

叶面喷施有机水溶肥料对丹参产量及品质的影响

张楠¹, 王连祥¹, 郑守如¹, 王臣臣²

(1. 菏泽市农业科学院, 山东 菏泽 274000; 2. 山东丹红制药有限公司, 山东 菏泽 274000)

[摘要] 为研究有机水溶肥料在中药材丹参上的叶面喷施效果, 进行中药材丹参叶面喷施有机水溶肥料的试验。结果表明: 喷施有机水溶肥后, 丹参株高、根长、分根数等生物学性状有显著提升; 其活性成分丹参酮 II A、丹参酮 I、隐丹参酮和丹酚酸 B 等含量比对照显著增加。叶面喷施有机水溶肥料处理 666.7 m² 产量比对照处理增加 214.6 kg, 增产率达 13.4%, 差异性水平显著; 比对照处理净增收收入 1 242.6 元, 投入产出比 1:27.6。可见, 在丹参种植中, 叶面喷施有机水溶肥料, 可有效提高丹参产量和有效成分的含量, 获得较高的经济效益。

[关键词] 有机水溶肥料; 丹参; 产量; 品质

[中图分类号] S147.2 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 11-0107-05

Effect of foliar spraying organic water-soluble fertilizer on the yield and quality of *Salvia miltiorrhiza*

ZHANG Nan¹, WANG Lianxiang¹, ZHENG Shouru¹, WANG Chenchen²

(1. Heze Academy of Agricultural Sciences, Heze 274000, China;

2. Shandong Danhong Pharmaceutical Co., Ltd., Heze 274000, China)

Abstract: In order to study the effect of spraying organic water-soluble fertilizer on the leaf surface of Chinese herbal medicine *Salvia miltiorrhiza*, the experiment of spraying organic water-soluble fertilizer on the leaf surface of Chinese herbal medicine *Salvia miltiorrhiza* is carried out. The results show that the plant height, root length and number of roots of *Salvia miltiorrhiza* are significantly improved after spraying organic water-soluble fertilizer. The contents of tanshinone II A, tanshinone I, cryptotanshinone and salvianolic acid B are significantly increased compared with the blank control. The 666.7 m² yield of spraying organic water-soluble fertilizer on the leaves is increased by 214.6 kg compared with the blank control, the yield is increased by 13.4%, and the difference is significant. Compared with the blank control net increase income is of 1 242.6 RMB Yuan, input-output ratio is 1:27.6. It can be seen that spraying organic water-soluble fertilizer on the leaf surface can effectively improve the yield and content of active components of salvia miltiorrhiza, and obtain higher economic benefits.

Key words: organic water-soluble fertilizer; *Salvia miltiorrhiza*; yield; quality

0 引言

有机水溶肥料以植物、动物等有机物料经发酵处理或化学降解等工艺产生的有机质为主要原料, 按植物生长所需添加适量大量元素、中微量元素等; 有机水溶性肥料经水溶解或稀释可直接被植物叶片或根部吸收利用^[1-2]。有机水溶肥属于评审审批登记产品, 需要经过农业农村部肥料登记评审委员会评审, 通过后才能获得肥料登记证。有机水溶肥料具有改善土壤质量、提高养分利用率、省工省时省力等优势, 施用后可为作物提供多种养分, 能提高农作物产量, 可获得较高的经济效益。所以, 近几年有机水溶肥料市场认可度越来越高。截至

2023年12月, 在我国农业农村部有效登记的肥料登记证数量 21 401 个, 其中包括到期后不再续展的大、中、微量水溶肥料登记证 3 021 个, 而有机水溶肥料登记证数量仅为 956 个, 占肥料登记证总数的 4.47%。

[收稿日期] 2024-01-02; **[修回日期]** 2025-05-15

[作者简介] 张楠(1988-), 女, 山东武城人, 高级农艺师, 从事中药材种植技术与推广。

[通信作者] 王连祥(1971-), 男, 从事新型肥料与中药材种植技术研究。

[基金项目] 山东省重点研发计划(2021年科技示范工程)项目(2021SFCC1201); 山东省生态农业技术体系(SDAIT-30-13)

