

# 秋季全光照及水杨酸对人参叶片生理光合特性及人参皂苷类成分含量的影响

曹伍林, 付晓莹, 孟祥才\*, 马伟  
(黑龙江中医药大学药学院, 哈尔滨 150040)

**[摘要]** 目的:研究秋季全光照及水杨酸等处理对人参生理生化及药材质量的影响。方法:秋季全光照条件下喷施水杨酸、6-苄氨基嘌呤、芸苔素内酯等生长激素,测定超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、过氧化物酶(POD)活性、丙二醛(MDA)含量、光合指标及人参皂苷类成分含量等。结果:全光照条件下空白组虽然净光合速率有所提高,但抗氧化酶SOD、CAT、POD等活性降低,且MDA含量较高,可能会对植株造成一定伤害。全光照条件下喷施3种激素后,植株均表现较强的抗氧化能力和较高的净光合速率,表现为水杨酸>6-苄氨基嘌呤>芸苔素内酯。在水杨酸组中,0.2、1.0 mmol·L<sup>-1</sup>水杨酸组与空白组相比,SOD活性分别提高了39.9%、43.2%,CAT提高了43.1%、57.2%,POD提高了63.5%、64.5%,净光合速率提高了17.1%、16.3%;与传统遮荫的对照组相比,SOD活性分别提高了1.1%、3.5%,CAT提高了40.6%、54.5%,POD提高了42.0%、42.8%,净光合速率提高了33.2%、32.3%;1.0 mmol·L<sup>-1</sup>水杨酸组较对照组及空白组显著提高了人参皂苷R<sub>g1</sub>、R<sub>e</sub>的含量。结论:全光照处理破坏了人参叶片结构,降低人参质量,0.2~1.0 mmol·L<sup>-1</sup>水杨酸具有较强抗衰老作用,在秋季全光照条件施用可以提高人参质量。

**[关键词]** 人参;全光照;水杨酸;生理生化;超氧化物歧化酶;人参皂苷类

**[中图分类号]** R282.2;R932;R284.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2016)01-0072-06

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.2016010072

**[网络出版地址]** <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20151118.1141.002.html>

**[网络出版时间]** 2015-11-18 11:41

## Effects of Salicylic Acid on Photosynthesis, Physio-biochemistry and Quality of Ginseng Radix et Rhizoma Under Full Illumination in Autumn

CAO Wu-lin, FU Xiao-ying, MENG Xiang-cai\*, MA Wei

(College of Pharmacy, Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin 150040, China)

**[Abstract]** **Objective:** To investigate effect of full illumination in autumn and salicylic acid on physio-biochemistry and quality of Ginseng Radix et Rhizoma. **Method:** Full illumination coupled with spraying different concentration of salicylic acid (SA), 6-benzylaminopurine (6-BA) and brassinolide (Br) in autumn, activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) and malondialdehyde (MDA) were determined, contents of ginsenosides were determined by HPLC. **Result:** Full illumination increased capacity of photosynthesis to some degree, but it weakened physio-biochemistry, which may damage Ginseng Radix et Rhizoma. After sprayed three kinds of hormones under full illumination, ability of antioxidant and net photosynthesis ( $P_n$ ) improved, SA was better than 6-BA, 6-BA better than Br. Contrasted with blank group, 0.2 mmol·L<sup>-1</sup> and 1.0 mmol·L<sup>-1</sup> SA increased by 39.9% and 43.2% for SOD, 43.1% and 57.2% for CAT, 63.5% and 64.5% for POD, 17.1% and 16.3% for  $P_n$ ; contrasted with control group, increased by 1.1% and

**[收稿日期]** 20150522(006)

**[基金项目]** 国家公益性行业(农业)科研专项(201303111)

**[第一作者]** 曹伍林,硕士,从事药用植物栽培研究,Tel:15244619847,E-mail:wulin\_cao@163.com

**[通讯作者]** \*孟祥才,博士,教授,从事中药材GAP研究,Tel:13845044491,E-mail:Mengxiangcai000@163.com

3.5% for SOD, 40.6% and 54.5% for CAT, 42.0% and 42.8% for POD, 33.2% and 32.3% for  $P_n$ . 1.0 mmol·L<sup>-1</sup> SA group significantly improved contents of ginsenoside Rg<sub>1</sub> and ginsenoside Re by comparing with the blank and control group. **Conclusion:** Full illumination destroys structure of Ginseng Radix et Rhizoma leaves, reduces its quality. 0.2-1.0 mmol·L<sup>-1</sup> SA possesses anti-aging, it can improve quality of Ginseng Radix et Rhizoma.

