

植物生长调节剂对大豆叶片光合特性及糖分积累的影响

赵黎明¹, 郑殿峰¹, 冯乃杰¹, 杜吉到¹, 项洪涛¹, 张跃新²

(¹黑龙江八一农垦大学植物科技学院, 黑龙江 大庆 163319; ²黑龙江省林副特产研究所, 黑龙江 牡丹江 157011)

摘要:采用大田叶面喷施的方式, 比较了不同植物生长调节剂对大豆叶片的光合特性与糖分合成的差异, 研究了大豆叶片的糖分积累特点。结果表明: 3种调节剂(SOD模拟物(SOD_M)、氯化胆碱(Cc)和2-N,N-二氨基乙基己酸酯(DTA-6))提高了叶片的光合速率和蒸腾速率, 而水分利用效率和气孔导度的变化并没有直接的相关关系, 其中在喷药后15~30 d, DTA-6处理的蒸腾速率下降幅度要高于其他处理及对照。在喷药后5~30 d, 各处理及对照的气孔导度呈双峰曲线变化趋势, 表现为各处理及对照在10 d与20 d分别出现一高峰值, 至喷药后30 d, 各处理及对照的水分速率和气孔导度值变化规律一致, 具体表现为: SOD_M > 氯化胆碱(Cc) > DTA-6 > CK。SOD_M和DTA-6处理能够在较长时间内维持高的可溶性糖和蔗糖含量, 其中SOD_M调节剂显著的提高了大豆可溶性糖输出量、淀粉转化率以及淀粉积累速率, 而Cc处理在喷药后5~30 d一直维持着较高的蔗糖含量。综合分析表明, 大豆经叶面喷施SOD_M和DTA-6可以有有效的调控叶片中糖分合成、光合作用和蒸腾作用等生理过程。

关键词:植物生长调节剂; 大豆; 光合特性; 糖分积累

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2008)03-0442-05

Effects of Plant Growth Regulators (PGRs) on Photosynthetic Characteristics and Sugar Accumulation in Soybean Leaves

ZHAO Li-ming, ZHENG Dian-feng¹, FENG Nai-jie¹, DU Ji-dao¹, XIANG Hong-tao¹, ZHANG Yue-xin²

(¹College of Plant Science, Heilongjiang August First Land Reclamation University, Daqing 163319, Heilongjiang; ²Quarterly of Forest By-product and Speciality Research Institute in Heilongjiang Province, Mudanjiang 157011, Heilongjiang, China)

Abstract: The photosynthetic characteristic of leaf is one of the main factors affecting seed filling progress in soybean. To investigate the effect of plant growth regulators on photosynthetic characters and sugar accumulation of soybean, we used three regulators, SOD simulation material (SOD_M), Choline chloride (Cc) and Diethyl aminoethyl hexanoate (DTA-6) by spraying in a field experiment. The results showed that three regulators increased photosynthetic rate and transpiration rate, DTA-6 increased the declined transpiration rate from the 15th day to the 30th day after spraying. The stomatal conductance (*G_s*) showed a double-trend curve from the 5th day to the 30th day after spraying three regulators, and *G_s* showed a peak value in the 10th and 20th day. In the 30th day, the water use efficiency and *G_s* synchronously showed: SOD_M > Cc > DTA-6 > CK. SOD_M and DTA-6 could maintain a high level of soluble sugar and sucrose content with a long time. On the other hand, SOD_M significantly increased output rate of soluble sugar, starch conversion rate and starch accumulation rate, while Cc had maintained a high sucrose content from the 5th day to the 30th day after spraying. The above results indicated that it was effective to control the synthesis rate of sugar, photosynthesis, transpiration, and other physiological process with spraying SOD_M and DTA-6 in soybean leaves.

