

草酸对刺梨立地石灰性土壤及叶片养分和果实产量、品质的影响

樊卫国^{1,2}, 潘学军^{1,2}, 陈红^{1,2}, 杨娅若^{1,2}, 龚芳芳^{1,2}, 官纪元^{1,2}, 王梦柳^{1,2}, 穆瑞^{1,2}

(¹贵州大学, 贵阳 550025; ²国家林业和草原局刺梨工程技术研究中心, 贵阳 550025)

摘要:【目的】探究外源草酸对喀斯特地区刺梨栽培的石灰性黄壤及树体营养状况和果实产量、品质的影响, 为应对石灰性土壤对刺梨的养分胁迫和提高其果实产量、品质寻找新的技术路径。【方法】以石灰性黄壤上种植的3年生贵农5号刺梨为材料, 连续3 a(年)进行每株0(对照)、5、10、15 g的草酸施入量处理。【结果】施用草酸能够明显降低刺梨立地石灰性黄壤的pH值和交换性Ca的含量, 增加其他营养元素的有效含量, 增强土壤脲酶、硝酸还原酶、碱性磷酸酶、铁还原酶、蛋白酶的活性, 增加三大微生物种群及固氮菌、解磷菌、解钾菌的数量, 提高叶片中除Ca以外的营养元素的含量, 能够明显提高刺梨果实的产量及可溶性固形物、可溶性总糖、维生素C的含量, 其中, 以每株施用10 g草酸处理的效果最好。【结论】施用草酸能够增强喀斯特地区刺梨立地石灰性黄壤的养分酶活性和有效氮、磷、钾、铁、锌、硼等营养元素的有效性, 改善土壤微生物种群结构, 增加土壤和树体的养分含量, 对提高刺梨的产量、品质有明显作用。

关键词: 刺梨; 草酸; 石灰性土壤; 果实产量; 品质

中图分类号: S661.9

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2021)07-1113-10

Effects of oxalic acid on the nutrient of calcareous cultivated soil and leaf, fruit yield and quality of *Rosa roxburghii* Tratt.

FAN Weiguo^{1,2}, PAN Xuejun^{1,2}, CHEN Hong^{1,2}, YANG Huaruo^{1,2}, GONG Fangfang^{1,2}, GUAN Jiyuan^{1,2}, WANG Mengliu^{1,2}, MU Rui^{1,2}

(¹Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China; ²Engineering Technology Research Centre for Rosa Roxburghii of National Forestry and Grassland Administration, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract: 【Objective】*Rosa roxburghii* Tratt. is a characteristic fruit tree native to southwest China. Its fruit is rich in Vc and other nutrients, and is a high-quality crude material for processing nutritious foods. In recent years, the planting area of *R. roxburghii* in Guizhou increased to 150 000 hectares, and most of the trees were planted in calcareous yellow soil with high Ca content and soil pH value in Karst areas. Such soil conditions have extremely adverse effects on the growth, yield and quality of *R. roxburghii* due to low the availability of soil nutrients as a result of the strong immobilization of soil nutrients by massive free CaCO₃. It is also difficult to improve soil nutrients by fertilization. Therefore, it is an important problem to be solved urgently in production of *R. roxburghii* in calcareous yellow soil of Karst areas. The effects of exogenous oxalic acid in improving the nutrient status of calcareous yellow soil and trees of *R. roxburghii* as well as the yield and quality of fruit were explored in this study in order to find a new technical solution for nutrition improvement as well as yield and quality improvement in *R. roxburghii* in calcareous yellow soil in Karst areas. 【Methods】Trees of *R. roxburghii* Tratt. ‘Guinong 5’ planted in the calcareous yellow soil in Karst area of Southwest Guizhou were taken as materials. The experiments were carried out for three consecutive years to study the effects of oxalic acid application at different applied amounts (0 g, 5 g, 10 g and 15 g per plant) on the nutrient status of calcareous

收稿日期: 2020-11-23 接受日期: 2021-04-17

基金项目: 国家林业和草原局刺梨工程技术研究中心运行项目(2019133002); 贵州省科技支持计划(黔科合NY(2015)3002-1)

作者简介: 樊卫国, 男, 教授, 博导, 研究方向: 果树生理生态与栽培技术。Tel: 13985125434, E-mail: wgf@gzu.edu.cn

ous yellow soil and the leaf of *R. roxburghii*, as well as on fruit yield and quality. 【Results】The pH value and Ca content could be decreased greatly by the application of oxalic acid. The soil pH decreased from 8.13 to 7.49, 6.93 and 6.54 by applying 5 g, 10 g and 15 g oxalic acid per plant, respectively, while the content of exchangeable Ca decreased from 3 108.25 mg·kg⁻¹ to 2410.76 mg·kg⁻¹, 1 906.39 mg·kg⁻¹, and 1 353.88 mg·kg⁻¹, respectively. Compared with the control, the activities of urease, nitrate reductase, alkaline phosphatase, Fe³⁺ reductase and protease in the soil were significantly higher; the contents of available nutrient elements except for exchangeable Ca were also increased; the number of bacteria, fungi, actinomycetes, azotobacters, inorganic phosphorus bacteria, organic phosphorus bacteria and potassium bacteria increased as well. In the three treatments, application of 10 g oxalic acid per plant had the highest contents of available N, P, K, Fe and B in the soil, highest activities of urease, nitrate reductase, alkaline phosphatase and Fe³⁺ reductase, and maximum numbers of functional bacteria. With higher oxalic acid applied, the contents of exchangeable Mg and available Mn, Cu and Zn in the soil increased. The contents of N, P, K, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn and B in the leaves of *R. roxburghii* treated by oxalic acid were significantly higher than those in the control, and the treatment of 10 g oxalic acid per plant had the highest contents of N, P, K, Fe, Zn and B in the leaves. With the increase in application amount, Ca content in the leaves decreased significantly but Cu content increased dramatically. Fruit set, single fruit weight, fruit yield per plant and contents of soluble solids, total soluble sugars, total acids and Vc in the fruit were also increased by applying oxalic acid. The highest yield and best quality were obtained by the treatment of 10 g oxalic acid per plant. 【Conclusion】The application of oxalic acid could significantly improve the contents of available nutrients in the yellow calcareous soil in Karst areas, and improve the microbial population structure in the soil, increase the activities of nutrient enzymes in the soil, and increase leaf nutrient and fruit yield and quality. In the experiment, applying 10 g oxalic acid per plant proved to be the most effective in increasing the fruit yield and quality of *R. roxburghii* grown in the calcareous soil.

