

## 醋糟对土壤改良及兔眼蓝浆果幼苗生长的影响

李琪<sup>1</sup>, 於虹<sup>1</sup>, 王支虎<sup>2</sup>, 曾其龙<sup>1</sup>, 韦继光<sup>1</sup>, 姜燕琴<sup>1</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. 江苏省农业科学院, 江苏 南京 210014]

**摘要:** 为了探究醋糟对土壤改良及蓝浆果(*Vaccinium* spp.)生长的影响,以兔眼蓝浆果(*V. ashei* Reade)品种‘灿烂’(‘Brightwell’)的2年生幼苗为实验材料、纯土壤为对照(CK),采用盆栽法对S1[V(醋糟):V(土壤)=25:75]、S2[V(醋糟):V(土壤)=50:50]、S3[V(泥炭):V(土壤)=50:50]和S4[V(松树皮):V(土壤)=50:50]基质及种植于这些基质中品种‘灿烂’的相关指标进行了比较,并对该品种与基质的相关指标进行了相关性分析。结果表明:与对照相比,4种基质的电导率、全氮含量、全磷含量、有机质含量和脲酶活性大多显著( $P<0.05$ )升高,而容重却明显下降;S1和S2基质的pH值略下降,S3和S4基质的pH值略升高,而酸性磷酸酶活性则相反。其中,S2基质的容重下降了15.29%,其电导率、全氮含量、全磷含量和有机质含量分别升高了102.71%、239.01%、92.86%和531.71%,其脲酶和酸性磷酸酶活性分别升高了533.33%和95.47%。4种基质中品种‘灿烂’的株高、基径以及叶全氮和全磷含量与对照无显著差异,而该品种的平均单果质量、果形指数、单株地上部和根干质量、根冠比以及根全氮和全磷含量则与对照有一定差异,并且,其单株根干质量和根冠比总体上显著高于对照。其中,S2基质中该品种的单株根干质量、根冠比以及根全氮和全磷含量分别较对照升高了83.94%、72.00%、23.89%和39.64%。相关性分析结果表明:基质的理化性质及脲酶和酸性磷酸酶活性对品种‘灿烂’的根冠比和根全氮含量影响较大。其中,该品种的根冠比与基质的电导率呈显著正相关,与脲酶和酸性磷酸酶活性呈极显著正相关;该品种的全氮含量与基质的pH值呈极显著负相关,与基质的容重呈显著负相关,与脲酶和酸性磷酸酶活性呈极显著正相关。总体来看,醋糟对土壤具有一定的改良效果,并能够促进兔眼蓝浆果品种‘灿烂’根系生长,且以添加体积分数50%醋糟的效果最佳。

**关键词:** 醋糟; 兔眼蓝浆果; 土壤改良; 幼苗生长; 相关性分析

中图分类号: Q948.113; S156; S663.9 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2017)04-0025-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2017.04.04

**Effect of vinegar residue on soil amelioration and seedling growth of *Vaccinium ashei*** LI Qi<sup>1</sup>, YU Hong<sup>1</sup>, WANG Zhihu<sup>2</sup>, ZENG Qilong<sup>1</sup>, WEI Jiguang<sup>1</sup>, JIANG Yanqin<sup>1</sup>, JIANG Jiafeng<sup>1,①</sup> (1. Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2017, 26(4): 25-31

**Abstract:** In order to explore the effect of vinegar residue on soil amelioration and growth of *Vaccinium* spp., taking two-year-old seedlings of cultivar ‘Brightwell’ of *V. ashei* Reade as experimental materials and pure soil as the control (CK), related indexes of substrates of S1 [V(vinegar residue):V(soil)=25:75], S2 [V(vinegar residue):V(soil)=50:50], S3 [V(peat):V(soil)=50:50] and S4 [V(pine bark):V(soil)=50:50], and cultivar ‘Brightwell’ planted in these substrates were compared by using pot-culture method, and correlation analysis on related indexes between this cultivar and substrates was conducted. The results show that compared with the control, electric conductivity, total nitrogen content, total phosphorus content, organic content, and urease activity of four substrates mostly increase

收稿日期: 2017-08-28

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(16)1016); 江苏省重点研发计划(现代农业)项目(BE2017373); 国家自然科学基金资助项目(31601709); 江苏省自然科学基金资助项目(BK20160597)