**[Key words]** Ginseng Radix et Rhizoma; full illumination; salicylic acid; physiology and biochemistry; superoxide dismutase; ginsenosides

人参是我国著名的名贵中药材,具有悠久的药用历史,主产于我国东北山区,商品来源基本依靠栽培。人参属于阴性植物,强光导致的高温会对人参造成不可逆的严重伤害,甚至死亡,但光合作用是植物产生有机物质的基础,光照强度是影响光合作用的主要因素,光照强度降低也会影响植物的光合作用,降低产量。人参主产地进入 9 月份气温降至 < 25 ℃,光照强度也较低,传统遮荫棚下人参光合作用可能受到限制<sup>[1]</sup>。但光照过强也可能会对秋季叶片产生不良影响。人参在早春展叶后就基本完成形态建成,叶的大小和数量不变。人参叶片在展叶期生长最为活跃,光合能力最强,以后逐渐减弱<sup>[1]</sup>,进入秋季,叶片处于衰老阶段,此时增强光照可能会进一步加快叶片的衰老,强光与衰老两者形成矛盾。延缓衰老是解决这一问题的关键。水杨酸、芸苔素内酯和 6-苄氨基嘌呤是植物激素,在多种植物抗逆境<sup>[2-4]</sup>、抗衰老<sup>[5-7]</sup> 研究中起到较好的作用。本实验拟考察在秋天人参生长的末期对人参进行全光照处理,并喷施不同激素类物质,分析全光照喷施不同浓度激素类物质后,人参叶片生理生化、光合特性及人参皂苷类成分的含量变化,为人参的优质高产提供基础资料。

## 1 材料

CI-340 型便携式光合测定仪(美国 CID Bio-Science 公司),UV-1240 型紫外分光光度仪和 LC-2010A 型高效液相色谱仪(日本岛津公司),AG135 型电子分析天平(瑞士梅特勒-托利多公司),MF10 型超微粉碎机(德国 IKA 公司)。人参皂苷 Rg<sub>1</sub>, Re, Rc, Rb<sub>2</sub>, Rd 对照品(上海金穗生物科技有限公司,批号分别为 22427-39-0, 51542-56-4, 11021-14-0, 11021-13-9, 52705-93-8);人参皂苷 Rb<sub>1</sub> 对照品(四川省维克奇生物科技有限公司,批号 20110),所有对照品的质量分数均 > 98%。乙腈、甲醇为色谱纯,水为娃哈哈超纯水,其余试剂为分析纯。实验于 2014 年在黑龙江五大连池市小兴安林场进行,地点北纬 N49°02', 东经 E127°06'。试验对象经黑龙江

中医药大学孟祥才教授鉴定为四年生大马牙人参 *Panax ginseng*, 拱形单透棚,畦宽 1.7 m。选取植株长势良好、大小一致者作为实验材料。

## 2 方法与结果

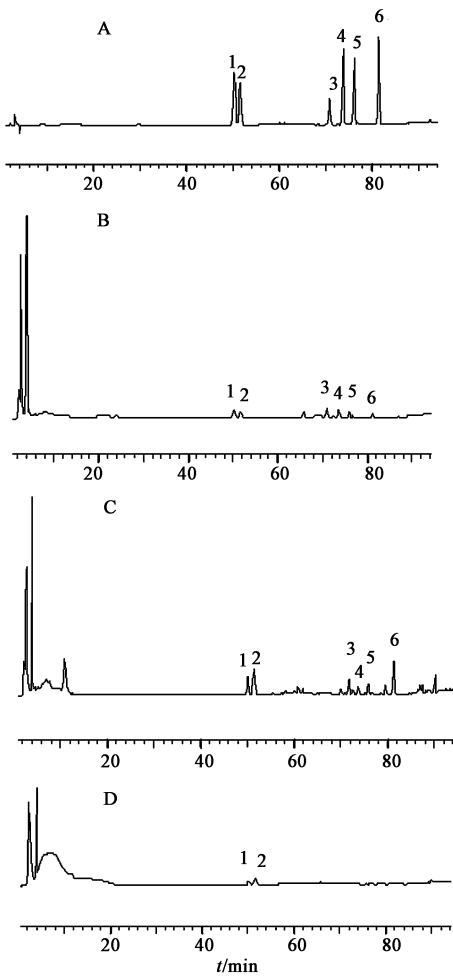
**2.1 田间试验** 2014 年 9 月 1 日至 9 月 12 日对人参进行全光照处理。试验分为水杨酸处理组(0.05, 0.2, 1.0 mmol·L<sup>-1</sup>), 6-苄氨基嘌呤处理组(3, 10, 30 mg·L<sup>-1</sup>), 芸苔素内酯处理组(0.01% 芸苔素内酯乳油 3750 倍液)、空白组(全光照)和对照组(传统遮荫棚,拱形单透棚,透光率 30%)。每组处理 1.7 m × 1 m, 重复 3 次。各组分别于 9 月 1 日, 9 月 10 日喷施相应浓度溶液。于 9 月 12 日采集各组人参叶片(掌状复叶中间小叶)10 株,低温带回实验室 -80 ℃ 冷藏,备用。9 月 12 日上午 10:00 时测定各组叶片光合特性,每组随机测定人参 5 株。9 月 20 日挖取各组人参根大小一致者 10 株,随机取人参地上茎、叶各 20 株,带回实验室,茎、叶分离。根、叶、茎全部立即烘干,超微粉碎机粉碎(过 40 目筛),备用。

