

张京社,陈园园,阎世江. 多年秸秆覆盖对设施蔬菜土壤养分及微生物多样性的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(8):217-222.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.08.031

多年秸秆覆盖对设施蔬菜土壤养分及微生物多样性的影响

张京社¹, 陈园园¹, 阎世江²

(1. 山西农业大学食品科学与工程学院, 山西太原 030031; 2. 山西农业大学园艺学院, 山西太原 030031)

摘要: 秸秆覆盖是一项新兴的农田覆盖技术,与地膜覆盖相比较具有蓄水保墒、提高土壤肥力、减缓土壤温度随季节性变化产生变化的优势。探究长期秸秆覆盖对土壤养分、蔬菜产量、土壤微生物多样性的影响,对于设施蔬菜生产具有重要意义。选取连续 6 年种植越冬茬蔬菜的日光温室,采用番茄—黄瓜轮作方式,设地膜覆盖(CK)、秸秆覆盖 2 个处理,调查土壤养分含量及蔬菜产量。采用高通量测序方法分析土壤微生物丰度(16S rDNA 基因拷贝数)、 α 多样性和 β 多样性,分析主要功能种群的丰度在处理间的差异。结果发现,秸秆覆盖处理使土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量及 EC 值上升,使 pH 值趋于中性,提高土壤养分含量,对蔬菜生长发育有利,进一步使蔬菜产量上升;采用塑料地膜覆盖处理,有机质含量基本不变,全氮、有效磷、速效钾含量上升缓慢,EC 值下降,pH 值上升。秸秆覆盖处理后土壤微生物的拷贝数达 2 305 个,地膜覆盖处理达 1 985 个,经 α 多样性分析发现,秸秆覆盖处理的 Shannon 指数达 8.9,地膜处理达 8.5。 β 多样性分析发现,地膜覆盖处理、秸秆覆盖处理后的微生物群落种类、丰度均不同,说明多年来的不同覆盖处理改变了微生物群落结构,两者出现分离。2 个处理得到的土壤微生物主要有伽玛变形杆菌门、 α 变形杆菌门、拟杆菌门、变形杆菌门、分组 6 门、红温病门、厌食线虫科、宝石单胞菌门及其他,与 CK 相比,除厌食线虫科及其他微生物外,秸秆覆盖处理的 8 种微生物的相对丰度均较地膜覆盖处理的高。10 个丰度较高的功能种群中,发酵作用的丰度最高,2 个处理分别达 20.21%、25.24%;化能异养和固氮作用种群的丰度次之,为 8.57%~11.00%;叶绿体固氮、硝化作用、硝酸盐还原、光养作用、亚硝酸盐氧化、光养作用的丰度在 10% 以下;另外有 11%~24% 的功能尚不明确。表明秸秆覆盖提高了土壤养分、蔬菜产量及土壤中微生物的数量和多样性,减少白色污染,降低成本,对蔬菜生长有利。

关键词: 秸秆覆盖; 土壤养分; 产量; 微生物; 多样性; 蔬菜; 日光温室

中图分类号: S630.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2023)08-0217-06

农田覆盖是一种重要的农业生产技术^[1-2],可以降低农田水分无效蒸发,提高用水效率及土壤养

分,我国劳动人民早在 2 000 多年前就开始应用这项技术^[3-5]。20 世纪 50 年代,日本等国家开始推广塑料薄膜覆盖技术,我国于 20 世纪 70 年代从国外引进后进行试验,后在全国开始推广。近年来,在设施蔬菜生产中该技术得到大规模的应用。地膜覆盖具有增温、保墒的作用,但也存在一些问题,如使用之后不易降解、对土壤环境有影响等。秸秆覆盖是一项新兴的农田覆盖技术,是指待作物成熟收获后,将秸秆粉碎后均匀覆盖在土壤表面,以替代塑料地膜的方法,其作用有蓄水保墒、提高土壤

收稿日期:2022-06-01

基金项目:山西省农业综合开发科技推广项目;山西农业大学学术恢复科研专项(编号:2020xshf29)。

作者简介:张京社(1962—),男,山西临猗人,博士,研究员,主要从事设施蔬菜栽培及果蔬采后贮藏保鲜研究。E-mail: jingshez@163.com。

通信作者:阎世江,博士,副研究员,主要从事蔬菜遗传育种研究。E-mail: syauyan@163.com。

subsoil under four fertilization regimes during a wheat growing season [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2016, 216: 116-124.