Key words: Plant growth regulator; Soybean; Photosynthetic characteristics; Sugar accumulation

近年来, 由于粮食种植面积不断萎缩和单产徘徊不前, 我国大豆生产在总体上出现了连续多年徘徊不前甚至略显下降的严重局面, 因此, 应用植物生

长调节剂调控作物生长发育进程已成为研究的重点。许艳丽等^[1]研究表明, 大豆应用壮丰安拌种和叶面喷施有效地提高叶片中光合速率, 增加了大豆

收稿日期: 2007-11-09

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2006BAD21B01); 黑龙江省“十一五”科技攻关资助项目(GA06B101-1-1)。

作者简介: 赵黎明(1980-), 男, 硕士研究生, 主要从事作物化学调控方面的研究。Tel: 13804688744; E-mail: zlm111111@163.com。

通讯作者: 郑殿峰, 教授, 博士。Tel: 13836961903; E-mail: zhengdianfeng@hlau.cn。

产量。陈敏资^[2]报道,DTA-6提高了紫罗兰的光合能力以及叶绿素含量。安瑞连和郭俊恒^[3]的研究表明,用矮壮素处理玉米可使玉米叶面积变小、变厚,使群体光合作用增强。雷晓天等^[4]的研究表明,施用“新丰王”能增加叶绿素含量,提高光合速率,促进作物生长发育。叶面喷施多效唑能够明显地增加叶绿素含量和蛋白质含量,使叶片功能期延长,光合效率提高,进而对产量的提高和品质的改善具有重要的意义^[5]。TPK可促进大豆碳代谢进程,使单株荚数增加,瘪荚数下降,百粒重增加,提高了大豆蛋白质和脂肪含量^[6]。金先春^[7]研究表明,小麦生育后期喷洒各种剂型的BN植物生长调节剂,可以影响叶部发育,增大“库容”能力。王永锋等^[8]研究表明使用天然芸苔素能促使大豆健壮生长,加快灌浆速度,提高光合速度,增加糖分积累速率。以往研究多集中于大豆前期光合作用的变化,而在R5期进行叶面喷施植物生长调节剂,研究其叶片光合特性及糖分积累变化还未见报道。采用大田叶面喷施的方式,探讨不同植物生长调节剂对大豆叶片光合特性以及糖分积累的影响效应,旨在为调节剂的规模性应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2006年在黑龙江省大庆市林甸县吉祥村进行,土壤碱解氮 $178.50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $25.40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $257.40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH值7.88,有机质的含量3.08%。采用大田叶面喷施的方式,以清水为对照,3种调节剂,分别为SOD模拟物(SOD_M)、氯化胆碱(Choline chloride,简称Cc)和2-N,N-二乙氨基乙基己酸酯(diethyl aminoethyl hexanoate,简称DTA-6),使用剂量分别为 $1.5\text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $15\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $12\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$,用水量均为 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。于R5期(8月11日)进行,小区为6行区,行距为65 cm,株距为5 cm。处理与对照随机排列,3次重复。在整个生育期间,适时除草和防治病虫害。

1.2 测定方法

喷药后,每5 d取样一次,取样时每个小区选取有代表性植株10株,取其倒三功能叶供测试用。测试指标有蔗糖、可溶性糖和淀粉,其中蔗糖含量的测定采用张振清^[9]的方法,可溶性糖和淀粉积累速率的测定采用何照范^[10]的方法。大豆叶片光合指标

的测定采用ECA-PB0401便携式光合测定仪进行测定,于晴天上午9:00~11:00在每处理中选择受光方向和生长状况一致的倒三功能叶片,测定各项光合指标。

1.3 数据分析

试验所有数据处理采用Excel软件;方差分析采用DPS。

2 结果与分析

2.1 不同植物生长调节剂对大豆叶片光合速率和蒸腾速率的影响

大豆叶片光合速率和蒸腾速率随叶面喷施的调节剂不同而呈现不同的变化趋势(如表1所示),从表中可以看出,叶片光合速率在喷药后5~30 d内呈单峰曲线变化,而蒸腾速率的变化趋势不定,这可能是由于水分散失对气孔开度的依赖大于光合对气孔的依赖所导致的结果,同时也说明大豆的蒸腾比光合对调节剂的反应更加敏感。喷药后15 d各处理及对照均达到峰值,且表现为DTA-6 > Cc > SOD_M > CK,而在喷药后15~30 d,各处理及对照的光合速率均呈下降的趋势,且下降的幅度表现为:DTA-6 (48.22%) > CK(45.24%) > Cc(38.91%) > SOD_M (35.96%),这说明SOD_M处理有助于缓解叶片后期光合速率的下降。至喷药后30 d,各处理及对照的光合速率和蒸腾速率表现为:SOD_M > Cc > DTA-6 > CK。经方差分析得知,除喷药后25 d外,各调节剂都显著提高了叶片的光合速率和蒸腾速率,有的甚至达极显著水平,而处理间变化也有所不同,其中SOD_M处理的光合速率分别在喷药后10 d、20 d、25 d以及30 d与其他处理达显著水平。