叶面施肥作为一种根外补充施肥的方法,通过叶片将养分直接输送到植物各器官,促进植物代谢和有机化合物的合成。通过叶面喷施,可根据作物所处生育期、生长情况及土壤供肥情况等,有针对性地喷洒补施,从而提高作物产量和品质;还可以选择性地为敏感植株提供微量营养素,满足敏感植物特定营养需求^[3]。叶面施肥具有养分吸收快,肥料利用率高、针对性强、喷洒方便等优点,同时叶面肥通过叶片将营养元素输送到植株各组织,能有效减少对土壤的负面影响^[4]。国内对喷施有机水溶肥料在蔬菜、果树等作物上的应用效果已有研究,苏航等研究了化肥减量配施有机水溶肥对设施黄瓜的影响,结果显示有机水溶肥替代部分化肥在提高黄瓜品质和产量上的综合效果最佳。这表明有机水溶肥料的施用可以促进黄瓜果实的生长,对于减少化肥用量、提高有机肥资源还田量以及化肥利用率有积极作用^[5]。从目前的研究情况来看,喷施有机水溶肥料对中药材,尤其对丹参的影响效果研究较少。

丹参是我国传统大宗药材,唇形科鼠尾草属多年生草本植物,喜阴耐寒,适应性强,在全国大部分地区均有分布,山东是丹参的主产区,山东丹参在全国丹参市场的占有率达70%以上。丹参药材中的主要活性成分包括水溶性的酚酸类化合物和脂溶性的二萜醌类化合物,前者主要包括丹酚酸B、迷迭香酸、丹酚酸A等,后者主要包括丹参酮I、丹参酮II A、隐丹参酮、二氢丹参酮、异丹参酮等。以干燥根及根茎入药,具有祛瘀止痛、活血通经、清心除烦之功效^[6]。丹参是最常用的活血化瘀药之一,也是妇科良药,其应用于临床已达1 000年之久^[7],药材用量居40种大宗中药材之首^[8]。丹参对心脑血管疾病的治疗作用尤为显著,是治疗心脑血管疾病的首选药物^[9]。近些年高血压、心脑血管疾病高发,导致丹参的市场需求量逐年上升,而野生丹参经连年采挖,产量大幅度减少不能满足人们需求,因此人工栽培丹参得到迅速发展^[10]。丹参属于喜肥作物,合理施肥是提高丹参产量和质量的主要栽培措施;但是长期以来,粗放、过量施用化肥导致丹参品质下降,同时造成种植投入增加、土壤性状恶化。而有机水溶肥料可改良土壤,增加土壤有机质含量,有效缓解土壤酸化、板结、肥力减退、营养失衡等症状,可以促进作物生长,增强作物抗病性,提高农产品品质^[11]。为研究有机水溶肥料在中药材丹参上的叶面喷施效果,按照农业行

业标准《肥料效应鉴定田间试验技术规程》(NY/T 497—2002)^[12]的要求,安排了中药材丹参叶面喷施有机水溶肥料的试验,以期能为有机水溶肥料在丹参生产中的推广应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 时间与地点

试验在2023年3月1日至2023年11月17日于菏泽市农业科学院丹参规范化种植试验基地进行。试验地属黄河冲积平原,地势平坦,土层深厚,土壤肥沃;温带季风型大陆性气候,年平均气温14.2℃,年平均降水量593.6 mm;全年光照充足,热量丰富,雨热同季,适于丹参生长。供试土壤:壤质脱潮土,质地中壤,前茬农作物为玉米。0~20 cm的耕层土壤养分情况: $w(\text{有机质})$ 14.6 g/kg, $w(\text{碱解氮})$ 95 mg/kg, $w(\text{有效磷})$ 54 mg/kg, $w(\text{速效钾})$ 145 mg/kg, pH为7.6。

1.2 供试肥料

有机水溶肥料,由菏泽开发区曹州农用化学有限公司提供。该有机水溶肥料以酵素菌等复合菌剂发酵的秸秆为主要原料,经酶解浓缩螯合聚磷酸铵、磷酸二氢钾等制成, $\rho(\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{O}) \geq 200 \text{ g/L}$ (40-100-60), $\rho(\text{有机质}) \geq 100 \text{ g/L}$,其中水溶有机质含有多糖、多肽、腐植酸、氨基酸等小分子有机活性成分。

1.3 供试丹参品种及栽培方式

供试丹参品种为鲁丹参1号。2022年9月5日在苗圃育苗,2023年3月2日移栽定植。丹参种植时做垄,行距50 cm,株距20 cm,小区面积60 m² (20 m × 3 m),移栽后浇透水一次。

