

玉米秸秆生物反应堆替代化肥对土壤理化性质和西瓜产量与品质的影响

张立联¹, 闫学梅¹, 张志伟¹, 王江南², 赵永明¹, 刘婷婷¹

(1. 安丘市农业农村局 山东安丘 262100; 2. 山东农业工程学院 济南 250100)

摘要: 2018—2020年通过设置传统施肥处理和玉米秸秆生物反应堆部分替代化肥处理,以期实现土壤理化性质与西瓜产量品质协同提升。结果表明,秸秆生物反应堆技术较常规栽培能够在减少化肥(15-15-15)用量 $375\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,且不施用农药的基础上,改善土壤理化性质、提高西瓜产量与品质。秸秆生物反应堆部分替代化肥处理的土壤有机质含量较试验前持续提高,增幅18.8%,而传统施肥导致土壤有机质含量持续降低,降幅12.4%。同时,秸秆生物反应堆部分替代化肥处理能够增加碱解氮的供应,减少有效磷与速效钾的累积。与传统施肥处理相比,秸秆反应堆部分替代化肥处理能够显著提高西瓜产量,平均增产6.8%(6.6%~8.1%);2020年的西瓜蛋白质含量提高5.4%、可溶性固形物含量提高17.9%、维生素C含量提高7.5%。基于以上结果,安丘市西瓜产区应用秸秆生物反应堆技术对西瓜的优质可持续生产具有重要意义。

关键词: 西瓜; 秸秆生物反应堆; 土壤理化性质; 产量; 品质

中图分类号: S651

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)03-087-07

Effects of maize straw biological reactor instead of chemical fertilizer on physical and chemical properties of soil and yield, quality of watermelon

ZHANG Lilian¹, YAN Xuemei¹, ZHANG Zhiwei¹, WANG Jiangnan², ZHAO Yongming¹, LIU Tingting¹

(1. Anqiu Agriculture and Rural Bureau, Anqiu 262100, Shandong, China; 2. Shandong Agricultural Engineering College, Jinan 250100, Shandong, China)

Abstract: In order to achieve the coordinated improvement of soil quality, watermelon yield and quality, two treatments: traditional fertilization and maize straw biological reactor partially instead of chemical fertilizer were designed during 2018-2020. The experimental results showed that the straw biological reactor technology could improve the soil quality and increase the yield and quality of watermelon on the basis of reducing the amount of chemical fertilizer (15-15-15) by $375\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ and no application of pesticides compared with conventional cultivation. Compared with original value, straw biological reactor partially instead of chemical fertilizer increased soil organic matter content by 18.8%, while the traditional fertilization treatment resulted in a reduction by 12.4%. Meanwhile, straw biological reactor partially instead of chemical fertilizer could increase the supply of alkali-hydrolyzed nitrogen, reduce the accumulation of available phosphorus and available potassium, and reduce the soil bulk density. Straw biological reactor partially instead of chemical fertilizer could also significantly increase the watermelon yield by 6.8% (6.6%-8.1%) on average. Watermelon protein content was increased by 5.4%, soluble solids content was increased by 17.9% and vitamin C content was increased by 7.5% in 2020. Overall, the application of straw biological reactor technology in watermelon producing areas of Anqiu city is of great significance to the high-quality and sustainable production of watermelon.

Key words: Watermelon; Maize straw biological reactor; Physical and chemical properties of soil; Yield; Quality

西瓜作为全球重要的经济作物^[1],生产规模仅次于苹果、葡萄、香蕉和柑橘,居第5位^[2]。我国西瓜的种植面积从1961年的53.6万 hm^2 增加到2021年的141.6万 hm^2 ,总产量从1961年的654.9万t增加到2021年的6101.4万t,2021年的种植面积

和总产量分别占世界总量的46.7%和60.0%,均居世界首位,在全国经济作物生产中占据重要地位^[3]。西瓜具有高产稳产、抗逆能力强、适应范围广等特点,但是,由于当前需求量较大和种植面积不断扩大,肥料施用不合理、播种时期不当等造成

