

# 不同施肥处理对高丛越橘幼苗生长和生理指标及土壤理化性质的影响

邓家欣<sup>1</sup>, 韦继光<sup>1</sup>, 於虹<sup>1</sup>, 姜燕琴<sup>1</sup>, 曾其龙<sup>1</sup>, 刘红军<sup>2</sup>, 蒋佳峰<sup>1,①</sup>

[1. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014; 2. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095]

**摘要:** 以不施肥为对照(CK),研究了施用化肥、有机肥和木霉生物有机肥对高丛越橘品种‘蓝美1号’(*Vaccinium corymbosum* ‘Lanmei 1’)幼苗生长和生理指标的影响及土壤的改良效应。结果显示:各施肥组幼苗的基径和根系活力以及单株的总枝长、总叶面积、地上部干质量和地下部干质量均大幅度高于对照,叶片的叶绿素 *a*、叶绿素 *b* 和总叶绿素含量以及净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和氮、磷、钾含量也均高于对照,而叶片的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度则低于对照,差异均达显著( $P<0.05$ )水平;各施肥组盆栽土壤的电导率、酸性磷酸酶和脲酶活性以及有机质、全氮、全磷、全钾、铵态氮和硝态氮含量均高于对照,差异均达显著水平,但盆栽土壤的 pH 值仅有机肥组与对照差异显著。3个施肥组中,幼苗单株的总枝长、总叶面积、地下部干质量和根系活力,叶片的叶绿素 *a*、叶绿素 *b* 和总叶绿素含量以及净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和氮、磷、钾含量均以木霉生物有机肥组最高;但幼苗的基径和单株地上部干质量以及胞间 CO<sub>2</sub> 浓度在各组间无显著差异。3个施肥组中,盆栽土壤的酸性磷酸酶和脲酶活性以及有机质、全氮、全钾和铵态氮含量均以木霉生物有机肥组最高;但盆栽土壤的电导率以及全磷和硝态氮含量在各组间无显著差异。综合分析结果显示:适量施用化肥、有机肥或木霉生物有机肥均能促进‘蓝美1号’幼苗生长,增大其叶面积,提高叶片叶绿素含量和净光合速率,增加根系活力,同时也能够提高土壤养分含量,增强土壤酶活性;其中,木霉生物有机肥对‘蓝美1号’的促生效果和土壤的改良作用更优。

**关键词:** 高丛越橘; 施肥措施; 木霉菌生物有机肥; 促生效应; 土壤改良效应

中图分类号: Q945.3; S663.9; S606+.2 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2021)02-0028-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2021.02.04

**Effects of different fertilization treatments on growth and physiological indexes of seedling of *Vaccinium corymbosum* and physicochemical properties of soil** DENG Jiaxin<sup>1</sup>, WEI Jiguang<sup>1</sup>, YU Hong<sup>1</sup>, JIANG Yanqin<sup>1</sup>, ZENG Qilong<sup>1</sup>, LIU Hongjun<sup>2</sup>, JIANG Jiafeng<sup>1,①</sup> (1. Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China; 2. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2021, 30(2): 28-34

**Abstract:** Three different fertilizers of chemical fertilizer, organic fertilizer and *Trichoderma*-enriched bio-organic fertilizer were used to compare growth and physiological indexes of seedling of *Vaccinium corymbosum* ‘Lanmei 1’ and soil improvement effect by using no fertilizer as the control. The results show that the seedling of each fertilizer group presents significantly ( $P<0.05$ ) higher than the control in following indexes, basal diameter and root activity, and total branch length, total leaf area, dry mass of above-ground part and dry mass of under-ground part per plant, contents of chlorophyll *a*, chlorophyll *b*

收稿日期: 2020-11-12

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金[CX(19)3031]; 江苏省重点研发计划(现代农业)项目(BE2017373); 江苏省自然科学基金资助项目(BK20160597); 江苏省中国科学院植物研究所自主科研项目(JSPKLB202052)

作者简介: 邓家欣(1995—),女,江苏南京人,硕士研究生,主要从事蓝浆果栽培方面的研究。

①通信作者 E-mail: jfching@126.com

引用格式: 邓家欣, 韦继光, 於虹, 等. 不同施肥处理对高丛越橘幼苗生长和生理指标及土壤理化性质的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(2): 28-34.