1.4 试验方法

试验设计3个处理,3次重复,共计9个试验小区,小区面积60 m²,小区随机排列,设保护行。

处理1,常规施肥;处理2(CK),常规施肥 + 666.7 m²每次喷清水30 kg;处理3,常规施肥 + 666.7 m²每次喷施有机水溶肥料60 g、清水30 kg。

11月17日收获,3个处理每次单独测产。

1.5 施肥方法

(1) 常规施肥:2023年3月1日结合整地666.7 m²施入菏泽开发区曹州农用化学有限公司生产的 $w(\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{O})$ 45%的复混肥(15-15-15)50 kg。

(2) 处理3自2023年7月1日、7月20日、8月10日各喷施一次有机水溶肥料,共3次。处理2(CK)同时喷施等量清水。

(3) 产量及生长性状指标测定: 11月17日收获, 各小区称量总根鲜质量, 计以产量。每个小区随机取10株样品, 取样时先剪掉地上部分, 将根全部挖出后测定单株根长、根粗、分根数、根鲜质量。株高为根茎上端至主茎顶端, 根长为从芦头至根最长处距离, 根粗为最粗根条距芦头2 cm处直径, 分根数为直径大于0.2 cm的根条数量, 根鲜质量为刚采挖出的根除去泥土之后的质量。

1.6 生物活性成分含量测定

将所取丹参鲜根样品带回实验室于40℃烘箱中烘干至恒质量, 粉碎后过0.380 mm(40目)筛, 待生物活性成分含量检测。采用UPLC双波长法对丹参中水溶性成分丹酚酸B, 脂溶性成分隐丹参酮、丹参酮I、丹参酮II A含量同时进行检测, 总丹参酮以隐丹参酮、丹参酮I和丹参酮II A总量计^[13]。

2 试验结果与分析

2.1 不同处理对丹参生物学性状的影响

对丹参生物学性状进行测定, 结果见表1。由表1可知, 处理3相比处理1和处理2, 株高、根长、分根数及根平均鲜质量等生物学性状均有显著提升。处理3株高相比处理2提升7.5 cm, 根长相比处理2增加6.9 cm, 根粗比处理2增加2.7 mm, 分根数超过20, 比对照增加了21.4%, 平均根鲜质量比处理2增加13.4%, 以上差异均达显著水平($p < 0.05$)。除根粗外, 处理1和处理2之间其他生物学性状的差异不显著, 详见表1。可见, 喷施有机水溶肥料对丹参株高、根长、根粗和分根数有一定促进作用。

表1 不同处理对丹参生物学性状的影响

Table 1 Effects of different treatments on biological characters of *Salvia miltiorrhiza*

处理	株高/cm	根长/cm	根粗/mm	分根数/条	根平均鲜质量/g
1	62.5 b	42.5 b	14.8 a	17.2 b	201.6 b
2	61.1 b	41.7 b	13.9 b	16.8 b	206.0 b
3	68.6 a	48.6 a	16.6 a	20.4 a	233.6 a

表3 不同处理对丹参产量的影响

Table 3 Effects of different treatments on yield of *Salvia miltiorrhiza*

处理	小区产量/kg				666.7 m ² 产量/kg	666.7 m ² 增产/kg		增产率/%	
	I	II	III	平均		比处理1	比处理2	比处理1	比处理2
1	140.5	137.6	145.3	141.1	1 568.6 b	-	-	-	-
2	138.8	145.6	148.3	144.2	1 603.0 b	-	-	-	-
3	160.5	158.8	171.2	163.5	1 817.6 a	249.0	214.6	15.9	13.4

2.2 不同处理对丹参活性成分含量的影响

取各处理的丹参样品, 对其活性成分含量进行检测, 不同处理丹参根中丹参酮II A、丹参酮I和隐丹参酮等含量见表2。

表2 不同处理对丹参活性成分含量的影响

Table 2 Effects of different treatments on the content of active components of *Salvia miltiorrhiza*

处理	w(丹参酮II A)/%	w(丹参酮I)/%	w(隐丹参酮)/%	w(总丹参酮)/%	w(丹酚酸B)/%
1	0.281 b	0.038 b	0.228 a	0.547 b	5.4 b
2	0.268 b	0.041 b	0.221 b	0.530 b	5.7 b
3	0.369 a	0.049 a	0.296 a	0.714 a	6.8 a

