

腐植酸对高温胁迫下掌叶半夏生长生理特性及块茎次生代谢的影响

王 乾, 王康才*, 崔志伟, 吴晓燕

(南京农业大学 中药材研究所, 南京 210095)

摘 要: 采用不同浓度(0、20、40、60、80、100 mg/L)腐植酸(HA)叶面喷施处理, 通过盆栽实验分析了 HA 对高温胁迫下掌叶半夏幼苗生长生理指标及次生代谢的调控效应。结果显示: (1) 各浓度 HA 处理均可不同程度地促进高温胁迫下掌叶半夏的生长发育, 且以 80 mg/L HA 处理下其块茎鲜重(6.990 5 g/株)、叶柄鲜重(1.755 4 g/株)及总叶绿素含量(19.961 3 mg/g)最高, 较对照分别显著提高 21.25%、118.5% 和 37.19%。(2) 当 HA 处理浓度为 60 mg/L 时, 掌叶半夏幼苗叶片中可溶性糖、可溶性蛋白含量均最高, 分别比对照显著提高 66.67%、40.91%; 叶片抗氧化酶(SOD、POD)活性达到最大值, MDA 含量降至最低, SOD、POD 活性分别比对照显著提高 818.98% 和 48.2%, MDA 含量较对照显著降低 62.08%; 且块茎中鸟苷含量较高, 比对照显著提高 52.94%。(3) 当叶面喷施 80 mg/L HA 时, 掌叶半夏幼苗叶片中游离脯氨酸含量和块茎中总生物碱、总有机酸、腺苷的含量均最高, 分别比对照显著提高 169.63%、27.19%、42.32%、96.23%。研究表明, 适宜浓度 HA 处理可显著提高高温胁迫下掌叶半夏幼苗叶片内抗氧化酶(SOD、POD)的活性及渗透调节物质(可溶性糖、可溶性蛋白、游离脯氨酸)含量, 以及块茎中次生代谢产物(总生物碱、总有机酸、鸟苷和腺苷)的含量, 有效减轻夏季高温对掌叶半夏幼苗叶片的伤害、延缓衰老、提高其幼苗抗热性, 促进生长、延长生长期。

关键词: 掌叶半夏; 腐植酸; 高温胁迫; 次生代谢; 生理特性

中图分类号: Q945.78

文献标志码: A

Effect of Humic Acid on Tubers Secondary Metabolism and Growth Physiological Property of *Pinellia pedatisecta* under High Temperature Stress

WANG Qian, WANG Kangcai*, CUI Zhiwei, WU Xiaoyan

(Institute of Chinese Medicinal Materials, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Humic acid is a kind of structure, material of a similar nature of complex compound. At the same time, it is a kind of hydrophilic colloid, and with a variety of groups. We conducted an experiment to investigate the effect of HA on physiological indexes and secondary metabolism. We set up five different leaf spray application concentration gradient(0, 20, 40, 60, 80, 100 mg/L) of HA. Using potted trial, we analyzed the influence of the physiological indexes by HA on *Pinellia pedatisecta* seedlings under high temperature stress, as well as the regulation effect of secondary metabolism. The results showed that: (1) Each HA concentration treatment can promoted the growth of *P. pedatisecta* in different degrees under high temperature stress. With the treated of 80 mg/L, the fresh weight of tubers, petiole and the total chlorophyll content is

