

施用硫磺粉对越橘根域土壤酶活性的影响

唐雪东¹, 李亚东¹, 刘海广¹, 窦森², 吴林¹, 张志东¹

(1 吉林农业大学 园艺学院, 吉林 长春, 130118; 2 吉林农业大学 资源与环境学院, 吉林 长春, 130118)

摘要:采用田间试验测定不同比例硫磺粉对越橘 *Vaccinium vitis-idaea* L. 根域土壤酶活性的影响. 结果表明:随着土壤施 S 量的增加,越橘根际和非根际土壤酶活性均表现先升高后降低的变化规律,加入 1.5 和 2.0 kg/m³ S 的处理,各种酶活性高. 脲酶、磷酸酶、蛋白酶活性根际大于非根际,CAT 活性非根际大于根际,高峰均出现在生长前期.

关键词:越橘; 硫磺粉; 土壤酶活性; 土壤 pH

中图分类号:Q55; S663.9

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2012)02-0183-05

Effect of Sulfur Application to Soil Enzyme Activity
of *Vaccinium vitis-idaea* L. Root Zone

TANG Xue-dong¹, LI Ya-dong¹, LIU Hai-guang¹, DOU Sen², WU Lin¹, ZHANG Zhi-dong¹

(1 College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;

2 College of Resource and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: After fertilization of different sulfur powder in field experiments, the soil enzyme activities and soil pH values of *Vaccinium titis-idaea* L., blueberry, root zone were determined. The soil enzyme activity of blueberry rhizosphere and non-rhizosphere both showed increase first and then decline. After adding 1.5 and 2.0 kg/m³ sulfur, the activity of soil urease, phosphatase, protease in rhizosphere was higer than non-rhizosphere, CAT activity of non-rhizosphere was higer than that of rhizospere. The high activity of the tested enzymes appeared in the early growth.

Key words: *Vaccinium vitis-idaea*; sulfur; soil enzyme activity; soil pH

越橘 *Vaccinium vitis-idaea* L. 属杜鹃花科 Ericaceae 越橘属 *Vaccinium* spp. 植物,为多年生灌木,果实为蓝色或红色,富含多种维生素及微量元素,鲜果既可以生食,又可以做加工果汁、果酒的原料,目前国内各地区竞相栽植,具有较高的开发利用价值^[1-2]. 越橘栽培对土壤条件要求苛刻,需要疏松湿润、有机质含量高的强酸性土壤条件^[3-4]. 目前用于调节土壤 pH 的材料主要是硫磺粉,国内外利用硫磺粉改良土壤对越橘生长发育影响已有很多的研究^[5-8],硫磺粉施入土壤后明显降低土壤 pH,但同时也会对土壤性质,如土壤酶活性、土壤微生物的数量和种类产生较大的影响. 土壤酶在土壤生态系统的

物质循环和能量转化中起着非常重要的作用,它催化土壤中的一切生物化学反应,其活性大小是土壤肥力的重要标志^[9]. 本试验在土壤中加入不同比例的硫磺粉进行越橘栽培,研究其对脲酶、磷酸酶、蛋白酶及过氧化氢酶(CAT)4种与土壤肥力关系密切的酶活性及动态变化过程,以期越橘根域土壤管理及土壤肥力评价提供参考.

1 材料与方法

1.1 材料

黑土,有机质 21.16 g · kg⁻¹,pH 为 7.06. 半高丛越橘品种“北陆”(Northland),组培繁殖的一年生

收稿日期:2011-03-04

作者简介:唐雪东(1969—),男,副教授,博士;通信作者:李亚东(1964—),男,教授,E-mail:blueberryli@163.com

基金项目:吉林省科技厅重点项目(20100720);农业部公益性行业科研专项(201103037);吉林农业大学科研启动基金(201012);科技部星火计划项目(2010GA661001);长春市科技局科技支撑项目(2011204)

和二年生苗木.

