山东农业大学学报(自然科学版),2026,57(5):809-816 VOL.57 NO.5 2026
Journal of Shandong Agricultural University ( Natural Science Edition ) doi:10.3969/j.issn.1000-2324.2026.05.002

# 基于番茄、黄瓜残果和茎叶基料的富硒酵素制备及其在番茄、黄瓜生产中的应用效果研究

刘 贺,夏天晨,李哲恺,张育诚,刘小倩,赵 丹*,巩 彪*
山东农业大学园艺科学与工程学院,山东 泰安 271018

**摘 要:** 人工补充硒(Se)元素是提高作物硒含量和营养品质的重要农艺措施,但无机硒的施用往往会对植物的生长和产量造成一定的负面影响。此外,蔬菜生产中产生大量的秸秆、残果,具有丰富的有机营养和潜在的利用价值。本研究利用番茄、黄瓜残果和茎叶作为基料,结合微生物发酵和无机硒补充技术,制备富含有机硒的农用酵素应用于番茄、黄瓜生产。在日光温室栽培条件下,针对番茄和黄瓜生产,设置对照(CK),施用无机硒(Se)、酵素(FQJS或HGJS)及富硒酵素(FQJS+Se或HGJS+Se)共计6个处理,测定其对产量、硒含量、果实品质、光合作用、根系活力、氧化损伤及根际微生物等指标的影响。结果表明,与CK相比,番茄和黄瓜产量在富硒酵素处理下分别提升21%和16.6%;可溶性固形物、维生素C含量分别提升23%、36%和25%、26%;净光合速率分别提升13.1%和9.2%,根系活力分别提升21.1%和14.4%;与Se处理相比,二者的富硒效果分别提升33%和41%。本研究不仅为农业废弃物高值化利用提供了可行的思路,还为富硒作物生产提供了新的应用方案,具有潜在的生态与经济价值。

**关键词:** 硒;酵素;番茄;黄瓜;产量;果实品质
**中图法分类号:** S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2324(2026)05-0809-08

# Preparation of Selenium-Enriched Ferment from Tomato, Cucumber Residues and Stem Leaves and Its Application Effect in Tomato and Cucumber Production

LIU He, XIA Tian-chen, LI Zhe-kai, ZHANG Yu-cheng, LIU Xiao-qian, ZHAO Dan*, GONG Biao*
*College of Horticulture Science and Engineering/Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China*

**Abstract:** Artificial supplementation of selenium (Se) is an important agronomic measure to improve the selenium content and nutritional quality of crops. However, inorganic selenium application often has some negative effects on plant growth and yield. In addition, vegetable production produces a large amount of straw and residual fruits, which possess rich organic nutrients and potential utilization value. Using tomato and cucumber residual fruits, stems and leaves as substrates, this study combines microbial fermentation and inorganic selenium supplementation techniques to prepare organic selenium-enriched granzymes for application in tomato and cucumber production. Under solar greenhouse cultivation conditions, six treatments are set up for tomato and cucumber production: control (CK), application of inorganic selenium (Se), enzyme (FQJS or HGJS), and selenium-enriched enzyme (FQJS+Se or HGJS+Se) The effects on yield, selenium content, fruit quality, photosynthesis, root vigour, oxidative damage and inter-root microorganisms are measured. The results show that compared with CK, tomato and cucumber yields increase by 21% and 16.6% , respectively, under the selenium-enriched enzyme treatments; soluble solids and vitamin C contents increase by 23%, 36%, and 25%, 26%, respectively; the net photosynthetic rates increase by 10% and 7%, and root vitality increase by 21.1% and 14.4%, respectively; and the selenium-enrichment effect of both treatments increase by 33% and 41%, respectively, compared with that of the Se treatment. This study not only provides a feasible approach for the high value utilization of agricultural waste, but also provides a new application scheme for selenium-enriched crop production, which has potential ecological and economic value.

**Keywords:** Selenium; enzyme; tomato; cucumber; yield; fruit quality

**收稿日期:** 2025-07-11 **修回日期:** 2026-09-16
**基金项目:** 山东省重点研发计划(农业良种工程)项目(2026LZGC028);山东省科技型中小企业创新能力提升工程(2023TSGC0527);山东省重点研发计划资助(2023TZXD077)
**第1作者简介:** 刘 贺(2004-),男,硕士研究生,研究方向:蔬菜学。E-mail:1344803953@qq.com
***通讯作者:** Author for correpondence. E-mail:danzhao0612@163.com;gongbiao@sdau.edu.cn