**2.2 抗氧化酶活性及丙二醛含量的测定** 超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT)还原法,以抑制光还原 50% 为 1 个酶的活力单位;过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫外分光光度法,以单位时间内每克样品使吸光度  $A_{240\text{ nm}}$  减少 0.1 为 1 个酶活力单位<sup>[8]</sup>;过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法,以 1 g 样品 1 min 内  $A_{470\text{ nm}}$  变化 0.01 为 1 个酶活力单位;丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法,以 1 g 样品中 MDA 的摩尔数表示。以上样品均重复测定 3 次。

### 2.3 人参皂苷类成分的含量测定

**2.3.1 色谱条件**<sup>[9]</sup> Dikma C<sub>18</sub> 色谱柱(4.6 mm × 150 mm, 5 μm),柱温 35 ℃,检测波长 203 nm,流动相乙腈(A)-水(B)梯度洗脱(0 ~ 40 min, 18% ~ 21% A; 40 ~ 50 min, 21% ~ 23% A; 50 ~ 51 min, 23% ~ 26% A; 51 ~ 55 min, 26% ~ 31% A; 55 ~ 65 min, 31% ~ 32% A; 65 ~ 80 min, 32% ~ 38% A; 80 ~

94 min, 38% ~ 65% A), 流速  $1.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ , 进样量  $20 \mu\text{L}$ 。见图 1。



A. 对照品; B. 人参根; C. 人参叶; D. 人参茎; 1. 人参皂苷  $\text{Rg}_1$ ; 2. 人参皂苷  $\text{Re}$ ; 3. 人参皂苷  $\text{Rb}_1$ ; 4. 人参皂苷  $\text{Rc}$ ; 5. 人参皂苷  $\text{Rb}_2$ ; 6. 人参皂苷  $\text{Rd}$

图 1 人参不同部位样品 HPLC

Fig. 1 HPLC chromatograms of different parts of Ginseng Radix et Rhizoma

**2.3.2 对照品溶液的制备** 分别精密称取人参皂苷  $\text{Rg}_1$ ,  $\text{Re}$ ,  $\text{Rb}_1$ ,  $\text{Rc}$ ,  $\text{Rb}_2$ ,  $\text{Rd}$  适量, 加甲醇溶解, 配制

质量浓度分别为  $1.005, 1.005, 0.535, 1.050, 1.024, 1.020 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的混合对照品溶液, 经  $0.45 \mu\text{m}$  微孔滤膜滤过, 备用。

**2.3.3 供试品溶液的制备** 精密称取人参根粉末  $1 \text{ g}$ , 用滤纸包好, 放置索氏提取器中, 加入适量石油醚,  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  回流提取  $4 \text{ h}$ , 弃去石油醚液, 药渣挥干溶剂, 连同滤纸移入  $100 \text{ mL}$  锥形瓶中, 精密加入水饱和正丁醇  $50 \text{ mL}$ , 密塞, 放置过夜 ( $12 \text{ h}$ ), 超声处理 (功率  $250 \text{ W}$ , 频率  $50 \text{ kHz}$ )  $40 \text{ min}$ , 滤过, 弃去初滤液, 精密量取续滤液  $25 \text{ mL}$  置蒸发皿中蒸干, 残渣加甲醇溶解并转移至  $5 \text{ mL}$  量瓶中, 加甲醇稀释至刻度, 摇匀, 滤过, 取续滤液, 即得。精密称取人参茎、叶粉末各  $0.5 \text{ g}$ , 按上述方法提取, 连同滤纸移入  $50 \text{ mL}$  锥形瓶中, 精密加入水饱和正丁醇  $25 \text{ mL}$ , 按上述方法处理, 精密量取续滤液  $10 \text{ mL}$  置蒸发皿中蒸干, 按上述方法处理, 即得。