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2008 年 8 月—2009 年 12 月在吉林农业大学越橘设施栽培基地和浆果研究所进行. 越橘栽植于塑料大棚内,采用随机区组设计,设 7 个处理,每个处理 3 次重复,每个重复 8 株,以适宜越橘生长的草炭 + 园田土 + 1.0 kg/m³ S (即 1 m³ 土壤中加入 1.0 kg 的硫磺粉,下同)做对照,各处理如下:1:对照;2:园田土 + 0.5 kg/m³ S;3:园田土 + 1.0 kg/m³ S;4:园田土 + 1.5 kg/m³ S;5:园田土 + 2.0 kg/m³ S;6:园田 + 2.5 kg/m³ S;7:园田土 + 3.0 kg/m³ S. 园内地势平坦,肥力均匀. 定植前清除园内石块等杂质,翻平土壤,将硫磺粉与园田土混拌均匀,然后挖穴、定植,定植的株行距为 0.5 m × 0.7 m.

1.2.2 土壤样品采集 以抖落法采集根际土、非根际土,在越橘根系集中分布区(0 ~ 20 cm),挖取一定量的根系,轻轻拍打抖动,抖落的土壤为非根际土,将沾根的大块土除去,再将附着在根系上的土壤用刷子刷下即为根际土样品,完全随机处理,3 次(株)重复. 将所采土样带回实验室除去植物残根、石块,自然风干,研磨过筛后用磨口瓶盛装、备用.

1.2.3 研究方法 分别于萌芽期、新梢旺长期、新梢停长期、果实成熟期、落叶期,采集不同处理越橘根际土和非根际土,进行土壤 pH 及土壤酶活性的测定,土壤 pH 用 pH S-3C 型精密 pH 计测定. 土壤样品带回实验室自然阴干,磨细,过 20 目筛,按 2.5:1.0 水土比测定. 土壤酶活性测定具体方法参照松荫^[11]的方法. 脲酶活性测定采用苯酚钠比色法,以培养 24 h 后 1 g 土壤中 NH₃-N 的质量/mg 表示;磷酸酶活性测定采用磷酸苯二钠比色法,以培养 24 h 后 1 g 土壤中释出酚的质量/mg 表示;蛋白酶活性采用比色法,以培养 24 h 后 1 g 土壤中氨基酸的质量/mg 表示;CAT 活性测定采用高锰酸钾滴定容量法,以 20

min 后 1 g 土壤的 0.1 mol/L 高锰酸钾的体积/mL (相当于 H₂O₂ 的质量/mg) 表示. 酶活性单位均以“U”表示. 采用 DPS9.50 数据处理系统和 Excel 2007 进行统计分析.

2 结果与分析

2.1 不同施 S 量处理越橘根域土壤 pH 变化

定期测定加入不同比例硫磺粉的土壤 pH 变化结果(表 1)表明,施 S 后土壤 pH 迅速降低,而且随着施 S 量的增加,土壤 pH 降低幅度加大,并且施 S 量 1.0、1.5 和 2.0 kg/m³ 的处理,土壤 pH 基本能稳定在 4.0 ~ 5.0 范围内. 当施 S 量超过 2.5 kg/m³ 时,土壤 pH 可降到 4.0 以下,施 S 量达到 3.0 kg/m³ 时,pH 可降至 3.0,超出了适宜越橘生长的 pH 范围,不利于越橘的生长.

表 1 不同施 S 量处理越橘根际土壤 pH 的变化
Tab.1 Dynamic changes of pH in the rhizosphere soil of blueberry under different sulphr applications

处理	施 S 量/ (kg · m ⁻³)	萌芽 期	新梢旺 长期	新梢停 长期	果实 成熟期	落叶期
1	对照	5.08	4.05	4.52	4.71	4.95
2	0.5	6.53	5.17	5.89	6.06	6.20
3	1.0	5.87	4.13	5.04	5.12	5.41
4	1.5	5.22	3.91	4.15	4.33	4.51
5	2.0	4.78	3.68	4.42	4.78	5.01
6	2.5	4.69	3.45	4.09	4.43	4.85
7	3.0	4.35	2.88	3.78	3.91	4.01

