

DA-6 对秋季草莓叶片光合速率和植株生长的影响*

苗鹏飞¹ 刘国杰^{1*} 李绍华² 单守明¹

(¹ 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094; ² 中国科学院植物研究所, 北京 100093)

摘要 以‘法国3号’草莓为材料,研究了秋季叶面喷施 10、20 和 30 mg · L⁻¹ 的 DA-6 处理对草莓幼苗叶片光合作用、活性氧代谢和植株生长的影响。结果表明:叶面喷施 20 和 30 mg · L⁻¹ 的 DA-6 处理使叶片净光合速率分别提高了 17.5% 和 20.6%,并显著提高了叶绿素 a、b 含量及 SOD、CAT 酶活性,同时降低了 MDA 和活性氧含量。20 和 30 mg · L⁻¹ 的 DA-6 处理显著增加了草莓平均单叶干质量,极显著增加了草莓茎和根系干质量,根冠比分别增加了 29.9% 和 29.3%。表明秋季施用一定浓度的 DA-6 有利于草莓幼苗植株生长。

关键词 草莓 光合作用 DA-6 叶绿素

文章编号 1001-9332(2007)12-2722-05 中图分类号 Q945;S668.4 文献标识码 A

Effects of foliar spraying DA-6 on the photosynthetic rate and plant growth of strawberry in autumn. MIAO Peng-fei¹, LIU Guo-jie¹, LI Shao-hua², SHAN Shou-ming¹(¹College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China; ²Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2007, 18(12): 2722-2726.

Abstract: With strawberry ‘French 3’ (*Fragaria × ananassa* Duch cv. French 3) as test material, this paper studied the effects of foliar spraying DA-6 at the rates of 10, 20 and 30 mg · L⁻¹ in late autumn on its seedlings net photosynthetic rate, metabolism of reactive oxygen species, and plant growth. Compared with the control, foliar spraying DA-6 of 20 and 30 mg · L⁻¹ increased the net photosynthetic rate, chlorophyll a and b contents, and SOD and CAT activities significantly, and decreased the reactive oxygen and MDA contents. Moreover, foliar spraying DA-6 of 20 and 30 mg · L⁻¹ increased the average dry weight per leaf, and the dry mass of shoot and root significantly. The ratio of root to shoot after spraying DA-6 of 20 and 30 mg · L⁻¹ was 29.9% and 29.3% higher than the control, respectively. Foliar spraying appropriate concentration of DA-6 in late autumn could improve the plant growth of strawberry seedlings.

Key words: strawberry; photosynthesis; DA-6; chlorophyll.

1 引言

草莓通常在夏季繁殖幼苗,秋季定植,冬季或次年春天生产。由于草莓幼苗生长期在秋季,生长期短,日照时数少、气温低,致使叶片衰老加快、光合作用下降,最终导致草莓幼苗植株弱小,积累养分少,给草莓花芽分化、安全越冬和次年的优质丰产带来不利影响^[3,11-12]。提高草莓幼苗秋季叶片光合速率,促进草莓植株生长和营养物质的积累,有利于培育优质壮苗和促进花芽分化,从而提高次年草莓的产量和品质^[1,3,12]。

DA-6(N,N-diethylaminoethyl hexanoate)有效成分为二烷氨基乙醇羧酸酯,是一种新式细胞分裂素类植物生长调节剂。由于其低毒、安全、价格低廉和使用方便,使其在农业生产上具有广阔的应用前景。研究表明,DA-6可扩大植物叶面积,提高叶绿素含量和光合速率,延长叶片功能期^[2,8-9],促进植物碳水化合物化合物的合成与积累,从而提高作物产量和品质^[17-18,20]。

目前,关于利用安全植物生长调节剂延长秋季果树叶片光合功能期,促进养分回流方面的研究较少。本试验以“法国3号”草莓品种为试材,研究不同浓度 DA-6 处理对秋季草莓叶片光合特性和植株衰老的影响,探讨其对秋季草莓植株生长的调控作用,以期为草莓优质、高产提供理论依据。

