

棉花绿色高效种植模式的生态服务价值评估*

李 卓^{1**} 李 蕾² 魏学文^{3**} 刘 云² 李丽莉¹
卢增斌¹ 宋莹莹¹ 王桂峰^{3***} 门兴元^{1***}

(1. 山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100; 2. 山东农业工程学院, 济南 250100;
3. 山东省农业技术推广中心, 济南 250100)

摘 要 【目的】立足于我国棉花生产与生态安全的战略需求, 为传统棉区筛选出绿色高效种植模式提供理论依据。【方法】本试验于 2020 年在山东省济宁市金乡县和菏泽市单县的试验棉田开展, 采用随机区组设置春棉防治 (CK)、春棉不防治 (CM)、蒜后棉防治 (SH1)、蒜后棉不防治 (SH2)、麦后棉防治 (MH1)、麦后棉不防治 (MH2)、蒜套棉防治 (ST1) 和蒜套棉不防治 (ST2) 8 组种植模式, 系统调查了不同种植模式的经济价值, 并结合生态系统的控害能力和物种丰富度来综合评估种植模式的生态服务价值。【结果】结果表明, 蒜后棉防治组 (SH1) 和蒜后棉不防治组 (SH2) 的害虫防控和天敌涵养作用最佳, 其中蒜后棉不防治组 (SH2) 的物种丰富度最高; 结合投入与产出, 蒜后棉防治 (SH1: 1 729.04 元/0.20 hm²) 和蒜后棉不防治 (SH2: 1 727.74 元/0.20 hm²) 处理组的经济效益最高, 相较于 CK 组均显著提高了 6.9 倍; 生态服务价值综合评价结果表明, 蒜后棉种植模式 (SH1: 0.93; SH2: 1.49) 显著优于其他种植模式。【结论】从黄河流域传统棉区绿色可持续发展考略, 蒜后棉种植模式是一种优异的轮作模式, 为我国棉田绿色高效发展提供了新契机。

关键词 棉花; 种植模式; 防治措施; 生态服务价值

Comparison of the ecological service value of different “green” and efficient cotton planting modes

LI Zhuo^{1**} LI Lei² WEI Xue-Wen^{3**} LIU Yun² LI Li-Li¹ LU Zeng-Bin¹
SONG Ying-Ying¹ WANG Gui-Feng^{3***} MEN Xing-Yuan^{1***}

(1. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China; 2. Shandong Agriculture and Engineering University, Jinan 250100, China; 3. Shandong Agro-Tech Extension and Service Center, Jinan 250100, China)

Abstract 【Aim】The ecological service value of different “green” and efficient cotton planting modes was evaluated based on their ecological security. 【Methods】Eight planting modes, cotton mono-cropping with pesticides (CK), cotton mono-cropping without pesticides (CM), rotation of garlic-cotton with pesticides (SH1), rotation of garlic-cotton without pesticides (SH2), rotation of wheat-cotton with pesticides (MH1), rotation of wheat-cotton without pesticides (MH2), cotton and garlic intercropping with pesticides (ST1) and cotton and garlic intercropping without pesticides (ST2) were compared using a randomized experimental design in cotton fields in Jinxiang and Shan County in 2020. 【Results】Compared to CK, the SH1 and SH2 planting modes had the most significant effects on the abundance of both pests and their natural enemies. There was no significant difference between these two treatments but SH2 had the highest species richness. In terms of total input and output, SH1 (1 729.04 yuan/0.20 hm²) and SH2 (1 727.74 yuan/0.20 hm²) had the highest economic benefit and were

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2023YFD1400800); 山东省顶尖人才“一事一议”项目 (2023YSYY-006); 山东省重点研发计划 (2020CXGC010804); 山东省农业重大技术协同推广计划 (SDNYXTTG-2023-14); 国家自然科学基金青年科学基金项目 (32202405)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: lizhuo0613@163.com; sdweixuewen@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: menxy2000@hotmail.com; csdmhgz@163.com

收稿日期 Received: 2023-09-21; 接受日期 Accepted: 2024-01-05

significantly increased by 6.9-fold in comparison with CK. Comprehensive evaluation of all factors using a radar map indicates that, compared to the other treatments, the rotation of garlic and cotton crops conferred a significant advantage.

[Conclusion] From the perspective of “green” and sustainable development, the rotation of garlic and cotton crops is an excellent planting mode for traditional cotton growing areas in the Yellow River Basin. These results provide both theoretical and technical support for developing efficient and environmentally-friendly cotton production in China.