2.2 不同施 S 量处理越橘根域土壤脲酶活性变化

脲酶广泛存在于土壤中,是一种专性较强的酶,在有机氮转化形成尿素过程中,其酶促作用使之转化成矿物态的 NH₄⁺,从而利于植物吸收. 从表 2 可看出,年生长周期内越橘根域土壤脲酶活性变化较大,随着施 S 量的增加,从 0.5 ~ 2.0 kg/m³ 越橘根域

表 2 不同施 S 量处理越橘根域脲酶活性动态变化¹⁾
Tab.2 Dynamic changes of soil urease activity in blueberry root-zone under different sulfur applications U

处理	施 S 量/ (kg · m ⁻³)	萌芽期		新梢旺长期		新梢停长期		果实成熟期		落叶期	
		根际土	非根际土	根际土	非根际土	根际土	非根际土	根际土	非根际土	根际土	非根际土
1	对照	1.42c	1.34c	3.18d	2.81d	1.89c	1.85b	1.25b	1.28bc	0.55b	0.52b
2	0.5	0.52a	0.56a	1.40a	1.25a	0.76a	0.84a	0.62a	0.58a	0.27a	0.28a
3	1.0	1.18b	1.12b	2.76c	2.05b	2.06c	1.83b	1.37c	1.26bc	0.65bc	0.57b
4	1.5	1.32c	1.24c	2.94c	2.12b	2.33d	2.27c	1.64d	1.51d	0.88c	0.82c
5	2.0	1.50d	1.44d	3.21d	2.23c	2.72e	2.56d	1.47c	1.39c	0.61bc	0.59b
6	2.5	1.48c	1.41d	2.38b	2.07b	1.99c	1.93b	1.21b	1.15b	0.50b	0.48b
7	3.0	1.13b	1.05b	1.43a	1.25a	1.06b	0.92a	0.88b	0.75ab	0.29a	0.25a

1) 酶活性单位:以培养 24 h 后 1 g 土壤中的 NH₃-N 质量为 1 mg 作为 1 U; 同列数据后凡是有一个小写字母相同者,表示差异不显著(P > 0.05, Duncan's 法).

脲酶活性显著增加,再增加 S 的施用量,脲酶活性反而下降. 另外从表 2 可看出,不同施 S 量处理新梢旺长期根际脲酶活性最高,加入 1.0 和 2.0 kg/m³ S 的处理越橘根际脲酶活性分别达到 2.76 和 3.21 U,较萌芽期酶活性分别提高 122.5% 和 171.0%. 落叶期越橘根际与非根际脲酶活性均降至最低,上述 2 个处理根际脲酶活性分别是 0.65 和 0.61 U,较萌芽期酶活性分别下降 47.6% 和 59.3%,其他处理也有相同的规律.

2.3 不同施 S 量处理越橘根域土壤磷酸酶活性变化

本试验处理的各土壤基本呈酸性,因此,以酸性磷酸酶活性代表磷酸酶活性. 从图 1 可看出,在新梢旺长期随着施 S 量的增加,磷酸酶活性明显增高,只有加入 0.5 和 1.0 kg/m³ S 的处理越橘根际磷酸酶活性低于对照,其他处理则明显高于对照,差异显著 ($P < 0.05$),而且各处理根际磷酸酶活性也显著高于非根际磷酸酶活性,其他各时期不同施 S 量磷酸酶活性变化规律与新梢旺长期大体一致. 由图 2 可看出,

在年生长周期内各处理的越橘根域磷酸酶活性变化基本一致,根际磷酸酶活性在新梢旺长期均明显升高,而后迅速降低,而非根际磷酸酶活性在年生长周期内始终呈下降状态. 新梢旺长期加入 1.0 和 2.0 kg/m³ S 的处理越橘根际酶活性较萌芽期均明显提高,其酶活性分别为 2.44 和 3.65 U,较萌芽期分别提高 67.1% 和 58.0%,这可能是因为此期地上部植株建造快,根系的生理代谢功能最强,根系分泌物明显增多,增加了微生物的活动,而促进磷酸酶活性的提高. 进入新梢停长期后根际磷酸酶活性开始降低,落叶期降至最低,分别为 0.75 和 1.18 U,较萌芽期分别下降 48.6% 和 48.9%. 生长季后期磷酸酶活性下降与越橘生长后期根系活力减弱及气温偏低有关,这可能是磷酸酶活性对温度变化的一种生理响应^[11].