2.2 不同植物生长调节剂对大豆叶片水分利用效率和气孔导度变化的影响

水分效率和气孔导度是影响光合速率的主要因子,但它们并没有直接的相关关系。气孔是作物与外界环境进行水汽与CO₂交换的通道,通过其开和闭调节着蒸腾和光合过程,且气孔阻力的大小可以直接影响细胞间隙CO₂浓度,从而影响光合作用^[11]。从整体变化趋势上看,SOD_M、Cc以及CK的水分效率(图1a)和气孔导度(图1b)在喷药后5~15 d内有相反的变化趋势,这与前人研究类似^[12]。随着喷药时间的延续,在喷药后20 d,各处理与对照的水分速率都各自出现一小高峰,但变化略有不同,其中各处理与对照的气孔导度呈双峰曲线变化趋

势,表现为各处理及对照在 10 d 与 20 d 分别出现一峰值,这可能是由于叶片胞间 CO_2 浓度的变化不一,导致光合结构受到伤害所引起的,至喷药后 30 d,各处理及对照的水分利用效率和气孔导度表现

为: $\text{SOD}_M > \text{Cc} > \text{DTA-6} > \text{CK}$ 。经方差分析得知,处理与对照之间的差异达极显著水平,其中 SOD_M 与其它处理的差异达显著水平,而 Cc 和 DTA-6 处理之间未达显著水平。

表 1 不同植物生长调节剂对大豆叶片光合速率和蒸腾速率变化的影响

Table 1 Effects of different PGRs on the photosynthetic rate and transpiration ratio of soybean leaves

	处理 Treatments	喷药后天数 Days after spraying					
		5	10	15	20	25	30
光合速率 Photosynthetic rate	CK	21.1cC	25.4bB	29.4cC	20.2cC	17.4bA	12.9cC
	SOD_M	21.8cC	29.6aA	31.7bBC	27.1aA	22.8abA	20.3aA
	Cc	23.5bB	27.4bAB	32.9abAB	23.8bB	20.9abA	20.1aA
	DTA-6	26.1aA	27.2bAB	33.8aA	27.3aA	23.6aA	15.7bB
蒸腾速率 Transpiration ratio	CK	1.6cC	2.5bB	0.9dD	1.6bA	0.7aA	0.3dC
	SOD_M	1.6cC	1.9cC	1.5bB	2.0aA	0.5aA	1.5aA
	Cc	1.7bB	2.6aA	1.0cC	1.7abA	0.7aA	1.0bB
	DTA-6	1.8aA	1.6dD	1.6aA	1.8abA	0.6aA	0.8cB

同一列中不同大小写字母分别表示差异达 1% 和 5% 显著水平。

Values followed by a different lowercase or capital letter within each column are significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

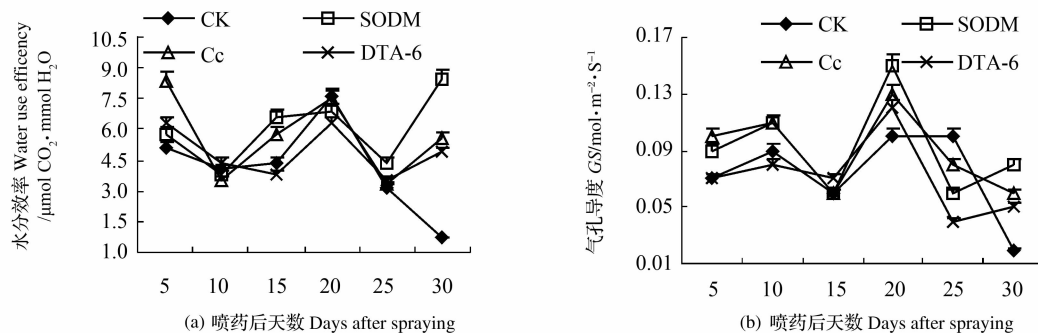


图 1 不同植物生长调节剂对大豆叶片水分速率和气孔导度变化的影响

Fig. 1 Effects of different PGRs on water use efficiency and G_s in soybean leaves