**2.3.4 线性关系考察** 分别精密吸取 6 种人参皂苷类成分的混合对照品溶液  $2, 4, 6, 10, 16, 20 \mu\text{L}$  进样, 以进样量为纵坐标, 峰面积积分为横坐标, 得线性回归方程, 见表 1。

**2.3.5 精密度考察** 分别取混合对照品溶液  $20 \mu\text{L}$ , 按 2.3.1 项下色谱条件重复进样 6 次, 结果 6 种人参皂苷类成分峰面积的  $\text{RSD}$   $0.3\% \sim 0.8\%$ , 表明仪器精密度良好。

**2.3.6 稳定性考察** 取人参根样品溶液, 分别在  $0, 2, 4, 8, 12, 24 \text{ h}$  按 2.3.1 项下色谱条件测定, 结果 6 种人参皂苷类成分峰面积的  $\text{RSD}$   $0.7\% \sim 1.8\%$ , 说明人参根样品溶液在  $24 \text{ h}$  内稳定。

**2.3.7 重复性考察** 分别取同一批人参根、茎、叶样品, 按 2.3.3 项下方法各制备 6 份供试品溶液, 按 2.3.1 项下色谱条件测定, 结果人参根中 6 种人参皂苷类成分质量分数的  $\text{RSD}$   $1.4\% \sim 2.0\%$ ; 人参茎中人参皂苷  $\text{Rg}_1, \text{Re}$  质量分数的  $\text{RSD}$  均为  $2.0\%$ ; 人参叶中 6 种人参皂苷类成分质量分数的  $\text{RSD}$

表 1 人参皂苷类成分含量测定的回归方程

Table 1 Regression equations with correlation coefficients of ginsenosides

人参皂苷	$t_R/\text{min}$	回归方程	$r$	线性范围/ $\mu\text{g}$
$\text{Rg}_1$	50.267	$Y = 2.686 \times 10^{-6} X - 0.175$	0.999 95	2.01 ~ 20.10
$\text{Re}$	51.642	$Y = 3.345 \times 10^{-6} X - 0.229$	0.999 64	2.01 ~ 20.10
$\text{Rb}_1$	70.950	$Y = 4.823 \times 10^{-6} X - 0.040$	0.999 98	1.07 ~ 10.70
$\text{Rc}$	73.850	$Y = 3.472 \times 10^{-6} X - 0.111$	0.999 96	2.10 ~ 21.00
$\text{Rb}_2$	76.175	$Y = 4.012 \times 10^{-6} X - 0.120$	0.999 90	2.05 ~ 20.50
$\text{Rd}$	81.442	$Y = 3.131 \times 10^{-6} X - 0.092$	0.999 99	2.04 ~ 20.40

0.7% ~ 2.2%, 表明该方法重复性较好。

**2.3.8 加样回收率考察** 精密称取同一批人参根和人参茎、叶样品各 6 份, 分别精密加入一定量对照品, 按 2.3.3 项下方法制备供试品溶液, 按 2.3.1 项下色谱条件测定, 结果人参根中 6 种人参皂苷类成分的平均回收率 98.2% ~ 101.1%, RSD 0.9% ~ 1.0%; 人参茎中人参皂苷  $R_{g_1}$ ,  $R_e$  平均回收率分别为 99.3% 和 101.8%, RSD 依次为 1.0% 和 1.2%;

人参叶中 6 种人参皂苷类成分的平均回收率为 98.3% ~ 101.8%, RSD 0.8% ~ 2.0%。

**2.4 全光照及水杨酸处理对秋季人参叶片生理生化影响** SOD 活性空白组低于对照组, 且差异极显著, 说明秋季全光照处理使 SOD 活性降低, 具体数据见表 2。

**2.5 全光照及水杨酸处理对秋季人参叶片光合特性的影响** 结果见表 3。

表 2 全光照及水杨酸处理对叶片生理生化的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=5$ )

Table 2 Change on physio-biochemistry of Ginseng Radix et Rhizoma under full illumination and salicylic acid treatment ( $\bar{x} \pm s, n=5$ )

