

秸秆与菌肥协同配施对设施茄子土壤理化性质及枯萎病防效的影响

徐蒋来¹, 方辉², 陈海平¹, 王会福^{1*}

(1. 台州市农业科学研究院, 浙江台州 318050; 2. 临海市农业农村局, 浙江临海 317000)

摘要 为改善设施土壤生态环境, 缓解连作障碍对茄子生长的影响, 建立秸秆-菌肥富集培养和未富集培养2种模式, 并在不同模式下设置不同秸秆添加量, 研究对土壤理化性质、茄子枯萎病防效及产量的影响。试验区土壤经过9年连作, 养分含量和盐分严重超标。结果表明, 通过化肥减量以及秸秆-菌肥协同配施, 处理组土壤碱解氮、有效磷、速效钾和含盐量相比对照均有不同程度降低, 有效改善了表层土壤养分结构和盐分。秸秆-菌肥富集培养处理组的茄子枯萎病发病率低于未富集培养和对照, 并且以9 000 kg/hm² 秸秆配施菌肥处理防效最明显, 该处理下的茄子产量也最高, 相比对照提高了13.81%。

关键词 秸秆; 菌肥; 茄子; 土壤; 枯萎病

中图分类号 S153; S436.411 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2025)09-0134-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2025.09.029

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Bio-fertilizer and Rotten Straw on Soil Physical-Chemical Properties and Control Effect on Fusarium Wilt of Eggplant in Greenhouse

XU Jiang-lai¹, FANG Hui², CHEN Hai-ping¹ et al (1. Taizhou Academy of Agricultural Science, Taizhou, Zhejiang 318050; 2. Linhai Agricultural and Rural Bureau, Linhai, Zhejiang 317000)

Abstract To improve the soil ecological environment of the facility and alleviate the impact of continuous cropping on eggplant growth, two models of straw-microbial fertilizer enrichment culture and non-enrichment culture were established, and different amounts of straw were set up to study the effects on soil physical and chemical properties, control of fusarium wilt and yield. After 9 years of continuous cropping in the control area, the content of nutrients and salts in the soil was seriously excessive. Through the reduction of chemical fertilizers and the application of straw-microbial fertilizer, the alkaline-N, available-P, rapidly available-K and salinity in the treatment area were all reduced to varying degrees compared with the control, effectively improving the nutrient structure and salt content of the surface soil. The incidence of fusarium wilt in eggplants in the straw-microbial fertilizer enrichment culture treatment group was lower than that in the non-enrichment culture and the control, and the control effect was most obvious in the treatment with 9 000 kg/hm² straw and microbial fertilizer. The yield of eggplants under this treatment was also the highest, increasing by 13.81% compared with the control.

Key words Straw; Bacterial fertilizer; Eggplant; Soil; Fusarium wilt

据统计,我国设施农业面积占世界设施农业总面积的80%以上,为保障我国居民菜篮子工程发挥了巨大的作用^[1]。然而,设施农业因复种指数高和集约化程度高,导致土壤连作障碍问题日益凸显,对设施作物的产量和品质产生了较大影响^[2-6]。茄子被联合国粮食及农业组织列为第4大蔬菜作物,我国是全球最大的茄子生产国,也是茄子消费与出口大国^[7]。然而,设施茄子长期连作导致的土壤障碍问题,严重制约了茄子产业的可持续发展。

研究发现,设施茄子连作土壤普遍存在理化性质劣变,土壤板结、酸化、次生盐碱化,微生物群落结构失衡、多样性降低,土传病害如枯萎病、黄萎病发生严重等问题^[6,8-12]。茄子枯萎病的病原菌是一种半知菌亚门的尖孢镰孢菌茄子专化型病菌(*Fusariumoxysporum*),病原以菌丝体或厚垣孢子随病残体越冬,从幼根或伤口侵入植株,分泌镰刀菌素,在维管束内繁殖蔓延,致寄主输导机能受阻,引起植株枯萎,适宜的温度(25~28℃)和潮湿的土壤环境对病害发生极为有利^[13-14]。茄子枯萎病在苗期发病较少,定植后易发,坐果后发病最多。枯萎病发病初期,病株叶片自下而上逐渐变黄枯萎,叶片最初在叶缘及叶脉间变黄,似缺水萎蔫,后发展至整