收稿日期: 2023-08-21; 修回日期: 2024-01-11

作者简介: 张立联,男,高级农艺师,主要从事土肥方面的研究工作。E-mail: aqzhl@163.com

通信作者: 刘婷婷,女,农艺师,主要从事土肥方面的研究工作。E-mail: sdaqtfz@163.com

了土壤质量下降、肥料利用率降低等一系列问题,导致西瓜产量和品质下降,严重制约了我国西瓜产业的绿色可持续发展^[4-6]。

农作物秸秆是农业生产中的主要副产品,具有碳氮比高、养分丰富,但循环利用率低等特点^[7-8]。据估算,2014年我国的秸秆产生量约为8.2亿t^[8],并且随着农产品产量的增加,秸秆的数量也在不断增长^[7,9],我国秸秆焚烧的比例约为10%^[10],农作物秸秆还田被认为是农业可持续发展的重要措施^[11-12]。近年来,我国政府出台了多项规定与政策推广秸秆还田技术^[13],旨在改善土壤理化性质、提高作物产量。秸秆生物反应堆技术是一项充分利用秸秆资源、大幅提高水果蔬菜产量和品质的现代农业生物工程创新技术,即在反应堆专用微生物菌种、催化剂和净化剂的作用下,将各种农作物秸秆定向、快速地转化为作物生长所需要的CO₂、热量、抗病微生物孢子和有机、无机养料,从而实现资源科学利用、农民增收、农业增效、生态环境友好的目标。简单地说,就是用秸秆替代大部分化肥,用植物疫苗替代大部分农药,减少生产投入,提高产量与品质,增加农民收入^[14-17]。

因此,笔者针对安丘市西瓜主产区急需解决的土壤退化、化肥利用率低、产量与品质下降等关键问题,利用玉米等作物秸秆生物反应堆技术部分替代化肥,研究其对西瓜产量、品质的影响,以及种植区土壤基础理化性质对施肥措施响应,以期科学施肥、改善土壤环境和提高西瓜产量与品质提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区域概况

试验于2018年3月至2020年5月在山东省潍坊市安丘市邵山镇泥沟村龙溪瓜菜种植专业合作社进行,该地区属于暖温带半湿润季风气候区,年平均气温为12.3℃,年平均降水量约为650.5mm,该地区土壤类型为褐土,质地为轻壤土,土壤肥力较高,排灌条件良好。

1.2 试验设计

试验作物西瓜,品种为京欣一号,由北京市农林科学院蔬菜研究中心培育。秸秆腐熟剂菌种为枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌,由山东君德生物科技有限公司提供,每年3月移栽,5月初开始收获,在大棚种植,采用葫芦嫁接苗。2018—2020年选取3个农户按照传统施肥习惯(对

照户),移栽前沟施15-15-15复合肥375kg·hm⁻²,落花坐果期冲施20-20-20复合肥2次,每次75kg·hm⁻²;选取3个农户应用秸秆生物反应堆技术(试验户),移栽前不施用复合肥,落花坐果期冲施20-20-20复合肥2次,每次75kg·hm⁻²。秸秆生物反应堆技术:西瓜采用大小行(小行距40cm,大行距160cm)栽培的方式,在栽培行小行位置南北方向挖宽100cm、深50cm的沟,把秸秆填入沟内,堆放秸秆深度约为40cm,南北两端秸秆露出地面,以利于通气,玉米秸秆用量为37.5t·hm⁻²,秸秆施肥每年施用1次。然后,在秸秆上撒施饼肥1.5t·hm⁻²,再把秸秆腐熟剂菌种5kg·hm⁻²均匀撒在秸秆上,覆土20cm,定植前7~10d,在大行内浇水湿透秸秆。试验采用随机区组设计,分为对照和玉米秸秆生物反应堆替代化肥处理,每个处理3次重复,每个小区667m²。各处理间其他栽培管理措施相同。

1.3 样品采集与指标测定

每年西瓜收获后,采用五点取样法采集0~20cm土层的土壤样品,置于阴凉通风干燥处风干后,分别过0.25mm和1mm筛,采用重铬酸钾容量法-外加加热法测定土壤有机质含量;采用碱解扩散法测定碱解氮含量;采用0.5mol·L⁻¹NaHCO₃浸提-钼锑抗比色法测定有效磷含量;采用1mol·L⁻¹中性NH₄OAc浸提-火焰光度法测定速效钾含量;按土水质量比1:2.5用pH计测定土壤pH值。

试验采用完全随机设计,3次重复,收获时每个重复采集代表性西瓜果实6个,每个分取50~100g后置于搅拌机搅成果浆,标记备测,采用分光光度法测定蛋白质含量;采用糖度仪测定可溶性固形物含量;采用2,6-二氯酚酚滴定法测定维生素C含量^[18-20]。在西瓜成熟期测定每个小区的西瓜产量,并折算为每hm²产量。