硒是人类必需的微量元素[1]，全球约有15%的人口处于缺硒或濒临缺硒状态[2]。目前人类补充的硒元素多为有机硒，如医药行业的酵母硒。通过在富硒土壤中生产富硒作物，利用植物的生物转化能力将无机硒转化为有机态硒是向人类提供营养支撑的有效手段[3]。在生产实践中，施用无机硒会对较多作物的生长和产量造成一定的负面影响；而有机硒的施用成本偏高，限制了其在农业中的应用[4]。例如施用无机硒使菠菜的可溶性糖含量与可溶性蛋白质含量降低[5]；在黄蘑的生产中，无机硒抑制菌丝生长而有机硒对菌丝生长有促进作用[6]。因此，研发有机硒替代无机硒技术，开展富硒作物生产具有重要的意义。

番茄和黄瓜是我国栽培面积最大、附加值较高的两种设施蔬菜作物。番茄和黄瓜生产的规模化和集约化发展产生了大量生物废弃物，如整枝、打杈产生的茎叶，疏花疏果产生的幼果、残次果，拉秧后的茎叶和果实等。据农业农村部统计，我国蔬菜秸秆废弃物年产量已经超过2.16亿t，对城乡环境造成极大的污染[7]。但是，秸秆因含有与本作物矿质营养比例相似的营养成分，具有较高的再利用价值[8]。目前，蔬菜秸秆的利用方式主要包括秸秆原位还田[9]、发酵秸秆基质[10]、秸秆发酵堆肥[11]、开发生物质能源等[12]。生产上施用茄果类蔬菜秸秆能促进毛桃的养分吸收并增加产量[13]；将瓜秧等废弃物进行无害化处理并发酵制成秸秆有机肥可提高土壤耕地质量[14]。由此可见，蔬菜秸秆的综合开发利用对蔬菜产业的生态发展具有重要意义。

农用酵素是利用废弃有机物料、糖、水、微生物菌种等混合发酵形成的集有益菌群、有机酸、氨基酸、矿质营养等有效活性成分于一体的微生态系统[15]。利用秸秆等废弃物制作农业酵素施用于土壤，可以改善土壤结构，提高农作物的产量和品质[16]；如利用农业废弃物作为产生木质纤维素酶活性的低成本底物可以提高菌菇的产量[17]；农用酵素可提高番茄幼苗的发芽率和发芽势[15]；以大蒜为原料制作酵素对蔬菜的白粉病、灰霉病和叶霉病具有较好的防治效果[18]。本研究拟利用番茄、黄瓜田间生产的废料，借助酵素发酵过程中微生物的生长与繁殖将无机硒转化为有机硒，生产富硒酵素，并探索富硒酵素与传统富硒作物生产和酵素应用过程的异同点，以期提出新的富硒酵素配方和施用方案，为蔬菜秸秆高值化利用和富硒蔬菜生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源

供试番茄品种为‘金棚10号’，黄瓜品种为‘津优5号’。以亚硒酸钠（$Na_2SeO_3$）提供无机硒Se。基础酵素配方制备方法：捣碎的果实10 kg、切碎的茎叶5 kg、红糖20 kg、植物乳杆菌10 g（≥100亿CFU/g，购于镇江市天益生物科技有限公司），加水100 L，于大塑料桶内密封发酵三个月以上，发酵期间每周捣匀1次，发酵液过滤待用；其中以番茄果实和茎叶为基料的记作番茄酵素（FQJS），以黄瓜果实和茎叶为基料的记作黄瓜酵素（HGJS）。富硒番茄酵素（FQJS+Se）和富硒黄瓜酵素（HGJS+Se）采用如上制作规程，并于发酵前加入100 mmol $Na_2SeO_3$。

### 1.2 试验设计

番茄和黄瓜均栽培于日光温室，每沟（12 m）定植30株。酵素施用方式采用随水冲施，每沟每次冲施6 L酵素，每10 d冲施1次，以清水处理为对照（CK），Se处理表示冲施与富硒酵素中等量的$Na_2SeO_3$。每沟作物作为1次重复，试验共设3次重复。

### 1.3 测试方法

1.3.1 单株产量及果实硒含量测定 番茄共留3穗果，每穗留4果，记录总果重作为单株产量；黄瓜统计前10个果实作为单株产量。植物全硒含量测定参照《食品安全国家标准食品中硒的测定》（GB5009.93—2017）均采用原子荧光光谱法测定[19]。

1.3.2 果实品质指标测定 可溶性固形物使用PAL-1（Atago）折射仪匀浆后采用手持折射仪进行测定。维生素C含量按照国标GB5009.86-2016《食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定》中的2，6-二氯靛酚滴定法测定，使用自动滴定仪（HI931，Hanna）滴定，其单位为mg/100 g鲜重[20]。总糖含量采用蒽酮比色法测定[21]，总酸质量浓度采用酸碱滴定法测定[22]，两者比值即为糖酸比。番茄红素含量采用分光光度计法测定。采用考马斯亮蓝G-250法测定可溶性蛋白含

