

# 蓝莓土壤 pH 值调控技术研究进展

尹泽宇<sup>1</sup>, 刘春华<sup>2</sup>, 乌凤章<sup>1\*</sup>

(1. 大连大学生命健康学院, 辽宁 大连 116622; 2. 大连市现代农业生产发展服务中心, 辽宁 大连 116039)

**摘要:** 土壤 pH 值是限制蓝莓栽培的重要因素。近年来, 蓝莓栽培土壤 pH 值调控技术研究取得了较大进展。本文主要对通过添加无机元素或无机化合物、添加或覆盖酸性有机物质、施用酸性化学肥料以及施用生物菌肥或接种菌根真菌来降低土壤 pH 值的技术及机理进行了综述。对今后蓝莓栽培土壤 pH 值调控技术研究作出了展望。

**关键词:** 蓝莓; 土壤 pH 值; 酸性有机物质; 菌根真菌

中图分类号: S663.9

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2022)04-0104-04

## Research Progress of Soil pH Adjustment in Blueberry

YIN Zeyu<sup>1</sup>, LIU Chunhua<sup>2</sup>, WU Fengzhang<sup>1\*</sup>

(1. School of Life and Health, Dalian University, Dalian 116622; 2. Dalian Modern Agricultural Production Development Service Center, Dalian 116039, China)

**Abstract:** Soil pH is an important factor limiting blueberry cultivation. In recent years, great progress has been made in the study of soil pH control technology for blueberry cultivation. In this paper, the technology and mechanism of reducing soil pH by adding inorganic elements or inorganic compounds, adding or covering acidic organic substances, applying acidic chemical fertilizers, applying biological manure or inoculating mycorrhizal fungi were reviewed. The future research on soil pH control technology of blueberry cultivation was prospected.

**Key words:** Blueberry; Soil pH; Acidic organic materials; Mycorrhizal fungi

蓝莓是杜鹃花科越橘属小浆果树种, 富含花色苷等抗氧化成分, 具有改善视力, 抗衰老、抗癌、预防心脑血管疾病等功效, 被国际粮农组织列为人类五大健康食品之一<sup>[1]</sup>。近年来, 我国蓝莓产业发展迅速, 2017 年栽培面积达到 31 210 hm<sup>2</sup>, 总产量为 114 905 t。北起黑龙江, 南至海南, 东起渤海之滨, 西至青藏高原, 全国规模化种植的省份、直辖市、自治区达到 27 个<sup>[2]</sup>。蓝莓适宜在 pH 值为 4.0~5.5 的酸性土壤上种植, pH 值过高或过低都会使其生长受到影响甚至死亡。我国不同地区土壤 pH 值差异较大, 不适宜的土壤 pH 限制蓝莓产业发展。在矿质土壤或酸度过大的土壤上栽培蓝莓需要进行土壤 pH 值调节。近年来, 国内外有关蓝莓栽培土壤 pH 值调节技术取得了较大进展, 本文对各种调节物质及调控技术的特点及效果进行了总结, 以期对蓝莓生产和研究提供

借鉴和参考。

### 1 降低土壤 pH 值技术

高土壤 pH 值是在新地点栽培蓝莓常见的问题。当蓝莓生长在高 pH 值土壤上时会出现叶片缺铁性失绿, 甚至引起生长不良<sup>[3]</sup>。Spiers 等<sup>[4]</sup>研究发现当土壤 pH 值大于 5.2 时, 不仅造成蓝莓缺乏 Fe<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>而导致叶片失绿, 且使树体中的 Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 积累过量而阻碍生长。因此, 除了向土壤中补充这些元素外, 调节土壤 pH 值通常会对蓝莓生长更有效。

#### 1.1 添加无机元素或无机化合物

施用硫黄是国内外蓝莓生产中降低土壤 pH 值的一个重要措施<sup>[5-7]</sup>。在种植前将硫黄混入土壤或通过灌溉系统使用硫酸水进行土壤酸化, 能够使 pH 值降低至适宜水平。硫黄转化为酸是一个由微生物介导的过程, 施加硫黄后, 土壤中的细菌把硫黄分解为硫酸酐, 再进一步生成硫酸, 使土壤变酸。完成这一过程需要的时间与水分、温度等环境条件有关。通常土壤 pH 值调节应在种植前至少一年进行。降低至期望的适宜 pH 值

