

硫磺粉和皂素废水两种土壤酸性改良法对蓝莓幼苗定植影响的对比研究

刘艳妮¹, 高琪¹, 陈志远^{1, 2*}

(1. 陕西理工大学生物科学与工程学院, 陕西 汉中 723000;

2. 陕西理工大学陕西省资源生物重点实验室, 陕西 汉中 723000)

摘要: 土壤酸性改良不到位是蓝莓定植死亡率过高的主要原因之一。使用薯蓣皂素提取行业的废弃物资源—强酸性皂素废水为原料, 建立了液体土壤酸性改良方法, 并与传统的硫磺粉改良法进行了对比研究。结果表明, 土壤 pH 调控的准确性和稳定性是影响蓝莓幼苗存活的关键因素。稀释废水、稀硫酸和 10 g 硫磺粉处理组可以准确稳定地调控土壤 pH 在 5.5 左右, 127 d 试验周期结束时, 3 组蓝莓幼苗存活率均为 100%, 而 5、30、50、100 g 硫磺粉改良组的土壤 pH 变化幅度过大, 幼苗存活率均为 0%。土壤 pH 适合时, 硫磺粉处理组的幼苗生长情况优于稀释废水组和稀硫酸组。10 g 硫磺粉处理组的生物量、根体积、根长、株高、叶数、分枝数指标约为稀释废水组和稀硫酸组的两倍。3 组处理对土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶、磷酸酶活性的影响较小。总之, 土壤 pH 是影响蓝莓定植存活的关键因素, 而硫磺粉可能对蓝莓具有显著的营养作用。

关键词: 蓝莓; 土壤酸性改良; 硫素营养; 盾叶薯蓣; 强酸性废水

蓝莓是营养价值和经济价值较高的水果, 花青素含量是其他水果的 20 多倍, 因此有着花青素水果之王的美誉^[1]。蓝莓是嗜酸性果树, 对土壤条件要求苛刻, 适于生长在湿润、有机质含量高、排灌良好的酸性土壤中^[2-4]。蓝莓为浅根系植物, 根系不发达, 无根毛, 根纤细, 呈纤维状, 主要分布在浅土层, 深度在 30 ~ 45 cm, 主要集中在 0 ~ 20 cm 土层内, 由直径 3 mm 以下的纤维状细根组成, 20 cm 以下根量随深度增加而迅速减少。蓝莓的根系细, 在分支前直径为 50 ~ 75 μm 。蓝莓根系无根毛, 常有菌根真菌寄生帮助其吸收营养。

从气候条件来看, 我国适宜种植蓝莓的省份较多, 南至贵州省, 北至黑龙江省, 东至山东青岛, 西至甘肃陇南都有种植。但从土壤酸性条件来看, 能直接种植蓝莓的区域很少, 大部分地区都需要进行土壤酸性改良。通常使用硫磺粉进行酸性改

良^[2]。一般土壤 pH 大于 5.5 时就需施硫磺粉降低 pH。使用硫磺粉降低土壤 pH 是一个持续缓慢的过程, 需要在定植前一年或至少定植当年进行, 如暗棕色森林土壤, 每平方米 15 cm 厚土层要降低 pH 1 个单位需施硫磺粉 130 g。土壤酸性改良不到位是导致蓝莓定植死亡率高的常见原因之一。

在陕南地区皂素提取行业产生有大量的强酸性废水资源, 简称皂素废水。如能用皂素废水替代硫磺粉进行土壤酸性改良, 有助于降低蓝莓土壤改良成本和降低皂素废水的处理费用。皂素废水是使用浓硫酸对盾叶薯蓣(俗名黄姜)进行酸解提取皂素时产生的强酸性废水^[5]。该废水属于有机废水, 具有酸性强、有机物浓度高的特点。污水中主要污染物是硫酸、葡萄糖、鼠李糖, 其综合废水 pH 为 1.0 ~ 2.5。皂素生产废水中含有大量有机物、酸、无机盐类, 使得污水处理难度大, 依靠单纯的废水末端处理工艺很难达到国家污水排放标准, 且运行费用极高^[5]。皂素废水的酸性强、有机物浓度高的特点为蓝莓的土壤酸性改良提供了有利条件。因此, 如能对使用皂素废水进行土壤酸性改良开展技术攻关, 不仅可以解决蓝莓土壤酸性改良成本高、周期长的问题, 同时还可以实现皂素废水的资源化利用, 降低废水处理成本。