and total chlorophyll, and net photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate and contents of nitrogen, phosphorus and potassium of leaf, in contrast, intercellular CO<sub>2</sub> concentration of leaf is lower than the control significantly. For soil improvement, the following indexes are significantly higher in each fertilizer group, electric conductivity, activities of acid phosphatase and urease, and contents of organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen, on the other hand, soil pH value only presents a significant difference between organic fertilizer group and the control. Within three fertilizer groups, the seedling of *Trichoderma*-enriched bio-organic fertilizer group shows the highest in following indexes, total branch length, total leaf area, dry mass of under-ground part per plant and root activity, contents of chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and total chlorophyll, and net photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate and contents of nitrogen, phosphorus and potassium. However, three indexes, basal diameter, dry mass of above-ground part per plant and intercellular CO<sub>2</sub> concentration of seedling, present insignificant difference within groups. Within three fertilizer groups, the soil of *Trichoderma*-enriched bio-organic fertilizer group presents the highest in following indexes, activities of acid phosphatase and urease, and contents of organic matter, total nitrogen, total potassium and ammonium nitrogen. However, the results within groups are insignificant in soil electric conductivity, and contents of total phosphorus and nitrate nitrogen. According to results, three fertilizers can improve seedling growth of 'Lanmei 1' in leaf area, chlorophyll content and net photosynthetic rate of leaf and root activity, meanwhile, fertilizers also improve soil nutrient content and soil enzyme activity. Comparing fertilizers in this study, *Trichoderma*-enriched bio-organic fertilizer performs advance on growth of 'Lanmei 1' and soil improvement than chemical fertilizer and organic fertilizer.

**Key words:** *Vaccinium corymbosum* 'Lanmei 1'; fertilizer treatment; *Trichoderma*-enriched bio-organic fertilizer; promoting effect; soil improvement effect

越橘(*Vaccinium* spp.)属于浅根系、寡营养的植物,适宜生长在低盐、有机质含量高且通气性良好的酸性沙质土壤中<sup>[1]</sup>。适宜的施肥措施能够促进越橘幼苗生长,并提高其果实品质和产量<sup>[2-3]</sup>。因此,研究适于越橘生长的盐分含量低的专用酸性肥料是保障越橘增产的重要研究目标之一。

目前,在越橘生产中化肥、畜禽粪便及一些配方肥料<sup>[4]</sup>使用较多。施用化肥虽然能够提供氮、磷、钾等速效元素,短暂维持土壤速效养分的供给,但连年施用化肥会造成土壤板结、有机质含量降低、土壤次生盐渍化,进而导致土地生产力下降<sup>[5]</sup>;以畜禽粪便为主要原料发酵生产的商品有机肥,盐分含量较高,并呈弱碱性(pH 7.3至pH 7.9)<sup>[6]</sup>,易造成越橘植株体内铁含量快速下降,引起缺铁症状<sup>[7]</sup>;相比于商品有机肥,植物源有机肥具有盐分含量低、安全环保等特点<sup>[8]</sup>,便于生产针对性强的专用有机肥。因而,近年来对植物源有机肥的能效有较多的研究<sup>[9-10]</sup>。

生物有机肥是一种新型肥料,施用生物有机肥不仅能改善土壤理化性质、增强土壤微生物活性,还可提高作物产量和品质<sup>[11]</sup>。木霉菌是一种能够适应酸性土壤环境,且具有优良生防作用的功能真菌<sup>[12-14]</sup>。将木霉菌植入有机物中制备的木霉生物有机肥,可有效转化底肥,释放小分子养分和活性因子,改良土壤

肥力,提升土壤有机质含量,降低土壤pH值,从而促进植物的生长<sup>[15-16]</sup>。目前,木霉生物有机肥已应用于蔬菜<sup>[17]</sup>、园林植物<sup>[18]</sup>和果树的栽培<sup>[19]</sup>。在越橘栽培过程中木霉生物有机肥的应用效果尚不明确,不利于越橘的科学施肥管理。

鉴于此,作者以高丛越橘品种‘蓝美1号’(*Vaccinium corymbosum* ‘Lanmei 1’)为研究材料,采用盆栽法,通过比较化肥、植物源有机肥及木霉生物有机肥对其幼苗生长和生理指标的影响及土壤改良的作用,为越橘栽培过程中实施适宜且高效的施肥管理措施提供基础数据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试的高丛越橘品种‘蓝美1号’1年生幼苗由浙江蓝美农业有限公司提供,长势基本一致。供试幼苗种植于配比为V(红壤):V(松树皮):V(草炭)=2:1:1的盆栽土壤中,其中,红壤取自江西鹰潭中国科学院红壤生态试验站,由第四纪红色黏土发育而成,土质黏重紧实,pH 4.5,电导率0.139 mS·cm<sup>-1</sup>,含水率3.00%,有机质含量1.40%;松树皮(含水率2.90%)和草炭(含水率16.24%)购自南京花卉市场。

在上口径 14 cm、下口径 10.5 cm、高 13 cm 的花盆中装入干质量 1 228 g 的盆栽土壤,每盆种植 1 株幼苗,然后置于江苏省中国科学院植物研究所人工温室内培养,光照强度  $(70 \pm 5) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、光照时间  $14 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 、温度  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,实验期间采取常规水管理。