* 农业部“948”项目(2006-G30)和云南红河农业开发资助项目。

* * 通讯作者。E-mail: lgj@cau.edu.cn

2006-11-02 收稿,2007-09-24 接受。

2 材料与方法

2.1 供试材料

试验于 2005 年在中国农业大学科学园进行(露天条件)。选用当年生、生长势一致的草莓“法国 3 号”(*Fragaria × ananassa* Duch cv. French 3)匍匐茎苗为试材 8 月上旬定植于露地,起垄栽植,株行距为 25 cm × 35 cm 施足底肥,常规管理。9 月 20 日分别用 10、20 和 30 mg · L⁻¹ 的 DA-6 喷施叶面,以喷等量清水为对照,小区面积为 10 m²,每处理重复 3 次,随机区组排列。

2.2 测定方法

2.2.1 光合速率的测定 在处理后每隔 3 d 于 10:00 采用 Li-6400 型便携式光合测定仪(美国 Li-COR 公司生产)测定各处理植株第 3 片复叶(从心叶算起,中位叶)的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和胞间 CO₂ 浓度(C_i)等光合指标,每处理测定 3 株,每片叶重复测定 3 次,取平均值。

2.2.2 叶绿素含量、活性氧及保护性物质的测定 在测定光合速率的同时,每小区采 10 片第 3 片复叶,参照文献 [4] 介绍的方法测定叶绿素、脯氨酸、丙二醛(MDA)含量及过氧化氢酶(CAT)和超氧化物歧化酶(SOD)活性,参照文献 [14] 介绍的方法测定叶片超氧阴离子自由基(O₂⁻)净产生速率,参照文献 [7] 介绍的方法测定叶片过氧化氢(H₂O₂)含量。

2.2.3 植株生物量的测定 处理后第 30 天,每小区取 10 株植株,洗净后分成根、茎、叶、叶柄 4 部分,在 105 °C 下杀青 30 min,然后在 80 °C 下烘干至恒量,测定根、茎、叶等器官的干物质量。

2.3 数据处理

采用 SASS 软件对数据进行统计处理。

3 结果与分析

3.1 DA-6 对草莓叶片光合作用的影响

由图 1 可知,在整个处理过程中,随着处理时间的延长,对照叶片的 P_n 、 G_s 和 C_i 呈下降趋势,15 d 内分别下降了 16.6%、22.3% 和 22.9%。不同浓度 DA-6 处理延缓了叶片的 P_n 、 G_s 和 C_i 的下降趋势,第 15 天时,10、20 和 30 mg · L⁻¹ 的 DA-6 处理叶片 P_n 分别下降了 11.9%、1.9% 和 -0.65%。可见,DA-6 能延缓秋季草莓叶片光合速率的下降,且在一定范围内,随着浓度的升高其作用显著增强。在整个处理过程中,10 mg · L⁻¹ 的 DA-6 处理虽能提高 P_n 、 G_s 和 C_i ,但与对照间无显著差异;在 12~15 d 20 和

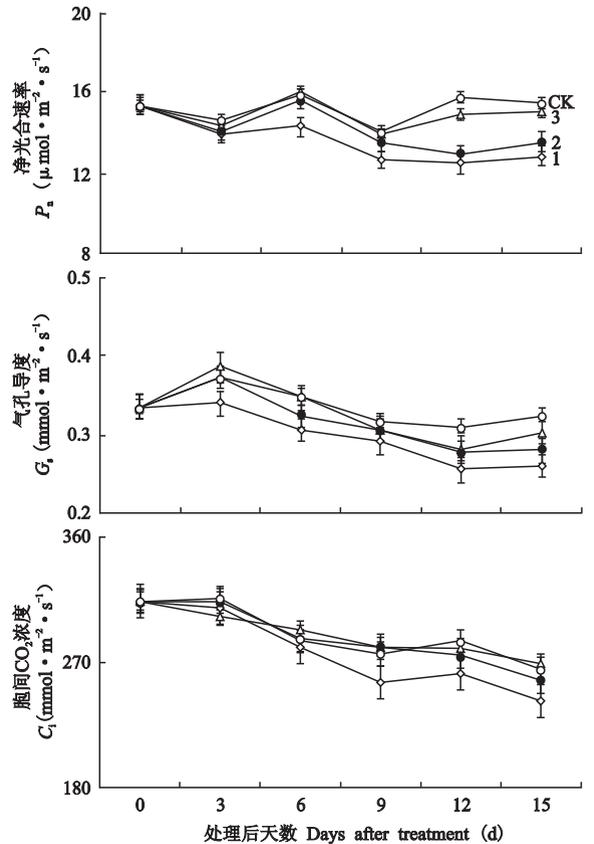


图 1 不同浓度 DA-6 处理对草莓叶片光合速率、气孔导度和胞间 CO₂ 浓度的影响

Fig. 1 Effect of different DA-6 concentrations on net photosynthetic rate, stomatal conductance and intercellular CO₂ concentration in strawberry leaves.