2.3 不同植物生长调节剂对大豆叶可溶性糖及蔗糖含量的影响

可溶性糖含量反映了体内作为有效态营养物的碳水化合物和能量水平。大豆叶片可溶性糖含量高低,反映了叶片合成光合产物的能力。由图 2(a)可知,整体上看,叶片中可溶性糖含量的变化呈“平稳—上升—下降”的变化趋势,高峰出现在喷药后 25 d,其中 SOD_M 和 DTA-6 处理的可溶性糖含量在喷药后 5~30 d 内都要明显高于 CK,而可溶性糖含量在喷药后 15 d 出现低谷值,这可能是由于此期阴雨连绵,影响了叶片光合产物的积累。但从喷药后 5~30 d 来看,在喷药后 5 d, SOD_M 、Cc 和 DTA-6 处理叶片中可溶性糖含量分别较 CK 增加了 23.14%、10.15% 和 18.72%。在喷药后 10~15 d,大豆叶片中可溶性糖含量迅速下降, SOD_M 和 DTA-6 处理

促进了可溶性糖的输出,且输出量分别较 CK 增加了 130.46% 和 7.31%。至喷药后 25~30 d, SOD_M 和 DTA-6 处理的可溶性糖输出量分别较 CK 增加了 165.82% 和 15.36%。

蔗糖是淀粉合成的前体,其含量变化反映了淀粉源的供应状况,在大豆灌浆期,淀粉合成速率与蔗糖浓度有关。由图 2(b)的蔗糖曲线图可以看出,3 种植物生长调节剂对大豆在灌浆期间叶片中蔗糖含量与可溶性糖含量变化趋势略有不同。其中在喷药后 5~10 d,趋于平缓,而在喷药后 10 d 内,各处理及对照叶片中蔗糖含量迅速上升,且上升的幅度分别表现为: $\text{Cc} > \text{CK} > \text{DTA-6} > \text{SOD}_M$,至 20~30 d 后开始下降,各处理及对照的蔗糖峰值表现为 $\text{Cc} > \text{DTA-6} > \text{SOD}_M > \text{CK}$ 。在灌浆初期同化物供应充足,而在灌浆后期具有较强的转化利用同化物能力。

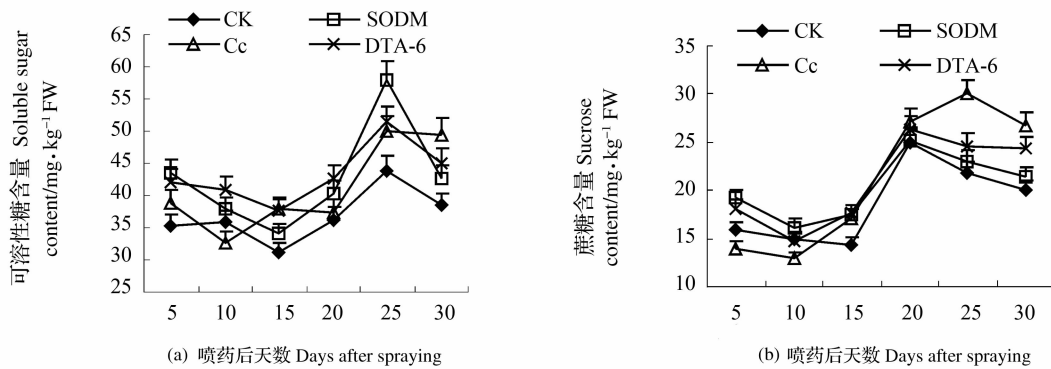


图2 不同植物生长调节剂对大豆叶可溶性糖和蔗糖含量的影响

Fig. 2 Effects of different growth regulators on content of WSS and sucrose in soybean leaves

