

不同种植模式和灌溉方式对麦棉产量、品质及经济效益的影响

郭璇¹, 关小康¹, 温鹏飞¹, 王同朝^{1*}, 张昊², 汪顺生², 仝浩²
(1.河南农业大学, 郑州 450046; 2.华北水利水电大学, 郑州 450046)

摘要:【目的】揭示种植模式和灌溉方式对冬小麦和夏棉花(以下简称麦棉)产量、品质及综合经济效益的影响,为黄河流域麦棉两熟区的种植模式和灌溉方式的科学制定提供理论依据。【方法】基于裂区设计开展大田试验,将麦棉种植模式设定为主区,主区包含麦棉套种和麦后移栽2个水平,副区为灌溉方式,包含畦灌、微喷带灌溉和地表滴灌3个水平,共6个处理。【结果】相比麦棉套种模式,麦后移栽模式能够提升冬小麦叶面积指数(LAI)和产量,提高冬小麦净收入;虽然麦后移栽模式下的棉花籽棉产量降低了5.64%,但麦棉合计净收入比麦棉套种模式提高了8.64%。相比畦灌和微喷带灌溉,地表滴灌能够显著提高麦棉株高、LAI、产量和经济效益,地表滴灌条件下的麦棉合计净收入比畦灌、微喷带灌溉分别提高36.01%和10.10%。麦后移栽和地表滴灌组合下的麦棉合计净收入最高,麦棉合计净收入最高达到15 924.9元/hm²。【结论】麦后移栽和地表滴灌分别是适宜于黄河流域麦棉两熟区的最佳种植模式与灌溉方式。

关键词: 麦棉套种; 麦后移栽; 畦灌; 微喷带灌溉; 地表滴灌; 净收入

中图分类号: S278

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022310

OSID:



郭璇, 关小康, 温鹏飞, 等. 不同种植模式和灌溉方式对麦棉产量、品质及经济效益的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(1): 39-46, 53.

GUO Xuan, GUAN Xiaokang, WEN Pengfei, et al. Effect of Irrigation and Planting Patterns on Yield, Quality and Economic Return of Winter Wheat-cotton Cropping System[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(1): 39-46, 53.

0 引言

【研究意义】黄河流域是我国粮食主产区,也是我国三大棉区之一。近年来,黄河流域耕地资源日益紧缺、水资源短缺日益严峻^[1]。该地区棉花传统种植模式为麦棉套种模式,该模式不仅影响了前茬冬小麦产量,而且冬小麦收获时棉苗受损严重,不利于提升麦棉机械化生产水平^[2-3]。该地区应用最广泛的灌溉方式是地面灌溉,造成常年水资源浪费严重、灌溉水利用效率低^[4-5]。因此,探究不同种植模式和灌溉方式对麦棉产量、品质及经济效益的影响,确定适宜于黄河流域麦棉两熟区的种植模式和灌溉方式,对于提高黄河流域农业水土资源利用效率、保障粮棉安全具有重要意义。

【研究进展】黄河流域麦棉种植模式通常有春棉单作、麦棉套种、麦后移栽、麦后直播等模式,

该地区麦棉种植存在“一熟有余,两熟不足”的现状^[3,6]。以上种植模式中,春棉单作模式的复种指数最低,经济效益最低^[6-7]。受黄河流域棉区有效积温的限制,麦后直播种植模式下的后茬棉花产量较低,经济效益也较低,该模式在长江流域棉区较为常见^[8]。沈天垚等^[9]从棉仁脂肪及蛋白质代谢角度出发,研究单作棉、麦套移栽棉、麦后移栽棉和麦后直播棉等种植模式对棉花生长的影响,得出选用麦套移栽方式可以在稳定我国麦棉两熟棉区棉花产量和品质的基础上提高棉籽品质。张思平等^[10]对比分析了棉麦套种及麦棉单种种植模式下的作物根系生长情况,得出单种棉花根系相比套种棉花根系生长更旺,但其群体根系粗细均匀性较套种棉花略低。以往研究表明,滴灌、微喷灌、渗灌等节水灌溉方式可降低15%~70%的灌溉用水量,大幅度提高灌溉水利用效率,同时不会降低作物产量,甚至还能起到增产效果^[11-12]。李东伟等^[13]研究表明,地表滴灌具有灌溉均匀度高、灌溉水利用率高等特点,适用于多种土壤和地形条件。此外,相比于地表滴灌,微喷带灌溉具有成本低、抗堵塞性能好、安装简单等优点,近年来也在黄河流域棉区逐步推广^[14]。Zhang等^[4]对

收稿日期: 2022-06-07

基金项目: 农业农村部作物需水与调控重点实验室开放课题(FIRI2021-010402); 国家自然科学基金项目(52079051, 51779093)

作者简介: 郭璇(1993-),女,硕士研究生,主要从事作物水分生理与高效用水研究。E-mail: 731424051@qq.com

通信作者: 王同朝(1964-),男,教授,主要从事作物水分高效利用研究。E-mail: wtcwrm@126.com

比了地表滴灌、微喷带灌溉及传统畦灌条件下的麦后移栽棉经济效益；结果表明，相比于传统畦灌和微喷带灌溉，地表滴灌能提高棉花产量和品质，同时净利润也比其他 2 种灌溉方式更高。皱宇锋等^[15]对比了畦灌、沟灌和滴灌 3 种不同灌溉方式下粮食作物的耗水特性、产量和经济效益，建议将滴灌中水处理作为替代传统畦灌的最佳灌溉方案。

【切入点】以往对麦棉种植模式和灌溉方式的研究大多从田间环境、作物生长和生理特性等角度出发，且主要集中在种植模式和灌溉方式对冬小麦或夏棉花单一作物的影响，较少涉及对麦棉连作体系综合经济效益的关注。因此，有必要对不同种植模式和灌溉方式下麦棉连作体系综合经济效益进行系统研究。【拟解决的关键问题】本研究通过采用麦棉套种和麦后移栽 2 种种植模式，畦灌、微喷带灌溉和地表滴灌 3 种灌溉方式，探究不同种植模式和灌溉方式对冬小麦与夏棉花的产量、品质和综合经济效益的影响，提出适宜于黄河流域麦棉两熟区的科学种植模式和灌溉方式。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本试验于 2018—2020 年在华北水利水电大学农业高效用水试验场内开展，试验场位于河南省郑州市（34°50'N，113°48'E，海拔 110.4 m）。该区属暖温带亚湿润季风性气候区，年平均气温为 15.6℃，年平均降水量为 542.2 mm，年平均无霜期为 209 d，年平均日照时间为 1 869.7 h。试验地土壤为沙壤土，土壤体积质量为 1.35 g/cm³，田间持水率为 32.4%，地下水埋深大于 5 m。表 1 为试验地 0~100 cm 土层的土壤养分状况。图 1 为试验期内降水和 ET_0 变化。