量[23]。采用水杨酸—硫酸法测定硝酸盐含量[24]。

1.3.3　叶绿素含量和光合作用测定　采用乙醇浸提-比色法测定叶绿素含量,使用LI-6400便携式光合仪(美国LI-COR公司)测定净光合速率[25]。

1.3.4　根系活力及根系过氧化氢含量测定　采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定根系活力,采用分光光度计测定根系过氧化氢含量[26]。

1.3.5　根际微生物测定　收集根际土壤,采用稀释涂板计数法分离测定微生物,NA培养基分离细菌,高氏1号培养基分离放线菌[27]。

### 1.4　数据处理

采用Graph Pad 9软件进行数据处理和方差分析。

## 2　结果与分析

### 2.1　Se、酵素和富硒酵素对番茄和黄瓜单株产量和果实Se含量的影响

由图1A、B可以看出,与CK相比,Se处理番茄和黄瓜的单株产量均显著下降;而施加酵素的FQJS、HGJS处理组番茄和黄瓜单株产量均显著提高,而且酵素和硒配施的FQJS+Se和HGJS+Se处理组的单株产量相比于CK也显著提高。这表明单施外源Se会降低番茄和黄瓜的产量,而施加酵素使番茄、黄瓜产量有明显提高并且施加酵素会明显缓解施加外源的无机硒使得产量降低的影响。由图1C、D结果可知,与CK处理相比,FQJS和HGJS处理对黄瓜和番茄果实的硒含量无明显影响,而Se、FQJS+Se和HGJS+Se处理对番茄和黄瓜果实的硒含量均有显著提升效果,其中,FQJS+Se和HGJS + Se处理的提升效果更为明显。由此可以推知,酵素与外源Se配施可以显著提升植物的富硒能力。

### 2.2　Se、酵素和富硒酵素对番茄和黄瓜果实品质的影响

从图2A-D可以看出,相比于CK处理,单施外源无机硒对番茄果实的可溶性固形物、维生素C含量、糖酸比及番茄红素含量均无显著影响;而施加酵素的FQJS和HGJS处理以及酵素与硒配施的FQJS+Se和HGJS+Se对番茄果实品质的相关指标均有显著提升效果,且FQJS和FQJS+Se处理相较于HGJS和HGJS+Se的提升效果更加显著。由图2-H可以发现,与CK处理相比,Se处理对黄瓜果实的可溶性固形物含量和维生素C含量无明显影响但会导致黄瓜果实可溶性蛋白质含量下降,同时还增加了果实中硝酸盐的含量;而施加酵素的FQJS和HGJS处理组以及酵素与硒配施的两个处理组均对黄瓜

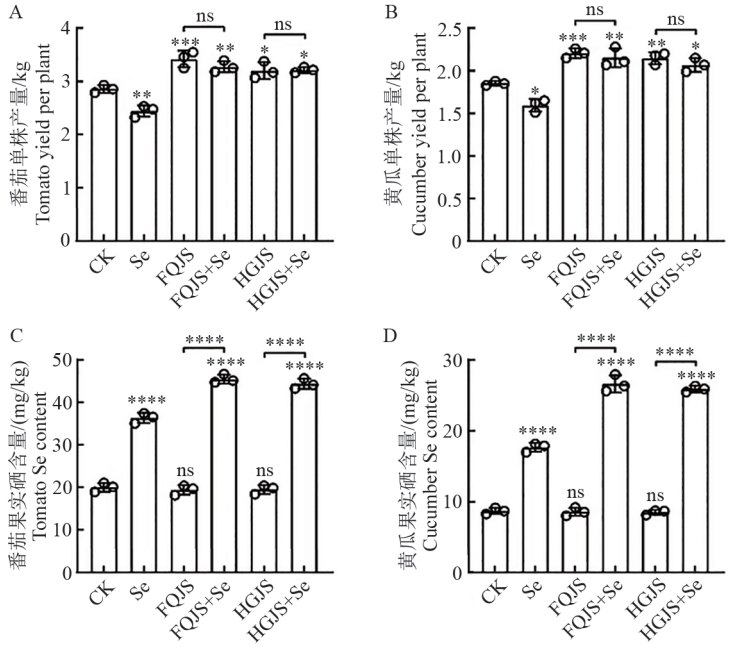


**图1 Se、酵素和富硒酵素对番茄和黄瓜单株产量和果实Se含量的影响**

**Fig. 1 Effects of Se, enzyme and selenium-enriched enzyme on per-plant yield and fruit Se content of tomato and cucumber**

