

生物有机肥对养心菜品质和产量的影响

王安琪¹, 宋冠林¹, 路来风^{1,2}, 张浩¹, 郭庆柱³, 王昌禄^{1,2,*}

(1. 天津科技大学食品科学与工程学院, 天津 300457; 2. 省部共建食品营养与安全国家重点实验室, 天津 300457; 3. 天津市宏胜源食用菌科技发展有限公司, 天津 300270)

摘要: 利用研制的包含多种功能菌(白黄链霉菌 TD-1、固氮菌 JZ1、无机磷分解菌 JWP1、有机磷分解菌 JP12、解钾菌 JK1)的菌剂对不同原料配比制成的农业有机废弃物堆肥进行二次发酵, 制得具有促生功能的生物有机肥, 并用于扦插养心菜种植中, 探究生物有机肥对养心菜产量和品质的影响。结果表明: 相较于不施肥组和未二次发酵处理的有机肥组, 不同原料配比的二次发酵生物有机肥对养心菜的产量和品质有明显提高。在种植 70 d 后, N3M 生物有机肥组的养心菜生长指标较佳, 须根分支数、单株产量最高, 分别为 15.00 根和 11.89 g, 株高增量达到 456.10%, 显著高于不施肥组。在品质指标中, N3M 处理组养心菜的单宁含量为 2.19 mg·kg⁻¹, 较不施肥组降低了 40.5%, 养心菜涩味明显降低, 同时该组养心菜的 VC 和总黄酮含量较不施肥组和未二次发酵组也有所提高。综上所述, 施用适宜配方的生物有机肥能促进养心菜生长, 同时提高其品质和产量。因此, 生物有机肥可作为一种绿色环保肥料用于农业生产。

关键词: 生物有机肥; 养心菜; 品质; 产量

Effect of Bio-organic Fertilizer on Quality and Yield of *Sedum aizoon* L.

WANG An-qi¹, SONG Guan-lin¹, LU Lai-feng^{1,2}, ZHANG Hao¹,
GUO Qing-zhu³, WANG Chang-lu^{1,2,*}

(1. College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China; 2. State Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, Tianjin 300457, China; 3. Tianjin HONGSHENGYUAN Mushroom Technology Development Co., Ltd., Tianjin 300270)

Abstract: The biological organic fertilizer with promoting function was prepared by secondary fermentation of agricultural organic waste composting made with different raw material ratios using the microbial inoculum containing a variety of functional bacteria (*Streptomyces albobiflavus* TD-1, nitrogen fixing bacteria JZ1, inorganic phosphorus decomposing bacteria JWP1, organic phosphorus decomposing bacteria JP12 and potassium decomposing bacteria JK1) and used for planting of cuttage *Sedum aizoon* L. to explore the effects of the biological organic fertilizer on the yield and quality of the *Sedum aizoon* L.. The results showed that compared with no-fertilization group and no-secondary fermentation organic fertilizer group, the bio-organic fertilizer after secondary fermentation with different proportions of raw materials significantly improved the yield and quality of *Sedum aizoon* L.. After 70 days of planting, the growth index of cabbage was better in the N3M bio-organic fertilizer group, with the highest branch number of fibrous root and yield per plant, which was 15.00 and 11.89 g, respectively. The plant height increment reached

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31972177)

作者简介: 王安琪(1997—), 女, 汉族, 硕士研究生, 研究方向: 微生物资源开发与应用。

*通信作者: 王昌禄, 博士, 教授, 研究方向: 食品生物技术、农副产品生物转化及资源开发、食品营养与安全技术。

456.10%, significantly higher than that in the no-fertilization group. Among the quality indexes, the tannin content of *Sedum aizoon* L. in the N3M treatment group was $2.19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, which was 40.5% lower than that in the no-fertilization group, and the astringency of *Sedum aizoon* L. was significantly reduced, the VC and total flavonoid contents of *Sedum aizoon* L. were also higher than those in the no-fertilization group and the no-secondary fermentation group. In summary, the application of bio-organic fertilizer could promote the growth of *Sedum aizoon* L. and improve its quality and yield. Therefore, that biological organic fertilize with appropriate formula can be used for agricultural production as a green and environment-friendly fertilizer.