1) 10 mg · L⁻¹; 2) 20 mg · L⁻¹; 3) 30 mg · L⁻¹. 下同 The same below.

30 mg · L⁻¹ 的 DA-6 处理叶片 P_n 显著高于对照和 10 mg · L⁻¹ DA-6 处理,但 20 和 30 mg · L⁻¹ 浓度处理之间无显著差异。

3.2 DA-6 对草莓叶片叶绿素含量的影响

由图 2 可知,随着处理时间的延长,CK 叶片叶绿素含量呈逐渐下降趋势,在 15 d 内,叶绿素 a 和叶绿素 b 含量分别下降了 23.0% 和 18.4%。DA-6 处理延缓了叶绿素含量的下降,在第 15 天时,10、20 和 30 mg · L⁻¹ DA-6 处理的叶片叶绿素 a 含量分别下降了 16.4%、9.8% 和 8.2%,叶绿素 b 含量分别下降了 16.1%、11.1% 和 7.5%。处理后第 6 天—第 15 天,20 和 30 mg · L⁻¹ DA-6 处理叶片的叶绿素 a 含量分别比对照提高了 14.5% 和 16.1%,叶绿素 b 含量分别比对照提高了 8.1% 和 11.7%,差异达显著水平。

3.3 DA-6 对草莓叶片 H₂O₂、MDA 含量和 O₂⁻ 产生速率的影响

在处理的 15 d 内,对照叶片的 MDA、H₂O₂ 含量

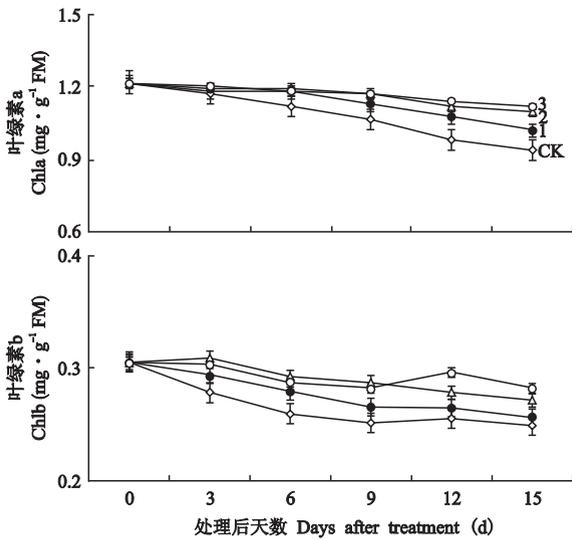


图2 不同浓度 DA-6 处理对草莓叶片叶绿素含量的影响
Fig. 2 Effect of different DA-6 concentrations on chlorophyll concentration in strawberry leaves.

和 O_2^- 净产生速率呈不断上升趋势, 处理结束时分别上升了 1.85、1.28 和 1.72 倍, 表明对照叶片在逐渐衰老 (图 3). 不同浓度 DA-6 处理减缓了草莓叶片