[19] Sharma S, Singh D K. Temporal variations in diazotrophic communities and *nifH* transcripts level across the agricultural and fallow land at Jaipur, Rajasthan, India [J]. Indian Journal of Microbiology, 2017, 57(1): 92-99.

[20] 孟 晗. 长三角地区土壤不同发育阶段微生物群落结构的变化 [D]. 上海: 复旦大学, 2011.

[21] 李 帆. 不同管理模式对青藏高原高寒草甸土壤中自生固氮微生物群落结构影响的研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2014.

[22] 兰鸿珠, 胡文革, 杨 扬, 等. 艾比湖湿地盐芥木土壤固氮微生物群落结构和丰度的环境异质性特点 [J]. 微生物学通报, 2019, 46(7): 1597-1610.

肥力、减缓土壤温度随季节性变化产生变化等。因此,秸秆覆盖的研究逐步成为学者研究的热点。周茂娟等研究认为,秸秆覆盖能改善辣椒品质^[6];吴兴等研究认为,采用秸秆覆盖能增加结果期辣椒、番茄产量^[7-8];阎世江等研究发现,秸秆覆盖使茄子、黄瓜的产量提高,并改善品质^[9-10]。目前有关秸秆覆盖对作物的影响多集中在上述的几个方面,如对产量、品质的影响,对其深层次的如土壤养分机理的研究少见报道。

土壤存在的微生物较多,这类微生物本身既可以释放养分,同时又能促进作物吸收养分,在作物生长过程中发挥着重要作用^[11-16]。长期采用秸秆覆盖的方法将形成特定的微生物群落^[17]。因此探明不同地面覆盖方式下微生物的多样性,就能揭示秸秆覆盖对土壤环境乃至蔬菜生长影响的机理。而有关秸秆覆盖对土壤微生物多样性影响的研究少见报道。

本研究基于连续多年的蔬菜栽培试验,采用不同的覆盖方式,对土壤进行 16S rDNA 扩增子测序分析,探究微生物的数量、多样性对不同的覆盖方式的响应差异,并结合蔬菜生长、产量、土壤养分,探讨微生物多样性在作物生长中的作用,为蔬菜高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 蔬菜种植

试验在山西省农业科学院东阳试验示范基地(112°40'E,37°59'N)35 号日光温室(长 46 m、跨度 8 m)进行,土壤为褐土,从 2015 年 10 月开始种植越冬茬蔬菜,采用番茄—黄瓜轮作方式,种植安排详见表 1。定植前施用腐熟羊粪 6 m³,设地膜覆盖(CK)及秸秆覆盖 2 个处理,试验小区长 7 m、宽 2 m,面积为 14 m²,随机区组设计,3 次重复,共 6 个小区。地膜覆盖处理:地面采用聚乙烯塑料地膜(厚度 0.01 mm)覆盖;秸秆覆盖:在小区地面上覆盖粉碎后的玉米秸秆,厚度为 5~10 cm,并适当压实,用量为 300 kg/667 m²。待下茬蔬菜施基肥时一同翻入土壤。

1.2 土壤养分含量及产量测定

每茬蔬菜拉秧后(2016 年 8 月 31 日、2017 年 9 月 1 日、2018 年 9 月 11 日、2019 年 8 月 31 日、2020 年 8 月 31 日、2021 年 8 月 22 日)测定土壤养分含量,包含有机质、全氮、有效磷、速效钾含量及土壤

表 1 蔬菜种植安排

定植时间	拉秧时间	蔬菜
2015 年 10 月	2016 年 8 月	番茄
2016 年 11 月	2017 年 8 月	黄瓜
2017 年 11 月	2018 年 8 月	番茄
2018 年 11 月	2019 年 8 月	黄瓜
2019 年 11 月	2020 年 8 月	番茄
2020 年 10 月	2021 年 8 月	黄瓜

