

黄瓜秸秆原位还田施用不同菌剂对土壤理化性质、黄瓜生长及产量的影响

卢英昊, 孙艳洁, 史庆华, 任仲海, 陈春花

(山东果蔬优质高效生产协同创新中心·农业农村部黄淮海地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室·
山东农业大学园艺科学与工程学院 山东泰安 271018)

摘要: 采用田间试验方式, 研究黄瓜秸秆不还田、秸秆还田不加菌剂(秸秆)及使用不同菌剂(菌剂1: 枯草芽孢杆菌、贝莱斯芽孢杆菌、黑曲霉和东方木霉复合颗粒菌剂; 菌剂2: 胶冻芽孢杆菌、沼泽红假单胞菌、枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌和寡雄菌复合水剂)对薄膜连栋温室黄瓜土壤理化性质及植株生长和产量的影响。结果表明, 与对照(黄瓜秸秆不还田且不加菌剂)相比, 各处理的土壤速效养分含量、土壤酶活性、黄瓜产量均有所提高, 菌剂2处理增产19.00%, 秸秆还田处理增产18.65%, 而菌剂1处理与对照相比, 产量略有提高。以上结果表明, 黄瓜秸秆还田改良效果表现为菌剂2>秸秆>菌剂1>对照(CK)。综上, 黄瓜秸秆废弃资源利用可提高土壤有机质及速效养分含量, 增强土壤酶活性, 优化黄瓜根系生长环境, 从而提高黄瓜产量。

关键词: 黄瓜; 秸秆还田; 菌剂; 植株生长; 产量; 土壤肥力

中图分类号: S642.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)09-116-06

Effects of in-situ returning of cucumber straw with different microbial inocula on soil physicochemical properties, cucumber growth and yield

LU Yinghao, SUN Yanjie, SHI Qinghua, REN Zhonghai, CHEN Chunhua

(Shandong Collaborative Innovation Center for High-quality and Efficient Production of Fruits and Vegetables/Key Laboratory of Horticultural Crop Biology and Germplasm Innovation in Huang-Huai-Hai Area, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/College of Horticultural Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China)

Abstract: Field experiments were conducted to investigate the effects of not returning cucumber straw to the field, returning straw without microbial inoculum (straw) and the use of two different fungal agents on the physicochemical properties of cucumber soil, plant growth, and yield in a multi-span film greenhouse. Microbial inoculum 1 consisted of *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Aspergillus niger*, and *Trichoderma orientalis*, while microbial inoculum 2 comprised *Bacillus jelly*, *Pseudomonas swamp*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, and *pythium oligadrum* composite water agent. The results showed that compared to the control group (cucumber straw not returned to the field and no microbial inoculum added), all treatments led to an increase in soil available nutrient content, soil enzyme activity, and cucumber yield. The yield increased by 19.00% with microbial inoculum 2 treatment and by 18.66% with straw treatment. Although the yield with microbial inoculum 1 treatment was slightly higher, there was no significant difference compared to the control. Therefore, the improvement effect of cucumber straw returning followed the order: microbial inoculum 2 > Straw > microbial inoculum 1 > Control (CK). In conclusion, the use of cucumber straw waste resources is feasible, which can enhance soil organic matter and available nutrients content, improve soil enzyme activity, optimize the growth environment for cucumber roots, ultimately leading to increased cucumber yield.

Key words: Cucumber; Straw returning; Microbial inoculum; Plant growth; Yield; Soil fertility

收稿日期: 2023-11-13; 修回日期: 2024-01-31

基金项目: 聊城市重点研发计划项目(2021LZ04); 冠县乡村振兴科技合作基金项目(GXJJ2020-06); 山东省蔬菜产业技术体系(SDAIT-05)