收稿日期: 2020-05-06; 录用日期: 2020-08-08

基金项目: 陕西省科技厅项目(2018SZS-27-08); 陕南秦巴山区生物资源综合开发协同创新中心项目(QBXT-17-2, QBXT-19-3); 陕西理工大学果树栽培技术及其理论基础研究科技创新团队基金。

作者简介: 刘艳妮(1995-), 女, 陕西西安人, 在读硕士研究生, 主要从事果树逆境生理学研究。E-mail: liuyanni96217@163.com。

通讯作者: 陈志远, E-mail: zyswzy@snut.edu.cn。

1 材料与方法

1.1 供试材料

蓝莓一年生钵苗购自山东连邦蓝莓产业有限公司, 供试品种为兔眼蓝莓“绿宝石”。硫磺粉(99%)。浓硫酸(98%)。皂素废水由陕西汉中城固县振华生物科技有限责任公司提供, 试验中使用的是强酸性头道废水, 主要化学成分为1%的 H_2SO_4 和6%~8%的淀粉、单糖、双糖等有机物。

1.2 蓝莓的定植与试验设计

采用直径25 cm×高16.5 cm的塑料盆为栽培器皿, 盆中统一装填3/4腐熟好的锯末, 备用。将一年生蓝莓幼苗定植于盆中, 定植时间为2019年3月30日, 统一露天放置, 每隔15~20 d浇灌一次自来水, 每次500 mL。根据雨天和旱天情况统一缩短或延长浇灌间隔。

硫磺粉处理组: 在锯末中混入硫磺粉以调整土壤酸性, 混入土壤的硫磺粉设置6个质量梯度, 分别为0、5、10、30、50和100 g, 每组6个重复, 6组共计36盆。

稀释废水处理组: 使用自来水将强酸性废水稀释到pH 4.8, 定植前预先浇灌土壤, 每盆1000 mL。定植过程中, 每隔30 d将pH 4.8的稀释酸性废水替代自来水浇灌一次, 每次500 mL。

稀硫酸阳性对照组: 使用自来水将浓硫酸稀释成pH 4.8的稀硫酸, 定植前预先浇灌土壤, 每盆1000 mL。定植过程中, 每隔30 d将pH 4.8的稀硫酸替代自来水浇灌一次, 每次500 mL。

1.3 溶液和土壤基质pH的测定

使用精密pH计(上海仪电科学仪器股份有限公司, 型号PHS-25)测定溶液pH。使用便携式土壤pH计(泰州市正大科教仪器设备厂, 型号ZD-18)测定土壤pH。在距离蓝莓根部半径5 cm范围内设置3个测试点, 每隔20 d左右进行一次pH的测定, 下雨或浇水后测定时间延缓1~2 d。

1.4 生物量测定方法

将生长127 d的蓝莓植株从盆栽中完整取出, 轻柔洗净根部泥土, 晾干。在鼓风干燥箱(天津市泰斯特仪器有限公司, 型号101-3AB)中40℃下彻底干燥后称重, 记为植株生物量。将根部完整分离并称重, 记为根系生物量。

1.5 株高、叶长、叶宽、根冠比的测定方法

取洗净晾干后的蓝莓植株, 使用直尺测量根地

交接处到顶部之间的距离, 即为蓝莓株高。随机摘取每株蓝莓的10片叶片, 使用直尺测量从叶基到叶尖(不含叶柄)的长度, 计算平均值, 即为蓝莓叶长。随机摘取每株蓝莓的10片叶片, 使用直尺测量叶片上与主脉垂直方向上的最宽处, 计算平均值, 即为蓝莓叶宽。分别计算蓝莓植株的地下部分与地上部分的鲜重及干重的比值, 即为根冠比(R/S)。