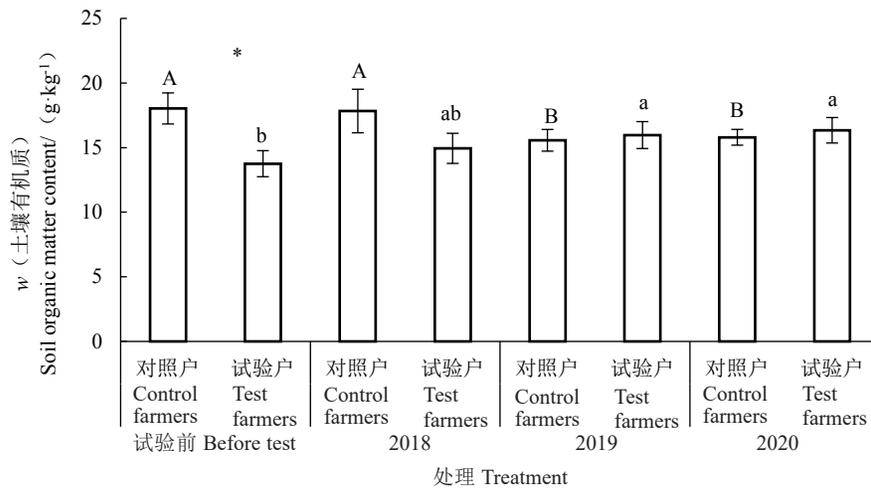
1.4 数据处理与统计

试验数据采用Microsoft Excel 2019和SigmaPlot 12.0软件分别进行处理分析与作图,相关指标采用IBM SPSS Statistics 20.0进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 秸秆生物反应堆部分替代化肥对土壤理化性质的影响

由图1可知,在试验前,试验户的土壤有机质含量较对照户低23.7%,差异达到显著水平。随着种植年限的增加,对照户的土壤有机质含量(w,后同)由试验前的18.03g·kg⁻¹下降到2020年的15.80g·kg⁻¹,



注:不同大写字母表示对照户(传统习惯施肥)不同年份间差异达 5%显著水平,不同小写字母表示试验户(秸秆生物反应堆技术)不同年份间差异达 5%显著水平,*表示相同时间对照户与试验户差异达 5%显著水平。下同。

Note: Different capital letters indicate that the control farmers (traditional fertilization treatment) have a significant difference at 5% level among different years; different lowercase letters indicate that the treated farmers (straw biological reactor technology) have a significant difference at 5% level among different years; * indicates that the control and treated farmers have a significant difference at 5% level. The same below.

图 1 秸秆生物反应堆部分替代化肥对土壤有机质含量的影响

Fig. 1 Effects of maize straw biological reactor partially instead of chemical fertilizer on soil organic matter content

降幅 12.4%,差异达到显著水平;而秸秆生物反应堆部分替代化肥处理的土壤有机质含量逐年增加,由试验前的 13.76 g·kg⁻¹增加到 2020 年的 16.34 g·kg⁻¹,增幅 18.8%,差异达到显著水平。2018—2020 年试验户和对照户的土壤有机质含量无显著差异。

由图 2 可知,在试验前,对照户与试验户的土壤碱解氮含量无显著差异,随着种植年限的增加,对照户的土壤碱解氮含量无显著变化;而秸秆生物反应堆部分替代化肥处理的土壤碱解氮含量有所增加,2019 年和 2020 年较试验前分别增加 3.7%和 7.3%,但差异未达到显著水平。2019—2020 年试验

户的土壤碱解氮含量均显著高于对照户,增幅分别为 22.4%和 15.5%。

由图 3 可知,在试验前、2019—2020 年,试验户的土壤有效磷含量均显著高于对照户,增幅分别为 29.8%、16.2%和 22.5%。随着种植年限的增加,对照户的土壤有效磷含量表现为 2018 年最高,显著高于 2019 和 2020 年,但与试验前差异不显著;试验前对照户的土壤有效磷含量为 104.17 mg·kg⁻¹,2020 年为 96.67 mg·kg⁻¹,降幅 7.2%。秸秆生物反应堆部分替代化肥处理的土壤有效磷含量表现出类似的变化趋势,试验前的土壤有效磷含量为