片叶变黄,最终导致萎蔫下垂或脱落,严重时全株叶片变褐脱落仅剩茎秆。张燕燕等^[15]研究发现,枯萎病常造成茄子大面积死亡,发生严重的田块产量损失达80%以上。枯萎病已成为影响茄子生产和品质的主要病害之一。

生物菌肥具有无残留、无污染的优点,能够减少化学药剂使用,改善土壤肥力从而促进作物健康生长,近年来受到广泛关注。生物菌肥通过分泌抗菌物质,增强植物抗逆性,竞争营养物质和生态位等途径可以降低土壤病原菌的密度,抑制病原菌活动,减轻病害发生^[16-19]。生物菌肥通常与含有有机碳的载体配施。作物秸秆富含有机碳和营养元素,可为生物菌肥的生长繁殖提供充足的碳源和营养物质^[20]。因此,基于秸秆载体的生物菌肥,对缓解土壤连作障碍具有良好的应用前景。然而,秸秆未经发酵腐熟直接还田,会增加下茬作物病虫害的发生概率,且传统秸秆切块直接还田与生物菌肥存在空间异质性,秸秆所释放的营养物质和碳源不能被微生物有效利用。基于此,该研究将秸秆在还田之前与有机肥进行有效预处理,再加入生物菌肥进行原位富集培养,旨在明确其对设施连作茄子土壤理化性质和枯萎病防效的影响,为茄果类蔬菜产业的可持续发展提供重要的实践指导和理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验地概况 试验地位于临海市杜桥镇茄子种植基地,属于亚热带季风性湿润气候,年日照时数1 785.7~3 118.6 h,年太阳辐射总量5 040~5 400 MJ/m²,年

基金项目 台州市农业科技计划项目(24ny02);台州市农业技术推广基金会项目(2023-28)。

作者简介 徐蒋来(1991—),男,浙江台州人,农艺师,硕士,从事设施土壤改良研究。*通信作者,正高级农艺师,从事作物植保研究。

收稿日期 2024-09-30

平均气温 17.0 ℃, ≥ 10 ℃ 的年积温 5 332.7 ℃, 无霜期 257 d, 年降雨量 1 300~1 400 mm。该基地已连续 9 年种植茄子。试验材料为适合江浙一带口感喜好的紫红色长茄“麻吉 804”, 2022 年 8 月播种, 9 月中旬移栽, 冬季通过双膜覆盖和剪枝再生技术, 保障茄子越冬。对照组施用复合肥 2 250 kg/hm², 试验组施用复合肥 1 800 kg/hm², 日常田间管理措施依照当地习惯, “对茄”采摘后每半个月追施一次水溶肥, 2023 年 6 月初拉秧。

1.2 试验设计 试验用水稻秸秆取自基地周边的早稻-

西兰花种植田。有机肥为当地的羊粪, 生物菌肥由北京中耕绿洲生态科技有限公司生产提供, 含有效活菌数 5 亿/g, 有机质 400 g/kg。秸秆-菌肥富集培养指将水稻秸秆与有机肥混合进行高温发酵腐熟, 再加入生物菌肥, 让菌种以秸秆为载体进行几何式繁殖; 未富集培养指将上述 3 者直接物理混合。每个小区面积 32 m², 各处理重复 3 次。该试验通过设置不同秸秆添加量以及是否富集培养, 探索适宜的茄子土壤连作障碍生态修复模式。试验设计见表 1。

表 1 试验设计
Table 1 Experiment design

处理 Treatment	复合肥 Compound fertilizer /(kg/hm ²)	水稻秸秆 Rice straw /(kg/hm ²)	有机肥 Organic fertilizer /(kg/hm ²)	生物菌肥 Biofilm fertilizer /(kg/hm ²)	富集培养 Enrichment culture
CK	2 250	0	0	0	—
T1	1 800	4 500	9 000	1 500	—
T2	1 800	9 000	9 000	1 500	—
T3	1 800	13 500	9 000	1 500	—
T4	1 800	4 500	9 000	1 500	√
T5	1 800	9 000	9 000	1 500	√
T6	1 800	13 500	9 000	1 500	√

注: “√”表示秸秆-菌肥富集培养, “—”表示秸秆-菌肥未富集培养。

Note: “√” means that straw-bacterial fertilizer was enriched and cultured, and “—” means that it was not enriched and cultured.