电导率(EC 值)、pH 值(均采用吕贻忠等的方法^[18]),并记录蔬菜小区产量,折算为公顷产量。

1.3 DNA 提取和高通量测序

于 2021 年 8 月 31 日,每个小区在耕层土壤采集 5 个样品,混合过 20 目网筛后分成 4 份样品,用于 DNA 提取及 16S rDNA 扩增子测序分析。上述步骤由上海中科新生命生物科技有限公司完成。

1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS 17.0 进行分析,采用 Excel 2010 作图表。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖条件下土壤养分与蔬菜产量

由图 1 可以看出,采用秸秆覆盖的处理,土壤有机质含量从 28.8 g/kg 上升至 31.9 g/kg,地膜覆盖处理上升的幅度较小,基本趋于直线,在 2016 年 8 月 31 日测定时达 23.7 g/kg,在 2021 年 8 月 22 日测定时达 24.9 g/kg。在整个观测期内,秸秆覆盖处理高于地膜覆盖处理。

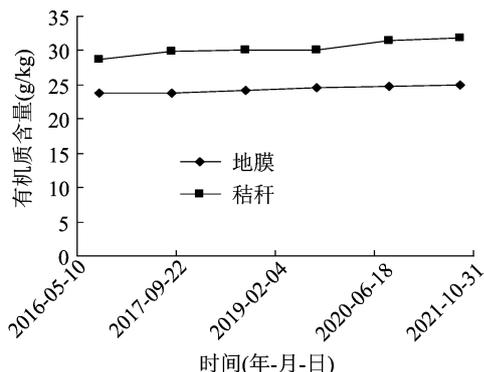


图 1 不同覆盖条件下有机质含量变化

由图 2 可以看出,秸秆覆盖处理的全氮含量在 2016 年 8 月 31 日测定时达 0.150%,之后逐渐上升,在 2017 年 9 月 1 日、2018 年 9 月 11 日、2019 年 8 月 31 日、2020 年 8 月 31 日测定时分别达 0.184%、0.193%、0.215%、0.226%,2021 年 8 月 22 日出现小幅度下降,达 0.221%,在测定的几个阶

段均高于地膜覆盖。地膜覆盖处理在2016年8月31日时仅为0.110%，在2019年8月31日上升至0.191%，之后出现下降，分别达0.181%、0.178%。

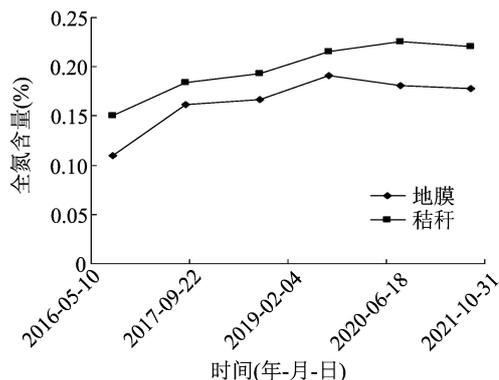


图2 不同覆盖条件下全氮含量变化

由图3、图4可以看出,有效磷、速效钾含量的变化类似,2种覆盖方式下的养分含量均表现出逐渐上升的趋势,秸秆覆盖处理后有效磷含量、速效钾含量在2016年8月31日、2017年9月1日测定时上升速度较慢,在2019年8月31日测定时出现快速上升,之后上升的速度减缓,而地膜覆盖处理有效磷、速效钾含量上升的变化趋势基本表现为斜线,有效磷含量从29.2 mg/kg上升至51.8 mg/kg,速效钾含量从255 mg/kg上升至452 mg/kg。