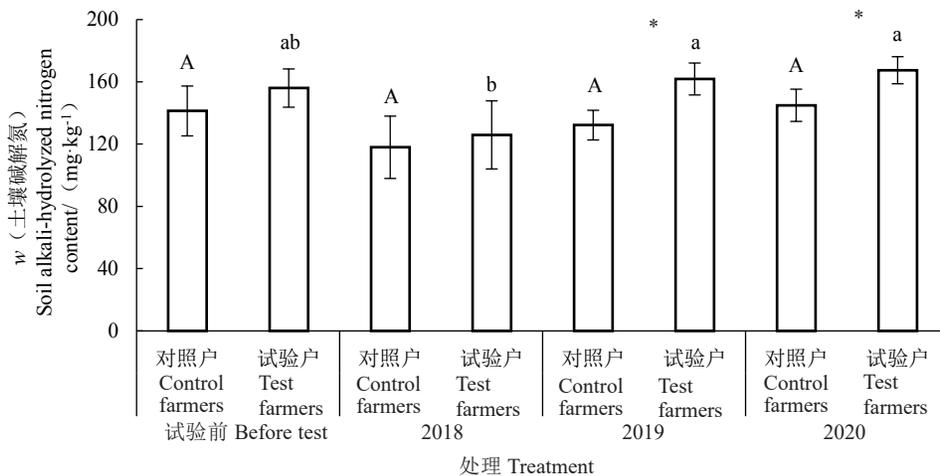


图 2 秸秆生物反应堆部分替代化肥对土壤碱解氮含量的影响

Fig. 2 Effects of maize straw biological reactor partially instead of chemical fertilizer on soil alkali-hydrolyzed nitrogen content

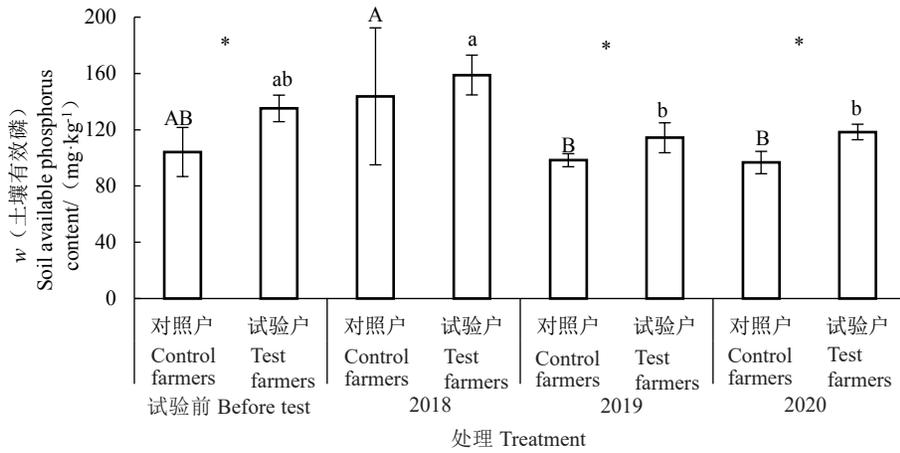


图3 秸秆生物反应堆部分替代化肥对土壤有效磷含量的影响

Fig. 3 Effects of maize straw biological reactor partially instead of chemical fertilizer on soil available phosphorus content

135.16 mg·kg⁻¹, 2020年为118.40 mg·kg⁻¹, 降幅12.4%,但未达到显著差异水平。

由图4可知,在试验前、2018—2020年,试验户与对照户的土壤速效钾含量均无显著差异。随着种植年限的增加,对照户的速效钾含量从236.43 mg·kg⁻¹增加到265.67 mg·kg⁻¹,增幅12.4%,但均未达到显

著差异水平;而秸秆生物反应堆部分替代化肥处理的土壤速效钾含量随着种植年限的增加表现出先增加后下降的趋势,其中2018年含量最高,达到295.71 mg·kg⁻¹,显著高于其他年份,2020年含量最低,但与试验前无显著差异。