2.4 不同植物生长调节剂对大豆叶淀粉积累速率的影响

淀粉是糖的贮藏形式,在大豆植株发育过程中可转变为可溶性糖,对以后的生殖有积极作用。如图3所示,各处理及对照的淀粉含量变化类似,均为首先迅速下降(5 d至15 d),然后快速上升(15 d至25 d),最后迅速下降(25 d至30 d),其中在喷药后5 d, SOD_M、Cc 和 DTA-6 处理的淀粉含量较 CK 分别增加了 4.10%、41.22% 和 17.02%。而在喷药后 5~15 d, SOD_M、Cc 和 DTA-6 的淀粉输出量分别较 CK 增加了 -3.09%、-194.53% 和 64.79%,说明此期 Cc 处理大豆生长对能量和碳水化合物的需求要高于其它处理及对照,待 15~25 d, SOD_M、Cc 和 DTA-6 处理的淀粉积累量较 CK 增加 188.17%、-6.26% 和 24.83%。至喷药后 25~30 d, SOD_M、

Cc 和 DTA-6 的淀粉转化率分别较 CK 增加了 204.10%、-12.04% 和 51.09%,说明此期 SOD_M 处理大豆生长对能量和碳水化合物的需求要高于其它处理及对照。

单位质量大豆叶片淀粉积累速率的变化动态如图3,可以看出,不同处理间淀粉积累速率表现各不相同,其中 SOD_M 处理在 5~15 d 内是淀粉负积累的时期,而在 15~25 d 内淀粉积累速率迅速增加,最高可达 2.086 mg·leave⁻¹·d⁻¹ (见图3),至喷药后 25~30 d 又开始了负积累过程且淀粉积累速率高于其它处理及对照,可见此时期 SOD_M 处理为形成大豆籽粒产量提供了可靠的保证。Cc 和 DTA-6 处理虽然在整体变化趋势与 SOD_M 大致相同,但不如 SOD_M 处理表现得明显(除了 Cc 处理在前期的淀粉负积累速率较大外)。

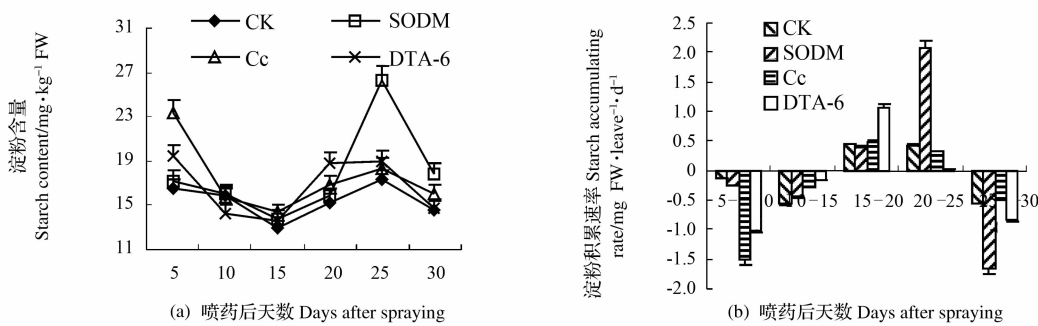


图3 不同植物生长调节剂对大豆叶片淀粉及淀粉积累速率的影响

Fig. 3 Effects of different PGRs on Starch content and Starch accumulating rate in soybean leaves

3 讨论

植物生长调节剂在调控植物的光合作用、碳水化合物的运输与分配等方面都具有重要作用^[13-15]。有研究表明,在小白菜上应用 10 mg·L⁻¹ 外源 5-氨

基乙酞丙酸(ALA)浇灌根系可以提高幼苗叶片光合效率,并促进同化产物向根系分配^[16]。李军等^[17]研究认为,叶面喷施亚精胺缓解盐胁迫的伤害,增加盐敏感品种的耐盐性主要体现在提高气孔导度,从而增加光合速率。李颖畅等^[18]研究表明,