果实的可溶性固形物含量、维生素C含量及可溶性蛋白的含量有显著提高，同时也降低了果实中硝酸盐的含量。不难发现，施用外源无机硒对黄瓜果实品质无明显提升作用，甚至会导致一些不利指标的升高，施用酵素以及酵素与硒配施可以显著提高黄瓜果实的品质，且施加酵素可以明显缓解施加外源无机硒对硝酸盐含量的提升效果。

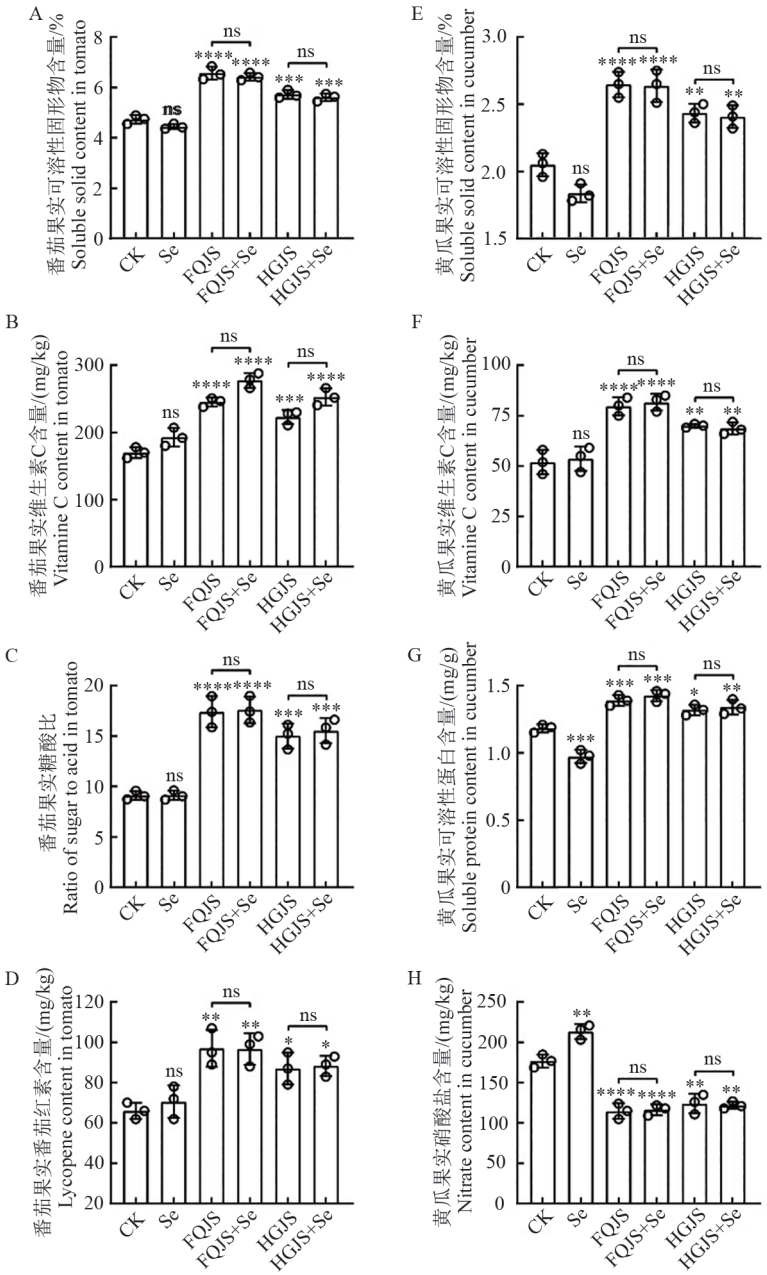


**图2 Se、酵素和富硒酵素对番茄和黄瓜果实品质的影响**

**Fig. 2 Effects of Se, enzyme and selenium-enriched enzyme on fruit quality of tomato and cucumber**

### 2.3 Se、酵素和富硒酵素对番茄和黄瓜光合作用的影响

光合作用是植物合成有机物的重要途径，影响植物的生长和产量品质[28]。由图3可知，相比于CK处理，单施外源无机硒对番茄和黄瓜的叶绿素含量及光合速率有一定抑制作用；而施加酵素的FQJS和HGJS处理以及酵素与硒配施的FQJS+Se和HGJS+Se对番茄和黄瓜的光合指标