作者简介: 卢英昊, 男, 硕士, 主要从事黄瓜生理方面的科学研究工作。E-mail: 18266526032@163.com

黄瓜是设施栽培中的主要蔬菜之一。据联合国粮食及农业组织统计,2022年我国黄瓜种植面积为131.15万 hm^2 ,占全世界比重的60.32%,总产量为7730.73万t,占全世界比重的81.62%,生产规模及产量均位居世界第一。随之而来的问题是黄瓜收获后的秸秆数量庞大,无论是常规的焚烧处理还是弃置堆放,往往都会带来严重的环境污染,造成资源浪费,制约蔬菜产业的可持续发展。同时,设施内蔬菜连年种植,土壤生态环境遭到破坏,严重制约作物的生长发育。研究表明,秸秆腐熟后能使残留农药降解,且可以对化感物质进行分解,是对秸秆进行无害化处理的有效方式^[1]。另外,秸秆作为农作物的生物副产物,即使收获了农产品,其中也依然含有丰富的氮、磷、钾等作物生产所必需的营养元素^[2]。利用秸秆还田措施,一方面可改良设施土壤理化性质,另一方面可解决环境污染问题^[3]。

在自然条件下秸秆分解腐化是由环境中细菌、真菌等各种微生物导致的,腐化分解缓慢,释放养分的速度跟不上作物快速生长的需求,且秸秆长时间残留在土壤耕层,会加速地下害虫孵化,土壤碱化度提高,严重影响后茬作物生长^[4]。而秸秆快速腐熟剂作为根据微生物的营养机制而制成的复合菌剂,是一种能加速秸秆等有机物料分解、腐熟的生物活体制剂,可提高秸秆中的养分释放和利用效率,且使用成本低、操作简单,应用前景广阔^[5]。因此,秸秆还田中配施菌剂的方法将是目前秸秆还田处理中简单且高效的方法,找出最适合的菌剂也是目前主要的研究方向。

土壤的pH、EC值、有机质含量、碱解氮含量等是衡量设施土壤理化性质健康状态的重要化学指标^[6]。肖健等^[7]研究发现,通过对还田前的秸秆进行菌剂处理后施入田中,土壤的pH值、有机质和碱解氮含量均有所提高,土壤理化性质得到改善。在衡量土壤肥力的指标中,土壤酶活性起着关键作用^[8]。庞荔丹等^[9]研究发现,秸秆还田可以提高土壤酶活性,优化黄瓜根系生长环境,对土壤肥力也会有明显改善,从而使黄瓜植株更健壮,进而提高黄瓜产量。宋佳泽等^[10]研究发现,秸秆还田可以改善土壤肥力和土壤结构,促使黄瓜在各个生长时期中的各项生理指标都有所提高,促进黄瓜的生长发育,进而使黄瓜产量得到提高。性状良好的设施土壤能够为黄瓜提供优良生长环境,提高根系活力,间接影响黄瓜的叶面积、茎粗、株高等生长指标,保持土壤良好的酶环境,也能为作物的后期生长提供

所需的营养物质,对黄瓜的生长发育起到积极促进作用^[11]。

目前,有关黄瓜秸秆直接还田对黄瓜产量、生长状况及土壤肥力等方面影响的研究鲜见报道。笔者以黄瓜为研究对象,施加秸秆及其配施不同菌剂处理,以黄瓜秸秆不还田不施加菌剂为CK,分析其对黄瓜产量、生长状况和土壤肥力的影响,以期研究黄瓜秸秆直接还田的可行性,为促进蔬菜秸秆废弃资源利用和设施蔬菜的可持续生产提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于2022年7月至2023年9月在山东省聊城市山东鑫丰种业股份有限公司薄膜连栋温室进行,属温带大陆性季风气候,年均气温13.5℃,全年日照2567h,年均降水量540.4mm。该试验田常年黄瓜连作。