收稿日期: 2020-01-10

基金项目: 辽宁省教育厅面上项目(LJKZ1194)

作者简介: 尹泽宇(1998-), 男, 在读硕士, 主要从事果树栽培与育种研究。

通讯作者: 乌凤章, 男, 博士, 副教授, E-mail: wfz1965@126.com

所需的硫黄数量主要由土壤初始pH和土壤阳离子交换量决定。初始pH值与期望pH值之差越大,阳离子交换量(或土壤缓冲容量)越高,调节土壤酸度所需的硫黄越多。施用时需要将硫黄充分混合并掺入到15~20 cm上层土壤中。施加硫黄后要及时灌水,防止可溶性盐离子浓度过高对蓝莓造成伤害。在我国长白山区草甸沼泽土和暗棕色森林土(有机质含量均较高)厚度为15 cm土层中施加130 g/m<sup>2</sup>硫黄能使土壤pH降至5.0以下,促进蓝莓生长,提高叶片中N、K、Cu、Fe、Mn含量<sup>[8]</sup>。在近中性、有机质含量为5%的黑土中施入S 1.5~2.0 kg/m<sup>3</sup>是最适宜的<sup>[9]</sup>。Kim等<sup>[10]</sup>认为对于砂壤土、壤土和粉质黏土,降低pH值至4.5~5.0需分别添加S 0.59~1.01、0.67~1.03和0.53~0.88 g/kg土壤。施用硫酸亚铁比硫黄粉降低土壤pH值速度更快,通常在施用后3至4周内即可见效,厚度为20 cm的土壤中每次应用量为440 g/m<sup>2</sup> FeSO<sub>4</sub>。如果需要更快地降低土壤pH值,可以分次使用,以避免出现过多的可溶性盐。此外食用醋由于其本身具有一定酸性,施用后能立即降低土壤pH值,比施用硫黄粉见效快。在以松针土和园土按1:1比例混匀后pH值为5.91的栽培基质中,以施用0.7%的食用醋50 mL/kg基质降低土壤pH值的效果最佳<sup>[11]</sup>。

## 1.2 添加或覆盖酸性有机物质

在种植前向土壤中添加酸性草炭有助于为在近中性土壤中栽植蓝莓提供有利的生根环境。草炭含黄腐酸、胡敏酸和胡敏素,这些酸性官能团能吸收氢氧根离子,使土壤碱性降低。此外草炭本身含有的腐殖酸具有较强吸附力,增加土壤团粒结构,使土壤疏松并且具有较强吸水性和吸氮能力,从而促进蓝莓植株生长发育。Moore等<sup>[12]</sup>研究认为在阿肯色的矿质土中以草炭作为栽培基质对北高丛蓝莓定植苗当年和以后年度的生长都有较好效果。Karp等<sup>[13]</sup>研究表明草炭作为覆盖层或土壤改良剂使用5年后,0~10 cm深度土壤的pH值从5.9降到4.3~5.0,而深层(10~15 cm)土壤pH值随着草炭的使用而上升到5.8至6.1。尽管如此,草炭作为一种天然产物,资源有限且价格昂贵,长期大量采挖还会破坏生态环境,具有一定局限性<sup>[14]</sup>。

松针、松锯屑和松树皮均含有粗鞣酸等酸性物质,降解后能降低土壤pH值,分解后形成的有机质能明显改善土壤的紧实度,增加土壤的通透性,起到保水、保肥和提高地力作用。松针资源

