

李春龙, 韩春梅, 叶少平, 等. 外源化感物质阿魏酸对紫云英幼苗生长、根际土壤酶活性、微生物数量及土壤养分的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(4): 134–137.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.04.042

外源化感物质阿魏酸对紫云英幼苗生长、根际土壤酶活性、微生物数量及土壤养分的影响

李春龙¹, 韩春梅¹, 叶少平¹, 张新全²

(1. 成都农业科技职业学院现代农业分院, 四川成都 611130; 2. 四川农业大学动物科技学院, 四川成都 611130)

摘要:以紫云英为受试植物, 研究不同浓度外源化感物质阿魏酸(10^{-7} 、 10^{-6} 、 10^{-5} 、 10^{-4} 、 10^{-3} mol/L)对紫云英幼苗形态、根际土壤的微生物数量、土壤酶活性以及土壤养分含量的影响。结果表明:阿魏酸对紫云英幼苗生长的形态指标均表现出“低浓度促进、高浓度抑制”的效应;随着阿魏酸浓度的增加, 5 种所测土壤酶活性全部呈下降趋势, 所有微生物数量均呈递减趋势, 土壤中的有机质含量、有效磷含量、速效钾含量和铵态氮含量均呈递减的趋势, 而硝态氮则呈递增的趋势;并且土壤酶与土壤微生物数量均呈极显著正相关;土壤酶活性、细菌、真菌及放线菌数量与土壤有机质、有效磷、速效钾及铵态氮含量均呈极显著正相关;而硝态氮含量则与土壤酶活性、细菌、真菌及放线菌数量呈极显著负相关。

关键词:化感物质;阿魏酸;紫云英;幼苗生长;土壤酶;土壤微生物;土壤养分

中图分类号: S541⁺.301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)04-0134-03

紫云英(*Astragalus sinicus* L.) 别称翘摇、红花草草子, 为豆科黄芪属二年生草本植物。紫云英原产中国, 主要用作绿肥, 也是一种优质的豆科牧草、蜜源作物和观赏植物, 根、种子及全草又可入药, 有祛风明目、健脾益气、解毒止痛之效^[1]。紫云英可作为饲草料青饲或调制干草, 适口性好, 各类家畜均喜食, 而且营养价值高, 可作为家畜的优质青绿饲料和蛋白质补充饲料, 喂猪效果更好。每年可收割 2~3 次, 在播种量为 30 kg/hm² 的情况下, 鲜草产量最高为 2.7 万 kg/hm²^[2]。在种植紫云英牧草的生产实践中发现, 紫云英存在连作障碍, 会导致生产力下降。

阿魏酸属于化感物质酚类物质及其衍生物类物质。化感物质进入土壤后, 植物根际微生态系统将发生复杂的变化^[3]。而有关外源纯化感物质对土壤酶活性、土壤养分和微生物数量影响的相关研究相对较少。目前, 有关阿魏酸对紫云英化感作用的研究尚未见报道。因此, 本试验研究不同浓度化感物质阿魏酸对紫云英幼苗形态指标、根际土微生物数量、土壤酶活性及土壤养分含量的影响, 旨在揭示紫云英根际微生物区系和土壤酶活性的变化规律, 为解决紫云英连作障碍及地力衰退等问题以及制定科学管理措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

化感物质阿魏酸购于 Sigma 公司, 受试植物紫云英种子购于四川省农业科学院。

1.2 阿魏酸处理液的配制

将阿魏酸用蒸馏水溶于容量瓶中, 配成 10^{-3} mol/L 的母液, 然后将母液分别稀释成 10^{-4} 、 10^{-5} 、 10^{-6} 、 10^{-7} mol/L 的溶液^[4]。试验时即用即配, 用蒸馏水作为对照处理。

1.3 试验设计

2013 年 4 月上旬取盆培土(土壤取自成都农业科技职业学院校外实训基地), 取回后先过 2 遍 2 cm 筛, 筛去较大的石块及粗枝等, 再过细筛, 用 350 g 45% 敌磺钠可湿性粉剂进行土壤消毒处理, 然后将土混匀, 最后随机装盆。每盆土均装至花盆(上口径 28 cm, 深 25 cm)的 2/3 处, 每盆装土 10 kg, 于 2013 年 4 月 15 日播紫云英种子 10 粒。