作者简介: 李琪(1993—),女,江苏镇江人,硕士研究生,主要从事蓝浆果栽培生理方面的研究。

①通信作者 E-mail: jfchiang@126.com

significantly ( $P < 0.05$ ), while their bulk density decreases obviously; pH value of S1 and S2 substrates decreases slightly, and that of S3 and S4 substrates increases slightly, but their acid phosphatase activity is reverse. In which, bulk density of S2 substrate decreases by 15.29%, and its electric conductivity, total nitrogen content, total phosphorus content, and organic content increase by 102.71%, 239.01%, 92.86%, and 531.71%, respectively, while its urease and acid phosphatase activities increase by 533.33% and 95.47%, respectively. There is no significant difference in height, basal diameter, total nitrogen and total phosphorus contents in leaf of cultivar 'Brightwell' between four substrates and the control, while there are some differences in average weight per fruit, fruit shape index, dry weights of above-ground part and root per plant, root/shoot ratio, total nitrogen and total phosphorus contents in root of this cultivar between four substrates and the control, and their dry weight of root per plant and root/shoot ratio are significantly higher than those of the control in general. In which, dry weight of root per plant, root/shoot ratio, total nitrogen and total phosphorus contents in root of this cultivar in S2 substrate increase by 83.94%, 72.00%, 23.89%, and 39.64%, respectively compared with the control. The correlation analysis result shows that the effects of physicochemical properties, urease and acid phosphatase activities of substrate on root/shoot ratio and total nitrogen content in root of cultivar 'Brightwell' are relatively great. In which, there is a significantly positive correlation of root/shoot ratio of this cultivar with electric conductivity of substrate, and an extremely significantly positive correlation with urease and acid phosphatase activities of substrate; there is an extremely significantly negative correlation of total nitrogen content in root of this cultivar with pH value of substrate, a significantly negative correlation with bulk density of substrate, and an extremely significantly positive correlation with urease and acid phosphatase activities of substrate. In general, vinegar residue has some amelioration effects on soil, and can promote root growth of cultivar 'Brightwell' of *V. ashei*, and the effect of adding vinegar residue with volume fraction of 50% is the best.

**Key words:** vinegar residue; *Vaccinium ashei* Reade; soil amelioration; seedling growth; correlation analysis

蓝浆果 (*Vaccinium* spp.) 隶属于杜鹃花科 (Ericaceae) 越橘属 (*Vaccinium* Linn.), 为新兴小浆果类果树<sup>[1]-2, [2]</sup>, 属浅根系植物。蓝浆果适宜生长在有机质含量较高的酸性土壤中<sup>[3]</sup>, 而其商业栽培土壤的有机质含量较低, 需要添加大量的有机物料进行土壤改良<sup>[4-5]</sup>, 因此, 挖掘适宜的酸性有机物料进行蓝浆果栽培土壤改良成为保障中国蓝浆果栽培产业可持续发展的基础。

醋糟是中国特有的食醋产业附属有机物料, 资源丰富, 仅江苏恒顺集团有限公司每年产生的醋糟量就达到  $2.6 \times 10^6$  t<sup>[6]</sup>。已有研究表明: 醋糟粗纤维含量高、酸性强且含水量大, 无害化处理和应用困难<sup>[7]</sup>。醋糟含有大量的谷壳, 能够较好地改善土壤结构并提高土壤的有机质含量<sup>[8]</sup>; 而且, 醋糟具有有机质含量高并富含蛋白质和氮、磷、钾等养分的特点, 在农业资源化利用, 特别是蓝浆果栽培上具有一定的应用潜力。

鉴于此, 作者采用盆栽法对添加不同比例醋糟和常规有机物料 (包括泥炭和松树皮) 后土壤的改良效果 (包括理化性质及脲酶和酸性磷酸酶活性) 和兔眼蓝浆果 (*V. ashei* Reade) 品种 '灿烂' ('Brightwell')

的生长 (包括生长指标及全氮和全磷含量) 进行了比较分析, 并对该品种与栽培土壤相关指标进行了相关性分析, 以期明确醋糟对土壤改良效果及蓝浆果生长的影响, 并从土壤改良角度揭示醋糟影响蓝浆果生长的机制, 为醋糟在蓝浆果栽培上的应用提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

选择兔眼蓝浆果品种 '灿烂' 长势一致的 2 年生幼苗作为实验材料; 使用的醋糟购自江苏恒顺集团有限公司, 电导率为  $488 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , 全氮和全磷含量分别为  $30.700$  和  $3.867 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , pH 4.10; 使用的泥炭和松树皮购自南京市园艺花卉市场; 使用的土壤为长江流域常见的黄棕壤, 采自江苏省南京市溧水区白马镇石头寨村蓝莓园 (东经  $119^\circ 15'$ 、北纬  $31^\circ 50'$ ), 电导率为  $69 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , 全氮和全磷含量分别为  $17.73$  和  $10.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , pH 5.31。土壤经自然避光风干后, 过筛 (孔径  $2.00 \text{ mm}$ ), 备用。