Key words: bio-organic fertilizer; *Sedum aizoon* L.; quality; yield

中图分类号:S567.23+9

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2023.01.002

农业作为国民经济发展的基础和战略性产业,一直备受我国政府的重视,化肥具有价格低、见效快等特点,在我国农业用肥中占有很大比重^[1]。但在农业生产中,长期不合理施用化肥导致出现诸多问题:①施用量不科学导致化肥残留,加重土壤板结^[2];②土壤理化性质改变^[3],土壤微生态平衡被破坏^[4];③化肥施用比例不科学,导致作物营养需求得不到满足,产量降低^[5]。

一段时期以来,不合理施肥导致的土壤污染、食品安全问题日益增加。人们逐渐开始寻求一种既能保证作物种植效益,又能保护生态环境的肥料。生物有机肥(Biological organic fertilizer, BOF)不仅营养物质丰富,一定程度上能够有效代替化肥,可用于蔬菜、水果、农作物种植^[6],同时生物有机肥是以畜禽粪便、农作物秸秆、食品加工副产物、生活垃圾等有机废弃物为原料,能够实现对农业固体有机废物的资源化利用与转化,使其变废为宝。有机固体废物经过微生物发酵的无害化、腐熟处理,可制成兼具有机肥和微生物功效的肥料^[7],在促进作物生长的同时起到修复受污染的土壤和提高土壤肥力的作用。已有研究发现,在作物种植中,将生物有机肥代替一定量的化肥施用,作物口感更佳^[8],品质得到改善^[9],且随着施用生物有机肥比例的提高,作物果实形状和颜色更好^[10],果蔬中的硝酸盐含量降低^[11],可溶性糖、可溶性蛋白质、游离氨基酸、VC、总糖含量^[12]都有所提高,蔬菜、作物的总产量均较单独施用化肥有所提高^[13]。生物有机肥品质的优劣主要取决于其所含功能微生物的作用强度和活菌数量。在生物有机肥制造过程中,通常在堆肥前加入发酵菌剂,包括一些活性强且耐高温、高渗等抗逆性较强的微生物,如纤维素降解菌、酵母菌、乳酸菌、木霉等^[14-15],这些微生物主要用于降解原料中的纤维素、木质素,以及促进堆肥形成腐殖质等物质。也有一些微生物,

以放线菌^[16]、固氮菌^[17]、溶磷菌^[18]、解钾菌等为主,在堆肥高温期后或物料腐熟后加入,这些功能菌能够通过二次发酵提高生物有机肥的营养物质含量^[19-20],增强生物有机肥的促生效果。

养心菜(*Sedum aizoon* L.),又称费菜、土三七、景天三七、救心菜、高钙菜,是景天科景天属多年生草本植物^[21]。养心菜可作为蔬菜,凉拌、烹炒或煲汤食用,清香可口、风味独特;也可入药,其性平,味甘,微酸,具有养心、平肝、宁心、滋阴养血、活血止血之功效,对预防心脏病、失眠、高血压,治疗牙龈出血、月经量多、跌打损伤、失眠、蛇虫咬伤、血管硬化等疾病均有一定疗效^[22]。养心菜株形优美,绿色期长,耐修剪,花朵呈黄色聚伞状,常用作盆栽观赏花卉和植物造型,同时其耐旱及耐寒性好,适应性强,是风沙治理及园林绿化的优选植物^[23]。

本文利用实验室前期优化的菌剂对不同原料配比的农业有机废弃物堆肥初产物进行二次发酵,制得具有促生功能的生物有机肥,将其用于养心菜种植,旨在探究生物有机肥对养心菜的生长、品质和产量的影响,以期利用生物有机肥提高其他作物产量、品质及促进农业可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料与试剂

供试养心菜,选取购于江苏省徐州市沛县的绿茎养心菜幼苗,作为盆栽试验使用。

BCA 试剂盒:碧云天生物技术有限公司;钨酸钠、钼酸钠、酒石酸钾钠:天津市北方天医化学试剂公司;氯化铝、没食子酸、氢氧化钠、醋酸钾、乙醇:天津市北方天医化学试剂公司;芦丁标准品、草酸、2,6-二氯酚靛酚钠:北京索莱宝科技有限公司。