表 1 试验地土壤基本肥力参数

土层深度/cm	pH 值	碱解氮量/(mg kg ⁻¹)	速效磷量/(μg kg ⁻¹)	速效钾量/(mg kg ⁻¹)	有机碳量/(g 100g ⁻¹)
0~20	8.5	54.5	15.3	151.8	0.9
20~40	8.6	31.1	5.6	92.4	0.8
40~60	8.6	20.1	4.1	81.3	0.8
60~80	8.7	18.8	3.3	62.3	0.6
80~100	8.9	9.5	2.9	31.5	0.5

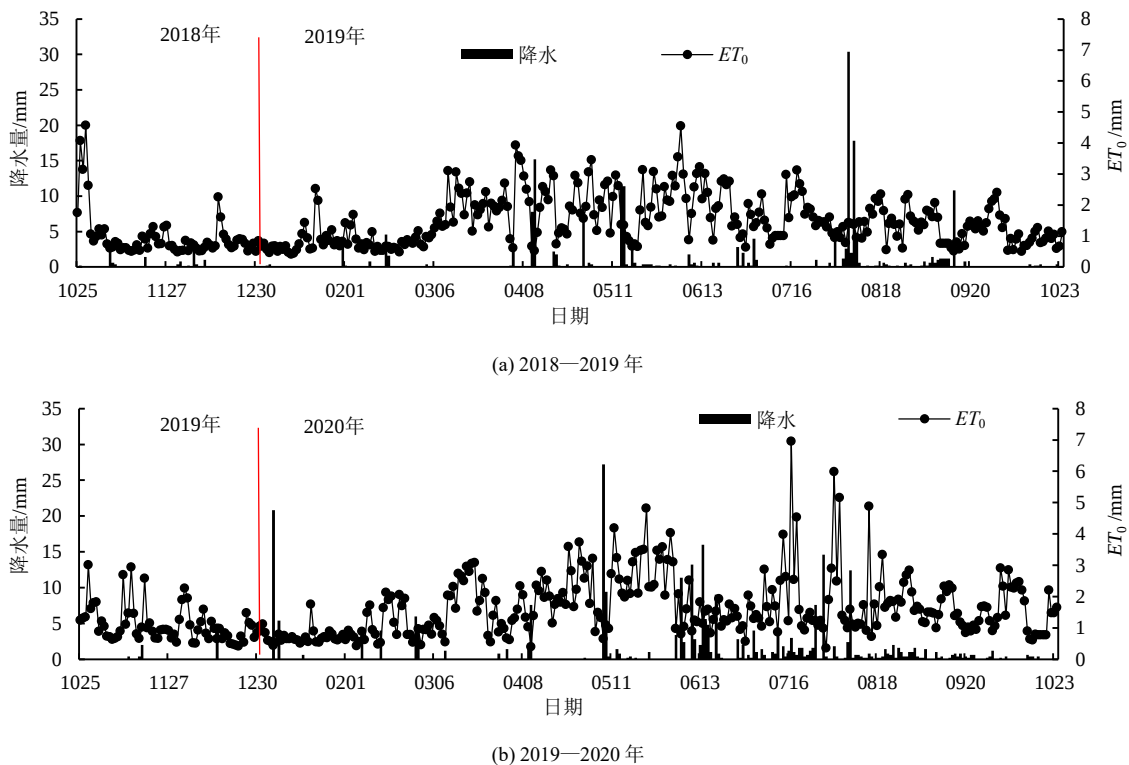


图 1 2018—2020 年麦棉生长期降水及 ET_0 变化

Fig.1 Variations of precipitation and ET_0 during the growth period of winter wheat and summer cotton from 2018 to 2020

1.2 试验设计

采用裂区设计开展大田试验，为便于麦棉种植和管理，将麦棉种植模式设定为主区，主区包含麦棉套种和麦后移栽 2 个水平；副区为灌溉方式，包含畦灌、微喷带灌溉和地表滴灌 3 个水平，故本试验共计 6 个处理，每个处理重复 3 次，共计 18 个小区，每个小区面积为 32 m²（8 m×4 m），各小区之间设有 0.5 m 宽隔离带。不同处理详见表 2。

在种植模式方面，麦棉套种模式采用“三一式”种植模式，即在冬小麦播种时预留棉行，每 3 行冬小麦套种 1 行夏棉花，冬小麦行间距为 15 cm，麦棉间距为 20 cm。夏棉花于 5 月 1 日采用播种机南北向

直接播种在预留棉行中，夏棉花出苗后由人工定苗，苗间距为 20 cm。麦后移栽模式下的冬小麦播种时不预留棉行，冬小麦采用等行距种植，行间距为 15 cm；夏棉花采用温室育苗、大田移栽方式，夏棉花于 5 月 1 日在育苗温室播种育苗，在冬小麦收获后采用移栽机南北向等行距移栽到大田，移栽棉行间距及苗间距分别为 70 cm 和 20 cm。

在灌溉方式方面，采用畦灌、微喷带灌溉和地表滴灌，前茬冬小麦和后茬夏棉花灌溉方式相同，不同灌溉方式技术参数见表 3。采用土壤水分下限控制灌溉时间，当冬小麦和夏棉花根系活动层内土壤含水率下降到田间持水率的 70%±2%时开始灌溉，使用水表监测灌水量。不同处理间施肥、施药等农艺措施均保持一致。

1.3 测量指标与方法

1.3.1 株高和叶面积指数 (LAI)

冬小麦：在冬小麦返青后（3 月中旬），每隔 7~10 d 进行 1 次测定。选取每个小区具有代表性的 20 cm 麦行样段作为测量样本，再在其中随机选定 10 株小麦测定其株高和 LAI。株高采用精度为 0.1 cm 的直尺测量，LAI 采用叶面积仪测定。

夏棉花：在棉花定苗后，每隔 7~10 d 进行 1 次测定，选取每个小区具有代表性的 5 株棉花作为样

本测定株高和 LAI。株高采用精度为 0.1 cm 的直尺测量，LAI 采用叶面积仪测定。

表 2 2018—2020 年试验不同处理措施

Table 2 Specific measures for different treatment from 2018 to 2020

作物	处理	种植模式	灌溉方式	播种密度/ (10 ⁴ 株·hm ⁻²)	灌水 定额/mm
冬小麦	P1I1	麦棉套种 (P1)	畦灌 (I1)	193	90
	P1I2	麦棉套种 (P1)	微喷带 灌溉 (I2)	193	20
	P1I3	麦棉套种 (P1)	地表滴灌 (I3)	193	60
	P2I1	麦后移栽 (P2)	畦灌 (I1)	300	90
	P2I2	麦后移栽 (P2)	微喷带 灌溉 (I2)	300	20
	P2I3	麦后移栽 (P2)	地表滴灌 (I3)	300	60
夏棉花	P1I1	麦棉套种 (P1)	畦灌 (I1)	7.1	90
	P1I2	麦棉套种 (P1)	微喷带 灌溉 (I2)	7.1	20
	P1I3	麦棉套种 (P1)	地表滴灌 (I3)	7.1	60
	P2I1	麦后移栽 (P2)	畦灌 (I1)	7.1	90
	P2I2	麦后移栽 (P2)	微喷带 灌溉 (I2)	7.1	20
	P2I3	麦后移栽 (P2)	地表滴灌 (I3)	7.1	60

