

外源性脱落酸对玄参幼苗耐盐碱能力的影响研究^Δ

王建安^{1*}, 付英杰¹, 王荣华², 李艳芝¹, 王欣¹ (1. 济宁医学院药学院, 山东日照 276826; 2. 日照职业技术学院, 山东日照 276826)

中图分类号 R931.2; Q945.78 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2017)04-0573-04

DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2017.04.39

摘要 目的: 研究外源性脱落酸(ABA)对玄参幼苗耐盐碱能力的影响, 为在盐碱地种植玄参提供理论依据。方法: 50株玄参幼苗分为对照组、盐碱组(75 mmol/L)和盐碱(75 mmol/L)+ ABA低、中、高浓度组(10、50、100 μmol/L), 每组10株。移栽20 d起, 每4 d干预1次, 2周后测定各组植株生长指标(茎高、鲜质量、干质量、存活率)、生理指标[叶绿素、可溶性糖(SS)、可溶性蛋白(SP)和游离脯氨酸(Pro)含量]、丙二醛(MDA)和过氧化氢(H₂O₂)含量、抗氧化酶活性[超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽还原酶(GR)活性]、茎和根中Na⁺和K⁺含量。结果: 与对照组比较, 盐碱组玄参幼苗茎高、存活率、SP、茎中Na⁺和K⁺、根中Na⁺含量和CAT、GR活性显著降低, 叶绿素、Pro、MDA、H₂O₂、根中K⁺含量和SOD、POD活性显著升高(P<0.05或P<0.01)。与盐碱组比较, 盐碱+ABA中浓度组玄参幼苗茎高、鲜质量、叶绿素含量显著增加, MDA、茎中Na⁺含量显著降低; 低、中浓度组干质量、SS、SP含量和SOD、CAT活性, 高浓度组SS含量显著增加; 高浓度组茎高、干质量显著降低; 低、高浓度组Pro含量显著降低; 低、中、高浓度组H₂O₂、根中Na⁺含量显著降低, GR活性、茎和根中K⁺含量显著升高; 中、高浓度组POD活性显著降低。结论: 施加一定浓度的外源性ABA可有效提高玄参幼苗耐盐碱的能力, 增强植株对盐碱环境的适应能力。

关键词 玄参; 盐碱胁迫; 外源性脱落酸; 生长指标; 抗氧化酶

毒、利湿、去积等作用, 广东凉茶的概念自此也呼之欲出, 上述草药也多被应用于当今广东凉茶制作当中。

3 结语

在《生草药性备要》问世之前, 历代医家对鲜药不乏应用和研究。在我国最早的医籍《五十二病方》中, 鲜药应用就有记载, 此后《金匱要略》《肘后备急方》《千金要方》《太平圣惠方》等著作中都有鲜药的应用记载, 而随着温病学说的形成和发展, 鲜药功效有别于干品的认识更加清晰, 促进了鲜药进一步发展^[6]。在岭南鲜药应用方面, 东晋葛洪作了许多开创性工作, 其《肘后备急方》收载药物439种, 鲜药加工和应用方面也表现出多样化特点^[7]。但《生草药性备要》问世之前的历史阶段, 鲜药应用始终以常用中药为主, 且多与其他药物配伍使用。而《生草药性备要》作为我国第一部地方性草药专著, 几乎所有草药均为鲜药(且多单独使用), 堪称岭南最早的“鲜药应用全书”。

本研究侧重于对《生草药性备要》鲜药加工和使用方法的整体梳理, 仅从药物质地和性能方面对部分加工或使用方法作了浅显分析, 而未能结合具体药物从有效成分、药理作用等方面揭示加工方法和功效发挥之间的必然联系。未来研究的重点一是结合草药基源的考证或再考证(20种以上草药原植物基源尚不清楚, 一些已

^Δ 基金项目: 山东省医药卫生科技发展计划项目(No. 2013WS0333); 济宁医学院重点课题(No. JYZ013KJ007)