都有显著提升。由此不难发现,施加酵素会显著提升番茄和黄瓜的光合能力且酵素的施加可以明显缓解外源无机硒对番茄和黄瓜光合能力的抑制作用。

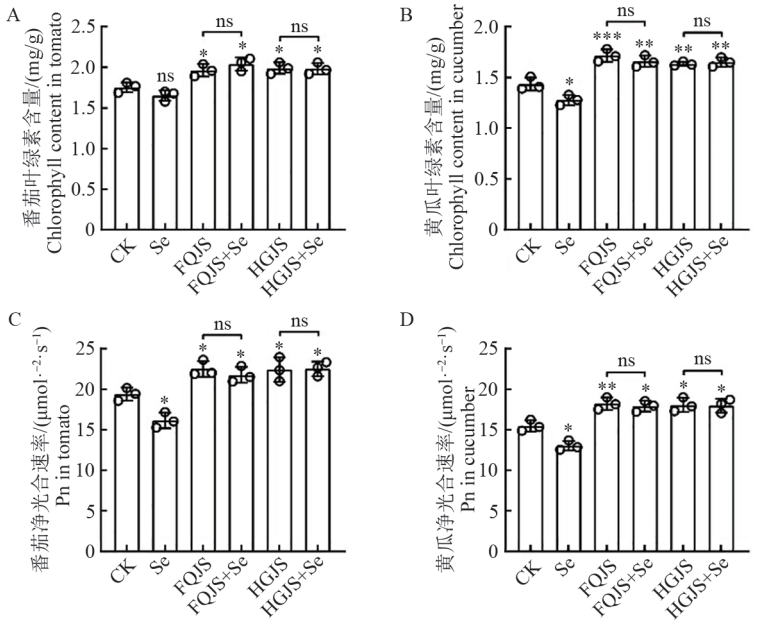


**图3 Se、酵素和富硒酵素对番茄和黄瓜光合作用的影响**

**Fig. 3 Effects of Se, enzyme and selenium-enriched enzyme on photosynthesis of tomato and cucumber**

### 2.4　Se、酵素和富硒酵素对番茄和黄瓜系活力和过氧化氢含量的影响

根系活力和过氧化氢含量是影响植物根系生长和健康评估的重要指标[29]。从图4可以看出,相比于CK处理,单施外源无机硒对番茄和黄瓜的根系活力有一定的抑制作用并且施加之后根系过氧化氢含量明显增高;相比之下,施加酵素的FQJS和HGJS处理以及酵素与硒配施的FQJS+Se

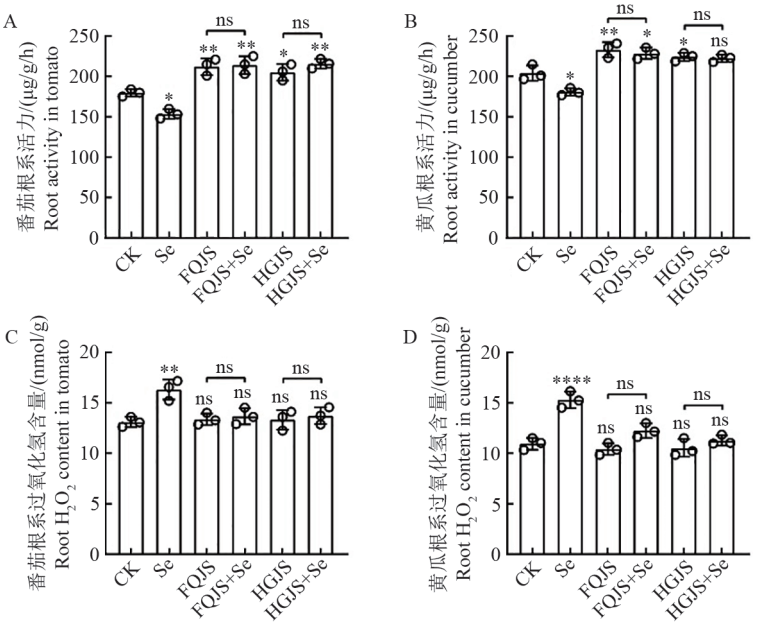


**图4 Se、酵素和富硒酵素对番茄和黄瓜根系活力和过氧化氢含量的影响**

**Fig. 4 Effects of Se, enzyme and selenium-enriched enzyme on root activity and hydrogen peroxide content of tomato and cucumber**

和HGJS+Se对番茄和黄瓜的根系活力都有显著提升，而根系过氧化氢含量则降低至CK处理的水平。据此可以推知，施加酵素会显著提升番茄和黄瓜的根系活力且酵素的施加可以明显缓解外源硒施用下根系过氧化氢含量增高带来的损害。