### 1.2 方法

1.2.1 基质配制及栽培方法 实验共设置 5 种基

质,编号为CK、S1、S2、S3和S4,其中,CK为纯土壤,即对照;S1为 $V(\text{醋糟}):V(\text{土壤})=25:75$ 的混合基质;S2为 $V(\text{醋糟}):V(\text{土壤})=50:50$ 的混合基质;S3为 $V(\text{泥炭}):V(\text{土壤})=50:50$ 的混合基质;S4为 $V(\text{松树皮}):V(\text{土壤})=50:50$ 的混合基质。

于2016年1月在江苏省中国科学院植物研究所的蓝浆果苗圃地进行栽培实验。每种基质装20个塑料盆(上口口径33.6 cm、下口径22.5 cm、高30.8 cm),每个塑料盆种植1株经过修剪的幼苗,各塑料盆随机摆放,盆间距1.5 m。实验期间采取常规的水肥管理措施。

**1.2.2 土壤样品采集及相关指标测定方法** 于2016年10月,采用环刀法<sup>[9]269-270</sup>测定土壤的容重;同时,使用土钻采集基质表层的土壤,将一部分土壤样品置于通风处进行自然风干,另一部分土壤样品置于-80℃条件下保存。每种基质随机采集4盆土壤样品,视为4个重复。

将自然风干的土壤样品进行磨碎、过筛(孔径0.25 mm),使用Orion Star A211台式pH计(美国Thermo Scientific公司)测定土壤的pH值;使用DDS-11A电导率仪(上海理达仪器厂)测定土壤的电导率;使用SKD-800半自动凯氏定氮仪(上海沛欧分析仪器有限公司)测定土壤的全氮含量;采用钼锑抗比色法<sup>[9]168-169</sup>测定土壤的全磷含量;采用水合热重铬酸钾氧化-比色法<sup>[9]109-110</sup>测定土壤的有机质含量。各指标均重复测定3次,结果取平均值。

将冷冻保存的土壤样品过筛(孔径2.00 mm),采用 $\text{NH}_4^+$ 释放量法<sup>[9]249-250</sup>测定土壤的脲酶活性;采用对硝基苯磷酸盐法<sup>[9]252-254</sup>测定土壤的酸性磷酸酶活性。土壤中这2种酶活性均重复测定3次,结果取平均值。

**1.2.3 兔眼蓝浆果相关指标测定方法** 于2016年7月(结果期),每种基质随机挑选5株幼苗(视为5个重复),使用卷尺(精度0.1 cm)测量基质表面到植株生长点的距离,即株高;使用游标卡尺(精度0.02 mm)测量植株茎干在基质表面处的直径,即基径。各指标均为5株幼苗测定结果的平均值。

每株随机采摘20个果实,使用万分之一天平称量单果质量;使用游标卡尺(精度0.02 mm)测量果实的纵径和横径,并计算果形指数(即果实纵径与横径的比值)。各指标均为5株幼苗100个果实测量结果的平均值。

每种基质随机挑选4株幼苗(视为4个重复),洗净后,将植株分成根、茎、叶3个部分,分别置于105℃条件下杀青30 min,并置于75℃条件下烘干至恒质量,分别称量单株根、茎和叶的干质量,其中,茎和叶的干质量之和为地上部干质量。各指标均重复测定3次,结果取平均值。

将干燥的叶和根分别磨碎、过筛(孔径0.25 mm),使用SKD-800半自动凯氏定氮仪测定叶和根的全氮含量;采用钼锑抗比色法<sup>[9]312-314</sup>测定叶和根的全磷含量。各指标均重复测定3次,结果取平均值。

### 1.3 数据处理及统计分析

采用EXCEL 2006软件进行数据处理;采用SPSS Statistics 21.0软件对相关数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)、Duncan's新复极差分析和相关性分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同基质理化性质和酶活性的比较

**2.1.1 理化性质的比较** 实验结果(表1)表明:与对照(纯土壤)相比,S1[ $V(\text{醋糟}):V(\text{土壤})=25:75$ ]和S2[ $V(\text{醋糟}):V(\text{土壤})=50:50$ ]基质的pH值略下降,S3[ $V(\text{泥炭}):V(\text{土壤})=50:50$ ]基质的pH值略升高,而S4[ $V(\text{松树皮}):V(\text{土壤})=50:50$ ]基质的pH值显著( $P<0.05$ )升高,较对照升高了11.84%。S1、S3和S4基质的电导率分别较对照升高了25.02%、32.76%和49.59%,但与对照差异不显著;S2基质的电导率较对照升高了102.71%,且与对照及S1和S3基质差异显著。S1和S4基质的容重与对照接近;S2和S3基质的容重较对照显著降低,分别较对照降低了15.29%和5.88%。