1.2 材料

供试黄瓜品种为科涵106,属华北型黄瓜,种子购自山东省聊城市冠县绿丰源蔬菜合作社,所种植嫁接苗由山东鑫丰种业股份有限公司培育。肥料:氮磷钾平衡肥[(N+P₂O₅+K₂O)含量(w,后同)≥20%;(Mn+Zn+B)含量0.5%~3.0%,哈尔滨粒粒强勒作物营养有限公司生产],购自山东省聊城市莘县长海农业科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 采用完全随机设计,共设4个处理,分别为黄瓜秸秆不还田不施加菌剂(CK)、黄瓜秸秆原位还田不施加菌剂(秸秆)、黄瓜秸秆原位还田并施加菌剂1(枯草芽孢杆菌、贝莱斯芽孢杆菌、黑曲霉和东方木霉复合颗粒菌剂,自主研发)、黄瓜秸秆原位还田并施加菌剂2(胶冻芽孢菌、沼泽红假单胞菌、枯草芽孢杆菌、地衣芽孢菌和寡雄菌复合水剂,来自山东湛蓝生物有限公司)。各处理均设3次重复,小区使用随机区组排列,小区面积为66.7m²定植210棵,每小区间设宽1m隔离带,防止串水串肥。

黄瓜秸秆原位还田方法:将在薄膜连栋温室种植4个月拉秧的黄瓜秸秆,利用粉碎机粉碎成1~2cm的碎段,然后晾晒风干,均匀撒入地里。

菌剂施加方法:

菌剂1:菌剂50g,加1kg红糖,对水10kg静置24h制成腐熟液,每667m²地用腐熟液5kg,均

匀泼洒;

菌剂2:菌剂1 kg,加1 kg 红糖,对水4 kg 静置24 h 制成腐熟液,每667 m²地用腐熟液5 kg,均匀泼洒。

在黄瓜秸秆原位还田并施用菌剂后,高温闷棚20 d,于2022年7月13日种植黄瓜种苗,种植方式与当地习惯保持一致,大垄双行,垄宽70 cm,垄上种植2行,行距为60 cm,垄间行距为120 cm,株距为35 cm。各处理只在苗期冲施氮、磷、钾复合肥10 kg·667 m⁻²。其他管理按生产上常规进行。

1.3.2 土壤样品采集 以五点采样法采集土壤样品,在结果末期(2022年9月26日)于垄上2株黄瓜正中位置采集0~20 cm 耕层土壤用于土壤养分和土壤酶活性的测定。

1.3.3 测定指标及方法 植物生长状况测定:随机选择30株黄瓜植株,统计其单株的叶片数;使用游标卡尺测量茎粗(单位mm,地面以上第2个节位),使用卷尺测量株高(单位cm,距离为地面到植株生长点);选取顶部第2片完全展开的功能叶,在上午9:00~10:00,测量叶绿素相对含量(SPAD)。

土壤理化性质测定:参考鲍士旦^[12]的方法,采用电极法测定pH(水土质量比为1:2.5);采用电导仪

测量EC值;采用重铬酸钾外加热法测定有机质含量;采用碱解扩散法测定碱解氮含量;采用钼锑抗比色法测定速效磷含量;采用火焰光度计法测定速效钾含量。采用苯酚钠比色法测定土壤脲酶活性;采用高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶活性;采用硝基水杨酸法测定蔗糖酶活性。

产量测定:果实成熟后开始采摘,分小区分批记录,称质量获得各小区产量,共测20 d。

1.4 统计分析

采用Excel 2021进行数据整理和作图;采用DPS 9.01对数据进行统计分析;采用Duncan's 新复极差法进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同菌剂处理进行黄瓜秸秆原位还田对土壤酶活性的影响

由表1可知,土壤过氧化氢酶活性在不同处理间没有显著性差异。不同菌剂处理下土壤脲酶活性差异不显著,菌剂2略高于菌剂1,且均显著高于CK和只添加秸秆的处理,而CK与只添加秸秆处理之间无显著差异。不同菌剂处理下,土壤蔗糖酶活性差异不显著,菌剂2略高于菌剂1,且均显著高

表1 黄瓜秸秆原位还田对土壤酶活性的影响

Table 1 Effect of cucumber straw returning to field in situ on soil enzyme activity