供试菌剂和生物有机肥均由天津科技大学食品

科学与工程学院发酵食品与生物资源开发研究室研制生产,菌剂中功能微生物为实验室保藏菌株:白黄链霉菌 TD-1(*Streptomyces alboflavus* TD-1)、固氮菌 JZ1、无机磷分解菌 JWP1、有机磷分解菌 JP12、解钾菌 JK1。供试生物有机肥理化性质见表 1。

供试条垛有机肥与纳米膜有机肥由天津市宏盛

源食用菌科技发展有限公司提供。

试验地点在天津市滨海新区(GPS:39°03'N,117°68'E),该地区属温带大陆性季风气候,土壤属于滨海盐化潮土、湿潮土和滨海盐土,含盐量 1%~2%,土质黏重,质地板结,肥力欠佳。盆栽试验的土壤尽量保证质量和理化性质相同。供试土壤的基本理化情况见表 2。

表 1 生物有机肥的理化特性

Table 1 Physico-chemical characteristics of biological organic fertilizer

生物有机肥	有效活菌数/(CFU·g ⁻¹)	总氮含量/(g·kg ⁻¹)	速效磷含量/(mg·kg ⁻¹)	速效钾含量/(mg·kg ⁻¹)	有机质含量/%
N1Q	44.0	18.11	414.28	15.96	34.57
N1M	36.0	18.83	340.09	13.00	43.28
N2Q	80.0	17.23	345.19	15.43	32.60
N2M	51.0	17.06	310.25	14.32	36.75
N3Q	14.5	16.66	367.33	15.50	33.12
N3M	36.6	16.88	305.66	15.68	34.66
N4Q	21.0	17.66	401.60	10.47	44.16
N4M	18.0	18.13	357.31	15.65	43.75
N5Q	32.0	17.37	356.32	12.10	38.14
N5M	39.0	18.22	324.12	10.05	38.07
N6Q	56.6	14.82	366.57	12.43	41.68
N6M	42.7	14.45	301.64	11.16	40.32
条垛有机肥	1.43	14.11	293.32	10.01	31.03
纳米膜有机肥	1.65	17.55	297.61	10.76	36.56

表 2 供试土壤的基本理化性状

Table 2 Basic physico-chemical properties of soil sample

pH	含水率/%	总氮含量/(mg·kg ⁻¹)	速效磷含量/(mg·kg ⁻¹)	速效钾含量/(mg·kg ⁻¹)
7.60±0.21	4.75±0.32	1 304.81±12.20	47.04±1.68	308.31±47.87

1.1.2 仪器与设备

Agilent 8453 紫外可见分光光度计:上海魁元科学仪器有限公司;T1000 电子天平:青岛精诚仪器仪表有限公司;电子数显游标卡尺:德清盛泰芯电子科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 盆栽试验设计

剪取养心菜种苗植株上部作为插穗。插穗长度统一修剪为 5.0 cm,粗约 0.3 cm,剪时茎节尽可能接近扞穗下端,上口平,下口斜,去掉下部 1/3 的叶片,保留上部叶片。生物有机肥按照 30 t/hm² 的施用比例加入盆栽盐碱土中,拌匀。于 2021 年 2 月 23 日将养心菜扞插种植在盆栽(各处理组所选盆栽容器保持一致,均为直径 20 cm,深度 30 cm 的透气花盆)中,每盆种植土添加量为花盆容积的 3/4,每盆栽植 1 株养心菜苗。将各组盆栽置于室内,待养心菜幼苗生长稳定后(约 15 d),统一搬移至室外培养,与自然环境相

同。定期浇水保持田间持水量 70%左右,选取 70 d(养心菜盛长期)养心菜进行促生指标测定,每组重复 3 次,每次重复为 3 盆,每个处理组共 9 株养心菜。

1.2.2 测定项目与方法

1.2.2.1 株高

使用刻度尺测定茎基部到顶端的距离,结果取平均值。

1.2.2.2 株高增量

株高增量计算公式为:

株高增量(%)=

$$\frac{\text{收获时株高(cm)} - \text{扞插时株高(cm)}}{\text{扞插时株高(cm)}} \times 100$$

1.2.2.3 茎粗

使用游标卡尺测定距下部扞插口 1.5 cm 处的扞插苗直径即粗度,计算平均茎粗。

1.2.2.4 茎粗增量

茎粗增量计算公式为:

$$\text{茎粗增量}(\%) = \frac{\text{收获时茎粗}(\text{cm}) - \text{扦插时茎粗}(\text{cm})}{\text{扦插时茎粗}(\text{cm})} \times 100$$

1.2.2.5 最长须根长

使用刻度尺直接测定,结果取平均值。

1.2.2.6 单株产量

每株地上茎质量,直接称量。

1.2.2.7 单宁含量

参照国家农业行业标准 NY/T 1600—2008^[24]中的分光光度法测定。

1.2.2.8 总黄酮含量

采用三氯化铝比色法^[25]测定。

1.2.2.9 VC含量

采用2,6-二氯酚酚滴定法^[26]测定,结果取平均值。

1.2.2.10 可溶性蛋白含量

采用BCA法^[27]测定。

1.2.3 数据处理

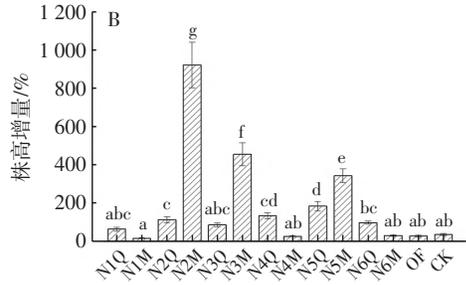
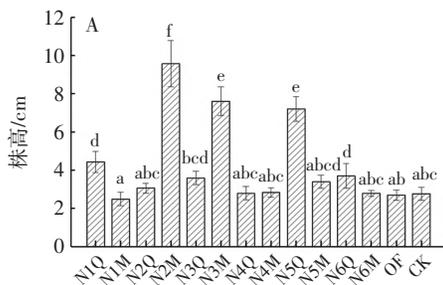
采用SPSS 18.0软件进行数据差异显著性分析,当组内比较个数为3或超过3个时,均采用单因素ANOVA分析,Duncan差异分析方法分析,以 $P < 0.05$ 为显著性检验标准。所有数值均以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用Origin 95软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同生物有机肥对养心菜生长和产量的影响

2.1.1 不同生物有机肥对养心菜株高和株高增量的影响

由图1可以看出,养心菜生长70d到达生长旺盛期时,除N1M组外,生物有机肥处理组的株高和株高增量均高于未经二次发酵的有机肥组和不施肥处理组。其中,N2M组株高(9.55 cm)显著高于其他处理组($P < 0.05$),较未经二次发酵的有机肥组(2.70 cm)和不施肥处理(2.77 cm)组分别高出253.7%和244.8%。N2M、N3M和N5M组养心菜株高增量分别为923.21%、456.10%、343.48%,均超过了200%,与未经二次发酵的有机肥组(28.57%)和不施肥处理组(36.07%)相比差异均达到极显著水平($P < 0.01$)。说明本试验所制



注:OF:条垛有机肥与纳米膜有机肥1:1混合组(未经二次发酵);CK:未施肥组。不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。以下各图同。

图1 生物有机肥对养心菜株高(A)和株高增量(B)的影响
Fig.1 Effects of bio-organic fertilizer on plant height (A) and plant height increment (B) of *Sedum aizoon* L.

备的部分二次发酵生物有机肥能够提高养心菜的生长速度。

2.1.2 不同生物有机肥对养心菜茎粗和茎粗增量的影响

由图2可以看出,养心菜生长70d到达生长旺盛期时,大多数生物有机肥组的养心菜茎粗和茎粗增量高于未经二次发酵的有机肥组或不施肥组。N2M和N4M处理组的养心菜茎最粗,分别为3.89 mm和3.42 mm,显著高于其他处理组($P < 0.05$),较不施肥组(2.74 mm)分别高出42.0%和24.8%。N2Q和N2M组的养心菜茎粗增量最大,分别为70.00%和66.67%,显著高于未经二次发酵的有机肥组(14.29%)、不施肥组(2.50%)和其余处理组,差异均达到极显著水平($P < 0.01$)。说明本试验所制备的部分生物有机肥在