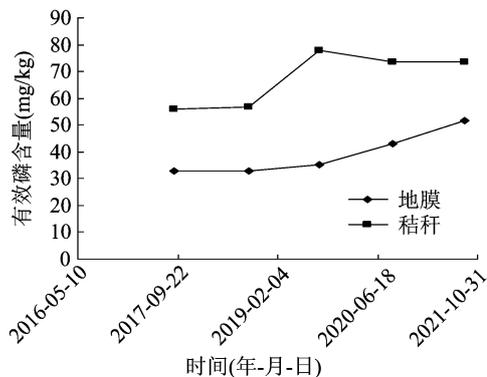


图3 不同覆盖条件下有效磷含量变化

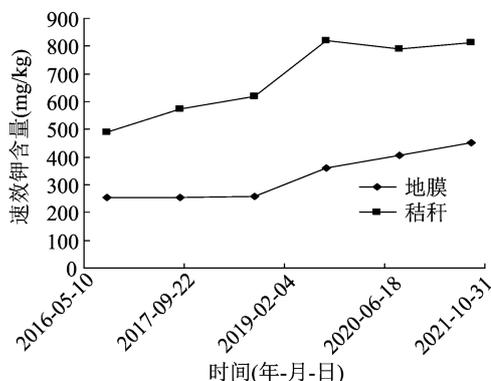


图4 不同覆盖条件下速效钾含量变化

秸秆覆盖处理后全氮含量、有效磷含量、速效钾含量上升,进一步提高土壤EC值。由图5可以看出,秸秆覆盖处理在2016年8月31日、2017年9月1日测定时EC值分别达769、806 $\mu\text{S}/\text{cm}$,与地膜覆盖处理的差异较小,之后明显高于地膜覆盖处理。在地膜覆盖条件下,EC值变化的幅度较小。

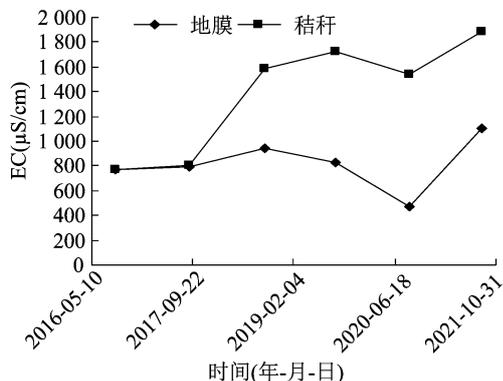


图5 不同覆盖条件下EC值变化

由图6可以看出,从总体上看,地膜覆盖处理pH值表现为缓慢上升的趋势,从7.27上升至7.45,在2020年8月31日出现小幅度的下降。而秸秆覆盖处理pH值逐步下降,在2016年8月31日测定时达7.22,之后下降至7.17,在2018年9月11日、2019年8月31日、2020年8月31日、2021年8月22日测定时在7.15~7.17小幅度波动。说明经过秸秆覆盖处理,土壤呈现低pH值、高EC值型,表明土壤养分充足,但未过剩,有利于蔬菜生长。

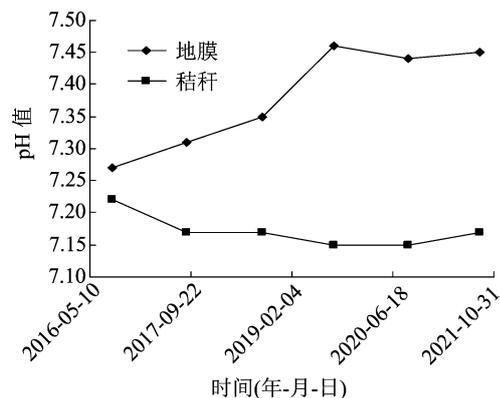
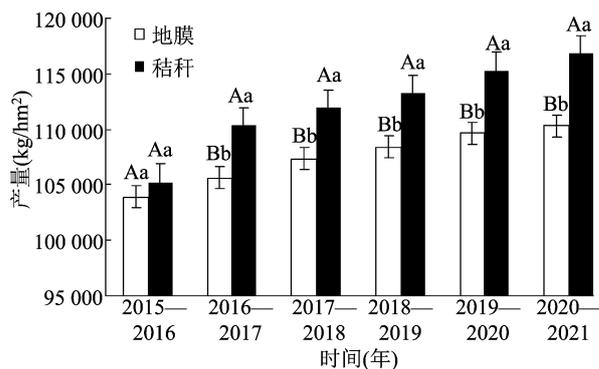


图6 不同覆盖条件下pH值变化

由图7可以看出,在2015—2016年,地膜覆盖产量达103 905 kg/hm^2 ,秸秆覆盖达105 180 kg/hm^2 ,差异不显著。之后2种处理的产量差异较大,其中地膜覆盖处理分别达105 615、107 310、108 375、109 635、110 310 kg/hm^2 ,秸秆覆盖处理达110 310、

111 870、113 205、115 260、116 775 kg/hm²，秸秆覆盖均高于地膜覆盖，增幅分别达 4.45%、4.25%、4.46%、5.13%、5.86%。