组别	SOD/ $U \cdot g^{-1}$	POD/ $U \cdot g \cdot min^{-1}$	CAT/ $U \cdot g \cdot min^{-1}$	MDA/ $mmol \cdot g^{-1}$
对照	168.7 ± 6.68	18 188 ± 164	234.7 ± 52.3	8.29 ± 0.37
空白	121.9 ± 0.97 <sup>2)</sup>	15 796 ± 935 <sup>1)</sup>	230.7 ± 55.1	8.95 ± 0.35 <sup>1)</sup>
0.05 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	168.7 ± 2.37 <sup>4)</sup>	23 509 ± 291 <sup>1,4)</sup>	318.6 ± 29.6 <sup>2,4)</sup>	7.23 ± 0.02 <sup>1,4)</sup>
0.2 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	170.5 ± 2.40 <sup>4)</sup>	25 826 ± 363 <sup>2,4)</sup>	330.1 ± 39.7 <sup>2,4)</sup>	8.27 ± 0.17
1.0 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	174.6 ± 2.05 <sup>1,4)</sup>	25 981 ± 142 <sup>2,4)</sup>	362.7 ± 12.2 <sup>2,4)</sup>	8.09 ± 0.51 <sup>2)</sup>
3 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	171.5 ± 1.55 <sup>4)</sup>	14 616 ± 565 <sup>1)</sup>	304.7 ± 8.49 <sup>2,4)</sup>	7.80 ± 0.28 <sup>1,3)</sup>
10 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	155.6 ± 0.84 <sup>1,4)</sup>	17 280 ± 316	268.0 ± 106 <sup>1,3)</sup>	7.12 ± 0.26 <sup>1,3)</sup>
30 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	173.5 ± 0.98 <sup>1,4)</sup>	18 460 ± 951 <sup>3)</sup>	355.2 ± 7.07 <sup>2,4)</sup>	6.63 ± 0.14 <sup>2,4)</sup>
芸苔素内酯	141.8 ± 5.09 <sup>2,4)</sup>	22 012 ± 322 <sup>1,4)</sup>	342.0 ± 22.6 <sup>2,4)</sup>	9.37 ± 0.63 <sup>1)</sup>

注: 与对照组比较<sup>1)</sup>  $P < 0.05$ , <sup>2)</sup>  $P < 0.01$ ; 与空白组比较<sup>3)</sup>  $P < 0.05$ , <sup>4)</sup>  $P < 0.01$  (表 3 ~ 5 同)。

表 3 全光照及水杨酸处理对叶片光合特性的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=5$ )

Table 3 Change on photosynthesis of Ginseng Radix et Rhizoma under full illumination and salicylic acid treatment ( $\bar{x} \pm s, n=5$ )

组别	净光合速率 / $\mu mol \cdot L^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	蒸腾速率 / $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	气孔导度 / $mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	胞间 CO <sub>2</sub> 质量分数 $\times 10^{-6} / \%$
对照	3.13 ± 0.38	0.73 ± 0.21	46.73 ± 4.95	328.4 ± 32.38
空白	3.56 ± 0.40	1.02 ± 0.28	27.55 ± 10.0 <sup>1)</sup>	232.7 ± 51.23 <sup>1)</sup>
0.05 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	3.94 ± 1.84 <sup>1)</sup>	1.59 ± 0.69 <sup>1)</sup>	36.21 ± 14.9 <sup>3)</sup>	263.5 ± 105.0 <sup>1)</sup>
0.2 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	4.17 ± 1.59 <sup>2,3)</sup>	1.63 ± 0.51 <sup>1,3)</sup>	37.67 ± 11.2 <sup>3)</sup>	257.4 ± 70.7 <sup>1)</sup>
1.0 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	4.14 ± 0.51 <sup>2,3)</sup>	1.50 ± 0.14 <sup>1)</sup>	41.36 ± 5.55 <sup>1,3)</sup>	278.5 ± 1.76 <sup>1,3)</sup>
3 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	3.51 ± 0.99	1.21 ± 0.35 <sup>1)</sup>	28.29 ± 5.56 <sup>1)</sup>	238.3 ± 25.4 <sup>1)</sup>
10 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	3.49 ± 0.97	1.26 ± 0.37 <sup>1)</sup>	26.65 ± 8.98 <sup>1)</sup>	227.3 ± 30.2 <sup>1)</sup>
30 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	3.57 ± 0.18	1.21 ± 0.15	31.23 ± 5.56 <sup>1)</sup>	251.5 ± 39.1 <sup>1)</sup>
芸苔素内酯	3.81 ± 0.66 <sup>1)</sup>	1.31 ± 0.18 <sup>1)</sup>	26.07 ± 4.28 <sup>1)</sup>	210.7 ± 3.79 <sup>1)</sup>