Key words cotton; planting mode; preventive measures; ecological service value

棉花作为全球最大的天然纤维作物和纺织工业的主要原料,是我国重要的经济作物(刘文静等, 2022; Li *et al.*, 2023b, 2023c)。随着农田集约化、种植业结构调整,农田景观格局发生了巨大改变,其中害虫、天敌种群发生动态和天敌控害能力都深受影响(戈峰等, 2017)。以棉花为典型代表,我国棉花种植布局向以新疆为主的西北内陆棉区不断集中,呈现大面积连片种植;黄河流域等传统棉区种植规模逐年减少,零散分布(陆宴辉等, 2020; 陆宴辉, 2021)。长江流域和黄河流域棉区棉花的种植面积不断下降,粮棉、棉菜争地矛盾突出(董合忠, 2016)。虽然棉花是耐连作作物,但长期以来不合理的大面积单一种植导致了严重的连作障碍,致使棉田自然资源质量退化、害虫危害严重、农田生态系统平衡被破坏(De Leijster *et al.*, 2019)、且棉花产业经济效益也受到影响(吴国丽等, 2019)。现阶段棉田害虫防治以化学防治为主(张晴晴等, 2020),环境污染和害虫抗药性增加的同时也显著削弱了自然天敌的控害作用,破坏了农业生态系统的自主控害能力(门兴元等, 2020; 张占琴等, 2022)。害虫绿色防控(陆宴辉, 2021),如生物防治和生态调控(戈峰, 2020; Li *et al.*, 2023a)等技术的不断完善,为我国棉田绿色高效发展提供了理论依据和技术支撑。

近年来,随着种植制度的改变,棉花由单作向多熟制方向发展,黄河传统棉区多以推广短季棉麦后直播、蒜后直播和蒜套棉等高效益种植模式,通过种植结构的改变,构建最佳复合群体,充分利用立体空间(赵明明等, 2018),协调害虫与天敌之间的数量关系。研究发现,在新的种植结构下,麦后直播棉田有利于减轻苗蚜的发生危害,同时伏蚜发生量相对较小(雒珺瑜等, 2013)。

棉蒜套作模式有利于龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* 生长繁衍,可保护其田间种群(雒珺瑜等, 2013),该模式还可以提高土地复种指数,两种作物在生态和经济价值上呈现互惠互补,是鲁西南棉区普遍采用的高效种植模式,但由于费工费时,不适合大面积机械化生产,现大多数地区改为蒜后直播棉的种植模式(董合忠, 2016)。

目前关于棉花不同绿色种植模式的生态服务价值方面的研究较少。本研究共设春棉防治(CK)、春棉不防治(CM)、蒜后棉防治(SH1)、蒜后棉不防治(SH2)、麦后棉防治(MH1)、麦后棉不防治(MH2)、蒜套棉防治(ST1)和蒜套棉不防治(ST2) 8 组种植模式。通过种植模式的改变,增加物种多样性,改善有益生物的生存环境,进而增强农田生态系统的自主控害能力(尤士骏等, 2019)。研究棉花不同高效绿色种植模式对生态服务功能 and 经济效益的影响,探索适于当地生产的棉花绿色高效种植模式,有利于促进黄河流域棉花产业向优质、高效的环境友好型绿色农业方向发展。

1 材料与方法

1.1 试验时间和地点

2019 年 9 月-2020 年 11 月,在山东省济宁市金乡县(34° 58' 23.44" N, 116° 13' 53.73" E)和菏泽市单县(34° 52' 09.69" N, 116° 16' 09.11" E)棉花绿色优质高效模式创建试验田中开展取样与田间调查,两地土壤类型均是潮土,土壤 pH 为 7.56-8.77,总体呈弱碱性适于棉花、小麦和大蒜的种植。

1.2 供试材料

棉花品种(鲁棉 532, 鲁审棉 20180011, 短

季棉由山东棉花研究中心提供; 德棉 998, 国审棉 2010005, 常规棉采购于北京德农种业有限公司); 大蒜 (金乡紫皮蒜, 山东省济宁市金乡县当地品种); 小麦 (济麦 262, 山东省农业科学院作物研究所提供)。

1.3 试验设置

采用随机区组设置春棉直播防治 (CK)、春棉直播不防治 (CM)、蒜后棉防治 (SH1)、蒜

后棉不防治 (SH2)、麦后棉防治 (MH1)、麦后棉不防治 (MH2)、蒜套棉防治 (ST1) 和蒜套棉不防治 (ST2) 8 组处理, 每个处理 0.20 hm², 总共 1.60 hm²。其中蒜后棉种植比例为大蒜: 棉花=5: 1, 大蒜行间距为 0.20 m, 株距为 0.15 m, 棉花行间距为 1.00 m, 株距为 0.39 m (赵明明等, 2018)。作物生长期不同处理组之间的栽培管理措施 (表 1), 如施肥、灌溉的时间和用量均保持一致。

表 1 田间试验设置及相关种植信息
Table 1 Design of field experiment and related planting information

地点 Place	试验设置 Test setup	前茬作物播种时间 (年.月.日) Sowing time of previous crops (year. month. day)	前茬作物收获时间 (年.月.日) Harvest time of previous crops (year. month. day)	棉花品种 Cotton varieties	种植密度 (株/667 m ²) Planting density (plants/667 m ²)	种植日期 (年.月.日) Date of Planting (year. month. day)
金乡县 Jixiang County	春棉直播 Cotton mono-cropping	/	/	德棉 998 DAAS 998	6 000	2020.5.3
	蒜后棉 Rotation of garlic-cotton	2019.10.4	2020.5.15	鲁棉 532 SCRC 532	6 000	2020.5.21
单县 Shan County	麦后棉 Rotation of wheat-cotton	2019.9.30	2020.6.2	鲁棉 532 SCRC 532	6 000	2020.6.8
	蒜套棉 Cotton and garlic intercropping	2019.10.4	2020.5.15	德棉 998 DAAS 998	2 500	2020.5.23