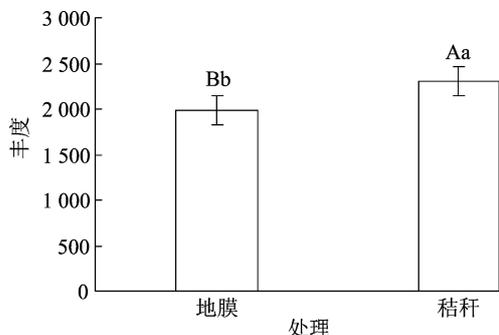


同一处理时间不同小写字母、大写字母分别表示处理间在 0.05、0.01 水平显著

图7 不同覆盖条件下公顷产量变化

2.2 土壤微生物丰度

由图 8 可以看出,不同覆盖处理下土壤微生物的拷贝数有显著性差异,其中地膜覆盖处理达 1 985 个,秸秆覆盖处理达 2 305 个。说明秸秆覆盖显著提高了土壤微生物的丰度。



不同小写字母、大写字母分别表示处理间在 0.05、0.01 水平显著

图8 长期不同覆盖条件下土壤微生物丰度

2.3 α 多样性

进一步进行土壤微生物的 α 多样性分析,结果(表 2)表明,秸秆覆盖处理中微生物丰富度指数最高,达 8.9,地膜处理达 8.5,多样性指数表现与丰富度指数相似,均匀度指数在 2 个处理间无显著性差异。

表 2 不同覆盖条件下微生物 α 多样性指数

处理	丰富度指数	多样性指数	均匀度指数
地膜	8.5 ± 1.1Bb	2 230 ± 10Bb	1.05 ± 0.10Aa
秸秆	8.9 ± 1.0Aa	2 626 ± 12Aa	1.04 ± 0.10Aa

注:同列数据后不同小写字母、大写字母分别表示处理间在 0.05、0.01 水平差异显著。

2.4 β 多样性

由图 9 可以看出,其中 PCo1、PCo2 分别解释 57.09%、17.22% 的变异,共解释细菌群落变异的 74.31%。地膜覆盖、秸秆覆盖处理后的微生物群落结构出现分离,说明多年来的不同覆盖处理改变了微生物群落结构,两者出现分离。

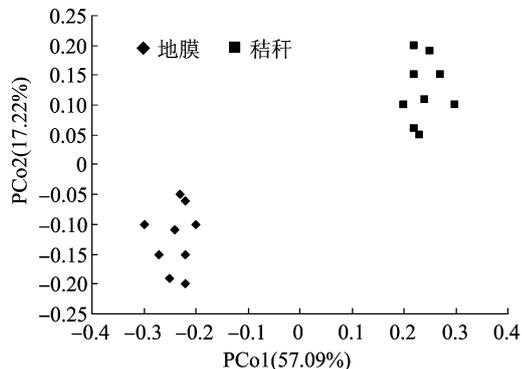


图9 长期不同覆盖处理下土壤微生物水平群落结构

2.5 微生物种类及丰度

经研究发现本试验中 2 个处理得到的土壤微生物种类较多,因此主要分析丰度较高的几类,详见图 10。总的来说,伽玛变形杆菌门、 α 变形菌门的丰度较高,2 个处理均在 14% 以上,拟杆菌门、变形杆菌门、分组 6 门、红温病门、厌食线虫科、宝石单胞菌门及其他微生物的相对丰度较低,在 10% 以下。其中秸秆覆盖处理后,除厌食线虫科及其他微生物外,8 种微生物的相对丰度均较地膜覆盖处理的高。说明采用秸秆覆盖后有效提高了微生物的丰度。

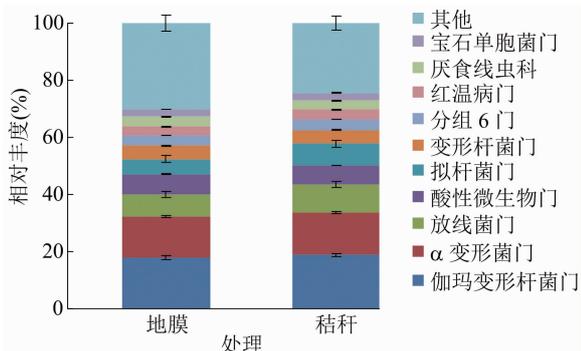


图10 长期不同覆盖处理下土壤微生物相对组成

2.6 土壤微生物功能

本项研究采用 FAPROTAX 的方法,对主要的土壤微生物群落功能注释共获得的功能种群进行分组(图 11)。其中 10 个丰度较高的功能种群中,发酵作用的相对丰度最高,2 个处理分别达 20.21%、