表 3 不同灌溉方式技术参数

Table 3 Technical parameters of the different irrigation methods

灌溉方式	设计规格	田面坡度	灌水流量	设备规格
畦灌	畦宽 210 cm，畦长 800 cm	0.002	单宽入畦流量 4.0/(L s ⁻¹ m ⁻¹)	-
微喷带灌溉	铺设长度 800 cm，带间距 140 cm	-	微喷带流量 0.165/(m ³ h ⁻¹ m ⁻¹)	Φ40 孔带式喷灌带，喷灌带上每 7 个斜出水孔为 1 组， 每组出水孔间距 30 cm，工作压力 0.3 MPa，喷洒宽幅 400 cm
地表滴灌	铺设长度 800 cm，管间距 70 cm	-	滴头流量/(2.0 L h ⁻¹)	Φ16 嵌入式滴灌带，滴头间距 20 cm，工作压力 0.1 MPa

1.3.2 产量指标

冬小麦：在每个小区内随机选取代表性的 4 m² 取样区测定产量。同时在试验小区内随机选取代表性的 1 m 长的小麦行，测定样本段内的麦穗数。在每个处理中随机选取有代表性的 9 株冬小麦开展考种测定，记录冬小麦千粒质量和穗粒数。

夏棉花：在每个小区内随机选取有代表性的 4 m² 取样区测定产量。手工采摘的籽棉经自然风干后测定籽棉产量，轧花后测定皮棉产量，进而计算出衣分值。每个处理中随机选取代表性的 6 株棉花测定单株成铃数，同时采用电子天平（精度为 0.01 g）测定单铃质量。

1.3.3 品质指标

冬小麦：冬小麦籽粒出粉率由德国 Brabender 公司 880101.003 型试验磨粉机测定；粗蛋白质量分数采用国家标准微量凯氏定氮法测定；湿面筋质量

分数采用 Perten 面筋仪测定；沉降值采用 BAU-A 沉降值仪测定。

夏棉花：在每个试验小区内随机选出 20 g 皮棉测定纤维品质，指标包括马克隆值、断裂比长度、整齐度指数、伸长率和纤维长度。棉花品质指标以 HVICC（High Volume Instrument Calibration Cotton）为标准。

1.4 统计分析

采用 SPSS 21.0 进行双因素方差分析（ANOVA）。在 5% 概率水平下，使用最小显著差异法（LSD）对平均值进行比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理下麦棉生长状况分析

不同种植模式和灌溉方式下冬小麦和夏棉花株高、LAI 动态变化如图 2 和图 3 所示。不同处理下冬

小麦和夏棉花的株高变化趋势一致,符合 logistic 生长曲线。冬小麦株高在返青期前增长缓慢,在返青期后迅速增大,在开花灌浆期(5月上旬)达到最大;夏棉花株高在蕾期快速增长,花铃中后期(8月中下

旬)达到最大。不同处理下冬小麦和夏棉花的 LAI 变化趋势一致,呈先增大后减小的趋势。冬小麦 LAI 在孕穗期(4月下旬)达到最大,夏棉花 LAI 在花铃期(8月中上旬)达到最大。

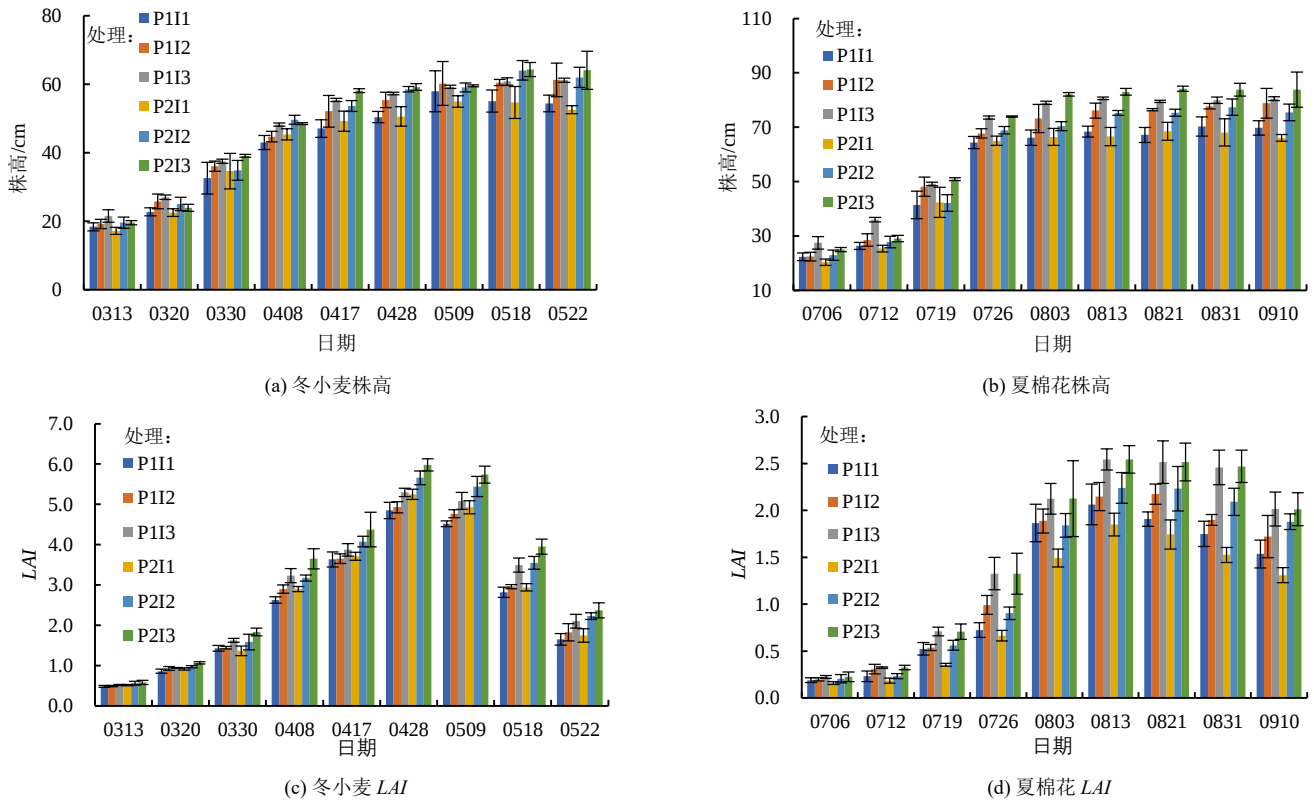


图 2 2018—2019 麦棉株高、 LAI 动态变化

Fig.2 Dynamic change of plant height and leaf area index (LAI) of wheat and cotton during the 2018—2019 growing season