防治区: 当病虫害达到防治指标时进行药剂防治, 药剂选择高效、环境友好型农药, 施药量根据试验田病虫害实际情况确定, 共防治 4 次, 防治时间分别为 6 月 15 日、6 月 25 日、7 月 3 日和 7 月 16 日。

不防治区: 整个生长季节不进行病虫害的药剂防治。

1.4 调查项目及方法

1.4.1 棉花害虫及天敌昆虫的发生量和物种丰富度 在棉花的苗期、花期和铃期, 分别调查记录棉花上害虫及天敌昆虫的种类和数量。采用样方法对不同种植模式下的田块进行调查, 每个田块 5 点取样, 每点调查 5 株棉花, 记录样方内棉花上害虫和天敌的种类及数量。主要害虫有蓟

马、蚜虫和烟粉虱等, 主要天敌为瓢虫、草蛉、食蚜蝇和寄生蜂等。

物种丰富度计算公式为 $d = (S - 1) / \ln(n)$, 其中 d 为物种数目, n 为个体总数, S 为生态系统中物种 (吴远秀等, 2023)。

1.4.2 生产资料与经济效益 生产资料主要包括种子、农药 (4%啉虫脒, 山东焱农生物科技股份有限公司, 22.50-30.00 g/hm²; 1%阿维菌素, 上海沪联生物药业股份有限公司, 45.00-52.50 kg/hm²; 0.007 5%芸苔素, 济南仕邦农化有限公司, 150.00-300.00 mL/hm²; 5%氯氟氰菊脂, 河北中保绿农作物科技有限公司, 150.00-225.00 mL/hm²)、肥料、除草剂 (38%莠去津, 连云港立本作物科技有限公司, 4.50-6.00 kg/hm²)、人工和机械成本。同时记录分析棉花的产量以及

当地的棉花单价。

经济效益计算公式为总经济效益=(棉花产量×棉花单价)-总成本。

1.4.3 生态服务价值的雷达图构建 综合考虑棉田多种因素,其中害虫和天敌的种群数量、成本、产量和经济效益是评价种植模式优劣的重要指标。数据需进行归一化处理才可列入雷达图,计算不同模式的雷达图面积占比,综合评估棉花绿色高效种植模式的生态服务价值。

$$\text{归一化公式为 } x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}。$$

1.5 数据处理

所有数据均使用 SPSS 26.0 (SPSS Institute, Chicago) 软件进行统计分析,采用 Duncan 氏新复极差法进行处理间的差异显著性检验,通过 Levene 氏检验 ($P > 0.10$) 和 Shapiro-Wilk 检验分别检验数据的方差齐性和正态分布性,以上检测结果如果不符合正态分布,则根据数据的特点进行正态化变换,以符合方差分析要求。通过 GraphPad Prism 9 和 Origin 2021 软件分别制作柱状图和雷达图。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式下的生态服务功能

2.1.1 不同种植模式下的棉田害虫与天敌昆虫数量关系 由图 1 看出,除了蒜套棉防治(ST1),其他处理在棉花整个生长期对害虫发生量均具有显著影响 ($P < 0.05$)。相较于春棉直播防治(CK: 139.20 头/5 株)组,春棉直播不防治(CM: 180.45 头/5 株)和蒜套棉不防治(ST2: 156.10 头/5 株)组的害虫发生量分别显著提高 29.63% 和 12.14%,而蒜后棉防治(SH1: 97.39 头/5 株)组、蒜后棉不防治(SH2: 97.39 头/5 株)组、麦后棉防治(MH1: 97.45 头/5 株)组和麦后棉不防治(MH2: 85.03 头/5 株)组的害虫发生量分别显著降低 30.04%、30.04%、29.99% 和 38.92%,其中麦后棉不防治(MH2)组对害虫防控效果最佳。各处理对天敌均有一定的涵养作用,相较于春棉直播防治(CK: 0.85 头/5 株)

组,蒜套棉不防治(ST2: 1.73 头/5 株)组的天敌发生量显著增加 102.36%。

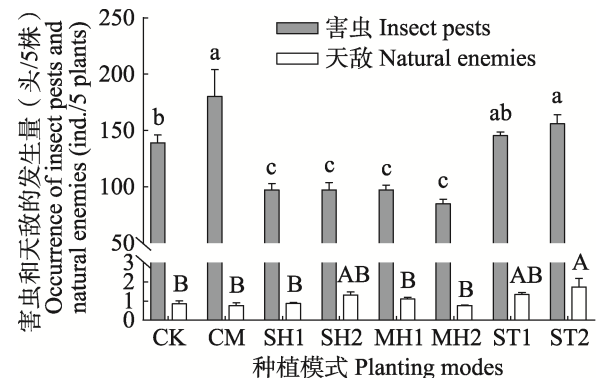


图 1 金乡县和单县不同种植模式棉区害虫及天敌昆虫的发生量

Fig. 1 Occurrence of insect pests and natural enemies in Jinxiang County and Shan County