1.6 根数、根长、根系体积、根系活力的测定方法

根数: 取洗净晾干后的蓝莓植株, 去掉地上部分后计算根基部的根数。

根长: 对粗根和细根进行分类, 粗根定义为直径 ≥ 3 mm, 细根定义为直径 < 3 mm。粗根直接测量长度; 细根先测量其总重量, 然后选出一部分进行称重测量长度, 根据得出的长度按照重量比例换算出细根总长度。将粗根长度和细根长度合并后记为根长。

根系体积: 使用水位取代法计算根系体积, 将蓝莓根系放入装有水的烧杯中, 水位前后差值即为根系体积。

根系活力: 根系活力使用 α -萘胺氧化法进行测定^[6]。

1.7 土壤酶活性的测定

土壤过氧化氢酶采用紫外分光光度法进行测定^[7]。土壤蔗糖酶采用3, 5-二硝基水杨酸比色法进行测定^[8]。土壤磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法进行测定^[9]。土壤脲酶采用比色法进行测定^[10]。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤pH及蓝莓苗存活率的影响

将头道废水稀释至pH 4.8浇灌土壤作为稀释废水改良组, 并以稀硫酸为阳性对照, 考察稀释废水改良土壤种植蓝莓的效果。如图1所示, 稀释废水处理组和稀硫酸处理组的蓝莓苗存活率均为100%, 而硫磺粉处理组中仅有10 g处理组的存活率为100%, 其余组都要低于100%, 其中5 g处理组的存活率在29 d时已经降至0%, 100 g处理组的存活率在110 d时降至0%, 30和50 g处理组的存活率在127 d时降至0%。说明稀释废水处理组的蓝莓苗存活率普遍优于硫磺粉处理组。

如图2所示, 10 g硫磺粉、稀释废水、稀硫酸处理组的土壤pH在121 d的测量周期中, 基本稳定在5.5~6.0的范围内。而5、30、50、100 g硫磺粉处理组的土壤pH都呈下降趋势, 最低时达

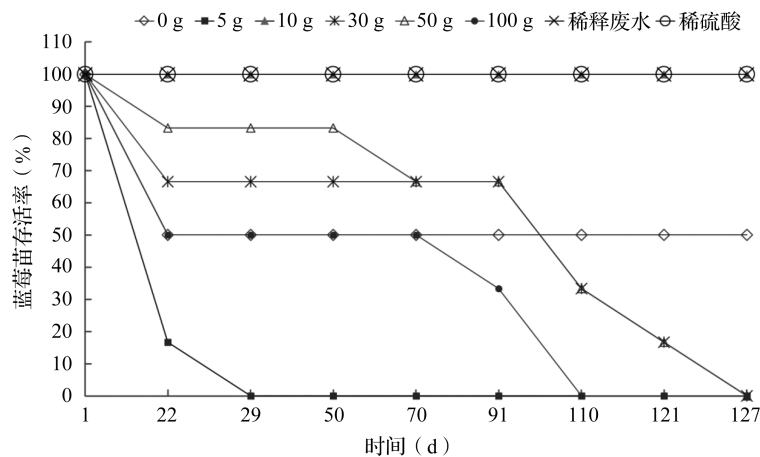


图1 蓝莓苗存活率变化趋势

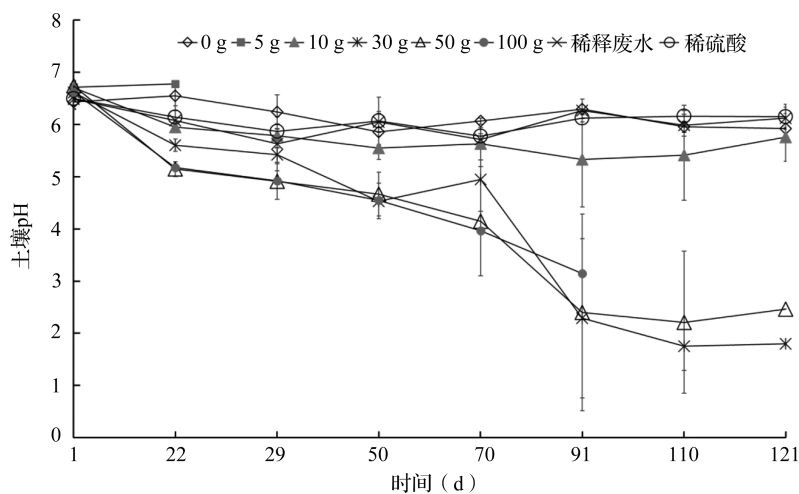


图2 土壤 pH 变化趋势

到了 1.5。这说明土壤 pH 是影响蓝莓幼苗存活率的关键因素。与硫磺粉处理组中最佳的 10 g 处理组相比, 稀释废水和稀硫酸处理组的土壤 pH 具有更小的标准差, 说明其土壤 pH 的均一性更好, 更有利于提高蓝莓幼苗的存活率。