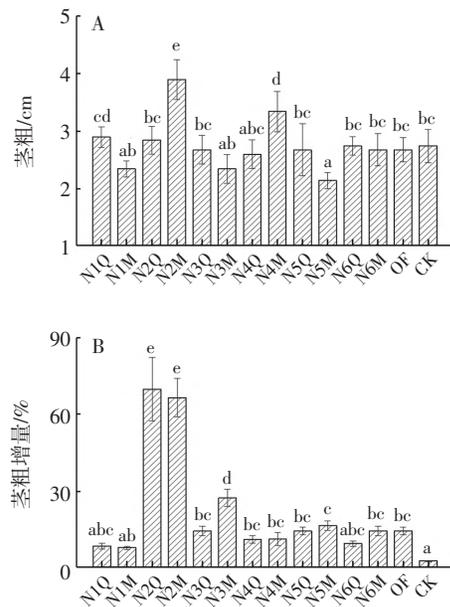


图2 生物有机肥对养心菜茎粗(A)和茎粗增量(B)的影响
Fig.2 Effects of bio-organic fertilizer on stem diameter (A) and stem diameter increment (B) of *Sedum aizoon* L.

一定程度上能够促进养心菜的生长。

2.1.3 不同生物有机肥对养心菜生根的影响

最长须根长和须根分支数可反映养心菜扦插后定植生根效果,促生微生物菌群可产生酶类物质和植物激素吲哚乙酸(IAA)、铁载体等促进其生根^[28]。由图3可知,N1Q、N2M、N3M和N5Q组最长须根长较其他组别更长,长度分别为4.85、3.00、4.45、2.10 cm,与未经二次发酵的有机肥组(0.90 cm)和不施肥组(0.70 cm)之间具有显著性差异($P<0.05$)。N3M组养心菜须根分支数(15.00根)多于其他处理组,未经二次发酵的有机肥组和不施肥组的须根分支数分别为2.50根和2.00根。说明本试验所制备的部分二次发酵生物有机肥能够促进养心菜根部生长和分支。

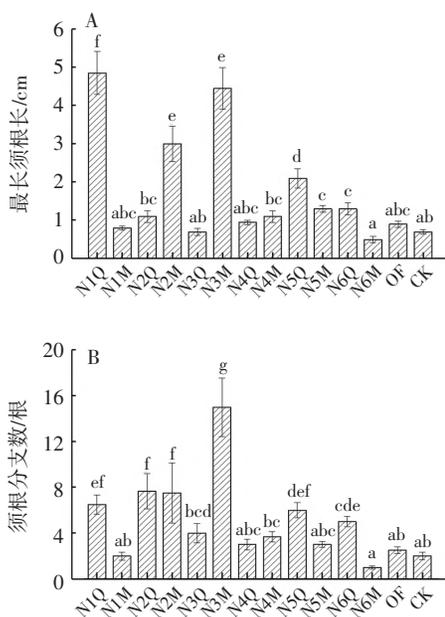


图3 生物有机肥对养心菜最长须根长(A)和须根分支数(B)的影响

Fig.3 Effects of bio-organic fertilizer on the length (A) and branch number (B) of fibrous root of *Sedum aizoon* L.

2.1.4 不同生物有机肥对养心菜产量的影响

从肥料对养心菜须根分支数、单株产量结果(图3B和图4)来看,两个指标有一定的相关性,须根分支数多的处理组,养心菜单株产量也高。N3M组养心菜须根分支数最多,其单株产量也最高,为11.89 g,较未经二次发酵的有机肥组(2.67 g)和不施肥组(2.11 g)分别提高了345.3%和463.5%。说明本试验所制备的部分生物有机肥能够提高养心菜的产量。