丰富且价格低廉,可以替代草炭用于调节土壤pH值。以1松针+2棕壤原土+粪肥(1 kg/m<sup>3</sup>)+硫黄粉(0.5 kg/m<sup>3</sup>)配比而成的混合物作为蓝莓栽培土壤,其pH值最适合蓝莓生长<sup>[15]</sup>。用泥炭藓(pH值4.5)40%+谷壳(pH值5.0)30%+松针(pH值5.0)30%配比而成的混合物作为蓝莓栽培土壤,其pH值为4.5,有机质含量为8.4%,明显低于对照土壤的pH值5.9,高于对照土壤有机质6.1%<sup>[16]</sup>。松针覆盖是蓝莓覆盖栽培的最有效手段,起到对覆盖材料下的土壤pH值的调节、抑制杂草和保护水分减少蒸腾的作用。松针覆盖使土壤pH值由6.42降至5.14,使有机质含量由3.71%提高到4.79%<sup>[16]</sup>。椰糠与紫色土体积比为2:3,可以有效降低紫色土pH值,增加土壤孔隙度,提高土壤肥力和持水能力,促进蓝莓植株和叶片生长<sup>[17]</sup>。糠醛渣含有丰富的有机物质和矿质营养元素,施用糠醛渣能降低土壤pH值<sup>[18]</sup>。木醋主要成分是水,其次是有机酸、酚类、醇类和酮类等物质。木醋pH值在4.0左右,可以用来降低土壤pH值,还能提供部分有机物质。当基础土样pH值为6.3时,以园土:松针=3:1+木醋30 mL/盆的处理能使pH值降低到4.73,提高土壤速效氮磷钾、有机质含量以及土壤微生物数量<sup>[19]</sup>。采用上述方法至少能够实现降低部分pH的目的,以限制硫对土壤生物的不利影响,并改善土壤腐殖质。

## 1.3 施用酸性化学肥料

最常见的氮肥硫酸铵和尿素均能降低土壤pH值。土壤pH值受无机氮源转化和植物吸收NH<sub>4</sub><sup>+</sup>和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的影响。H<sup>+</sup>是通过土壤中从NH<sub>4</sub><sup>+</sup>到NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的硝化过程和植物对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>的吸收而释放到土壤中的,因此高浓度的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>与低土壤pH值有关。与NH<sub>4</sub><sup>+</sup>的吸收不同,植物对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的吸收会释放出OH<sup>-</sup>并增加土壤pH值<sup>[20]</sup>。硫酸铵比尿素具有更强的酸化作用<sup>[21]</sup>,而且不太容易淋溶。在美国俄勒冈州蓝莓田间进行的一项调查显示,当使用45~110 kg/hm<sup>2</sup> N的尿素时,平均土壤pH值为5.46,当施加340~500 kg/hm<sup>2</sup> N的尿素时,平均土壤pH值为4.92<sup>[22]</sup>。与粒状撒施氮肥相比,滴灌施氮肥能够更明显地提高蓝莓生长和产量,两种施肥方式均以67~93 kg/hm<sup>2</sup> N的用量最佳。在滴灌施肥情况下,与施用尿素相比,施用硫酸铵后蓝莓叶氮浓度较高,土壤pH值较低,累积产量提高10%<sup>[23]</sup>。滴灌条件下施用酸化剂,可降低酸化剂的用量和成本。磷酸脲是一种生理酸性肥料,可通过其酸性直接酸化土壤<sup>[24]</sup>。Ochmian等<sup>[25]</sup>连续3年施肥试

验表明施用 60 kg/hm<sup>2</sup> N 的磷酸脲,显著降低高丛蓝莓栽培土壤 pH 值,提高叶片氮和磷含量。需要注意的是这些肥料的使用量不能超过推荐的蓝莓植物氮需求量。