**化肥:**使用分析纯试剂的尿素、过磷酸钙和硫酸钾模拟氮、磷和钾。有机肥:由南京农业大学资源与环境科学学院提供,为中药渣发酵而成,pH 6.04,电导率  $4.66 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ,有机质含量 39.5%,全氮(N)、全磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ )和全钾( $\text{K}_2\text{O}$ )含量分别为 26.70、10.40 和  $9.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,含水率 27.66%。木霉生物有机肥:由南京农业大学资源与环境科学学院提供,以前述有机肥为基肥加入木霉菌(木霉秸秆发酵物)制成,并将 pH 值调至 pH 5.0,木霉菌含量为  $5 \times 10^8 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ ,其他参数同前。

## 1.2 方法

**1.2.1 实验设计和施肥处理** 施肥处理于 2019 年 10 月开始。设置不施肥(CK)、化肥(CF)、有机肥(OF)和木霉生物有机肥(BF)4 个组。OF 组:在盆栽土壤中添加质量分数 1%的有机肥,即每盆添加干质量 12.28 g 有机肥;BF 组:在盆栽土壤中添加质量分数 1%的木霉生物有机肥,即每盆添加干质量 12.28 g 木霉生物有机肥;CF 组:按照尿素 0.61 g、过磷酸钙 1.43 g 和硫酸钾 0.45 g 的施肥量在每盆的盆栽土壤中施入氮、磷和钾肥,使土壤中氮、磷和钾含量与 OF 和 BF 组一致。每个处理 6 盆,共 24 盆。

**1.2.2 植物生长和生理指标测定** 于 2020 年 5 月,选择晴朗无云的天气,于 9:00 至 11:00 使用 LI-6400 便携式光合作用测量系统(美国 LI-COR 公司出品)测定叶片的净光合速率、气孔导度、胞间  $\text{CO}_2$  浓度和蒸腾速率,每株选取中部枝条自上而下第 5 至第 9 枚成熟叶片进行测定。使用游标卡尺(精度 0.01 cm)测量幼苗的基径(位于基质表面处的植株茎干直径);使用米尺(精度 0.1 cm)测定每株幼苗的所有枝条长度,总和为单株总枝长;在每株幼苗的中部枝条上采集自上而下第 5 至第 9 枚成熟叶片,采用丙酮直接浸提法<sup>[20]</sup>测定叶片的叶绿素 a 和叶绿素 b 含量,二者之和为总叶绿素含量。

挖取全部样株,每株幼苗分为根、茎和叶 3 个部分,洗净后供试。使用 HP LaserJet Pro M1216 激光一体机(中国惠普有限公司)和 Adobe Photoshop CS6 软件测定各单株所有叶片的面积,并据此计算单株总叶

面积。使用植物根系活力检测试剂盒(萘胺微板法,上海源叶生物科技有限公司出品)测定根系活力。将各单株的根、茎和叶分别置于  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  杀青 30 min,然后置于  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  烘干至恒质量,分别称量各单株根、茎和叶的干质量,茎和叶干质量之和为单株地上部干质量,根干质量为单株地下部干质量。

将干叶片磨碎、过筛(60 目);称取适量样品,用  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消煮后,分别用 SKD-800 自动凯氏定氮仪(上海沛欧分析仪器有限公司)、钼锑抗比色法<sup>[21]314</sup>和 FP-640 火焰光度计(上海仪电分析仪器有限公司)测定叶片的氮、磷和钾含量。

**1.2.3 土壤理化指标测定** 于 2020 年 5 月,用取土铲挖出幼苗,抖去根系的浮土,取紧密附着在根系上的土壤作为根际土,密封后置于  $-80 \text{ }^\circ\text{C}$  保存、备用。另外,分别取约 100 g 盆栽土壤置于通风处自然风干,约 100 g 盆栽土壤置于  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  冰箱保存、备用。

将自然风干的土样研磨、过筛(100 目),使用 Orion Star A211 台式 pH 计(美国 Thermo Scientific 公司)测定土壤 pH 值;使用 DDS-11A 电导率仪(上海理达仪器厂)测定土壤电导率;采用水合热重铬酸钾比色法<sup>[21]109-110</sup>测定土壤有机质含量;使用土壤酸性磷酸酶(S-ACP)活性检测试剂盒(北京索莱宝科技有限公司)测定土壤酸性磷酸酶;使用土壤脲酶活性检测试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定土壤脲酶活性;采用开氏消煮法<sup>[21]147-148</sup>对土样进行消煮,并使用 SKD-800 自动凯氏定氮仪测定土壤全氮含量;采用钼锑抗比色法<sup>[21]168-169</sup>测定土壤全磷含量;使用 FP-640 火焰光度计测定土壤全钾含量。使用新鲜土样,采用靛酚蓝比色法<sup>[21]159-160</sup>测定土壤铵态氮含量;采用紫外分光光度法<sup>[22]</sup>测定土壤硝态氮含量。