2.4 不同施 S 量处理越橘根域土壤蛋白酶活性变化

蛋白酶参与土壤中氨基酸、蛋白质以及其他含蛋白质氮的有机化合物的转化,其水解产物是植物吸收氮源之一. 由图 3 可看出,随着施 S 量的增加,越橘根域蛋白酶活性有升高的趋势,当施 S 量达到 1.5 kg/m³ 以上时,提高幅度不明显;而且各处理根际蛋白酶活性要高于非根际蛋白酶活性,特别是在新梢旺长期,根际与非根际蛋白酶活性差异明显,达到极显著水平 ($P < 0.05$). 由图 4 看出,不同施 S 量处理越橘根域蛋白酶活性变化趋势基本一致,加入 1.0 和 2.0 kg/m³ S 的处理根际与非根际蛋白酶活性在新梢旺长期均有一个上升的过程,但根际蛋白酶的活性上升明显快于非根际. 新梢旺长期后蛋白酶活性开始下降,落叶期各处理的越橘根域蛋白酶活性均降至最低.

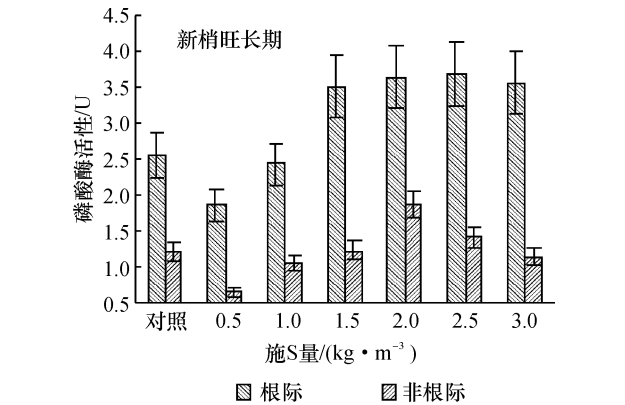


图1 不同施 S 量越橘根域磷酸酶活性差异
Fig. 1 Variations of phosphatase activity of different sulfur applications in blueberry root zone

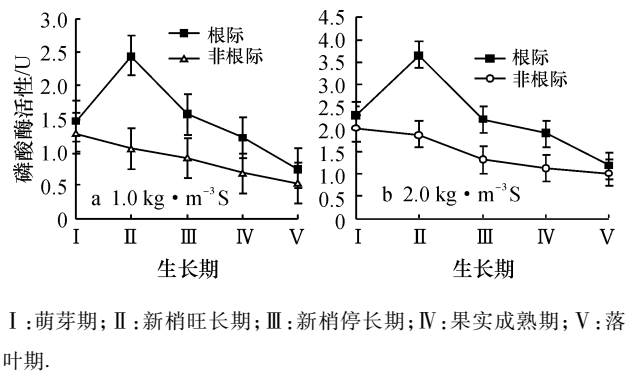


图2 不同生长期越橘根域磷酸酶活性动态变化
Fig. 2 Dynamic changes of phosphatase activity in blueberry root-zone in different growth periods