2.2 不同生物有机肥对养心菜品质的影响

不同施肥处理组养心菜中单宁、VC、总黄酮、可溶性蛋白含量的测定结果见图5。

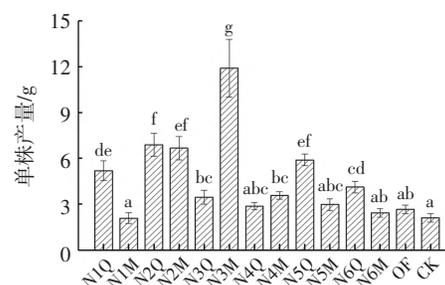
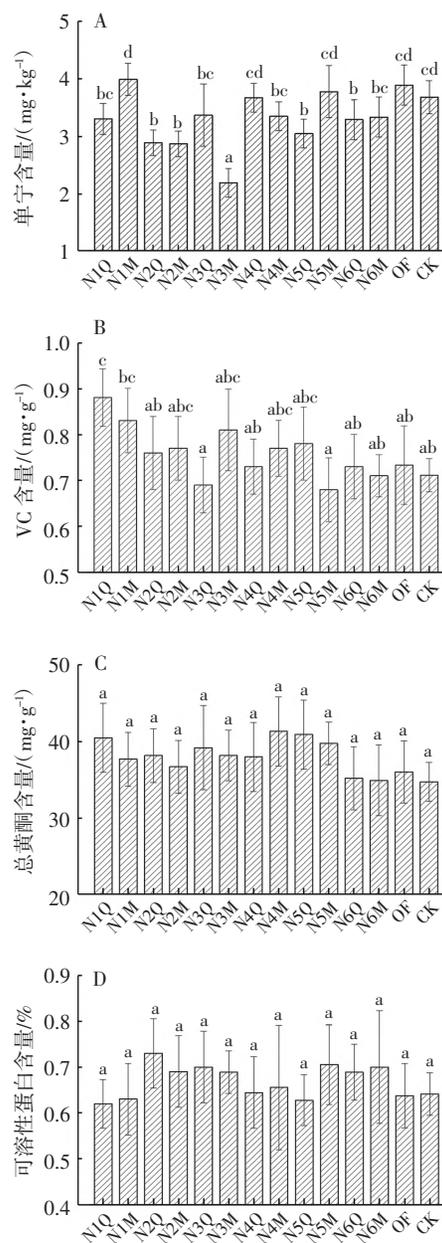


图4 生物有机肥对养心菜单株产量的影响

Fig.4 Effect of bio-organic fertilizers on the yield of single plants of *Sedum aizoon* L.



注:A.单宁含量;B.VC含量;C.总黄酮含量;D.可溶性蛋白含量。

图5 生物有机肥对养心菜品质的影响

Fig.5 Effect of bio-organic fertilizer on the quality of *Sedum aizoon* L.

由图5可以看出,除个别处理组外,二次发酵生物有机肥组在一定程度上能提高养心菜的VC、总黄酮和可溶性蛋白含量。由图5A可知,N3M处理组的单宁含量($2.19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)最低,涩味不明显,与其他各组间具有显著性差异($P < 0.05$);N2Q、N2M、N5Q、N6Q处理组单宁含量分别为2.89、2.87、3.04、 $3.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,也具有较低的涩味,与未经二次发酵的有机肥组($3.89 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和不施肥组($3.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)之间具有显著性差异($P < 0.05$)。说明本试验所制备的部分二次发酵后的生物有机肥在一定程度上能够降低养心菜中单宁含量,提高养心菜的口感。

由图5B可知,N1处理组(N1Q和N1M组)提高养心菜VC含量的效果较好,说明N1组对养心菜合成VC具有促进作用。所有处理组中,N1Q和N1M处理组的VC含量较高,其中N1Q处理组与未经二次发酵的有机肥组和不施肥组相比具有显著性差异($P < 0.05$)。说明使用本试验所制备的部分生物有机肥后,养心菜中VC含量明显提高,从而提高了养心菜的营养性。

由图5C和图5D可知,施用不同肥料对总黄酮含量和可溶性蛋白含量的提高效果不明显。其中N4M组的总黄酮含量最高,为 $41.29 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,较不施肥组提高了19.0%,N2Q组的可溶性蛋白含量最高,为0.73%,较不施肥组提高了0.29个百分点,但各组间总黄酮含量和可溶性蛋白含量均无显著性差异,说明生物有机肥对养心菜的总黄酮与可溶性蛋白含量影响不大。