25.24%；地膜覆盖处理中化能异养、固氮作用的丰度排在第 2、3 位，相对丰度分别为 10.26%、8.57%；秸秆覆盖处理排在第 2、3 位的分别为固氮作用、化能异养，相对丰度分别为 10.25%、10.24%。叶绿体固氮、硝化作用、硝酸盐还原、光养作用、亚硝酸盐氧化、光养作用的相对丰度在 10% 以下，另外有 11%~24% 的功能尚不明确。

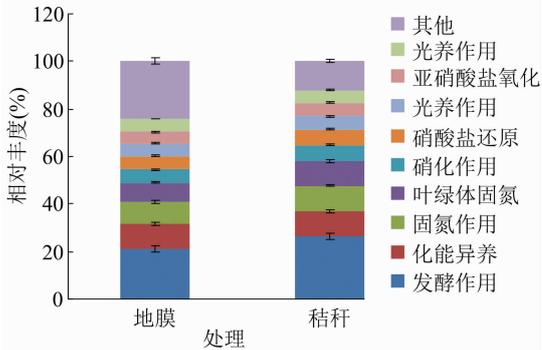


图11 长期不同覆盖处理下土壤微生物功能多样性

3 讨论与结论

3.1 不同覆盖方式对土壤养分及蔬菜产量的影响

杜守宇等在多年地膜覆盖与秸秆覆盖实践中发现，秸秆覆盖能提高土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾的含量^[19-21]；刘玉含等研究发现，覆盖稻草、玉米秸秆后作物产量上升^[22-27]。本研究的结论与上述学者的研究结论相同，究其原因主要是秸秆覆盖后，秸秆在土壤中腐解，成为有机质，使土壤有机质含量上升，同时产生热量，减缓了全氮、有效磷、速效钾的流失，促进了蔬菜的生长。秸秆覆盖还可以降低温室内的湿度，又在其腐烂分解过程中释放出 CO₂ 气体，增强土壤通透能力；同时，还可改善农田环境，抑制杂草和病虫害的发生。坚持常年秸秆还田，不但对当季作物有显著增产作用，而且后效十分显著，对下茬作物有持续增产的作用。秸秆还田还有减少秸秆焚烧、减少环境污染、减轻劳动强度、加快收种进度等多方面的生态效益和社会效益^[22]。

3.2 不同覆盖方式对微生物丰度、多样性和功能的影响

有关覆盖方式对设施蔬菜土壤微生物丰度、多样性的研究少见报道。肖健等对桑园进行多年的秸秆覆盖研究，发现秸秆覆盖桑园后土壤微生物丰度增加^[28-29]。本研究发现，在连续多年的秸秆覆盖处理后，基因拷贝数达 2 305 个，与上述研究的结论

类似。张红等研究证实，植物根系在土壤中生长，与土壤中的微生物存在着密切的关系^[30]。微生物在生态系统中具有重要的功能，微生物丰度、多样性越强，越有利于作物的生长。同时地膜覆盖使土壤碱化，不利于细菌多样性的维持，而秸秆覆盖使土壤趋于中性，也可提高微生物的多样性^[31]。

长期不同覆盖方式处理后，土壤微生物的 β 多样性发生了显著的改变，说明采用地膜覆盖与秸秆覆盖处理后土壤原有的生态系统受到影响，土壤微生物群落结构发生变化^[32-33]。本研究中 2 个不同处理的微生物优势类群相似，均在 14% 以上，放线菌门、酸性微生物门、拟杆菌门、变形杆菌门、分组 6 门、红温病门、厌食线虫科、宝石单胞菌门及其他的丰度较低在 10% 以下。这与以前的研究结论相似^[34-35]。但不同处理中优势类群的相对丰度各不相同，经过秸秆覆盖伽玛变形杆菌门、α 变形菌门的相对丰度较高，2 个处理均在 14% 以上，放线菌门、酸性微生物门、拟杆菌门、变形杆菌门、分组 6 门、红温病门、宝石单胞菌门丰度较低，可能是由于秸秆覆盖为土壤提供丰富的营养元素，也间接促进微生物的繁殖^[36]；在地膜覆盖处理中，酸杆菌门、厌食线虫科的相对丰度较高，地膜覆盖后土壤养分较低，酸杆菌门和厌食线虫科易富集在低肥力土壤中^[37]。从本试验的结果来看，2 个处理中分别仍然有 30.01%、24.77% 的未知微生物，因此其具体种类及作用还需深入的研究。