处理 Treatment	过氧化氢酶活性 Catalase activity/($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)	脲酶活性 Urease activity/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)	蔗糖酶活性 Sucrase activity/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)
CK	37.26±0.97 a	120.99±4.18 b	21.36±1.41 c
秸秆 Straw	38.16±2.68 a	129.01±37.89 b	26.98±1.31 b
菌剂1 Microbial inoculum 1	36.15±1.27 a	188.24±5.72 a	34.74±1.52 a
菌剂2 Microbial inoculum 2	41.48±11.82 a	237.48±55.46 a	36.66±3.23 a

注:不同小写字母表示处理间在0.05水平存在差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatment at 0.05 level. The same below.

于CK和只添加秸秆的处理,只添加秸秆处理的土壤蔗糖酶活性显著高于CK。以上结果表明,不同菌剂处理对土壤酶活性无负面作用,均可以不同程度地提升土壤脲酶和蔗糖酶活性。

2.2 不同菌剂处理进行黄瓜秸秆原位还田对土壤理化性质的影响

由表2可知,使用菌剂与不使用菌剂进行秸秆还田的处理之间比较,土壤pH值存在显著差异。CK和各菌剂处理的土壤pH值均显著高于只添加秸秆的处理,菌剂1处理与CK相比土壤pH值显著下降,而菌剂2则与CK相比无显著差异。菌剂处理土壤EC值与CK差异显著,菌剂2处理土壤

EC值与秸秆处理差异显著,而秸秆处理土壤EC值与CK差异不显著,菌剂1处理土壤EC值与秸秆处理差异不显著,不同菌剂处理间土壤EC值差异不显著。只添加秸秆处理和各菌剂处理的土壤有机质含量均显著高于CK,且菌剂2的土壤有机质含量显著高于菌剂1。与CK相比,只添加秸秆处理和两种菌剂处理均可提高土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量,其变化趋势与土壤EC值变化趋势一致。以上结果表明,与CK相比,不添加菌剂进行黄瓜秸秆原位还田会使土壤pH值显著降低,不同菌剂的添加则会使土壤pH值出现不同程度的回升。另外,与CK相比,施用2种菌剂进行黄瓜秸秆还田

表2 黄瓜秸秆原位还田对土壤理化性状的影响

Table 2 Effects of cucumber straw returning to field in situ on soil physicochemical properties

处理 Treatment	pH	EC 值 Electrical conductivity value/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	w(有机质) Organic matter content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(碱解氮) Alkaline N content/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(速效磷) Rapid available P content/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(速效钾) Rapid available K content/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
CK	7.44±0.069 a	868.00±102.73 c	12.56±0.62 c	274.05±16.67 c	26.55±2.91 b	54.72±2.35 c
秸秆 Straw	6.73±0.057 c	974.80±103.51 bc	16.01±0.39 ab	330.58±8.84 b	33.66±1.62 b	61.86±3.00 b
菌剂 1 Microbial inoculum 1	7.13±0.032 b	1 224.25±129.74 ab	15.12±0.17 b	346.33±5.92 b	49.92±2.55 a	73.92±2.20 a
菌剂 2 Microbial inoculum 2	7.35±0.039 ab	1 357.40±70.13 a	17.81±0.20 a	445.20±13.56 a	55.65±1.47 a	78.83±2.55 a

均可显著提高土壤 EC 值、有机质含量及速效养分含量,且菌剂 2 对土壤理化性质的改良效果要优于菌剂 1。

2.3 不同菌剂处理进行黄瓜秸秆原位还田对黄瓜生长指标的影响

由表 3 可知,秸秆还田添加不同菌剂处理间黄瓜茎粗、叶片数和叶绿素相对含量均无显著差异,但株高差异显著。其中,以使用菌剂 2 处理的黄瓜植株

最矮,比 CK 减少了 14.62%,且不同菌剂处理黄瓜植株的茎粗、叶片数和叶绿素相对含量均低于 CK。以上结果说明,菌剂的施加抑制了黄瓜的营养生长。

2.4 不同菌剂处理进行黄瓜秸秆原位还田对黄瓜产量的影响

由表 4 可以看出,使用菌剂处理黄瓜直径显著大于 CK,只添加秸秆处理黄瓜直径与 CK、菌剂 1 处理均无显著差异,两种菌剂处理间黄瓜直径无显著

表3 黄瓜秸秆原位还田对黄瓜生长指标的影响

Table 3 Influence of cucumber straw returning to field in situ on cucumber growth index

