

黄腐酸对连作黄瓜生长和土壤理化与生物特性的影响

孙吉庆¹, 朱恒达², 高春梅³, 王维华⁴

(1. 青岛市农业科学研究院 山东青岛 266041; 2. 海利尔药业集团股份有限公司 山东青岛 266109;
3. 荣成市农业农村事务服务中心 山东荣成 264300; 4. 青岛农业大学 山东青岛 266109)

摘要:以连作土壤盆栽黄瓜幼苗为试材,以不同浓度的黄腐酸溶液进行处理,测定幼苗生物量、叶片保护酶活性及部分生理指标、土壤理化性质、土壤微生物数量,探讨不同浓度黄腐酸处理对黄瓜连作障碍的影响。结果表明,浓度(ρ ,后同)为 $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的黄腐酸可显著促进连作黄瓜幼苗的生长,提高叶片超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶活性及叶片可溶性蛋白和叶绿素含量,降低丙二醛和脯氨酸含量。此外,适宜浓度的黄腐酸处理显著提高了土壤碱解氮、速效磷、速效钾和有机质含量,提高了土壤酶活性,增加了土壤细菌和放线菌数量,降低了真菌和尖孢镰刀菌数量,从而缓解了连作障碍,促进黄瓜幼苗生长。综上, $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 黄腐酸缓解黄瓜连作障碍的效果最好。

关键词: 黄瓜; 连作障碍; 黄腐酸; 土壤性状

中图分类号: S642.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)07-087-06

Effects of fulvic acid on the growth, soil physicochemical and biological characteristics of continuous cropping cucumber

SUN Jiqing¹, ZHU Hengda², GAO Chunmei³, WANG Weihua⁴

(1. Qingdao Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266041, Shandong, China; 2. Hailier Pesticides Chemicals Group Co., Ltd., Qingdao 266109, Shandong, China; 3. Rongcheng Agricultural and Rural Affairs Service Center, Rongcheng 264300, Shandong, China; 4. Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong, China)

Abstract: In order to investigate the effects of different concentrations of fulvic acid on seedling biomass, leaf protective enzyme activity, some physiological indicators, soil physicochemical properties, and soil microbial quantity of cucumber under continuous cropping. The results showed that fulvic acid at a concentration of $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ significantly promoted the growth of continuous cropping cucumber seedlings, increased the activity of superoxide dismutase, peroxidase, and catalase in leaves, increased soluble protein and chlorophyll content in leaves, and reduced malondialdehyde and proline content. In addition, treatment with appropriate concentrations of fulvic acid significantly increased the content of alkali-hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, available potassium and organic matter, improved soil enzyme activity, increased the number of bacteria and actinomycetes, and decreased the number of fungi and *Fusarium oxysporum* in the soil, in turn relieve continuous cropping obstacles and promoted cucumber seedling growth. In general, $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ fulvic acid had the best effect in relieving continuous cropping obstacles of cucumber.

Key words: Cucumber; Continuous cropping obstacle; Fulvic acid; Soil property

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)在我国栽培面积大、经济效益高,已成为设施栽培的主要瓜类蔬菜之一。然而,茬口安排单一、施肥量大、复种指数高、连作障碍等问题日益突出^[1-2]。为缓解连作障碍带来的危害,农业科技工作者尝试了多种方法改良土壤。黄腐酸因具有改良土壤结构、增强作物抗逆

性、提高作物产量和品质等作用,在农业生产上越来越受重视^[3]。黄腐酸是形成土壤团粒结构的核心物质,能促使土壤中 $\geq 0.25 \text{ mm}$ 的团粒含量增加10%~20%,黄腐酸和黄腐酸盐互相转化形成缓冲系统,可调节土壤溶液pH。此外,黄腐酸富含的碳、氢、氧、氮等元素,可直接被假单胞菌等有益土壤微

收稿日期: 2024-11-04; 修回日期: 2025-03-05

基金项目: 山东省重大科技创新工程项目(2019JZZY010715)