Key words: *Rosa roxburghii* Tratt.; Oxalic acid; Calcareous soil; Fruit yield; Quality

刺梨 (*Rosa roxburghii* Tratt.) 是我国的特色果树, 在贵州种植规模已超过 15 万 hm², 其中的 50% 以上种植于喀斯特地区不同石漠化程度的石灰性土壤中。石灰性土壤较高的 pH 值和丰富的游离碳酸钙降低了多种营养元素的有效性, 导致本来就很缺乏的营养元素的含量更低^[1]。因此, 在刺梨种植中, 石灰性土壤的养分胁迫对其果实产量、品质造成了极其不利的影响。由于游离碳酸钙对土壤有效养分产生的强烈固定作用, 依靠施肥缓解养分胁迫难以奏效。探究外源草酸对改善刺梨立地石灰性土壤及刺梨树体的营养状况和提高其果实产量、品质的作用, 对促进喀斯特地区刺梨产业发展具有重要意义。外源草酸能够降低石灰性土壤中的钙离子浓度^[2-3], 降低土壤的 pH 值^[4], 增加土壤微生物数量, 改善微生物种群结构^[5-6], 溶释和活化土壤养分^[7-9], 增强土壤中养分离酶的活性^[10-11], 提高土壤养分的有效性及其含量^[12-14], 对改善植物养分供给和促进其生长具有重要

的作用, 这方面的研究在平邑甜茶^[15]、落叶松^[16]、水曲柳^[17]、大豆^[18]、玉米^[19]等植物上已有报道。然而, 外源草酸对果树的果实产量及品质的影响, 迄今的研究报道却不多见。为了探究喀斯特地区石灰性土壤中刺梨栽培的养分调控方法, 笔者研究了不同草酸施用量对刺梨立地石灰性黄壤及叶片养分状况和果实产量、品质的影响, 旨在为喀斯特地区石灰性黄壤中刺梨栽培的营养调控和提高其果实产量、品质提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地情况

试验于 2017—2019 年在贵州安龙县小海子地区进行。试验地的石漠化程度为中度, 石灰岩出露率 38.4%, 土壤为石灰性黄壤, 土壤的 pH 值 8.13, 有机质质量分数 0.89%, 有效养分含量指标见表 1。

表1 试验地土壤的有效养分含量

Table 1 The contents of available nutrients in the soil of the experimental field		(mg·kg ⁻¹)								
有效养分 Available nutrients	速效氮 Available N	速效磷 Available P	速效钾 Available K	交换性钙 Exchangeable Ca	交换性镁 Exchangeable Mg	有效铁 Available Fe	有效锰 Available Mn	有效铜 Available Cu	有效锌 Available Zn	有效硼 Available B
数值 Numerical value	46.02	4.05	24.35	3 108.25	331.55	4.15	14.50	0.38	0.24	0.11

1.2 试验材料

栽培品种为贵农5号刺梨,试验开始时的树龄为3年生,栽植密度为每666.7 m² 106株。施入的草酸为AR级。试验土壤微生物培养所用的培养基分别为:细菌培养用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌的培养用PAD培养基,放线菌培养用高氏一号培养基,解有机磷细菌培养用牛肉膏蛋白胨蛋黄培养基,解无机磷细菌培养用磷酸三钙培养基,解钾细菌培养用亚历山大硅酸盐培养基,固氮菌培养用阿须贝培养基。

1.3 试验设计

试验设4个处理小区,每个处理小区5株,每株分别施草酸0(对照)、5、10、15 g。不同处理小区3次重复,随机排列,小区之间设3.5 m的隔离区。所有处理小区的土壤、植株大小和树势一致。

1.4 试验方法

1.4.1 草酸施用 于2017—2019年连续3 a(年)对处理小区施用草酸,每年的施用时间为3月上旬。施入前先对试验树的树盘土壤进行中耕除草,然后在树冠滴水线处开挖20 cm宽、15 cm深的环状沟,按不同处理的草酸施用量分别将其溶解于20 L水中,再分别均匀浇入试验树的树盘环状沟中,让草酸溶液浸润于根系密集分布区土壤后立即对环状沟覆土。对照树盘环状沟中浇20 L清水后覆土。试验小区其他管理一致。

1.4.2 取样及样品处理 在6月下旬刺梨叶分析营养诊断期进行叶片取样。连续3 a分别对4个处理的各重复小区5个植株的叶片进行取样,取样部位为树冠外围新梢中部叶片,每个重复小区每株取叶片(整个羽叶)20枚,东南西北方向各取5枚,叶样装入干净的塑料袋放入3℃的冷藏箱中,在5 h内带回实验室进行清洗。叶片的整个清洗过程不超过2 min,先将叶片置于0.1%中性洗涤剂的水溶液中迅速清洗10 s,取出用清水冲洗掉洗涤剂,再用0.2%分析纯的稀盐酸溶液中清洗10 s,取出后再用蒸馏水清洗2次,最后用去离子水清洗2次。洗净的叶片置于105℃鼓风烘箱中杀酶8 min,然后在65℃恒温下

将叶片烘干至衡重,再用玛瑙研钵磨碎过60目尼龙丝网筛后备测定。土壤取样与叶片取样同时进行。分别取不同处理各重复小区树冠下0~45 cm根系集中分布区的土壤,对每个重复小区所有植株的东南西北各方向各为1个取样点,土样取出后去除杂物,再将每个重复小区的样土充分混匀,最后取1 kg土样带回实验室风干,再去杂物后用玛瑙球磨机粉碎后过10目尼龙丝网筛,用于测定土壤pH值、营养元素的有效含量和土壤酶活性。测定微生物数量的土样在取样后立即置于3℃的冷藏箱,带回实验室进行微生物数量测定。每年8月中旬果实完全成熟时,对每个重复小区进行果实取样。取样时每个单株随机取5个果实,然后在5 h内带回实验室进行品质指标分析测定。