上述结果说明, 影响蓝莓幼苗定植存活率的关键因素是土壤 pH 的准确性和稳定性。皂素废水比硫磺粉可以实现更为精准和稳定的土壤 pH 调控。皂素废水的 pH 调控作用是由废水中的 H_2SO_4 来发挥作用的。

2.2 不同处理对蓝莓生长状况的影响

考察了种植 127 d 后, 稀释废水、稀硫酸和 10 g 硫磺粉处理组对蓝莓生长状况的影响 (图 3)。在根数和根系活力方面, 3 组之间没有明显差异。但在生物量、根体积、根长、株高、叶数、分枝数指标上, 10 g 硫磺粉组都达到了稀释废水组和稀硫酸组的 2 倍以上。其中分枝能力是评价灌木蓝莓生长

能力的重要指标。稀释废水组和稀硫酸组的分枝数接近, 分别为 6.2 和 6.0 条, 而 10 g 硫磺粉组的分枝数为 14.7 条, 达到了稀释废水组和稀硫酸组的 2 倍以上。这说明在 pH 合适的前提下, 硫磺粉组有助于促进蓝莓根系的生长发育, 提高蓝莓的营养能力, 大幅改善蓝莓的生长状况。

2.3 不同处理对土壤酶活性的影响

考察了处理组对 4 种土壤酶活性的影响, 如图 4 所示。与稀释废水组和稀硫酸组相比, 10 g 硫磺粉组的土壤过氧化氢酶活性略有提高; 但蔗糖酶的活性则有所下降, 但变化幅度较小; 10 g 硫磺粉组和稀释废水组比稀硫酸组磷酸酶分别高 49.6% 和 56%; 脲酶没有显著性差异。总体来看, 3 种土壤酸性处理方式对土壤酶活性的影响较小, 说明只改变土壤的 pH 或含硫量对土壤中的氮代谢、磷代谢及有机质的分解转化影响较小。这个结果也间接说明硫磺粉促进蓝莓的生长是一种直接的营养作用。