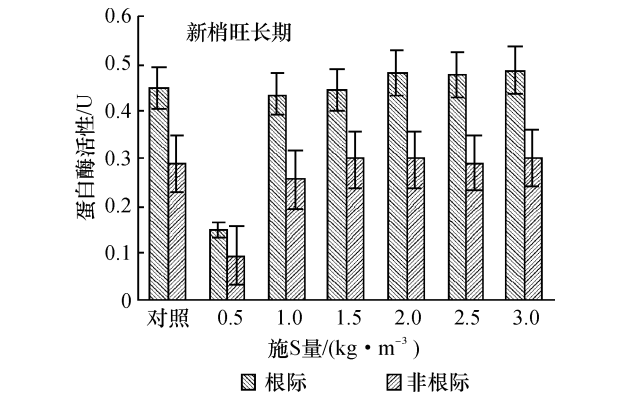
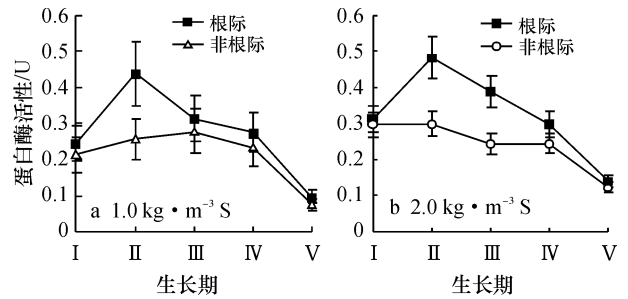


图3 不同施 S 量越橘根域蛋白酶活性差异
Fig. 3 Variations of protease activity of different sulfur applications in blueberry root-zone



I：萌芽期；II：新梢旺长期；III：新梢停长期；IV：果实成熟期；V：落叶期。

图 4 不同生长期越橘根域蛋白酶活性动态变化
Fig. 4 Dynamic changes of protease activity in blueberry root-zone in different growth periods

2.5 不同施 S 量处理越橘根域土壤 CAT 活性变化

CAT 是土壤中重要的氧化还原酶,参与土壤中物质和能量转化,具有分解土壤中对植物有害的过氧化氢的作用,在一定程度上反映土壤中腐殖质的

再合成强度. 研究结果(表 3)表明,加入 1.5 和 2.0 kg/m³ S 的处理 CAT 活性较高,且以生长初期较低,最高值出现在新梢旺长期或新梢停长期,到生长末期又下降至最低;从表 3 也可看出,不同施 S 量处理越橘非根际 CAT 活性变化趋势基本一致,生长季中随物候期的变化不同施 S 处理越橘非根际 CAT 活性呈现“低-高-低”的变化规律,在新梢停长期 CAT 活性最高,而后酶活性降低. 而根际 CAT 活性变化有明显差异($P < 0.05$),加入 1.0 和 0.5 kg/m³ 的处理越橘根际 CAT 活性在新梢停长期达到最高,而施 S 量超过 2.0 kg/m³ 的处理根际 CAT 活性在新梢旺长期达到最高,而后下降. 这可能由不同施 S 量改变了土壤 pH,使越橘植株生长发育、生理代谢产生差异所引起. 生长季前期施 S 量大的处理,根系生理代谢活跃,根际分泌有机物质充分,引起土壤酶活性加强,而休眠期其酶活性迅速降低与此期温度低、微生物活性弱、物质转化速率低有关.

表 3 不同时期不同施 S 处理越橘根域 CAT 活性差异¹⁾

Tab.3 Variation of soil catalase activity in blueberry root-zone under different sulfur applications in different periods U

处理	施 S 量/ (kg·m ⁻³)	萌芽期		新梢旺长期		新梢停长期		果实成熟期		落叶期	
		根际土	非根际土	根际土	非根际土	根际土	非根际土	根际土	非根际土	根际土	非根际土
1	对照组	1.26bc	1.31c	1.32bc	1.44c	1.35c	1.54c	1.15b	1.22b	0.82ab	0.91b
2	0.5	0.66a	0.72a	0.85a	1.02a	1.07a	1.16a	0.92a	1.08a	0.71a	0.76a
3	1.0	1.18b	1.25bc	1.23b	1.35b	1.28b	1.42b	1.11b	1.24b	0.75a	0.78a
4	1.5	1.33c	1.18b	1.32bc	1.47c	1.19ab	1.51c	1.08ab	1.36c	0.83ab	0.90b
5	2.0	1.35c	1.27c	1.38c	1.53d	1.32bc	1.56c	1.19b	1.33c	0.92b	0.98c
6	2.5	1.38c	1.21bc	1.29b	1.42bc	1.25b	1.48bc	1.20b	1.27bc	0.88b	0.91b
7	3.0	1.03b	1.12b	1.27b	1.30b	1.24b	1.36b	1.08ab	1.17b	0.72a	0.78a