作者简介: 孙吉庆,男,农艺师,研究方向为蔬菜栽培与育种。E-mail: 471908498@qq.com

通信作者: 王维华,女,高级实验师,研究方向为菌根学和植物生物学。E-mail: whwahng2000@163.com

生物利用^[4]。研究表明,在连作条件下,黄腐酸能够显著改善土壤微生物群落结构,提高土壤养分含量及作物抗性,促进作物生长,有效缓解连作障碍^[5]。黄腐酸可以显著提高栽培黄瓜土壤脱氢酶活性^[6]及细菌群落多样性,增加厚壁菌门、浮霉菌门和绿弯菌门的相对丰度,增加黄瓜的平均直径和长度,提高黄瓜产量和品质^[7-8]。不同分子质量的黄腐酸均能显著提高冬小麦的生物量、籽粒产量及土壤养分吸收和利用效率^[9]。在干旱胁迫条件下,黄腐酸能显著提高黄瓜植株的水分利用率和光合效率,促进干物质积累,提高黄瓜的产量和品质^[10]。然而,在连作土壤条件下,黄腐酸对黄瓜生长及土壤性质的影响研究甚少。

鉴于此,笔者以不同浓度黄腐酸为处理,探究不同黄腐酸浓度处理下连作黄瓜植株和土壤性质的变化,以期筛选出缓解黄瓜连作障碍最适宜的黄腐酸浓度,为黄腐酸缓解黄瓜连作障碍提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试黄瓜品种为天津科润农业科技股份有限公司提供的津优35号。供试黄腐酸为河南南华千牧生物科技有限公司生产的矿源黄腐酸钾[黄腐酸含量(w,后同)≥50%]。塑料花盆上口内径20 cm,高15 cm。

穴盘育苗基质采用型号为YXQ-50S11的立式高压蒸汽灭菌器杀菌消毒(121℃,1 h)后的混合基质(草炭、蛭石、珍珠岩体积比为3:2:1),基质采购自山东济南祥瑞园艺用品有限公司。

栽培连作土壤取自青岛市即墨区移风店镇国家农业科技园温室连作黄瓜4 a(年)的土壤,采用五点取样法采集黄瓜植株根围土壤,所取土壤基本理化性质为EC值462.00 μS·cm⁻¹,碱解氮含量(w,后同)245.00 mg·kg⁻¹,速效磷含量102.32 mg·kg⁻¹,速效钾含量198.81 mg·kg⁻¹,有机质含量11.26 g·kg⁻¹,pH 6.65。

1.2 方法

试验于2021年8—10月在青岛农业大学校内温室进行,设6个处理:浇施0 mg·L⁻¹的黄腐酸(CK),浇施50 mg·L⁻¹的黄腐酸(F1),浇施100 mg·L⁻¹的黄腐酸(F2),浇施200 mg·L⁻¹的黄腐酸(F3),浇施400 mg·L⁻¹的黄腐酸(F4),浇施800 mg·L⁻¹的黄腐酸(F5)。黄腐酸的浇施量为500 mL·盆⁻¹,对照则浇等量的清水,每个处理重复10盆,完全随机排列。

2021年8月20日将黄瓜种子进行催芽处理,待种子发芽后于8月23日播种于装有上述育苗基质的穴盘中,播种时浇施1次上述6个处理浓度的黄腐酸,待黄瓜长至2叶1心时移栽至装有上述连作土壤的花盆中,在移栽时和移栽后两周分别浇施1次黄腐酸,共浇施3次,处理时间共35 d,栽培管理措施为常规管理,待幼苗生长至3叶1心期(9月28日)取样,测定相关指标。

1.3 指标测定

黄瓜植株生物量测定方法:随机选取生长状况良好且长势一致的3株黄瓜植株,株高和茎粗采用常规方法进行测量;以卷尺测量植株从基部(地面)到植株最高点(花序顶端或卷须)之间的垂直距离,即为该幼苗的株高。以游标卡尺测量植株离地面5 cm处茎干的粗度即为茎粗。将植株根、茎、叶分开,用自来水冲洗干净后,用吸水纸吸干,称得植株鲜质量,于105℃烘箱中进行10 min的杀青处理后,再将烘箱调至80℃烘干至恒质量,称得植株干质量。

参照王学奎^[11]的方法测定黄瓜植株丙二醛含量、脯氨酸含量、可溶性蛋白含量及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶活性(CAT)。

去除表皮土壤后取黄瓜根围土壤迅速过孔径1.5 mm筛,然后用封口袋密封保存于液氮中带回实验室,1份土壤4℃下保存,用于测定土壤酶活性等;1份土壤直接用于测定土壤微生物数量;1份土壤风干后研磨,用于测定土壤理化性质。