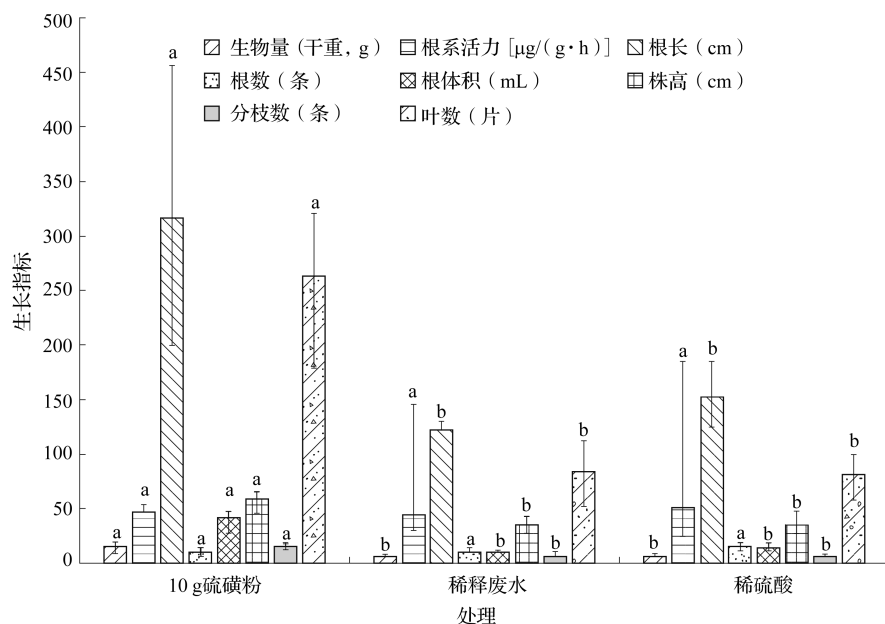


图3 不同处理对蓝莓生长指标的影响

注: 不同的小写字母表示同一指标不同处理在 0.05 水平上差异显著。下同。

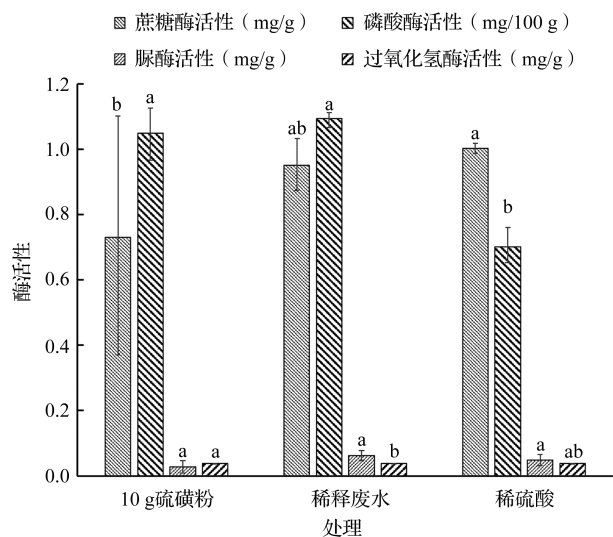


图4 不同处理对土壤酶活性的影响

3 讨论

3.1 皂素行业强酸性废水在蓝莓酸性土壤改良中的应用

皂素行业废水分为头道废水和二道废水^[5], 其中头道废水含有大量的强酸物质, pH 为 0.1 ~ 0.3, 而二道废水为常规洗涤用水, pH 为 6.0 ~ 6.5, 将头道废水与二道废水混合后即为其最终的综合废水, 需要经过严格的处理程序才可以达标排放。根据工艺的不同, 皂素提取工艺可以分为盐酸水解工艺和硫酸水解工艺, 但是盐酸工艺废水中会

产生大量的 Cl^- , 而过多的 Cl^- 对蓝莓有很严重的毒害作用, 因此适合蓝莓种植的是硫酸水解工艺废水。

本研究使用强酸性的头道废水为原料溶液, 快速降低土壤 pH, 采用的技术方案为使用灌溉水将 pH 0.1 ~ 0.3 的头道废水稀释至 pH 4.8。不同地域灌溉水的 pH 有差异, 因此稀释倍数为 80 ~ 100 倍, 具体情况需要根据当地灌溉水的 pH 进行适当调整。头道废水的主要化学成分为 1% 的硫酸, 6% ~ 8% 的淀粉、单糖、双糖等有机物, 91% 的水。当头道废水稀释至 pH 4.8 时, 溶液中的硫酸含量为 0.1‰ ~ 0.125‰, 淀粉、单糖、双糖等有机物的含量为 0.6‰ ~ 1‰, 其中的硫酸和有机质含量都不足万分之一。因此, 稀释废水主要是影响土壤的 pH, 而没有营养作用。

3.2 土壤 pH 对蓝莓的重要性

蓝莓对土壤 pH 的要求极其严格, 其原因可能是自身的 pH 较低^[5]。蓝莓植株内的 H^+ 浓度比大多数栽培植物高出 100 ~ 1000 倍, 健康幼叶的 pH 大约是 3.5, 衰老叶片的 pH 接近蛋白质的等电点。本研究显示维持土壤 pH 的准确性和稳定性是影响蓝莓幼苗定植成活率的关键因素。稀释废水和稀硫酸改良法使用液体浇灌的方式, 可以均匀准确地调控土壤 pH, 因而可以实现 100% 的成活率。而传统的硫磺粉改良法是固体和固体混

合^[5, 11], 在农业实践中很难做到土壤 pH 的均一性, 因此成活率较低。

3.3 硫磺粉对蓝莓的作用

在蓝莓生产中主要使用硫磺粉来降低土壤 pH, 其作用机理是在土壤硫细菌的参与下, 单质硫先转化为硫酸酐, 然后再转化为硫酸, 降低 pH 的成分是硫酸, 这个转化过程比较缓慢, 需要 40 ~ 80 d 的分解时间^[12]。也有使用硫酸铝、硫酸亚铁、糠醛渣等酸性肥料对土壤 pH 进行改良, 但硫酸铝对根系有一定毒害作用, 不建议使用^[13-14]。