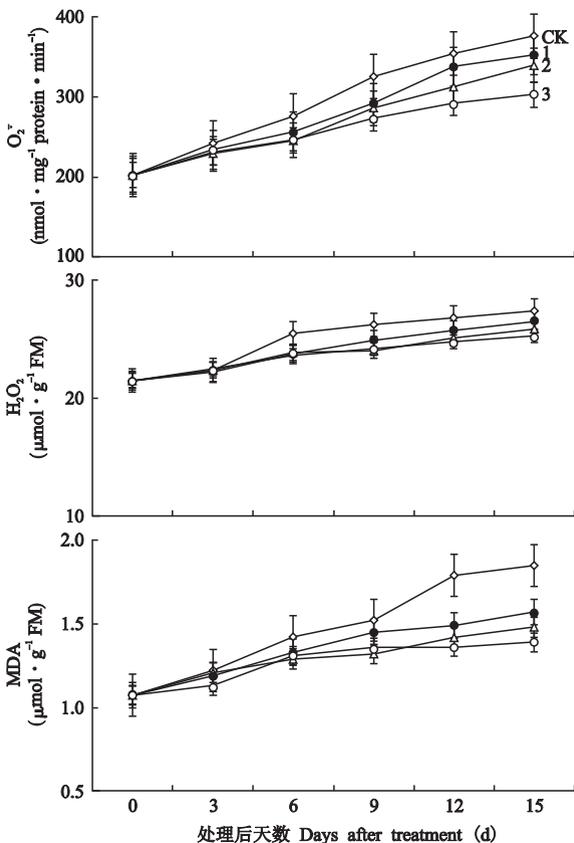


图3 不同浓度 DA-6 处理对草莓叶片 H_2O_2 、MDA 含量和 O_2^- 产生速率的影响
Fig. 3 Effect of different DA-6 concentrations on H_2O_2 and MDA contents and rate of O_2^- generation in strawberry leaves.

的衰老速度, 施用 6 d 后, 各处理叶片 MDA、 H_2O_2 含量和 O_2^- 净产生速率均显著低于对照, 但各浓度处理间差异不显著; 施用第 15 天时, $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ DA-6 处理叶片的 MDA、 H_2O_2 含量和 O_2^- 净产生速率最低, 其次是 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理。

3.4 DA-6 对草莓叶片 SOD、CAT 活性和脯氨酸含量的影响

由图 4 可知, 在处理期间, 对照叶片的 SOD 和 CAT 活性呈逐渐下降趋势, 脯氨酸含量呈上升趋势, 15 d 内, SOD 和 CAT 活性分别下降了 20.5% 和 17.5%, 脯氨酸含量上升了 70%。与对照相比, 处理后 3 d, $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ DA-6 处理的 SOD 活性明显提高, 处理后 6~15 d, 提高幅度达显著水平。处理后 6 d, CAT 活性才显著提高; 在 6~15 d, 除 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理外, 其余两处理都极显著提高了 CAT 活性。处理后 6~15 d, 10、20 和 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ DA-6 处理明显提高了叶片脯氨酸含量; 在第 15 天时, 与对照相比, 分别提高了 8.3%、15.3% 和 17.2%, 与对照差异达显著水平。

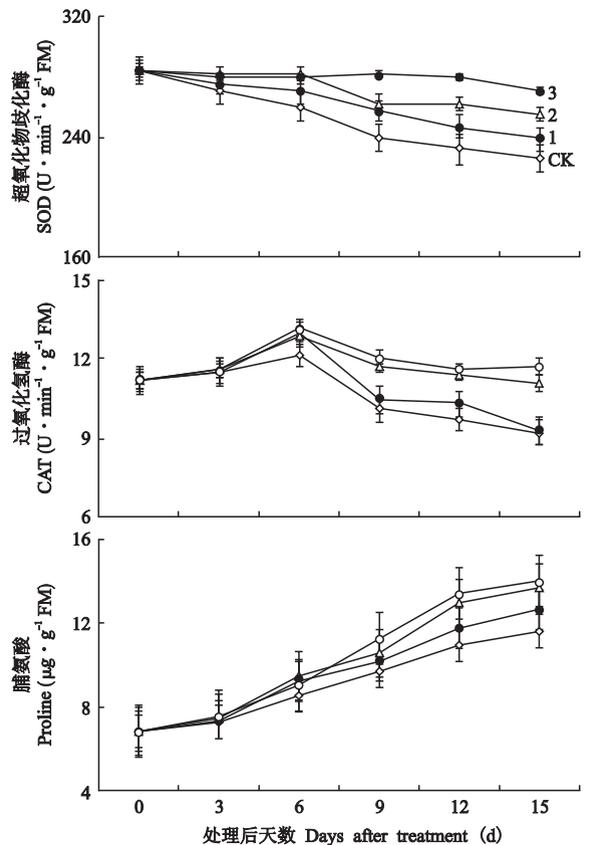


图4 不同浓度 DA-6 处理对草莓叶片 SOD、CAT 活性和脯氨酸含量的影响
Fig. 4 Effect of different DA-6 concentrations on SOD and CAT activities and MDA contents in strawberry leaves.