1.3 样品采集与测定

1.3.1 样品采集。统计不同处理条件下茄子的产量并换算成公顷产量。于茄子拉秧前, 在各处理小区通过 5 点取样法, 用取土器取深度为 0~25 cm 的土样。

1.3.2 测定方法。土壤电导率的测定参照 HJ 802—2016《土壤电导率的测定 电极法》; 碱解氮的测定参照 LY/T 1228—2015《森林土壤氮的测定》; 速效钾的测定参照 NY/T 889—2004《土壤速效钾和缓效钾含量的测定》; 有效磷的测定参照 NY/T 1121.7—2014《土壤检测 第 7 部分: 土壤有效磷的测定》。茄子枯萎病防效采用田间调查统计法。发病率为调查区域内发病植株或植物器官数占植株或器官总数的百分率。防效=(对照区发病率-处理区发病率)/对照区发

病率×100%。

1.3.3 数据分析。试验数据均采用 Microsoft Excel 2007 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆与菌肥协同配施对土壤理化性质的影响 土壤养分不仅是植物生长必需元素的来源, 也是评价土壤质量的关键指标之一。由表 2 可知, 相比对照, 秸秆与菌肥不同配施处理在复合肥减量条件下, 土壤碱解氮、有效磷、速效钾和含盐量指标上均有不同程度的降低, 对土壤养分均衡调控起到促进作用。其中, 秸秆与菌肥富集培养处理在电导率和含盐量指标上要高于未富集培养处理。

表 2 秸秆与菌肥配施对设施茄子土壤理化性质的影响

Table 2 Effects of combined application of straw-bacterial fertilizer on soil physicochemical properties of eggplant

处理 Treatment	碱解氮 Alkeline-N /(mg/kg)	有效磷 Available-P /(mg/kg)	速效钾 Rapidly available-K /(mg/kg)	电导率 Electrical conductivity /(mS/m)	含盐量 Salinity/%
CK	228.00	177.20	220.00	68.90	0.20
T1	196.00	131.20	158.00	28.80	0.11
T2	215.00	159.10	116.00	38.00	0.13
T3	196.00	136.50	78.00	35.80	0.12
T4	199.00	117.00	116.00	40.70	0.14
T5	88.30	141.00	192.00	46.50	0.15
T6	208.00	162.90	149.00	50.80	0.16

2.2 秸秆与菌肥协同配施对茄子枯萎病防效及产量的影响 枯萎病是茄子主要土传病害之一, 在苗期和成株期均可

发生。由表 3 可知, 秸秆-菌肥富集培养处理茄子枯萎病发病率低于未富集培养处理和对照, T5 处理防效最高, 为

89.29%。

表3 秸秆与菌肥配施对设施茄子枯萎病防治效果

Table 3 Effect of combined application of straw-bacterial fertilizer on the control of eggplant fusarium wilt

处理 Treatment	发病植株数 Number of diseased plants	调查总株数 Number of plants investigated	发病率 Disease percentage /%	防效 Control effect/%
CK	23	162	17.28	—
T1	9	162	5.56	68.24
T2	9	162	5.56	68.24
T3	13	162	8.02	53.59
T4	6	162	3.70	78.58
T5	3	162	1.85	89.29
T6	8	162	4.94	71.41

由图1可知,在茄子产量方面,无论秸秆与菌肥是否富集培养,茄子产量均随着秸秆量的增加呈先增后减的趋势。这可能与秸秆量过高影响土壤呼吸以及有机质的分解降低有关。此外,秸秆-菌肥富集培养处理的产量高于对照和未富集培养,这可能与富集培养对茄子枯萎病的防效较高有关。秸秆与菌肥协同配施,均以中量秸秆处理增产效果最佳,其中T5处理的产量最高,每公顷产量比CK提高了13.81%。