CK: 春棉直播防治; CM: 春棉直播不防治; SH1: 蒜后棉防治; SH2: 蒜后棉不防治; MH1: 麦后棉防治; MH2: 麦后棉不防治; ST1: 蒜套棉防治; ST2: 蒜套棉不防治, 图 2 和图 3 同。柱上标有不同大、小写字母分别表示天敌、害虫不同种植模式间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan 氏新复极差法检验)。

CK: Cotton mono-cropping with pesticides; CM: Cotton mono-cropping without pesticides; SH1: Rotation of garlic-cotton with pesticides; SH2: Rotation of garlic-cotton without pesticides; MH1: Rotation of wheat-cotton with pesticides; MH2: Rotation of wheat-cotton without pesticides; ST1: Cotton and garlic intercropping with pesticides; ST2: Cotton and garlic intercropping without pesticides. The same as in Fig. 2 and Fig. 3. Different uppercase and lowercase letters above bars represent significant difference of insect pests and natural enemies among different planting modes at $P < 0.05$ level by the Duncan's test, respectively.

2.1.2 不同种植模式对棉田物种丰富度的影响 在棉花整个生长期,不同种植模式对棉田物种丰富度产生了影响(图 2)。相较于春棉直播防治(CK: 3.14)组,各处理组物种丰富度均有一定的下降趋势,其中以麦后棉防治(MH1: 2.24)组的物种丰富度下降最为显著,相较于 CK 组显著降低了 28.66% ($P < 0.05$)。

2.2 不同种植模式的经济效益评估

由表 2 可以看出,相较于春棉直播防治(CK)组,春棉直播不防治(CM)组、蒜后棉

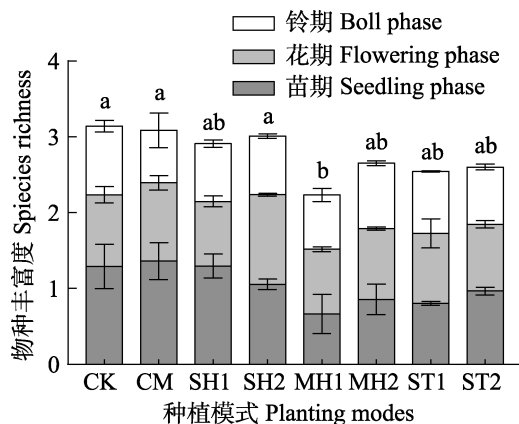


图2 金乡县和单县不同种植模式棉区的物种丰富度

Fig. 2 Species richness among different planting modes in Jinxiang County and Shan County

柱上标有不同小写字母分别表示棉花生育期内不同种植模式间物种丰富度的差异显著 ($P < 0.05$, Duncan 氏新复极差法检验)。

Different lowercase letters above bars represent significant difference of species richness in the whole growth period among different planting modes at $P < 0.05$ level by the Duncan's test.

不防治 (SH2) 组、麦后棉防治 (MH1) 组、麦后棉不防治 (MH2) 组、蒜套棉防治 (ST1) 组和蒜套棉不防治 (ST2) 组的棉花产量分别减少了 8.33%、11.88%、40.83%、53.54%、5.83% 和 12.08%，而蒜后棉防治 (SH1) 组的棉花产量增加了 1.25%，具有一定的增产效果。在初始投入方面，相较于春棉直播防治 (CK) 组，春棉直播不防治 (CM) 组、蒜后棉防治 (SH1) 组、

蒜后棉不防治 (SH2) 组、麦后棉防治 (MH1) 组、麦后棉不防治 (MH2) 组和蒜套棉不防治 (ST2) 组的棉花初始投入分别减少了 13.33%、20.00%、33.33%、20.00%、33.33% 和 6.67%，其中蒜后棉不防治 (SH2) 组和麦后棉不防治 (MH2) 组节省成本最多。从棉花效益指标来看，与春棉直播防治 (CK) 组相比，春棉直播不防治 (CM) 组、蒜后棉防治 (SH1) 组和蒜后棉不防治 (SH2) 组的效益显著增加，分别增加了 119.11%、36.32% 和 119.70%，而麦后棉防治 (MH1) 组、麦后棉不防治 (MH2) 组、蒜套棉防治 (ST1) 组和蒜套棉不防治 (ST2) 组的效益分别降低了 204.55%、202.05%、44.95% 和 29.26%。综合投入与产出，相较于春棉直播防治 (CK: 218.04 元/0.20 hm^2) 组，其他处理组总效益均呈增加趋势，春棉直播不防治 (CM: 297.24 元/0.20 hm^2) 组、蒜后棉防治 (SH1) 组、蒜后棉不防治 (SH2) 组、麦后棉防治 (MH1: 376.64 元/0.20 hm^2) 组、麦后棉不防治 (MH2: 382.22 元/0.20 hm^2) 组、蒜套棉防治 (ST1: 1 370.04 元/0.20 hm^2) 组和蒜套棉不防治 (ST2: 1 404.24 元/0.20 hm^2) 组分别增加 36.32%、692.99%、692.40%、72.74%、75.30%、528.34% 和 544.03%，其中蒜后棉防治 (SH1: 1 729.04 元/0.20 hm^2) 组和蒜后棉不防治 (SH2: 1 727.74 元/0.20 hm^2) 组的总效益最高。

表2 金乡县和单县不同种植模式棉区的生产资料及经济效益

Table 2 Means of production and economic benefits among different planting modes in Jinxiang County and Shan County