采用pH计和电导率仪分别测定土壤pH和电导率(EC值)。参照鲍士旦^[12]的方法测定土壤碱解氮、速效磷、速效钾和有机质含量。采用关松荫^[13]的方法测定土壤硝酸还原酶、脲酶、蛋白酶、多酚氧化酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性。

采用NA培养基(牛肉膏蛋白胨培养基)培养细菌;采用PDA培养基(马铃薯琼脂培养基)培养真菌;采用高氏I号培养基培养放线菌;采用PEA培养基培养尖孢镰刀菌^[14]。取同一种培养基、同一稀释度3个平板上的菌落平均数,按以下公式计算:每克样品中菌落形成单位数/(CFU·g⁻¹)=同一稀释度3次重复的菌落平均数×稀释倍数×5。

1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2019对试验数据进行分析作图,采用DPS(v7.05)软件进行方差分析,采用最小显著差数法(least-significant difference, LSD)进行多重比较($p<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 黄腐酸对连作黄瓜生长量的影响

不同黄腐酸浓度处理对连作黄瓜植株生长的影响存在差异(图1)。由表1可知,与CK相比,

F2、F3、F4、F5 处理均显著提高了连作黄瓜株高、茎粗、鲜质量和干质量,并且以 F4 处理的效果最好,分别比 CK 显著提高了 28.71%、72.41%、40.04%和 36.74%,而 F1 处理显著提高了连作黄瓜株高,但是对黄瓜茎粗、鲜质量和干质量的影响不显著。

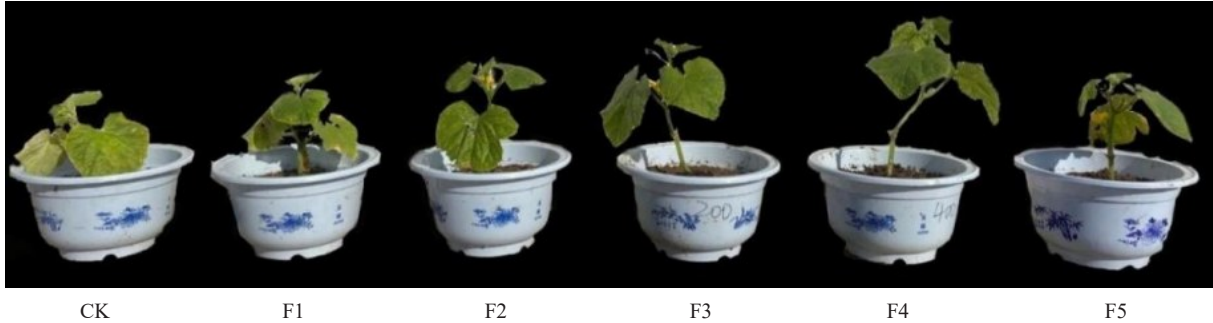


图1 黄腐酸对连作黄瓜植株的影响

Fig. 1 Effects of fulvic acid on continuous cropping cucumber plants

表1 黄腐酸对连作黄瓜植株生长量的影响

Table 1 Effects of fulvic acid on the growth of continuous cropping cucumber plants

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/cm	鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g
CK	15.90±0.19 d	0.23±0.010 d	15.55±0.40 d	1.79±0.05 d
F1	17.12±0.26 c	0.26±0.007 cd	16.41±0.25 d	1.84±0.03 d
F2	17.92±0.24 bc	0.29±0.010 c	18.85±0.23 c	2.07±0.02 c
F3	18.65±0.15 b	0.36±0.016 b	19.87±0.18 bc	2.24±0.04 b
F4	20.46±0.33 a	0.40±0.014 a	21.77±0.46 a	2.44±0.03 a
F5	19.64±0.45 a	0.34±0.008 b	20.25±0.92 b	2.32±0.06 ab