由图5可知,在试验前、2018—2020年,试验户

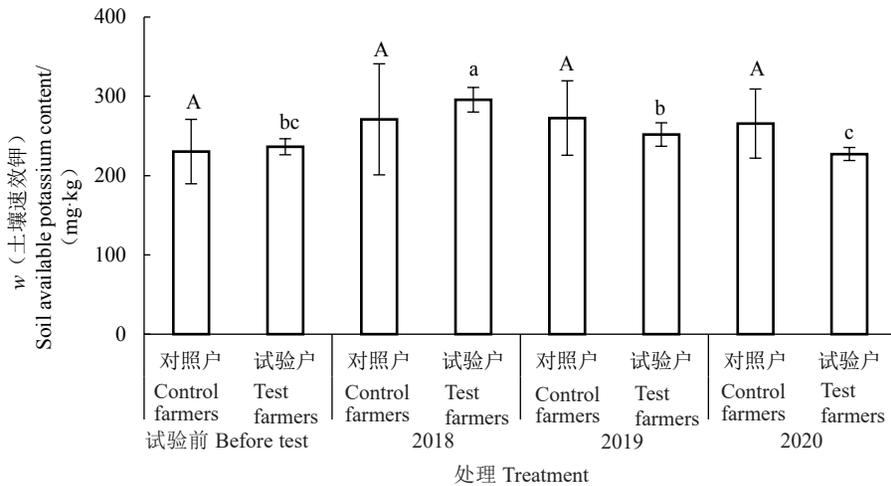


图4 秸秆生物反应堆部分替代化肥对土壤速效钾含量的影响

Fig. 4 Effects of maize straw biological reactor partially instead of chemical fertilizer on soil available potassium content

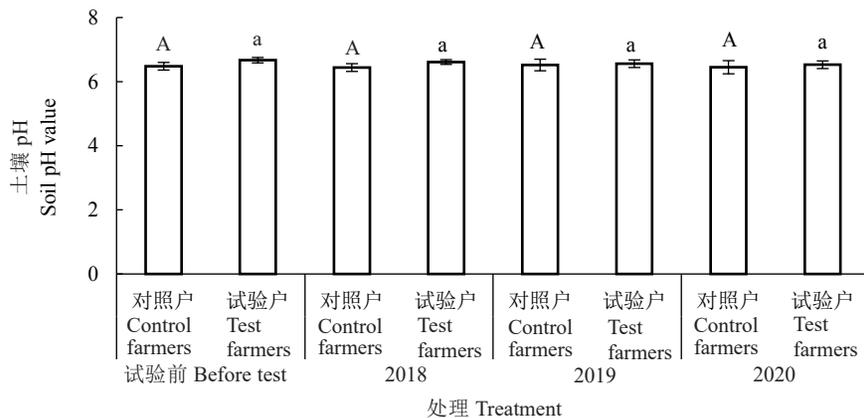


图5 秸秆生物反应堆部分替代化肥对土壤pH的影响

Fig. 5 Effects of maize straw biological reactor partially instead of chemical fertilizer on soil pH value

与对照户的土壤 pH 值均无显著差异,且随着种植年限的增加,试验户和对照户的 pH 值在各年份之间均无显著变化。

2.2 秸秆生物反应堆部分替代化肥对西瓜产量的影响

由图 6 可知,与对照户相比,秸秆生物反应堆部分替代化肥处理的西瓜产量显著提高,2018—2020 年的增产幅度分别为 6.6%、7.2%和 8.1%。随

着种植年限的增加,对照户的西瓜产量无显著变化,而秸秆生物反应堆部分替代化肥处理的产量表现出先降低后升高的趋势。

2.3 秸秆生物反应堆部分替代化肥对西瓜品质的影响

由图 7 可知,秸秆生物反应堆部分替代化肥处理的西瓜蛋白质、可溶性固形物含量仅在 2020 年显著高于对照户,增幅分别为 5.4%和 17.9%,而维

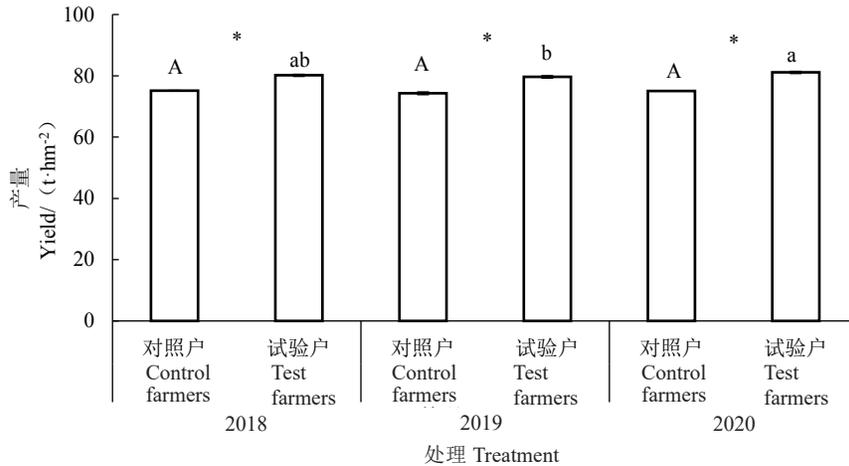


图 6 秸秆生物反应堆部分替代化肥对西瓜产量的影响

Fig. 6 Effects of maize straw biological reactor partially instead of chemical fertilizer on watermelon yield