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	叶片数 Number of leaves	叶绿素相对含量 Chlorophyll relative content/SPAD
CK	127.10±10.37 a	10.76±0.78 a	16.50±0.97 a	24.66±3.43 a
秸秆 Straw	128.90±9.97 a	10.46±0.82 a	16.43±1.04 a	20.95±2.55 c
菌剂 1 Microbial inoculum 1	119.07±6.93 b	10.49±0.93 a	15.93±1.34 a	21.78±2.20 bc
菌剂 2 Microbial inoculum 2	107.48±6.81 c	10.34±0.85 a	15.97±0.96 a	22.57±3.29 b

表4 黄瓜秸秆原位还田对黄瓜瓜条及产量的影响

Table 4 Effects of cucumber straw returning to field in situ on cucumber melon strips and yield

处理 Treatment	黄瓜直径 Cucumber diameter/cm	黄瓜瓜长 Cucumber length/cm	单瓜质量 Single fruit mass/g	20 d 单株产量 Single plant yield at 20 d/g
CK	3.15±0.14 c	33.53±1.68 b	228.91±30.34 b	1 018.17 b
秸秆 Straw	3.20±0.17 bc	33.84±2.12 ab	247.45±31.13 ab	1 208.06 a
菌剂 1 Microbial inoculum 1	3.35±0.16 a	34.68±1.45 ab	260.52±39.41 a	1 086.39 b
菌剂 2 Microbial inoculum 2	3.30±0.14 ab	35.47±2.39 a	263.23±40.34 a	1 211.66 a

差异;仅菌剂 2 处理黄瓜瓜长与 CK 差异显著,其他处理间瓜长无显著差异;两种菌剂处理单瓜质量与 CK 差异显著,其他处理间差异不显著。与 CK 相比,秸秆处理增产 18.65%,菌剂 2 处理显著增产 19.00%,而菌剂 1 处理与 CK 相比差异不显著。以上结果表明,利用适宜的菌剂处理进行秸秆还田可以获得较高的产量。

3 讨论与结论

秸秆还田可以改善土壤理化性质^[13],调节土壤

pH 值,使酸性土壤 pH 值升高,碱性土壤 pH 值降低。笔者在研究中发现,秸秆处理的土壤 pH 值与空白 CK 相比显著降低,这和郝中宇等^[14]的研究结果一致。而菌剂 1 处理和菌剂 2 处理的土壤 pH 值回升到与空白 CK 相近的水平,可能是因为菌剂通过补充土壤磷、钾含量来调节土壤 pH 值为弱碱性^[15]。

李辛等^[16]研究发现,秸秆还田能显著提高土壤有机质、速效磷、速效钾含量。秸秆中含有丰富的氮、磷、钾等作物生产所必需的营养元素^[2],合适的菌剂会加速其分解成速效养分^[17],笔者的研究结果

与其相符。秸秆还田后施加菌剂会使土壤有机质含量升高^[18]。笔者的研究表明,菌剂1处理的土壤有机质含量低于秸秆处理,可能是因为菌剂1对秸秆的分解效果不好。

张思雨^[19]研究表明,有机质和菌剂的施加会改变土壤EC值。笔者的研究结果显示,与CK相比,秸秆还田处理后土壤EC值大幅增长,其趋势和速效氮、磷、钾含量的趋势一致,说明在秸秆还田后土壤中的速效氮、磷、钾大幅升高,带动土壤EC值增高。