* 副教授, 硕士。研究方向: 药用植物资源与活性成分。电话: 0633-2983695。E-mail: anansen@163.com

考证品种结论也尚有商榷之处), 应用原植物化学、药理研究成果分析加工和使用方法的科学性; 二是逐步开展鲜药加工方法对其有效成分量变的影响和使用方法对药理指标的影响等方面的实验研究, 从而阐述鲜药加工和使用方法的机制。此外, 鉴于目前传统技术面临外流、失传和被淡化的窘境, 应将传统炮制技术与现代科技有机融合形成知识产权, 从而对我国中药传统技术起到保护和发扬的作用^[8]。

参考文献

- [1] 孔祥华, 刘小斌, 裴芳利. 岭南中草药文献著作简析[J]. 广州中医药大学学报, 2010, 27(3): 291-296.
- [2] 靳士英, 靳朴. 岭南医药启示录: 八[J]. 现代医院, 2007, 7(8): 77-81.
- [3] 清·何克廉. 生草药性备要: 影印本[M]. 广州: 广东科技出版社, 2009: 影印说明.
- [4] 朱晓光. 岭南本草古籍三种[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1999: 21-56.
- [5] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草: 第18卷[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 460-463, 598.
- [6] 郝近大. 鲜药发展的历史沿革[J]. 首都医药, 2009(21): 42-44.
- [7] 陈小露, 梅全喜. 《肘后备急方》之鲜药应用探讨[J]. 中药材, 2014, 37(7): 1294-1298.
- [8] 严家秀, 申俊龙, 沈夕坤. 知识产权视角下我国中药传统炮制技术的传承[J]. 中国药房, 2016, 27(13): 1729-1732.

(收稿日期: 2016-06-08 修回日期: 2016-09-09)

(编辑: 余庆华)

Study on the Effects of Exogenous Abscisic Acid on Salt-alkali Tolerance of *Scrophularia ningpoensis* Seedlings

WANG Jian'an¹, FU Yingjie¹, WANG Ronghua², LI Yanzhi¹, WANG Xin¹ (1. College of Pharmaceutical Science, Jining Medical University, Shandong Rizhao 276826, China; 2. Rizhao Polytechnic, Shandong Rizhao 276826, China)

ABSTRACT OBJECTIVE: To study the effects of exogenous abscisic acid (ABA) on salt-alkali tolerance of *Scrophularia ningpoensis* seedlings, and to provide theoretic evidence for cultivating *S. ningpoensis* in salt-alkali soil. METHODS: 50 *S. ningpoensis* seedlings were divided into control group, salt-alkali group (75 mmol/L), salt-alkali (75 mmol/L)+ABA low-concentration, medium-concentration and high-concentration groups (10, 50, 100 μmol/L), with 10 plants in each group. 20 days after transplanting, the plants were sprayed with drugs every 4 days. Growth indexes of the plants (length of stem, fresh weight, dry weight, survival rate), physiological indexes [the contents of chlorophyll, soluble sugar (SS), soluble protein (SP) and free proline (Pro)], the contents of MDA and H₂O₂, the activities of antioxidase [the activities of SOD, POD, CAT, GR] and the contents of Na⁺ and K⁺ in stem and root were determined in each group 2 weeks later. RESULTS: Compared with control group, stem height and survival rate of *S. ningpoensis* seedlings, SP, the contents of Na⁺ and K⁺ in the stem, the contents of Na⁺, CAT and GR in the roots were all decreased significantly in salt-alkali group; while chlorophyll, Pro, MDA and H₂O₂ contents, the content of K⁺ in the roots and the activities of SOD and POD were all increased significantly ($P < 0.05$ or $P < 0.01$). Compared with salt-alkali group, stem height of *S. ningpoensis* seedlings, fresh weight and chlorophyll content were increased significantly in salt-alkali+ABA medium-concentration group, while MDA and the content of Na⁺ in the stem were decreased significantly; dry weight, the contents of SS and SP, the activities of SOD and CAT were increased significantly in salt-alkali+ABA low-concentration and medium-concentration groups, while the SS content was increased in salt-alkali+ABA high-concentration group; stem height and dry weight were decreased significantly in salt-alkali + ABA high-concentration group; Pro content of salt-alkali + ABA low-concentration and high-concentration groups were decreased significantly; H₂O₂, Na⁺ content in the roots were decreased significantly in salt-alkali+ABA low-concentration, medium-concentration and high-concentration groups; while GR activity, K⁺ content in the stem and roots were increased significantly; POD activity were decreased significantly in salt-alkali+ABA medium-concentration and high-concentration groups. CONCLUSIONS: The addition of a certain concentration of exogenous ABA can effectively increase salt-alkali tolerance of *S. ningpoensis* seedlings and strengthen the ability of the plant adapting to salt-alkali environment.