1)酶活性单位:以 20 min 后 1 g 土壤的 0.1 mol/L 高锰酸钾的体积为 1 mL(相当于 1 mg H₂O₂) 作为 1 U;同列数据后凡是有 一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$, Duncan's 法).

3 讨论与结论

3.1 土壤 pH 与土壤酶活性的关系

土壤酶是土壤中活跃的有机成分之一,在土壤养分循环及植物生长所需养分的供给过程中起到重要的作用,土壤酶与土壤微生物、土壤养分、土壤 pH 等存在一定的相关性^[12]. Kuprevieh^[13] 和沈同等^[14] 认为土壤 pH 对土壤酶活性有很大影响,在 pH 超过土壤正常值时,由于土壤中植物和微生物受到胁迫,细胞膜受到伤害,导致酶分泌失调;另外土壤酶在正常 pH 条件下才能表现出最大活性,在极端 pH 下,酶结构受到破坏,而不能表现出或只表现出部分活性. 本试验结果表明,随着硫磺粉施入量的增加,土壤 pH 明显下降,土壤酶活性也发生了不同程度的变

化,土壤脲酶、蛋白酶呈上升趋势,磷酸酶、过氧化氢酶先升后降,而且加入 1.5 和 2.0 kg/m³ 硫磺粉的处理,土壤 pH 稳定在 4.0~5.5 范围内,各种酶活性较高. 徐冬梅等^[15] 模拟酸雨对土壤磷酸酶活性影响时指出,随着土壤[H⁺] 的升高,近中性土壤磷酸酶活性呈现激活-抑制的变化过程,而酸性使土壤磷酸酶活性持续下降,也说明各种土壤酶活性需要在适宜的土壤 pH 范围内发挥作用. 另外,本文不同施 S 量土壤 pH 变化与以前研究结果^[7] 有差异,主要原因有 2 个方面:一方面本文测定的是越橘根际土壤的 pH,由于越橘根际区域根系分泌物及微生物的影响造成根际与非根际土壤 pH 有明显差异;另一方面,由于本试验的园田土与前期试验的土壤并非同一区域,土壤性质及环境条件也对硫磺粉的氧化分解产

生一定的影响.

3.2 硫磺粉对土壤酶活性的影响

从试验结果可知,随着硫磺粉施入量的增加,土壤 pH 明显下降,土壤酶活性也发生了不同程度的变化,分析原因,可能由于硫磺粉的加入,在降低土壤 pH 的同时,硫素的矿化和分解也参与土壤腐殖质的形成,而且硫素也会影响越橘对土壤中各种矿质元素的转化和利用,同时在很大程度上影响微生物的活动,从而使土壤酶活性发生不同程度的变化,关于硫磺增加土壤微生物数量已有许多报道,Lawrence 等^[16]研究指出,在没有氧化硫硫杆菌和氧化铁硫杆菌的土壤中,施用 0.5% 的硫磺使自养硫代硫酸盐氧化细菌增加 10^4 倍, Lee 等^[17] 也指出,在未施过硫磺的土壤中硫杆菌数量很低,但这些杆菌对硫磺的反应很快,可以增加 $10^6 \sim 10^7$ 倍;林葆等^[18] 研究影响硫磺在土壤中的氧化因素时也指出,施用硫磺有时可增加某些自养和异养硫氧化微生物的数量,提高土壤氧化能力,但即使以后不再施用硫磺,这些增加的硫氧化微生物也能存活很长时间.说明硫磺粉施用量会影响土壤微生物及数量,这也可能是促使土壤酶活性提高的一个很重要原因.当硫磺粉施入量超过 2.5 kg/m^3 时,磷酸酶和脲酶会降低,可能是过多的硫磺粉使土壤 pH 迅速下降,超过了土壤对酸的缓冲能力,使土壤环境恶化.徐冬梅等^[16] 的研究也说明了这一点.

