

外源油菜素内酯对高温胁迫下大豆光合特性及产量品质的影响

谢云灿,何孝磊,杜 鹏,邢 邯,江海东

(南京农业大学 农业部南方作物生理生态重点开发实验室/国家大豆改良中心,江苏 南京 210095)

摘 要:通过盆栽试验探究外源喷施油菜素内酯 (EBR) 对开花期大豆高温胁迫下抗逆性的影响。试验于 2014 – 2015 年在南京农业大学牌楼试验基地进行,以大豆品种南农 99 – 6 为试验材料,在花后 7 d 进行 EBR 预处理,花后 11 d 进行高温胁迫,持续 4 d。分别在花后 11 d (EBR 处理结束)、15 d (高温胁迫结束)、19 d (恢复常温后 4 d)、27 d (恢复常温后 8 d) 取样。探究外源 EBR 对大豆常温及高温胁迫下光合、生物量及产量品质的影响。结果表明:外源 EBR 显著提高了常温和高温胁迫大豆叶片净光合速率和干物质积累量,且增加了百粒重和单株产量。除此之外,外源 EBR 显著提高了籽粒中的蛋白质含量、可溶性总糖及淀粉的含量,降低了粗油脂的含量,改善了大豆籽粒的品质。综上所述,外源喷施 EBR 预处理不但可以通过提高常温和高温条件下大豆叶片的光合能力,促进干物质积累,提高产量,而且提高了籽粒中蛋白质含量,改善了籽粒品质。

关键词:EBR;大豆;高温胁迫;产量
中图分类号:S565. 1 **文献标识码:**A **DOI:**10. 11861/j. issn. 1000-9841. 2017. 02. 0237

Effect of Heat Acclimation and EBR on Photosynthesis Characteristics in Leaves of Soybean Flowering Stage, Yield and Quality Maturation Stage

XIE Yun-can, HE Xiao-lei, DU peng, XING Han, JIANG Hai-dong

(Key Laboratory of Crop Physiology Ministry of Agriculture, National Center for Soybean Improvement, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Soybean is one of important oil crop in China. A pot experiment was carried to study the alleviated effects of foliar spraying EBR under heat stress at flowering stage. The pot experiment were conducted as a randomized block design in 2014 and 2015 at the Pailou Experimental Station, Nanjing Agriculture University. Nannong 996 was used in this study. EBR pretreatment was applied 7 days after anthesis for 4 days, and then exposed to heat stress for 4 days. Sampling and measurements were done at 11 (end of treated with EBR), 15 (end of heat stress), 19 (4 days after recover to normal temperature) and 27 (8 days after recover to normal temperature) days after anthesis, respectively. The results showed exogenous EBR pretreatment significantly increased net photosynthetic rate, dry matter accumulation and 100-grain weight, yield per plant in soybean under heat stress or normal condition. Moreover, EBR pretreatment improved grain quality by enhancing contents of protein, total soluble sugar and starch, decreasing crude lipid content dramatically under heat stress in soybean. It is concluded that exogenous EBR pretreatment increased grain yield and improved grain quality by enhancing photosynthetic ability, dry matter accumulation and protein content.

Keywords: EBR; Soybean; Heat Stress; Yield

夏季极端高温在我国南方时有发生,常常会导致夏季作物产量下降及种子质量降低,严重影响我国南方夏季作物的生产^[1-3]。短时间或长期的高温胁迫会引起植物形态解剖结构、生理生化代谢的改变,不仅影响植物的生长发育,甚至导致植物产量严重下降,严重的高温胁迫会在短时间内引起细胞伤害及凋亡^[2]。大豆富含蛋白质和油脂,是我国的主要油料作物之一,在我国的国民经济生产中占有重要的地位,黄淮海地区是大豆的第二大产区,大豆的花期通常在 8 月份的上旬,经常会受到高温等逆境的影响^[4]。苗期高温胁迫会抑制植株生长,严重时会导致死亡;若高温胁迫发生在花期,会引起