1.4.3 测定内容与方法 在每年的开花期和刺梨果实成熟期分别测定不同处理各重复小区每个单株的开花数和果实数,计算坐果率。在果实完全成熟时对每个单株的果实进行单独采收,称质量测定单株果实产量,计算小区单株平均产量。叶片的N含量测定用凯氏法,P含量测定用钼锑抗比色法,K含量测定用火焰光度计法,Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn含量测定用原子吸收分光光度法,B含量测定用姜黄素比色法。土壤pH值用PHS-3CT型数字显示酸度计测定,土壤速效氮含量用碱解扩散法测定,速效磷含量测定用钼锑抗比色法,速效钾含量测定用火焰光度法,交换性Ca、交换性Mg和有效Fe、Mn、Zn、Cu含量测定用原子吸收分光光度法,有效B含量测定用姜黄素比色法。土壤中的细菌、真菌、放线菌数量测定用稀释平板法^[20],解有机磷菌、解无机磷细菌、解钾细菌和固氮菌数量测定参照纪巧凤^[21]的方法。土壤的碱性磷酸酶(ALP)、脲酶、蛋白酶和硝酸还原酶(NR)活性测定分别参照关松荫^[22]的磷酸苯二钠比色法、苯酚-次氯酸钠比色法、茆三铜比色法、酚二磺酸比色法,铁还原酶活性测定用2,2'-联吡啶法^[23]。果实的可溶性固形物含量用数显折光仪检测,可溶性总糖含量测定用蒽酮比色法,总酸含量测

定用酸碱滴定法,维生素C含量测定用2,6-二氯酚法。

1.5 试验数据处理

Excel进行统计,用DPS v7.05统计软件进行显著性和相关性分析,多重比较采用Duncan's新复极差法。文中除表1外,其他数据均为连续3a测定数据的平均值。

2 结果与分析

2.1 草酸不同施入量对刺梨立地石灰性黄壤pH值的影响

试验结果表明,施入草酸能够明显降低刺梨立地石灰性黄壤的pH值。表2显示,在不施草酸的对照土壤中,3a的pH值变化不大,而施入草酸的3个处理,土壤pH值随施入量增加而有明显的降低。在2017年和2018年两年中,每株施5g草酸的处理土壤pH分别降低了0.07和0.23,但与对照的差异不显著。然而连续施用第3年后,土壤pH降低至7.49,与对照的差异达到了显著水平($p < 0.05$)。每株施10g和15g草酸的处理,土壤pH值降低程度比对照及施5g草酸处理更加明显,从第1年起分别与对照及施5g草酸处理的差异都达到了显著水平($p < 0.05$)。由此可见,施用草酸对降低刺梨立地石灰性黄壤pH值的作用,随持续施用时间的延长和施入量的增加而不断增强,其中每株施10g和15g草酸的处理效果更明显。

2.2 草酸不同施入量对刺梨立地石灰性黄壤中有效养分含量的影响

连续3a施用草酸后的测定结果表明,刺梨立地

表2 草酸不同施入量对刺梨立地石灰性黄壤pH值的影响
Table 2 Effects of oxalic acid at different doses on pH of the calcareous yellow soil planted with *Rosa roxburghii*

草酸施用量 Applied amounts of oxalic acid/ (g·plant ⁻¹)	测定时间 Measured time		
	2017-06	2018-06	2019-06
0(对照 CK)	8.13±0.16 a(a)	8.17±0.15 a(a)	8.10±0.15 a(a)
5	8.06±0.15 a(a)	7.94±0.13 a(ab)	7.49±0.11 b(b)
10	7.53±0.14 b(a)	7.28±0.14 b(ab)	6.93±0.13 c(b)
15	7.02±0.13 c(a)	6.76±0.12 c(ab)	6.54±0.12 d(b)

注:处理间差异显著性测定用新复极差法;表中同列字母不同表示在处理间的差异达到显著水平($p < 0.05$),同行括号内的字母不同表示不同年份间的差异达到显著水平($p < 0.05$)。

Note: Different letters in a column indicated significant difference between treatments at $p < 0.05$, different letters in brackets of a row indicated significant difference between different years at $p < 0.05$, Duncan's multiple range test.

石灰性黄壤中有效养分含量均有出现明显的差异性变化。表3显示,在施入草酸的3个处理中,土壤中有效N、P、K、Fe、Mn、Zn、B、Cu含量和交换性Mg含量比对照明显增加,3个处理与对照的差异都达到显著水平($p < 0.05$),其中,有效Mn、Cu、Zn及交换性Mg含量以每株15g草酸施入量的处理为最高,有效N、P、K、Fe、B含量最高的则是每株10g草酸施入量处理。土壤中交换性Ca含量却随草酸施入量的增大而降低,在每株施用5、10和15g草酸的3个处理中,其含量分别比对照降低了20.60%、37.21%和52.15%。由此可见,在刺梨立地石灰性黄壤上施入草酸后,对降低土壤中的交换性Ca含量有明显的的作用。值得注意的是,在施入草酸的3个处理中,土壤有效铜含量比对照都有大幅度的增加,其中每株施入15g草酸的处理,土壤有效铜含量达到了

表3 草酸不同施入量对刺梨立地石灰性黄壤中营养元素有效含量的影响

Table 3 Effects of oxalic acid at different doses on the available contents of nutrient elements in calcareous yellow soil planted with *Rosa roxburghii*

草酸施用量 Applied amounts of oxalic acid/ (g·plant ⁻¹)	w(营养元素有效成分) Available contents of nutrient elements/(mg·kg ⁻¹)									
	速效氮 Available N	速效磷 Available P	速效钾 Available K	交换性钙 Exchangeable Ca	交换性镁 Exchangeable Mg	有效铁 Available Fe	有效锰 Available Mn	有效铜 Available Cu	有效锌 Available Zn	有效硼 Available
0(对照 CK)	45.43± 1.61 d	4.01± 0.10 d	23.95± 1.22 d	3 036.26± 123.57 a	318.95± 18.38 d	4.20± 0.13 d	14.13± 0.36 d	0.35± 0.01 d	0.21± 0.01 d	0.14± 0.00 d
5	51.57± 1.98 c	6.32± 0.15 c	42.61± 2.03 c	2 410.76± 135.98 b	368.16± 20.14 c	9.23± 0.19 b	18.33± 0.37 c	4.43± 0.15 c	0.88± 0.03 c	0.25± 0.01 c
10	76.72± 2.36 a	20.30± 0.34 a	83.88± 2.66 a	1 906.39± 114.08 c	398.96± 22.65 b	14.54± 0.32 a	20.01± 0.44 b	12.61± 0.35 b	1.74± 0.05 b	0.59± 0.02 a
15	67.35± 2.39 b	16.94± 0.40 b	64.30± 1.55 b	1 353.88± 99.07 d	435.67± 23.19 a	8.66± 0.22 c	24.61± 0.56 a	25.68± 0.59 a	2.15± 0.07 a	0.39± 0.01 b

注:处理间差异显著性测定用新复极差法,表中同行的字母不同表示差异达到显著水平($p < 0.05$)。下同。

Note: Different letters in a row indicated significance at $p < 0.05$ according to Duncan's multiple range test. The same below.