NaHSO₃能提高茄子幼苗的光合速率。此外,NaHSO₃处理还可以明显提高茶树叶片光合速率,促进光能更多的由光系统 II 向光系统 I 转移,加速循环光合磷酸化^[19]。但也有研究结果显示,喷洒低浓度(2~8 mmol·L⁻¹)NaHSO₃不仅能提高枇杷和毛枣叶片光合速率^[20],而且还能增加桑树叶片叶绿素含量、降低叶绿素 a/b 值、增强光合速率、加速光合产物输出进程、提高比叶重、增加可溶性糖和粗蛋白等效果^[21]。因此,不难看出,叶面喷施 SOD_M和 DTA-6 调节剂提高了大豆片的光合速率(表 1),其中 SOD_M还明显的提高了大豆可溶性糖输出量(图 2)、淀粉转化率以及淀粉积累速率(图 3),DTA-6 处理次之。

4 结论

大豆 R5 期经叶面喷施调节剂后,3 种调节剂对光合速率、蒸腾速率以及气孔导度都有不同程度的提高,其中以 SOD_M为最佳,其次是 DTA-6,且两处理都要明显高于 Cc 处理和 CK,进而更加有利于叶片的干物质积累。同时,SOD_M和 DTA-6 又能够在较长时间内维持高的糖分含量,其中 SOD_M调节剂明显的提高了大豆可溶性糖输出量、淀粉转化率以及淀粉积累速率,而 Cc 调节剂在喷药后 30 d 内一直维持着较高的蔗糖含量。

参考文献

- [1] 许艳丽,李兆林,韩晓增,等. 壮丰安对大豆生长发育及产量的调控研究[J]. 大豆科学,1999,18(4): 355-360. (Xu Y L, Li Z L, Han X Z, et al. Effects of Zhuangfeng'an (ZFA) on growth regulation and yield of soybean[J]. Soybean Science, 1999, 18(4): 355-360.)
- [2] 陈敏资. 二烷基氨基乙醇羧酸酯对紫罗兰生理活性的影响[J]. 园艺学报,1995,22(2): 201-202. (Chen M Z. Effects of N,N-diethylaminoethyl hexanoate on the physiological activity in Matthiola incana [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1995, 22(2): 201-202.)
- [3] 安瑞连,郭俊恒. 植物激素对玉米生长发育的影响[J]. 云南农业大学学报,1990,5(3): 59-62. (An R L, Guo J L. Effect of auxin on growth of maize[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 1990, 5(3): 59-62.)
- [4] 雷晓天,郭志刚,赵甫合,等. 新型植物生长调节剂“新丰王”应用效果及作用机理研究[J]. 河南职业技术学院报,1999,27(2): 26-29. (Lei X T, Guo Z G, Zhao F H, et al. Study on the increase in production and mechanism of plant-growth regulator Xinfengwang[J]. Journal of Henan Vocational-Technical Teachers College, 1999, 27(2): 26-29.)
- [5] 蒋莲芝,樊亚娟,刘俊环,等. 大豆应用多效唑试验效果初探