由表1可见:S1、S2、S3和S4基质的全氮含量分别较对照升高了100.00%、239.01%、279.37%和37.94%,其中,S1、S2和S3基质的全氮含量与对照差异显著。S1、S2、S3和S4基质的全磷含量分别较对照升高了41.58%、92.86%、119.77%和175.79%,其中,S2、S3和S4基质的全磷含量与对照差异显著。S1、S2、S3和S4基质的有机质含量分别较对照升高了263.41%、531.71%、539.02%和95.12%,且均与对照差异显著。

**2.1.2 脲酶和酸性磷酸酶活性的比较** 由表1还可见:S1、S2、S3和S4基质的脲酶活性分别较对照升高

表1 不同基质理化性质和酶活性的比较( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 1 Comparison on physicochemical properties and enzyme activities of different substrates ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

基质 Substrate	pH 值 pH value	电导率/ $\mu S \cdot cm^{-1}$ Electric conductivity	容重/ $g \cdot cm^{-3}$ Bulk density	全氮含量/ $mg \cdot kg^{-1}$ Total nitrogen content
CK	4.90±0.10a	110.90±9.51a	0.85±0.02c	11.15±1.84a
S1	4.63±0.24a	138.65±12.75a	0.84±0.03c	22.30±2.44b
S2	4.67±0.11a	224.80±49.56b	0.72±0.02a	37.80±6.26c
S3	4.92±0.24a	147.23±35.05a	0.80±0.02b	42.30±7.21c
S4	5.48±0.21b	165.90±73.31ab	0.83±0.02bc	15.38±3.97ab

  

基质 Substrate	全磷含量/ $mg \cdot kg^{-1}$ Total phosphorus content	有机质含量/ $g \cdot kg^{-1}$ Organic content	脲酶活性/ $mg \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ Urease activity	酸性磷酸酶活性/ $g \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ Acid phosphatase activity
CK	13.30±2.78a	8.24±1.11a	4.20±1.40a	11.70±1.76ab
S1	18.83±1.11ab	29.79±2.82c	11.67±1.62b	14.54±7.08b
S2	25.65±3.18bc	51.84±1.18d	26.60±2.80d	22.87±5.00c
S3	29.23±4.31c	52.44±9.94d	15.40±1.40c	7.78±1.61ab
S4	36.68±9.02d	15.98±2.54b	5.60±0.00a	6.47±1.08a

<sup>1)</sup> CK: 纯土壤(对照) Pure soil (the control); S1: V(醋糟):V(土壤)=25:75 V(vinegar residue):V(soil)=25:75; S2: V(醋糟):V(土壤)=50:50 V(vinegar residue):V(soil)=50:50; S3: V(泥炭):V(土壤)=50:50 V(peat):V(soil)=50:50; S4: V(松树皮):V(土壤)=50:50 V(pine bark):V(soil)=50:50. 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 difference ( $P<0.05$ ).

了177.86%、533.33%、266.67%和33.33%，其中，S1、S2和S3基质的脲酶活性与对照差异显著。S1和S2基质的酸性磷酸酶活性分别较对照升高了24.27%和95.47%，S3和S4基质的酸性磷酸酶活性分别较对照降低了33.50%和44.70%，其中，S2基质的酸性磷酸酶活性与对照差异显著。

## 2.2 不同基质中兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼苗生长及全氮和全磷含量的比较

2.2.1 幼苗生长的比较 不同基质中兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼苗生长的比较结果见表2。由表2可见：S1[V(醋糟):V(土壤)=25:75]、S2[V(醋糟):V(土壤)=50:50]、S3[V(泥炭):V(土壤)=50:50]和S4[V(松树皮):V(土壤)=50:50]基质中兔眼蓝浆果品种‘灿烂’的株高和基径均低于对照(纯土壤)，且与

对照差异不显著。

由表2还可见：S1、S2和S3基质中兔眼蓝浆果品种‘灿烂’的平均单果质量和果形指数均与对照接近，且与对照差异不显著；S4基质中该品种的平均单果质量和果形指数均最大，分别为1.81g和0.90，且均显著( $P<0.05$ )高于对照及S1、S2和S3基质。