## 1.3 数据处理和统计分析

采用 EXCEL 2019 软件进行数据处理;采用 SPSS Statistics 26.0 软件对相关数据进行单因素方差分析(one-away ANOVA)和 Duncan's 新复极差分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同施肥处理对高丛越橘品种‘蓝美 1 号’幼苗生长和生理指标的影响

经不同施肥处理后高丛越橘品种‘蓝美 1 号’幼苗生长指标的差异见表 1;叶片的叶绿素含量、光合和气体交换参数以及氮、磷和钾含量的差异见表 2。

2.1.1 对幼苗生长的影响 由表1可见:各施肥组幼苗的6个生长指标均大幅度高于对照(未施肥),差异均达显著( $P<0.05$ )水平,其中,木霉生物有机肥(BF)组的增幅最大。

各施肥组间幼苗的基径和单株地上部干质量无显著差异,而单株总叶面积和单株地下部干质量则存在显著差异,其中,BF组幼苗的单株总叶面积较有机肥(OF)和化肥(CF)组分别增加了12.07%和25.64%,单株地下部干质量较OF和CF组分别增加了10.54%和25.24%。OF和CF组幼苗的单株总枝长和根系活力无显著差异,但均显著低于BF组;其中,BF组幼苗的单株总枝长较OF和CF组分别增加了16.42%和9.15%,根系活力较OF和CF组分别增加了25.29%和40.08%。

2.1.2 对叶片叶绿素含量的影响 由表2可见:各施肥组幼苗叶片的叶绿素 $a$ 、叶绿素 $b$ 和总叶绿素含量

均高于对照,差异均达显著水平,其中,BF组叶片的叶绿素 $a$ 、叶绿素 $b$ 和总叶绿素含量最高。

各施肥组间幼苗叶片的叶绿素 $a$ 含量均存在显著差异,其中,BF组的叶绿素 $a$ 含量最高,较OF和CF组分别升高了40.32%和26.09%。OF和CF组幼苗叶片的叶绿素 $b$ 含量和总叶绿素含量无显著差异,但均显著低于BF组;其中,BF组幼苗叶片的叶绿素 $b$ 含量较OF和CF组分别升高了52.00%和40.74%,总叶绿素含量较OF和CF组分别升高了43.68%和30.21%。

2.1.3 对叶片光合和气体交换参数的影响 由表2还可见:各施肥组幼苗叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均高于对照,而胞间 $\text{CO}_2$ 浓度则均低于对照,差异均达显著水平;其中,BF组幼苗叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率最大,其胞间 $\text{CO}_2$ 浓度也较低。

表1 不同施肥处理后高丛越橘品种‘蓝美1号’幼苗生长指标的差异( $\bar{X}\pm\text{SD}$ )<sup>1)</sup>

Table 1 Difference in growth indexes of seedling of *Vaccinium corymbosum* ‘Lanmei 1’ after different fertilization treatments ( $\bar{X}\pm\text{SD}$ )<sup>1)</sup>

处理 Treatment	基径/mm Basal diameter	单株总枝长/cm Total branch length per plant	单株总叶面积/cm <sup>2</sup> Total leaf area per plant	单株地上部干质量/g Dry mass of above-ground part per plant	单株地下部干质量/g Dry mass of under-ground part per plant	根系 Root activity
						活力/( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )
CK	1.33±0.20b	15.0±2.1c	19.80±0.76d	0.63±0.05b	0.72±0.02d	43.15±4.49c
CF	5.43±1.21a	131.2±10.7b	442.72±27.97c	8.06±1.08a	7.37±1.04c	85.44±6.46b
OF	6.45±0.70a	123.0±6.8b	496.35±6.82b	7.47±1.02a	8.35±0.21b	98.25±8.58b
BF	5.91±0.39a	143.2±10.9a	556.25±7.19a	8.36±1.05a	9.23±1.05a	123.10±16.69a

<sup>1)</sup> CK: 未施肥(对照) No fertilizer (the control); CF: 施用化肥 Applying chemical fertilizer; OF: 施用有机肥 Applying organic fertilizer; BF: 施用木霉生物有机肥 Applying *Trichoderma*-enriched bio-organic fertilizer. 同列中不同的小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant ( $P<0.05$ ) difference.

