27-4/28-7/19	6.25-7/26-10/26	114	123	213	24

MR: 春玉米晚稻周年种植模式; MM: 双季玉米周年种植模式; RM: 早稻秋玉米周年种植模式; RR: 双季稻周年种植模式。
MR: spring maize-late rice; MM: double season maize; RM: early rice-autumn maize; RR: double season rice.

cm, 40 cm+80 cm 宽窄行播种 2 行, 窄行位于厢面, 每个小区 5 厢。按 27.8 cm 株距人工点播, 每穴 3 粒种子, 播种后人工覆膜。玉米出苗后及时破膜放苗, 三叶期间苗, 五叶期定苗, 定苗密度 6.0×10^4 株 hm^{-2} 。2013 年公顷施肥量为 240 kg N、135 kg P_2O_5 、180 kg K_2O , 2014 年为 240 kg N、120 kg P_2O_5 、180 kg K_2O , 试验用复合肥料为山东金正大生态有限公司生产的沃夫特玉米专用缓控释肥(N P_2O_5 K_2O 为 22 8 12), 以 N 肥为计算单位, P_2O_5 和 K_2O 用量分别用过磷酸钙(含 P_2O_5 12%)和氯化钾(含 K_2O 60%)补足, 肥料于播种时一次性基施。田间管理措施同一般高产田。

于春玉米收获后泡田, 破坏原厢沟模式进行旋田整地后人工移栽晚稻, 移栽密度 30.9 万穴 hm^{-2}

(27.0 cm \times 12.0 cm), 每穴 2 苗。2013 年公顷施用肥料 180 kg N、135 kg P_2O_5 、180 kg K_2O , 2014 年为 180 kg N、75 kg P_2O_5 、105 kg K_2O , 以尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P_2O_5 12%)和氯化钾(含 K_2O 60%)施用, 氮肥按照基肥 蘖肥 穗肥为 4 2 4 施用, 磷肥全部基施, 钾肥 50%作基肥施用, 50%于幼穗分化始期施用。茎蘖数达到预期穗数的 80%时, 开始排水搁田, 拔节至成熟期采用干湿交替的水分管理模式, 收获前 1 周断水。按当地大面积生产统一实施病虫害防治。

1.2.2 双季玉米模式 该模式春玉米除了2014年公顷施肥量为210 kg N、120 kg P_2O_5 、180 kg K_2O 外, 其余播种施肥及田间管理同玉-稻模式的春玉米。于春玉米收获后免耕同行错株播种秋玉米, 厢作连

作。2013年公顷施肥量为180 kg N、135 kg P₂O₅、180 kg K₂O, 2014年为210 kg N、120 kg P₂O₅、180 kg K₂O, 肥料施用方式同春玉米。其余大田种植及管理同一般高产田。

1.2.3 早稻-秋玉米模式 早稻移栽密度30.9万穴 hm⁻² (27.0 cm×12.0 cm), 每穴3苗。2013年公顷施肥量180 kg N、135 kg P₂O₅、180 kg K₂O, 2014年为180 kg N、90 kg P₂O₅、105 kg K₂O, 氮肥按照基肥 蘖肥 穗肥为5 2 3施用, 磷、钾肥施用方式及田间管理同1.2.1之晚稻。秋玉米于早稻收获后, 浅旋耕做厢(同春玉米)播种。2年施肥量同1.2.1之春玉米, 田间管理措施同一般高产田。

1.2.4 双季稻模式 早稻种植同1.2.3之早稻, 晚稻种植同1.2.1之晚稻。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 气象因子监测 试验田中安装全自动微型气象站(AWS 800, 美国 Campbell Scientific 公司), 进行间隔2 s的全年度自动数据读取, 利用生成的日值气象资料, 计算周年和不同作物季的总辐射、有效积温、降雨量。

1.3.2 生物量测定 于收获期, 取代表性玉米植株3株, 分茎、叶、穗轴、苞叶、籽粒, 按照大田平均穗数取6穴水稻, 分茎、叶、实粒、空瘪粒和枝梗(水选法将实粒与空瘪粒分开), 105℃下杀青30 min, 80℃下烘至恒重, 测定干物质重。利用微型植物样品粉碎机粉碎, 过40目筛, 用于植株养分测定。

1.3.3 产量测定 于收获前调查玉米种植密度, 每个小区收获中间一个厢面两个连续20株的果穗, 自然风干后考察穗粒数与千粒重, 脱粒称重, 测籽粒含水量(PM8088谷物水分测定仪)。于收获前调查水稻有效穗, 选取各小区生长均匀的5 m²测产, 收获后记录实际收割面积的8个长度、3个宽度与收割穴数, 脱粒并晒干, 风选清除杂质后, 测定总重和含水量, 按照14%含水量折算水稻和玉米产量。

1.3.4 养分测定 采用双氧水-浓硫酸消煮法消煮植株样品, 连续流动分析仪测定氮、磷含量, 火焰光度计测定钾含量, 计算不同模式下的植株养分吸收与积累情况。

1.4 物质、能量生产与生态因素及养分资源效率分析

1.4.1 干物质产能 参考王美云等^[16]计算方法, 干物质产能以单位面积生产的干物质产量的干重热值表示。干物质产能(MJ m⁻²)=单位面积的干物质产

量×干重热值

干重热值(GCV)指每克干物质完全燃烧所释放的能量(J g⁻¹)^[17], 本试验玉米干重热值为1.807×10⁴ J g⁻¹^[18], 水稻干重热值为1.680×10⁴ J g⁻¹^[19]。

1.4.2 光能生产效率和年总辐射利用率 参考王美云等^[16]、李丽娟等^[13]计算方法, 光能生产效率以生育期间平均单位热量生产的单位面积籽粒重量表示。

光能生产效率(g MJ⁻¹) = 籽粒产量/单位面积的太阳辐射

年总光能利用率(%) = 干物质产能/单位面积的全年太阳辐射

1.4.3 积温生产效率和年有效积温利用率 参考张占琴等^[20]、高海涛等^[21]计算方法, 积温生产效率是指生育期间日均温≥10℃有效积温生产的单位面积籽粒重量。