由表2还可见：S1、S2和S3基质中兔眼蓝浆果品种‘灿烂’的单株地上部干质量分别较对照升高了23.82%、7.30%和15.82%，但与对照差异不显著；S4基质中该品种的单株地上部干质量较对照升高了40.90%，且与对照差异显著。S1、S2、S3和S4基质中该品种的单株根干质量分别较对照升高了85.47%、83.94%、19.91%和73.88%，其中，S1、S2和S4基质中该品种的单株根干质量与对照差异显著，但

表2 不同基质中兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼苗生长的比较( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 2 Comparison on seedling growth of cultivar ‘Brightwell’ of *Vaccinium ashei* Reade in different substrates ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

基质 Substrate	株高/cm Height	基径/mm Basal diameter	平均单果质量/g Average weight per fruit	果形指数 Fruit shape index	单株地上部干质量/g Dry weight of above-ground part per plant	单株根干质量/g Dry weight of root per plant	根冠比 Root/shoot ratio
CK	82.58±16.15a	16.24±1.44a	1.55±0.29a	0.87±0.06a	112.80±18.87a	28.83±10.48a	0.25±0.06a
S1	69.36±16.86a	14.32±0.92a	1.55±0.32a	0.88±0.06a	139.67±27.02ab	53.47±19.14b	0.38±0.07bc
S2	71.48±7.75a	13.92±1.48a	1.56±0.29a	0.88±0.06a	121.03±21.25a	53.03±11.22b	0.43±0.03c
S3	73.08±16.01a	14.40±3.26a	1.61±0.31a	0.87±0.05a	130.64±10.94ab	34.57±4.33ab	0.27±0.05a
S4	77.64±9.43a	14.94±1.92a	1.81±0.34b	0.90±0.06b	158.94±21.53b	50.13±12.01b	0.31±0.03ab

<sup>1)</sup> CK: 纯土壤(对照) Pure soil (the control); S1: V(醋糟):V(土壤)=25:75 V(vinegar residue):V(soil)=25:75; S2: V(醋糟):V(土壤)=50:50 V(vinegar residue):V(soil)=50:50; S3: V(泥炭):V(土壤)=50:50 V(peat):V(soil)=50:50; S4: V(松树皮):V(土壤)=50:50 V(pine bark):V(soil)=50:50. 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 difference ( $P<0.05$ ).

这 3 种基质中该品种的单株根干质量间以及 S3 基质中该品种的单株根干质量与对照差异不显著。S1 和 S2 基质中该品种的根冠比分别较对照升高了 52.00% 和 72.00%, 且均与对照差异显著; 而 S3 和 S4 基质中该品种的根冠比也高于对照, 但与对照无显著差异。

2.2.2 叶和根中全氮和全磷含量的比较 不同栽培基质中兔眼蓝浆果品种‘灿烂’叶和根中全氮及全磷含量的比较结果见表 3。由表 3 可见: S1、S2、S3 和 S4 基质中兔眼蓝浆果品种‘灿烂’叶的全氮和全磷含量无显著差异, 且与对照差异不显著。S1 和 S2 基质中该品种根的全氮含量分别较对照升高了 18.83% 和 23.89%, 且与对照及 S3 和 S4 基质间差异显著, 但二者间差异不显著; S1、S2、S3 和 S4 基质中该品种根的全磷含量分别较对照升高了 11.85%、39.64%、1.78% 和 32.04%, 但与对照差异不显著, 且各基质间差异不显著。

### 2.3 相关性分析

对兔眼蓝浆果品种‘灿烂’与基质的相关指标进行相关性分析, 结果见表 4。由表 4 可见: 兔眼蓝浆果品种‘灿烂’的株高和基径分别与基质的有机质含量呈显著 ( $P < 0.05$ ) 和极显著 ( $P < 0.01$ ) 负相关, 相关系数分别为  $-0.463$  和  $-0.596$ ; 其平均单果质量与基质的酸性磷酸酶活性呈显著负相关, 相关系数为  $-0.558$ ; 其单株地上部干质量与基质的 pH 值呈显著正相关, 相关系数为  $0.507$ ; 其单株根干质量与基质的电导率呈显著正相关, 相关系数为  $0.451$ ; 其根冠比与基质的电导率呈显著正相关, 与基质的脲酶和酸性磷酸酶活性呈极显著正相关, 相关系数分别为  $0.495$ 、 $0.615$  和  $0.700$ ; 其叶全氮含量与基质的 pH 值呈极显著负相关, 相关系数为  $-0.563$ ; 其根全氮含量与基质的 pH 值呈极显著负相关, 与基质的容重呈显著负相关, 与基质的脲酶和酸性磷酸酶活性呈极显著