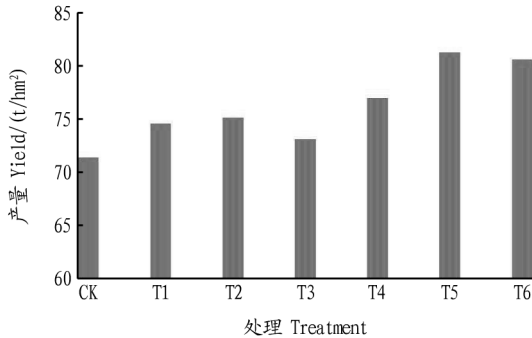


图1 秸秆与菌肥配施对设施茄子产量的影响

Fig. 1 Effect of combined application of straw-bacterial fertilizer on yield of eggplant

3 讨论

设施栽培条件下,土壤的通气透水性较差,易破坏土壤结构,导致土壤板结,从而影响作物生长。大量研究发现,随着设施蔬菜连作年限的增加,以及不合理的施肥习惯,土壤氮磷钾含量严重超标,养分失衡,作物的生长受到限制^[21-23]。李元梅等^[24]研究发现,单栋连作大棚种植同一种茄子多年后,土壤水溶性盐、全磷含量和电导率均升高。该研究发现,经过连续9年的设施茄子连作栽培,对照处理土壤碱解氮、有效磷和速效钾的含量均超过了养分分级标准中“极丰”的范畴,说明该试验点土壤养分含量过高,且土壤含盐量达到了中度盐碱化水平,不利于作物的生长和养分吸收。生物菌肥作为一种新型的土壤改良材料,对改善土壤理化性状,增强作物抗病能力具有良好的效果。孙红霞等^[25]通过研究EM生物制剂对茄子抗连作障碍的试验发现,EM生物制剂

和猪粪配施提高了土壤中微生物的数量,加速了有机物分解与转化,从而提高了土壤速效养分含量。张爱冬等^[26]通过土壤修复菌剂对设施茄子土壤理化性质的影响发现,不同量的土壤修复菌剂均能提高土壤全氮、铵态氮、速效磷和速效钾的含量,但过高的土壤修复菌剂量处理在硝态氮、速效钾含量上要低于单施常规化肥处理。甘小虎等^[27]研究发现,施用有机生物菌肥相比无机复合肥处理,能提高土壤速效钾、有机质和全氮的含量。这与该研究存在差异,可能存在以下3方面原因:①该研究是菌肥与秸秆协同配施,增加了土壤的孔隙度,提高了土壤的通气透水性,后期水溶肥的施入导致养分往深层渗透,相比对照降低了土壤表层的养分含量;②除对照外,各试验处理均进行了化肥减量方案;③秸秆的腐解需要较长的时间,短期内无法快速提供有机物质,从而造成土壤速效养分含量低于对照。

长期连作导致茄子易发土传病害,如枯萎病、黄萎病、菌核病等。该研究以试验区高发的枯萎病为例,通过调查植株发病率,反映不同处理的防治效果。张琴等^[28]研究发现,相比空白对照,施用15 000 kg/hm²土壤修复剂可使茄子枯萎病、青枯病的发病率降低24.6%。赖文全等^[29]研究发现,在重茬茄子上施用复合微生物菌肥可减少枯萎病的发生率,促进茄子生长发育。该研究发现,秸秆-菌肥协同配施可使茄子枯萎病发病率降低,其中T5处理的防效达89.29%。可能是因为生物菌肥在秸秆和有机肥的富集培养下,有益菌不断繁殖,从而抑制枯萎病病原菌的繁殖,导致枯萎病的发病率降低。

连作障碍不仅影响着土壤理化性质和土传病害,对作物的产量和品质也有不同程度的降低。杨静等^[30]研究发现,多年连作和长期施用化肥导致番茄产量下降,品质降低,病害加重。曲红云^[31]研究发现,随着连作年限的增加,茄子品质呈降低趋势。连作2、5、8年的茄子产量分别降低26.56%、58.05%和64.65%。大量研究表明,土壤微生物与植物之间存在着相互作用的关系,当肥料用量超过一定范畴,产量往往呈下降趋势^[32-36]。该研究发现,在化肥减量前提下,不论秸秆与菌肥是否富集培养,均以9 000 kg/hm²水稻秸秆量处理对茄子产量提升的效果最佳。