收稿日期: 2013-04-13; 修改稿收到日期: 2013-07-04

基金项目: 南京农业大学校级 SRT 计划项目

作者简介: 王 乾(1987—), 女, 硕士研究生, 主要从事药用植物栽培与生理研究。E-mail: 2011104181@njau.edu.cn

* 通信作者: 王康才, 教授, 主要从事药用植物栽培与生理、药用植物生物技术研究。E-mail: wangkc@njau.edu.cn

the highest, compared with the control has significantly increased 21.25%, 118.5% and 37.19%, respectively. (2) Compared with the control, under the concentration of 60 mg/L, the content of soluble sugar, soluble protein in leaves were highest. Both respectively increased by 66.67% and 40.91%, respectively. The activities of antioxidant enzymes (SOD, POD) were the highest, with significantly increased by 818.98% and 48.2%, respectively. The content of MDA decreased significantly by 62.08%, and the content of guanosine in tuber was significantly increased by 52.94%. (3) Under 80 mg/L, the content of free proline in leaves and the content of total alkaloid, total organic acid and adenosine of tubers are the highest. And compared with the control they are significantly improved by 169.63%, 27.19%, 42.32% and 96.23%, respectively. Researches showed that fitting consistency of HA treatment could significantly increase the activities of antioxidant enzymes (SOD, POD) and the content of osmoregulation substance (soluble sugar, soluble protein and free proline). At the same time improved the metabolism of active ingredients contents accumulation (total alkaloid, total organic acid, adenosine and guanosine) in the tuber of *P. pedatisecta* seedling leaves under high temperature stress. Effectively relieve summer heat of *P. pedatisecta* seedling leaves damage, delay aging, improve the seedling resistance to heat, promote growth, extend the growing season.

Key words: *Pinellia pedatisecta*; humic acid; high temperature stress; secondary metabolism; physiological property

腐植酸(humic acid, HA)是自然界中一种以动、植物遗骸为主,并经过微生物的分解和转化及复杂的化学过程积累起来并以结合状态存在的不溶性有机-无机复合物^[1]。早在20世纪80年代,中国有关部门就针对24种农作物、773个田间试验点、53万多公顷土地开展了连续5年的科学试验,总结并提出HA类农业品在农业生产上具有五大作用的科学论断^[2-4]。后来大量的科学研究也证实了HA的生物学效应:促进植物的生长发育,尤其对于根的生长,养分的吸收,细胞的伸长,还原糖的积累以及提高磷酸酶、过氧化物酶、转移酶和根系质膜ATP酶活性等方面作用显著^[5]。此外,通过一定浓度的HA类溶液浸种、蘸根、喷洒及根施等方式,在作物不同生育阶段都会产生相应的刺激作用^[6-8],促进作物生长发育及次生代谢产物的积累^[9-12],提高作物产量,改善品质。目前,HA对药用植物生长调控方面的报道较少,本试验旨在通过不同浓度的HA叶面喷施处理,分析其对高温胁迫下掌叶半夏生理指标及次生代谢的调控效应,以期对掌叶半夏的规范种植、科学施肥、优质高产提供理论支持。

1 材料和方法

1.1 材料与处理

掌叶半夏繁殖材料引自河北安国种植基地,经南京农业大学中药材科学系王康才教授鉴定为天南星科半夏属植物掌叶半夏(*Pinellia pedatisecta* Schott.)的块茎。选择形态相近、大小一致的块茎,2012年2月盆栽于南京农业大学实验遮阳棚内,盆

高18 cm×直径15 cm,生长基质为蛭石和珍珠岩(3:1),每盆装基质重856 g,每盆播种5个块茎,播种深度6 cm,每个处理重复8盆,管理措施一致。植株生长所需的大量元素采用霍格兰全营养液供给,微量元素采用阿农营养液供给,基本营养液pH 6.0。腐植酸(HA)购自上海楷洋生物技术有限公司,产品级别为BR,其中HA纯度≥99.0%;基本营养液所用试剂均为分析纯(AR)。

出苗后每隔10 d浇1次基本营养液,每次浇液量200 mL;待株高达12 cm时,选取长势一致的掌叶半夏幼苗,于上午8:30进行HA叶面喷施,共设20、40、60、80、100 mg/L 5个浓度处理,以清水为对照;每隔7 d喷施1次,以叶面和叶背布满液珠而不滴为度,直至植株倒苗。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 生长量及叶绿素含量 当外界温度持续7 d超过35℃,遮阴棚内温度持续5 d超过30℃时,随机选取各处理10株幼苗,洗净,称量、测定块茎鲜重、地上部分鲜重及叶片中总叶绿素含量。

1.2.2 保护酶活性及丙二醛、脯氨酸含量 每次喷施处理液后第3天,从各处理中随机选择长势一致的成熟植株10株,取其中间叶片后,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;采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量,采用磺基水杨酸法测定总游离脯氨酸含量^[13]。各处理重复3次,每重复选择10株长势一致的植株。