花粉不育而导致减产,因此,如何提高大豆的花期耐热性成为研究的重点。上世纪 70 年代美国农业科学家 Grove 等^[5-6]首次从油菜花粉中提取出一种新的植物生长调节物质芸苔素,经 X 光衍射和超微量量子分析确定是一种甾醇内脂化合物,故将其命名为油菜素内酯 (brassinolide, BR)。它广泛参与了植物的多种生理过程,气孔开闭、细胞分裂等,近年来研究表明外源油菜素内酯可以提高植物对高温胁迫的抵抗能力^[7]。人工合成的高活性油菜素内酯类似物为表油菜素内酯 (24-epibrassinolide, EBR) 在生产上已经广泛应用^[7]。Ogwen 等^[8]报道 EBR 能缓解高温胁迫对番茄光合作用的抑制。另外,有研

收稿日期:2016-11-16
基金项目:“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2009BADA8B02);江苏省重点科技支撑与自主创新示范工程项目 (BE2008618)。
第一作者简介:谢云灿 (1989 –),女,硕士,主要从事作物生理生态研究。E-mail:yuncanxie@126. com。
通讯作者:江海东 (1968 –),男,博士,副教授,主要从事油料作物栽培和作物逆境生理研究。E-mail:hdjiang@njau. edu. cn。

究证明热锻炼可以提高植物的耐热性。尽管外源喷施 EBR 在蔬菜等其他作物上研究较多,但对于大豆耐热性方面的研究还较少,尤其在花期的研究更为缺乏。外源喷施 EBR 是否诱导大豆的耐热性还有待研究。为此,本研究中以大豆花期为试验材料,采用盆栽的方法,研究外源油菜素内酯(EBR)预处理对大豆高温耐性的影响及产量品质的影响,为大豆抗高温栽培提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种南农 99-6(Nannong 99-6)由南京农业大学国家大豆改良中心提供。

1.2 试验设计

试验于 2014 年 6~11 月和 2015 年 6~11 月在南京农业大学牌楼试验站通过盆栽试验进行。试验用盆高 20 cm、内径 25.5 cm,每盆装土 8 kg,1 kg 土壤 N、P₂O₅、K₂O 和有机肥施用量分别为 0.125,0.25,0.143 和 400 g,每盆 7 粒,三叶期定苗,每盆 3 株,放入人工气候室生长。试验设 4 个处理:1)正常对照(喷施蒸馏水,CK);2)高温处理(喷施蒸馏水并高温胁迫,H);3)油菜素内酯预喷施后高温处理(EBR 喷施,EH);4)油菜素内酯预喷施后常温处理(EBR 喷施,EC)。每个处理 3 个重复。

喷施蒸馏水和油菜素内酯的操作于大豆开花后 7 d 进行,喷施的油菜素内酯的浓度为 0.25 μmol·L⁻¹,喷施的蒸馏水含有与 EH 处理同等浓度的酒精,喷施时加入表面活性剂吐温-80,早上和傍晚各喷一次,连续喷施 3 天。高温处理在喷施后 1 d 进行,为期 4 d,在人工气候室进行,温度 42℃/32℃,湿度 70%,光照 600 μmol·m⁻²·s⁻¹,常温对照温度 27℃/24℃、湿度 70%、光照:600 μmol·m⁻²·s⁻¹。

1.3 测定项目及相关指标

1.3.1 光合指标 光合指标使用便携式光合仪 LI-6400(美国 LI-COR 公司)进行测定,测定大豆叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和二氧化碳浓度(C_i)。

1.3.2 生物量及产量 生物量测定:每个处理选取 5 盆大小一致的植株,按根茎叶分样,称重后 105℃杀青 30 min,80℃烘干至恒重后称干重。

叶面积:使用 LI-3100C 叶面积仪(美国 LI-COR 公司)测定。

株高的测定:用直尺测量子叶节到生长点的高度。

产量及构成因素:大豆成熟期,每个处理取长势一致的大豆植株 15 株,测定分枝数,单株荚数,分枝荚数,荚粒数、计算得出单株粒数、百粒重及单株产量。

1.3.3 品质指标 蛋白质含量的测定:凯氏定氮法^[8]称取 0.25 g 干样,以浓硫酸消煮、蒸馏后滴定,根据消耗的硫酸标准液体积计算含氮量。

淀粉含量测定:参照卢林等^[9]改进的旋光法,称取 2.000 g 过筛后,乙醇法洗去可溶性糖,盐酸定容后使用旋光仪测定。根据旋光度计算淀粉含量。

可溶性糖含量测定:参照 Yoshida 等^[10]的方法测定。

粗油脂含量的测定:采用残余法^[8],称取 0.25 g 磨碎样品,置于索氏抽提器内,使用石油醚抽提 12~24 h,待石油醚蒸发尽后烘干称重,计算粗脂肪含量。

1.4 数据分析

所有数据均采用 3 次重复的平均值,数据采用 Excel 2003 进行数据统计,采用 Sigmaplot 10.0 进行作图,SPSS 10.0 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 花期 EBR 预处理对高温胁迫下大豆生物量的影响