#### 1.4 施用生物菌肥及接种菌根真菌

微生物在各种代谢过程中可产生酸和酶类,它们能够分解、转化土壤中的有机物和难溶养分,增加土壤有效养分,促进土壤养分循环和植物生长,也能促进根系分泌物(有机酸等)的增加<sup>[26]</sup>。施用以发酵鸡粪为吸附载体,加入纺锤芽孢杆菌制成的微生物有机肥料能够使土壤 pH 值降低 17.27%,而且提高蓝莓根际土壤的生物活性和土壤肥力,从而提高蓝莓光合性能和抗氧化能力,显著改善蓝莓果实品质<sup>[27-28]</sup>。施用以由腐熟的鸡粪、稻壳、木屑堆制而成的有机肥为载体加入由解淀粉芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、解磷芽孢细菌和解钾芽孢细菌而制成的生物有机肥显著增加了蓝莓根区土壤含水量,显著降低了蓝莓根区土壤 pH 值、容重和总孔隙度<sup>[29]</sup>。

丛枝菌根真菌(AMF)与植物根的共生关系广泛存在于陆地生态系统和包括蓝莓在内的不同植物类群中<sup>[30-31]</sup>。在菌根组合中,AMF 从宿主植物中获取碳以完成生命周期;作为回报,AMF 为植物提供多种益处,包括提高矿物营养含量和对非生物胁迫的耐受性<sup>[32-34]</sup>。用 AMF 接种在不同 pH 值(4.2 和 6.2)土壤上生长的南高丛蓝莓‘奥尼尔’后,发现与未接种的蓝莓植物相比,在较高 pH 值胁迫下表现出更低的呼吸和更高的光合作用效率,与光合作用、激素代谢、碳水化合物代谢、氨基酸代谢、应激反应、信号转导和抗氧化相关的基因表达明显上调,植物通过调整这些代谢途径,合成相应蛋白质和酶,从而提高对较高土壤 pH 值胁迫的耐受性<sup>[35]</sup>。

上述方法均能降低土壤 pH 值,但不同方法应用效果和适用的条件不同。目前国际上普遍采用施用硫磺粉方法来降低土壤 pH 值,这种方法对土壤 pH 值的调节能够起到持久稳定的效果。但对于有机质含量较低、矿质营养含量较低的土壤,可以考虑应用添加或覆盖酸性有机物质、施用酸性化学肥料、接种菌根真菌等方法,既能改善土壤质量,又能减少硫磺粉使用量,从而实现蓝莓产业的可持续发展。

## 2 提高土壤 pH 值技术

低土壤 pH 值会使土壤中的 Al<sup>3+</sup>、Mn<sup>2+</sup>和 Fe<sup>2+</sup>浓

度增加到有毒水平,这进一步固定了磷,降低了植物对磷的利用率。引起 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>和 K<sup>+</sup>缺乏的直接原因是土壤淋溶,间接原因是 H<sup>+</sup>和 Al<sup>3+</sup>抑制植物对它们的吸收。当蓝莓栽培土壤 pH 低于 4.0 时,会出现土壤中金属元素供给量过大的问题,导致中微量元素过量吸收,必要的大量元素吸收受限,引起植物生长不良,产量降低。

施用石灰是改良酸性土壤最传统的方法。石灰不仅能中和土壤酸度,还能改善土壤结构,增加土壤钙含量。但如果施用方式不合理,容易造成土壤板结<sup>[36]</sup>。除了单一或混合使用化学改良剂外,还有一些复合改良剂的报道<sup>[37]</sup>。王英男以氰氨化钙、氢氧化镁、氢氧化钙、碳酸钙、钙镁磷、风化煤等材料为主要原料,通过合理复配研制出多功能土壤调理剂<sup>[38]</sup>。