### 2.5 Se与酵素单施及配施对番茄和黄瓜根系菌群的影响

根系微生物通过多种途径影响宿主植物的生长和健康，细菌和放线菌对作物的生长、产量和抗性具有重要作用[30, 31]。根据图5可以得知，与CK相比，Se处理番茄和黄瓜的根系菌群数量没有明显变化；而FQJS、FQJS+Se、HGJS、HGJS+Se处理下番茄和黄瓜根系菌群数量均显著提高。值得注意的是，FQJS和FQJS+Se处理对根系菌群数量的提升幅度大于HGJS与HGJS+Se处理。这些结果表明施用酵素以及酵素与硒配施对提高根系菌群数量有显著作用，且番茄酵素效果更佳，这是因为番茄可溶性固形物含量更高且果实内糖酸代谢强。综上，酵素在改善根际微生态环境方面具有重要作用，并能与外源Se协同促进根际有益微生物的增殖。

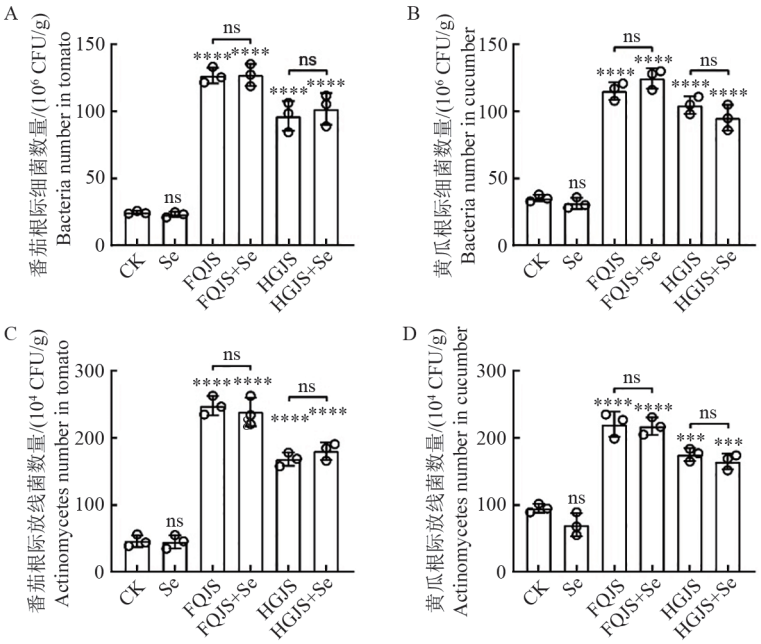


**图5 施用外源Se及植物基料酵素和Se与酵素配施对番茄和黄瓜根际细菌和放线菌数量的影响**

**Fig. 5 Effects of exogenous Se application, plant-based enzyme and combined Se-enzyme application on populations of rhizosphere bacteria and actinomycetes of tomato and cucumber**

## 3 讨论

硒是人体必需的微量营养元素，适量摄入硒可提高人体免疫力，维持正常的细胞生理功能。本研究以番茄、黄瓜残果及茎叶为基料制备酵素，系统探究了单施Se、番茄酵素（FQJS）、黄瓜酵素（HGJS）以及组合处理施加对番茄、黄瓜生长发育、产量、品质及光合生理的影响。结果表明，施加酵素和Se与酵素配施组合处理在生理指标和品质指标检测中均表现最优，显著优于清水对照（CK）及单独施加Se处理。这一结果不仅揭示了酵素与硒的良好的协同作用机制，同时也为设施蔬菜的优质、高产、富硒栽培及农业废弃物资源化利用提供了重要理论与实践依据。

本研究中酵素与硒的组合处理显著提高了番茄、黄瓜的单株产量，这可能与植株叶绿素含量及净光合速率的提升直接相关。光合能力是产量形成的基础，叶绿素作为光能捕获的关键色素，其含量增加可增强对光的吸收与转化[32]；净光合速率的提高则直接促进碳水化合物的合成与积累，为果实发育提供物质保障[33]。组合处理下二者的协同提升，可能源于两方面机制：一方面，酵素发酵产生的有机酸、氨基酸等小分子物质可改善根际土壤微环境，提高土壤透气性和养分有效性，硒施用促进植株对微量元素及氮等叶绿素合成必需元素的吸收[34]；另一方面，补充低

水平的硒会抑制叶绿素的降解,这会导致光合产物的生物合成增加,并最终在干物质的积累中发挥重要作用[35]。二者协同作用下,植株光能利用效率显著提升,生长指标提高,最终转化为产量的增加。

相比之下,单独Se处理导致番茄和黄瓜单株产量显著降低,可能是因为单独施硒时无机硒含量的增加对植株有一定的毒害作用,导致植株无法更好地生长;在富硒效果上,酵素与硒联合处理的果实有机硒含量显著高于其他处理,这与酵素的辅助作用密切相关。酵素发酵过程中,植物乳杆菌可产生有机酸,将难溶性硒转化为易被植株吸收的离子态硒[36],同时酵素中的有机质可促进根系对硒的主动吸收与转运。在营养物质积累方面,组合处理显著提高了果实维生素C、番茄红素、可溶性固形物及黄瓜可溶性蛋白含量,这些物质均为果实营养品质的核心指标,其合成受抗氧化代谢及次生代谢途径调控。硒作为谷胱甘肽过氧化物酶的关键组分,可增强植株抗氧化能力,减少自由基对营养物质的破坏[37],使得营养物质积累效率显著提升。