综上所述,经促生功能菌剂二次发酵制备的生物有机肥,其肥力得到有效提升,相较于未经二次发酵的有机肥,多数处理组的生物有机肥能有效提高养心菜中VC含量,对总黄酮和可溶性蛋白含量的提高和单宁含量的降低也有一定作用。

3 讨论与结论

生物有机肥施入土壤后,其本身所含的腐殖质、速效养分等营养物质会被作物根系吸收^[29],土壤中的微生物也会利用肥料中的营养物质作为生长所需氮源、碳源激活作物根际附近的土壤菌群,使土壤中微生物群落多样性得到提高^[30],这些微生物会在作物根际附近富集更多的有益菌,抑制某些土传病原菌生长,同时这些有益菌能够分泌次级代谢产物,对土壤酶活性及C、N、S等能量循环产生影响,进而促进作物生长,改善土壤肥力^[31-32]。

本文通过养心菜种植盆栽试验,探究了经促生功能菌剂二次发酵的生物有机肥对养心菜生长、产量和

品质的影响效果。施用生物有机肥后,养心菜的株高、茎粗、根长、单株产量,以及VC含量相较于不施肥处理均有明显提高。可见,生物有机肥能够作为一种绿色、安全的肥料用于农业生产中,起到提高作物产量和品质的作用,但生物有机肥是如何通过影响作物根际附近土壤微生物群落结构以及作物根系分泌物的产生,从而促进作物生长的作用机理有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 李钰,何文寿,张学军,等. 枸杞土壤肥力与合理施肥技术研究进展[J]. 农业科学研究, 2006,27(2):62-65. DOI: 10.3969/j.issn.1673-0747.2006.02.016.
- [2] CHAI C, CHENG Q Q, WU J, et al. Contamination, source identification, and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the soils of vegetable greenhouses in Shandong, China[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2017, 142: 181-188. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.04.014.
- [3] 郭龙,骆美,常珺枫,等. 有机养代替对小麦产量、土壤肥力及麦田氮磷径流流失的影响[J]. 核农学报, 2022, 36(10): 2063-2071. DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2022.10.2063.
- [4] GEISSELER D, SCOW K M. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms—A review[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 75: 54-63. DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.03.023.
- [5] MARSCHNER P, KANDELER E, MARSCHNER B. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(3): 453-461. DOI: 10.1016/S0038-0717(02)00297-3.
- [6] 秦秦,宋科,孙丽娟,等. 生物有机肥与化肥减量配施对稻田土壤酶活性和土壤肥力的影响[J]. 上海农业学报,2022,38(1):21-26. DOI: 10.15955/j.issn1000-3924.2022.01.04.
- [7] 狄彩霞. 氮钾钙组合对酸性土壤莴笋产量和品质的效应[D]. 重庆:西南农业大学, 2005.
- [8] 刘中良,焦娟,谷端银,等. 菌渣基质栽培对日光温室番茄品质和产量的影响[J]. 天津农学院学报,2018,25(2):13-16. DOI: 10.19640/j.cnki.jtau.2018.02.004.
- [9] 瞿飞,杨静,赵夏云,等. 菌-菜轮作对土壤质量及蔬菜品质的影响[J]. 中国食用菌,2021,40(11):32-36. DOI: 10.13629/j.cnki.53-1054.2021.11.006.
- [10] 谢蜀豫,曹慕明,黄秋凤,等. 有机肥、微生物肥与化肥配施对阳光玫瑰葡萄果实品质及香气物质的影响[J]. 西南农业学报,2022,35(1):153-161. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2022.1.020.
- [11] 吕海龙,王姣敏,郭子军,等. 氮肥减量配施不同生物有机肥对芹菜生长和产量品质的影响[J]. 土壤与作物,2021,10(3): 273-281. DOI:10.11689/j.issn.2095-2961.2021.03.004.
- [12] 包慧芳,王宁,侯敏,等. 生物有机肥对枸杞产量、品质及土