**2.6 全光照及水杨酸处理对秋季人参皂苷类含量的影响** 6 种人参皂苷的质量分数结果见表 4, 5。2010 年版《中国药典》以人参皂苷  $R_{g_1}$ ,  $R_e$  质量分数之和不低于 0.30%, 人参皂苷  $R_{b_1}$  质量分数不低于 0.20% 作为人参药材质量控制的指标<sup>[10]</sup>。

### 3 讨论

**3.1 全光照及水杨酸处理对人参叶片生理生化的影响** 正常条件下活性氧物质含量与抗氧化酶活性

处于一种动态平衡, 当植物处于逆境环境时, 活性氧增加, 抗氧化酶的活性也会相应变化。由表 2 可知, 空白组在全光照条件下 POD, CAT 和 POD 活性均降低, 会导致过多活性氧的存在, 而且 MDA 含量高于对照组, 说明秋季全光照对人参叶片产生了一定的伤害。但是喷施水杨酸后, 各组 POD, CAT, POD 活性均升高, MDA 含量降低, 说明水杨酸起到了很好的抗胁迫作用, 其中 1.0 mmol·L<sup>-1</sup>水杨酸组 3 种酶

表 4 秋季抗衰老试验各组人参根中人参皂苷类成分的质量分数 ( $\bar{x} \pm s, n = 5$ )

组别	人参皂苷 Rg <sub>1</sub>	人参皂苷 Re	人参皂苷 Rb <sub>1</sub>	人参皂苷 Rc	人参皂苷 Rb <sub>2</sub>	人参皂苷 Rd
对照	0.363 ± 0.013	0.504 ± 0.01	0.627 ± 0.110	0.417 ± 0.035	0.448 ± 0.030	0.202 ± 0.002
空白	0.385 ± 0.005 <sup>1)</sup>	0.480 ± 0.001 <sup>1)</sup>	0.816 ± 0.05 <sup>1)</sup>	0.567 ± 0.024 <sup>3)</sup>	0.414 ± 0.02	0.216 ± 0.014
0.05 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	0.378 ± 0.011 <sup>1)</sup>	0.526 ± 0.006 <sup>1,3)</sup>	0.500 ± 0.007 <sup>3)</sup>	0.337 ± 0.008 <sup>1,4)</sup>	0.332 ± 0.034 <sup>1,3)</sup>	0.133 ± 0.003 <sup>1,3)</sup>
0.2 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	0.351 ± 0.007	0.515 ± 0.001	0.690 ± 0.07	0.430 ± 0.011	0.303 ± 0.005 <sup>1,3)</sup>	0.184 ± 0.006
1.0 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	0.420 ± 0.003 <sup>1,3)</sup>	0.544 ± 0.013 <sup>1,3)</sup>	0.612 ± 0.102 <sup>3)</sup>	0.430 ± 0.043	0.320 ± 0.031 <sup>1,3)</sup>	0.140 ± 0.002 <sup>1,3)</sup>
3 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	0.343 ± 0.002 <sup>1)</sup>	0.440 ± 0.019 <sup>1)</sup>	0.613 ± 0.024 <sup>3)</sup>	0.427 ± 0.004 <sup>3)</sup>	0.347 ± 0.002 <sup>1)</sup>	0.148 ± 0.038 <sup>1)</sup>
10 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	0.384 ± 0.003 <sup>1)</sup>	0.462 ± 0.006 <sup>1)</sup>	0.656 ± 0.164	0.476 ± 0.059	0.340 ± 0.027 <sup>1)</sup>	0.193 ± 0.015
30 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	0.380 ± 0.001 <sup>1)</sup>	0.537 ± 0.003 <sup>1,3)</sup>	0.628 ± 0.104	0.454 ± 0.043	0.366 ± 0.026 <sup>1)</sup>	0.192 ± 0.014
芸苔素内酯	0.287 ± 0.004 <sup>1,3)</sup>	0.504 ± 0.001	0.563 ± 0.044 <sup>3)</sup>	0.392 ± 0.021 <sup>4)</sup>	0.204 ± 0.01 <sup>1,4)</sup>	0.120 ± 0.002 <sup>1,3)</sup>

表 5 秋季抗衰老试验各组人参叶及茎中人参皂苷类成分的质量分数 ( $\bar{x} \pm s, n = 5$ )