积温生产效率(kg hm⁻² °C⁻¹ d⁻¹) = 籽粒产量/生育期间有效积温

年有效积温利用率(%) = 作物生育期间有效积温/全年有效积温

1.4.4 水分利用效率 参考王美云等^[16]、侯连涛等^[22]计算方法, 采用产量水平的水分利用效率, 即水分利用效率(kg m⁻³)=籽粒产量(kg hm⁻²)/总耗水量(m³ hm⁻²), 其中, 用水量=降水量+灌溉量, 灌溉量根据灌溉次数和含水量(m³ m⁻³)的变化计算(含水量用美国 Decagon Devices 公司生产的 ProCheck 测定), 每次灌溉量为地上灌水深度与地下30 cm耕层含水量变化(耕层土壤饱和时含水量按照0.42 m³ m⁻³计算)所对应的灌水量之和。

1.4.5 养分吸收与利用效率 参考吴文革等^[23]计算方法,

养分积累总量=成熟期地上部各部位干物质重×各部位养分含量之和

养分干物质生产效率(kg kg⁻¹)=成熟期单位面积干物质重/养分积累总量

养分籽粒生产效率(kg kg⁻¹)=籽粒产量/养分积累总量

养分收获指数(%)=籽粒养分积累量/养分积累总量

养分偏生产力(kg kg⁻¹)=籽粒产量/养分施用量

1.5 经济效益计算

经济效益(元 hm⁻²)=产值(元 hm⁻²)-成本(元 hm⁻²)

产值(元 hm⁻²)=产量(kg hm⁻²)×单价(元 kg⁻¹)

其中, 玉米、早稻和晚稻单价每 kg 分别为 2.20、2.30 和 2.60 元。成本包括用工、机械、种子、肥料、农药和地膜, 玉米按照机械播种人工收获, 水稻为人工移栽机械收获, 此外用工还包括施肥和喷药, 机械还包括整地和灌溉。用工标准和生产资料价格依据湖北省武穴市当地用工及物价水平确定。玉米用工包括人工收获脱粒 1800 元 hm^{-2} , 6 次喷药 1350 元 hm^{-2} ; 机械包括整地做厢 1800 元 hm^{-2} , 播种及施肥 450 元 hm^{-2} , 秋玉米灌溉 1 次 450 元 hm^{-2} 。水稻用工包括插秧 1500 元 hm^{-2} , 6 次喷药 1350 元 hm^{-2} , 3 次施肥 1350 元 hm^{-2} ; 机械包括整地 1500 元 hm^{-2} , 收获 1200 元 hm^{-2} , 早稻 3 次灌溉 1350 元 hm^{-2} , 晚稻 6 次灌溉 2700 元 hm^{-2} 。玉米、常规早稻和杂交籼稻种子每公顷费用分别为 675、375 和 900 元。缓释肥 3600 元 t^{-1} ; 尿素每袋 40 kg, 95 元; 氯化钾每袋 50 kg, 165 元; 过磷酸钙每袋 50 kg, 35 元。玉米农药费用为 900 元 hm^{-2} , 水稻为 1125 元 hm^{-2} 。春玉米种植覆膜为 750 元 hm^{-2} 。

1.6 数据统计与分析

用 Microsoft Excel 2003 计算数据和作图, 用 SAS 8.0 统计软件进行方差分析, LSD 法进行多重比较, 显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同玉稻种植模式生育期差异

由表 1 知, MR 和 MM 模式周年生长期较接近, 为 225 d 左右, RM 和 RR 模式周年生长期接近, 为 213 d 左右, 比 MR 和 MM 生育期天数减少 9~23 d。

这是由于春玉米生育期天数比早稻高出 7~14 d, 晚稻生育期天数比秋玉米高出 14~24 d, 而晚稻由于要在前季作物未收获前育秧, 因而与前季作物之间有 20 d 左右的生育期的重叠。

2.2 不同玉稻种植模式产量比较

由表 2 知, 2013 年周年产量表现为 $\text{MR} > \text{MM} > \text{RM} > \text{RR}$, 模式间差异均达到显著水平, 其中 MR 比 MM、RM 和 RR 周年产量依次平均高出 6.5%、14.2%、22.0%, MM 比 RM 和 RR 周年产量平均高出 7.2%和 14.5%; 2014 年周年产量为 $\text{MR} > \text{MM} > \text{RR} > \text{RM}$, 除 MR 和 MM 之间差异不显著外, 其余模式间差异均达到显著水平; 其中 MR 比 RR 和 RM 周年产量依次平均高出 15.0%和 27.2%, MM 比 RR 和 RM 周年产量平均高出 12.6%和 24.6%。

从单季产量两年均值可以看出, 第 1 季春玉米产量(9.31 t hm^{-2})显著高于早稻产量(7.13 t hm^{-2}), 2013 年和 2014 年分别高出 32.2%和 29.0%。第 2 季产量在年际间有一定的波动, 2013 年 MR 晚稻显著高于 RR 晚稻, 产量提高 8.1%, 2014 年提高 4.3%; 2013 年 RM 秋玉米显著高于 MM 秋玉米, 增产 8.3%, 但 2014 年表现为 MM 秋玉米产量显著高于 RM 秋玉米, 可能是由于 2014 年 7 月中旬降雨量是 2013 年 7 月中旬降雨量的 63.5 倍(图 1), 造成早稻收获前后稻田含水量较高, RM 秋玉米播期推迟 1 周造成减产, 说明种植 RM 秋玉米在年际间具有一定风险。2013 年第二季秋玉米(8.75 t hm^{-2})与晚稻(8.60 t hm^{-2})产量之间无显著差异, 2014 年不考虑 RM 秋玉米, 秋玉米(9.57 t hm^{-2})与晚稻(9.59 t hm^{-2})产量之间亦无显著差异。