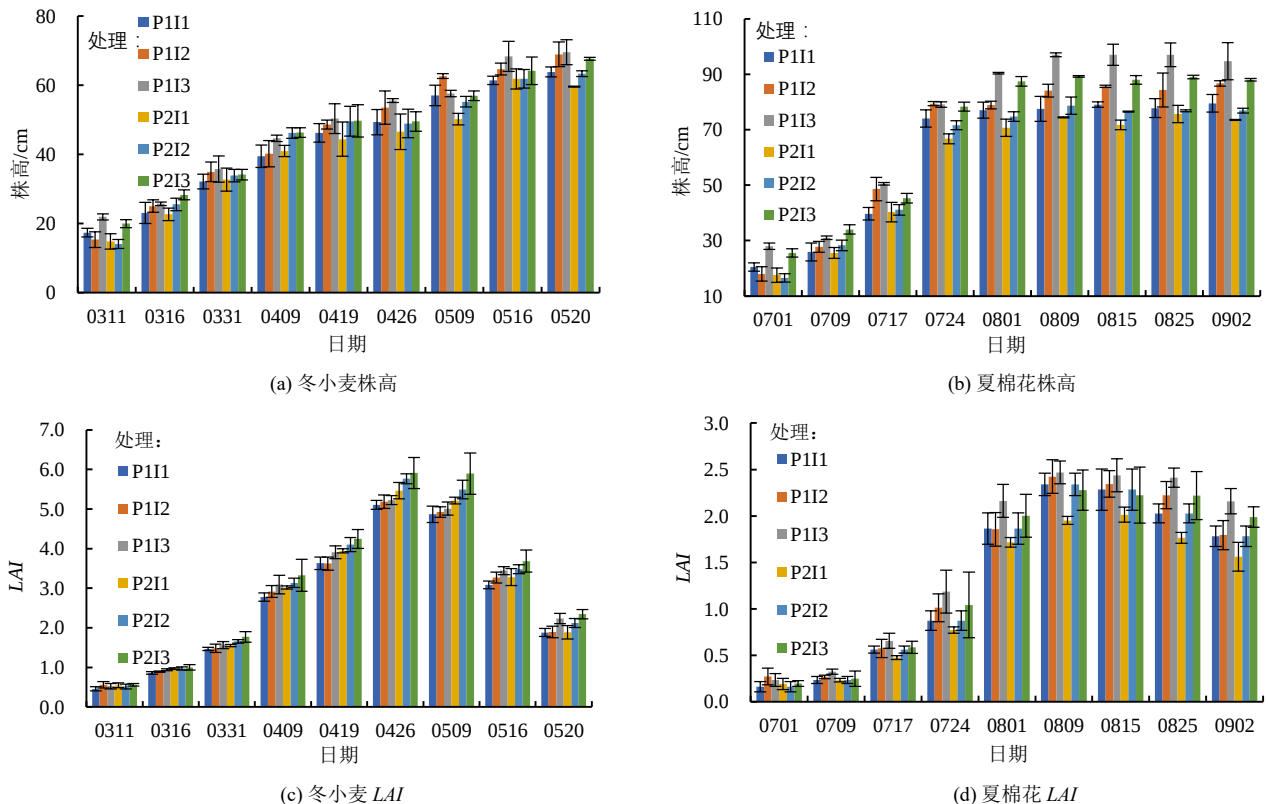


图 3 2019—2020 麦棉株高、 LAI 动态变化

Fig.3 Dynamic change of plant height and leaf area index (LAI) of wheat and cotton during the 2019—2020 growing season

麦棉套种模式下的冬小麦 *LAI* 相比麦后移栽模式降低 10.28%；麦棉套种模式下夏棉花的株高、*LAI* 较麦后移栽模式分别提高 4.19%和 6.34%。相比畦灌和微喷带灌溉，地表滴灌能够提高冬小麦和夏棉花的株高和 *LAI*；冬小麦株高在地表滴灌条件下比畦灌和微喷带灌溉条件下分别提高了 12.04%和 3.42%，*LAI* 分别提高了 13.66%和 7.07%；夏棉花株高在地表滴灌条件下比畦灌和微喷带灌溉条件分别提高了 20.41%和 11.36%，*LAI* 分别提高了 28.99%和 13.00%。

2.2 不同处理下麦棉产量

不同种植模式和灌溉方式对冬小麦和夏棉花产量及产量构成的影响如表 4 所示。相比麦棉套种模式，麦后移栽模式下冬小麦产量提升 18.36%。不同种植

模式对冬小麦穗粒数和千粒质量没有显著影响。相比麦棉套种模式，麦后移栽模式下夏棉花的单株成铃数和籽棉产量分别降低了 9.14%和 5.64%。不同种植模式对夏棉花的单铃质量和衣分率没有显著影响。

不同灌溉方式下的冬小麦和夏棉花产量及产量构成存在显著差异。地表滴灌能够显著提高冬小麦有效穗数、千粒质量和产量，提高夏棉花单株成铃数、单铃质量和籽棉产量。不同灌溉方式对冬小麦穗粒数和夏棉花衣分率影响不显著。地表滴灌下的冬小麦产量相比畦灌和微喷带灌溉分别提高 28.68%和 12.88%，夏棉花籽棉产量分别提高了 26.42%和 7.79%。

表 4 不同种植模式和灌溉方式下冬小麦和夏棉花产量及产量构成

Table 4 Effects of different planting patterns and irrigation methods on yield and yield composition of winter wheat and summer cotton