25.68 mg·kg⁻¹,比对照增加了73.1倍。

2.3 草酸不同施入量对刺梨立地石灰性黄壤中养分酶活性的影响

表4显示,在3个草酸施入量的处理中,刺梨立地石灰性黄壤中的脲酶、硝酸还原酶、碱性磷酸酶、铁还原酶和蛋白酶的活性均高于对照,相互间的差

异均达到显著水平($p < 0.05$)。其中,蛋白酶的活性随草酸施入量的增加而增强,而脲酶、硝酸还原酶、碱性磷酸酶和铁还原酶的活性则以每株施用10 g草酸的处理为最强。施入草酸后上述养分酶活性的增强,对提高刺梨立地石灰性黄壤养分的有效性和增加有效养分的含量发挥了重要作用。

表4 草酸不同施入量对刺梨立地石灰性黄壤中养分酶活性的影响

Table 4 Effects of oxalic acid at different doses on the nutrient enzyme activity in calcareous yellow soil planted with *Rosa roxburghii*

草酸施用量 Applied amounts of oxalic acid/(g·plant ⁻¹)	(mg·g ⁻¹)				
	脲酶活性 Urase activity	硝酸还原酶活性 NR activity	碱性磷酸酶活性 ALP activity	铁还原酶活性 Fe ³⁺ reductase activity	蛋白酶活性 Protase activity
0(对照 CK)	0.14±0.01 d	1.01±0.02 d	3.78±0.1 d	0.98±0.02 d	0.22±0.01 d
5	0.28±0.02 c	1.35±0.04 c	4.30±0.10 c	1.41±0.05 c	0.44±0.04 c
10	0.70±0.03 a	2.18±0.06 a	6.48±0.13 a	2.59±0.09 a	0.60±0.05 b
15	0.42±0.02 b	1.74±0.05 b	5.15±0.12 b	1.61±0.05 b	0.68±0.06 a

2.4 草酸不同施入量对刺梨立地石灰性黄壤中微生物种群结构的影响

对刺梨立地石灰性黄壤施入草酸后,土壤中的微生物种群结构发生了明显的改变。表5显示,在对照土壤中,细菌的数量远高于真菌和放线菌,其中放线菌的数量最少。施入草酸的3个处理土壤中,细菌、真菌和放线菌的总数均高于对照,不同处理及其与对照间的差异达到显著水平($p < 0.05$),其中,

细菌和真菌的总数随草酸施入量的增加而增大。放线菌总数以每株5 g草酸处理为最大。从表5还可以看出,施入草酸的土壤中解无机磷菌、解有机磷菌、解钾菌和固氮菌的数量也明显大于对照,其中,每株施用10 g草酸的处理,土壤中解无机磷菌、解有机磷菌和固氮菌的数量最多,与对照和其他两个处理间的差异达到显著水平($p < 0.05$),每株草酸施用量增加到15 g的处理。以上4种功能性微生物的

表5 草酸不同施入量对刺梨立地石灰性黄壤中微生物种群结构的影响

Table 5 Effects of oxalic acid at different doses on microbial population structure in calcareous yellow soil planted with *Rosa roxburghii*

草酸施用量 Applied amounts of oxalic acid/ (g·plant ⁻¹)	(×10 ⁵ CFU·g ⁻¹)						
	功能细菌 Functional bacteria				固氮菌		
	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes	解无机磷细菌 Inorganic phosphorus bacteria	解有机磷细菌 Organic phosphorus bacteria	解钾细菌 Potassium bacteria	Nitrogen fixing bacteria
0(对照 CK)	10 584±432 d	14.66±0.50 d	4.01±0.13 d	11.38±0.28 d	12.70±0.24 d	6.16±0.29 d	2.12±0.08 d
5	17 145±675 c	110.40±4.43 c	8.29±0.30 a	61.38±1.94 c	26.91±0.72 c	19.34±0.81 c	3.71±0.14 c
10	30 754±979 b	173.22±9.70 b	7.22±0.28 b	99.98±3.48 a	68.42±1.81 a	35.14±1.29 a	9.47±0.43 a
15	46 165±1256 a	225.01±10.50 a	5.29±0.19 c	75.20±2.59 b	56.80±2.18 b	26.36±1.19 b	6.95±0.24 b

数量反而减少。

2.5 草酸不同施入量对石灰性土壤上刺梨叶片营养元素含量的影响

对刺梨立地石灰性黄壤施入草酸后,刺梨叶片中不同营养元素的含量都发生了明显的变化。表6显示,3个施入草酸的处理,刺梨叶片中除Ca含量随草酸施入量的增加而减少外,其他营养元素含量都明显增加了,在3个处理间及处理与对照间的差异均达到显著水平($p < 0.05$)。其中,每株施10 g的草

酸处理,叶片中N、P、K、Fe、Zn、B含量最高,而每株施15 g草酸的处理,叶片中Mg、Mn、Cu含量最高,其中,Cu含量(w,后同)达到20.24 mg·kg⁻¹,比对照高10倍,比每株施5 g草酸的处理高近3倍,比每株施15 g草酸的处理高5倍,这一结果可能与草酸施用量增加后刺梨立地的石灰性黄壤中有效Cu含量增加有关,土壤有效Cu含量增加后可能会导致刺梨对Cu的吸收量增加,从而使刺梨叶片中铜含量增高。叶片中Cu含量过高可能会对果实中维生素C

表 6 草酸不同施用量对石灰性黄壤中刺梨叶片营养元素含量的影响
Table 6 Effects of oxalic acid on the contents of nutrient elements in the leaves of
Rosa roxburghii grown in the calcareous yellow soil