表 2 不同玉稻种植模式产量比较
Table 2 Comparison of grain yield of different maize and rice cropping systems (t hm^{-2})

处理 Treatment	第 1 季 1st season	第 2 季 2nd season	周年 Whole year
2013			
春玉米晚稻周年种植模式 MR	9.65±0.82 a	8.93±0.08 a	18.58±0.85 a
双季玉米周年种植模式 MM	9.04±0.34 a	8.40±0.35 b	17.44±0.22 b
早稻秋玉米周年种植模式 RM	7.16±0.10 b	9.10±0.07 a	16.27±0.17 c
双季稻周年种植模式 RR	6.98±0.10 b	8.26±0.10 b	15.24±0.20 d
2014			
春玉米晚稻周年种植模式 MR	9.36±0.22 a	9.79±0.12 a	19.16±0.23 a
双季玉米周年种植模式 MM	9.19±0.64 a	9.57±0.25 a	18.76±0.58 a
早稻秋玉米周年种植模式 RM	7.12±0.10 b	7.94±0.77 b	15.06±0.73 c
双季稻周年种植模式 RR	7.27±0.19 b	9.39±0.13 a	16.66±0.24 b

不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

Values followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level among treatments. Abbreviations are the same as those given in Table 1.

2.3 不同玉稻种植模式资源利用效率比较

2.3.1 光能生产效率及利用率 由表 3 看出, 周年种植模式光能生产效率年际间趋势一致(除 2014 年 RM)。不同年际间有差异, 2013 年, MR、MM 和 RM 周年光能生产效率比 RR 分别提高 0.08 g MJ⁻¹、0.03 g MJ⁻¹ 和 0.02 g MJ⁻¹, 增幅分别为 17.8%、6.7% 和 4.4%, 差异达显著水平; 2014 年, MR 和 MM 周年光能生产效率比 RR 分别显著高出 0.06 g MJ⁻¹ 和 0.05 g MJ⁻¹, 增幅为 11.1% 和 9.3%。周年总光能利用率 MR 和 MM 显著高于 RM 和 RR, 其中 2013 年 MR 比 RM 和 RR 分别显著高出 16.1% 和 23.8%, MM 比 RM 和 RR 分别显著高出 14.3% 和 21.9%, 2014 年 MR 比 RM 和 RR 分别显著高出 25.2% 和 23.0%, MM 比 RM 和 RR 分别显著高出 32.4% 和 30.1%。

2.3.2 积温生产效率及利用率 由表 3 可知, 周年种植模式积温生产效率年际间趋势一致(除 2014

年 RM)。与 RR 周年积温生产效率相比, MR、MM 和 RM 在 2013 年分别提高 1.04 kg hm⁻² d⁻¹、0.59 kg hm⁻² d⁻¹ 和 0.31 kg hm⁻² d⁻¹, 增幅分别为 20.5%、11.6% 和 6.1%, 差异达显著水平; 而在 2014 年 MR 和 MM 周年光能生产效率比 RR 分别显著高出 0.73 kg hm⁻² d⁻¹ 和 0.64 kg hm⁻² d⁻¹, 增幅为 12.8% 和 11.2%。单季比较结果表明, 第 1 季春玉米积温生产效率显著高于早稻, 2013 年和 2014 年分别平均显著高出 1.39 kg hm⁻² d⁻¹ 和 1.49 kg hm⁻² d⁻¹, 增幅为 28.6% 和 30.3%; 第 2 季秋玉米积温生产效率有大于晚稻的趋势。4 种植模式对年有效积温的利用率均接近饱和, 其中 2013 年 MR、MM 和 RM 本田期年有效积温利用率比 RR 分别高出 9.9%、18.1% 和 6.6%, 2014 年 MR、MM 和 RM 本田期年有效积温利用率比 RR 分别提高 9.6%、16.0% 和 1.4% (表 3)。

表 3 不同玉稻种植模式的光温生产效率与周年利用率

Table 3 Solar radiation, GDD (growing degree days) production efficiency and annual use efficiency of different maize and rice cropping systems

处理 Treatment	光能生产效率			年总光能利用率 Use efficiency of annual solar radiation (%)	积温(≥10℃)生产效率			年有效积温利用率 Use efficiency of annual GDD (%)
	Solar radiation production efficiency (g MJ ⁻¹)				GDD production efficiency (kg hm ⁻² °C ⁻¹ d ⁻¹)			
	第 1 季 1st season	第 2 季 2nd season	周年 Whole year		第 1 季 1st season	第 2 季 2nd season	周年 Whole year	
2013								
MR	0.52 ab	0.57 a	0.53 a	1.30 a	6.47 a	4.49 c	6.11 a	18.8+87.9
MM	0.49 b	0.48 c	0.48 b	1.28 a	6.06 a	5.28 b	5.66 b	94.5
RM	0.55 a	0.53 b	0.47 b	1.12 b	4.93 b	5.80 a	5.38 b	7.3+85.3
RR	0.54 a	0.52 b	0.45 c	1.05 c	4.80 b	4.16 d	5.07 c	25.5+80.0
2014								
MR	0.56 a	0.70 a	0.60 a	1.39 b	6.48 a	5.23 bc	6.42 a	16.5+89.1
MM	0.55 a	0.63 bc	0.59 a	1.47 a	6.36 a	6.30 a	6.33 a	94.3
RM	0.57 a	0.57 c	0.51 c	1.11 c	4.88 b	5.73 b	5.29 c	8.2+82.4
RR	0.58 a	0.67 ab	0.54 b	1.13 c	4.98 b	5.01 c	5.69 b	24.7+81.3

年有效积温利用率以秧田期和本田期分开计算。不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。缩写同表 1。

Utilization efficiency of annual GDD is calculated in the seedling stage and in the transplanted field stage separately. Values followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level among treatments. Abbreviations are the same as those given in Table 1.