## 3 问题与展望

适宜的土壤 pH 值是保证蓝莓栽培成功和实现优质高产目标的重要土壤因子之一。施用硫磺粉和石灰是降低或提高土壤 pH 值的常规手段,但长期使用这些材料对蓝莓栽培土壤质量的不利影响尚不明确,因此有必要开展相关研究。目前通过添加或覆盖有机材料替代或部分替代硫磺粉来调节蓝莓土壤 pH 值的研究较多,但研究大多局限在宏观的生长状况观测及生理水平,缺乏各种改良剂对 pH 值的长期影响效应研究,应该根据现有研究成果综合考虑当地资源可用性、土壤特点、生产成本及调控效果,探讨适宜不同地区、不同环境条件下最佳土壤 pH 值调控方案,对其调控效果进行长期观测,并进一步从分子水平研究其调控机理。现有研究表明接种 AMF 不仅能够提高蓝莓对较高土壤 pH 值的适应性,也能提高植物耐酸、铝胁迫能力,因此筛选高效菌种,开展 AMF 耐土壤 pH 值胁迫生理及分子机制研究,对于解决土壤 pH 值限制蓝莓栽培问题具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 王雪松,马文汉,徐德冰,等.云南丽江6个蓝莓品种物候期和果实品质研究[J].东北农业科学,2016,41(6):100-103.
- [2] 李亚东,裴嘉博,孙海悦.全球蓝莓产业发展现状及展望[J].吉林农业大学学报,2018,40(4):47-58.
- [3] Poonnachit U, Darnell R. Effect of ammonium and nitrate on ferric chelate reductase and nitrate reductase in *Vaccinium* species[J]. Annals of Botany, 2004, 93(4): 399-405.
- [4] Spiers J M, Braswell J H. Soil-applied sulfur affects elemental leaf content and growth of ‘Tifblue’ rabbiteye blueberry[J].