表2 不同施肥处理后高丛越橘品种‘蓝美1号’幼苗叶片的叶绿素含量、光合和气体交换参数以及氮、磷和钾含量的差异( $\bar{X}\pm\text{SD}$ )<sup>1)</sup>

Table 2 Difference in chlorophyll content, photosynthetic and gas-exchange parameters, and contents of nitrogen, phosphorus and potassium in leaf of seedling of *Vaccinium corymbosum* ‘Lanmei 1’ after different fertilization treatments ( $\bar{X}\pm\text{SD}$ )<sup>1)</sup>

处理 Treatment	叶绿素含量/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) Chlorophyll content			净光合速率/( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) Net photosynthetic rate	气孔导度/( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) Stomatal conductance
	叶绿素 $a$ Chlorophyll $a$	叶绿素 $b$ Chlorophyll $b$	总和 Total		
CK	0.47±0.02d	0.17±0.04c	0.55±0.13c	4.04±0.68c	0.04±0.01c
CF	0.69±0.01b	0.27±0.05b	0.96±0.15b	9.45±1.27b	0.09±0.03b
OF	0.62±0.01c	0.25±0.05b	0.87±0.18b	9.44±1.03b	0.09±0.02b
BF	0.87±0.01a	0.38±0.04a	1.25±0.15a	10.29±1.16a	0.10±0.02a

  

处理 Treatment	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度/( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) Intercellular $\text{CO}_2$ concentration	蒸腾速率/( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) Transpiration rate	元素含量/( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) Element content		
			氮 Nitrogen	磷 Phosphorus	钾 Potassium
CK	282.94±26.95a	1.48±0.14c	23.12±0.49c	2.75±0.17c	6.04±0.31c
CF	202.85±33.20b	2.41±0.17b	27.22±1.08b	6.41±0.45b	7.58±1.04b
OF	211.27±24.61b	2.49±0.21b	29.08±0.58ab	8.56±0.42a	8.26±0.93a
BF	209.33±26.30b	2.70±0.15a	30.83±1.07a	8.47±0.58a	8.27±0.89a

<sup>1)</sup> CK: 未施肥(对照) No fertilizer (the control); CF: 施用化肥 Applying chemical fertilizer; OF: 施用有机肥 Applying organic fertilizer; BF: 施用木霉生物有机肥 Applying *Trichoderma*-enriched bio-organic fertilizer. 同列中不同的小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant ( $P<0.05$ ) difference.



各施肥组间幼苗叶片的胞间  $\text{CO}_2$  浓度无显著差异。OF 和 CF 组幼苗叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率无显著差异,但均显著低于 BF 组;其中, BF 组幼苗叶片的净光合速率较 OF 和 CF 组分别升高了 9.00% 和 8.89%,气孔导度较 OF 和 CF 组均升高了 11.11%,蒸腾速率则较 OF 和 CF 组分别升高了 8.43% 和 12.03%。

2.1.4 对叶片氮、磷和钾含量的影响 由表 2 还可见:各施肥组幼苗叶片的氮、磷和钾含量均高于对照,差异均达显著水平,其中, BF 组叶片的氮、磷和钾含量最高。

BF 组幼苗叶片的氮、磷和钾含量仅显著高于 CF 组,但与 OF 组无显著差异;其中, BF 组幼苗叶片的氮、磷和钾含量分别较 OF 组升高了 13.26%、32.14% 和 9.10%。

## 2.2 不同施肥处理对高丛越橘品种‘蓝美 1 号’幼苗盆栽土壤理化指标的影响

经不同施肥处理后高丛越橘品种‘蓝美 1 号’幼苗盆栽土壤理化指标的差异见表 3。

2.2.1 对土壤 pH 值和电导率的影响 由表 3 可见:各施肥组盆栽土壤的电导率均高于对照(未施肥),差异均达显著( $P < 0.05$ )水平;木霉生物有机肥(BF)和化肥(CF)组盆栽土壤的 pH 值与对照无显著差异,仅有机肥(OF)组盆栽土壤的 pH 值与对照存在显著差异。在 3 个施肥组中, BF 组盆栽土壤的电导率最

高,但各组间无显著差异。BF 和 CF 组盆栽土壤的 pH 值无显著差异,但均显著低于 OF 组。总体上, BF 组盆栽土壤的电导率最高, pH 值也较高。

2.2.2 对土壤酶活性的影响 由表 3 还可见:各施肥组盆栽土壤的酸性磷酸酶和脲酶活性均高于对照,差异均达显著水平,其中, BF 组盆栽土壤的酸性磷酸酶和脲酶活性最高。各施肥组间盆栽土壤的酸性磷酸酶和脲酶活性均存在显著差异,其中, BF 组盆栽土壤的酸性磷酸酶活性较 OF 和 CF 组分别升高了 28.09% 和 10.02%,其脲酶活性较 OF 和 CF 组分别升高了 27.15% 和 20.92%。

2.2.3 对土壤养分含量的影响 由表 3 还可见:各施肥组盆栽土壤的有机质、全氮、全磷、全钾、铵态氮和硝态氮含量均高于对照,差异均达显著水平,其中, BF 组盆栽土壤的各项指标最大。