2.1.1 生物量 如图 1 所示,与对照相比,高温胁迫抑制了大豆生物量的积累,油菜素内酯处理提高了干物质积累。与对照相比,高温胁迫下大豆的叶干重和茎干重显著降低,在花后 15 d(高温胁迫后)H 较 CK 叶干重和茎干重分别降低了 40.2% 和 34.5%,随着恢复期的延长,大豆植株自身的调节,胁迫有所缓解。油菜素内酯处理提高了高温胁迫下的地上部分生物量,缓解了高温胁迫下干物质积累造成的不良影响。

2.1.2 株高、叶面积 从图 2 看出,正常温度条件下,大豆株高随着生长发育的进行呈上升趋势,在正常温度下油菜素内酯促进了大豆植株的生长,在高温胁迫下,大豆植株的生长速率明显降低,随着恢复期的延长,各处理间株高变化趋势为 EC>CK>EH>H,到花后 27 d,较对照相比,EC 的株高升高 1.61%,EH 和 H 分别降低了 2.27%、13.6%。

由图 2 所示,随着生育期的延长,大豆的叶面积呈上升趋势,生育后期增长有所缓慢,高温胁迫抑制了大豆叶面积的扩展,花后 15 d 的 H 处理较 CK 减少了 46.1%,在高温胁迫下油菜素内酯处理促进了新叶的产生,从而增加了叶面积,较 H 处理增加了 36.7%,但仍低于 CK,降低了 7.53%。

2.2 花期 EBR 预处理对高温胁迫下大豆产量及其构成因素的影响

由表 1 得出油菜素内酯有明显的增产和缓解高温减产的作用。从单株产量来看,高温胁迫导致大豆减产 44.6%,而油菜素内酯有一定的增产作用。EC 较 CK 相比增加 31.3%,EH 较 H 和 CK 相比,减产幅度降低了 28.4 百分点。