4 结论

为有效缓解设施连作障碍对茄子产量和品质的影响,改善土壤微生态环境,该试验设置秸秆-菌肥富集培养和未富集培养2个模式,通过研究不同秸秆量与生物菌肥协同配施处理,对土壤理化性质、枯萎病防治效果及产量的影响。结果表明,对照区土壤经过9年长期连作养分含量和盐分严重超标,通过化肥减量以及秸秆-菌肥配施处理,改良土壤结构,后期水溶肥部分深层渗透,处理区碱解氮、有效磷、速效钾和含盐量相比对照均有不同程度降低,有效改善表层土壤养分结构和盐分。秸秆-菌肥富集培养处理茄子枯萎病发病率低于未富集培养和对照,且以9 000 kg/hm²秸秆量配施菌肥处理防效最明显,为89.29%。该处理下的茄子产量也最高,说明秸秆还田量并非越多越好,而是中量秸秆与菌肥富

集培养处理对茄子产量提升效果最明显。

参考文献

- [1] 徐佩玉. 拎稳“菜篮子”, 给设施农业升级[N]. 人民日报, 2023-03-09 (011).
- [2] 刘书哲. 设施蔬菜土壤障碍因子调查与影响因素分析: 以苏州市为例[D]. 南京: 南京师范大学, 2020.
- [3] 梅沛沛, 袁亚钦, 朱晓天, 等. 大棚番茄连作障碍的生物学防治探讨[J]. 河南农业, 2015(24): 43-45.
- [4] 孙兴全, 陈捷, 樊泽澍, 等. 浅析崇明设施大棚西瓜连作障碍的原因与对策[J]. 安徽农学通报, 2010, 16(22): 81, 94.
- [5] 夏月明, 朱玉萍, 吴明兴, 等. 夏季大棚水芹连作障碍防治技术研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(1): 158-160.
- [6] 王仪炸. 大棚设施连作栽培的土壤障碍因子及其治理技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2009.
- [7] 陈杰. 茄子种质资源遗传亲缘关系的 RAPD 分析[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- [8] 陈云林. 盐城市盐都区草莓连作障碍原因调查及防治技术[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [9] 胡海军, 吴亚男, 鄂洋, 等. 设施园艺连作障碍研究进展[J]. 安徽农学科学, 2016, 44(5): 49-51.
- [10] 王长义, 郝振萍, 陈丹艳, 等. 设施土壤连作障碍产生原因及防治方法综述[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(8): 1-6.
- [11] 孙光闻, 陈日远, 刘厚诚. 设施蔬菜连作障碍原因及防治措施[J]. 农业工程学报, 2005, 21(S2): 184-188.
- [12] 杭太升. 连栋大棚瓜菜连作障碍成因分析及快速防控技术[J]. 蔬菜, 2017(12): 22-24.
- [13] 陈钰辉. 北京地区茄子枯萎病原菌鉴定及抗病种质资源筛选[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [14] 董章勇, 罗梅, 向梅梅. 茄科尖孢镰刀菌 3 个专业化型细胞壁降解酶的比较[J]. 广东农业科学, 2017, 44(5): 112-117.
- [15] 张燕燕, 柏广利, 孙雪花. 茄子枯萎病综合防治技术[J]. 江苏农村经济, 2011(8): 34.
- [16] 朱丹, 张磊, 韦泽秀, 等. 菌肥对青稞根际土壤理化性质以及微生物群落的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(3): 627-637.
- [17] 覃柳燕, 韦莉萍, 李朝生, 等. 11 种生物菌肥对桂蕉 9 号枯萎病室内及田间防效评价[J]. 南方农业学报, 2020, 51(9): 2061-2070.
- [18] 阎世江, 李照全, 张治家. 生物菌肥的研究现状与应用[J]. 北方园艺, 2017(5): 189-192.
- [19] 于会丽, 徐国益, 徐突变, 等. 施用生物菌肥对桃园土壤养分及微生物功能多样性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(6): 91-97.
- [20] 钱锐. 秸秆还田对覆膜春玉米农田土壤有机碳库及温室气体排放的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- [21] 黄绍文, 唐继伟, 张怀志, 等. 设施蔬菜生产全程精准施肥解决方案的制订与实施[J]. 中国蔬菜, 2017(7): 5-8.