1.2.3 总生物碱、总有机酸、鸟苷和腺苷含量 待

掌叶半夏倒苗后,于当年 9 月底收获块茎,洗净,105℃杀青,60℃烘干至恒重,打粉过 60 目筛,测定块茎中总生物碱、总有机酸、鸟苷及腺苷的含量。其中,总生物碱含量的测定采用酸性染料比色法;总有机酸含量的测定采用电位滴定法^[14];鸟苷、腺苷含量测定采用赵扬 HPLC^[15]法。实验仪器为安捷伦 LC-1100 高效液相色谱仪(1120);色谱条件:C₁₈柱(4.6 mm×250 mm,5 μm),流动相为甲醇:水(15:85),检测波长 260 nm,流速 0.7 mL/min,柱温 25℃。

1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 2003 和统计软件 SPSS 13.0 进行统计分析,LED 法检验处理间差异显著性。

2 结果与分析

2.1 HA 处理对掌叶半夏幼苗生长的影响

试验结果表明(表 1),各浓度 HA 处理均可不同程度促进掌叶半夏的生长发育,且随 HA 浓度的增加,幼苗块茎、叶柄、叶片鲜重及叶片中总叶绿素含量均呈先上升后缓慢下降的趋势,并在 80 mg/L

HA 处理下掌叶半夏块茎鲜重(6.990 5 g/株)、叶柄鲜重(1.755 4 g/株)及总叶绿素含量(19.961 3 mg/g)均达到最大值,较对照分别显著提高 21.25%、118.5%和 37.19%,而叶片鲜重则在 60 mg/L HA 处理时达到最大值(1.105 1 g/株),较对照显著提高 162.06%。

2.2 HA 处理对掌叶半夏叶片中抗氧化酶活性和 MDA 含量的影响

夏季高温是影响掌叶半夏正常生长发育的主要环境因子。研究结果表明(表 2),各浓度的 HA 处理均能够不同程度提高掌叶半夏叶片中 SOD、POD 活性,同时减少 MDA 的累积。其中,在 20~100 mg/L HA 处理下,掌叶半夏叶片内 SOD、POD 的活性均呈先升后降趋势,均于 60 mg/L HA 处理时达到最大值,此时 SOD、POD 活性分别比对照显著提高 818.98%和 48.2%。低浓度(20 mg/L)和高浓度(100 mg/L) HA 处理对掌叶半夏叶片中 MDA 含量的影响均不显著,但 60 mg/L 处理时的 MDA 含量达到最低值,较对照显著降低 62.08%。由此可见,HA 处理浓度为 60 mg/L 时,可显著提高掌叶半夏叶片保护酶活性,降低 MDA 含量的累积,减

表 1 不同浓度 HA 处理下掌叶半夏幼苗生长量和叶绿素含量

Table 1 The biomass and total chlorophyll content in leaves of *P. pedatisecta* sprayed by different HA concentrations

处理浓度 Treatment /(mg/L)	块茎鲜重 Tuber fresh weight /(g/plant)	叶柄鲜重 Petiole fresh weight /(g/plant)	叶片鲜重 Blade fresh weight /(g/plant)	总叶绿素含量 Total chlorophyll content /(mg/g)
0	5.765 3±0.826 8 b	0.803 4±0.020 0 c	0.421 7±0.018 7 d	14.550 0±0.978 5 b
20	5.988 5±0.806 5 b	1.077 9±0.089 1 bc	0.516 3±0.168 3 cd	15.010 0±0.050 6 b
40	6.228 7±0.803 2 ab	1.090 4±0.024 0 bc	0.717 1±0.056 1 bc	15.402 7±0.591 3 b
60	6.438 7±1.222 6 ab	0.970 1±0.194 7 c	1.105 1±0.209 5 a	16.222 7±0.310 0 b
80	6.990 5±5.579 0 a	1.755 4±0.096 3 a	0.925 1±0.285 9 ab	19.961 3±1.790 8 a
100	6.953 8±0.689 2 a	1.348 8±0.267 8 b	0.915 4±0.151 6 ab	18.864 0±1.766 1 a

注:不同字母表示处理间差异达到 5%显著水平;下同。

Note: Different letters at same sampling date mean significant difference at 5% level; The same as below.