注:不同小写字母表示差异显著($p<0.05$)。下同。

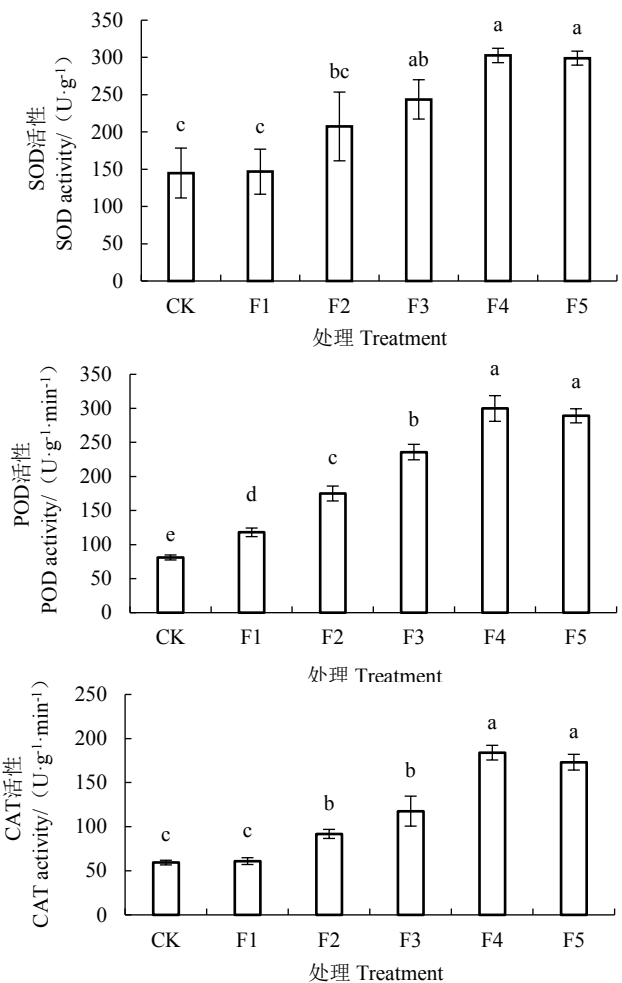
Note: Different small letters indicate significant difference ($p<0.05$). The same below.

2.2 黄腐酸对连作黄瓜叶片保护酶活性的影响

由图2可知,不同浓度黄腐酸处理对黄瓜叶片保护酶活性的影响不同。与CK相比,F3、F4和F5处理均显著提高了黄瓜叶片SOD、POD和CAT活性,其中,F4处理的效果最佳,分别比CK显著提高了109%、270%和210%。F2处理显著提高了黄瓜叶片POD和CAT活性,F1处理显著提高了黄瓜叶片POD活性。

2.3 黄腐酸对连作黄瓜叶片脯氨酸、丙二醛、可溶性蛋白及叶绿素含量的影响

由表2可知,与CK相比,F2、F3、F4和F5处理显著降低了黄瓜叶片脯氨酸和丙二醛含量,并且显著提高了黄瓜叶片可溶性蛋白和叶绿素含量,而F4与F5处理相比无显著差异。F4处理下黄瓜叶片脯氨酸和丙二醛含量与CK相比分别显著降低了



注:不同小写字母表示差异显著($p<0.05$)。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference ($p<0.05$). The same below.

图2 黄腐酸对连作黄瓜叶片抗氧化酶活性的影响

Fig. 2 Effects of fulvic acid on antioxidant enzyme activity in leaves of continuous cropping cucumber

表 2 黄腐酸对连作黄瓜叶片生理指标的影响
Table 2 Effects of fulvic acid on proline, malondialdehyde, soluble protein, and chlorophyll content of cucumber leaves

处理 Treatment	w(脯氨酸) Proline content/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	b(丙二醛) Malondialdehyde content/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	w(可溶性蛋白) Soluble protein content/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(叶绿素) Chlorophyll content/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)
CK	8.70±0.39 a	6.01±0.38 a	88.23±1.16 c	3.07±0.11 d
F1	7.59±0.56 a	5.61±0.25 ab	89.25±0.55 c	3.35±0.11 d
F2	6.03±0.07 b	4.91±0.05 bc	92.91±0.87 b	3.90±0.04 c
F3	5.76±0.12 bc	4.26±0.16 cd	94.75±0.59 ab	4.40±0.10 b
F4	4.59±0.50 d	3.76±0.24 d	96.19±0.20 a	5.09±0.10 a
F5	4.82±0.30 cd	4.04±0.40 d	94.95±0.34 ab	4.95±0.09 a