- [J]. 大豆通报,2001(5): 6. (Jiang L Z, Fan Y J, Liu J H, et al. Preliminary studies of paclobutrazol in soybean[J]. Soybean Bulletin, 2001(5): 6.)
- [6] 周天,胡勇军,周晓梅,等. 三十烷基磷酸酯钾对大豆的生理功能及产量的影响[J]. 东北师大学报(自然科学版),2004,36(2): 31-33. (Zhou T, Hu Y J, Zhou X M, et al. Effect of potassium hydrogen 1-triacontyl phosphate (TPK) on the physiological function and yield of soybean[J]. Journal of Northeast Normal University (Nature Science), 2004, 36(2): 31-33.)
- [7] 金长春. 新型植物生长调节剂 BN 对小麦的增产作用[J]. 河南农业科学,1995(12): 11-12. (Jin X C. Study on the increase in production of plant growth regulator BN in wheat[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 1995(12): 11-12.)
- [8] 王永锋,裴桂英,张跃进,等. 不同微生物肥和调节剂在大豆上的施用效果[J]. 安徽农业科学,2001,29(4): 509-510. (Wang Y F, Pei G Y, Zhang Y J, et al. Preliminary report on micro-fertilizer and moderator applied in soybean[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2001, 29(4): 509-510.)
- [9] 张振清. 植物生理试验手册[M]. 上海:科学技术出版社,1985: 134-138. (Zhang Z Q. Plant physiology test manual[M]. Shanghai: Science and Technology Press, 1985: 134-138.)
- [10] 何照范. 籽粒品质及其分析技术[M]. 北京:中国农业出版社,1985: 290-294. (He Z F. Grain Quality and its analysis technology[M]. Beijing: Agricultural Press, 1985: 290-294.)
- [11] 许大全,张玉忠,张荣铤. 植物光合作用的光抑制[J]. 植物生理学通讯,1992,28(4): 237-243. (Xu D Q, Zhang Y Z, Zhang R X. Photoinhibition of photosynthesis in plants[J]. Plant Physiology Communications, 1992, 28(4): 237-243.)
- [12] 王磊,张彤,丁圣彦. 干旱和复水对大豆光合生理生态特性的影响[J]. 生态学报,2006,26(7): 2073-2078. (Wang L, Zhang H, Ding S Y. Effect of drought and rewatering on photosynthetic physioecological characteristics of soybean[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2073-2078.)
- [13] Flore J A, Lakso A N. Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops[J]. Horticultural Reviews, 1989, 11(2): 111-146.
- [14] Ookawa T, Naruoka Y, Sayama A, Hirasawa T. Cytokinin effects on ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase oxygenase and nitrogen partitioning in rice during ripening[J]. Crop Science, 2004, 44(6): 2107-2115.
- [15] 董学会,何钟佩,关彩虹. 根系导人生长素和玉米素对玉米光合产物输出及分配的影响[J]. 中国农业大学学报,2001,6(3): 21-25. (Dong X H, He Z P, Guan C H. Effects of IAA and zeatin introduced through second-root on translocation and partitioning of photosynthate in maize[J]. Journal of China Agricultural University, 2001, 6(3): 21-25.)
- [16] Wang L J, Jiang W B, Huang B J. Promotion of 5-aminolevulinic acid on photosynthesis of melon seedlings under low light and chilling stress condition[J]. Physiologia Plantarum, 2004, 1(21): 258-261.