年份	处理	冬小麦				夏棉花			
		有效穗数/(10 ⁴ ·hm ⁻²)	穗粒数/个	千粒质量/g	产量/(kg·hm ⁻²)	单株成铃数/个	单铃质量/g	籽棉产量/(kg·hm ⁻²)	衣分率/%
2018—2019	I1	585.7c	38.3b	38.1d	5 193.0 g	9.0 bc	5.1 de	3 164.4de	36.5ab
	P1 I2	594.0c	39.7ab	38.0d	6 159.3f	9.0 bc	5.1 de	3 500.9bc	36.3ab
	I3	628.0d	39.7ab	43.2 a	7 097.0c	11.0a	6.0ab	3 852.0a	36.9ab
	I1	685.7c	39.0b	40.1cd	6 356.3 ef	7.7 c	5.0 e	2 993.2e	36.1 b
	P2 I2	690.0c	39.3b	39.3cd	7 043.8c	9.0bc	5.8abcd	3 305.5cd	37.5 a
	I3	717.7b	39.0b	43.3ab	8 192.9 a	10.0ab	6.1 a	3 578.4abc	37.6a
2019—2020	I1	593.0c	39.0b	40.3cd	5 367.4 g	10.0 ab	5.4 abcde	3 000.6 e	37.5a
	P1 I2	593.7c	40.0ab	41.2bc	6 158.0f	9.0 bc	5.3bcde	3 564.4abc	36.6ab
	I3	632.3d	42.7a	44.0a	6 989.8cd	10.3ab	6.1 a	3 831.3a	37.3ab
	I1	687.7 c	39.0 b	40.3 cd	6 637.9de	7.3c	5.2cde	2 668.4 f	37.3 ab
	P2 I2	684.7 c	37.7 b	38.0d	7 489.6b	9.0bc	6.0 abc	3 500.0 bc	36.7 ab
	I3	740.0 a	40.0 ab	44.2 a	8 030.1a	10.0 ab	5.8abcd	3 689.1 ab	37.4ab
<i>F</i> 值									
Y		1.668 NS	0.709 NS	4.589*	2.013 NS	0.001 NS	0.510 NS	0.163 NS	1.420 NS
P		607.565**	1.816 NS	0.002 NS	233.216**	5.689*	0.663 NS	11.449**	1.073 NS
I		47.025**	1.901 NS	36.586**	173.362**	8.622**	9.108**	62.216**	1.492 NS
Y×P		0.107 NS	1.390 NS	4.979*	1.260 NS	0.089 NS	0.201 NS	0.085 NS	0.951 NS
Y×I		1.423 NS	1.390 NS	0.049 NS	2.628 NS	0.267 NS	0.644 NS	3.793*	2.490 NS
P×I		0.156 NS	0.879 NS	1.433 NS	0.361 NS	2.489 NS	3.406 NS	0.376 NS	1.339 NS
Y×P×I		0.973 NS	0.113 NS	2.045 NS	1.000 NS	0.622 NS	0.103 NS	0.703 NS	0.450 NS

注 表中不同小写字母表示所有处理同一列数值差异显著 ($P<0.05$)，下同。

2.3 不同处理下麦棉品质

不同种植模式和灌溉方式对冬小麦和夏棉花品质影响如表 5 所示。不同种植模式对冬小麦和夏棉花品质无显著影响。相比畦灌和微喷带灌溉，地表滴灌能显著提高冬小麦出粉率和粗蛋白质量，提高夏棉花纤维长度。不同灌溉方式对冬小麦湿面筋量和沉降值影响不显著，对夏棉花纤维整齐度、纤维强度和马克隆值也无显著影响。

2.4 不同处理下麦棉经济效益

不同种植模式和灌溉方式对冬小麦和夏棉花经济效益的影响如表 6 所示。麦后移栽模式下地表滴灌的冬小麦和夏棉花合计净收入最高，为 15 924.9 元/hm²。麦后移栽模式下冬小麦的产值比麦棉套种模式下提高 18.36%，净收入是麦棉套种模式下的 3.80 倍；麦后移栽模式下夏棉花的产值比麦棉套种模式降低 5.64%，净收入比麦棉套种模式降低

10.59%。麦后移栽模式下的合计净收入比麦棉套种模式下提高 8.64%。

地表滴灌条件下冬小麦产值比畦灌、微喷带灌溉分别提高 28.68%和 12.88%，净收入分别提高 45.64%和 30.72%；地表滴灌条件下夏棉花的产值比

畦灌、微喷带灌溉分别提高 26.42%和 7.79%，净收入分别提高 34.27%和 6.80%。综合考虑冬小麦和夏棉花，地表滴灌条件下的合计净收入比畦灌、微喷带灌溉条件下分别提高 36.01%和 10.10%。

表 5 不同种植模式和灌溉方式下冬小麦和夏棉花品质

Table 5 Effects of different planting patterns and irrigation methods on the quality of winter wheat and summer cotton

年份	处理	冬小麦				夏棉花				
		出粉率/%	粗蛋白质量/%	湿面筋量/%	沉降值/mL	纤维长度/mm	纤维整齐度/%	纤维强度/(g·tex ⁻¹)	马克隆值	
2018—2019	P1	I1	69.3 bc	14.6d	28.78 d	29.5 b	28.8 de	82.9 a	28.7b	4.4bcde
		I2	69.3 bc	15.5 abcd	31.4 abc	29.8 ab	29.5 bcde	81.5abc	29.1 a	4.7ab
		I3	72.1 a	16.5 a	30.3bcd	30.5ab	31.1 a	81.2bc	29.7 a	4.2e
	P2	I1	69.7 bc	15.1bcd	30.4bcd	30.1 ab	29 cde	81.9 abc	29.5a	4.8 a
		I2	69.5 bc	16.2 abc	30.5 bcd	29.6 b	30.4 abc	81.8 abc	29.3 a	4.3cde
		I3	72 a	16.2 abc	32 ab	30.5ab	30.8 ab	80.7 c	29.9 a	4.6 abcd
2019—2020	P1	I1	68.9 bc	15 cd	29.8 bcd	30.1ab	29.8abcd	81.6abc	29.5 a	4.3de
		I2	70.1 b	15.6abcd	31.5 abc	30ab	29.4 bcde	80.9 c	29.7 a	4.6 abcd
		I3	71.6 a	15.8abcd	30.8 abcd	30.3 ab	30.8 ab	82.6 ab	29.6 a	4.6 abcd
	P2	I1	68.5 bc	15.6 abcd	33.1 a	31 a	28.3 e	82abc	29.3a	4.7 abc
		I2	69.6 bc	15.6 abcd	29.5 cd	29.8ab	30.2 abcd	81bc	29.4 a	4.7 abc
		I3	72.1 a	16.3 ab	32ab	30.3 ab	30.5 ab	81.5abc	30.2a	4.6 abcd
F 值										
Y		0.623 NS	0.064 NS	1.391 NS	0.851 NS	0.125 NS	0.053 NS	0.707 NS	0.772 NS	
P		0.041 NS	1.425 NS	3.199 NS	0.543 NS	0.003 NS	0.820 NS	0.485 NS	2.874 NS	
I		46.080**	6.911**	0.864 NS	1.745 NS	14.402**	2.000 NS	1.712 NS	0.514 NS	
Y×P		0.321 NS	0.007 NS	0.000 NS	0.100 NS	1.259 NS	0.064 NS	0.474 NS	0.028 NS	
Y×I		1.674 NS	0.831 NS	2.134 NS	1.061 NS	0.184 NS	3.136 NS	0.092 NS	1.751 NS	
P×I		0.187 NS	0.325 NS	6.246**	1.197 NS	2.405 NS	0.754 NS	0.253 NS	5.543**	
Y×P×I		0.725 NS	0.701 NS	0.703 NS	0.035 NS	0.980 NS	0.853 NS	0.582 NS	3.554 NS	

表 6 不同种植模式和灌溉方式下冬小麦和夏棉花经济效益

Table 6 Effects of different planting patterns and irrigation methods on the economic benefits of winter wheat and summer cotton