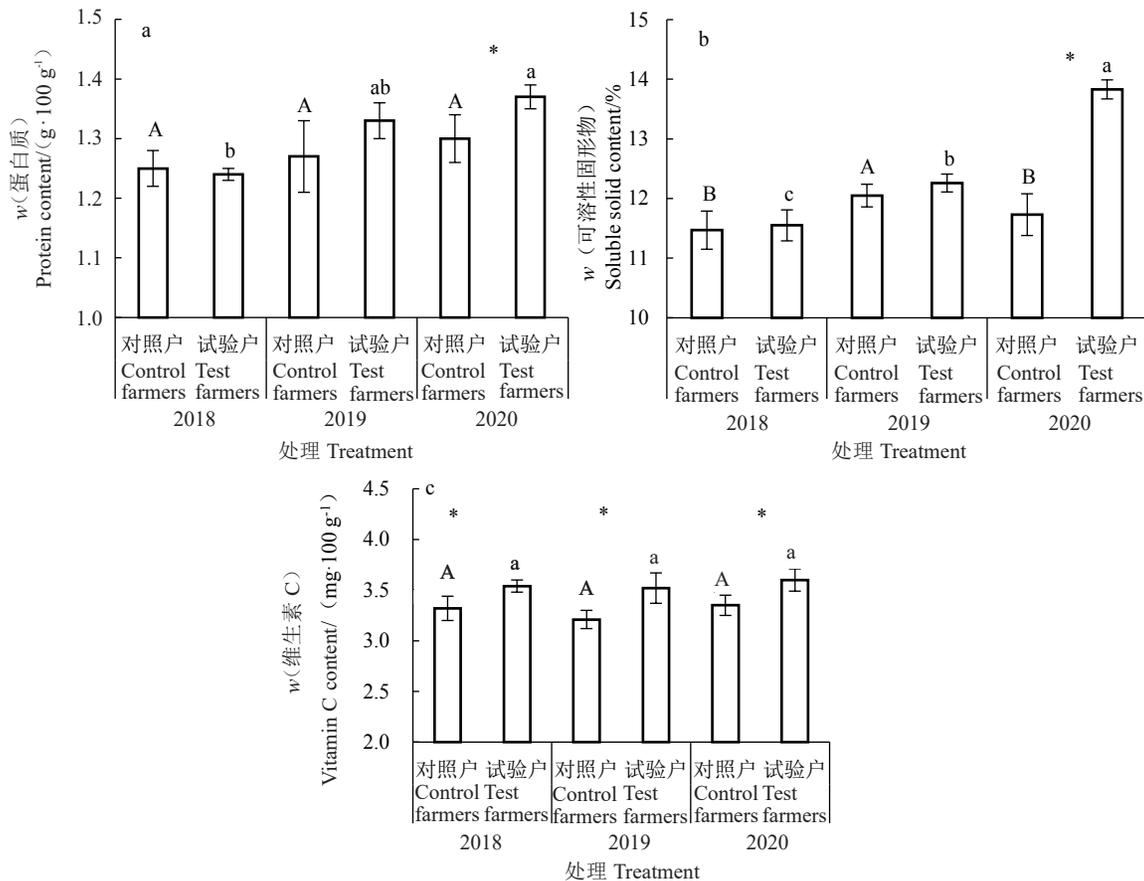


图 7 秸秆生物反应堆部分替代化肥对西瓜品质的影响

Fig. 7 Effects of maize straw biological reactor partially instead of chemical fertilizer on watermelon quality

生素 C 含量在 3 年间均显著高于对照户,增幅分别为 6.6%、9.7% 和 7.5%。随着种植年限的增加,对照户的西瓜蛋白质和维生素 C 含量均无显著变化,而可溶性固形物含量表现为 2019 年显著高于其他年份。秸秆生物反应堆部分替代化肥处理的蛋白质含量、可溶性固形物含量均表现出逐年增加的趋势,2020 年试验户的西瓜蛋白质含量较 2018 年增加 10.5%,西瓜可溶性固形物含量增加 19.7%,但维生素 C 含量在不同年份间无显著变化。