KEYWORDS *Scrophularia ningpoensis*; Salt-alkali stress; Exogenous abscisic acid; Growth indexes; Antioxidase

目前,我国土壤盐碱化问题严重^[1]。植物在此逆境下,会面临高pH、渗透胁迫和营养失衡等多重伤害而影响其生长代谢,给全球农牧业造成了严重危害。如何利用和治理盐碱化土壤一直是各国学者关注的问题。脱落酸(ABA)是一类存在于植物体内的内源性倍半萜类激素,在干旱、水涝、盐渍等环境下可作为信号分子,促进植物的叶片气孔关闭、降低蒸腾作用、促进根对水的输导。此外,ABA在逆境下还可增强某些植物保护酶活性,以保护植物膜透性免遭破坏^[2]。玄参(*Scrophularia ningpoensis*)为我国传统中药之一,具有滋阴降火、凉血解毒之功效。前期研究发现,玄参幼苗对盐、碱有一定的耐受性^[3],但对盐碱混合胁迫的耐受性如何至今尚未见报道。因此,本研究采用盆栽试验,测定外源ABA对盐碱混合胁迫下玄参幼苗的生长和生理指标、抗氧化酶活性变化以及Na⁺、K⁺含量等的影响,为玄参在盐碱地条件下的栽培提供理论依据。

1 材料

1.1 仪器

DL-PNT3000 土壤盐碱度(活度)检测仪(德国 STEPS 公司);UV-2450 紫外-可见分光光度计(日本岛津

公司);AA-6800 原子吸收分光光度计(日本岛津公司)。

1.2 材料与试剂

玄参幼苗(采自浙江省磐安县)于2014年3月底栽植于济宁医学院日照校区药用植物园试验基地中;ABA(上海源叶生物科技有限公司,批号:A25A6L2,纯度:>98%);牛血清白蛋白[生工生物工程(上海)股份有限公司,批号:B67328];Na⁺溶液标准物质[批号:GBW(E)080127,质量浓度:1 000 μg/mL]、K⁺溶液标准物质[批号:GBW(E)080553,质量浓度:1 000 μg/mL]均购自中国计量科学研究院;其他试剂均为分析纯,水为蒸馏水。

2 方法

2.1 药材栽培

本试验设在济宁医学院日照校区中药种植基地进行,前作黄芩。试验田为砂质壤土,土壤(H₂O)pH 6.58,有机质 16.38 mg/g。分别称量 4 kg 上述土壤置于直径 30 cm、高 25 cm 的塑料花盆中(下置托盘以保证盐碱的浓度的稳定),共设 120 盆。

2.2 试验设计

试验采用全因子随机设计,选取生长健壮的种芽栽于花盆中。缓苗期正常管理,每隔 4 d 浇灌 100 mL 含

1/2 大量元素(以下简称 1/2 倍)的霍格兰氏(Hoagland)营养液^[4]。待长至 5 片叶时,选取 10 株长势相同的为一组进行移栽,分别为对照组、盐碱组(75 mmol/L)和盐碱(75 mmol/L)+ABA 低、中、高浓度组(10、50、100 μmol/L)。移栽 20 d 起,对照组植株根部浇灌 1/2 倍 Hoagland 营养液+叶面喷施蒸馏水;盐碱组植株根部浇灌 1/2 倍 Hoagland 营养液+75 mmol/L 盐碱混合溶液(按照文献[5]方法略作调整,称取氯化钠 2.255 g、无水硫酸钠 2.840 g、碳酸氢钠 1.290 g、无水碳酸钠 0.160 g 加水溶解并稀释成 1 000 mL 即得,下同),叶面喷施蒸馏水;盐碱+ ABA 低、中、高浓度组植株根部浇灌 1/2 倍 Hoagland 营养液+75 mmol/L 盐碱溶液,叶面喷施 10、50、100 μmol/L ABA。每 4 d 根部浇灌 1 次,喷施以叶面均匀布满水膜为准,2 周后测定各项试验指标。