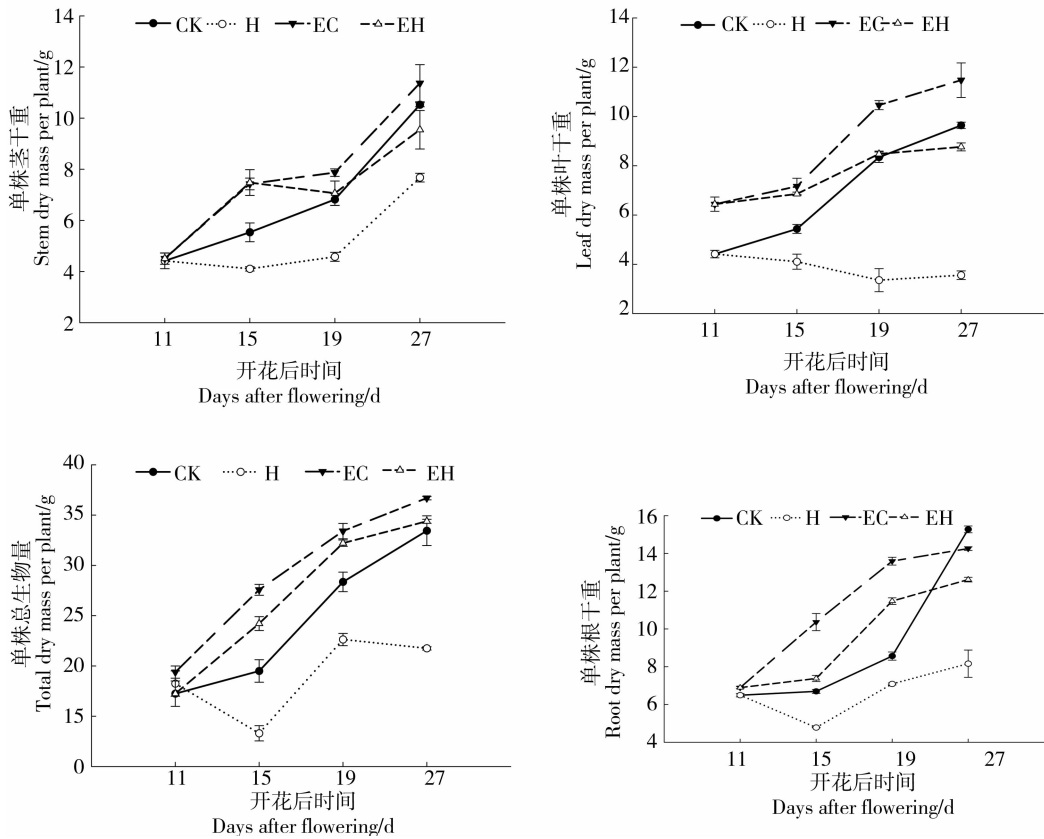


图 1 油菜素内酯对高温胁迫下大豆叶、茎、根干重及总干物质积累量的影响

Fig. 1 Effect of EBR on leaf, stem, root dry mass and plant biomass of soybean under heat stress

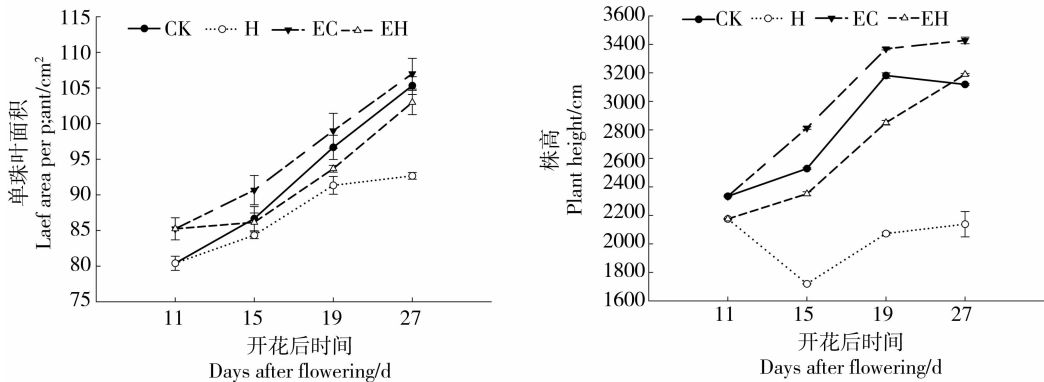


图 2 油菜素内酯对高温胁迫下大豆株高和单株叶面积的影响

Fig. 2 Effect of EBR on plant height and leaf area of soybean under heat stress

表 1 叶面喷施 EBR 对高温胁迫下大豆产量及其构成因素的影响

Table 1 Effects of EBR on yield and yield components of soybean under heat stress

处理 Treatment	单株荚数 Pod number per plant	单株粒数 Grain number per plant	百粒重 100-grain weight/g	单株产量 Yield per plant/g
CK	25.1 c	62.3 b	25.0 a	15.49 b
H	13.8 d	31.2 d	16.9 c	8.58 d
EC	32.7 a	83.9 a	25.4 a	20.35 a
EH	27.1 b	59.5 c	21.0 b	13.94 c

同一数值后的不同字母表示在 5% 水平上差异显著。下同。

The lowercase in the same column refer to significant difference at 5% , respectively. The same below.

由表 2 得出 EBR 处理有效的提高了高温胁迫下大豆主茎荚数及分支荚数,显著提高了四粒荚的数量及减少了无效荚的数量。

表 2 叶面喷施 EBR 对高温胁迫下大豆产量农艺性状的影响

Table 2 Effects of EBR on yield agronomic characteristics of soybean under heat stress

处理 Treatment	有效分枝数 Numbers of branches	分枝荚数 Numbers of branches pod	主茎荚数 Numbers of stem pod	无效荚数 0-seed pods	一粒荚 1-seed pods	二粒荚 2-seed pods	三粒荚 3-seed pods	四粒荚 4-seed pods
CK	4.0 b	20.0 c	25.7 b	1.2 c	2.3 d	18.3 c	21.6 b	2.3 c
H	2.0 c	11.7 d	17.3 d	7.1 a	12.7 a	4.1 d	3.1 d	0
EC	4.3 b	26.3 a	34.9 a	1.0 d	5.0 c	19.7 b	24.8 a	10.7 a
EH	5.0 a	22.0 b	23.5 c	2.7 b	6.1 b	28.0 a	14.7 c	4.0 b