待紫云英幼苗生长 1 个月后, 于 2013 年 5 月 15 日挑选长势一致的壮苗进行处理。采用不同浓度的阿魏酸(10^{-7} 、 10^{-6} 、 10^{-5} 、 10^{-4} 、 10^{-3} mol/L)溶液 40 mL 浇灌紫云英幼苗, 每个处理重复 4 次, 用等量的蒸馏水处理作为对照(即 0 mol/L)。此后每隔 10 d 浇 40 mL 水浸液处理幼苗, 30 d 后即 2013 年 6 月 15 日测定紫云英幼苗的形态指标, 测定完形态指标用土钻钻取大约 300 g 深度 20 cm 的紫云英幼苗根际土, 轻轻抖动后仍然粘在紫云英幼苗根系上的土壤用于根际微生物数量的测定, 装袋、封口并作好标签, 立即带回实验室进行分析处理^[5]。

1.5 指标测定方法

1.5.1 紫云英形态指标测定方法 紫云英幼苗株高、每株分枝数、幼苗干质量主要用卷尺和电子天平进行测定, 叶面积使

收稿日期: 2015-12-23

基金项目: 国家科技部“973”项目“南方优良饲草选育与分子聚合育种体系的基础研究”(编号: 2007CB108907)。

作者简介: 李春龙(1976—), 男, 内蒙古通辽人, 硕士, 副教授, 高级农艺师, 主要从事饲用作物栽培、特种经济作物栽培、设施农业等教学工作。E-mail: lchl1976@126.com。

通信作者: 张新全。E-mail: zhangxq@sicau.edu.cn。

用便携式活体叶面积仪(型号:YMJ1)进行测定。

1.5.2 土壤酶活性测定方法 各土壤酶活性的测定均参照关松荫的方法^[6]。土壤反硝化酶活性采用硝态氮剩余量法;纤维素酶活性采用硝基水杨酸比色法;蛋白酶、蔗糖酶、多酚氧化酶活性采用比色法。

1.5.3 土壤微生物分析 土壤微生物采用平板涂沫法^[7]测定,细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌采用马丁氏培养基,放线菌采用改良的高氏一号培养基。

1.5.4 土壤养分分析 土壤养分按照土壤农业化学分析方法^[8]进行测定。

1.6 数据处理

采用 SPSS 12.0 统计软件进行单因素方差、LSD 和相关性分析($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 外源化感物质阿魏酸对紫云英幼苗形态指标的影响

由表 1 可以看出,与对照相比,低浓度的阿魏酸(10^{-7} mol/L)促进了紫云英幼苗的 4 个形态指标,其中,株高较对照显著提高了 9.93%,叶面积较对照显著增加了 16.79%;而每株分枝数、幼苗干质量与对照差异不显著。随后,随着阿魏酸浓度的增加,紫云英幼苗的 4 个形态指标均不同程度地受到抑制。其中, 10^{-4} mol/L 阿魏酸处理下的紫云英幼苗每株分枝数较对照显著受到抑制,较对照减少了 20.00%;而株高、叶面积和幼苗干质量均在阿魏酸浓度达到 10^{-6} mol/L 时就显著受到抑制,分别较对照减少了 14.18%、

表 1 不同阿魏酸浓度对紫云英幼苗形态指标的影响

阿魏酸浓度 (mol/L)	形态指标			
	株高 (cm)	分枝数 (个/株)	叶面积 (mm ²)	幼苗干质量 (mg)
CK(0)	14.1 ± 0.3b	10 ± 0a	122.70 ± 2.73b	78.43 ± 2.98a
10^{-7}	15.5 ± 0.5a	11 ± 0a	143.30 ± 3.01a	83.03 ± 0.78a
10^{-6}	12.1 ± 0.3c	10 ± 0a	101.13 ± 6.33c	67.77 ± 3.01b
10^{-5}	11.6 ± 0.1c	9 ± 0a	89.17 ± 1.85d	58.53 ± 0.52c
10^{-4}	10.1 ± 0.2d	8 ± 0b	67.37 ± 1.89e	40.33 ± 5.15d
10^{-3}	8.7 ± 0.4e	5 ± 0c	62.43 ± 0.67e	24.67 ± 2.09e