种植模式 Planting pattern	产量 (kg/ 0.20 hm^2) Yield (kg/ 0.20 hm^2)	用工费用 (元/ 0.20 hm^2) Employment (yuan/ 0.20 hm^2)	农药费用 (元/ 0.20 hm^2) Pesticide (yuan/ 0.20 hm^2)	棉种和 肥料费用 (元/0.20 hm^2) Cotton seed and fertilizer (yuan/ 0.20 hm^2)	棉花效益 (元/ 0.20 hm^2) Cotton benefit (yuan/ 0.20 hm^2)	大蒜/小麦 效益 (元/ 0.20 hm^2) Garlic/wheat benefits (yuan/ 0.20 hm^2)	总效益 (元 /0.20 hm^2) Total benefit (yuan/ 0.20 hm^2)
春棉直播防治(CK) Cotton mono-cropping with pesticides	240.00	120 0.00	59.20	200.00	218.04	/	218.04
春棉直播不防治(CM) Cotton mono-cropping without pesticides	220.00	104 0.00	/	200.00	297.24	/	297.24
蒜后棉防治(SH1) Rotation of garlic-cotton with pesticides	243.00	960.00	59.20	200.00	479.04	1 250.00	1 729.04

续表 2 (Table 2 continued)

种植模式 Planting pattern	产量 (kg/ 0.20 hm ²) Yield (kg/ 0.20 hm ²)	用工费用 (元/ 0.20 hm ²) Employment (yuan/ 0.20 hm ²)	农药费用 (元/ 0.20 hm ²) Pesticide (yuan/ 0.20 hm ²)	棉种和 肥料费用 (元/0.20 hm ²) Cotton seed and fertilizer (yuan/ 0.20 hm ²)	棉花效益 (元/ 0.20 hm ²) Cotton benefit (yuan/ 0.20 hm ²)	大蒜/小麦 效益 (元/ 0.20 hm ²) Garlic/wheat benefits (yuan/ 0.20 hm ²)	总效益 (元/ 0.20 hm ²) Total benefit (yuan/ 0.20 hm ²)
蒜后棉不防治(SH2) Rotation of garlic-cotton without pesticides	211.50	800.00	/	200.00	477.74	1 250.00	1 727.74
麦后棉防治(MH1) Rotation of wheat-cotton with pesticides	142.00	960.00	59.20	200.00	- 227.96	604.60	376.64
麦后棉不防治(MH2) Rotation of wheat-cotton without pesticides	111.50	800.00	/	200.00	- 222.52	604.60	382.22
蒜套棉防治(ST1) Cotton and garlic intercropping with pesticides	226.00	120 0.00	59.20	200.00	120.04	1 250.00	1 370.04
蒜套棉不防治(ST2) Cotton and garlic intercropping without pesticides	211.00	112 0.00	/	200.00	154.24	1 250.00	1 404.24

/: 无。/: None.

2.3 不同种植模式的生态服务价值综合评价

综合棉花的产量、成本、经济效益以及害虫和天敌的数量,对不同种植模式的生态服务价值进行了综合评价(图 3),各处理的面积大小代表其优劣程度。其中,春棉直播防治(CK)组、春棉直播不防治(CM)组、蒜后棉防治(SH1)组、蒜后棉不防治(SH2)组、麦后棉防治(MH1)组、麦后棉不防治(MH2)组、蒜套棉防治(ST1)组和蒜套棉不防治(ST2)组的面积分别为 0.06、0.17、0.93、1.49、0.20、0.39、0.43 和 0.69。相较于春棉直播防治(CK)组,其他处理的生态服务价值均呈上升趋势,春棉直播不防治(CM)组、蒜后棉防治(SH1)组、蒜后棉不防治(SH2)组、麦后棉防治(MH1)组、麦后棉不防治(MH2)组、蒜套棉防治(ST1)组和蒜套棉不防治(ST2)组分别增加 188.14%、1 469.49%、2 430.51%、232.20%、564.41%、625.42%和 1 062.71%。综合评价显示,蒜后棉

种植模式的生态服务价值最高。

3 讨论

3.1 不同种植模式对棉田害虫及天敌昆虫的影响

农田中作物、害虫、天敌与耕作制度、生态环境是相互依赖和相互制约的。通过调整和优化农田作物的种植结构,可以保护天敌、减少害虫危害和降低农药使用量,进而保护生态环境(尤士骏等,2019)。本研究结果表明,麦后棉不防治(MH2)处理对棉蚜 *Aphis gossypii* 的控害作用最为显著,这与雒珺瑜等(2013)研究结果一致。本试验中的 8 组处理均对害虫具有一定的控害作用,其效果为 MH2 > SH2 = SH1 > MH1 > CK > ST1 > ST2 > CM。同时,也具有涵养天敌的作用,增强了自然天敌对害虫的控害作用,减少了化学农药的使用。研究结果表明,在 8 组处理中,相同种植模式的不同防治手段之间,害虫和天敌的发生数量无显著差异,这可能与当年害