2.3.3 水分利用率 由图 1 可知, 2013 年 4 月至 6 月份降雨较多, 7 月至 10 月份出现较严重干旱, 2014 年 5 月至 7 月份降雨较多, 8 月至 10 月份出现干旱。对春玉米未进行灌溉, 对秋玉米进行了补充灌溉, 晚稻需水量大, 灌溉量为早稻灌溉量的 1.7~2.0 倍。由表 4 可知, 与 RR 相比, 2013 年 MR、MM 和 RM 可分别节约灌溉用水 37.5%、85.9% 和 48.4%, 2014 年分别节约灌溉用水 33.3%、86.7% 和 53.4%。

由表 4 可以看出, 长江中游不同周年种植模式水分利用率以 MM 最高, 显著高于 MR 和 RM, RR 最低, 且显著低于其他 3 种植模式。与 RR 水分利用率相比, MR、MM 和 RM 2013 年分别高出 41.5%、82.9% 和 39.8%, 2014 年分别提高 32.8%、95.0% 和 21.0%。从单季 WUE 分析可以看出, 春玉米 WUE 显著高于早稻, 2013 年和 2014 年分别提高 0.61 kg m⁻³ 和 0.60 kg m⁻³, 增幅为 52.4% 和 62.0%; 秋玉米

WUE 显著高于晚稻。

2.3.4 养分利用率 由于 2014 年磷钾肥的施用是在 2013 年的基础上优化调整的, 因此以 2014 年结果分析不同周年种植模式间养分利用率差异。不同周年模式对氮素的利用没有显著差异(除 2014 年 RM); RR 磷、钾肥偏生产力虽然比 MR 和 MM 高, 但是 MR 和 MM 吸收单位磷素生产的籽粒比 RR 分别高出 26.5%和 22.4%, 生产的干物质比 RR 分别高出 29.7%和 31.7%, MR 和 MM 吸收单位钾素生产的籽粒比 RR 分别高出 25.9%和 39.3%, 生产的干物质比 RR 分别高出 29.1%和 49.8%。氮、磷、钾素收获指

数均表现为 MR 和 MM 显著高于 RR (表 5)。

2.3.5 经济效益分析 由表 6 可知, 不同模式间周年经济效益以 MR 最高, MM 其次, 而 RM 和 RR 较低。其中 MR 和 MM 经济效益两年均值分别比 RR 增加 5883 元 hm^{-2} 和 5023 元 hm^{-2} , 增幅为 44.3%和 37.8%。MR 周年成本和效益均较高, 为高投入高产型; MM 成本最低, 而效益较高, 为低投入高产型; RR 成本与 MR 相当, 而效益最低(2013), 为高投入低产出型; RM 成本居中, 效益与 RR 相当(2013), 为中投入低产出型。因此 MR 和 MM 是较好的种植模式。

表 4 不同玉稻种植模式的用水量与水分利用率
Table 4 Water input and use efficiency of different maize and rice cropping systems

处理 Treatment	降水量 Rainfall (mm)			灌溉 Irrigation (mm)			水分利用率 WUE (kg m^{-3})		
	第 1 季	第 2 季	周年	第 1 季	第 2 季	周年	第 1 季	第 2 季	周年
	1st season	2nd season	Whole year	1st season	2nd season	Whole year	1st season	2nd season	Whole year
2013									
MR	526	149	689	0	380	380	1.83 a	1.69 c	1.74 b
MM	526	164	691	0	86	86	1.72 a	3.36 b	2.25 a
RM	380	164	632	228	86	314	1.18 b	3.64 a	1.72 b
RR	380	149	630	228	380	608	1.15 b	1.56 c	1.23 c
2014									
MR	596	135	731	0	456	456	1.57 a	1.66 c	1.58 b
MM	596	120	716	0	91	91	1.54 a	4.53 a	2.32 a
RM	518	118	636	228	91	319	0.95 b	3.81 b	1.44 c
RR	518	135	653	228	456	684	0.97 b	1.59 c	1.19 d

不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。缩写同表 1。

Values followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level among treatments. Abbreviations are the same as those given in Table 1.

表 5 不同玉稻种植模式氮、磷、钾利用率
Table 5 N, P, and K use efficiency of different maize and rice cropping systems

处理 Treatment	偏生产力 Partial factor productivity (kg kg^{-1})			籽粒生产效率 Use efficiency for grain production (kg kg^{-1})			干物质生产效率 Use efficiency for biomass production (kg kg^{-1})			收获指数 Harvest index (%)		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
2013												
MR	44.2 a	68.8 a	51.6 a	40.0 b	276.3 bc	41.4 c	75.2 c	519.2 b	77.7 c	67.4 a	73.9 b	12.6 c
MM	41.5 b	64.6 b	48.5 b	46.0 a	324.2 a	53.1 a	87.8 a	618.5 a	101.4 a	69.8 a	81.4 a	17.9 a
RM	38.7 c	60.2 c	45.2 c	39.3 b	281.5 a	47.7 b	72.4 d	518.6 b	87.9 b	64.6 b	74.2 b	15.1 b
RR	42.3 ab	56.4 d	42.3 d	40.3 b	256.6 c	33.2 d	77.7 b	494.6 c	64.0 d	63.6 b	67.5 c	9.4 d
2014												
MR	45.6 a	98.2 a	67.2 b	45.5 b	301.5 a	65.7 b	78.2 b	531.5 a	115.8 b	68.0 b	79.7 a	8.7 b
MM	44.7 a	78.2 b	52.1 c	42.6 c	291.9 a	72.7 a	78.8 b	539.7 a	134.4 a	71.5 a	81.6 a	14.9 a
RM	35.9 b	71.7 c	52.8 c	50.4 a	271.6 b	54.1 c	92.5 a	499.7 b	97.0 c	56.3 c	66.2 b	6.6 c
RR	46.3 a	101.0 a	79.3 a	46.1 b	238.4 c	52.2 c	79.3 b	409.7 c	89.7 d	58.2 c	59.6 c	3.4 d

不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。缩写同表 1。

Values followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level among treatments. Abbreviations are the same as those given in Table 1.