47.22%和 37.44%，叶片可溶性蛋白和叶绿素含量与 CK 相比分别显著提高了 9.03%和 65.46%。

2.4 黄腐酸对黄瓜连作土壤理化性质的影响

由表 3 可知，不同浓度黄腐酸对连作黄瓜土壤理化性质的影响不同。与 CK 相比，黄腐酸处理显著降低了连作黄瓜土壤 EC 值，而不同程度地提高了土壤 pH 及碱解氮、速效磷、速效钾和有机质含量，并且以 F4 处理效果最佳，分别比 CK 显著提高了 4.80%、27.59%、43.61%、36.70%和 13.61%。

2.5 黄腐酸对黄瓜连作土壤酶活性的影响

由图 3 可知，与 CK 相比，F3、F4 和 F5 处理显著提高了连作黄瓜土壤蛋白酶、脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性；F2 处理显著提高了连作黄瓜土壤蛋白

表 3 黄腐酸对黄瓜连作土壤理化性质的影响
Table 3 Effects of fulvic acid on physical and chemical properties of cucumber continuous cropping soil

处理 Treatment	EC 值 EC value/ ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	pH	w(碱解氮) Alkali-hydrolyzable nitrogen content/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(速效磷) Available phosphorus content/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(速效钾) Available potassium content/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(有机质) Organic matter content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
CK	723.67±8.41 a	6.87±0.05 b	257.33±6.69 c	142.63±6.61 d	156.55±5.88 c	10.36±0.10 d
F1	644.00±8.14 b	6.85±0.05 b	272.00±8.89 c	142.68±8.31 d	166.44±6.40 c	10.30±0.08 d
F2	644.00±8.14 b	6.93±0.03 b	316.67±6.19 b	165.77±3.54 c	163.60±2.15 c	10.67±0.12 c
F3	587.33±8.76 c	7.17±0.03 a	331.67±8.97 b	179.02±5.72 bc	176.57±7.91 bc	11.28±0.05 b
F4	480.67±18.76 e	7.20±0.02 a	328.33±5.46 b	204.82±3.48 a	214.01±12.01 a	11.77±0.05 a
F5	524.33±12.41 d	7.28±0.04 a	361.00±6.03 a	189.35±6.53 ab	197.31±6.99 ab	11.45±0.09 b