- Journal of the American Society for Horticultural Science, 1992, 117(2): 230-233.
- [ 5 ] Carroll J, Pritts M P, Heidenreich C. 2013 production guide for organic blueberries[M]. New York: New York State Integrated Pest Management Publication, 2013: 4.
- [ 6 ] 李亚东, 吴林, 张志东. 土壤pH值对越桔的生理作用及其调控[J]. 吉林农业大学学报, 1997, 19(1): 112-118.
- [ 7 ] 刘毅, 李红娟. 陕西蓝莓栽培土壤改良技术研究[J]. 陕西林业科技, 2019, 47(4): 48-51.
- [ 8 ] 李亚东, 吴林. 施硫对土壤pH值、越桔树体生长营养的影响[J]. 吉林农业大学学报, 1995, 17(2): 49-53.
- [ 9 ] 唐雪东, 李亚东, 臧俊华, 等. 土壤施硫对越桔生长发育的影响[J]. 东北农业大学学报, 2004(5): 39-46.
- [ 10 ] Kim B H, Chung J B. Acidification and changes of mineral nutrient availability in soils amended with elemental sulfur [J]. Korean Journal Soil Science & Fertilizer, 2011, 44(1): 22-28.
- [ 11 ] 付燕, 杨芬, 张杰, 等. 几种物质对蓝莓土壤pH值及有效N、P、K的影响[J]. 北方园艺, 2016(12): 179-182.
- [ 12 ] Moore J N. Adapting organic upland soils for culture of highbush blueberries[J]. Acta Horticulturae, 1993, 346: 221-229.
- [ 13 ] Karp K, Noormets M, Starast M, et al. The influence of mulching on nutrition and yield of 'Northblue' blueberry[J]. Acta Horticulturae, 2006, 715: 301-305.
- [ 14 ] Ifoam. The IFOAM norms for organic production and processing [R]. Germany: International Federal of organic Agriculture Movement, 2014.
- [ 15 ] 徐品三, 刘旭胜, 安利佳, 等. 土壤施用松针对越橘生长、叶片矿质元素含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(10): 4044-4045, 4047.
- [ 16 ] Ahn I, kim S H, maeng W Y, et al. Effects of soil acidity and organic matter by application of organic materials and soil mulching with pine needles for soil surface management in blueberry eco-friendly farming [J]. Korean Journal Soil Science & Fertilizer, 2013, 46(6): 556-562.
- [ 17 ] 张晴, 张思悦, 李凌. 有机物料改良紫色土对越橘生长发育的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(9): 21-28.
- [ 18 ] 纪前羽, 刘星剑, 刘爱兵, 等. 糠醛渣替代硫磺调节土壤pH值及其对蓝莓生长发育的影响[J]. 中国南方果树, 2013, 42(2): 15-17.
- [ 19 ] 申健, 杨国亭, 刘德江. 木醋及松针对越橘栽培土壤改良的影响[J]. 土壤, 2014, 46(2): 325-329.
- [ 20 ] Zhao X Q, Chen R F, Shen R F. Coadaptation of plants to multiple stresses in acidic soils[J]. Soil Science, 2014, 179: 503-513.
- [ 21 ] Hart J M, Sullivan D M, Anderson N P, et al. Soil acidity in Oregon: understanding and using concepts for crop production Oregon[M]. Oregon: Corvallis Extension Service Oregon State University, 2013: 1-22.
- [ 22 ] Scagel C F. Inoculation with ericoid mycorrhizal fungi alters fertilizer use of highbush blueberry cultivars[J]. HortScience, 2005, 40: 786-794.
- [ 23 ] Vargas O, Bryla D R. Growth and fruit production of highbush blueberry fertilized with ammonium sulfate and urea applied by fertigation or as granular fertilizer[J]. Hortscience: A publication of the American Society for Horticultural Science, 2015, 50(3): 479-485.
- [ 24 ] 张莉, 王靖, 逢焕成. 碱胁迫下磷酸脲降低土壤pH值促进菠菜生长[J]. 农业工程学报, 2016, 32(2): 148-154.
- [ 25 ] Ochmian I, Oszmiański Jan, Jaskiewicz Bogusława, et al. Soil and highbush blueberry responses to fertilization with urea phosphate[J]. Folia Horticulturae, 2018, 30(2): 295-305.
- [ 26 ] 李乐, 孙海, 刘政波, 等. 微生物肥料的作用、机理及发展方向[J]. 东北农业科学, 2016, 41(4): 63-69.
- [ 27 ] 孙运杰, 马海林, 刘方春, 等. 生物肥对蓝莓根际土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报, 2015(3): 170-174, 180.
- [ 28 ] 孙运杰, 马海林, 刘方春, 等. 生物肥对蓝莓光合生理特性及品质的影响[J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(6): 36-40.
- [ 29 ] 李志友. 生物有机肥对蓝莓根区土壤养分及微生物学特性的影响[J]. 水土保持研究, 2017(2): 36-42.
- [ 30 ] Vega A R, Garciga M, Rodríguez A, et al. Blueberries mycorrhizal symbiosis outside of the boundaries of natural dispersion for ericaceous plants in Chile[J]. Acta Horticulturae, 2009, 810: 665-671.
- [ 31 ] Arriagada C, Manquel D, Cornejo P, et al. Effects of the co-inoculation with saprobe and mycorrhizal fungi on *Vaccinium corymbosum* growth and some soil enzymatic activities[J]. Journal of Soil Science & Plant Nutrition, 2011, 12(2): 283-294.
- [ 32 ] Smith S E, Read D J. Mycorrhizal symbiosis (Third Edition) [M]. London: Academic Press, 2008: 323-346.
- [ 33 ] 张爽, 廖红, 王秀荣. 不同丛枝菌根真菌对大豆耐酸、铝能力的影响[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(5): 616-622.
- [ 34 ] Ouzounidou G, Skiada V, Papadopoulou K K, et al. Effects of soil pH and arbuscular mycorrhiza (AM) inoculation on growth and chemical composition of chia (*Salvia hispanica* L.) leaves[J]. Brazilian Journal of Botany, 2015, 38(3): 487-495.
- [ 35 ] Yang L, Li Q Q, Yang Y, et al. Comparative transcriptome analysis reveals positive effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on photosynthesis and high-pH tolerance in blueberry seedlings[J]. Trees, 2020, 34(2): 433-444.
- [ 36 ] 易杰祥, 吕亮雪, 刘国道. 土壤酸化和酸性土壤改良研究[J]. 华南热带农业大学学报, 2006, 12(1): 23-28.
- [ 37 ] 徐仁扣, 李九玉, 周世伟, 等. 我国农田土壤酸化调控的科学问题与技术措施[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 160-167.
- [ 38 ] 王英男. 多功能土壤调理剂应用效果研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2017.

(责任编辑: 刘洪霞)