组别	叶			
	人参皂苷 Rg <sub>1</sub>	人参皂苷 Re	人参皂苷 Rb <sub>1</sub>	人参皂苷 Rc
对照	1.60 ± 0.06	3.26 ± 0.09	1.55 ± 0.03	0.666 ± 0.036
空白	1.33 ± 0.04 <sup>1)</sup>	3.25 ± 0.15	1.48 ± 0.05	0.649 ± 0.030
0.05 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	1.40 ± 0.07 <sup>1)</sup>	3.97 ± 0.18 <sup>1)</sup>	1.72 ± 0.06 <sup>1)</sup>	0.588 ± 0.010 <sup>1)</sup>
0.2 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	1.52 ± 0.01	4.16 ± 0.06 <sup>1)</sup>	1.50 ± 0.09	0.511 ± 0.060 <sup>1,3)</sup>
1.0 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	1.67 ± 0.07 <sup>3)</sup>	3.84 ± 0.08 <sup>1)</sup>	1.54 ± 0.03	0.560 ± 0.050 <sup>1)</sup>
3 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	1.39 ± 0.01 <sup>1)</sup>	3.27 ± 0.07	1.44 ± 0.03 <sup>1)</sup>	0.538 ± 0.020 <sup>1,3)</sup>
10 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	1.62 ± 0.02	4.18 ± 0.08 <sup>1,3)</sup>	1.70 ± 0.03 <sup>1)</sup>	0.846 ± 0.010 <sup>1)</sup>
30 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	1.52 ± 0.00	4.05 ± 0.22 <sup>1)</sup>	1.57 ± 0.01	0.836 ± 0.030 <sup>1)</sup>
芸苔素内酯	1.05 ± 0.06 <sup>1,3)</sup>	3.27 ± 0.14	1.32 ± 0.05 <sup>1)</sup>	0.462 ± 0.040 <sup>1,3)</sup>

组别	叶		茎	
	人参皂苷 Rb <sub>2</sub>	人参皂苷 Rd	人参皂苷 Rg <sub>1</sub>	人参皂苷 Re
对照	0.800 ± 0.002	2.01 ± 0.10	0.311 ± 0.014	0.579 ± 0.010
空白	0.704 ± 0.023 <sup>1)</sup>	1.99 ± 0.10	0.309 ± 0.001	0.733 ± 0.012 <sup>1)</sup>
0.05 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	0.41 ± 0.025 <sup>1,4)</sup>	1.12 ± 0.06 <sup>1,3)</sup>	0.278 ± 0.022 <sup>1)</sup>	0.74 ± 0.047 <sup>1)</sup>
0.2 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	0.504 ± 0.039 <sup>1,3)</sup>	1.43 ± 0.03	0.318 ± 0.006	0.513 ± 0.008 <sup>3)</sup>
1.0 mmol·L <sup>-1</sup> 水杨酸	0.620 ± 0.052 <sup>1)</sup>	1.84 ± 0.01 <sup>1)</sup>	0.332 ± 0.002	0.620 ± 0.003 <sup>3)</sup>
3 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	0.555 ± 0.027 <sup>1,3)</sup>	1.35 ± 0.04 <sup>1,3)</sup>	0.316 ± 0.018	0.658 ± 0.043
10 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	0.860 ± 0.025 <sup>1,4)</sup>	2.12 ± 0.07	0.263 ± 0.029 <sup>1,3)</sup>	0.643 ± 0.058
30 mg·L <sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤	0.950 ± 0.022 <sup>1,4)</sup>	2.35 ± 0.03 <sup>1,3)</sup>	0.380 ± 0.141 <sup>1,3)</sup>	0.602 ± 0.090 <sup>3)</sup>
芸苔素内酯	0.541 ± 0.015 <sup>1,3)</sup>	1.53 ± 0.06 <sup>1,3)</sup>	0.309 ± 0.006 <sup>1)</sup>	0.773 ± 0.017 <sup>1)</sup>

活性最高,MDA 含量也较低,效果最好;在 6-苄氨基嘌呤各处理组中,30 mg·L<sup>-1</sup> 6-苄氨基嘌呤组的效果较好;芸苔素内酯处理组 POD, CAT 活性高于对照组,但 SOD 活性低于对照组,且 MDA 含量高于对照组,原因有待进一步研究。

**3.2 全光照及水杨酸处理对人参叶片光合特性的影响** 由表 3 可知,净光合速率数据表明全光照空白组净光合速率高于对照组;水杨酸各处理组的净光合速率均高于空白组及对照组;6-苄氨基嘌呤各处理组净光合速率虽然高于对照组,但却大多小于

空白组,表明秋季增加光照强度可提高人参光合作用。全光照空白组与对照组相比,气孔导度显著变小,原因可能是因为人参属于阴性植物,不耐干旱,需生长在低温高湿的环境中,在全光照条件下导致空气湿度降低,以适应干燥环境;从胞间  $\text{CO}_2$  浓度分析,空白组胞间  $\text{CO}_2$  浓度较对照组严重降低,降低近 30%。结合气孔导度和胞间  $\text{CO}_2$  浓度及光量子密度,提示人参在全光照条件下光合速率的提高是通过增加光照强度实现的。水杨酸可增加植物的光饱和点、降低光补偿点<sup>[11]</sup>,从而能高人参的净光合速率。