2.3 指标测定

2.3.1 生长指标测定 用直尺和游标卡尺(精度均为 1 mm)测量幼苗的茎高。幼苗以去离子水冲净并吸干水分后,分别称地上部分的鲜质量;置于烘箱于 105 ℃ 杀青烘干 20 min 后,在 70 ℃ 下干燥至恒质量,称量其干质量。试验结束时,以植物叶片、茎干枯萎定义为死亡,根据玄参幼苗的死亡情况,计算其存活率。存活率(%)=(总植株数-死亡植株数)/总植株数×100%

2.3.2 生理指标测定 以紫外-可见分光光度法测定叶绿素含量^[6]。分别以茚三酮法^[6]、考马斯亮蓝法^[7]和愈创

硫酸法^[8]测定游离脯氨酸(Pro)、可溶性蛋白(SP)和可溶性糖(SS)等物质的含量。

2.3.3 丙二醛(MDA)和过氧化氢(H₂O₂)含量测定 MDA 含量测定采用硫代巴比妥酸法^[9],H₂O₂ 含量参照文献[10]的方法测定。

2.3.4 抗氧化酶活性测定 采用氮蓝四唑(NBT)法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;采用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性;采用紫外分光光度法测定过氧化氢酶(CAT)活性;按照试剂盒说明书操作测定谷胱甘肽还原酶(GR)活性^[11]。

2.3.5 矿质元素含量测定 以原子吸收光谱法测定茎和根中的 Na⁺、K⁺ 含量^[12]。

2.4 统计学方法

采用 SPSS 17.0 统计软件对所得数据进行分析。所有数据均采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用 Duncan 多重比较。 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

3 结果

3.1 各组玄参幼苗生长指标测定结果

与对照组比较,盐碱组玄参幼苗茎高、存活率显著降低($P < 0.01$);与盐碱组比较,盐碱+ABA 中浓度组玄参幼苗茎高、鲜质量显著增加,低、中浓度组干质量显著增加,但高浓度组茎高、干质量显著降低($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),结果详见表 1。

表 1 各组玄参幼苗生长指标、生理指标,MDA、H₂O₂、Na⁺、K⁺ 含量与抗氧化酶活性测定结果($n=10$)

Tab 1 Results of growth indexes, physiological indexes, contents of MDA, H₂O₂, Na⁺ and K⁺, activities of antioxidantase of *S. ningpoensis* seedlings in each group ($n=10$)

组别	茎高, cm	鲜质量, g/株	干质量, g/株	存活率, %	叶绿素, mg/g	SS, mg/g	SP, mg/g	Pro, mg/g	MDA, μmol/g	H ₂ O ₂ , μmol/g	SOD, U/g	POD, μmol/(mg·min)	CAT, μmol/(mg·min)	GR, μmol/(mg·min)	茎中 Na ⁺ , mg/g	根中 Na ⁺ , mg/g	茎中 K ⁺ , mg/g	根中 K ⁺ , mg/g
对照组	20.37	18.48	7.79	100	16.39	5.32	5.22	168.16	3.22	26.39	71.32	2.8	55.31	0.037	8.29	10.19	15.36	19.36
盐碱组	18.21**	17.63	7.23	68.3**	20.78**	4.91	4.52**	259.95**	6.52**	40.79**	89.65**	5.23**	47.22**	0.028*	16.29**	27.38**	18.16*	17.16*
盐碱+ABA 低浓度组	18.71	18.79	8.17*	78.6	21.76	6.82**	6.82*	221.77*	5.81	21.76**	120.68**	5.65	60.87**	0.039*	15.29	19.29**	21.62**	21.62**
盐碱+ABA 中浓度组	19.32**	20.79**	8.89*	74.3	22.36*	8.08**	7.08**	247.86	4.33**	23.35**	146.89**	4.45*	90.15**	0.055**	13.37*	14.37**	23.52**	27.02**
盐碱+ABA 高浓度组	16.53**	17.12	6.03*	49.2	18.68	7.31**	5.31	210.43**	5.31	28.68**	90.35	3.20**	42.02	0.048**	17.26	20.26**	23.19**	26.39**