草酸施用量 Applied amounts of oxalic acid/ (g·plant ⁻¹)	w(N)/%	w(P)/%	w(K)/%	w(Ca)/%	w(Mg)/%	w(Fe)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Mn)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Cu)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Zn)/ (mg·kg ⁻¹)	w(B)/ (mg·kg ⁻¹)
0(对照 CK)	1.11±0.03 d	0.14±0.01 d	0.56±0.02 d	2.87±0.08 a	0.34±0.01 d	62.07±2.18 c	34.35±0.54 d	2.01±0.07 d	3.41±0.11 d	4.25±0.14 d
5	1.78±0.04 c	0.21±0.01 c	1.20±0.04 c	2.26±0.06 b	0.46±0.02 c	97.04±2.90 b	38.41±0.92 c	7.03±0.30 c	6.05±0.20 c	5.90±0.29 c
10	2.18±0.06 a	0.36±0.01 a	1.65±0.06 a	2.04±0.07 c	0.67±0.03 b	114.16±4.32 a	47.17±1.45 b	10.05±0.44 b	9.68±0.36 a	8.62±0.45 a
15	1.94±0.05 b	0.30±0.01 b	1.37±0.05 b	1.88±0.03 d	0.74±0.02 a	98.17±2.85 b	59.71±2.05 a	20.24±0.96 a	7.45±0.36 b	6.97±0.31 b

的积累产生不利影响。

2.6 草酸不同施入量对石灰性黄壤中刺梨结果和果实产量及品质的影响

2.6.1 对刺梨结果及果实产量的影响 对刺梨立地石灰性黄壤施入草酸后,刺梨的坐果率、单果质量和单株产量均明显高于对照。图1显示,每株10 g草酸的处理,3 a的平均坐果率、单果质量和单株产量最大,分别为66.23%、20.26 g和8.87 kg,与其他处理及对照的差异显著($p < 0.05$)。每株施15 g草酸的

处理,坐果率、单果质量和单株产量明显高于每株5 g草酸的处理,但2个处理间平均单果质量的差异未达到显著水平,坐果率和单株果实产量的差异显著。未施草酸的对照坐果率、单果质量和单株产量最低。这一结果说明:施用适量的草酸能够提高喀斯特石漠化地区石灰性黄壤中刺梨的果实产量。

2.6.2 对刺梨果实品质的影响 试验结果表明,适量施用草酸能够明显改善石灰性黄壤中刺梨果实的品质。图2显示,在施入草酸的处理中,刺梨果实的

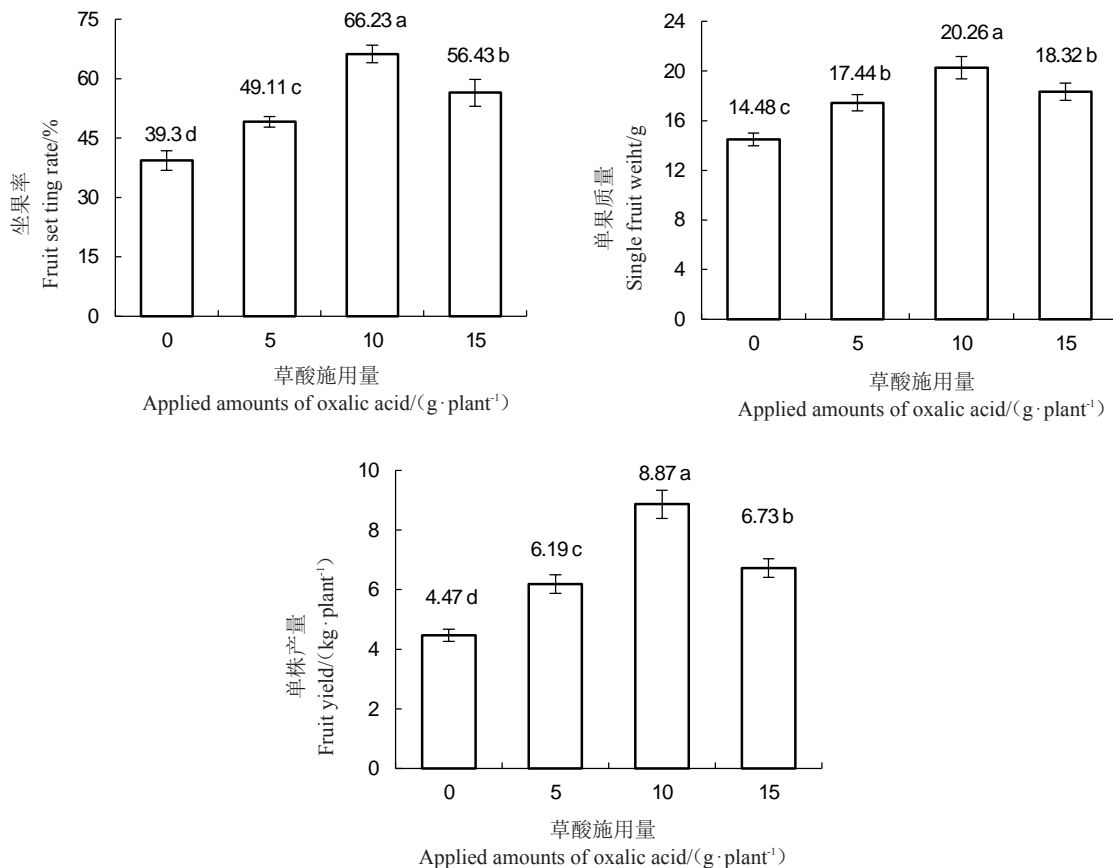


图 1 草酸不同施用量对石灰性土壤中的刺梨坐果率、单果质量及单株果实产量的影响
Fig. 1 Effects of oxalic acid at different application rates on fruit set, single fruit weight and fruit yield of
Rosa roxburghii grown in the calcareous yellow soil