由表2可知, 各处理中w(丹酚酸B)均达到2020年版《中国药典》中规定的大于3.0%的标准, 其中处理3最高, 为6.8%, 分别比处理1、处理2增加1.4和1.1个百分点, 差异性均达显著水平; 处理3的w(丹参酮II A)、w(丹参酮I)和w(隐丹参酮)均高于处理2和处理1, w(总丹参酮)比处理2提升0.184个百分点, 差异性达到显著水平。这可能是因为处理3施用的有机水溶肥料养分全面, 并含有活性有机质, 有利于丹参脂溶性成分丹参酮类物质及水溶性成分丹酚酸B的累积。陈晓玉等^[14]研究表明, 磷肥对酚酸类成分积累均有促进作用, 丹参酮类成分积累受磷肥和钾肥影响较大, 磷肥对其有促进作用, 钾肥对其有抑制作用; 氮肥的施入对丹参有效成分积累无显著影响。郭亚勤等^[15]研究施肥对丹参产量及丹参根主要有效成分含量的影响, 发现施用有机肥可以促进丹参根膨大, 使丹参根的膨大与丹参酮的累积协调一致。施用的该有机水溶肥料中含氮磷钾养分和水溶活性有机质, 其中聚合态磷质量浓度较高, 达到100 g/L, 水溶有机质中含有多糖、多肽、腐植酸、氨基酸等小分子有机活性成分, 这些养分有利于丹参根的膨大和主要有效成分含量的累积。

2.3 不同处理对丹参产量的影响

丹参收获后, 对3个处理进行单独测产并转化为667 m²产量, 结果见表3。

从表3可以看出,处理3丹参产量最高,667 m²产量为1 817.6 kg,与处理1相比,667 m²增产249.0 kg,增产率15.9%;和处理2相比,666.7 m²产量增加214.6 kg,增产率13.4%;处理3与处理1、处理2产量差异性均达显著水平,处理1与处理2之间产量差异不明显。施用的该有机水溶肥料中含氮磷钾养分和水溶活性有机质,其中聚合态磷含量较高,达到100 g/L,水溶有机质中含有多糖、多肽、腐植酸、氨基酸等小分子有机活性成分,这些养分有利于丹参根的膨大和主要有效成分含量的累积。

2.4 不同处理对丹参经济效益的影响

丹参鲜根产品平均市场价格6元/kg,每喷施一次666.7 m²投入供试有机水溶肥料15.0元、人工60.0元。处理3比处理1 667 m²增加投入225元,比处理2增加投入45元。对不同处理方式丹参的增产增收情况进行分析,增产值减去肥料的投入成本,得到净增收入。丹参叶面喷施有机水溶肥料的处理,666.7 m²净收入比处理2增加1 242.6元,666.7 m²净收入比处理1增加1 269.0元;增收效果明显。

3 结果与讨论

肥料作为栽培作物重要的生产资料之一,在种植生产过程中,已经成为提高农作物产量和质量的关键措施^[16]。我国中药材大部分依赖人工栽培种植,常常通过施肥提供养分,以保证中药材的产量和品质。李思佳等^[17]发现氮、磷、钾和生物有机肥合理配施,不仅显著提高了川麦冬活性成分含量,而且降低了Cu、Cd、As、Pb、Hg的含量。刘瑞浩^[18]研究证明,施用腐植酸肥能改善丹参形态特征,提高丹参株高和分根数,有效提升丹参产量;通过腐植酸肥、微生物菌肥和土壤调理剂的配施,能明显提高土壤有机质、碱解氮及有效磷含量。潘阳阳等^[19]以“鲁丹1号”(丹参品种)为研究对象,探究4种不同施肥处理对丹参生长、药用成分积累以及内生菌多样性的影响,结果表明喷施叶面肥对丹参丹酚酸B、丹参酮II A以及隐丹参酮积累有显著促进作用。施用基肥显著增加了地下生物量,降低了地上生物量,基肥和叶面肥共处理显著降低地下生物量。这表明基肥与叶面肥共同施用似乎有一定的拮抗作用,但其机理有待进一步研究。黄科程等^[20]研究4种不同的处理方式对丹参生长和产量的影响,结果表明,配施处理在丹参地上、地下部分及产量表现