BF 组盆栽土壤的有机质和全氮含量均显著高于 OF 和 CF 组,其中,有机质含量较 OF 和 CF 组分别升高了 12.23% 和 13.10%,全氮含量较 OF 和 CF 组分别升高了 13.0% 和 18.18%;而 OF 和 CF 组间盆栽土壤的有机质和全氮含量无显著差异。各施肥组间盆栽土壤的铵态氮含量均存在显著差异,其中, BF 组盆栽土壤的铵态氮含量较 OF 和 CF 组分别升高了 47.99% 和 31.71%。盆栽土壤的全钾含量以 BF 组最高,但仅与 OF 组差异显著,较 OF 组升高了 22.94%。各施肥组间盆栽土壤的全磷和硝态氮含量无显著差异。

表 3 不同施肥处理后高丛越橘品种‘蓝美 1 号’盆栽土壤理化指标的差异 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 3 Difference in physicochemical indexes of potting soil of *Vaccinium corymbosum* ‘Lanmei 1’ after different fertilization treatments ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

处理 <sup>2)</sup> Treatment <sup>2)</sup>	pH 值 pH value	电导率/( $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) Electric conductivity	酸性磷酸酶 活性/( $\text{nmol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ) Acid phosphatase activity	脲酶 活性/( $\mu\text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ) Urease activity	有机质含量/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Organic matter content
CK	4.91±0.05b	0.13±0.01b	738.82±113.48d	588.01±97.35d	3.02±0.40c
CF	4.90±0.04b	0.28±0.04a	1 059.64±78.66b	826.84±56.89b	6.49±0.38b
OF	5.08±0.03a	0.31±0.08a	910.15±93.92c	786.28±151.46c	6.54±0.20b
BF	5.04±0.03b	0.37±0.05a	1 165.82±68.14a	999.78±50.31a	7.34±0.34a
处理 <sup>2)</sup> Treatment <sup>2)</sup>	全氮含量/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total nitrogen content	全磷含量/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total phosphorus content	全钾含量/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total potassium content	铵态氮含量/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Ammonium nitrogen content	硝态氮含量/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Nitrate nitrogen content
CK	0.36±0.03c	0.27±0.06b	3.65±0.39c	2.91±0.13d	8.17±0.49b
CF	0.44±0.03b	0.52±0.11a	5.64±0.76ab	3.91±0.39b	12.01±1.33a
OF	0.46±0.03b	0.54±0.14a	5.10±1.53b	3.48±0.35c	13.41±3.05a
BF	0.52±0.03a	0.55±0.12a	6.27±0.55a	5.15±0.36a	12.12±1.67a

<sup>1)</sup> CK: 未施肥(对照) No fertilizer (the control); CF: 施用化肥 Applying chemical fertilizer; OF: 施用有机肥 Applying organic fertilizer; BF: 施用木霉生物有机肥 Applying *Trichoderma*-enriched bio-organic fertilizer. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant ( $P < 0.05$ ) difference.

<sup>2)</sup> 盆栽土壤配比为 V(红壤) : V(松树皮) : V(草炭) = 2 : 1 : 1 The proportioning of potting soil is V(red soil) : V(pine bark) : V(peat) = 2 : 1 : 1.

### 3 讨论和结论

合理施肥能够促进植株生长,增加光合作用效率,但不同类型肥料对植物的促生效应存在差异。冯程龙等<sup>[23]</sup>发现施用木霉生物有机肥能显著促进黄瓜(*Cucumis sativus* Linn.)的株高增长和叶面积增大;陆宁海等<sup>[24]</sup>的研究结果表明:施用木霉菌制剂能够显著提升小麦(*Triticum aestivum* Linn.)和玉米(*Zea mays* Linn.)的地上部鲜质量,提高叶片叶绿素含量;刘秋梅等<sup>[25]</sup>认为,相比于有机肥,施用木霉生物有机肥能显著提升番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)叶片的叶长、叶宽和叶绿素含量。本研究中,施用化肥、有机肥和木霉生物有机肥均能够促进高丛越橘品种‘蓝美1号’幼苗地上部的生长,使叶片叶绿素含量提高,并改善气孔交换状况,增强净光合速率;与化肥和有机肥相比,施用木霉生物有机肥能更大幅度地促进‘蓝美1号’幼苗地上部分和根系的生长,通过增加叶面积和叶绿素含量提升叶片的光合作用效率,通过提升根系活力增强根系对水分和矿物质养分的吸收作用,促进叶片中养分的累积,进而达到促进‘蓝美1号’幼苗生长的目的。