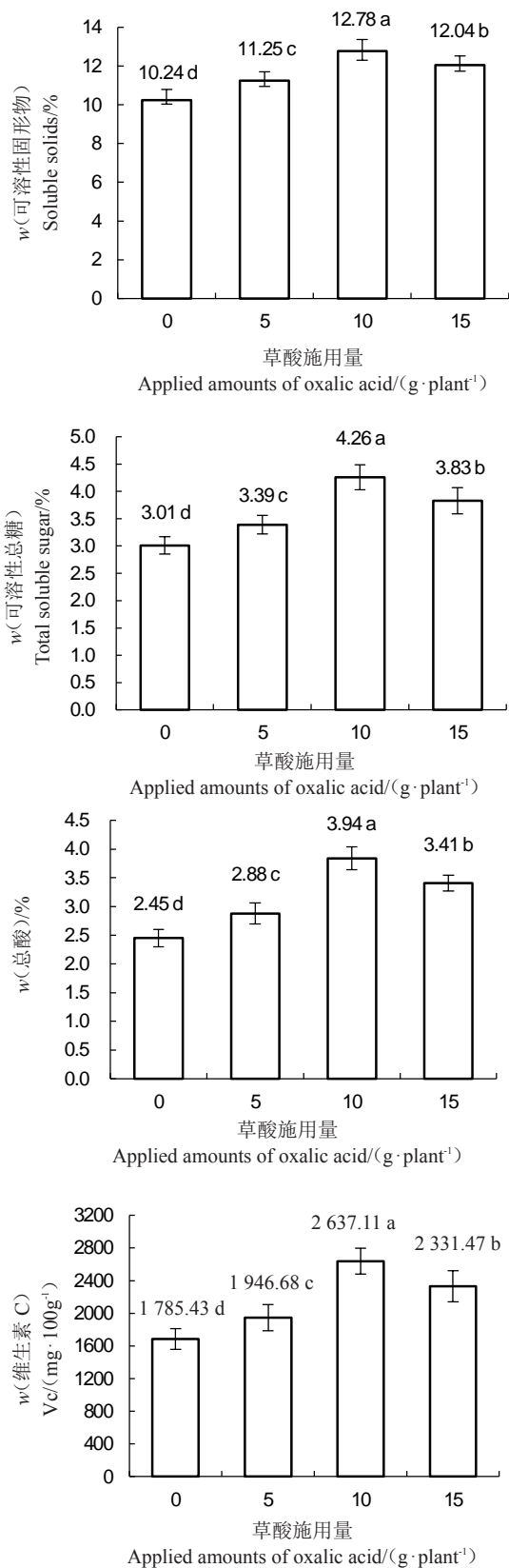


图2 草酸不同施用量对石灰性土壤中刺梨果实品质的影响

Fig. 2 Effects of oxalic acid at different doses on the fruit quality of *Rosa roxburghii* grown on the calcareous yellow soil

可溶性固形物、可溶性总糖和维生素C含量均明显高于对照,3个处理与对照间和不同处理间的差异均达到显著水平($p < 0.05$)。每株施10 g草酸的处理,果实的可溶性固形物、可溶性总糖、总酸和维生素C含量最高,分别达到12.78%、4.26%、3.94%和2 637.11 mg·100 g⁻¹,其中维生素C含量比对照增加了851.68 mg·100 g⁻¹,比每株施入5 g和15 g草酸的处理分别增加了690.43 mg·100 g⁻¹和305.64 mg·100 g⁻¹。每株施15 g草酸的处理,果实维生素C含量降低可能与叶片中Cu含量高有关。

3 讨论

3.1 外源草酸对提高刺梨立地石灰性黄壤中有效养分和叶片中养分含量的作用

草酸能够溶释、活化土壤中的难溶性养分,增强营养元素有效性,提高有效养分含量^[24-26],此外在降低土壤pH的同时,还能为土壤微生物的生长繁殖提供碳源,有利于增加土壤中细菌、真菌、放线菌繁殖的数量,使土壤中多种低分子有机酸进一步增加,从而进一步增强对土壤矿物中多种营养元素的溶释、活化作用^[27-32]。在石灰性土壤中,大量的游离碳酸钙会增强对多种土壤养分酶活性位点的竞争,从而使其活性降低,对土壤有效养分转化产生着极其不利的影晌^[33]。外源草酸能够在土壤中与可溶性钙结合形成难溶的草酸钙,从而降低游离碳酸钙的含量,缓解过多的游离碳酸钙对土壤养分酶活性位点的竞争,增强土壤养分的活性。在本研究中,施用草酸后刺梨生长的石灰性黄壤中交换性钙含量降低、养分酶活性增强、有效养分含量提高可能是上述因素综合协同作用的结果。但笔者也注意到,刺梨生长的石灰性黄壤中多数养分酶的活性、功能细菌的数量和有效N、P、K、Fe、B的含量并不是随草酸的施用量增大而增加的,而是以每株施入10 g草酸的处理为最高。然而,土壤有效Mn、Zn、Cu及交换性Mg的含量却随草酸的施入量增加而增大,尤其是有效Cu含量增加的数量极大。产生上述结果的原因有待进一步研究,同时也说明草酸的不同施用量对土壤有效养分含量的影响在不同营养元素间是有明显差异的,其结果可能会对刺梨的养分吸收和果实产量及品质产生有利或不利的影晌。

施用草酸后刺梨叶片中的营养元素含量明显提高与土壤养分改善有关。在不同草酸施用量的3个

处理中,除叶片中的Ca含量随草酸施用量的增加而减少外,其他营养元素含量都明显增加了,并且表现出与土壤中有效元素含量差异变化基本一致的趋势,说明土壤养分状况的改善对促进刺梨的养分吸收产生了积极作用。因此,在喀斯特地区的石灰性土壤中栽培刺梨时,可以将施用草酸作为刺梨树体养分调控的措施。

3.2 外源草酸对提高喀斯特石灰性黄壤中刺梨产量和品质的作用

施用草酸能够提高喀斯特地区石灰性黄壤中刺梨的产量和品质,但草酸的不同施用量所产生的作用有明显差异。在本试验的土壤条件下,每株施用10 g草酸对提高刺梨的坐果率、果实产量及品质的效果最好,说明并非草酸的施用量越大越好。刺梨果实中维生素C的含量是重要的营养品质指标之一,在试验中笔者注意到,每株施用15 g草酸的处理,果实的产量和品质指标并没有继续提高,尤其是维生素C的含量反而比每株施用10 g草酸的,这可能与这一处理的土壤和树体中Cu的含量过高有关。有研究发现,Cu²⁺过多会抑制在刺梨果实维生素C合成过程中起关键作用的4-内酯脱氢酶(GaL-DH)的活性^[33],进而降低刺梨果实维生素C含量。因此,在实际应用中要充分考虑到过量的施用草酸对刺梨产量和品质的不利影响。

3.3 外源草酸在喀斯特地区刺梨栽培中的应用

本试验结果为喀斯特地区石灰性土壤中刺梨栽培的养分和果实产量及品质的调控提供了新的技术借鉴。虽然施用草酸能够降低刺梨立地石灰性土壤的pH值和可溶性钙的含量,增强其他营养元素的有效性和有效含量,提高养分刺梨产量和品质,但草酸施用过量也有一定的负作用,如降低刺梨果实的维生素C和可溶性糖的含量等。在落叶松(*Larix gmelinii*)^[16]和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)^[34]等植物上的研究发现,施用草酸过多会促进苗木电解质的渗出,加重根的细胞膜系统过氧化损伤,抑制苗木生长。因此,在利用草酸对喀斯特地区刺梨立地石灰性土壤和树体的养分进行调控时,草酸的施用量不宜过多,对于类似本研究土壤条件和树龄的刺梨,建议每株施用量10 g为宜,若土壤含钙量和树龄与本研究的差异较大,建议事先进行试验后再确定适宜的施用量,以免外源草酸施入量过多对刺梨产生不利的影响。