注:与对照组比较,* $P < 0.05$,** $P < 0.01$;与盐碱组比较,* $P < 0.05$,** $P < 0.01$

Note: vs. control group,* $P < 0.05$,** $P < 0.01$; vs. salt-alkali group,* $P < 0.05$,** $P < 0.01$

3.2 各组玄参幼苗生理指标测定结果

与对照组比较,盐碱组玄参幼苗叶绿素、Pro 含量显著升高,SP 含量显著降低($P < 0.01$);与盐碱组比较,盐碱+ABA 中浓度组玄参幼苗叶绿素含量显著增加,低、中浓度组 SS、SP 含量与高浓度组 SS 含量显著增加($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),低、高浓度组 Pro 含量显著降低($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),结果详见表 1。

3.3 各组玄参幼苗 MDA 与 H₂O₂ 含量测定结果

与对照组比较,盐碱组玄参幼苗 MDA 与 H₂O₂ 含量显著升高($P < 0.01$);与盐碱组比较,盐碱+ABA 中浓度组玄参幼苗 MDA 含量显著降低,低、中、高浓度组 H₂O₂ 含量显著降低($P < 0.01$),结果详见表 1。

3.4 各组玄参幼苗抗氧化酶活性测定结果

与对照组比较,盐碱组玄参幼苗 SOD、POD 活性显著升高,CAT、GR 活性显著降低($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$);与盐碱组比较,盐碱+ABA 低、中浓度组玄参幼苗 SOD、CAT 活性显著升高,中、高浓度组 POD 活性显著降低,低、中、高浓度组 GR 活性显著升高($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),结果详见表 1。

3.5 各组玄参幼苗中 Na⁺ 和 K⁺ 含量测定结果

与对照组比较,盐碱组玄参幼苗茎中 Na⁺ 和 K⁺、根中 Na⁺ 含量显著升高,根中 K⁺ 含量显著降低($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$);与盐碱组比较,盐碱+ABA 中浓度组玄参幼苗茎中 Na⁺ 含量显著降低,低、中、高浓度组根中 Na⁺ 含量显著降低,茎和根中 K⁺ 含量均显著增加($P < 0.01$),结果详见表 1。

4 讨论

有研究表明,ABA作为一种植物内源激素,可通过关闭气孔、减少根对水分的吸收、修复由活性氧(ROS)对植物造成的伤害等措施提高植物对非生物胁迫环境的耐受性^[1]。

本课题组前期研究表明,低、中、高浓度(10、50、100 μmol/L,下同)ABA可降低玄参幼苗存活率,高浓度ABA可降低幼苗高度与鲜质量。结合本研究结果,表明其可能的机制是逆境激活了ABA合成的信号通路,调节了蒸腾、光合等作用有关^[1]。

有研究显示,逆境可导致植物叶片中叶绿素含量降低,降低了光合速率,减少了同化产物^[13]。本课题组前期研究表明,中浓度ABA可降低植株叶绿素水平,这与ABA促进植物衰老、促使叶绿素水解等功能有关。结合本研究结果,表明ABA可阻止光合色素的氧化降解,在一定程度上缓解了盐碱对玄参幼苗的伤害。

植物在盐碱胁迫下可通过调节Pro、SS、SP等物质的含量来缓解大量盐离子对植物带来的一系列伤害^[4]。本课题组前期研究表明,低、中、高浓度ABA可增加植株SS含量,中、高浓度ABA可增加植株Pro含量,中浓度ABA可增加植株SP含量,这与盐碱胁迫下ABA作用的结果基本一致,在一定程度上增强了玄参幼苗的抗盐碱胁迫的能力。

植物在盐碱胁迫下可产生大量的MDA和H₂O₂^[7],两者会对植物细胞膜造成严重伤害,破坏其结构和生理的正常性和完整性,从而对植物造成严重伤害。本课题组前期研究表明,中、高浓度ABA可增加植株ABA含量,低、中、高浓度ABA可增加H₂O₂含量。当有盐碱胁迫时,ABA则可降低两者含量,进一步增强其抗盐碱胁迫的能力。