秸秆覆盖、地膜覆盖处理后的土壤微生物以发酵作用、化能异养、固氮作用为主，上述的作用均为生态系统的重要功能，并由大多数微生物执行^[38]，经过长期的秸秆覆盖，发酵作用、化能异养、固氮作用、叶绿体固氮作用均较强，表明秸秆覆盖使更多的微生物参与到土壤碳循环的过程中，秸秆中含有大量的有机碳，不仅提供大量碳源，而且有利于土壤中有机碳的矿化^[39]，同时释放出更多作物可利用的无机养分，使作物产量提高。

综上，秸秆覆盖解决了生产上存在的很多问题，起到了增产、增温、增肥、增效、改善土壤质量的“四增一改”的作用，提高了土壤中微生物的数量和多样性，减少白色污染，降低成本，对蔬菜生长有利。

参考文献：

- [1] Jordán A, Zavala L M, Gil J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain

- [J]. *Catena*, 2010, 81(1): 77–85.
- [2] 王妍. 不同秸秆还田方式对砂姜黑土真菌群落的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.
- [3] 刘永忠, 张克强, 王根全, 等. 旱地农业覆盖栽培技术研究进展[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(5): 202–205.
- [4] 中国地膜覆盖栽培研究会. 地膜覆盖栽培技术大全[M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [5] 中国耕作制度研究会. 中国少耕免耕和覆盖技术研究[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1991.
- [6] 周茂娟, 梁银丽, 陈甲瑞, 等. 地表处理方式对日光温室辣椒水分利用效率及土壤硝态氮、速效磷分布的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(6): 1393–1396.
- [7] 吴兴, 梁银丽, 郝旺林, 等. 覆盖方式对温室辣椒结果期生长和水分利用的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(1): 54–58.
- [8] 赵丽丽, 刘爱群. 地面覆盖处理对日光温室土壤养分、秋冬茬番茄生长和产量的影响[J]. *北方园艺*, 2016(10): 41–44.
- [9] 阎世江, 田如霞, 柴文臣, 等. 秸秆覆盖对越冬茬茄子生长发育、品质及土壤环境的影响[J]. *东北农业科学*, 2021, 46(5): 76–81.
- [10] 阎世江, 张继宁, 刘洁. 不同覆盖方式对黄瓜生长发育及品质的影响[J]. *中国瓜菜*, 2021, 34(11): 74–79.
- [11] 张德奇, 廖允成, 贾志宽. 旱地地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J]. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(1): 208–213.
- [12] Kadioglu A, Terzi R, Saruhan N, et al. Current advances in the investigation of leaf rolling caused by biotic and abiotic stress factors[J]. *Plant Science*, 2012, 182: 42–48.
- [13] 胡洪涛, 胡时友, 周荣华, 等. 油菜秸秆还田对土壤真菌群落结构和功能影响的研究[J]. *环境科学与技术*, 2020, 43(增刊1): 6–10.
- [14] 李红宇, 王志君, 范名宇, 等. 秸秆连续还田对苏打盐碱水稻土养分及真菌群落的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2021, 39(2): 15–23.
- [15] 胡蓉, 郑露, 刘浩, 等. 秸秆还田对水稻根际微生物多样性和水稻纹枯病发生的影响[J]. *植物保护学报*, 2020, 47(6): 1261–1269.
- [16] Kennedy A C, Smith K L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils[J]. *Plant and Soil*, 1995, 170(1): 75–86.
- [17] Mganga K Z, Razavi B S, Kuzyakov Y. Land use affects soil biochemical properties in Mt. Kilimanjaro region[J]. *Catena*, 2016, 141: 22–29.
- [18] 吕贻忠, 李保国. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [19] 杜守宇, 田恩平, 温敏, 等. 秸秆覆盖还田的整体功能效应与系列化技术研究[J]. *干旱地区农业研究*, 1994, 12(2): 88–94.