表 2 不同浓度 HA 处理下掌叶半夏叶片中抗氧化酶活性和 MDA 含量

Table 2 The activities of antioxidant enzymes and MDA content in leaves of *P. pedatisecta* sprayed by different HA concentrations

处理浓度 Treatment/(mg/L)	SOD 活性 SOD activity/(U·g ⁻¹)	POD 活性 POD activity/(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	MDA 含量 MDA content/(mmol·g ⁻¹)
0	15.480 0±0.0980 d	65.000 2±7.211 1 c	0.762 3±0.059 1 a
20	87.097 3±10.076 2 c	69.355 3±5.806 5 c	0.678 7±0.041 3 ab
40	94.530 0±4.724 8 c	62.014 7±3.944 2 c	0.353 7±0.039 1 c
60	142.258 7±3.186 1 a	96.328 3±3.141 8 a	0.289 0±0.041 7 c
80	125.879 0±6.471 4 b	95.358 7±4.160 4 a	0.563 7±0.147 2 b
100	17.873 0±1.543 2 d	79.342 3±7.878 5 b	0.644 0±0.042 8 ab

表 3 不同浓度 HA 下掌叶半夏叶片中渗透调节物质含量

Table 3 The contents of osmotic regulation substances in leaves of *P. pedatisecta* sprayed by different HA concentrations

处理浓度 Treatment/(mg/L)	可溶性糖含量 Content of soluble sugar /(mg · g ⁻¹)	可溶性蛋白含量 Content of soluble protein /(mg · g ⁻¹)	游离脯氨酸含量 Content of free proline /(μg · g ⁻¹)
0	0.011 7±0.000 6 b	0.006 6±0.000 8 c	12.093 3±1.230 2 c
20	0.012 7±0.001 0 b	0.007 8±0.000 5 b	20.723 2±1.680 6 b
40	0.013 1±0.000 9 b	0.007 9±0.000 5 a	21.593 7±1.210 7 b
60	0.019 5±0.008 4 a	0.009 3±0.000 6 a	31.806 7±1.502 4 a
80	0.010 3±0.002 4 b	0.006 9±0.000 9 c	32.606 7±2.278 5 a
100	0.009 3±0.001 7 b	0.006 7±0.000 7 c	30.040 3±1.349 0 a

表 4 不同浓度 HA 下掌叶半夏块茎中次生代谢产物含量

Table 4 The contents of secondary metabolites in tuber of *P. pedatisecta* sprayed by different HA concentrations

处理浓度 Treatment /(mg/L)	总生物碱含量 Content of total alkaloid /%	鸟苷含量 Content of guanosine /%	总有机酸含量 Content of organic acid /%	腺苷含量 Content of adenosine /%
0	0.034 2±0.021 2 b	0.001 7±0.000 1 b	0.058 6±0.004 1 e	0.007 4±0.000 4 f
20	0.025 6±0.017 9 e	0.001 9±0.000 1 b	0.035 2±0.002 1 f	0.009 0±0.000 4 e
40	0.028 1±0.011 1 d	0.003 1±0.000 2 a	0.070 3±0.000 4 c	0.120 5±0.007 5 d
60	0.031 8±0.005 0 c	0.002 6±0.000 1 a	0.067 8±0.001 2 d	0.164 1±0.004 9 c
80	0.043 5±0.0075 a	0.001 8±0.000 1 b	0.083 4±0.002 9 a	0.196 4±0.001 7 a
100	0.020 8±0.005 6 f	0.001 5±0.000 3 b	0.071 1±0.001 6 b	0.179 1±0.001 8 b

经高温对植株的伤害。

2.3 HA 处理对掌叶半夏叶片中渗透调节物质含量的影响

表 3 显示,掌叶半夏叶片中可溶性糖、可溶性蛋白含量随处理浓度的增加而呈先升高后降低的趋势,并在 60 mg/L HA 处理时达到最大值,分别比对照组显著提高 66.67%和 40.91%;游离脯氨酸含量则随着 HA 浓度的升高而增加,各处理浓度下均显著高于对照,并在 HA 浓度为 60 和 80 mg/L 时显著高于低浓度处理,其中 80 mg/L 处理下游离脯氨酸含量最高,比对照显著提高 169.63%。由此得知,叶面喷施 60 mg/L HA 可同时显著提高掌叶半夏叶片中内可溶性糖、可溶性蛋白、游离脯氨酸等渗透调节物质的含量,增强其抗高温的能力。