土壤酶是土壤的重要组成部分,在一定程度上可反映土壤肥力状况。其中,土壤脲酶活性可表征微生物代谢氮素的能力,反映土壤微生物活力^[20];蔗糖酶活性与土壤有机质含量紧密相关,能表征土壤肥力状况^[21]。笔者的研究表明,与CK相比,添加不同菌剂进行秸秆还田后土壤脲酶和蔗糖酶活性均显著提高,表明土壤肥力状况得到显著改善。过氧化氢酶是过氧化物酶体的标志酶,约占过氧化物酶总量的40%,且几乎每一种生物体中都含有该物质^[22]。本试验结果显示,各处理之间过氧化氢酶活性无显著差异,这与刘芳等^[23]的研究结果一致。

杨小玲等^[24]研究结果显示,良好的土壤理化性质会提高黄瓜的各项生长指标。本研究结果表明,不同菌剂处理下进行秸秆还田处理,菌剂2处理的黄瓜植株最矮,比空白CK减少了14.62%,差异显著;且不同菌剂处理进行黄瓜秸秆还田虽对黄瓜茎粗、叶片数和叶绿素相对含量无显著影响,但与空白CK相比也有不同程度下降。可能是因为测量株高时,黄瓜已到初花期开始坐果^[25],而不同菌剂处理的黄瓜收获期要比秸秆处理和空白CK早3~4d,所以不同菌剂处理的植株较矮可能是由于生殖生长抑制了营养生长^[26]。

本研究结果表明,菌剂处理与空白CK相比,黄瓜直径和单瓜质量均显著增加。前人研究表明,秸秆还田对黄瓜产量的提升效果取决于土壤地力水平^[27],良好的土壤地力条件不仅能增加黄瓜的短期收获量,还能延长黄瓜的收获期^[28],而菌剂2处理与秸秆处理之间、菌剂1处理与空白CK之间在收获期的短时间产量虽差异不大,但不同菌剂处理的黄瓜收获期要比秸秆处理和空白CK长,即菌剂2处理下进行秸秆还田的黄瓜总产量会高于其他处理。另外,笔者研究发现,所有黄瓜秸秆原位还田处理组的黄瓜产量与空白CK相比均获得了不同程

度升高,可以证明黄瓜秸秆原位还田可以使黄瓜产量升高,而菌剂1处理的黄瓜产量明显低于秸秆处理和菌剂2处理,可能是因为菌剂1内部菌株的大量繁殖,抑制了土壤中原有的优势菌群,破坏了原有的土壤生态群落平衡,反而降低了根系生物量,影响了黄瓜产量^[29]。再结合菌剂2处理的产量高于其他处理这一结果,可以证明黄瓜产量是受到黄瓜秸秆原位还田和菌剂共同作用的,合适的菌剂和秸秆相辅相成,共同促进黄瓜产量的增长。