2.3 花期 EBR 预处理对高温胁迫对大豆品质的影响

如图 3 所示,高温胁迫降低了大豆籽粒可溶性总糖及淀粉的含量,较 CK 分别降低了 8.25%、34.1%。而 EH 与 CK 相比可溶性总糖的含量降低了 2.02%,但是淀粉的含量升高了 2.76%;高温胁迫

降低了蛋白质含量,但在一定程度上提高了粗油脂的含量。H 与 CK 相比蛋白质的含量降低了 16.3% 而粗油脂的含量升高了 13.6%,EH 较 CK 的蛋白质含量提高 5.41%。说明油菜素内酯的喷施有效的缓解了高温胁迫下大豆的品质变劣的情况。

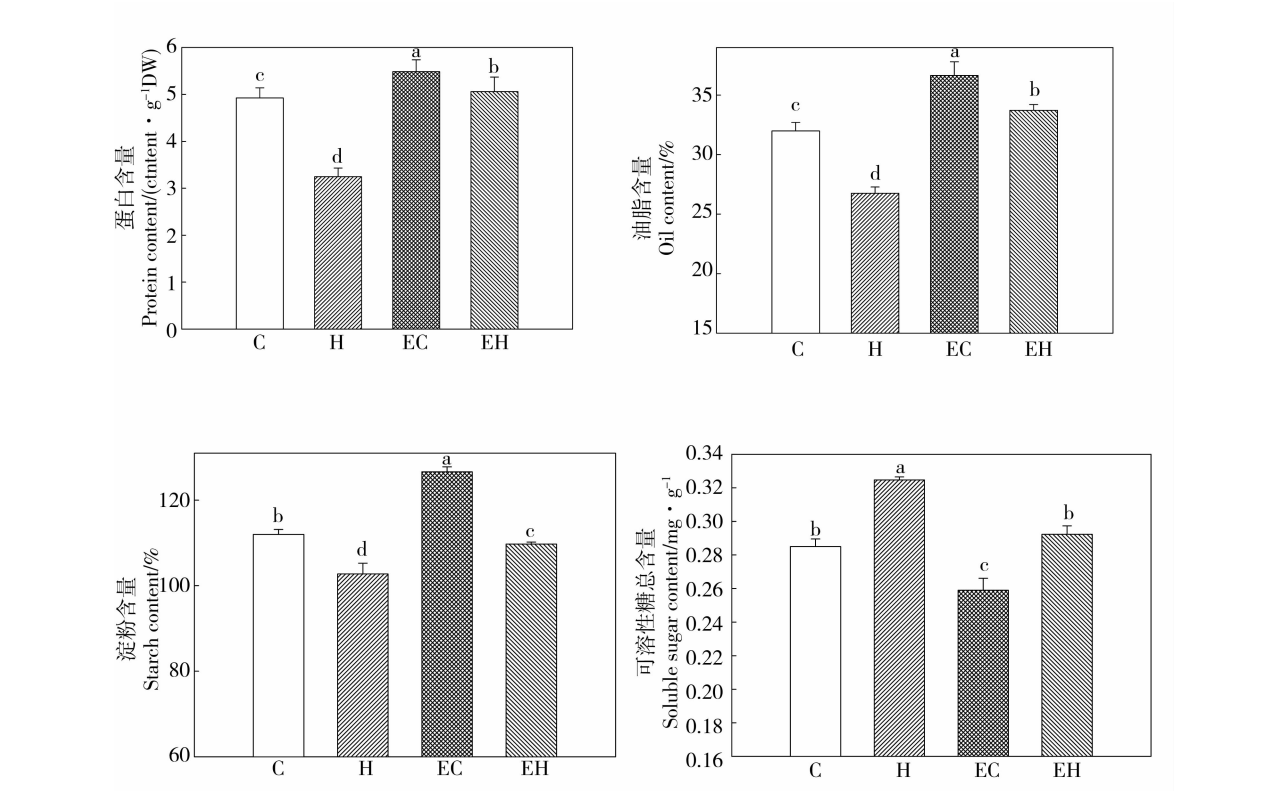


图 3 油菜素内酯对高温胁迫下大豆籽粒品质的影响
Fig. 3 Effect of EBR on quality of soybean seed under heat stress