- [20] 卜玉山, 苗果园, 周乃健, 等. 地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析与比较[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(5): 1069–1075.
- [21] 肖继兵, 杨久廷, 辛宗绪. 辽西地区秸秆覆盖试验研究[J]. *节水灌溉*, 2008(2): 8–10, 13.
- [22] 刘玉含, 张展羽, 伊德里萨, 等. 农田秸秆覆盖技术及其发展趋势分析[J]. *水利经济*, 2007, 25(2): 53–56, 83.
- [23] 周翠, 张月仙. 覆盖方式对马铃薯生长及产量的影响[J]. *浙江农业科学*, 2011, 52(2): 264–266.
- [24] 吴卫华, 林昌庭, 何伟民, 等. 稻田免耕、稻草全程覆盖种植马铃薯栽培技术[J]. *中国马铃薯*, 2001, 15(5): 318–319.
- [25] 杜荣州. 稻田免耕、稻草全程覆盖马铃薯栽培冬种试验[J]. *中国马铃薯*, 2004, 18(1): 45–46.
- [26] 王福琪, 肖光杰, 王德明. 稻田马铃薯不同覆盖物免耕栽培初报[J]. *耕作与栽培*, 2004(1): 48–49.
- [27] 阎世江, 田如霞, 刘洁, 等. 设施蔬菜秸秆覆盖技术研究进展[J]. *山西农业科学*, 2018, 46(10): 1756–1759.
- [28] 肖健, 吴银秀, 杨尚东, 等. 秸秆覆盖还田对桑园土壤真菌群落结构组成的影响[J]. *西南农业学报*, 2021, 34(12): 2707–2713.
- [29] 林刚云, 肖健, 吴银秀, 等. 秸秆覆盖还田对桑园土壤生物学性状及其细菌群落结构的影响[J]. *南方农业学报*, 2020, 51(10): 2339–2347.
- [30] 张红, 曹莹菲, 徐温新, 等. 植物秸秆腐解特性与微生物群落变化的响应[J]. *土壤学报*, 2019, 56(6): 1482–1492.
- [31] 练金山, 王慧颖, 徐明岗, 等. 长期施用有机肥潮土细菌的多样性及功能预测[J]. *植物营养与肥料学报*, 2021, 27(12): 2073–2082.
- [32] Zelenev V V, van Bruggen A H C, Semenov A M. Short-term wavelike dynamics of bacterial populations in response to nutrient input from fresh plant residues[J]. *Microbial Ecology*, 2005, 49(1): 83–93.
- [33] 王娟娟, 胡珈玮, 狄霖, 等. 秸秆还田与氮肥运筹对水稻不同生育期土壤细菌群落结构的影响[J]. *江苏农业学报*, 2021, 37(6): 1460–1470.
- [34] 孙瑞波, 郭熙盛, 王道中, 等. 长期施用化肥及秸秆还田对砂姜黑土细菌群落的影响[J]. *微生物学通报*, 2015, 42(10): 2049–2057.
- [35] Zhou J, Guan D W, Zhou B K, et al. Influence of 34-years of fertilization on bacterial communities in an intensively cultivated black soil in northeast China[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, 90: 42–51.
- [36] Shi Y, Delgado-Baquerizo M, Li Y T, et al. Abundance of kinless hubs within soil microbial networks are associated with high functional potential in agricultural ecosystems[J]. *Environment International*, 2020, 142: 105869.
- [37] Ai C, Zhang S Q, Zhang X, et al. Distinct responses of soil bacterial and fungal communities to changes in fertilization regime and crop rotation[J]. *Geoderma*, 2018, 319: 156–166.
- [38] Rivett D W, Bell T. Abundance determines the functional role of bacterial phylotypes in complex communities[J]. *Nature Microbiology*, 2018, 3(7): 767–772.
- [39] 徐明岗, 于荣, 王伯仁. 土壤活性有机质的研究进展[J]. *土壤肥料*, 2000(6): 3–7.