3.5 DA-6 对草莓植株各器官干质量的影响

由表 1 可知,在秋季使用 DA-6 喷施草莓叶面后 30 d 均不同程度地提高了草莓植株各器官干质量。20 和 30 mg · L⁻¹ DA-6 处理显著提高了草莓叶片和叶柄质量,极显著提高了茎和根系质量,并使根冠比分别提高了 1.29 和 1.30 倍,与对照相比差异达极显著水平;10 mg · L⁻¹ DA-6 处理对叶片和叶柄质量无显著影响,但使根系质量和根冠比分别提高了 1.28 和 1.20 倍,与对照差异达显著水平。不同浓度 DA-6 处理的叶片、叶柄质量间无显著差异,20 和 30 mg · L⁻¹ 处理的根、茎质量及根冠比显著高于 10 mg · L⁻¹ 处理,但前两者之间差异未达到显著水平。

表 1 不同浓度 DA-6 处理对草莓植株各器官干质量的影响
Tab.1 Effect of different DA-6 concentrations on the dry mass of different strawberry organs

| 处理 Treatment (mg · L ⁻¹) | 单株叶片 质量 Dry leaf mass per plant(g) | 单株叶柄 质量 Dry petiole mass per plant(g) | 单株茎质量 Dry stalk mass per plant (g) | 单株根质量 Dry root mass per plant (g) | 根冠比 Ratio of root to shoot |
|--|--|---|--|---|-------------------------------------|
| 0 | 2.05a | 0.47a | 1.21aA | 1.23aA | 0.488aA |
| 10 | 2.17ab | 0.51ab | 1.32aAB | 1.57bB | 0.585bB |
| 20 | 2.29b | 0.61b | 1.57bB | 1.84cB | 0.634cB |
| 30 | 2.24b | 0.58b | 1.52bB | 1.78cB | 0.631cB |

同列不同大、小写字母分别表示差异达 0.01 和 0.05 显著水平 Different small and capital letters in the same column meant significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

4 讨 论

秋季草莓叶片的叶绿素含量、SOD 和 CAT 活性逐渐下降,活性氧净产生速率和 MDA 含量逐渐升高,表明此时草莓叶片在逐渐衰老。由于活性氧破坏叶绿体结构和细胞膜系统,且由此产生的 MDA 也会对膜系统造成伤害^[6-7,10,15-16,19,21],因此,活性氧的产生在整体上降低了叶片叶绿素含量并最终导致光合速率降低。本试验中,DA-6 处理降低了 MDA 含量和活性氧净产生速率,提高了脯氨酸含量和 SOD、CAT 活性,从而在一定程度上延缓了草莓叶片的衰老,减轻了活性氧对叶绿体的破坏,提高了叶绿素含量,这可能是 DA-6 延缓秋季草莓叶片光合速率降低的主要原因。秋季草莓叶片 G_s 和 C_i 下降的同时, P_n 也呈下降趋势(图 1),表明气孔限制因素是秋季草莓叶片光合作用降低的另一个重要因素。细胞分裂素类植物生长调节剂具有调节气孔运动、促进气孔开放等多种作用^[3,12],本试验中,处理 12 ~ 15 d 时,DA-6 可显著提高草莓叶片 G_s 和 P_n,说

明,DA-6 可通过调节气孔因素来调节光合作用。

细胞分裂素类植物生长调节剂均能促进碳水化合物的运输与分配^[3,5,11-13,21]。本试验结果表明,20 和 30 mg · L⁻¹ DA-6 处理不但提高了秋季草莓叶片的 P_n,还显著增加了草莓茎、根质量及根冠比(表 1),说明其在提高光合作用的同时,也促进了同化物向根、茎中的分配,从而促进了茎和根系的生长。草莓花芽分化的关键时期为 9—10 月,此时 P_n 的提高和植株中光合产物的较多积累有利于花芽进一步分化^[3,12]。这对植株越冬和次年草莓产量的提高均具有重要意义。