3 讨论与结论

3.1 秸秆生物反应堆部分替代化肥对西瓜种植区耕层土壤理化性质的影响

大量试验研究表明,有机物料还田可以改善土壤结构性能,提高土壤养分供应能力,减缓土壤酸化,对改善土壤理化性质、促进植物生长发育具有积极作用^[17,21-22]。秸秆作为一种重要的“废弃物”,通过生物反应堆技术加以应用对农业生产具有重要意义。笔者测定了秸秆生物反应堆部分替代化肥处理下的土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量和 pH 以及土壤容重等土壤理化指标,结果表明,秸秆生物反应堆部分替代化肥较传统施肥能够增加土壤有机质、碱解氮含量。分析其原因,一方面秸秆中含有大量有机质,与化肥配施后可形成微团聚体及有机无机复合体,促进土壤有机质的累积,与此同时,秸秆在腐解过程中能够促进有效矿质养分的释放^[17]。而土壤有效磷和速效钾含量有所降低,这可能是由于秸秆的投入促进了西瓜的生长发育和植株对磷钾养分的吸收^[5,19],这有利于减少长期过量施用化肥导致的土壤速效养分累积带来的环境风险,例如有效磷的淋洗等^[23-24]。此外,秸秆生物反应堆部分替代化肥可能对土壤微生物群落结构产生影响,进而改善土壤微环境。有研究表明,有机物料的施用能够为微生物提供充足的碳源,同时增加根系生物量及根系分泌物数量,促进微生物生长^[25-27]。

3.2 秸秆生物反应堆部分替代化肥对西瓜产量及品质的影响

科学合理的施肥是提高作物产量和改善作物品质的重要措施,有研究表明,采用秸秆生物反应堆处理可以有效改善土壤理化性质,降低番茄植株发病率和畸形果率;且使用不同作物的秸秆产生的效应也有所不同,以玉米秸秆和水稻秸秆作为生物反应堆的物料,土壤有机质含量的提升幅度表现出

一定的差异,但均能增加番茄的产量^[28]。本研究表明,采用秸秆生物反应堆部分替代化肥处理后西瓜产量显著高于传统施肥处理,平均增产 5.46 t·hm⁻²,且随着种植年限的延长,试验户的西瓜产量表现出先减少后增加的趋势,同时,秸秆生物反应堆部分替代化肥处理能够提高西瓜蛋白质含量、可溶性固形物含量,显著提高维生素 C 含量,2020 年,与传统施肥相比,秸秆生物反应堆部分替代化肥处理蛋白质含量增加 5.4%,可溶性固形物含量增加 17.9%,维生素含量增加 7.5%,这与前人的研究结果相似^[29-30],究其原因,可能是秸秆生物反应堆与化肥配施保证了养分的长期释放,使得酶活性增强,光合效率提升,碳水化合物等的合成及转运加快,进而使有机物稳步累积,促进西瓜植株生长,从而改善了西瓜品质^[31]。此外,本研究表明,秸秆生物反应堆部分替代化肥处理对西瓜蛋白质含量和可溶性固形物含量的提升效果随着年限的增加而增强,表明秸秆生物反应堆部分替代化肥对西瓜的高品质、可持续生产具有一定的效果。

试验结果表明,与传统施肥相比,应用秸秆生物反应堆部分替代化肥能够促进土壤理化性质的改善,尤其提高土壤有机质和碱解氮含量。同时,秸秆反应堆部分替代化肥处理能够显著提高西瓜产量,平均增产 5.46 t·hm⁻²;提高西瓜蛋白质含量、可溶性固形物含量和维生素 C 含量,其中,以可溶性固形物含量增加最显著,2020 年增幅为 17.9%。此外,秸秆反应堆部分替代化肥处理对土壤理化性质、西瓜产量的提升与品质的改善效果随年限的增加而增强,因此,该技术对提升土壤质量与西瓜产量品质具有重要意义。

参考文献

- [1] 赵姜,张琳,王志丹,等.我国居民西瓜消费特征及影响因素分析[J].中国蔬菜,2013(6):17-23.
- [2] 马跃.透过国际分析,看中国西瓜甜瓜的现状与未来[J].中国瓜菜,2011,24(2):64-67.
- [3] FAO, FAODATABASE[DB/OL]. [2023-06-21]. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- [4] 马忠明,杜少平,薛亮.砂田西瓜甜瓜生产现状、存在的问题及其对策[J].中国瓜菜,2010,23(3):60-63.
- [5] 张玉凤,董亮,刘兆辉,等.不同肥料用量和对比对西瓜产量、品质及养分吸收的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(4):765-769.
- [6] 陈晨,焦妍妍,郑祖华,等.西瓜甜瓜矿质营养研究进展[J].中国蔬菜,2017(1):19-26.
- [7] CHADWICK D, JIA W, TONG Y A, et al. Improving manure nutrient management towards sustainable agricultural intensifi-