2.4 花期 EBR 预处理对高温胁迫下大豆叶片光合特性的影响

如图 4 所示,正常温度条件下,进入花荚期后大豆叶片 Pn 略呈下降趋势,EC 处理提高了叶片的 Pn。在高温胁迫下大豆叶片 Pn 显著降低,即使随

着恢复期的延长也没有恢复。正常温度条件下喷施 EBR 在花后 15 d 叶片 Gs 略微降低,但随着生育期的延长 Gs 有所提高。高温胁迫下叶片 Ci 升高, EH 能够有效降低 Ci。

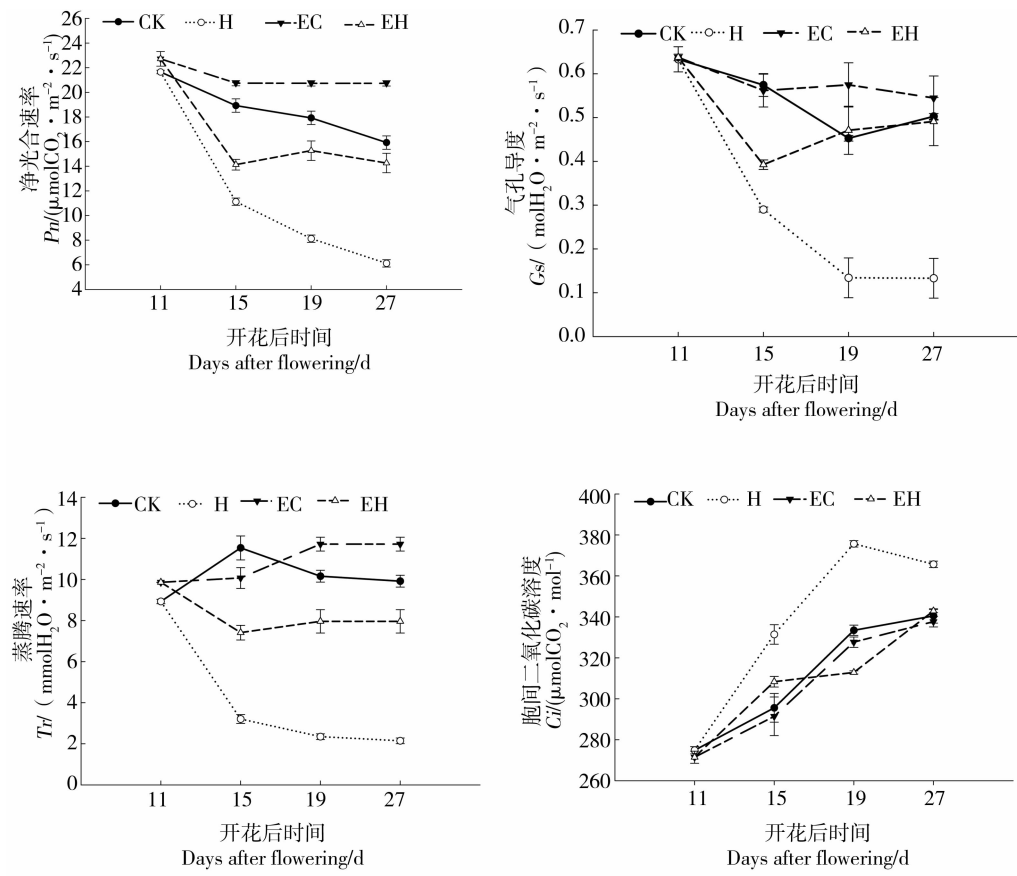


图 4 油菜素内酯对高温胁迫下大豆叶片光性能的影响

Fig. 4 Effect of EBR on photosynthesis characteristics in leaves of soybean under heat stress