硫磺粉对蓝莓的营养作用认识较少。李性苑等^[15]研究了硫磺粉对土壤养分及蓝莓产量品质的影响, 发现蓝莓果实产量及品质指标中的水分、维生素 C、蛋白质、可溶性糖、还原糖、可滴定酸、总酚随硫磺粉施用量的增加出现先增加后减少的规律。赵敏等^[16]研究发现, 随硫磺粉施用量的增加蓝莓幼苗地上部分和地下部分的生长均呈先升后降趋势。黄科等^[17]研究发现, 与未施硫对照相比, 施用硫磺粉后蓝莓植株高度明显增加, 植株叶色发育正常, 有活力。前人研究虽然显示硫磺粉对蓝莓可能有营养作用, 但在试验设计时均未设计 pH 阳性对照, 因此很难清晰辨别到底是最适土壤 pH 造成的最优环境作用, 还是硫磺粉本身的营养作用。本研究使用了稀硫酸作为阳性对照, 与 10 g 硫磺粉处理组的 pH 处于同一水平, 发现 10 g 硫磺粉处理组的生长指标可以达到稀释废水和稀硫酸处理组的两倍 (图 3), 说明了硫磺粉对蓝莓的促生长作用不是由 pH 造成的。

其他作物对硫元素的营养作用研究较多。杜小平等^[18]研究发现 SO_4^{2-} 和单质 S 形态的硫肥对青菜的促进作用没有显著性差异, 但也指出不同化学形态的硫对不同植物的营养能力是不一样的。缪雨静等^[19]研究了 Na_2SO_4 、 Na_2SO_3 、 NaHSO_3 、 Na_2S 和 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 5 种化学形态的硫肥对菘蓝生长的影响, 发现 Na_2SO_4 处理最有利于菘蓝叶片鲜重和干重的积累。另外, 土壤硫元素对植物的营养作用还存在量的影响。季延海等^[20]以硫酸钠为硫源, 研究了 5 个处理浓度下韭菜的生理生化特征, 发现 2 ~ 3 mmol/L 的硫浓度为最佳浓度, 过高或过低都会降低韭菜生长量。曹殿云等^[21]在玉米中同样发现硫肥存在最佳浓度, 玉米最佳的施用硫肥浓度为 S 80 kg/hm²。这些研究显示硫的化学形态和含量都会影

响作物的营养生长。

4 结论

精确稳定地调控土壤 pH 是提高蓝莓定植成活率的关键; 皂素废水可以用于蓝莓土壤酸性改良; 硫磺粉除了能降低土壤 pH 外, 还可能对蓝莓有促进生长的作用。

参考文献:

- [1] 聂飞, 张玉春. 我国蓝莓产业发展的机遇与挑战 [J]. 北方园艺, 2014 (4): 165-170.
- [2] 李根柱, 王贺新. 北方蓝莓规范化种植技术 [J]. 北方园艺, 2011 (5): 77-78.
- [3] 杨刚华, 杨林通, 陈海含, 等. 蓝莓的种植技术及产业发展前景概述 [J]. 湖南农业科学, 2013 (15): 117-119.
- [4] 范道谷. 高山蓝莓新品种栽培技术及发展现状 [J]. 中国农业信息, 2014 (24): 87-88.
- [5] 程鹏, 赵华章, 付东康, 等. 黄姜加工废水处理技术研究进展 [J]. 南水北调与水利科技, 2009 (6): 36-41.
- [6] 刘红江, 郑建初, 陈留根, 等. 不同播栽方式对水稻生长发育特性的影响 [J]. 生态学杂志, 2013, 32 (9): 2326-2331.
- [7] 裴玲芳, 范贵鹏, 肖美玲, 等. 两种方法测定土壤中过氧化氢酶比较 [J]. 科技创新与应用, 2019 (15): 145-146.
- [8] 权刚. 土壤中的土霉素对蔗糖酶活性的影响 [J]. 陕西农业科学, 2019, 65 (1): 59-61.
- [9] 丰晓, 段建平, 蒲小鹏, 等. 土壤脲酶活性两种测定方法的比较 [J]. 草原与草坪, 2008 (2): 70-72.
- [10] 史惠兰, 刘梦萍, 庞文豪, 等. 不同类型高寒草地土壤酶活性测定与分析 [J]. 湖北农业科学, 2017, 56 (15): 2835-2839.
- [11] 张广杰, 刘炎赫, 谭秀山, 等. 蓝莓栽培中的土壤改良方式研究 [J]. 河北农业科学, 2016 (2): 40-42.
- [12] 樊胜华, 吴林生, 曹彬彬, 等. 蓝莓栽培中土壤改良的方法及作用 [J]. 园艺与种苗, 2012 (7): 75-77.
- [13] 车文龙, 纪前羽, 刘星剑, 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.
- [14] 董克锋, 高勇, 姜惠铁. 蓝莓土壤 pH 测定与土壤调节 [J]. 果农之友, 2015 (8): 47.
- [15] 李性苑, 罗开源, 杨琴, 等. 施硫磺粉对土壤养分及蓝莓产量品质的影响 [J]. 中国南方果树, 2015 (5): 101-105.
- [16] 赵敏, 罗开源, 李性苑. 硫磺粉对土壤 pH 及蓝莓幼苗生长的影响 [J]. 贵州农业科学, 2017 (3): 58-61.
- [17] 黄科, 孙向成, 何光明, 等. 施硫调节基质 pH 值对蓝莓幼苗生长、养分含量的影响 [J]. 重庆师范大学学报 (自然科学版), 2016, 33 (2): 166-168.
- [18] 杜小平, 刘广平, 蒲鹏, 等. 硫酸根硫和单质硫对青菜硫素

- 营养的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(3): 635-641.
- [19] 缪雨静, 关佳莉, 曹艺雯, 等. 硫素形态对苗期菘蓝生长生理特性及次生代谢的影响[J]. 草业学报, 2019, 28(3): 101-110.
- [20] 季延海, 武占会, 钟启文, 等. 不同浓度硫素对韭菜产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 1112-1119.
- [21] 曹殿云, 王宏伟, 徐晓旭. 硫肥用量对玉米氮硫吸收分配和产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(9): 1298-1305.

A comparative study of effects on blueberry planting by acid soil improvement methods of sulfur powder and saponin wastewater

LIU Yan-ni¹, GAO Qi¹, CHEN Zhi-yuan^{1, 2*} (1. College of Biological Science and Engineering, Shaanxi Sci-tech University, Hanzhong Shaanxi 723000; 2. Bio-resources Key Laboratory of Shaanxi Province, Shaanxi Sci-tech University, Hanzhong Shaanxi 723000)

Abstract: The poor improvement of soil acidity is one of the main problems that lead to high mortality of blueberry. The waste water of diosgenin extraction industry was used as the main raw material of soil improvement, and the liquid method of soil acidity improvement was established. Then it was compared with the traditional method of sulfur powder improvement for blueberry planting. The results showed that the accuracy and stability of soil pH regulation was the key factor affecting the survival of blueberry seedlings. At the end of 127 d, the soil pH of the diluted wastewater, dilute sulfuric acid and 10 g sulfur powder treatments was maintained accurately and stably at about 5.5, and the survival rate of blueberry seedlings in the three groups were 100%, while that in the 5, 30, 50, 100 g sulfur powder group were 0%. The results of growth index analysis showed that when the soil pH was suitable, the seedling growth of sulfur powder group was better than that of dilute wastewater and dilute sulfuric acid groups. The indicators of biomass, root volume, root length, plant height, leaf number, branch number of the 10 g sulfur powder improvement group were about twice as high as those of the dilute wastewater improvement group and the dilute sulfuric acid control group. There was little effect on nitrogen metabolism, phosphorus metabolism and organic matter catabolism by the three groups. In short, the results showed that soil pH was the key factor affecting the survival of blueberry seedling, and sulfur powder should have nutrition effect on blueberry.

Key words: blueberry; soil acidity improvement; sulfur nutrition; *Dioscorea zingiberensis*; strong acid wastewater