- [5] 孟庆伟,赵世杰,许长成,等. 田间小麦叶片光合作用的光抑制和光呼吸的防御作用[J]. 作物学报,1996,22(4): 470-475. (Meng Q W,Zhao S J,Xu C C, et al. Photoinhibition of photosynthesis and protective effect of photorespiration in winter wheat leaves under field conditions[J]. Acta Agronomica Sinica, 1996,22(4):470-475.)
- [6] 章汤城. 现代植物生理学试验指南[M]. 上海: 上海科学出版社,2004: 92-93. (Tang Z C. Modern plant-physiology experiment guide [M]. Shanghai: Shanghai Scientific Press, 2004: 92-93.)
- [7] 章汤城. 现代植物生理学试验指南[M]. 上海: 上海科学出版社,2004: 157-158. (Tang Z C. Modern plant-physiology experiment guide [M]. Shanghai: Shanghai Scientific Press, 2004: 157-158.)
- [8] Esquivel M G, Ferreira R B, Teixeira A R. Protein degradation in C3 and C4 plants with particular reference to ribulose biphosphate carboxylase and glycolate oxidase[J]. Journal of Experimental Botany,1998,49: 807-816.
- [9] Wallsgrove R M, Turner J C, Hall N P. Barley mutants lacking chloroplast glutamine synthetase biochemical and genetic analysis [J]. Plant Physiology,1987,83: 155-158.
- [10] Gouia H, Ghorbal M H, Meyer C. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean[J]. Plant Physiol Biochemistry,2000,38: 629-638.
- [11] 侯扶江,李广,袁桂英. 增强的 UV-B 辐射对黄瓜(*Cucumis sativus*)不同叶位叶片生长、光合作用和呼吸作用的影响[J]. 应用与环境生物学报,2001,7(4): 321-326. (Hou F J, Li G, Ben G Y. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on growth, photosynthesis and respiration of *Cucumis Sativus* leaves on different positions[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology,2001,7(4): 321-326.)
- [12] 孙谷畴,赵平,曾小平,等. 柚树(*Citrus grandis*)叶片光合作用对补增 UV-B 辐射的响应[J]. 广西植物,2001,21(1): 72-76. (Sun G C,Zhao P,Zeng X P, et al. Photosynthetic response in leaves of *Citrus grandis* to supplementary UV-B irradiation[J]. Guihaia,2001,21(1): 72-76.)
- [13] 师生波,李惠梅,王学英,等. 青藏高原几种典型高山植物的光合特性比较[J]. 植物生态学报,2006,30(1): 40-46. (Shi S B,Li H M,Wang X Y, et al. Comparative studies of photosynthetic characteristics in typical alpine plants of the Qinghai-Tibet plateau[J]. Acta Phytocologica Sinica,2006,30(1): 40-46.)
- [14] 刘厚诚,黄红星,孙光闻,等. 温光处理对节瓜幼苗光合作用的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2006,37(3): 386-389. (Liu H C,Huang H X,Sun G W, et al. Effect of temperature and light treatments on photosynthesis of *Chiehua* seedlings[J]. Journal of Shenyang Agricultural University,2006,37(3): 386-389.)
- [15] 黄少白,戴秋杰,王志霞. 紫外光 B 辐射对菠菜和小白菜叶片氮代谢的影响[J]. 江苏农业学报,1999,15(1): 12-16. (Huang S B,Dai Q J,Wang Z X. Effect of ultraviolet B radiation on nitrogen metabolism in spinach and Chinese cabbage leaves [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences,1999,15(1): 12-16.)
- [16] 李启明. 植物的乙醇酸氧化酶[J]. 植物生理学通讯,1988,(6): 67-71. (Li Q M. Plant Glycolate Oxidase[J]. Plant Physiology Communications,1988,(6): 67-71.)
- [17] 崔克辉,何之常,张甲耀,等. 模拟污水中氮、磷对水稻幼苗过氧化氢酶和乙醇酸氧化酶的影响[J]. 武汉大学学报(自然科学版),1995,41(2): 245-250. (Cui K H, He Z C, Zhang J Y, et al. Effects of mimic wastewater containing N, P on activities of catalase and glycolate oxidase in the seedlings of rice[J]. Wuhan University Journal (Natural Science Edition), 1995, 41(2): 245-250.)
- (上接第 446 页)
- [17] 李军,高新昊,郭世荣,等. 外源亚精胺对盐胁迫下黄瓜幼苗光合作用的影响[J]. 生态学杂志,2007,26(10): 1595-1599. (Li J,Gao X H,Guo S R, et al. Effects of exogenous spermidine on photosynthesis of salt-stressed *Cucumis sativus* seedlings[J]. Chinese Journal of Ecology,2007,26(10): 1595-1599.)
- [18] 李颖畅,郝建军,于洋,等. 碳酸氢钾和亚硫酸氢钠对茄子幼苗光合作用的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2007,38(4): 508-511. (Li Y C,Hao J J,Yu Y, et al. Effect of KHCO_3 and NaHSO_3 on photosynthesis of eggplant seedling [J]. Journal of Shenyang Agricultural University,2007,38(4): 508-511.)
- [19] 陈杭芳,胡民强,杨勇,等. 喷布低浓度 NaHSO_3 溶液对茶树抗寒性的影响[J]. 浙江农业学报,2007,19(3): 184-187. (Chen H F,Hu M Q,Yang Y, et al. Effect of foliage spraying sodium bisulfite at low concentration on resistance to coldness of tea trees[J]. Agriculturae Zhejiangensis,2007,19(3): 184-187.)
- [20] 周慧芬,郭延平,林建勋,等. NaHSO_3 对枇杷和毛枣叶片光合速率的促进作用[J]. 果树学报,2003,20(3): 239-241. (Zhou H F,Guo Y P,Lin J X, et al. Promotion of NaHSO_3 to photosynthetic rate in leaf of *Eriobotrya japonica* and *Zizyphus mauritiana*[J]. Journal of Fruit Science,2003,20(3): 239-241.)
- [21] 郭金华,牛志电,梅建设,等. NaHSO_3 对桑树光合作用及蚕茧产量和质量的影响[J]. 蚕业科学,2001,27(2): 83-86. (Guo J H,Niu Z D,Mei J S, et al. Effects of NaHSO_3 on the photosynthesis of mulberry and yield, quality of silkworm cocoon [J]. Science of Sericulture 2001,27(2): 83-86.)