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

17.58%和 13.59%。

2.2 外源化感物质阿魏酸对紫云英幼苗根际土壤酶的影响

不同浓度的外源化感物质阿魏酸对所测定的 5 种紫云英幼苗根际土壤酶活性均产生了不同程度的影响,所有土壤酶活性均有随着外源化感物质阿魏酸浓度的增加而呈递减的趋势(表 2)。当阿魏酸浓度仅为 10^{-7} mol/L 时,反硝化酶和纤维素酶活性较对照显著受到抑制,分别较对照降低了 24.78%和 14.94%;多酚氧化酶活性在阿魏酸浓度达到 10^{-6} mol/L 时较对照显著受到抑制,降低了 12.07%;蔗糖酶活性在阿魏酸浓度达到 10^{-5} mol/L 时较对照显著受到抑制,降低了 14.15%;而蛋白酶活性在阿魏酸浓度最大 10^{-3} mol/L 时才较对照显著受到抑制,降低了 21.33%。

表 2 不同阿魏酸浓度对紫云英苗期根际土壤酶活性的影响

阿魏酸浓度 (mol/L)	反硝化酶[$\text{NH}_3 - \text{N}$, mg/(g · 24 h)]	蛋白酶[氨基酸, mg/(g · 24 h)]	蔗糖酶[葡萄糖, mg/(g · 24 h)]	多酚氧化酶[没食子酸, mg/(g · 2 h)]	纤维素酶[葡萄糖, mg/(g · 24 h)]
CK(0)	4.60 ± 0.11a	0.75 ± 0.04a	4.10 ± 0.06a	0.174 ± 0.006a	0.87 ± 0.06a
10^{-7}	3.46 ± 0.40b	0.73 ± 0.02a	3.97 ± 0.01a	0.162 ± 0.005ab	0.74 ± 0.01b
10^{-6}	2.88 ± 0.18c	0.71 ± 0.04a	3.81 ± 0.07ab	0.153 ± 0.011bc	0.51 ± 0.01c
10^{-5}	2.54 ± 0.04c	0.69 ± 0.01ab	3.52 ± 0.21bc	0.140 ± 0.005cd	0.45 ± 0.01c
10^{-4}	1.84 ± 0.05d	0.65 ± 0.02ab	3.38 ± 0.13c	0.136 ± 0.003cd	0.30 ± 0.03d
10^{-3}	1.15 ± 0.03e	0.59 ± 0.06b	2.51 ± 0.04d	0.125 ± 0.003d	0.23 ± 0.02d

2.3 外源化感物质阿魏酸对紫云英幼苗根际微生物的影响

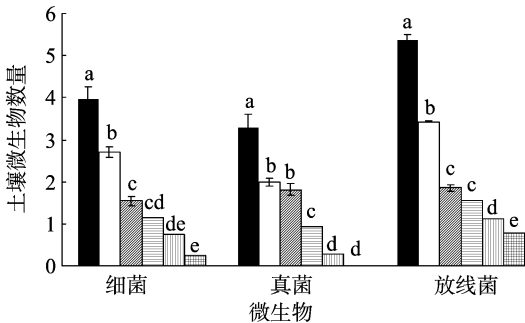
由图 1 可知,不同浓度的阿魏酸不同程度地影响了土壤中的细菌、真菌和放线菌的数量,随着阿魏酸浓度的增加,紫云英幼苗根际土壤中细菌、真菌和放线菌的数量均呈减少的趋势。

与对照相比,阿魏酸浓度在 10^{-7} mol/L 时,细菌数量、真菌数量、放线菌数量分别显著降低了 31.74%、39.82%和 36.13%。并且,当阿魏酸浓度达到最大 10^{-3} mol/L 时,紫云英幼苗根际土壤内真菌的数量为零。

2.4 外源化感物质阿魏酸对紫云英幼苗根际土壤养分的影响

随着阿魏酸浓度的增加,紫云英幼苗根际土壤中的有机质含量、有效磷含量、速效钾含量和铵态氮含量均呈递减的趋势,而硝态氮则呈递增的趋势(表 3)。

有机质含量在阿魏酸浓度达到 10^{-5} mol/L 时才与对照达到显著性差异水平,较对照降低了 4.98%;而有效磷含量则在阿魏酸浓度最低 10^{-7} mol/L 时就与对照达到了显著性



细菌、真菌和放线菌数量单位分别为 $\times 10^6$ 、 $\times 10^4$ 、 $\times 10^4$ 个/g干土,图中横条表示标准误,图中横坐标从左到右表示阿魏酸浓度依次为 0 、 10^{-7} 、 10^{-6} 、 10^{-5} 、 10^{-3} mol/L,图中标小写字母表示进行LSD多重比较时在 $\alpha=0.05$ 水平上的差异显著性,同一小格内具不同字母表示差异显著。