表 6 不同玉稻种植模式经济效益比较
Table 6 Comparison of economic benefit of different maize and rice cropping systems (Yuan hm⁻²)

处理 Treatment	产值 Total income			成本 Cost			经济效益 Net income		
	第 1 季 1st season	第 2 季 2nd season	周年 Whole year	第 1 季 1st season	第 2 季 2nd season	周年 Whole year	第 1 季 1st season	第 2 季 2nd season	周年 Whole year
2013									
MR	21230	23225	44455	12195	14325	26520	9035	8900	17935
MM	19887	18487	38374	12195	9420	21615	7692	9067	16759
RM	16475	20028	36503	12450	12345	24345	4025	8133	12158
RR	16046	21480	37526	12450	14325	26775	3596	7155	10751
2014									
MR	20602	25461	46064	12120	13575	25695	8482	11886	20369
MM	20219	21055	41275	11775	9675	21450	8444	11380	19825
RM	16371	17476	33848	11775	11820	23595	4596	5656	10253
RR	16723	24415	41138	11775	13575	25350	4948	10840	15788

不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。缩写同表 1。

Values followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level among treatments. Abbreviations are the same as those given in Table 1.

单季的春玉米经济效益优于早稻, 2013 年和 2014 年平均分别高出 4553 元 hm⁻² 和 3691 元 hm⁻², 增幅分别为 119.5% 和 77.3%, 其原因是二者在成本相当的前提下, 春玉米产值高于早稻, 2 年产值平均增幅分别为 26.4% 和 23.3%。晚稻成本和产值均高于秋玉米, 经济效益与秋玉米相当。

3 讨论

长江中下游是我国重要的种植业优势区^[24]。随着农业生产的发展, 该区种植业结构也在不断地调整。20 世纪 50—70 年代, 南方一熟改两熟, 两熟改三熟; 60—70 年代, 南方利用冬闲田发展绿肥双季稻、稻麦和稻油两熟制^[25]。70 年代起, 该稻区在麦—稻两熟制的基础上纳入玉米, 形成了“麦/玉米—水稻”为主体格局的两早一水三熟种植制, 并形成粮经饲初步结合, 实现粮(后季稻)、饲(春玉米)、经菜果(冬春间套作)等多元种植, 成为该区农作制度向新阶段发展的一个重要标志, 同时使新型的玉—稻种植模式得到较快的发展^[26-27]。这样不仅减轻了北玉南下的压力, 而且将经济效益高的春玉米代替了一部分经济效益较低的传统的双季早稻。为此, 笔者针对高光效 C₄ 作物——玉米进入南方稻田所形成的稻—玉、玉—稻和双季玉米新型的两熟制种植模式开展了研究。

本研究结果表明, MR 和 MM 周年产量显著高于 RM 和 RR。MR 和 MM 产量比 RR 平均分别高出 18.3% 和 13.5%, 与李小勇^[11]的研究结果一致。本试

验中 MR 产量比 RM 平均增加 20.5%, Timsina 等^[9]研究曾指出玉—稻系统产量潜力(21.7 t hm⁻²)高于稻—玉系统(20.5 t hm⁻²)。水旱轮作系统的一个显著特征就是作物系统的水旱交替轮作导致了土壤系统季节间的干湿交替变化^[28], 2013 年 MR 晚稻产量比 RR 晚稻显著高出 8.1%, 但 2014 年二者无显著差异, 2013 年 RM 秋玉米产量比 MM 秋玉米显著高出 8.3%, 这是否因水热条件的强烈转换, 引起土壤物理、化学或者生物学特性的交替变化, 还有待进一步研究。单季春玉米产量显著高于早稻, 两年平均增幅 30.6%, 而秋玉米和晚稻之间产量均值无显著差异, 因此不同玉稻两熟制种植模式周年产量差异主要源于第一季春玉米和早稻产量的差异, 使得本研究中 MR 模式与 MM 模式具有相当的周年产量水平。双季早稻前期营养生长阶段低温导致生物量低及后期开花灌浆期最高温太高导致结实率较低不可避免^[29], 最终导致早稻产量较低, 而春玉米前期通过地膜增温, 后期尽管春玉米灌浆期也受高温的影响, 但是春玉米开花期在 5 月底比早稻开花期 6 月中旬早 20 d 左右, 一定程度上缓冲了高温危害。

与 RR 相比, MR 周年光能生产效率、年总光能利用率和周年积温生产效率分别提高 14.1%、23.4% 和 16.4%, 这与前人^[11]研究结果一致, MM 分别提高 8.1%、26.1% 和 11.4%; MR 和 MM 年总光能利用率比 RM 平均分别高出 20.6% 和 23.3%, 单季春玉米积温生产效率比早稻平均高出 29.5%。含有玉米季的 MR 和 MM 两年水分利用率比 RR 平均分别高出

37.2%和 88.8%, 与水稻相比, 每生产 1 kg 玉米所需的水量约是生产 1 kg 稻谷所需水量的 28.3%^[30], 而且针对春玉米-晚稻这种模式, 春玉米田间排出的水可以储存以利晚稻的利用。因此用春玉米代替双季早稻不仅可以实现光温水资源的高效利用, 也可以达到节水的目的。MR 和 MM 对氮素的利用虽然没有表现出优势, 但是对磷钾的利用仍表现出一定的优势。周年经济效益 MR 和 MM 高于 RM 和 RR, MR 和 MM 效益相当, RM 和 RR 效益相当; 结合成本来看, 高投入高产出的 RM 和低投入高产出的 MM 两种种植模式是值得在此区域推广的。单季春玉米经济效益优于早稻, 两年比早稻平均高出 96.1%。增加有比较优势的农作物生产, 或者减少没有比较优势的农作物生产, 有利于提高农民的经营性收入^[31-32], 因此将春玉米代替经济效益差的双季早稻, 利于增加农民收入。