- 壤性状的影响[J]. 新疆农业科学,2020,57(3):545-552. DOI: 10.6048/j.issn.1001-4330.2020.03.019.
- [13] 闵红. 大棚蔬菜连作障碍机理研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学,2010.
- [14] 刘佳,李婉,许修宏,等. 接种纤维素降解菌对牛粪堆肥微生物群落的影响[J]. 环境科学,2011,32(10):3073-3081. DOI: 10.13227/j.hjkk.2011.10.017.
- [15] 刘幼强. 降解纤维素复合菌群的研究[D]. 厦门:厦门大学,2009.
- [16] 孟春风. 秦岭太白山土壤中促生放线菌的筛选及作用机制研究[D]. 咸阳:西北农林科技大学,2019.
- [17] 茆豹. 多种解磷、解钾、固氮菌混合发酵制备菌糠菌肥的研究[D]. 天津:天津大学,2014.
- [18] 麻瑞阳. 高效解磷解钾菌株 NX-11 的分离筛选鉴定及作用效果分析[D]. 保定:河北农业大学,2013.
- [19] 刘灿. 双孢菇培养基非热灭菌二次发酵中微生物动态及典型菌株特性功能研究[D]. 北京:中国农业大学,2015.
- [20] 何丽鸿. 双孢蘑菇培养料二次发酵过程中的细菌群落结构研究[D]. 南京:南京农业大学,2005.
- [21] 张国新,王秀萍,姚玉涛,等. 盐分胁迫对养心菜生长及品质指标的影响[J]. 安徽农业科学,2020,48(8):54-56,71. DOI: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.08.014.
- [22] 周连份. 大力发展种植养心菜推动农业结构调整[J]. 河南农业,2014(17):17. DOI:10.3969/j.issn.1006-950X.2014.17.013.
- [23] 陈延. 养心菜芽苗休眠调控及其耐寒特性研究[D]. 雅安:四川农业大学,2019. DOI:10.27345/d.cnki.gsnnyu.2019.000082.
- [24] 中华人民共和国农业部. 水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定 分光光度法: NY/T 1600—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [25] 严莎莎,王少君,王苗苗,等. 燕麦坚果饮料总黄酮和总酚酸含量及抗氧化能力分析[J]. 北京农学院学报,2022,37(3): 109-114. DOI:10.13473/j.cnki.issn.1002-3186.2022.0319.
- [26] JANNOURA R, BRUNS C, JOERGENSEN R G. Organic fertilizer effects on pea yield, nutrient uptake, microbial root colonization and soil microbial biomass indices in organic farming systems[J]. European Journal of Agronomy, 2013, 49: 32-41. DOI: 10.1016/j.eja.2013.03.002.
- [27] 徐海燕,辛国芹,汪孟娟,等. 7株芽孢杆菌固体发酵条件下的产酶情况及对饲料消化能力的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版),2016,33(2):124-129. DOI: 10.3969/J.ISSN.1674-148X.2016.02.009.
- [28] 黄炎. 鸡粪生物有机肥的研制及其促生防病效果与机制研究[D]. 南京:南京农业大学,2016.
- [29] LIU S B, RAZAVI B S, SU X, et al. Spatio-temporal patterns of enzyme activities after manure application reflect mechanisms of niche differentiation between plants and microorganisms[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2017, 112: 100-109. DOI: 10.1016/j.soilbio.2017.05.006.
- [30] OMARI R A, ADDO E S, MATEY D M, et al. Influence of organic inputs with mineral fertilizer on maize yield and soil microbial biomass dynamics in different seasons in a tropical acrisol[J]. Environmental Sustainability, 2020, 3(6): 45-57. DOI: 10.1007/s42398-019-00089-7.
- [31] BULGARELLI D, ROTT M, SCHLAEPPI K, et al. Revealing structure and assembly cues for *Arabidopsis* root-inhabiting bacterial microbiota[J]. Nature, 2012, 488: 91-95. DOI: 10.1038/nature11336.
- [32] LI R, TAO R, LING N, et al. Chemical, organic and bio-fertilizer management practices effect on soil physicochemical property and antagonistic bacteria abundance of a cotton field: Implications for soil biological quality[J]. Soil and Tillage Research, 2017, 167: 30-38. DOI: 10.1016/j.still.2016.11.001.

收稿日期:2022-07-05