在风味与安全性方面,组合处理通过提高番茄糖酸比改善了果实风味,同时降低了黄瓜中有害的硝酸盐含量。糖酸比是果实风味的重要指标,其提升与可溶性固形物积累及有机酸代谢调控相关;而硝酸盐作为潜在有害物质,其含量降低可能与酵素中的微生物促进硝酸还原酶活性、加速硝酸盐向氨基酸转化有关。值得注意的是,单独硒处理提高了黄瓜中硝酸盐含量,可以推知单独补硒可能破坏氮代谢平衡,而酵素的加入可缓解这一负面影响,体现了二者协同施用的重要性。

本研究的酵素基料来源于番茄、黄瓜残果及茎叶,这类农业废弃物若随意丢弃,易引发环境污染。但通过发酵制备酵素实现“变废为宝”,既减少了废弃物排放,又降低了化肥使用量,符合“循环农业”与“绿色发展”理念。从应用角度看,酵素随水冲施操作简便,无须复杂设备,适合规模化推广,对降低生产成本、提高经济效益具有实际意义。同时,FQJS与番茄、HGJS与黄瓜的“同源性”可能增强了处理的针对性,为作物专用酵素的开发提供了思路。

## 4　结论

综上,番茄、黄瓜酵素与硒的组合处理通过协同提升光合能力、促进硒吸收与营养物质积累、优化风味及降低有害物质实现了“提质、增产、富硒”效果。果实产量方面,富硒酵素处理下番茄和黄瓜产量分别提高21%和16.6%;果实品质方面,施用富硒酵素使番茄和黄瓜的可溶性固形物含量分别提升16%和27%;番茄糖酸比提升92%,黄瓜可溶性蛋白提升33%;在光合能力上,富硒酵素缓解了硒对光合能力的抑制并使得番茄和黄瓜的光合速率分别提高了13.1%和9.2%。这些结果证实,酵素与硒的协同作用可以促进植物生长发育,提高植物产量和品质,也是打破单独施加硒对植物带来毒害的有效方法,而以农业废弃物为基料的酵素制备技术为循环农业下的优质作物生产提供了可行路径。同时,在多数处理中番茄酵素效果优于黄瓜酵素,在未来研究中可进一步优化酵素发酵参数和发酵基料及硒的施用浓度,达到最大化协同效应。

## 参考文献

[1] 王珠琳,袁 莉,李建科,等. 富硒植物蛋白的研究进展[J]. 中国粮油学报,2022,37(02):196-202.

[2] Dinh Q T, Cui Z, Huang J, et al. Selenium distribution in the Chinese environment and its relationship with human health: A review[J]. Environment International, 2018, 112:294-309.

[3] 胡居吾. 硒在农作物生长过程的富集及大豆硒蛋白生物功效研究[D]. 南昌:南昌大学,2017.

[4] 司 雨,王怡玫,伍倩慧,等. 有机和无机硒肥对水培‘上海青’植株生长与品质的影响[J]. 农业工程技术,2020,40(28):69-72.

[5] 史雅静,史雅娟,王玉荣,等. 无机硒肥对土壤有效氮含量及菠菜品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2019,25(02):274-283.

[6] 裴冰倩,郭家栋,汤昕明,等. 有机硒与无机硒对榆黄蘑菌丝生长的影响研究[J]. 中国食用菌,2019,38(07):15-18.

[7] 王仕娟. 茄果类蔬菜秸秆碳点制备方法及其对黄瓜幼苗生长的影响研究[D]. 泰安:山东农业大学,2024.

[8] 张 晗. 茄果类蔬菜秸秆水热炭制备方法及其对黄瓜连作土壤的改良效果[D]. 泰安:山东农业大学,2024.

[9] 丁建莉,魏 丹,金 梁,等.基于宏转录组研究蔬菜秸秆发酵体系细菌群落[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(11):2653-2660.

[10] 李 娜,龙静泓,韩晓增,等.短期翻耕和有机物还田对东北暗棕壤物理性质和玉米产量的影响[J].农业工程学报,2021,37(12):99-107.

[11] 唐艳领,马 凯,米国全, 等.葡萄秸秆复合有机肥对设施黄瓜产量、品质及土壤特性的影响[J].中国瓜菜,2025,38(05):108-115.

[12] 张飞雪,周利利,周肖瑜, 等.我国番茄秸秆废弃物资源化利用研究进展[J]. 蔬菜,2023(02):28-32.