**3.3 全光照及水杨酸处理对人参皂苷类成分含量的影响** 由表 4 可知,在秋季撤去遮荫棚,不会影响人参质量;1.0  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  水杨酸组人参皂苷  $\text{Rg}_1$  和人参皂苷  $\text{Re}$  之和显著高于对照组及空白组,说明在秋季全光照处理期间喷施 1.0  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  水杨酸溶液可提高人参根中主要人参皂苷类成分含量。30  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  6-苄氨基嘌呤组人参皂苷  $\text{Rg}_1$  与 人参皂苷  $\text{Re}$  含量之和高于对照组,6 种人参皂苷类成分的含量之和与对照组相近,说明 30  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  6-苄氨基嘌呤处理可提高人参皂苷  $\text{Rg}_1$ ,  $\text{Re}$  含量。芸苔素内酯处理有 5 种人参皂苷类成分含量低于空白组,说明喷施芸苔素内酯溶液不能提高全光照条件下人参皂苷含量。由表 5 可知,空白组人参叶中人参皂苷  $\text{Rg}_1$ ,  $\text{Re}$  含量之和低于对照组,空白组 6 种人参皂苷类成分含量总和低于对照组,结果与根相印证,说明秋季全光照处理降低叶中人参皂苷类成分的含量。1.0  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  水杨酸组人参皂苷  $\text{Rg}_1$ ,  $\text{Re}$  含量之和及 6 种人参皂苷类成分含量高于对照组,说明 1.0  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  水杨酸可提高人参叶质量;同理,说明 30  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  6-苄氨基嘌呤处理可提高人参叶的质量,芸苔素内酯溶液不能提高人参叶中人参皂苷类成分的含量。人参为多年生植物,目前,人参种植者仅在采收当年在秋季采用全光照,而且有时会出现地上部分提前枯萎现象,因此采用 0.2 ~ 1.0  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  水

杨酸处理植株可较好延缓植株衰老,提高人参产量,而且不降低人参质量,是一项值得推广的高产措施。

[参考文献]

[1] 徐克章,曹正菊,张为群,等. 人参叶片光合作用特性的研究[J]. 中国农业科学,1990,23(6):69-74.  
[2] Liao Y, Tian M, Zhang H, et al. Salicylic acid binding of mitochondrial alpha-ketoglutarate dehydrogenase E2 affects mitochondrial oxidative phosphorylation and electron transport chain components and plays a role in basal defense against tobacco mosaic virus in tomato [J]. *New Phytol*, 2014, 205(3):1296-1307.  
[3] 尹玲莉,侯晓杰. 植物抗性信号分子——水杨酸研究进展[J]. 中国农学通报,2007,23(1):338-342.  
[4] 李亮,董春娟,尚庆茂. 内源水杨酸参与黄瓜叶片光合系统对低温胁迫的响应[J]. 园艺学报,2013,40(3):487-497.  
[5] 严雯奕,叶胜海,董彦君,等. 植物叶片衰老相关研究进展[J]. 作物杂志,2010(4):4-9.  
[6] 陈晓璐,李耕,刘鹏,等. 6-苄氨基嘌呤(6BA)对不同氮素水平下玉米叶片衰老过程中光系统 II 性能的调控效应[J]. 作物学报,2013,39(6):1111-1118.  
[7] 朱立宝,刘海河,张彦萍,等. 芸苔素内酯对厚皮甜瓜坐果节位叶片衰老及叶绿素荧光特性的影响[J]. 河南农业大学学报,2014,37(4):58-62.  
[8] 杨兰芳,庞静,彭小兰,等. 紫外分光光度法测定植物过氧化氢酶活性[J]. 现代农业科技,2009(20):364-366.  
[9] 张建伟,赵倩,何希荣,等. HPLC 测定中成药中人参皂苷类成分含量的应用概况[J]. 中国实验方剂学杂志,2014,20(17):228-231.  
[10] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2010:8.  
[11] 王晓立,韩浩章,张颖,等. 水杨酸处理对金钱草光合特性研究[J]. 江西农业学报,2012,24(10):4-8.

[责任编辑 刘德文]