研究结果<sup>[26-27]</sup>表明:木霉生物有机肥能够有效活化土壤养分,提高植物对土壤养分的利用率,并促进植株生长。本研中,施用化肥、有机肥和木霉生物有机肥均可显著增加‘蓝美1号’幼苗盆栽土壤中有机质、全氮、全磷和全钾以及铵态氮和硝态氮含量,提高土壤的电导率以及酸性磷酸酶和脲酶活性,但施用不同肥料后盆栽土壤的这些指标增幅存在一定差异,其中施用木霉生物有机肥后盆栽土壤的这些指标增幅最大,说明相较于化肥和有机肥,施用木霉生物有机肥能够显著提升土壤养分水平,加速土壤养分活化,从而增强土壤的供肥能力。此外,施用木霉生物有机肥后,盆栽土壤中的铵态氮含量显著高于其他施肥组,而硝态氮含量则与其他施肥组无显著差异,这一现象有利于越橘对土壤氮素的吸收,由于越橘是一种喜铵植物,对土壤中铵态氮的吸收能力强于硝态氮<sup>[28]</sup>。总之,施用木霉生物有机肥可显著提高土壤酶活性,丰富土壤微生物多样性,加速土壤氮素转化,进而促进越橘植株对土壤养分的吸收利用。

越橘的生长与养分吸收是一个复杂的生理过程,本实验仅研究了3种肥料对‘蓝美1号’幼苗生长的

影响,肥料类型少且使用量单一,缺乏对花期和果期的指标测定以及对土壤微生物菌群的研究。在后续的研究中应对生物有机肥的最佳施用量进行探究,并揭示微生物对植株及土壤的作用机制。

综上所述,适量施用化肥、有机肥和木霉生物有机肥均能够促进‘蓝美1号’幼苗生长,增大其叶面积,提高叶片叶绿素含量和净光合速率,增加根系活力,同时能够提高土壤养分含量,增强土壤酶活性,改善土壤微生物环境,其中,木霉生物有机肥对‘蓝美1号’的促生效果及土壤的改良作用更优。因而,建议在越橘栽培生产中,应针对不同的品种和生长期,依据土壤肥力水平,制定适宜的木霉生物有机肥施肥措施。

#### 参考文献:

- [1] 韦继光, 於虹, 曾其龙, 等. 蓝莓光合作用研究进展[J]. 中国果树, 2014(6): 67-72.
- [2] 李亚静, 姜燕琴, 韦继光, 等. 不同氮浓度对兔眼蓝莓果不同品种幼苗生长和光合生理的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2016, 25(2): 65-71.
- [3] WILBER W L, WILLIAMSON J G. Effects of fertilizer rate on growth and fruiting of containerized southern highbush blueberry[J]. HortScience, 2008, 43(1): 143-145.
- [4] 汪春芬, 韦继光, 於虹, 等. 控释肥施用量对兔眼蓝莓果叶片和栽培基质渗液中养分含量及植株生长的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2019, 28(2): 79-87.
- [5] 韩秀清, 张森, 童耀宏, 等. 蓝莓园的土壤检测与改良[J]. 落叶果树, 2020, 52(6): 67-69.
- [6] 王若斐, 刘超, 操一凡, 等. 不同碳氮比猪粪堆肥及其产品肥效[J]. 中国土壤与肥料, 2017(6): 127-134, 154.
- [7] 李亚东, 吴林, 刘洪章, 等. 越桔果树的矿质营养与施肥[J]. 吉林农业大学学报, 1994, 16(S1): 190-195.
- [8] 黄卉, 麻馨尹, 石静蕾, 等. 中药渣有机肥对土壤生态及药用植物生长发育的影响[J]. 中药材, 2020, 43(5): 1270-1274.
- [9] 林挺锐, 孙郑, 卢日辉, 等. 新型植物源有机药肥对水稻的肥效及防虫效果[J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(2): 58-64.
- [10] 孙志祥, 李敏, 韩上, 等. 有机肥部分替代化肥和秸秆还田对双季稻产量、养分吸收及土壤肥力的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2020, 47(6): 1012-1016.
- [11] 王燕云, 赵龙杰, 郝春莉, 等. 生物有机肥对不同连作年限设施黄瓜土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 浙江农业学报, 2019, 31(4): 631-638.
- [12] 李瑞霞, 陈巍, 蔡枫, 等. 贵州木霉 NJAU4742 生物有机肥对番茄种植的影响[J]. 南京农业大学学报, 2017, 40(3): 464-472.
- [13] 刘正洋, 王若斐, 乔策策, 等. 木霉生物有机肥对白菜和甘蓝产量及土壤微生物区系的影响[J]. 南京农业大学学报, 2020,