我国水资源总体特征呈现受季风气候影响年度间水源供应不稳定的特点^[33], 2014 年 7 月份试验点降雨量(218.9 mm)是 2013 年 7 月份降雨量(30.1 mm)的 7.3 倍, 而 2014 年 7 月中旬降雨量(114.3 mm)是 2013 年 7 月中旬降雨量(1.8 mm)的 63.5 倍(图 1), 7 月中旬正值早稻收获及播种稻-玉秋玉米的时期, 因此与 2013 年相比, 2014 年稻-玉秋玉米播种推迟 1 周而造成减产。尽管玉-稻产量潜力比稻-玉高, 可是玉-稻系统可能会面临前季玉米渍涝和后季水稻缺水的问题, 而且前季长期在降雨量大的季节玉米会感染各种病害, 而水稻很少会感染^[34], 不过通过前季玉米覆膜种植及加强玉米病虫害管理和后季水稻抽水都可以解决这些问题。由双季稻到单季稻到直播稻这一系列种植方式的形成, 是在朝着以高产、高效和简化为特征的方向改变, 因此针对春玉米-晚稻这一两熟制种植方式, 通过调节春玉米群体特征以求周年产量的进一步提高以及通过寻求晚稻简化的接茬方式来代替传统的高成本人工插秧是亟待进一步研究的问题。

4 结论

用高光效的 C₄ 作物玉米取代一部分双季早稻, 不仅提高了资源利用效率, 增加了经济效益, 同时增加了种植模式的多元化。不同玉稻两熟制种植模式周年产量差异主要源于第 1 季春玉米和早稻产量的差异。MR 和 MM 周年产量显著高于 RM 和 RR, 而且 MR 和 MM 资源利用效率显著高于 RR。因此, MR 和 MM 是适宜在长江中游推广的 2 种两熟制种植模

式, 双季玉米可以选择在一些山区和丘陵水分不足以种植水稻的区域种植, 而春玉米-晚稻可以选择在一部分平原区种植, 不仅仅是作为两熟制种植制度多元化的补充, 也是实现本区域畜牧业可持续发展从而增加农民收入的一种方式。

References

- [1] 韩长赋. 玉米论略. 农业经济问题, 2012, (6): 4-8
Han C F. The analysis of maize. *Issues Agric Econ*, 2012, (6): 4-8 (in Chinese)
- [2] 徐杰. 基于“系统流”理论的中国玉米产业系统协调性研究. 山东农业大学博士学位论文, 山东泰安, 2012
Xu J. Analysis on the Coordination of Chinese Corn Industry System Based on “System Flow” Theory. PhD Dissertation of Shandong Agricultural University, Tai'an, China, 2012 (in Chinese with English abstract)
- [3] 孙艳妮, 程林, 李昌新. 我国粮食安全的区域性和结构性差异. 江苏农业科学, 2010, (5): 524-526
Sun Y N, Cheng L, Li C X. Regional and structural differences of food security in China. *Jiangsu Agric Sci*, 2010, (5): 524-526 (in Chinese)
- [4] Ali M Y, Waddington S R, Timsina J, Hodson D, Dixon J. Maize-rice cropping systems in Bangladesh: status and research needs. *J Agric Sci Technol*, 2009, 3: 35-53
- [5] 蔡庆红, 陶优生, 唐云鹏, 唐启源. 南方玉米高产栽培技术研究进展. 作物研究, 2012, 26: 282-287
Cai Q H, Tao Y S, Tang Y P, Tang Q Y. Research progress in the high yield cultivation techniques of southern maize. *Crop Res*, 2012, 26: 282-287 (in Chinese)
- [6] 赵强基, 郑建初, 袁从, 卞新民, 李萍萍, 章熙谷. 中国南方稻区玉米-稻种植模式的建立和实践. 江苏农业学报, 1997, 13: 215-219
Zhao Q J, Zheng J C, Yuan C, Bian X M, Li P P, Zhang X G. Establishment and practice on maize-rice cropping model in Paddy Area of southern China. *Jiangsu J Agric Sci*, 1997, 13: 215-219 (in Chinese with English abstract)
- [7] 展茗, 赵明, 刘永忠, 徐尚忠. 湖北省玉米供需矛盾及提升玉米生产科技水平对策. 湖北农业科学, 2010, 49: 802-806
Zhan M, Zhao M, Liu Y Z, Xu S Z. Enhance maize production technology, alleviate the contradiction between production and demand of maize in Hubei province. *Hubei Agric Sci*, 2010, 49: 802-806 (in Chinese with English abstract)
- [8] 袁建华, 颜伟, 陈艳萍, 张跃中. 南方丘陵生态区玉米生产现状及发展对策. 玉米科学, 2003, (专刊): 29-31
Yuan J H, Yan W, Chen Y P, Zhang Y Z. Production situation and development strategies of maize in southern hill ecological region. *J Maize Sci*, 2003, (special issue): 29-31 (in Chinese)
- [9] Timsina J, Buresh R J, Dobermann A, Dixon J. Rice-maize Systems in Asia: Current Situation and Potential. Philippines: International Rice Research Institute and International Maize and Wheat Improvement Centre, 2011
- [10] Timsina J, Jat M L, Majumdar K. Rice-maize systems of South Asia: current status, future prospects and research priorities for nutrient management. *Plant Soil*, 2010, 335: 65-82