参考文献

- [1] Braun JW, Garth JKL. 1986. Strawberry vegetative and fruit growth response to paclobutrazol. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **111**: 364-367
- [2] Chen M-Z (陈敏资). 1995. Effects of N,N-diethylaminoethyl hexanote on the physiological activity in *Matthiola incana* R. Br. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), **22**(2): 201-202 (in Chinese)
- [3] Flore JA, Lakso AN. 1989. Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. *Horticultural Reviews*, **11**: 111-157
- [4] Li H-S (李合生). 2000. Principle and Technology on Physiological and Biochemical Test of Plant. Beijing: Higher Education Press (in Chinese)
- [5] Li W-D (李卫东), Li S-H (李绍华), Wu B-H (吴本宏), et al. 2005. Leaf photosynthesis in response to fruit thinning at different phenological stages of fruit development in peach trees. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), **38**(3): 565-570 (in Chinese)
- [6] Liang Y (梁颖). 2003. Influence of DA-6 on cold resistance of rice seedling. *Journal of Mountain Agriculture and Biology* (山地农业生物学报), **22**(2): 95-98 (in Chinese)
- [7] Lin Z-F (林植芳), Li S-S (李双顺), Lin G-Z (林桂珠), et al. 1988. The accumulation of hydrogen peroxide in senescing leaves and chloroplasts in relation to lipid peroxidation. *Acta Phytophysiologica Sinica* (植物生理学报), **14**(1): 16-22 (in Chinese)
- [8] Lü J-Z (吕建洲), Xue X-C (薛秀春), Zhang A-L (张爱莲). 2000. The regulation of DA-6 on the growth and physiology activity in *Sabina chinensis*. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), **20**(1): 73-78 (in Chinese)
- [9] Lü J-Z (吕建洲), Zhang Q (张琴), Li G-Q (李桂琴), et al. 1999. The effect of N,N-dithylaminoethyl hexanote on the growth and physiological activity in *Senecio cruentus* DC. *Journal of Liaoning Normal University* (Natural Science) (辽宁师范大学学报·自然科学

- 版), 22(2):153-157 (in Chinese)
- [10] Mao G-L (毛桂莲), Xu X (许兴), Zhang Y (张渊). 2005. Effect of NaCl stress on fluorescence characteristics and active oxygen metabolism in leaves of *Lycium barbarum* seedlings. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 23(5):118-121 (in Chinese)
- [11] Perkins-Veazie P. 1995. Growth and ripening of strawberry fruit. *Horticultural Reviews*, 17:267-297
- [12] Pessaraki M. 2005. Handbook of Photosynthesis. 2nd Edition. London: CRC Press
- [13] Thetford M, Warren SL, Blazich FA. 1995. Response of forsythia xintermedia "spectabilis" to uniconazole. I. Growth, dry-matter distribution and mineral nutrient content, concentration, and partitioning. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120:977-982
- [14] Wang A-G (王爱国), Luo G-H (罗广华). 1990. Quantitative relation between the reaction of hydroxylamine and superoxide anion radicals in plants. *Plant Physiology Communications* (植物生理学通讯), 26(6):55-57 (in Chinese)
- [15] Wang R-B (王仁杯), Shen Z-M (沈志民), Xu S-Y (徐绍英). 1998. The influence of S3307 on yield and senescence delay in barley. *Journal of Zhejiang Agricultural University* (浙江农业大学学报), 24(2):189-193 (in Chinese)
- [16] Wang Y-X (汪月霞), Sun G-R (孙国荣), Wang J-B (王建波), et al. 2006. Relationships among MDA content, plasma membrane permeability and the chlorophyll fluorescence parameters of *Puccinellia tenuiflora* seedlings under NaCl stress. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 26(1):122-129 (in Chinese)
- [17] Wang Z-H (王忠和). 1990. Effects of paclobutrazol on strawberry growth and fruiting. *China Fruits* (中国果树), (3):28-29 (in Chinese)
- [18] Yang Z-Y (杨治元). 1994. Effects of paclobutrazol on plant growth and yield increase of strawberry. *Shanghai Agricultural Science and Technology* (上海农业科技), (3):6-7 (in Chinese)
- [19] Zhang Z-L (张子龙). 2001. Effects of DA-6 on seedling growth and its cold-resistance in rice. *Guizhou Agricultural Sciences* (贵州农业科学), 29(4):14-16 (in Chinese)
- [20] Zhang Z-L (张子龙), Liang Y (梁颖). 2001. Effects of DA-6 on seed germination and seedling growth in rice. *Journal of Southwest Agricultural University* (西南农业大学学报), 23(3):220-221 (in Chinese)
- [21] Zhou T (周天), Hu Y-J (胡永军), Zhou X-M (周晓梅), et al. 2004. Effect of DA-6 on seedling photosynthesis and growth of wild barley *Hordeum brevisubulatum*. *Pratacultural Science* (草业科学), 21(4):31-34 (in Chinese)

作者简介 苗鹏飞,男,1981年生,硕士研究生.主要从事草莓光合作用研究. E-mail:miaopengfei@126.com

责任编辑 张凤丽