2.4 HA 处理对掌叶半夏块茎中次生代谢产物含量的影响

掌叶半夏次生代谢产物主要有总生物碱、总有机酸及核苷类成分等,其含量高低一定程度上反映着药材品质。由表 4 可知,掌叶半夏块茎中总生物碱含量仅在 80 mg/L HA 叶面喷施处理下显著高于对照,在其余浓度处理下均显著低于对照,且各处理间均差异显著;各处理总有机酸含量仅在 20 mg/L

HA 处理时显著低于对照,其余均显著高于对照;而各处理腺苷含量均显著高于对照,且处理间差异显著。其中,3 种次生代谢物含量均在 80 mg/L HA 下达到最大值,分别较对照显著提高27.19%、42.32%和 96.23%。鸟苷含量在低浓度(20 mg/L)和高浓度(80、100 mg/L)处理时最低,但与对照无显著性差异;当 HA 浓度为 40 和 60 mg/L 时鸟苷含量较高,比对照分别显著提高 82.35%和 52.94%。可见,掌叶半夏块茎中不同次生代谢物对 HA 处理响应变化趋势不尽相同,但适宜浓度喷叶处理均能有效提高这些物质的含量,改善药材品质。

3 讨论与结论

3.1 叶面喷施 HA 对掌叶半夏植株生长的调控效应

长期生产实践中发现,夏季高温引起植株叶片卷曲黄化、缺氮失绿,影响着掌叶半夏的正常生长。HA 能够促进氮素的转化、利于植物根系的吸收^[16],HA 处理后,掌叶半夏叶片颜色鲜绿、叶绿素含量增加、光合性能改善,为干物质积累提供碳源^[17]。本试验结果也表明,HA 处理可提高掌叶半夏植株生长量,且 80 mg/L HA 处理可显著提高掌叶半夏叶片中总叶绿素含量和块茎的鲜重,这与马

继红等^[18]在丹参干物质积累方面的研究结果一致。这可能是由于 HA 能提高植物苗期的呼吸速率,促进了 Mg^{2+} 或 Fe^{2+} 的吸收,增加叶绿素含量^[19],具体作用机理还有待进一步研究。

3.2 叶面喷施 HA 对掌叶半夏抗氧化酶系统和渗透调节物质的调控效应

逆境胁迫(如干旱、盐碱、高低温等)会使植物体内产生过量的活性氧自由基(ROS),从而破坏细胞膜系统的稳定和代谢累积。前人研究表明,SOD、POD 等构成消除 ROS 的第一道防线,能够及时清除体内过量的自由基^[20],渗透调节物质可维持逆境下植物细胞膨压、气孔开放和光合作用,保护蛋白质分子、促进细胞生长、延缓衰老等;两者共同参与并保证植物体内合成、转化、分解等生化反应的正常进行^[21-22]。本试验研究结果表明,较低浓度(20 mg/L)和较高浓度(100 mg/L)HA 处理则不利于掌叶半夏细胞膜系统的稳定和正常代谢累积;但 60 mg/L 和 80 mg/L HA 处理可显著提高抗氧化酶(SOD、POD)活性及渗透调节物质(可溶性糖、可溶性蛋白及游离脯氨酸)的累积。此结果与何萍^[23]、赵瑞英^[24]等在西红柿、甘薯方面的研究一致。其原因可能是由于 HA 能提高磷酸蔗糖合成酶活性,或者降低蔗糖合成酶活性^[25]。总之,植物的生长过程是以酶为催化剂的各种生化过程协同运动的结果,对植物生长的促进作用可最终归结为对某些生化过程的促进。比如提高种子萌发过程中 α -淀粉酶活性以及改善植株苗期呼吸强度、光合作用等,这也许正是 HA 能够产生类生长素的刺激作用,从而促进植物生长的原因^[26]。