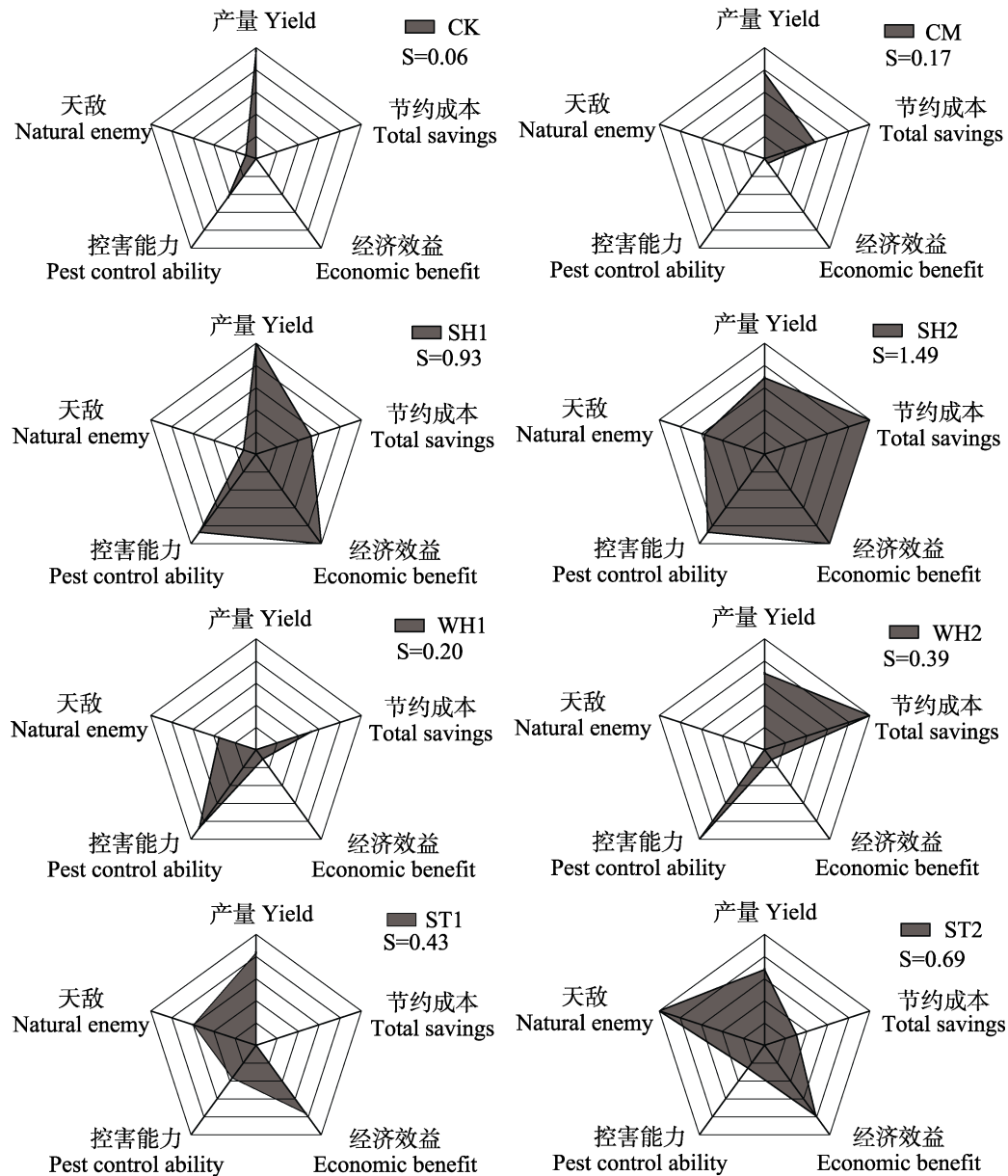


图3 金乡县和单县不同种植模式棉区的生态服务价值综合评价
Fig. 3 Ecological service value evaluation of Jinxiang County and Shan County among different planting modes

S: 种植模式的阴影面积。S: Shading area for planting modes.

虫发生危害较轻有关。此外,农药的使用灭杀了部分天敌,导致自然控害能力和持效性下降,害虫发生再猖獗现象。在棉花整个生长期,不防治与防治处理间的害虫发生量无显著差异或优于防治处理。调查结果表明,单县与金乡县2个地区天敌发生趋势一致,单县的害虫发生危害略小于金乡县。综上可见,蒜后棉和麦后棉种植模式可有效涵养天敌昆虫,抑制害虫发生(戈峰等,

2014),其中蒜后棉不防治(SH2)处理的保益控害效果最佳。

3.2 不同种植模式对棉田物种丰富度的影响

物种丰富度指数指测定一定时间或者空间范围内的物种数目,以表达生物的丰富程度(吴远秀等,2023),即物种丰富度越高,其棉田内的物种种类越多。在个别时期,有些害虫或天敌的