在栽培越橘的土壤中施用硫磺粉,降低了土壤 pH,满足了越橘生长的酸性土壤条件,同时由于硫磺的加入,改善了土壤的环境条件,促进了土壤酶活性的提高.随着土壤施 S 量的增加,越橘根域土壤酶活性均表现先升高后降低的变化规律,加入 1.5 和 2.0 kg/m^3 硫的处理,各种酶活性高.不同施 S 量处理脲酶、磷酸酶、蛋白酶活性总体变化趋势是根际大于非根际, CAT 活性非根际大于根际,高峰均出现在生长前期.

参考文献:

- [1] 李亚东,吴林,张志东.越橘(蓝莓)栽培与加工利用[M].长春:吉林科学技术出版社,2001:2-6.
- [2] 李亚东,吴林,刘洪章,等.越橘果实中营养成分分析[J].北方园艺,1996(3):22-23.
- [3] HAYNES R J, SWIFT R S. Growth and nutrient uptake by

highbush blueberry plants in a peat medium as influenced by pH, applied micronutrients and mycorrhizal inoculation [J]. Sci Hortic, 1985, 27: 285-294.

- [4] HAYNES R J, SWIFT R S. Effect of soil amendments and sawdust mulching on growth, yield and leaf nutrient content of highbush blueberry plants [J]. Sci Hortic, 1986, 29: 229-238.
- [5] SPIERS J M. Soil: Applied sulfur affects elemental leaf content and growth of 'Tifblue' rabbiteye blueberry [J]. J Amer Soc Hort Sci, 1992, 117(2): 230-233.
- [6] 李亚东,吴林,孙晓秋,等.施硫对土壤 pH、越橘树体生长营养的影响[J].吉林农业大学学报,1995,17(2): 49-53.
- [7] 唐雪东,李亚东,吴林,等.土壤施硫对越橘生长发育的影响[J].东北农业大学学报,2004,35(5):553-560.
- [8] 唐雪东,李亚东,吴林,等.黑土施用有机物料和硫磺粉对越橘生长的影响[J].吉林农业大学学报,2003,25(2):179-182.
- [9] 周礼恺.土壤酶活性在评价土壤肥力总体水平中的作用[J].土壤学报,1983,20(4):413-417.
- [10] 关松荫.土壤酶及其研究方法[M].北京:农业出版社,1986:3-25.
- [11] 沈宏,曹志洪,徐本生.玉米生长期间土壤微生物量与土壤酶变化及其相关性研究[J].应用生态报,1999,10(4):471-474.
- [12] 周礼恺.土壤酶学[M].北京:科学出版社,1987:129-190.
- [13] KUPREVIEH V E. Comparative enzymatic activity in diverse types of soil [M]. New York: Soil Bio, 1971: 156-185.
- [14] 沈同,王镜岩.生物化学[M].北京:高等教育出版社,1990:35-40.
- [15] 徐冬梅,刘广深,许中坚,等.模拟酸雨对土壤酸性磷酸酶活性的影响及机理[J].中国环境科学,2003,23(2): 176-179.
- [16] LAWRENCE J R, GERMIDA J. Enumeration of sulfur: Oxidizing populations in Saskatchewan agricultural soils [J]. Can J Soil Sci, 1991, 71(1): 127-136.
- [17] LEE A, BOSWELL C C, WATKINSON J H. Effect of particle size on the oxidation of elemental sulphur [J]. Agric Res, 1988, 31: 179-186.
- [18] 林葆,李书田,周卫.影响硫磺在土壤中氧化的因素[J].土壤肥料,2000(5):3-8.

【责任编辑 周志红】