一定浓度的外源ABA在一定程度上可以通过提高植物体内抗氧化酶的活性或者激发其基因表达,以此来降低植物在非生物胁迫下ROS物质的伤害,这与本研究前期结果一致。但本研究结果显示,中、高浓度ABA作用下的POD和高浓度ABA作用下的CAT水平有所下降,有待进一步研究证实。

Na⁺和K⁺被认为是植物对抗各种不良环境的指标,盐碱胁迫下适当控制植物吸收Na⁺、K⁺的量,可以有效增加植物的抗性^[14]。本研究结果显示,ABA可以降低玄参幼苗中的Na⁺浓度,提高K⁺浓度,缓解盐碱胁迫对玄参幼苗的伤害。

Etehadnia M等^[15]报道ABA施用的次数以及施用时间可影响对植物盐碱胁迫的耐受性,因此今后还需考察施用频次与施用的浓度对玄参适应盐碱胁迫的影响,探求较合适的施用时间、施用次数。

综上所述,一定浓度的外源ABA可有效缓解盐碱

胁迫下对玄参幼苗的伤害,提高其生存能力,对今后合理利用盐碱地进行草药栽培及后期管理具有借鉴意义。

参考文献

- [1] Chen XL, Kang YH, Wan SQ, *et al.* Chinese rose (*Rosa chinensis*) cultivation in Bohai Bay, China, using an improved drip irrigation method to reclaim heavy coastal saline soils[J]. *Agr Water Manage*, 2015, 158:99-111.
- [2] Etxeberria U, Fernández-Quintela A, Milagro F, *et al.* Impact of polyphenols and polyphenol-rich dietary sources on gut microbiota composition[J]. *J Agr Food Chem*, 2013, 61(40):9517-9533.
- [3] 付英杰,曲晓欢,李艳芝,等.盐碱胁迫下玄参幼苗的抗性生理响应研究[J].*中国药房*, 2015, 26(22):3165-3168.
- [4] 刘建新,王金成,王瑞娟,等.混合盐碱胁迫下裸燕麦的種子萌发和幼苗逆境生理特征[J].*植物研究*, 2016, 36(2): 224-231.
- [5] 王英典,刘宁,刘全儒,等.植物生物学试验指导[M]. 2版.北京:高等教育出版社,2011:47-48.
- [6] 李合生.植物生理生化试验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:260-263.
- [7] Palma F, López-Gómez M, Tejera NA, *et al.* Involvement of abscisic acid in the response of *Medicago sativa* plants in symbiosis with *Sinorhizobium meliloti* to salinity [J]. *Plant Science*, 2014(223):16-24.
- [8] 李晓旭,李家政.优化蒽酮比色法测定甜玉米中可溶性糖的含量[J].*保鲜与加工*, 2013, 13(4):24.
- [9] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006:208-223.
- [10] 刘俊,吕波,徐朗莱.植物叶片中过氧化氢含量测定方法的改进[J].*生物化学与生物物理进展*, 2000, 27(5):548.
- [11] 郎永红.盐碱胁迫对植物种子萌发和幼苗生长的影响研究[D].兰州:兰州交通大学,2008:20.
- [12] Agehara S, Leskovar DI. Growth suppression by exogenous abscisic acid and uniconazole for prolonged marketability of bell pepper transplants in commercial conditions [J]. *Sci Hort*, 2015, 194(14):118-125.
- [13] Santos CV. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves[J]. *Sci Hort*, 2004, 103(1):93-99.
- [14] Rodri-guez-Navarrol A, Rubio F. High-affinity potassium and sodium transport systems in plants[J]. *J Exp Bot*, 2006, 57(5):1149-1160.
- [15] Etehadnia M, Waterer DR, Tanino KK. The method of ABA application affects salt stress responses in resistant and sensitive potato lines[J]. *J Plant Growth Regul*, 2008, 27:331-341.

(收稿日期:2016-05-08 修回日期:2016-12-10)

(编辑:刘明伟)