综上所述,黄瓜秸秆原位还田配施菌剂2表现最佳。研究结果证明了黄瓜秸秆原位还田方案的可行性,为促进蔬菜秸秆废弃资源利用和设施蔬菜的可持续生产提供了参考依据。

参考文献

- [1] 郝树芹,陈强,丁超武,等.设施番茄秸秆还田关键技术及其在黄瓜优质高产栽培中的应用[J].中国瓜菜,2023,36(2):112-116.
- [2] 李潇雅,陈晓璐,张大龙,等.蔬菜秸秆还田对日光温室黄瓜连作土壤理化性状及植株生长和产量的影响[J].山东农业科学,2021,53(11):88-93.
- [3] 陈月桂,陈学好,张翠玲,等.玉米青秸秆还田生物修复设施土壤技术[J].长江蔬菜,2023(7):57-59.
- [4] 魏龙雪,裴艳婷,张书良,等.玉米秸秆还田配施腐熟剂对冬小麦生长和产量的影响[J].安徽农业科学,2023,51(6):25-27.
- [5] 陈娟,易婷,叶英林,等.秸秆腐熟剂的研究进展及发展趋势[J].湖南农业科学,2021(2):108-110.
- [6] 赵颖,董环,刘爱群,等.玉米秸秆腐熟还田对设施番茄产量品质及土壤理化性质的影响[J].北方园艺,2023(3):43-50.
- [7] 肖健,王娜,杨会娜,等.秸秆还田对土壤理化性状和土壤微生物的影响[J].现代农业科技,2023(5):166-168.
- [8] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,等.长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J].植物营养与肥料学报,2003,9(4):406-410.
- [9] 庞荔丹,孟婷婷,张宇飞,等.玉米秸秆配氮还田对土壤酶活性、微生物量碳含量及土壤呼吸量的影响[J].作物杂志,2017(1):107-112.
- [10] 宋佳泽,李明,胡云,等.秸秆还田方式对设施黄瓜生长的影响[J].农业与技术,2019(23):74-77.
- [11] 聂鑫磊.秸秆还田方式对设施黄瓜生长及其相关土壤因子的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2020.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [13] 谢鹰飞,宋梦圆,姜伟,等.茄果类蔬菜秸秆原位还田对设施土壤综合质量的影响[J].农业工程学报,2023,39(18):111-122.
- [14] 郝中宇,李立平,韩科,等.植物残体施用对土壤性质的影响研究[J].绿色科技,2022,24(12):121-124.
- [15] 曾维军,王晶,杨彝华,等.印度块菌成熟期菌塘土壤营养与微生物多样性变化的研究[J].西部林业科学,2022,51(4):26-33.
- [16] 李辛,孟繁君,向阳,等.玉米秸秆还田对黑土速效养分和物理性质影响[J].农业开发与装备,2022(9):165-167.
- [17] 王红儒,王继红.复合菌剂对秸秆还田下的黑土性质的影

- 响[J/OL].吉林农业大学学报:1-8[2023-07-06].<https://doi.org/10.13327/j.jjlau.2023.20146>.
- [18] 樊海丹,吕卫光,褚向乾,等.秸秆促腐菌剂对稻麦轮作土壤养分变化特征的影响[J].生态与农村环境学报,2023,39(3):386-393.
- [19] 张思雨.新型炭基微生物菌剂制备与试验研究[D].黑龙江大庆:黑龙江八一农垦大学,2023.
- [20] 于跃跃,郭宁,闫实,等.有机肥替代化肥对土壤肥力和玉米产量的影响[J].中国土壤与肥料,2021(3):148-154.
- [21] 谢洪宝,于贺,陈一民,等.秸秆深埋对不同氮肥水平土壤蔗糖酶活性的影响[J].中国农学通报,2021,37(24):79-83.
- [22] 刘立伟,光辉,叶姗,等.退化湿地土壤酶活性分析[J].安徽农学通报,2021,27(10):134-138.
- [23] 刘芳,王明娣,刘世亮,等.玉米秸秆腐解对石灰性褐土酶活性和有机质质量分数动态变化的影响[J].西北农业学报,2012,21(4):149-153.
- [24] 杨小玲,仝雅娜,华明艳,等.基于高肥力设施土壤蔡-18菌液替代化肥对黄瓜生长与土壤生态的影响[J].华北农学报,2020,35(4):153-160.
- [25] 程陈,冯利平,薛庆禹,等.日光温室黄瓜生长发育模拟模型[J].应用生态学报,2019,30(10):3491-3500.
- [26] 李彦连,张爱民.植物营养生长与生殖生长辩证关系解析[J].中国园艺文摘,2012,28(2):36-37.
- [27] 张晓伟,杨显贺,车豪杰,等.腐熟玉米秸秆对设施土壤环境及黄瓜产量和品质的影响[J].应用生态学报,2023,34(5):1290-1296.
- [28] 郭欣华.黄瓜高产植保和营养解决方案[J].江西农业,2017(7):35-36.
- [29] 杨冬艳,桑婷,王丹,等.番茄秸秆不同还田方式对黄瓜和西瓜幼苗生长的影响[J].北方园艺,2023(23):53-59.