- 43(4): 650-657.
- [14] 于新, 田淑慧, 徐文兴, 等. 木霉菌生防作用的生化机制研究进展[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2005, 44(2): 86-90.
- [15] 沈德龙, 曹凤明, 李力. 我国生物有机肥的发展现状及展望[J]. 中国土壤与肥料, 2007(6): 1-5.
- [16] 滕安娜. 木霉菌对植物的促生效果及其机理的研究[D]. 济南: 山东师范大学生命科学学院, 2010; 20-25.
- [17] 夏可心, 于亚楠, 张建, 等. 2种木霉生物有机肥对蔬菜产量和品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2020, 43(2): 284-291.
- [18] 商娜, 任爱芝, 赵培宝. 木霉菌在园林园艺植物上的应用及研究进展[J]. 北方园艺, 2021(3): 149-154.
- [19] 赵宝明, 顾燕芬, 赵杰, 等. 生物菌肥对老桃园土壤和再植桃苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2017(7): 179-183.
- [20] 章家恩. 生态学常用实验研究方法与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006; 68-69.
- [21] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000; 49.
- [23] 冯程龙, 王晓婷, 康文晶, 等. 利用小麦秸秆生产木霉分生孢子及其生物有机肥对黄瓜的促生效果[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(5): 1286-1295.
- [24] 陆宁海, 徐瑞富, 房振宏, 等. 哈茨木霉对小麦和玉米幼苗生长的影响[J]. 江苏农业学报, 2005, 21(3): 238-240.
- [25] 刘秋梅, 陈兴, 孟晓慧, 等. 新型木霉氨基酸有机肥研制及其对番茄的促生效果[J]. 应用生态学报, 2017, 28(10): 3314-3322.
- [26] HARMAN G E, TAYLOR A G, STASZ T E. Combining effective strains of *Trichoderma harzianum* and solid matrix priming to improve biological seed treatments[J]. Plant Disease, 1989, 73: 631-637.
- [27] 张凤革. 哈茨木霉诱变菌株 T-E5 及其生物有机肥对黄瓜生长的影响及机理研究[D]. 南京: 南京农业大学资源与环境科学学院, 2015; 1-3.
- [28] 李亚东, 赵爽, 张志东, 等. 不同氮素形态配比对越橘生长、产量及叶片元素含量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2008, 30(4): 477-480.

(责任编辑: 郭严冬)

(上接第18页 Continued from page 18)

- [13] POORTER H, NIKLAS K J, REICH P B, et al. Biomass allocation to leaves, stems and roots; meta-analyses of interspecific variation and environmental control[J]. New Phytologist, 2012, 193(1): 30-50.
- [14] YAO H, ZHANG Y, YI X, et al. Cotton responds to different plant population densities by adjusting specific leaf area to optimize canopy photosynthetic use efficiency of light and nitrogen[J]. Field Crops Research, 2016, 188: 10-16.
- [15] FRESCHET G T, SWART E M, CORNELISSEN J H C. Integrated plant phenotypic responses to contrasting above- and below-ground resources: key roles of specific leaf area and root mass fraction[J]. New Phytologist, 2015, 206(4): 1247-1260.
- [16] 刘曙光, 段佩玲, 张利霞, 等. 氮素形态对‘凤丹’表型性状、光合及产量的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(4): 161-168.
- [17] LAWLOR D W, LEMAIRE G, GASTAL F. Nitrogen, plant growth and crop yield[M] // LEA P J, MOROT-GAUDRY J-F. Plant Nitrogen. Berlin: Springer-Verlag, 2001: 343-367.
- [18] JARRELL W M, BEVERLY R B. The dilution effect in plant nutrition studies[J]. Advances in Agronomy, 1981, 34: 197-224.
- [19] 李盛婷, 杨城, 王冉, 等. 草珊瑚植株表型对光照和氮素营养的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(8): 1441-1450.
- [20] YONEDA Y, SHIMIZU H, NAKASHIMA H, et al. Effects of light intensity and photoperiod on improving steviol glycosides content in *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni while conserving light energy consumption[J]. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2017, 7: 64-73.
- [21] WANG J, LI S, XIONG Z, et al. Pathway mining-based integration of critical enzyme parts for *de novo* biosynthesis of steviolglycosides sweetener in *Escherichia coli*[J]. Cell Research, 2016, 26(2): 258-261.
- [22] BAQUE M A, ELGIRBAN A, LEE E J, et al. Sucrose regulated enhanced induction of anthraquinone, phenolics, flavonoids biosynthesis and activities of antioxidant enzymes in adventitious root suspension cultures of *Morinda citrifolia* (L.) [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2011, 34: 405-415.
- [23] WANG C L, LIANG Z S, LI D R, et al. Salvianolic acids production in *Salvia miltiorrhiza* Bunge was regulated by both soluble sugars accumulation and growth substances salicylic acid and methyl jasmonate[J]. Journal of Medicinal Plants Research, 2012, 6(13): 2666-2673.
- [24] LI Y, YANG Y, HU Y, et al. DELLA and EDS1 form a feedback regulatory module to fine-tune plant growth-defense tradeoff in *Arabidopsis*[J]. Molecular Plant, 2019, 12(11): 1485-1498.
- [25] BARTO E K, CIPOLLINI D. Testing the optimal defense theory and the growth-differentiation balance hypothesis in *Arabidopsis thaliana* [J]. Oecologia, 2005, 146(2): 169-178.

(责任编辑: 张明霞)