图1 不同阿魏酸浓度对紫云英幼苗根际土壤微生物的影响

差异水平,较对照降低了 8.10%;速效钾和铵态氮分别在阿魏酸浓度达到 10^{-5} mol/L 和 10^{-6} mol/L 时与对照达到显著性差异水平,分别较对照降低了 4.42%和 7.00%;而阿魏酸

表 3 不同阿魏酸浓度对紫云英苗期根际土壤养分的影响

阿魏酸浓度 (mol/L)	有机质 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	铵态氮 (mg/kg)	硝态氮 (mg/kg)
CK(0)	54.2 ± 0.2a	12.22 ± 0.26a	109.73 ± 1.67a	201.52 ± 5.19a	124.42 ± 8.22e
10 ⁻⁷	53.4 ± 0.5ab	11.23 ± 0.14b	107.64 ± 0.61ab	193.05 ± 3.36ab	143.01 ± 5.79d
10 ⁻⁶	52.6 ± 0.0ab	11.17 ± 0.34b	106.48 ± 1.02ab	187.41 ± 3.75c	161.39 ± 3.46cd
10 ⁻⁵	51.5 ± 0.9b	10.79 ± 0.27bc	104.88 ± 0.20bc	170.30 ± 5.88d	176.92 ± 4.43c
10 ⁻⁴	48.3 ± 0.8c	10.55 ± 0.1bc	101.90 ± 1.48cd	145.46 ± 4.40e	189.05 ± 1.99b
10 ⁻³	38.7 ± 1.2d	10.13 ± 0.35c	99.78 ± 0.41d	134.85 ± 2.82f	210.08 ± 6.17a

注:表中数值为平均值 ± 标准差($n=3$),数值后的字母表示进行 LSD 多重比较时在 $\alpha=0.05$ 水平上的差异显著性,同一列中具不同字母表示差异显著。

浓度在 10^{-7} mol/L 时就较对照显著增加了土壤中硝态氮的含量,较对照增加了 14.94%,当阿魏酸浓度达到最大 10^{-3} mol/L 时,土壤中硝态氮的含量为对照的 1.69 倍。

2.5 阿魏酸处理下紫云英幼苗根际土壤微生物数量与土壤酶活性的相关关系

由表 4 可知,土壤酶均与土壤微生物数量呈极显著正相关关系。其中,反硝化酶与真菌的相关系数最大,为 0.957。

表 4 土壤微生物数量与土壤酶活性的相关关系

微生物	相关系数				
	反硝化酶	蛋白酶	蔗糖酶	多酚氧化酶	纤维素酶
细菌	0.905 **	0.637 **	0.775 **	0.833 **	0.946 **
真菌	0.957 **	0.695 **	0.813 **	0.839 **	0.940 **
放线菌	0.932 **	0.638 **	0.728 **	0.834 **	0.940 **

注:“**”表示在 0.01 水平上显著相关;“*”表示在 0.05 水平上显著相关。

2.6 阿魏酸处理下土壤酶、土壤微生物数量与土壤养分含量的相互关系

阿魏酸处理后的紫云英幼苗根际土壤酶、微生物数量与养分含量存在相关关系(表 5)。土壤酶活性、细菌、真菌及放线菌数量与土壤有机质、有效磷、速效钾及铵态氮含量均呈极显著正相关;而硝态氮含量则与土壤酶活性、细菌、真菌及放线菌数量呈极显著负相关。

表 5 土壤酶、土壤微生物数量与土壤养分含量的相关关系

土壤因子	相关系数				
	有机质	有效磷	速效钾	铵态氮	硝态氮
反硝化酶	0.808 **	0.865 **	0.854 **	0.909 **	-0.920 **
蛋白酶	0.740 **	0.627 **	0.758 **	0.709 **	-0.611 **
蔗糖酶	0.928 **	0.713 **	0.828 **	0.910 **	-0.873 **
多酚氧化酶	0.728 **	0.748 **	0.733 **	0.864 **	-0.866 **
纤维素酶	0.771 **	0.808 **	0.815 **	0.919 **	-0.967 **
细菌	0.717 **	0.815 **	0.853 **	0.860 **	-0.917 **
真菌	0.759 **	0.850 **	0.876 **	0.902 **	-0.931 **
放线菌	0.642 **	0.836 **	0.814 **	0.799 **	-0.900 **