- cation in China[J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2015, 209: 34-46.
- [8] JIA W, QIN W, ZHANG Q, et al. Evaluation of crop residues and manure production and their geographical distribution in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 188: 954-965.
- [9] FISCHER R A, CONNOR D J. Issues for cropping and agricultural science in the next 20 years[J]. *Field Crops Research*, 2018, 222: 121-142.
- [10] CUI Z L, DOU Z X, CHEN X P, et al. Managing agricultural nutrients for food security in China: Past, present, and future[J]. *Agronomy Journal*, 2014, 106: 191-198.
- [11] LAL R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. *Science*, 2004, 304 (5677): 1623-1627.
- [12] LIU P, HE J, LI H W, et al. Effect of straw retention on crop yield, soil properties, water use efficiency and greenhouse gas emission in China: A meta-analysis[J]. *International Journal of Plant Production*, 2019, 13: 347-367.
- [13] ZHANG P, WEI T, LI Y L, et al. Effects of straw incorporation on the stratification of the soil organic C, total N and C: N ratio in a semiarid region of China[J]. *Soil and Tillage Research*, 2015, 153: 28-35.
- [14] 袁晓霞. 生态农业中秸秆生物反应堆技术的推广应用[J]. *河北农机*, 2023(5): 37-39.
- [15] 高宁. 冬春温室行下玉米秸秆反应堆小西瓜有机基质栽培技术[J]. *蔬菜*, 2019(1): 39-41.
- [16] JI M, XU J G, ZHAN G, et al. Effects of built-in biological reactor with different crop straws on sugar content and yield of watermelon[J]. *Materials Research Innovations*, 2015, 19 (8): 470-473.
- [17] 魏文良, 张赢心, 崔浩, 等. 有机无机配施对鲜食葡萄产量与品质及园区土壤质量的影响[J]. *山东农业科学*, 2023, 55(3): 117-123.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [19] 黄成东. 小麦/西瓜/玉米间作体系综合分析及其优化[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [20] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [21] 魏文良, 刘路, 仇恒浩. 有机无机配施是提高我国三大粮食作物产量及氮肥利用效率的重要施肥方式[J]. *植物营养与肥料学报*, 2020, 26(8): 1384-1394.
- [22] WU L P, ZHANG S R, MA R H, et al. Carbon sequestration under different organic amendments in saline-alkaline soils[J]. *Catena*, 2021, 196: 104882.
- [23] FEI C, ZHANG S R, WEI W L, et al. Straw and optimized nitrogen fertilizer decreases phosphorus leaching risks in a long-term greenhouse soil[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2020, 20 (3): 1199-1207.
- [24] BAI Z H, LI H G, YANG X Y, et al. The critical soil P levels for crop yield, soil fertility and environmental safety in different soil types[J]. *Plant and Soil*, 2013, 372(1/2): 27-37.
- [25] 王振龙, 包蕾, 葛新伟, 等. 有机滴灌肥对酿酒葡萄园土壤微生物量碳、氮及酶活性的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(2): 61-67.
- [26] 练金山, 王慧颖, 徐明岗, 等. 长期不同施肥下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.
- [27] 孙婧, 田永强, 高丽红, 等. 秸秆生物反应堆与菌肥对温室番茄土壤微环境的影响[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(6): 153-164.
- [28] 王昊, 韦峰, 张战胜, 等. 不同秸秆生物反应堆对冬季日光温室番茄生长发育的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2018(2): 141-146.
- [29] 王夫同, 高兴明, 孙吉存. 秸秆反应堆通气时间对 CO₂ 浓度及黄瓜产量、效益的影响[J]. *蔬菜*, 2007(9): 30-31.
- [30] 曹云娥, 于华清, 包长征. 内置式秸秆生物反应堆对日光温室西葫芦生长的影响[J]. *北方园艺*, 2010(11): 58-60.
- [31] 郭洁, 孙权, 张晓娟, 等. 生物有机肥对酿酒葡萄生长、养分吸收及产量品质的影响[J]. *河南农业科学*, 2012, 41(12): 76-80.