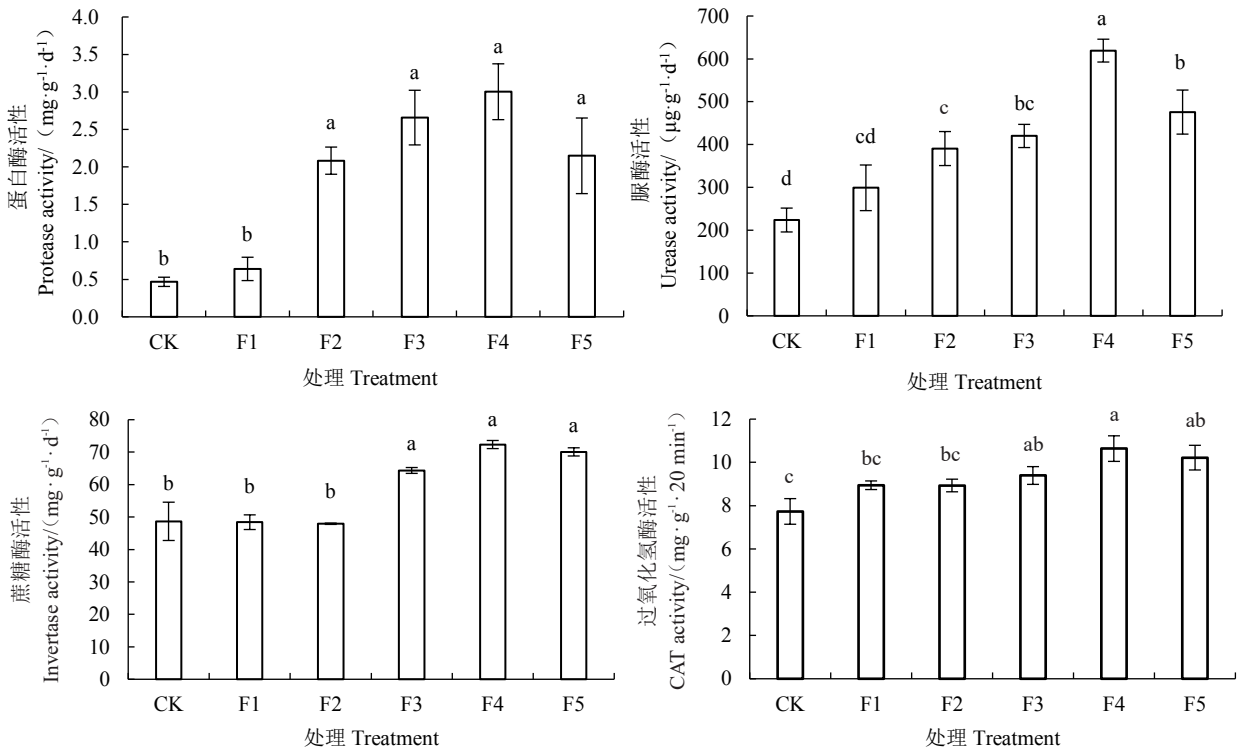


图 3 黄腐酸对黄瓜连作土壤酶活性的影响
Fig. 3 Effects of fulvic acid on enzyme activities of cucumber continuous cropping soil

酶和脲酶活性。F1 处理与 CK 相比差异不显著。F4 处理提高土壤酶活性的效果最好,其土壤蛋白酶、脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性分别比 CK 显著提高了 543.00%、177.00%、48.63%和 37.55%。

2.6 黄腐酸对黄瓜连作土壤微生物数量的影响

由图 4 可知,与 CK 相比,F2、F3、F4 和 F5 处理

显著提高了连作黄瓜土壤细菌、放线菌数量;F3、F4 和 F5 处理显著降低了土壤真菌和尖孢镰刀菌数量。F1 处理与 CK 相比差异不显著。F4 处理的土壤细菌和放线菌数量分别比 CK 显著提高了 27.74%和 55.38%,土壤真菌和尖孢镰刀菌数量分别比 CK 显著降低了 22.55%和 44.03%。