注:“**”表示在 0.01 水平上显著相关;“*”表示在 0.05 水平上显著相关。

3 结论与讨论

3.1 外源化感物质阿魏酸对紫云英幼苗形态指标的影响

阿魏酸对紫云英幼苗生长的形态指标均表现出“低浓度促进、高浓度抑制”的效应。这一研究结果与叶文斌等的研究结果^[9]相一致,只是阿魏酸所设置的浓度有所不同而已。

3.2 外源化感物质阿魏酸对紫云英幼苗根际土壤酶的影响

阿魏酸对土壤反硝化酶活性和纤维素酶活性的抑制作用最强(表 2),原因是在阿魏酸浓度最低的时候就较对照显著抑制了其活性,这一研究结果与黄益宗等的研究结果^[10]一致。阿魏酸对其他 3 种土壤酶也产生了不同程度的影响(表 2),而此结果与李春龙的研究结果^[11]恰恰相反,可能与外源化感物质的种类、受试植物的种类不同有关。

3.3 外源化感物质阿魏酸对紫云英幼苗根际微生物的影响

随着阿魏酸浓度的增加,其幼苗根际细菌、真菌和放线菌的数量均呈递减的趋势,并且低浓度的阿魏酸就已经显著地抑制了土壤微生物的数量(图 1)。说明阿魏酸引起了紫云英根际微生物区系组成的定向改变,破坏了根际微生物的平衡。这一研究结果与周宝利等的研究结果^[12]有所不同,研究发现棕榈酸降低了茄子根际土壤中真菌的数量及其组成比例,增加了茄子根际土壤中细菌和放线菌的数量及其组成比例,这可能归因于化感物质和受试植物的种类不同。

3.4 外源化感物质阿魏酸对紫云英幼苗根际土壤养分的影响

本研究表明随着阿魏酸浓度的增加,土壤中有机质的含量、土壤有效磷含量、速效钾含量和铵态氮含量降低了(表 3)。这一结果与李春龙的研究结果^[11]相一致,可能归于阿魏酸起始浓度设置得太高,直接降低了土壤中某些养分的含量。此外,随阿魏酸浓度的增加显著加剧了土壤中硝态氮含量的积累(表 3)。表明阿魏酸抑制了 NO_3^- 向 NH_4^+ 的转化,这可能与土壤含水量饱和有关^[13]。

3.5 阿魏酸处理下紫云英幼苗根际土壤微生物、土壤酶、土壤养分的相关关系

本研究表明阿魏酸处理下,紫云英幼苗根际土壤酶均与土壤微生物数量呈极显著正相关关系(表 4);土壤酶活性、细菌、真菌及放线菌数量与土壤有机质、有效磷、速效钾及铵态氮含量均呈极显著正相关;而硝态氮含量则与土壤酶活性、细菌、真菌及放线菌数量呈极显著负相关(表 5)。这说明外源化感物质阿魏酸的处理影响了紫云英的生长过程,改变了土壤微生物区系,进而影响土壤酶活性和土壤养分的有效性,使得土壤环境条件向着不利于紫云英植株的生长方向演变。同时也证实了 Aon 和 Colaneri 的理论即特定的土壤酶活性与细菌、真菌等类群密切相关^[14]。

参考文献:

[1] 崔楠. 紫云英作为奶牛饲料的价值与利用[J]. 中国畜禽种

余先纯,王向军. 柚皮黄酮的提取工艺及红外光谱分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(4):137-139.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.04.043

柚皮黄酮的提取工艺及红外光谱分析

余先纯¹,王向军²

(1. 中南林业科技大学材料科学与工程学院,湖南长沙 410004; 2. 江门市蓬江区文森装饰材料有限公司,广东江门 529000)

摘要:采用微波联合酶法提取柚皮黄酮,探讨了微波功率、微波处理时间、酶解温度、酶液用量、酶解时间和缓冲液 pH 值对黄酮提取率的影响,并通过正交试验对提取工艺进行优化。红外光谱分析显示,提取物为典型的黄酮类化合物。正交试验结果表明,在微波功率 350 W、微波处理时间 10 min、酶解时间 90 min、酶液用量 0.9% (m/m)、酶提取温度 55 ℃ 和缓冲液 pH 值 4.5 的条件下,黄酮的提取率可达到 5.93%。