表 3 不同基质中兔眼蓝浆果品种‘灿烂’叶和根全氮及全磷含量的比较 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 3 Comparison on contents of total nitrogen and total phosphorus in leaf and root of cultivar ‘Brightwell’ of *Vaccinium ashei* Reade in different substrates ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

基质 Substrate	叶全氮含量/mg · kg <sup>-1</sup> Total nitrogen content in leaf	叶全磷含量/mg · kg <sup>-1</sup> Total phosphorus content in leaf	根全氮含量/mg · kg <sup>-1</sup> Total nitrogen content in root	根全磷含量/mg · kg <sup>-1</sup> Total phosphorus content in root
CK	705.03±28.89a	109.10±23.29a	615.88±83.02a	164.60±21.29a
S1	699.35±19.57a	109.10±8.22a	731.83±33.95b	184.10±33.04a
S2	707.68±30.39a	115.80±8.69a	763.03±63.31b	229.85±79.10a
S3	694.48±46.95a	103.40±9.58a	618.93±25.27a	167.53±13.52a
S4	662.43±33.11a	113.48±4.93a	597.88±88.22a	217.33±62.89a

<sup>1)</sup> CK: 纯土壤(对照) Pure soil (the control); S1: V(醋糟):V(土壤)=25:75 V(vinegar residue):V(soil)=25:75; S2: V(醋糟):V(土壤)=50:50 V(vinegar residue):V(soil)=50:50; S3: V(泥炭):V(土壤)=50:50 V(peat):V(soil)=50:50; S4: V(松树皮):V(土壤)=50:50 V(pine bark):V(soil)=50:50. 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 difference ( $P < 0.05$ ).

表 4 兔眼蓝浆果品种‘灿烂’与基质相关指标的相关性分析

Table 4 Correlation analysis on related indexes between cultivar ‘Brightwell’ of *Vaccinium ashei* Reade and substrate

指标 Index	与基质各指标的相关系数 <sup>1)</sup> Correlation coefficient with each index of substrate <sup>1)</sup>							
	pH	EC	BD	C <sub>TN</sub>	C <sub>TP</sub>	C <sub>O</sub>	A <sub>Ure</sub>	A <sub>AcP</sub>
株高 Height	0.045	-0.165	0.238	-0.347	0.130	-0.463*	-0.340	-0.252
基径 Basal diameter	-0.037	-0.333	0.341	-0.394	0.238	-0.596**	-0.392	-0.093
平均单果质量 Average weight per fruit	0.165	-0.112	0.305	-0.044	0.257	-0.135	-0.364	-0.558*
果形指数 Fruit shape index	0.102	0.132	-0.092	0.103	0.157	0.013	0.101	0.101
单株地上部干质量 Dry weight of above-ground part per plant	0.507*	0.208	0.279	-0.121	0.217	-0.109	-0.166	-0.120
单株根干质量 Dry weight of root per plant	0.104	0.451*	-0.097	0.124	-0.098	0.204	0.308	0.439
根冠比 Root/shoot ratio	-0.243	0.495*	-0.420	0.326	-0.351	0.433	0.615**	0.700**
叶全氮含量 Total nitrogen content in leaf	-0.563**	0.111	-0.149	0.181	-0.137	0.135	0.257	0.238
叶全磷含量 Total phosphorus content in leaf	0.030	0.109	-0.136	-0.089	0.139	-0.093	0.123	0.159
根全氮含量 Total nitrogen content in root	-0.620**	0.381	-0.449*	0.258	-0.102	0.378	0.571**	0.644**
根全磷含量 Total phosphorus content in root	0.020	0.316	-0.275	0.175	0.507*	0.091	0.315	0.146

<sup>1)</sup> pH: pH 值 pH value; EC: 电导率 Electric conductivity; BD: 容重 Bulk density; C<sub>TN</sub>: 全氮含量 Total nitrogen content; C<sub>TP</sub>: 全磷含量 Total phosphorus content; C<sub>O</sub>: 有机质含量 Organic content; A<sub>Ure</sub>: 脲酶活性 Urease activity; A<sub>AcP</sub>: 酸性磷酸酶活性 Acid phosphatase activity. \*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ .

正相关,相关系数分别为-0.620、-0.449、0.571和0.644;其根全磷含量与基质的全磷含量呈显著正相关,相关系数为0.507。并且,该品种果形指数与基质各指标的相关性均不显著。

### 3 讨论和结论

和阳等<sup>[10]</sup>认为兔眼蓝浆果适宜生长在pH 5.0以下(不宜超过pH 5.5)且富含有机质的土壤中。本研究中,S1[V(醋糟):V(土壤)=25:75]、S2[V(醋糟):V(土壤)=50:50]和S3[V(泥炭):V(土壤)=50:50]基质的酸碱度为pH 4.63~pH 4.92,说明这些基质适宜兔眼蓝浆果生长。Komosa等<sup>[11]</sup>的研究结果表明:蓝浆果适宜生长在电导率不超过 $1\ 500\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 的土壤中,并且,电导率越高,越利于蓝浆果的养分的吸收。本研究中,S2基质的电导率最高,达到 $224.80\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ,虽然较对照(纯土壤)升高了102.71%,但并未超过蓝浆果适宜生长的土壤电导率范围。另外,S2基质的容重较对照显著降低,仅为 $0.72\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,说明添加体积分数50%的醋糟能够增加土壤的疏松度。

相关研究表明:添加有机物料可以显著提高土壤的养分含量,增强土壤的生物活性<sup>[12-14]</sup>。本研究结果也表明:添加醋糟、泥炭和松树皮等有机物料总体上显著提高了基质中全氮、全磷和有机质的含量。其中,S2和S3基质的全氮含量较高,分别较对照升高了239.01%和279.37%;S4[V(松树皮):V(土壤)=50:50]基质的全磷含量最高,较对照升高了175.79%;S2和S3基质的有机质含量也较高,分别较对照升高了531.71%和539.02%。土壤的有机质结构疏松多孔,并且能有效促进土壤团聚体结构的形成,影响土壤的空隙及吸水 and 持水能力,改善土壤的通气性和透水性<sup>[15-17]</sup>。蓝浆果虽然是寡营养植物,但更适宜栽培在有机质含量大于5%的土壤中<sup>[1]254-257</sup>,本研究中S2基质的有机质含量为 $51.84\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,适宜蓝浆果生长。脲酶和酸性磷酸酶是土壤中的重要酶类,添加外源有机物料利于提高土壤中脲酶和酸性磷酸酶的活性<sup>[18]</sup>,从而提高土壤的肥力,本研究中S2基质的脲酶和酸性磷酸酶活性最高,分别为 $26.60\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 $22.87\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ,分别较对照升高了533.33%和95.47%,说明添加醋糟能够提高土壤的脲酶和酸性磷酸酶活性。

相关研究结果表明:添加泥炭后白菜(*Brassica rapa* var. *glabra* Regel)的干质量明显高于对照(风沙土)<sup>[19]</sup>;添加有机基质能够促进珊瑚菜(*Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miq.)生长发育<sup>[20]</sup>、水稻(*Oryza sativa* Linn.)干物质积累<sup>[21]</sup>及浙江楠(*Phoebe chekiangensis* C. B. Shang)和闽楠[*P. bournel* (Hemsl.) Yang]根系生长<sup>[22]</sup>。本研究结果表明:添加有机物料能够促进兔眼蓝浆果品种‘灿烂’的生长,提高其地上部和根的干质量。其中,S4基质对该品种地上部的促进效果最佳,单株根干质量较对照升高了40.90%;S1和S2基质对该品种根生长的促进效果较佳,单株根干质量分别较对照升高了85.47%和83.94%。根冠比能够反映植物地下部和地上部的相关性,其数值越高表明植物根系的活性越强。吴芯夷等<sup>[23]</sup>的研究结果表明:混合基质中醋糟含量升高和草炭含量降低均能够促使小型西瓜[*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai]幼苗根系活力普遍增强。然而,本研究中,S2基质中兔眼蓝浆果品种‘灿烂’的根冠比较对照升高了72.00%,说明添加醋糟可提高该品种的根系活力,促进其根系生长。另外,S2基质中兔眼蓝浆果品种‘灿烂’根的全氮和全磷含量分别较对照显著升高了23.89%和39.64%,说明添加醋糟利于该品种植株根系对基质中氮和磷的吸收和积累,促进其根系生长。

相关性分析结果表明:兔眼蓝浆果品种‘灿烂’的单株地上部干质量与基质的pH值呈显著正相关,说明在适宜该品种生长的pH值范围内,pH值升高利于该品种地上部生物量的积累。另外,该品种单株根干质量与基质的电导率呈显著正相关,说明在适宜该品种生长的电导率范围内,基质的电导率升高,其可溶性离子浓度升高,基质中养分的有效性提高,可促进该品种对养分的吸收。该品种根冠比与基质的电导率呈显著正相关,与基质的脲酶和酸性磷酸酶活性呈极显著正相关,基质中脲酶和酸性磷酸酶活性增强可提高基质中有效氮和有效磷的浓度,从而促进该品种根系生长。