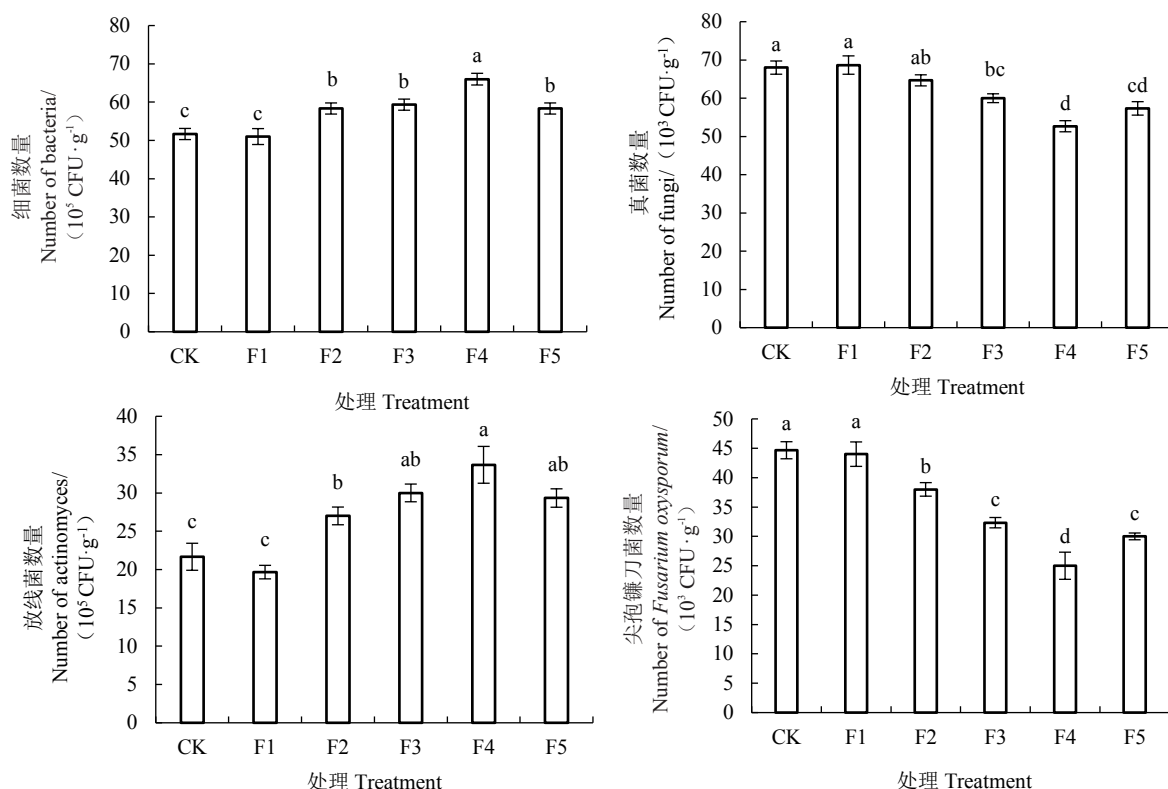


图 4 黄腐酸对黄瓜连作土壤微生物数量的影响

Fig. 4 Effects of fulvic acid on microbial quantity of cucumber continuous cropping soil

3 讨论与结论

逆境胁迫下,黄腐酸处理可以提高 SOD 和 POD 活性、光合效率、可溶性蛋白和叶绿素含量,降低 MDA 含量^[15-18],进而提高作物产量和品质。本试验也同样得出类似的结论,这可能是因为施加黄腐酸后,改善了黄瓜根系的生长环境,间接提高黄瓜叶片清除氧自由基和降低膜脂氧化的能力,利于维持细胞内水分吸收、渗透调节和氧化还原平衡,从而缓解了连作障碍对黄瓜幼苗的影响,促进幼苗生长。

黄腐酸处理能够不同程度地提高黄瓜连作土壤碱解氮、速效磷、速效钾和有机质含量,降低土壤电导率。这可能是由于黄腐酸的络合效应,可以与土壤中的矿质元素形成金属螯合物,通过螯合作用,一方面减少土壤盐离子含量,降低盐胁迫;另一

方面减少矿物质元素的流失,提高土壤矿质营养元素含量,而且利于土壤团粒结构的形成,提高土壤孔隙度,改善土壤理化性质^[19]。土壤理化性质的改善,能够有效降低连作土壤对根系的胁迫,促进植株生长。此外,黄腐酸处理可以显著提高土壤脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶和蔗糖酶活性^[20-22]。本试验发现,经黄腐酸处理后,土壤蛋白酶、脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性显著提高。土壤酶活性的提高,能够促进土壤碳氮循环和有机质分解,增加土壤肥力,且土壤酶的解毒作用有利于降低连作土壤有害物质含量,缓解连作障碍,从而促进黄瓜生长。

黄腐酸也可以降低连作土壤镰刀菌属相对丰度,抑制有害菌的繁殖^[23-24]。笔者在本试验发现,适宜浓度的黄腐酸处理显著提高了土壤细菌和放线菌数量,降低了真菌和尖孢镰刀菌的数量,这可能是因为黄腐酸在分解的过程中向病原真菌释放的

氨和挥发性脂肪酸等有毒物质,抑制了病原真菌的繁殖。也有研究表明,土壤 pH 的增大能导致镰刀菌丰度下降,土壤高 pH 能降低由镰刀菌引起的土传病害的发病率^[25],所以笔者发现黄腐酸处理降低了尖孢镰刀菌的数量,可能与土壤 pH 的增大有关。

综上所述,施加黄腐酸有利于缓解黄瓜连作障碍,在该试验条件下,400 mg·L⁻¹黄腐酸浓度处理对缓解黄瓜连作障碍的效果最好,可显著促进连作黄瓜幼苗的生长,提高叶片 SOD、POD、CAT 活性及叶片可溶性蛋白和叶绿素含量,降低 MDA 和脯氨酸含量。此外,适宜浓度黄腐酸处理能够显著提高土壤碱解氮、速效磷、速效钾和有机质含量及土壤酶活性,增加土壤细菌和放线菌数量,降低真菌和尖孢镰刀菌数量。