物种丰富度变化可能与棉花的生长势有关,棉花生长势弱时,植食性害虫的丰富度降低,引起食物链上的天敌丰富度下降;棉花生长势增强,叶片和蕾铃增多时,可为棉田植食性害虫提供更多的食物资源,导致天敌昆虫数量增加(雒珺瑜等, 2014)。本研究结果表明,8组处理下的物种丰富度为 CK > CM > SH2 > SH1 > MH2 > ST2 > ST1 > MH1,相较于春棉直播防治(CK)组,其他种植模式的物种丰富度均有一定程度的下降,但除麦后棉防治(MH1)处理显著降低了物种丰富度。结合害虫发生量结果推断,本研究的蒜后棉和麦后棉种植模式对棉花害虫均具有一定的控害作用,导致植食性害虫丰富度降低,进而天敌物种丰富度下降,棉花整个生长期内的物种丰富度减少(雒珺瑜等, 2014)。此外,天敌物种丰富度的降低可能也与农药的施用有关,在灭杀部分害虫的同时,也减少了天敌的数量和种类,使其物种丰富度呈现下降趋势。因此,建议长期采用绿色种植模式,以增强自然天敌的控害作用。

3.3 不同种植模式对棉田生产资料与产值的影响

棉田的主要害虫有棉蚜、烟粉虱和蓟马等,直接影响了棉花的产量和品质(顾爱祥等, 2019)。适宜的种植模式不仅能在不降低产量的情况下减少农事作业的环节和次数,还可大大减少用工需求(董合忠, 2016),这与本研究结论一致。本研究比较了棉花种植的前期投入和最终产出,即棉花生长期内消耗的农药、种子、肥料和除草剂等一系列农资投入成本及最终棉花收益。前期农资投入结果为 CK = ST1 > ST2 > CM > SH1 = MH1 > SH2 = MH2,最终棉花收益结果为 SH1 > SH2 > ST2 > ST1 > MH2 > MH1 > CM > CK。在金乡县和单县,大蒜与棉花是优势农作物(高巍, 2014),两者的互补种植有利于提高当地农户的经济效益。在棉花种植过程中,生产资料的投入与经济产出是作为切身利益需要考虑的重要因素(Li et al., 2020),是筛选种植模式的重要评估指标。

4 结论

不同棉田种植模式对害虫和天敌昆虫的发生量、物种丰富度和生产资料及经济效益表现存在差异性。从害虫和天敌发生量及物种丰富度方面考量,蒜后棉处理组对害虫的控制和天敌的涵养作用最为显著,并且有无化学防治处理之间无显著性差异。从经济效益方面考量,蒜后棉处理收益最高,且有无化学防治处理之间差异不显著。综上表明,蒜后棉种植模式能够兼具省工、高产和促进生态安全等优点,推动山东棉花种植业绿色、高效和可持续发展,有助于我国生态保护与农业高质量发展,是适于山东棉区大力推广应用的棉花绿色高效种植模式。

参考文献 (References)

- De Leijster V, Santos MJ, Wassen MJ, Ramos-Font ME, Robles AB, Díaz M, Staal M, Verweij PA, 2019. Agroecological management improves ecosystem services in almond orchards within one year. *Ecosystem Services*, 38(10): 100948.
- Dong HZ, 2016. A new alternative of extensive farming under garlic-cotton double cropping, direct seeding of short-season cotton after garlic. *China Cotton*, 43(1): 8–9. [董合忠, 2016. 蒜棉两熟制棉花轻简化生产的途径: 短季棉蒜后直播. *中国棉花*, 43(1): 8–9.]
- Ge F, 2020. The ecological regulation and management of pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 10–19. [戈峰, 2020. 论害虫生态调控策略与技术. *应用昆虫学报*, 57(1): 10–19.]
- Ge F, Ouyang F, Men XY, 2017. Ecological effects of regional agricultural landscape on insect and its prospect. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 32(8): 6. [戈峰, 欧阳芳, 门兴元, 2017. 区域性农田景观对昆虫的生态学效应与展望. *中国科学院院刊*, 32(8): 6.]
- Ge F, Ouyang F, Zhao ZH, 2014. Ecological management of insects based on ecological services at a landscape scale. *Chinese Bulletin of Entomology*, 51(3): 597–605. [戈峰, 欧阳芳, 赵紫华, 2014. 基于服务功能的昆虫生态调控理论. *应用昆虫学报*, 51(3): 597–605.]
- Gu AX, Zhou FC, Yang ZY, Su HH, 2019. Study on the damage of *Bemisia tabaci* to cotton and the economic threshold in cotton fields. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 56(1): 67–73. [顾爱祥, 周福才, 杨益众, 苏宏华, 2019. 棉田烟粉虱的为害及其经济