相关性分析结果表明:兔眼蓝浆果品种‘灿烂’的根全氮含量与基质的容重呈显著负相关,这可能是因为基质容重过高可降低其通气性,进而抑制该品种根系生长,从而影响根的全氮含量。另外,该品种的根全氮含量与基质的脲酶和酸性磷酸酶活性呈极显著正相关,这可能是因为脲酶可以水解土壤中的有机

质,生成  $\text{NH}_4^+$  供植物吸收和利用,酸性磷酸酶能促进基质中的有机磷化合物水解,生成可被植物利用的无机态磷<sup>[24]</sup>。

综上所述,添加体积分数 50% 醋糟能够明显改善土壤的物理结构,提高土壤的养分含量和酶活性,并对兔眼蓝浆果品种‘灿烂’根系生长的促进效果最佳。

#### 参考文献:

- [1] 顾 烟,贺善安. 蓝浆果与蔓越橘[M]. 北京:中国农业出版社,2001.
- [2] 於 虹,贺善安,顾 烟. 我国和世界蓝浆果的发展前景[J]. 植物资源与环境学报,2001,10(2):52-55.
- [3] 顾 烟,王传永,吴文龙,等. 美国蓝浆果的引种[J]. 植物资源与环境,1998,7(4):33-37.
- [4] XIE Z S, WU X C. Studies on substrates for blueberry cultivation [J]. Acta Horticulturae, 2009, 810: 513-520.
- [5] 李亚东,刘海广,唐雪东. 蓝莓栽培图解手册[M]. 北京:中国农业出版社,2014.
- [6] 陈晓寅,王振斌,马海乐,等. 醋糟的利用现状及前景[J]. 中国酿造,2010,29(10):1-4.
- [7] 沙爱国. 酿造业糟渣、废液农用资源化循环利用及产业化研究[J]. 城市建设理论研究,2014(9):1-22.
- [8] 朱咏莉,李萍萍,赵青松,等. 不同配比醋糟有机基质氮素有效性与黄瓜生长的关系[J]. 土壤通报,2011,42(5):1184-1188.
- [9] 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.
- [10] 和 阳,杨 巍,刘 双,等. 蓝莓栽培中土壤改良的方法及作用[J]. 北方园艺,2010(14):46-48.
- [11] KOMOSA A, ROSZYK J, MIELOCH M, et al. Content of nutrients in soils of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) plantations in Poland in a long-term study [J]. Journal of Elementology, 2017, 22(4): 1193-1207.
- [12] 宋蒙亚,李忠佩,刘 明,等. 不同有机物料组合对土壤养分和生化性状的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(17):3594-3603.
- [13] 董志新,卜玉山,刘秀珍,等. 不同有机物料对土壤养分和酶活性的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2014,34(3):220-225.
- [14] 魏自民,周连仁. 有机物料培肥对风沙土肥力的影响[J]. 东北农业大学学报,2003,34(1):68-71.
- [15] FAGERIA N K. Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2012, 43(16): 2063-2113.
- [16] 彭新华,张 斌,赵其国. 红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响[J]. 生态学报,2003,23(10):2176-2183.
- [17] RAWLS W J, NEMES A, PACHEPSKY Y. Effect of soil organic carbon on soil hydraulic properties [J]. Developments in Soil Science, 2004, 30(4): 95-114.
- [18] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,等. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(4):406-410.
- [19] 马云艳,赵红艳,谢绿武,等. 泥炭和腐泥对风沙土理化性质和白菜生长的影响[J]. 西北农业学报,2010,19(2):172-176.
- [20] 惠 红,刘启新,刘梦华. 迁地保存中土壤因子对渐危植物珊瑚菜生长发育的影响[J]. 植物资源与环境学报,2003,12(3):25-30.
- [21] 莫淑勋,钱菊芳,钱承梁. 猪粪等有机肥料中磷素养分循环再利用的研究[J]. 土壤学报,1991,28(3):309-316.
- [22] 王 艺,王秀花,张丽珍,等. 不同栽培基质对浙江楠和闽楠容器苗生长和根系发育的影响[J]. 植物资源与环境学报,2013,22(3):81-87.
- [23] 吴芯夷,束 胜,朱梦爽,等. 醋糟复合基质对小型西瓜幼苗生长及生理代谢的影响[J]. 长江蔬菜,2015(16):52-57.
- [24] 弋良朋,张 辉. 滨海4种盐生植物根际土壤酶活性特征与主要养分的关系[J]. 生态环境学报,2011,20(2):270-275.

(责任编辑:佟金凤)