4 结 论

草酸施入刺梨立地石灰性黄壤后,能够降低土壤的pH值及钙含量,增加细菌、真菌、放线菌和固氮菌、解磷菌、解钾菌等功能性微生物的数量,增强多种土壤养分酶的活性,提高石灰性黄壤中除钙以外的其他营养元素有效含量,增强刺梨对营养元素的吸收,提高刺梨叶片中营养元素的含量,对提高喀斯特地区石灰性黄壤中刺梨的果实产量和品质有显著作用。在本试验的土壤条件下,每株刺梨以10 g草酸施用量的效果最好。

参考文献 References:

- [1] 张福锁. 环境胁迫与植物营养[M]. 北京: 农业出版社, 1993: 369-381.
ZHANG Fusuo. Environmental stress and plant nutrition[M]. Beijing: Agricultural Press, 1993: 369-381.
- [2] 栗杰, 张大庚, 刘慧, 王凯琼, 董静超. 低分子量有机酸对褐土盐基离子淋失的影响[J]. 土壤通报, 2017, 48(6): 1354-1359.
LI Jie, ZHANG Dageng, LIU Hui, WANG Jiqiong, DONG Jingchao. Effects of low molecular weight organic acids on the leaching of base cations in a cinnamon soil[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2017, 48(6): 1354-1359.
- [3] 张大庚, 栗杰, 刘慧. 外源低分子量有机酸对土壤中钙素迁移特征的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(5): 152-155.
ZHANG Dageng, LI Jie, LIU Hui. Effect of exogenous low molecular weight organic acids on calcium migration in soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(5): 152-155.
- [4] STRÖM L, OWEN A G, GODBOLD D L, JONES D L. Organic acid behaviour in a calcareous soil implication for rhizosphere nutrient cycling[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005, 37(11): 2046-2054.
- [5] 柏佳, 谭长银, 曹雪莹, 周青, 黄硕霏, 彭曦, 邓月强, 孙丽娟. 3种有机酸对伴矿景天修复效率及土壤微生物数量的影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(2): 318-324.
BAI Jia, TAN Changyin, CAO Xueying, ZHOU Qing, HUANG Shuopei, PENG Xi, DENG Yueqiang, SUN Lijun. Effect of three organic acids on the remediation efficiency of *Sedum plumbizincicola* and soil microbial quantity[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(2): 318-324.
- [6] 孔涛, 刘民, 淑敏, 王凯, 吕刚. 低分子量有机酸对土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 环境化学, 2016, 35(2): 348-354.
KONG Tao, LIU Min, SHU Min, WANG Kai, LÜ Gang. Effect of low molecular weight organic acids on soil microbe number and soil enzyme activities[J]. Environmental Chemistry, 2016, 35(2): 348-354.
- [7] TAGHIPOUR M, JALALI M. Effect of low-molecular-weight

- organic acids on kinetics release and fractionation of phosphorus in some calcareous soils of western Iran[J]. *Environmental Monitoring & Assessment*, 2013, 185(7): 5471-5482.
- [8] JONES D L, DENNIS P G, OWEN A G, VAN H P A W. Organic acid behavior in soils - misconceptions and knowledge gaps[J]. *Plant and Soil*, 2003, 248: 31-41.
- [9] KPOMBLEKOU A K, TABATABAI M A. Effect of low-molecular weight organic acids on phosphorus release and phytoavailability of phosphorus in phosphate rocks added to soils[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 100(2): 275-284.
- [10] 赵鹏志,陈祥伟,杨小燕,齐思明,王恩姮. 低分子有机酸对东北黑土酶活性与养分关系的影响[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2018, 42(1): 105-112.
- ZHAO Pengzhi, CHEN Xiangwei, YANG Xiaoyan, QI Siming, WANG Enheng. Relationship between enzyme activities and nutrients of black soil subjected to low molecular organic acid[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2018, 42(1): 105-112.
- [11] HUANG G Y, YOU J W, ZHOU X P, REN C, SHOFFIKUL M I, HU H Q. Effects of low molecular weight organic acids on Cu accumulation by castor bean and soil enzyme activities[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020, 203: 1-8.
- [12] 周丽,黄文斌,王煜婷,马瑞,宋金凤. 养分缺乏下外源有机酸对落叶松幼苗吸收 Fe 的影响[J]. *国土与自然资源研究*, 2012(6): 86-88.
- ZHOU Li, HUANG Wenbin, WANG Yuting, MA Rui, SONG Jinfeng. Effects of exogenous organic acids on Fe absorption of larch seedlings with nutrient deficiency[J]. *Territory & natural Resources Study*, 2012(6): 86-88.
- [13] 张乃于,闫双堆,李娟,王亚男,刘越,卜玉山. 低分子量有机酸对土壤磷组分影响的 Meta 分析[J]. *植物营养与肥料学报*, 2019, 25(12): 2076-2083.
- ZHANG Naiyu, YAN Shuangdui, LI Juan, WANG Yanan, LIU Yue, BU Yushan. Meta-analysis on the effects of low molecular weight organic acids on increasing availability of soil phosphorus[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2019, 25(12): 2076-2083.
- [14] WANG Y Z, CHEN X, WHALEN J K, CAO Y H, ZHI Q, LU C Y, SHI Y. Kinetics of inorganic and organic phosphorus release influenced by low molecular weight organic acids in calcareous, neutral and acidic soils[J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2015, 178(4): 555-566.
- [15] 李俊芝,王功帅,胡艳丽,陈学森,毛志泉. 几种低分子量有机酸对连作平邑甜茶幼苗光合与根系生长的影响[J]. *园艺学报*, 2014, 41(12): 2489-2496.
- LI Junzhi, WANG Gongshuai, HU Yanli, CHEN Xueseng, MAO Zhiquan. Effects of organic acids on biomass and physiological characteristics of *Malus Hupehensis* seedlings under continuous cropping[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2014, 41(12): 2489-2496.
- [16] 单琳,倪红伟,朱道光,李金博,李梦莎,王继峰,付晓玲,冷海楠,崔福星. 养分缺乏下草酸对寒温带兴安落叶松幼苗生理生化特性的影响[J]. *国土与自然资源研究*, 2015(3): 94-96.
- SHAN Lin, NI Hongwei, ZHU Daoguang, LI Jinbo, LI Mengsha, WANG Jifeng, FU Xiaoling, LENG Hainan, CUI Fuxing. Effects of oxalic acid on physiological-biochemical characteristics of cold temperate *Larix gmelinii* seedlings at the condition of nutrient deficiency[J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2015(3): 94-96.
- [17] 王文波. 凋落物源有机酸对暗棕壤磷的活化及对水曲柳生理和生长的影响[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2010.
- WANG Wenbo. Organic acids from forest litters and the effects on P release from dark forest soil and physiological characteristics and growth of *F. mandshurica* seedlings[D]. Haerbin: Northeast Forestry University, 2010.
- [18] 王树起,韩晓增,严君,李晓慧,乔云发. 低分子量有机酸对大豆磷积累和土壤无机磷形态转化的影响[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(8): 1550-1554.
- WANG Shuqi, HAN Xiaozeng, YAN Jun, LI Xiaohui, QIAO Yunfa. Effects of low molecular weight organic acids on P accumulation in soybean (*Glycine max* L.) and in organic P form transformation in soil[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(8): 1550-1554.
- [19] 李迟园,田霄鸿,曹翠玲. 外源有机酸对玉米磷吸收及其生长发育的影响[J]. *西北植物学报*, 2011, 31(7): 1376-1383.
- LI Chiyuan, TIAN Xiaohong, CAO Cuiling. Effects of exogenous organic acids on phosphate uptake and growth of maize[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2011, 31(7): 1376-1383.
- [20] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京:高等教育出版社, 2010: 52-62.
- LIN Xiangui. Principles and methods of soil microbiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2010: 52-62.
- [21] 纪巧凤. 黄顶菊入侵对根际土壤主要功能细菌多样性的影响[D]. 北京:中国农业科学院, 2014.
- Ji Qiaofeng. Effects of invasive plant *Flaveria bidentis* on the diversity of major functional bacteria in rhizosphere soil[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [22] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社, 1986: 274-340.
- GUAN Songyin. Soil enzyme and researching methods[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1986: 274-340.
- [23] 梁永超,马同生,朱克贵. 水稻土的研究—XI. 低湿地土壤上发育的水稻土铁还原酶活性初探[J]. *南京农业大学学报*, 1989, 12(1): 77-82.
- LIANG Yongchao, MA Tongsheng, ZHU Kegui. Studies on paddy soil—XI. On the ferric-reductase activity of paddy soils derived from the wetland[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1989, 12(1): 77-82.
- [24] 王阳. 低分子量有机酸对石灰性土壤中磷、铁、锌活化效果的