- 阈值分析. 新疆农业科学, 56(1): 67–73.]
- Li Z, Chang CY, Yuan YY, Zhang XR, Ge F, 2023a. Functional plant, *Cnidium monnieri*, facilitates the conservation and the biocontrol performance of natural enemies. *The Innovation Geoscience*, 1(3): 100045.
- Li CJ, Hoffland E, Kuypers TW, Yu Y, Zhang CC, Li HG, Zhang FS, van der Werf W, 2020. Syndromes of production in intercropping impact yield gains. *Nature Plants*, 6(6): 653–660.
- Li Z, Gao M, Liu RJ, Chang CY, Ge F, 2023b. Effects on the yield and fiber quality components of Bt cotton inoculated with *Azotobacter chroococcum* under elevated CO₂. *PeerJ*, 11: e15811.
- Li Z, Zhao M, Li L, Yuan YY, Chen FJ, Parajulee MN, Ge F, 2023c. Azotobacter inoculation can enhance the resistance of Bt cotton to cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Insect Science*, 30(6): 1648–1662.
- Liu WJ, Fan YS, Dong YQ, Qu T, Zhu K, Liu YC, Wei F, 2022. Analysis and suggestions on the current situation of cotton production in China. *China Seed Industry*, 22(1): 21–25. [刘文静, 范永胜, 董彦琪, 屈涛, 朱坤, 刘翼成, 魏芳, 2022. 我国棉花生产现状分析及建议. 中国种业, 22(1): 21–25.]
- Luo JY, Wang CY, Cui JJ, 2013. Effects of different planting patterns on pests and natural enemy population dynamics. *China Cotton*, 40(8): 28–33. [雒珺瑜, 王春义, 崔金杰, 2013. 不同种植模式对棉田主要害虫及其天敌种群消长动态的影响. 中国棉花, 40(8): 28–33.]
- Luo JY, Zhang S, Lv LM, Wang CY, Zhu XZ, Li CH, Cui JJ, 2014. Effects of transgenic *Cry1Ac+Cry2Ab* on the cotton growth potential and arthropod species richness in cotton fields. *Journal of Biosafety*, 23(4): 256–264. [雒珺瑜, 张帅, 吕丽敏, 王春义, 朱香镇, 李春花, 崔金杰, 2014. 转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 棉花生长势及其对棉田节肢动物物种丰富度的影响. 生物安全学报, 23(4): 256–264.]
- Lu YH, 2021. Ever-evolving advances in the researches of cotton insect pest management in China. *Journal of Plant Protection*, 48(5): 937–939. [陆宴辉, 2021. 与时俱进的中国棉花害虫治理研究. 植物保护学报, 48(5): 937–939.]
- Lu YH, Liang GM, Zhang YJ, Yang XM, 2020. Advances in the management of insect pests of cotton in China since the 21st century. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(3): 477–490. [陆宴辉, 梁革梅, 张永军, 杨现明, 2020. 二十一世纪以来棉花害虫治理成就与展望. 应用昆虫学报, 57(3): 477–490.]
- Men XY, Dong ZK, Li LL, Yang QF, Zhang QQ, Ouyang F, Lu ZB, Li C, Yu Y, Zhuang QY, 2020. Advances in the integrated management of wheat pests based on ecological regulation. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 59–69. [门兴元, 董兆克, 李丽莉, 杨泉峰, 张晴晴, 欧阳芳, 卢增斌, 李超, 于毅, 庄乾营, 2020. 基于生态调控的小麦害虫综合治理研究进展. 应用昆虫学报, 57(1): 59–69.]
- Wu GL, Wei F, Liu JG, Wang CF, Ma ZH, Ma YR, 2019. Effects of different planting patterns on root growth and physiological traits in cotton. *China Cotton*, 46(3): 11–15. [吴国丽, 魏飞, 刘建国, 王超凡, 马子豪, 马怡茹, 2019. 不同种植模式对连作棉花根系生长和生理指标的影响. 中国棉花, 46(3): 11–15.]
- Wu YX, Liu JT, Ding C, Zhang BC, Liang XS, Ning Y, Yin JX, Lü XT, 2023. Effects of nitrogen inputs and mowing on the abundance and species richness of herbivorous insects in a meadow steppe. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 34(7): 1975–1980. [吴远秀, 刘婧桐, 丁聪, 张炳川, 梁潇洒, 宁宇, 殷江霞, 吕晓涛, 2023. 氮素输入和刈割对草甸草原植食性昆虫多度和物种丰富度的影响. 应用生态学报, 34(7): 1975–1980.]
- You SJ, Zhang J, Li JY, Chen YT, Liu TS, Niu DS, You MS, 2019. Theory and practice of utilizing biodiversity to enhance pest control in agroecosystems. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(6): 1125–1147. [尤士骏, 张杰, 李金玉, 陈燕婷, 刘天生, 牛东升, 尤民生, 2019. 利用生物多样性控制作物害虫的理论与实践. 应用昆虫学报, 56(6): 1125–1147.]
- Zhang QQ, Ouyang F, Ge F, 2020. Quantitative evaluation and case analysis of the economic and ecological benefits of integrated pest control. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 206–213. [张晴晴, 欧阳芳, 戈峰, 2020. 有害生物综合防治的生态经济效益定量评估方法. 应用昆虫学报, 57(1): 206–213.]
- Zhang ZQ, Wang JJ, Xie JH, Tian HY, Niu Y, Yang XK, 2022. Photosynthetic characteristics of cotton under crop rotation conditions. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 40(2): 38–46. [张占琴, 王建江, 颀健辉, 田海燕, 牛媛, 杨相昆, 2022. 轮作倒茬对棉花光合性能的影响. 干旱地区农业研究, 40(2): 38–46.]
- Zhao MM, Sun YW, Feng Y, Hu XY, Li WH, 2018. High-efficient planting mode and cultivation techniques of cotton and garlic interplanting in Xuhuai area. *Cotton Sciences*, 40(3): 48–49, 52. [赵明明, 孙亚伟, 冯营, 胡新燕, 李卫华, 2018. 徐淮地区棉花大蒜套种高效种植模式与栽培技术. 棉花科学, 40(3): 48–49, 52.]