- [11] 李小勇. 南方稻田春玉米-晚稻种植模式资源利用效率及生产力优势研究. 湖南农业大学博士学位论文, 湖南长沙, 2011
Li X Y. Study on Resource Use Efficiency and Relative Advantage of Productivity in Spring Maize-Later Rice Planting Model on South China Paddy Field. PhD Dissertation of Hunan Agricultural University, Hunan, China, 2011 (in Chinese with English abstract)
- [12] Kadiyala M D M, Mylavarapu R S, Li Y C, Reddy G B, Reddy M D. Impact of aerobic rice cultivation on growth, yield, and water productivity of rice-maize rotation in semiarid tropics. *Agron J*, 2012, 104: 1757-1765
- [13] 李立娟, 王美云, 薛庆林, 崔彦宏, 侯海鹏, 葛均筑, 赵明. 黄淮海双季玉米产量性能与资源效率的研究. 作物学报, 2011, 37: 1229-1234
Li L J, Wang M Y, Xue Q L, Cui Y H, Hou H P, Ge J Z, Zhao M. Yield performance and resource efficiency of double-cropping maize in the Yellow, Huai and Hai River valleys region. *Acta Agron Sin*, 2011, 37: 1229-1234 (in Chinese with English abstract)
- [14] 陈立军. 南方稻田双季玉米栽培模式研究. 湖南农业大学硕士学位论文, 湖南长沙, 2010
Chen L J. Study on Cultivation Models for Double-Season Maize in Paddy Field in Southern China. MS Thesis of Hunan Agricultural University, Hunan, China, 2010 (in Chinese with English abstract)
- [15] 蔡庆红. 南方稻区双季玉米周年高产的播期与品种搭配效应研究. 湖南农业大学硕士学位论文, 湖南长沙, 2013
Cai Q H. Study on Effects of Sowing Date and Variety Combination on the Whole Year's High-Yield of Double Cropping Maize in Southern Paddy. MS Thesis of Hunan Agricultural University, Hunan, China, 2013 (in Chinese with English abstract)
- [16] 王美云, 任天志, 赵明, 李少昆, 王晓波, 李立娟, 陈长利. 双季青贮玉米模式物质生产及资源利用效率研究. 作物学报, 2007, 33: 1316-1323
Wang M Y, Ren T Z, Zhao M, Li S K, Wang X B, Li L J, Chen C L. Matter production and resources use efficiency of double-cropping silage maize system. *Acta Agron Sin*, 2007, 33: 1316-1323 (in Chinese with English abstract)
- [17] 林益明, 郑茂钟, 林鹏, 陈松河. 园林竹类植物叶的热值和灰分含量研究. 厦门大学学报, 2000, 39(1): 136-140
Lin Y M, Zheng M Z, Lin P, Chen S H. Ash content and caloric value in leaves of garden bamboo species. *J Xiamen Univ*, 2000, 39(1): 136-140 (in Chinese with English abstract)
- [18] 徐勇, 齐文虎, 谢高地, 章予舒. 农业自然资源利用效率的因子-能量评价模型及其应用. 资源科学, 2002, 24(3): 86-91
Xu Y, Qi W H, Xie G D, Zhang Y S. The factor-energy evaluation model of agricultural natural resources utilization efficiency and its application. *Resour Sci*, 2002, 24(3): 86-91 (in Chinese with English abstract)
- [19] 陈友订, 黄秋妹, 黄农荣, 刘彦卓, 梁祖扬, 张旭. 几个两系法高产杂交组合的光能利用率初探. 杂交水稻, 2000, 15(5): 37-40
Chen Y D, Huang Q M, Huang N R, Liu Y Z, Liang Z Y, Zhang X. Preliminary studies on utilization ratio of solar energy for several high-yielding two-line hybrid rice combinations. *Hybrid Rice*, 2000, 15(5): 37-40 (in Chinese with English abstract)
- [20] 张占琴, 魏建军, 杨相昆, 桑志勤. 北疆“一年两作”冬小麦-复播青贮玉米模式物质生产及资源利用率研究. 干旱地区农业研究, 2013, 31(6): 28-33
Zhang Z Q, Wei J J, Yang X K, Sang Z Q. Dry matter production and resources use efficiency of double-cropping winter wheat-forage maize system in North Xinjiang. *Agric Res Arid Areas*, 2013, 31(6): 28-33 (in Chinese with English abstract)
- [21] 高海涛, 王育红, 孟战赢, 席玲玲, 段国辉, 温红霞. 小麦-玉米双晚种植对周年产量和资源利用的影响. 麦类作物学报, 2012, 32: 1102-1106
Gao H T, Wang Y H, Meng Z Y, Xi L L, Duan G H, Wen H X. Effects of later sowing of winter wheat and later harvest of summer maize cropping system on yield and resources use efficiency of whole-year. *J Triticeae Crops*, 2012, 32: 1102-1106 (in Chinese with English abstract)
- [22] 侯连涛, 江晓东, 韩宾, 焦念元, 赵春, 李增嘉. 不同覆盖处理对冬小麦气体交换参数及水分利用效率的影响. 农业工程学报, 2006, 22(9): 58-63
Hou L T, Jiang X D, Han B, Jiao N Y, Zhao C, Li Z J. Effects of different mulching treatments on the gas exchange parameters and water use efficiency of winter wheat. *Trans CSAE*, 2006, 22(9): 58-63 (in Chinese with English abstract)
- [23] 吴文革, 张洪程, 陈烨, 李杰, 钱银飞, 吴桂成, 翟超群. 超级中籼杂交水稻氮素积累利用特性与物质生产. 作物学报, 2008, 34: 1060-1068
Wu W G, Zhang H C, Chen Y, Li J, Qian Y F, Wu G C, Zhai C Q. Dry-matter accumulation and nitrogen absorption and utilization in middle-season *indica* super hybrid rice. *Acta Agron Sin*, 2008, 34: 1060-1068 (in Chinese with English abstract)
- [24] 梁红梅. 中国种植业优势区域及其耕地保护策略. 浙江大学博士学位论文, 浙江杭州, 2011
Liang H M. Study on the Advantage Regions of Crop Farming in China and Their Arable Land Protection Tactics. PhD Dissertation of Zhejiang University, Hangzhou, China, 2011 (in Chinese with English abstract)
- [25] 武兰芳, 陈阜, 欧阳竹. 种植制度演变与研究进展. 耕作与栽培, 2002, (3): 1-5
Wu L F, Chen F, Ou-Yang Z. Evolution and study progress of cropping system. *Gengzuo yu Zaipei*, 2002, (3): 1-5 (in Chinese)
- [26] 刘建. 江苏沿江稻区玉米-稻模式新型种植方式研究. 耕作与栽培, 2000, (1): 5-7
Liu J. Study on the new rice-maize cropping system along the Yangtze River in Jiangsu Province. *Gengzuo yu Zaipei*, 2000, (1): 5-7 (in Chinese)
- [27] 刘建, 徐少安, 周根友, 沈锦根, 陆虎华. 沿江稻区多熟制春玉米两段覆膜种植技术. 江苏农业学报, 2001, 17: 13-18
Liu J, Xu S A, Zhou G Y, Shen J G, Lu H H. Cultivation techniques for multi-cropping spring maize with plastic film covered at two stages in paddy region along Yangtze River. *Jiangsu J Agric Sci*, 2001, 17: 13-18 (in Chinese with English abstract)
- [28] 范明生, 江荣凤, 张福锁, 吕世华, 刘学军. 水旱轮作系统作物养分管理策略. 应用生态学报, 2008, 19: 424-432
Fan M S, Jiang R F, Zhang F S, Lü S H, Liu X J. Nutrient management strategy of paddy rice-upland crop rotation system. *Chin J Appl Ecol*, 2008, 19: 424-432 (in Chinese with English abstract)
- [29] Qin J Q, Impa S M, Tang Q Y, Yang S H, Yang J, Tao Y S, Ja-