上明显优于化肥处理。在减少50%化肥用量的情况下,使用有机、生物或微生物菌肥都可以促进丹参的地下根部生长,并最终提升丹参的干物质产量,其中以微生物菌肥的使用效果最佳。本试验中有机水溶肥料是以酵素菌等复合菌剂发酵的秸秆为主要原料,经酶解浓缩螯合聚磷酸铵、二氢钾等制成,还有氮、磷、钾和水溶有机质,其中水溶有机质包括多糖、多肽、腐植酸、氨基酸等小分子有机活性成分,这些养分有利于丹参根的膨大和主要有效成分含量的累积。

叶面喷施有机水溶肥料后,对丹参株高、根长、根粗和分根数有一定促进作用,生物学特征得到优化,提高了丹参产品品质。丹参酮和丹酚酸B是丹参的主要有效成分,是作为评价丹参药材及其制剂质量的主要指标,《中华人民共和国药典(2020版)》中规定,丹参中丹参酮II A、隐丹参酮、丹参酮I(以干燥品计)的总质量分数不得少于0.25%,丹酚酸B(以干燥品计)的质量分数不得少于3.0%。试验结果表明,本试验中丹参有效成分含量均高于药典规定的含量,喷施有机水溶肥料的丹参产品中丹酚酸B和总丹参酮质量分数最高,分别为6.8%和0.714%,与对照丹参产品丹酚酸B和总丹参酮含量差异性达到显著水平,具有较好的药用价值。

4 结束语

叶面喷施有机水溶肥料显著提高了丹参产量。在本试验条件下,叶面喷施有机水溶肥料产量最高,666.7 m²为1 817.6 kg,比对照处理2增产214.6 kg,增产率达13.4%,比处理1增产249.0 kg,增产率达15.9%,差异性水平显著,增产效益显著。叶面喷施有机水溶肥料比处理2(CK)666.7 m²净增收增加1 242.6元,比处理1(常规施肥)666.7 m²净增收增加1 269.0元。可见,在丹参人工种植中,叶面喷施有机水溶肥料,可有效提高丹参药材产量和有效成分的含量,获得较高的经济效益,增收效果明显。目前,有机水溶肥料已被市场广泛接受,前景广阔。随着肥料相关产业的持续研发及工艺优化,产品功效提升和成本降低已成为必然趋势,有机水溶肥料对农作物增产增收功效进一步凸显,也将在中药材种植生产减肥增效中发挥较大的作用。

[参考文献]