[13] 卢麒宇, 肖云英, 孙国超, 等.不同茄果类蔬菜秸秆对毛桃幼苗养分吸收的影响[J]. 土壤通报,2025,56(01):180-188.

[14] 刘维柱,申铜飞,李 晔, 等.聊城市尾菜秸秆资源化利用技术[J]. 农业知识,2024(04):22-23.

[15] 刘 宇,陈娇月,赵 飞, 等.农用酵素对有机番茄高品质生产的作用[J]. 中国农业大学学报,2024,29(06):137-152.

[16] 张晶晶,姚燕来,朱凤香, 等. 农用酵素特性、研究进展及应用前景[J]. 浙江农业科学,2024,65(10):2509-2513.

[17] Kaur H, Kapoor S, Sharma S. Correlating ignocellulose converting enzymes, substrate utilization and biological' efficiency of Pleurotus eryngii strains grown on different agricultural residues[J]. Indian Journal of Horticulture, 2019, 76(2):305-311.

[18] 朱丽梅,刘艳芝,王淑霞,等.环保酵素防治3种蔬菜病害的初步研究[J]. 中国园艺文摘,2017,33(05):40-41.

[19] 苏 宁,谢惠春,蒋礼玲,等.光碳核肥对土壤养分及青稞硒吸收转运的影响[J]. 山西农业科学,2025,53(04):64-72.

[20] 申素云,王周倩,张 琦,等. 36份猕猴桃种质资源的果实品质与感官评价分析[J]. 植物科学学报,2023,41(04):540-551.

[21] 位 杰,吴翠云,蒋 媛,等.蒽酮法测定红枣可溶性糖含量条件的优化[J]. 食品科学, 2014, 35(24):136-140.

[22] 尚建疆,蔡立新. 酸度计连续滴定法测定葡萄汁中总酸和氨基氮的质量浓度[J]. 现代盐化工,2020,47(03):24-30.

[23] 焦 洁. 考马斯亮蓝G-250染色法测定苜蓿中可溶性蛋白含量[J]. 农业工程技术,2016,36(17):33-34.

[24] 赵 倩,石晓勇,陈月红,等. 水杨酸浓硫酸比色法测定泸苔中硝酸盐含量[J]. 海洋学报,2017,39(02):112-119.

[25] 叶景秀,杜德志. 甘蓝型油菜叶片叶绿素含量测定方法的优化及不同时期叶绿素含量比较[J]. 青海大学学报,2024,42(05):56-60+93.

[26] 赵迎霞,任毅华,普布扎西. 基于TTC法对急尖长苞冷杉种子生活力分析[J]. 高原农业,2025,9(03):304-310+333.

[27] 王东胜,薛泉宏,高 卉,等.$CaCl_2$对低钙土壤中可培养放线菌数量及种类的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(01):175-182+192.

[28] 闫琳琳,韩 珑,陈 震,等. 钙肥对茄子光合和果实相关指标的影响[J]. 北方园艺,2025(16):28-38.

[29] 王红星,赵锦慧,邢璐璐,等. 过氧化氢和水杨酸对蚕豆根尖生长过程的影响[J]. 周口师范学院学报,2016,33(02):111-115.

[30] 哈力娜·哈麦拉. 放线菌对冬枣的促生与增产作用机理研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2024.

[31] 凌春丽. 设施栽培草莓根系细菌多样性分析及有益微生物筛选[D]. 济南:齐鲁工业大学,2024.

[32] Massacci A, Nabiev S M, Pietrosanti L, et al. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2008, 46(2):189-195.

[33] 王 玮, 汪国莲, 梁双林, 等. 叶面喷施氨基多糖硒肥对西瓜生长及产量品质的影响[J]. 江苏农业学报,2019,35(06):1413-1420.

[34] 胡秋辉, 朱建春, 安辛欣, 等 . 硒提高茶叶品质效应的研究[J]. 茶叶科学, 2000(02):137-140.

[35] Naz F S, Yusuf M, Khan T A, et al. Low level of selenium increases the efficacy of 24-epibrassinolide through altered physiological and biochemical traits of Brassica juncea plants[J]. Food Chemistry, 2015, 185:441-448.

[36] Ge M, Zhou S, Li D, et al. Reduction of selenite to selenium nanoparticles by highly selenite-tolerant bacteria isolated from seleniferous soil[J]. Journal of Hazardous Materials, 2024, 472:134491.

[37] Kachroo A, He Z, Patkar R, et al. Induction of $H_2O_2$ in transgenic rice leads to cell death and enhanced resistance to both bacterial and fungal pathogens[J]. Transgenic Research,2003, 12(5):577-586.