3.3 叶片喷施 HA 对掌叶半夏块茎中主要次生代谢产物的调控效应

次生代谢产物是植物在长期进化过程中与其生存环境相互作用的结果。有研究称生物碱类化合物是经过三羧酸途径合成氨基酸后,经脱羧成为胺类,再经过复杂的化学反应(甲基化、氧化还原、重排等)转化而成的含氮化合物^[27];因植物自身种属、器官组织以及生长发育的不同,其分布与产生有差异性。周成慧^[28]、赵扬^[15]、秦文娟^[29]、王瑞^[30]等报道,掌叶半夏主要化学活性成分为生物碱、氨基酸、挥发油和有机酸等,而鸟苷、腺苷作为掌叶半夏主要生物碱类成分,其含量的高低关系着药材的品质。本试验结果表明,HA 能提高掌叶半夏植株叶绿素含量、改善光合速率、增加细胞膜和原生质的渗透性,加速营养物质进入植物体,说明施用 HA 能促进植株对氮、磷、钾素吸收,适宜 HA 用量有利于减少植株体内硝态氮的积累^[25],活化铵态氮,提高养分利用率,为代谢活动奠定物质基础。本研究结果表明,适宜浓度 HA(60 和 80 mg/L)可显著提高掌叶半夏块茎中总生物碱、总有机酸、鸟苷及腺苷的含量,且 HA 处理下腺苷含量明显高于鸟苷,推测这与两者在植物体内的合成与代谢途径有关。但低浓度(20 mg/L)和高浓度(100 mg/L)HA 则会抑制次生代谢产物的累积。这与靳志丽^[31]在烟草上研究结果相同,即适宜的 HA 用量可促进植株生长发育,但超过此范围,促进作用降低,甚至引起负效应。但与童文^[32]在白芷方面的研究结果不同,这可能是植物自身的差异性所致,具体喷施浓度应依植物而定,不可一概而论。

参考文献:

- [1] 郑平. 煤炭腐植酸的生产和应用[M]. 北京:化学工业出版社,1991:1-5.
- [2] AN Y H(安有恒),LIU ZH X(刘忠祥),WANG Y F(王永芳). Humic acid fertilizer in agriculture application and development prospects [J]. *Gansu Agric. Sci. and Tech.* (甘肃农业科技),1994,(5):30-31(in Chinese).
- [3] SONG X P(宋茜萍). The development and application of humic acid[J]. *China Chemical*(中国化工),1998,(5):49-50(in Chinese).
- [4] WANG T L(王天立). Fulvic acid applied in agriculture[J]. *Humic Acid*(腐植酸),1992,(1):14(in Chinese).
- [5] 王 群. 泥炭腐殖酸对小麦苗期生长的促进作用及机理研究[D]. 南京:南京农业大学,1995.
- [6] CHEN Y L(陈玉玲),CAO M(曹 敏),ZHOU X(周 燮),et al. Fulvic acid on winter wheat seedling IAA, IBA influence and mechanism study[J]. *Chin. Bull. Bot.* (植物学通报),1999,116(5):587-590(in Chinese).
- [7] O'DONNELL R W. The auxin-like effects of humic preparations from Leonardite[J]. *Soil Sci.*,1973,116(2):106-149.
- [8] PINTON R, VARANINI Z, VIZZOTTO G, et al. Soil humic substances effect transport propertise of tonoplast vesicles isolated from oat roots[J]. *Plant and Soil*,1992,142:202-203.
- [9] 秦万德. 腐殖酸的综合利用[M]. 北京:科学出版社,1987:96-99.
- [10] VARANINI Z, PINTON R, DEBIASI M G, et al. Low molecular weight humic substances stimulate H^{+} -ATPase activity of *Plasma*