- 研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2014.
- WANG Yang. The study on the effects of low molecular weight organic acid activating the phosphorus iron and the zinc in the alkaline soil[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014.
- [25] 杨小燕. 外源有机酸对黑土土壤磷形态及有效性的影响[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2016.
- YANG Xiaoyan. Effects of organic acids on black soil phosphorus fractions and phosphorus availability[D]. Haerbin: Northeast Forestry University, 2016.
- [26] 赖彩秀,潘伟斌,张太平,詹淑威,吴俭. 苹果酸和草酸对两种植物吸收土壤中 Cd、Zn 的影响[J]. 生态科学,2016,35(4):31-37.
- LAI Caixiu, PAN Weibin, ZHANG Taiping, ZHAN Shuwei, WU Jian. Effects of malic acid and oxalic acid application on the uptake of Cd and Zn by two plants[J]. Ecological Science, 2016,35(4): 31-37.
- [27] KHAN M S, ZAIDI A, WANI P A. Role of phosphate-solubilizing microorganisms insustainable agriculture - a review[J]. Agronomy for Sustainable Development,2007,27(1): 29-43.
- [28] SHARMA S B, SAYYED R Z, TRIVEDI M H. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils[J]. Springerplus, 2013, 2(1): 587.
- [29] KAUR G, REDDY M S. Influence of P-solubilizing bacteria on crop yield and soil fertility at multilocational sites[J]. European Journal of Soil Biology,2014,61: 35-40.
- [30] RASHID M I, MUJAWAR L H, SHAHZAD T. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils[J]. Microbiological Research, 2016, 183:26-41.
- [31] WEI Y, ZHAO Y, SHI M, CAO Z Y, LU Q, YANG T X, FAN Y Y, WEI Z M. Effect of organic acids production and bacterial community on the possible mechanism of phosphorus solubilization during composting with enriched phosphate-solubilizing bacteria inoculation[J]. Bioresour Technology, 2018, 247:190-199.
- [32] 龚芳芳,樊卫国. 外源柠檬酸对石灰性黄壤养分活化及刺梨实生苗养分吸收与生长的影响[J]. 中国农业科学,2018,51(11):2164-2177.
- GONG Fangfang, FAN Weiguo. Effects of exogenous citric acids on nutrient activation of calcareous yellow soil and promotion effects of nutrient absorption and growth of *Rosa roxburghii* seedlings[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(11): 2164-2177.
- [33] 张雪,杨曼,安华明,黄伟,刘卫. 外源 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cu^{2+} 和吡啶黄素对刺梨果实维生素 C 合成的影响[J]. 中国农业科学,2012,45(6):1144-1149.
- ZHANG Xue, YANG Man, AN Huaming, HUANG Wei, LIU Wei. Effects of exogenous divalent cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , and Cu^{2+} and acriflavine on ascorbate biosynthesis in *Rosa roxburghii* fruits[J]. Scientia Agricultura Sinica,2012,45(6): 1144-1149.
- [34] 庄正,李艳娟,刘青青,杨振,刘博,刘爱琴. 外源低分子有机酸对杉木种子萌发及幼苗抗氧化特性的影响[J]. 江西农业大学学报,2017,39(2): 302-311.
- ZHUANG Zheng, LI Yanjuan, LIU Qingqing, YANG Zhen, LIU Bo, LIU Aiqin. Effect of exogenous low-molecular-weight organic acids on the seed germination and seedling antioxidant properties of *Cunninghamia lanceolata*[J]. 2017, 39(2): 302-311.