关键词:柚皮黄酮;微波处理;酶法;红外光谱

中图分类号: TS201.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)04-0137-03

柚皮是丰富廉价的果实废弃物,其中除了含有丰富的芳香油、果胶、色素外,还有经济价值很高的橙皮苷、柚皮苷、新橙皮苷等生物类黄酮物质^[1],柚皮中的黄酮具有抗氧化、抗菌、抗突变、抗肿瘤等多种作用,广泛用于医药、食品及美容等行业^[2]。传统的提取方法多为溶剂提取法,但提取时间长、产品活性及纯度低。而酶法提取技术与微波联合提取法在许多方面发挥着独特的优势。其中酶法提取条件温和、能耗低、无污染^[3],但提取速度慢。微波辅助提取是利用微波场的特性和优点来强化天然产物有效物质浸出的提取方法。它具有提取效率高、消耗溶剂少、提取时间短等优点^[4]。因此,采用微波联合酶法提取技术,可以在低温环境下加速胞内物质溶出,节省提取时间、加快反应速率和提高产率。

目前,关于利用微波联合酶法提取柚皮黄酮的研究报道

还不多见。本研究以柚皮为原料,采用微波联合酶法联用技术提取柚皮黄酮,并利用正交试验对提取工艺进行优化,以获取最佳的提取工艺。

1 材料与方法

1.1 材料

柚皮从水果市场购得;纤维素酶,诺维信(中国)生物技术有限公司;芸香苷标准样品(美国 Sigma 公司);无水乙醇、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠等均为分析纯。

FH102 微型植物试样粉碎机(湖北省黄骅市齐家务科学仪器厂);SHZ-82 数显水浴恒温振荡器(江苏科兴电器有限公司);MAS-II 型常压微波合成/萃取反应工作站(上海新仪微波化学科技有限公司);傅立叶变换红外光谱仪(Varian 2000,中国)。

1.2 方法

1.2.1 柚皮预处理 用蒸馏水将柚皮洗净后放入鼓风干燥箱,在 80 ℃ 恒温干燥 3 h,再用微型植物试样粉碎机破碎至 60 目。取柚皮粉末 3.0 g,按 1:18 的料液比后置于常压微波合成/萃取反应工作站,在设定的功率下处理一段时间后冷却至 40 ℃,得到预处理液。

收稿日期:2015-12-15

基金项目:湖南省科技计划(编号:2013GK3184)。

作者简介:余先纯(1969—),女,湖南岳阳人,硕士,教授,研究方向为生物质材料综合利用。E-mail:sdlyxc@163.com。

通信作者:王向军,工程师,研究方向为化学工程。E-mail:jmwjxj@163.com。

业,2012,8(12):81-83.

[2]石敏,周元福,李树林,等. 紫云英不同播种量对鲜草产量的影响[J]. 耕作与栽培,2012(4):34.

[3]胡开辉,罗庆国,汪世华,等. 化感水稻根际微生物类群及酶活性变化[J]. 应用生态学报,2006,17(6):1060-1064.

[4]宋亮,潘开文,王进闯,等. 酚酸类物质对苜蓿种子萌发及抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学报,2006,26(10):3393-3403.

[5]韩春梅,李春龙,叶少平,等. 生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤酶活性、生物群落结构及土壤养分的影响[J]. 生态学报,2012,32(2):489-498.

[6]关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京:中国农业出版社,1983.

[7]Visser S, Parkinson D. Soil biological criteria as indicators of soil quality: soil microorganisms[J]. American Journal of Alternative Agriculture,1992,7(1):33-37.

[8]劳家桢. 土壤农化分析手册[M]. 北京:农业出版社,1988.

[9]叶文斌,樊亮,负汉伯. 阿魏酸对道地中药材纹党的化感作用研究[J]. 中国农学通报,2012,28(31):231-236.

[10]黄益宗,冯宗炜,张福珠. 化感物质对土壤硝化反应影响的研究[J]. 土壤与环境,1999,8(3):203-207.

[11]李春龙. 外源化感物质香草酸对辣椒幼苗土壤酶活性及土壤养分含量的影响[J]. 中国蔬菜,2009(20):46-49.

[12]周宝利,韩琳,尹玉玲,等. 化感物质棕榈酸对茄子根际土壤微生物组成及微生物量的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2010,41(3):275-278.

[13]刘秀芬. 化感物质对土壤硝化作用的影响[J]. 中国生态农业学报,2002,10(2):60-62.

[14]Aon M A, Colaneri A C. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil[J]. Applied Soil Ecology,2001,18(3):255-270.