参考文献

- [1] ALI A, GHANI M I, LI Y H, et al. Hiseq base molecular characterization of soil microbial community, diversity structure, and predictive functional profiling in continuous cucumber planted soil affected by diverse cropping systems in an intensive greenhouse region of northern China[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2019, 20(11): 2619.
- [2] 杨因君, 秦涛, 决超. 不同有机肥配施土壤调理剂对黄瓜连作土壤碳氮及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(1): 225-231.
- [3] 郑剑超. 化肥减量配施菌肥和黄腐酸肥对辣椒生长与肥料利用率的影响[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(12): 58-63.
- [4] 刘英超, 万山平, 程霞, 等. 黄腐酸生理学功能及促进作物生长机理研究进展[J/OL]. 热带亚热带植物学报, 1-10(2024-12-18). <https://link.cnki.net/urlid/44.1374.q.20241217.1508.002>.
- [5] 李亚杰, 罗磊, 姚彦红, 等. 黄腐酸菌肥与常规肥料配比对西北旱作区马铃薯根系形态及土壤酶活性的影响[J]. 土壤与作物, 2019, 8(3): 293-301.
- [6] AFIFI M M I, ISMAIL A M, KAMEL S M, et al. Humic substances: A powerful tool for controlling *Fusarium* wilt disease and improving the growth of cucumber plants[J]. Journal of Plant Pathology, 2017, 99(1): 61.
- [7] LI Y, FANG F, WEI J L, et al. Physiological effects of humic acid in peanut growing in continuous cropping soil[J]. Agronomy Journal, 2021, 113(1): 550-559.
- [8] JIANG N, WU M, LI G L, et al. Humic substances suppress *Fusarium oxysporum* by regulating soil microbial community in the rhizosphere of cucumber (*Cucumis sativus* L.)[J]. Applied Soil Ecology, 2022, 174: 104389.
- [9] 梁媛媛, 王泽平, 史秋哲, 等. 不同分子质量黄腐酸对冬小麦生长和养分吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(2): 308-322.
- [10] 刘彩娟, 吕春雨, 艾希珍, 等. 黄腐酸对干旱胁迫下黄瓜光合特性及产量和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2022, 33(5): 1300-1310.
- [11] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986.
- [14] 何绍江, 陈雯莉. 微生物学实验[M]. 北京: 中国农业出版, 2007.
- [15] 回振龙, 李朝周, 史文焯, 等. 黄腐酸改善连作马铃薯生长发育及抗性生理的研究[J]. 草业学报, 2013, 22(4): 130-136.
- [16] 王玫, 尹承苗, 孙萌萌, 等. 黄腐酸微生物菌剂对连作平邑甜茶光合特性的影响[J]. 植物生理学报, 2019, 55(1): 99-106.
- [17] 孙桂琴, 刘德春, 王见华. 新型聚合物包膜尿素配施黄腐酸对棉花叶绿素荧光动力学特征及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2023, 55(7): 87-95.
- [18] 孔繁荣, 李海平, 郭文忠, 等. 干旱低温复合胁迫下黄腐酸钾对西葫芦幼苗生长和生理生化特性的影响[J]. 山东农业科学, 2024, 56(1): 74-80.
- [19] 刘小媛, 杨劲松, 姚荣江. 化肥减量配施黄腐酸降低盐渍农田 NaCl 含量提高氮磷养分有效性的协同效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(8): 1339-1350.
- [20] 刘佳欢, 王倩, 罗人杰, 等. 黄腐酸肥料对小麦根际土壤微生物多样性和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(10): 1808-1816.
- [21] 王相平, 杨劲松, 张胜江, 等. 改良剂施用对干旱盐碱区棉花生长及土壤性质的影响[J]. 生态环境学报, 2020, 29(4): 757-764.
- [22] 林雪婷, 高莉娜, 宋希亮, 等. 生物炭、黄腐酸、黑曲霉对狼尾草苗期生长及光合特性的影响[J]. 中国草地学报, 2022, 44(6): 77-84.
- [23] XU Y H, LIU C Y, BAO J S, et al. Microbial diversity and physicochemical properties in farmland soils amended by effective microorganisms and fulvic acid for cropping Asian ginseng[J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2022, 50(1): 12563.
- [24] LI Y, FANG F, WEI J L, et al. Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: A three-year experiment[J]. Scientific Reports, 2019, 9: 12014.
- [25] BONANOMI G, ANTIGNANI V, CAPODILUPO M, et al. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2010, 42(2): 136-144.