- membrane resides isolated from Oat (*Avena sativa* L.) roots[J]. *Plant and Soil*, 1993, 153: 63—69.
- [11] VAUGHAN D. A possible mechanism for humic acid action on cell elongation in root segments of *Pisum sativum* under aseptic conditions [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1974, 6: 241—247.
- [12] MEI H SH(梅慧生), WANG Y M(王玉明), ZHANG SH Y(张淑远), *et al.* Humic acid on plant growth stimulation[J]. *Acta Physiol. Comm.* (植物生理学报), 1980, 6(2): 133—139(in Chinese).
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术(第2版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 172.
- [14] YU CH(于超), ZHANG M(张明), WANG Y(王宇), *et al.* Different regions of *Pinellia* tuber in total alkaloid by ultraviolet spectrophotometry[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research* (时珍国医国药), 2001, 12(2): 73—74(in Chinese).
- [15] ZHAO Y(赵扬), JIN F Y(靳风云), WU Q(伍庆), *et al.* The different *Pinellia* tuber medical content of guanosine and adenosine from Guizhou by HPLC[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research* (时珍国医国药), 2007, 18(1): 23—24(in Chinese).
- [16] ZHANG SH Q(张树清), LIU X M(刘秀梅), FENG ZH B(冯兆滨). The adsorption and desorption properties of humic acid on nitrogen, phosphorus, potassium [J]. *Humic Acid* (腐植酸), 2007, (2): 15—21(in Chinese).
- [17] LIANG W X(梁文旭). The influence of performance yield and quality humic acid on flue-cured tobacco[J]. *Hunan Agricultural Sciences* (湖南农业科学), 2004, (5): 30—33(in Chinese).
- [18] MA J H(马继红), KOU T J(寇太记), LI W(李威), *et al.* The dry matter accumulation and nutrient use influence of humic acid on *Salvia miltiorrhiza* Bge. [J]. *Shandong Agricultural Sciences* (山东农业科学), 2012, 44(1): 63—67(in Chinese).
- [19] 赵励军. 不同来源腐植酸促进植物生长活性及作用机理研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2005.
- [20] HE X L(何学利). Plant in the protective enzyme system[J]. *Modern Agricultural Science* (现代农业科学), 2010, 10: 37—38(in Chinese).
- [21] WANG Q SH(王奇书), WANG SH ZH(王栓柱), WANG T L(王天立). Humic acid material and plant physiological function[J]. *Humic Acid* (腐植酸), 2001, (Z1): 33—40(in Chinese).
- [22] DOU J H(窦俊辉), YU SH X(喻树迅), FAN SH L(范术丽), *et al.* SOD and plant stress resistance[J]. *Molecular Plant Breeding* (分子植物育种), 2010, 8(20): 359—364(in Chinese).
- [23] HE P(何萍), YANG J(杨金), ZHOU W(周卫). The influence of tomato yield, quality and the physiological activity on humic acid fertilizer[J]. *Chin. J. Soil Sci.* (土壤通报), 1997, 25(6): 277—279(in Chinese).
- [24] ZHAO R Y(赵瑞英), CHEN X W(陈须文), LI ZH B(李钟渤), *et al.* The yield and quality effect research of different fertilizer on sweet potato[J]. *Acta Agric. Univ. Jiangxiensis* (Nat. Sci. Edi.) (江西农业大学学报·自然科学版), 1996, 18(1): 116—118(in Chinese).
- [25] 李作梅. 腐植酸和氮素对甘薯产量品质形成的调控效应[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2009.
- [26] LIU B(刘波), ZHANG H(张辉), JIANG W Y(姜文勇), *et al.* The research of Danty nitro humic acid promote plant growth active [J]. *Humic Acid* (腐植酸), 2000, (2): 20—24(in Chinese).
- [27] WANG Y M(王玉明), LI J(李锦), ZHANG L Y(张丽媛), *et al.* Secondary metabolites accumulation law research situation of medicinal plants[J]. *Central South Pharmacy* (中南药学), 2012, 10(2): 136—139(in Chinese).
- [28] ZHOU CH H(周成惠), LI CH X(李春雪), ZHANG J X(张稼小). HPLC determinat the content of Adenosine form different origin *Pinellia pedatisecta* Schott. [J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae* (中国实验方剂学杂志), 2011, 17(3): 77—79(in Chinese).
- [29] QIN W J(秦文娟), WANG R(王瑞), WEN Y SH(温月笙), *et al.* The research of chemical composition on *Pinellia pedatisecta* Schott. (V)[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs* (中草药), 1995, 26(1): 3—6(in Chinese).
- [30] WANG R(王瑞), WEN Y SH(温月笙), YANG L(杨岚), *et al.* The research of chemical composition on *Pinellia pedatisecta* Schott. [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica* (中国中药杂志), 1997, 22(7): 421—423(in Chinese).
- [31] JIN ZH L(靳志丽), LIU G SH(刘国顺), NIE X B(聂新柏). Humic acid on soil environment and the influence of flue-cured tobacco mineral absorption[J]. *China Tob. Sci.* (中国烟草科学), 2002, (3): 15—18(in Chinese).
- [32] TONG W(童文), SUN P(孙佩), YANG X(杨晓). Humic acid fertilizer application of *Angelica sinensis* yield and quality influence [J]. *Southwest China J. Agric. Sci.* (西南农业学报), 2011, 24(3): 1 236—1 238(in Chinese).