年份	处理	冬小麦				夏棉花				合计 净收入/ (元·hm ²)	
		产值/ (元·hm ²)	材料费/ (元·hm ²)	人工和 机械费/ (元·hm ²)	净收入/ (元·hm ²)	产值/ (元·hm ²)	材料费/ (元·hm ²)	人工和 机械费/ (元·hm ²)	净收入/ (元·hm ²)		
2018—2019	P1	I1	11 632.3	4 500.0	6 900.0	232.3	25 314.9	3 975.0	10 350.0	10 989.9	11 222.2
		I2	13 796.9	6 450.0	6 600.0	746.9	28 007.1	5 925.0	10 050.0	12 032.1	12 779.0
		I3	15 897.4	8 250.0	6 150.0	1 497.4	30 815.7	7 725.0	9 600.0	13 490.7	14 988.1
	P2	I1	14 238.1	4 650.0	6 900.0	2 688.1	23 945.9	4 050.0	9 975.0	9 920.9	12 609.0
		I2	15 778.1	6 600.0	6 600.0	2 578.1	26 444.0	6 000.0	9 675.0	10 769.0	13 347.0
		I3	18 352.1	8 400.0	6 150.0	3 802.1	28 626.9	7 800.0	9 225.0	11 601.9	15 404.0
2019—2020	P1	I1	12 023.0	4 500.0	6 900.0	623.0	24 004.4	3 975.0	10 350.0	9 679.4	10 302.4
		I2	13 793.8	6 450.0	6 600.0	743.8	28 515.4	5 925.0	10 050.0	12 540.4	13 284.2
		I3	15 657.2	8 250.0	6 150.0	1 257.2	30 650.4	7 725.0	9 600.0	13 325.4	14 582.6
	P2	I1	14 868.9	4 650.0	6 900.0	3 318.9	21 347.0	4 050.0	9 975.0	7 322.0	10 640.9
		I2	16 776.8	6 600.0	6 600.0	3 576.8	28 000.2	6 000.0	9 675.0	12 325.2	15 902.0
		I3	17 987.3	8 400.0	6 150.0	3 437.3	29 512.6	7 800.0	9 225.0	12 487.6	15 924.9

3 讨论

种植模式对冬小麦株高影响较小，但对冬小麦

LAI 影响较大，麦后移栽模式能够提高冬小麦 *LAI*，主要是因为麦后移栽模式下前茬冬小麦播种时无须预留棉行，冬小麦种植密度高，进而导致冬小麦 *LAI*

高。对于夏棉花, 麦后移栽模式下夏棉花的株高和 *LAI* 要比麦棉套种模式下低, 这主要是由于棉苗在大田移栽后需要 7 d 左右的缓苗期, 缓苗期受损棉苗根系水肥吸收率较低, 导致棉株生长缓慢^[10,16]。相比于麦棉套种模式, 麦后移栽模式不会出现冬小麦对棉苗遮光及水肥竞争等不利影响, 且棉苗移栽大田后活苗率高、补苗率低, 进而棉苗长势更整齐, 故麦后移栽模式下棉花的株高和 *LAI* 标准偏差小^[17-18]。综上, 2 个种植模式对夏棉花株高、*LAI* 的影响各有利弊。相比于畦灌和微喷带灌溉, 地表滴灌能够显著提高麦棉株高、*LAI*, 这主要是由于地表滴灌灌水定额小且灌溉频率高, 能改善土壤透气性且使土壤含水率保持在适宜水平, 进而促进作物根系生长和水肥吸收^[19-20]。

相比麦棉套种模式, 麦后移栽模式能够显著提升冬小麦有效穗数和产量; 这主要是因为麦后移栽模式下前茬冬小麦播种时无须预留棉行, 能够大幅提升冬小麦的种植面积, 进而提升冬小麦的产量^[3,21]。相比于麦后移栽模式, 麦棉套种模式能够提升夏棉花 5.64% 籽棉产量; 这主要是因为 2 种植模式下夏棉花生长时间虽然相同, 但麦后移栽模式下夏棉花存在缓苗期, 导致其株高、*LAI* 等营养生长不如直播棉好, 最终使麦后移栽棉产量降低^[22]。在灌溉方式方面, 相比于畦灌和微喷带灌溉, 地表滴灌能够显著提高麦棉产量; 这主要是因为地表滴灌水肥利用率高, 有利于麦棉生长发育, 最终显著提升麦棉产量^[4]。不同种植模式和灌溉方式对麦棉品质无显著性影响, 这主要是因为麦棉品质主要受气候和遗传因素的影响, 种植模式和灌溉方式对麦棉品质影响有限^[23]。唐淑荣^[24]研究表明, 高于 10 °C 的有效积温是影响棉花中熟品种纤维品质最主要因素, 气象因子影响纤维长度和马克隆值顺序为: 有效积温、降水量和日照时间。由于受黄河流域棉区光热条件的限制, 依据马克隆值来分级, 不同处理条件下夏棉花品质均处于 B2 等级^[3,25]。

麦后移栽模式下冬小麦和夏棉花合计净收入比麦棉套种模式下高, 这主要是因为麦后移栽模式能够大幅提升冬小麦的净收入。虽然, 麦后移栽模式需要进行温室育苗环节, 这将在一定程度上增加种植材料费成本, 但麦后移栽模式有利于提升麦棉种植机械化水平, 减少劳动力支出, 能够大幅降低麦棉生产人工和机械费成本, 故麦后移栽模式下麦棉生产成本(材料费、人工和机械费)比麦棉套种模式下低^[26]。近几年, 随着我国工业化育苗技术和机械化移栽技术的发展, 麦后移栽模式下材料费、人工和机械费成本将会进一步降低, 麦后移栽模式下

麦棉经济效益将更加显著^[27]。不同灌溉方式方面, 与畦灌和微喷带灌溉相比, 地表滴灌条件下冬小麦和夏棉花合计净收入最高; 尽管地表滴灌条件下的材料费最高, 但地表滴灌操作自动化更强, 不像畦灌需要额外的劳动力和机械投入用于灌溉管理和土地平整, 故地表滴灌条件下人工和机械费较低^[4]; 同时地表滴灌条件下水肥利用率高, 能够大幅提高麦棉产量, 故地表滴灌条件下麦棉合计净收入最高^[28-29]。

4 结论

相比麦棉套种模式, 麦后移栽模式能够提升冬小麦 *LAI* 和产量, 大幅提高冬小麦净收入, 虽然夏棉花净收入略有降低, 但麦后移栽模式下麦棉合计净收入较高。

相比于畦灌和微喷带灌溉, 地表滴灌能够显著提高麦棉株高、*LAI*、产量和经济效益。

地表滴灌和麦后移栽组合下的麦棉综合经济效益最高, 麦棉最高合计净收入为 15 924.9 元/hm², 故麦后移栽和地表滴灌分别是适宜于黄河流域棉区的麦棉种植模式和灌溉方式。

参考文献:

- [1] DAI Jianlong, DONG Hezhong. Intensive cotton farming technologies in China: Achievements, challenges and countermeasures[J]. Field Crops Research, 2014, 155: 99-110.
- [2] RAO Satyanarayana, SAJJAN Shashidhar, HOSAMANI Vinayak, et al. Response of transplanted Bt cotton (*Gossypium hirsutum* L.) to different plant geometry[J]. Environment and Ecology, 2015, 33(1): 396-398.
- [3] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2019.
- [4] ZHANG Hao, LIU Hao, WANG Shunsheng, et al. Variations in growth, water consumption and economic benefit of transplanted cotton after winter wheat harvest subjected to different irrigation methods[J]. Scientific Reports, 2019, 9: 14 972.
- [5] LIU Hao, GAO Yang, SUN Jingsheng, et al. Responses of yield, water use efficiency and quality of short-season cotton to irrigation management: interactive effects of irrigation methods and deficit irrigation[J]. Irrigation Science, 2017, 35(2): 125-139.
- [6] 王国平, 王贵彦, 刘连涛, 等. 黄河流域麦棉两熟种植模式经济效益分析与展望[J]. 河北农业大学学报: 社会科学版, 2020, 22(4): 33-40.
- [7] WANG Guoping, WANG Guiyan, LIU Liantao, et al. An economic benefit analysis and prospect of wheat and cotton double cropping pattern in the Yellow River Basin[J]. Journal of Hebei Agricultural University (Social Sciences), 2020, 22(4): 33-40.
- [8] 王树林, 祁虹, 王燕, 等. 麦棉套作一年两熟种植模式效益分析[J]. 天津农业科学, 2017, 23(4): 86-89.
- [9] WANG Shulin, QI Hong, WANG Yan, et al. Benefit analysis of wheat-cotton intercropping system[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2017, 23(4): 86-89.
- [10] 杨长琴, 张国伟, 王晓娟, 等. 不同种植模式棉花产量、种植效益与氮

- 素利用率比较分析[J]. 棉花学报, 2021, 33(4): 307-318.
- YANG Changqin, ZHANG Guowei, WANG Xiaojing, et al. Comparative analysis of cotton yield, benefit and nitrogen efficiency in different planting systems[J]. Cotton Science, 2021, 33(4): 307-318.
- [9] 沈天奎, 杜祥备, 杨洪坤, 等. 麦棉两熟种植模式对棉仁脂肪及蛋白质代谢的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(8): 1 237-1 245.
- SHEN Tianyao, DU Xiangbei, YANG Hongkun, et al. Effects of double cropping of wheat and cotton on fat and protein metabolism of cotton embryo[J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(8): 1 237-1 245.
- [10] 张思平, 张立祯, 王晓辉, 等. 根钻和图像法测定棉麦套种及单种作物根长密度的精确性研究[J]. 棉花学报, 2017, 29(1): 79-87.
- ZHANG Siping, ZHANG Lizhen, WANG Xiaohui, et al. Improved accuracy of root length density measurements for a wheat and cotton intercropping system or monocultures by combining root auger sampling and image analysis methods[J]. Cotton Science, 2017, 29(1): 79-87.
- [11] 董志强, 张丽华, 吕丽华, 等. 不同灌溉方式对冬小麦光合速率及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015(6): 1-7.
- DONG Zhiqiang, ZHANG Lihua, LYU Lihua, et al. Effects of different irrigation methods on photosynthetic rate and yield of winter wheat[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015(6): 1-7.
- [12] 张昊, 刘浩, 孙景生, 等. 灌溉方式及灌溉制度对麦后移栽棉的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(6): 20-24.
- ZHANG Hao, LIU Hao, SUN Jingsheng, et al. Effects of irrigation methods and schedule on transplanted cotton after wheat harvest[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(6): 20-24.
- [13] 李东伟, 李明思, 周新国, 等. 土壤带状湿润均匀性对膜下滴灌棉花生长及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(9): 130-137.
- LI Dongwei, LI Mingsi, ZHOU Xinguo, et al. Influence of soil banding moisture uniformity on growth and water use efficiency of drip irrigated cotton under mulch[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(9): 130-137.
- [14] ZHANG Hao, LIU Hao, WANG Shunsheng, et al. Modelling the Soil Water Dynamics under Micro-sprinkling Hose Irrigation for Distorted Roots of Transplanted Cotton[J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2019, 21(1): 191-200.
- [15] 邹宇锋, 蔡焕杰, 张体彬, 等. 河套灌区不同灌溉方式春玉米耗水特性与经济效益分析[J]. 农业机械学报, 2020, 51(9): 237-248.
- ZOU Yufeng, CAI Huanjie, ZHANG Tibin, et al. Water use characteristics and profit analysis of spring maize production with different irrigation methods in Hetao irrigation district[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2020, 51(9): 237-248.
- [16] 李腾. 不同麦棉种植模式对棉花生长动态和土壤养分时空分布的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019.
- LI Teng. Effects of the wheat-cotton double cropping system on cotton growth and the spatial and temporal distribution of soil nutrients[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019.
- [17] 李平, 谢淑芹. 麦棉套作模式影响棉花生长的因素分析及应对措施[J]. 中国棉花, 2021, 48(3): 30-32.
- LI Ping, XIE Shuqin. Analysis of the factors affecting cotton growth in wheat-cotton intercropping and corresponding measures[J]. Chinese Cotton, 2021, 48(3): 30-32.
- [18] 李腾, 韩迎春, 熊世武, 等. 麦棉两熟种植系统棉田土壤速效磷时空分布特征[J]. 棉花学报, 2019, 31(5): 427-437.
- LI Teng, HAN Yingchun, XIONG Shiwu, et al. Spatial and temporal distributions of soil available phosphorus in wheat-Cotton double-cropping systems[J]. Cotton Science, 2019, 31(5): 427-437.
- [19] WANG Jiangtao, DU Gangfeng, TIAN Jingshan, et al. Mulched drip irrigation increases cotton yield and water use efficiency via improving fine root plasticity[J]. Agricultural Water Management, 2021, 255: 106 992.
- [20] HE Yuelin, LI Guangde, XI Benye, et al. Fine root plasticity of young *Populus tomentosa* plantations under drip irrigation and nitrogen fertigation in the North China Plain[J]. Agricultural Water Management, 2022, 261: 107 341.
- [21] 马锦颖, 王方永, 韩焕勇. 种植模式对棉花农艺及产量和品质的影响[J]. 中国棉花, 2019, 46(6): 28-30.
- MA Jinying, WANG Fangyong, HAN Huanyong. Effect of Planting Patterns on Cotton Agronomy Characters, Yield and Fiber Quality[J]. Chinese Cotton, 2019, 46(6): 28-30.
- [22] 胡根海, 付远志, 张晓红, 等. 激素蘸根对棉花裸苗移栽后的生理影响[J]. 棉花科学, 2018, 40(6): 2-7.
- HU Genhai, FU Yuanzhi, ZHANG Xiaohong, et al. Physiological effects of hormone dipping in roots on cotton bare seedlings after transplanting[J]. Cotton Science, 2018, 40(6): 2-7.
- [23] 上官小霞, 曹俊峰, 杨琴莉, 等. 棉花纤维发育的分子机理研究进展[J]. 棉花学报, 2022, 34(1): 33-47.
- SHANGGUAN Xiaoxia, CAO Junfeng, YANG Qinli, et al. Research progress on the molecular mechanism of cotton fiber development[J]. Cotton Science, 2022, 34(1): 33-47.
- [24] 唐淑荣, 魏守军, 郭瑞林, 等. 不同熟性棉花品种纤维品质特征分析与评价[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(10): 1 564-1 577.
- TANG Shurong, WEI Shoujun, GUO Ruilin, et al. Evaluation and analysis of fiber quality characteristics of different maturity cotton varieties[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(10): 1 564-1 577.
- [25] 申贵芳, 孔凡金, 段冰, 等. 2001-2020年山东省转基因抗虫棉品种纤维品质评价分析[J]. 山东农业科学, 2021, 53(6): 10-16.
- SHEN Guifang, KONG Fanjin, DUAN Bing, et al. Evaluation and Analysis of Fiber Quality of Transgenic Insect-Resistant Cotton Varieties Approved in Shandong Province from 2001 to 2020[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2021, 53(6): 10-16.
- [26] 赵中亭, 樊海潮, 张志恒, 等. 鲁西南植棉区不同茬口短季棉的种植表现和效益分析[J]. 中国棉花, 2021, 48(9): 30-32.
- ZHAO Zhongting, FAN Haichao, ZHANG Zhiheng, et al. Planting performance and benefit analysis of short-season cotton cultivated after different crops in Southwestern Shandong[J]. Chinese Cotton, 2021, 48(9): 30-32.
- [27] 王孝刚, 张友昌, 冯常辉, 等. 长江流域棉花机械化生产现状与发展建议[J]. 中国棉花, 2020, 47(9): 1-4.
- WANG Xiaogang, ZHANG Youchang, FENG Changhui, et al. Present situation and development suggestions of mechanized cotton production in the Yangtze River Basin[J]. Chinese Cotton, 2020, 47(9): 1-4.
- [28] 海兴岩, 张泽, 马革新, 等. 不同灌溉方式对棉花细根动态变化的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(11): 1-6.
- HAI Xingyan, ZHANG Ze, MA Gexin, et al. Growth and senescence of fine roots of cotton under drip Irrigation differ from those under flooding irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(11): 1-6.
- [29] 范庆锋, 张玉龙, 张玉玲, 等. 不同灌溉方式下设施土壤硝态氮的积累特征及其环境影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(11): 2 281-2 286.
- FAN Qingfeng, ZHANG Yulong, ZHANG Yuling, et al. Soil nitrate accumulation and its environmental effects under various irrigation modes in protected field[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2017, 36(11): 2 281-2 286.