- gadish K S V. Integrated nutrient, water and other agronomic options to enhance rice grain yield and N use efficiency in double-season rice crop. *Field Crops Res*, 2013, 148: 15–23
- [30] Ali M Y, Waddington S R, Hodson D, Timsina J, Dixon J. Maize-rice Cropping Systems in Bangladesh: Status and Research Opportunities. Mexico D F: CIMMYT, 2008
- [31] 李会忠. 中国主要农作物省级区域比较优势实证分析. 清华大学硕士学位论文, 北京, 2006
- Li H Z. An Empirical Analysis of Provincial Planting Comparative Advantage in China. MS Thesis of Tsinghua University, Beijing, China, 2006 (in Chinese with English abstract)
- [32] 展茗, 张胜, 李建鸽, 赵明, 葛均筑. 湖北省不同时期玉米区域生产比较优势分析. 中国农学通报, 2013, 29(3): 63–68
- Zhan M, Zhang S, Li J G, Zhao M, Ge J Z. Analysis on comparative advantage of corn production in different regions and periods in Hubei Province. *Chin Agric Sci Bull*, 2013, 29(3): 63–68 (in Chinese with English abstract)
- [33] 刘顺飞. 中国水稻布局变化研究——1978 年至 2004 年. 南京农业大学博士学位论文, 江苏南京, 2007
- Liu S F. The Research of Rice Spatial Distribution—from 1978 to 2004. PhD Dissertation of Nanjing Agricultural University, Nanjing, China, 2007 (in Chinese with English abstract)
- [34] Haefele S M, Banayo N P M, Amarante S T, Siopongco J D L C, Mabesa R L. Characteristics and management options for rice-maize systems in the Philippines. *Field Crops Res*, 2013, 144: 52–61

欢迎订阅 2016 年《中国农业科学》中、英文版

《中国农业科学》中、英文版是由农业部主管、中国农业科学院与中国农学会共同主办的综合性学术期刊。主要刊登农牧业基础科学和应用基础科学研究论文、综述、简报等。设有作物遗传育种·种质资源·分子遗传学; 耕作栽培·生理生化·农业信息技术; 植物保护; 土壤肥料·节水灌溉·农业生态环境; 园艺; 贮藏·保鲜·加工; 畜牧·兽医·资源昆虫等栏目。读者对象为国内外农业科研院(所)、大专院校的科研、教学与管理人员。

《中国农业科学》中文版为半月刊, 影响因子、总被引频次连续多年居全国农业科技期刊最前列或前列位次。为北京大学图书馆 1992—2011 年连续 6 次遴选的核心期刊, 位居《中文核心期刊要目总览》“农业综合类核心期刊表”的首位。1999—2008、2013—2014 年获“国家自然科学基金重点学术期刊专项基金”资助; 2015 年获“中国科协精品科技期刊工程项目”资助。1999 年获“首届国家期刊奖”, 2003、2005 年获“第二、三届国家期刊奖提名奖”; 2002—2014 年先后 12 次被中国科学技术信息研究所授予“百种中国杰出学术期刊”称号; 2009 年获中国期刊协会/中国出版科学研究院“新中国 60 年有影响力的期刊”称号; 2010、2013 年荣获“第二、三届中国出版政府奖期刊提名奖”, 2013 年获新闻出版广电总局“百强科技期刊”称号; 2012、2013、2014 年获清华大学图书馆等“2012、2013、2014 中国最具国际影响力学术期刊”称号。

《中国农业科学》中文版大 16 开, 每月 1、16 日出版, 国内外公开发行。每期 208 页, 定价 49.50 元, 全年定价 1188.00 元。国内统一连续出版物号: CN11-1328/S, 国际标准连续出版物号: ISSN 0578-1752, 邮发代号: 2-138, 国外代号: BM43。

《中国农业科学》英文版(Agricultural Sciences in China, ASA), 2002 年创刊, 月刊。2012 年更名为《农业科学学报》(Journal of Integrative Agriculture, JIA)。2006 年 1 月起与国际著名出版集团 Elsevier 合作, 全文数据在 ScienceDirect 平台面向世界发行。2009 年被 SCI 收录, 2014 年 JIA 影响因子为 0.833。

JIA 大 16 开, 每月 20 日出版, 国内外公开发行。每期 180 页, 国内订价 80.00 元, 全年 960.00 元。国内统一连续出版物号: CN 10-1039/S, 国际标准连续出版物号: ISSN 2095-3119, 邮发代号: 2-851, 国外代号: 1591M。

《中国农业科学》中、英文版均可通过全国各地邮局订阅, 也可向编辑部直接订购。

邮编: 100081; 地址: 北京中关村南大街 12 号《中国农业科学》编辑部 联系人: 林鉴非

电话: 010-82109808, 82106281, 82105098; 传真: 010-82106247

网址: www.ChinaAgriSci.com; E-mail: zgnykx@caas.cn