[1] 中华人民共和国农业农村部.有机水溶肥料通用要求:NY/T

- 3831—2021[S].北京:中国农业出版社,2021.
- [2] 邓汪宽,冯固,陈王尊.有机水溶肥通过有机碳用量调控玉米生长状况的研究[J].生态产业科学与磷氟工程,2025,40(2):105-112,122.
DENG W L, FENG G, CHEN W Z. The dosage effect of organic carbon in organic water-soluble fertilizer on regulating the growth status of maize [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2025, 40(2): 105-112, 122.
- [3] 侯晨薇,郭亚晴,程诚,等.叶面肥在农业生产中的作用与机制研究进展[J].中国农学通报,2025,41(11):132-139.
HOU C W, GUO Y Q, CHENG C, et al. Research progress on role and mechanisms of foliar fertilizer in agricultural production [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2025, 41(11): 132-139.
- [4] BINDRABAN P S, DIMKPAC, NAGARAJAN L, et al. Revisiting fertilizers and fertilization strategies for improved nutrient uptake by plants [J]. Biology and fertility of soils, 2015, 51: 897-911.
- [5] 苏航,周国彦,宋晓飞,等.化肥减量配施有机水溶肥对设施黄瓜品质及产量的影响[J].浙江农业科学,2025,66(1):106-110.
SU H, ZHOU G Y, SONG X F, et al. Effect of fertilizer reduction combined with organic water-soluble fertilizer on quality and yield of greenhouse cucumber [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2025, 66(1): 106-110.
- [6] 李易强.丹参化学成分与药理作用的研究进展[J].科技视界,2017(9):265,240.
- [7] CHEN X, GUO J, BAO J, et al. The anticancer properties of *Salvia Miltiorrhiza*Bunge (Danshen) : asystematic review [J]. Medicinal Research Reviews, 2014, 34(4): 768-794.
- [8] 王庆浩,陈爱华,张伯礼.丹参:一种中药研究的模式生物[J].中医药学报,2009,37(4):1-3,101.
WANG Q H, CHEN A H, ZHANG B L. *Salviae miltiorrhiza*: a model organism for Chinese traditional medicine genomic studies [J]. Acta Chinese Medicine and Pharmacology, 2009, 37(4): 1-3, 101.
- [9] 韦学敏.生物肥料和金属纳米肥料对丹参根际微生物及药材品质的影响[D].北京:北京协和医学院,2020.
WEI X M. Impacts of biofertilizers and metal nanofertilizers on the rhizosphere microorganisms and herbal quality of *Salvia Miltiorrhiza* [D]. Beijing: Peking Union Medical College, 2020.
- [10] 张中华,张楠,王连祥,等.鲁西南黄河冲积平原丹参玉米间作高效栽培技术[J].中国种业,2023(5):125-127.
ZHANG Z H, ZHANG N, WANG L X, et al. High efficient cultivation techniques of *Salvia miltiorrhiza* intercropping with maize in the yellow river alluvial plain in southwest of Shandong [J]. China Seed Industry, 2023(5): 125-127.
- [11] 王连祥,隋增行.利用秸秆制备有机水溶肥料的技术研究[J].磷肥与复肥,2020,35(12):13-15.
WANG L X, SUI Z X. Study on preparation of organic water-soluble fertilizer from straw [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2020, 35(12): 13-15.
- [12] 中华人民共和国农业部.肥料效应鉴定田间试验技术规程: NY/T 497—2002[S].北京:中国农业出版社,2002.
- [13] 李耿,孟繁蕴,杨洪军,等.UPLC法同时测定丹参中11种成分的含量[J].中国药房,2014,25(19):1766-1768.
LI G, MENG F Y, YANG H J, et al. Simultaneous determination of 11 components in *Salvia miltiorrhiza* by UPLC [J]. China Pharmacy, 2014, 25(19): 1766-1768.
- [14] 陈晓玉,贺超,闫滨滨,等. N、P、K配施对丹参产量和质量的影响[J].中草药,2019,50(3):722-730.
CHEN X Y, HE C, YAN B B, et al. Effect of fertilization combination of nitrogen, phosphorus, and potassium on yield and quality of *Salvia miltiorrhiza* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2019, 50(3): 722-730.
- [15] 郭亚勤,刘德辉,迟传德.施肥对丹参产量及丹参根主要有效成份含量的影响[J].土壤通报,2007(3):523-526.
GUO Y Q, LIU D H, CHI C D. Effects of fertilization on the yield and active constituents of cultivated *Salvia miltiorrhiza* [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007(3): 523-526.
- [16] 刘平静,肖杰,孙本华,等.长期不同施肥措施下土壤菌群落结构变化及其主要影响因素[J].植物营养与肥料学报,2020,26(2):307-315.
LIU P J, XIAO J, SUN B H, et al. Variation of bacterial community structure and the main influencing factors in Eum-orthic Anthrosols under different fertilization regimes [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2020, 26(2): 307-315.
- [17] 李思佳,邓秋林,文秋姝,等.基于川麦冬活性成分高和重金属含量低的有机无机肥最佳配施方案[J].植物营养与肥料学报,2020,26(5):966-974.
LI S J, DENG Q L, WEN Q S, et al. Optimum combination of chemical and bio-organic fertilizers for high active components and low heavy metals in the cultivation of *Ophiopogon japonicus* (Linn. f.) Ker-Gawl [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2020, 26(5): 966-974.
- [18] 刘瑞浩.腐植酸肥、微生物菌肥和土壤调理剂对连作丹参产量和品质的影响[D].泰安:山东农业大学,2022.
LIU R H. Effects of humic acid, fertilizer and inorganic fertilizer and soil conditioner on yield and quality of *Salvia miltiorrhiza* continuous cropping [D]. Taian: Shandong Agriculture University, 2022.
- [19] 潘阳阳.施肥处理对丹参品质和内生菌群多样性影响及关键菌种功能分析[D].保定:河北大学,2024.
PAN Y Y. The effect of fertilization treatment on the quality and endophytic microbial diversity of *Salvia miltiorrhiza* and the functional study of key bacterial species [D]. Baoding: Hebei University, 2024.
- [20] 黄科程,孔凡磊,张亮,等.化肥减量配施有机肥及微生物菌肥对丹参生长和产量的影响[J].四川农业科技,2023(7):58-61.