- [22] 田雪飞. 辽宁朝阳县设施蔬菜化肥农药减施增效技术培训模式[J]. 农业工程技术, 2018, 38(23): 2, 4.
- [23] 梁伟. 减氮增硅及配施有机肥对设施番茄产量和品质的影响[D]. 太谷: 山西农业大学, 2022.
- [24] 李元梅, 张琪晓, 刘磊磊, 等. 单栋大棚土壤养分、盐分空间分布与茄子产量的关系[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(12): 2548-2551.
- [25] 孙红霞, 武琴, 郑国祥, 等. EM 对茄子、黄瓜连作障碍和增强土壤生物活性的效果[J]. 土壤, 2001, 33(5): 264-267.
- [26] 张爱冬, 刘锦涛, 肖凯, 等. 土壤修复菌剂对设施茄子生长及土壤理化性质的影响[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(7): 65-67, 92.
- [27] 甘小虎, 杨光明, 常义军, 等. 有机生物菌肥在茄子上的应用效果[J]. 南京农专学报, 1998, 14(3): 47-50.
- [28] 张琴, 姚燕来, 郭金伟, 等. 土壤修复剂在茄子江丰 1 号生产中的应用[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(5): 783-784.
- [29] 赖文全, 刘玉丹, 郑洁娟, 等. 复合微生物菌有机肥在重茬茄子上的应用效果研究[J]. 现代农业科技, 2019(17): 73, 75.
- [30] 杨静, 路辉, 王用虎, 等. 连云港市设施番茄连作障碍现状及防控农艺技术[J]. 上海蔬菜, 2015(5): 72-74.
- [31] 曲红云. 不同连作年限下嫁接对茄子生长发育的影响[J]. 中国园艺文摘, 2015, 31(5): 48-49, 91.
- [32] 刘绫. 不同氮肥用量对水稻产量及氮磷钾肥料利用率的影响[J]. 现代农业科技, 2013(15): 26-27.
- [33] 万群, 阳淑, 熊保全. 有机肥和化肥不同配比对番茄产量、品质及土壤养分和微生物的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(14): 158-161.
- [34] 朱建良, 肖石江, 王鑫, 等. 绿色种养循环农业粪肥还田模式初探[J]. 中国农技推广, 2023, 39(4): 81-84, 104.
- [35] 高林旭. 保护地蔬菜常见病害及其防止措施[J]. 西北园艺(蔬菜专刊), 2007(7): 37-38.
- [36] 原保忠, 张卿亚, 别之龙. 不同施肥量对大棚甜瓜产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(12): 32-37.
- [37] 康利允, 常高正, 高宁宁, 等. 不同氮、钾肥施用量对甜瓜养分吸收、分配及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(9): 1758-1770.
- [38] 胡亚朋, 崔政军, 高玉红, 等. 生物有机肥替代部分化肥对旱地胡麻干物质积累及籽粒产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2022, 57(6): 122-130.
- [39] 杨天庆, 高玉红, 牛俊义, 等. 肉蛋白生物有机肥对胡麻干物质积累、产量及品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 128-134.
- [40] 龙昊驰. 生物有机肥的研制及在小麦/玉米上的应用效果[D]. 郑州: 河南农业大学, 2024.

(上接第 133 页)

- [29] 霍光, 化党领, 王镇. 生物有机肥对植烟土壤和烟叶中氮磷钾含量的影响[J]. 湖南农业科学, 2013(3): 47-51.
- [30] 柳文凯, 雷永忠, 王莉, 等. 化肥减量配施生物有机肥对高原夏季露地大白菜生长生理及养分吸收的影响[J]. 江西农业大学学报, 2024, 46(2): 340-355.
- [31] 何娇, 梁巧玲, 靳志锋. 生物有机肥对甜玉米产量·品质和土壤肥力的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(24): 175-177.
- [32] 付丽军, 王永存, 张璐, 等. 生物有机肥部分替代化肥对生姜产量、养分

利用效率及土壤肥力的影响[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(8): 77-83.