Effects of Biochar Amendment on Bioavailable Nutrients in Paddy Soil

JI Renjing¹, HU Mengyang², HE Yupu^{1*}, SHI Yuanzhi¹, SONG Haochen³, FENG Zhengchao³

(1. State Key Laboratory of Hydrology-water Resources and Hydraulic Engineering,
Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;

2. College of Agricultural Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China;

3. Gaochun Water Authority, Nanjing 211300, China)

Abstract: 【Objective】 Biochar is often used in soil amendment to improve soil quality and productivity. The objective of this paper is to investigate its efficacy in improving soil nutrients in a water-saving irrigated paddy soil.

【Method】 The experiment was conducted from 2018 to 2019 in a paddy field with controlled irrigation. It consisted of four biochar treatments: 0 (CK), 10 (CL), 20 (CM) and 40 t/hm² (CH). In each treatment, we measured soil organic matter and mineral nitrogen.

【Result】 Amending the soil with biochar increased soil organic carbon and the increase was in the order of CH>CM>CL>CK. The impact of biochar amendment on soil mineral nitrogen varied. Compared to CK, CH, CM and CL increased ammonium by 1.52, 0.61 and 0.39 g/kg, respectively, in 2018, while reduced them by 2.01, 1.71 and 0.99 g/kg, respectively, in 2019. After fertilizer application at the tillering stage, CK saw the fastest increase in ammonium, while the ammonium in other treatments was comparable. After fertilizer application at the spiking stage in 2019, ammonium content was comparable with that in 2018, and its content in other treatments in 2019 was ranked in the order of CK>CL>CM>CH. The two-year experiment showed that CH, CM and CL reduced nitrate content by 32.34%, 19.45% and 9.21%, respectively, compared to CK.

【Conclusion】 The effect of biochar amendment on soil organic carbon in the water-saving irrigated paddy field was positively correlated with the biochar amount, but decreased as time elapsed. The biochar increased ammonium content only at the early stage after the amendment, but it reduced nitrate nitrogen content. Nitrate content was negatively correlated with biochar amendment amount. The biochar slows down the increase of ammonium following fertilization, thereby reducing nitrogen loss.

Key words: water saving irrigation; biochar; paddy field; soil nutrients

责任编辑：韩 洋

(上接第 46 页)

Effect of Irrigation and Planting Patterns on Yield, Quality and Economic Return of Winter Wheat-cotton Cropping System

GUO Xuan¹, GUAN Xiaokang¹, WEN Pengfei¹, WANG Tongchao^{1*},

ZHANG Hao², WANG Shunsheng², TONG Hao²

(1. Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, China;

2. North China University of Water Resources and Hydropower, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: 【Objective】 Winter wheat-cotton rotation is a common cultivation in Yellow River Basin in China, but they have an overlapped growing period. How to plant the cotton to make most of above- and below-ground resources is an issue that is not well understood. This paper aims to investigate how planting and irrigation combine to modulate growth, yields, quality and economic return of the two crops. 【Method】 The experiment was conducted in a field, with the cotton either directly drilled before the wheat was harvested or transplanted from a seedling bed after wheat harvest. We compared three irrigations: border irrigation, micro-sprinkling hose irrigation and surface drip irrigation. 【Result】 Transplantation improved leaf area index (*LAI*) and yield of the winter wheat, as well as the net income of winter wheat compared with directly drilling, despite a 5.64% reduction in cotton yield; overall, its total net income was 8.64% higher than the directly drilling. Compared with border irrigation and micro-sprinkling hose irrigation, surface drip irrigation significantly improved the plant height, *LAI*, yield and economic return of the two crops. The total net income of surface drip irrigation was 36.01% and 10.10% higher than that of border irrigation and micro-sprinkling hose irrigation, respectively. Transplantation combined with surface drip irrigation gave the highest net income at 15 924.9 yuan/hm². 【Conclusion】 Transplanting cotton seedling after harvesting the winter wheat combined with surface drip irrigation reduces their competition for resources and is therefore optimal for wheat-cotton rotation in the Yellow River Basin.

Key words: wheat cotton interplanting; transplanting cotton after wheat harvest; border irrigation; micro-sprinkling hose irrigation; surface drip irrigation; net profit

责任编辑：韩 洋