3 结论与讨论

脱落酸、赤霉素等植物激素广泛的参与了植物的生长发育过程中。EBR 是一种新型的植物激素，它在细胞分裂分化、细胞程序性死亡、抗逆中扮演重要作用。本试验中外源喷施 EBR 促进了大豆的生长，主要表现在叶面积增大、茎秆高度增加，这与 EBR 具有促进细胞体积扩大、细胞分裂的作用有关^[11]。另外，在芥菜及番茄中的研究发现外源 EBR 处理显著提高了叶片的光合速率^[12-13]。在本次试验中外源喷施 EBR 显著提高了叶片的光合能力，为植株花后干物质的积累提供了物质和能量来源，提高根、茎、叶干重及生物量。而花后干物质积累是作物产量形成的物质基础^[14]，因此增加植株花后干物质积累量可能是外源 EBR 提高大豆产量的重要因素。同时本试验研究发现 EBR 处理组植株的分枝荚数、主茎荚数较对照组显著增加，外源 EBR 通过调控内源氧化还原信号调节内源 IAA:CK 的比例而促进侧芽的形成^[15]，这可能是外源 EBR 提高分枝和主茎荚数的原因。此外，EBR 处理的植株籽粒百粒重较对照也显著升高，说明外源 EBR 不仅通过“强源”还可以通过“扩库”提高大豆产量。

外源 EBR 在提高大豆产量的同时调节了大豆

的质量，大豆籽粒发育过程伴随着蛋白质、油脂、可溶性糖、淀粉及矿质元素的转运和积累，高温胁迫影响了生理代谢过程，因此必定会对大豆籽粒的品质造成影响。本试验发现外源 EBR 处理提高了籽粒蛋白质、淀粉及可溶性总糖的含量，降低了粗油脂的含量，有研究表明外源 EBR 提高了黄瓜叶片 NR 酶活性^[16]，从一定程度上可能促进了植株根系对硝态氮的吸收利用，氮素利用效率增加，为籽粒高蛋白奠定基础。外源 EBR 提高了籽粒可溶性总糖的含量，可能是由于生长调节剂对大豆“源库”关系的调节，促进了籽粒中碳水化合物的合成^[17]，为提高籽粒的可溶性总糖含量奠定基础。

本研究结果显示外源 EBR 能够提高大豆植株对高温胁迫的抗逆作用。高温胁迫下植物原有的生理动态平衡被打破，严重时可能导致致死性伤害^[18]。植株生长的表观形态和生物量的积累能够反映植物生长发育状况和内部生理生化特性^[19]。本试验发现高温胁迫显著抑制了大豆植株的生长，根、茎、叶干重及生物量显著降低。部分原因是高温胁迫诱导了活性氧的大量积累，引起过氧化反应^[20]，损害了叶片的光合系统，导致叶片同化能力减弱，干物质积累减少。而花后干物质积累不足会导致灌浆不充分，无效荚数增多，荚粒数减少，引起

产量下降。这与高温胁迫降低了籽粒胚乳细胞的增殖速率和灌浆速率有关^[21]。而外源 EBR 预处理显著提高了高温胁迫下叶片净光合速率、气孔导度、根、茎、叶干重及产量较 H 组处理显著升高。这不仅与外源 EBR 促进植株生长的作用有关,还与 EBR 可提高植物抗逆能力有关。已有大量研究发现外源 EBR 通过提高植株抗氧化能力、渗透调节能力、热激蛋白含量、抗氰呼吸等增强植株的抗性^[7, 22-23]。因此,外源 EBR 缓解大豆高温胁迫的生理机制需要进一步的研究。

高温必然伴随着干旱的发生,土壤中的水分含量与氮素有效性息息相关^[24],本试验研究发现高温胁迫降低了籽粒中蛋白质、淀粉及可溶性总糖的含量,显著增加粗油脂的含量。而外源 EBR 喷施有效的缓解了高温胁迫下蛋白质、淀粉及可溶性总糖的降低。粗油脂的含量有效的降低。有关研究表明渍水及盐胁迫能够提高大豆中脂肪的含量、降低蛋白质的含量^[25-27],与本研究类似。

综上所述,本试验通过盆栽试验,研究了高温胁迫对花荚期大豆生长、光合作用及产量和品质的影响,初步阐明了油菜素内酯对花期大豆高温胁迫的缓解效应,为大豆的抗高温栽培提供了理论基础和技术支持。

参考文献

[1] 宋利茹,王爽,牛娟,等. 春大豆种子田间劣变性和劣变抗性的差异蛋白质组学研究[J]. 中国农业科学, 2015, 48(1): 23-32. (Song L R, Wang S, Niu J, et al. Differentially proteomics analysis of pre-harvest seed deterioration and deterioration resistance in spring soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(1): 23-32.

[2] Habibi G. Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress [J]. Acta Biologica Szegediensis, 2012, 56(1): 57-63.

[3] 舒英杰,王爽,陶源,等. 生理成熟期高温高湿胁迫对春大豆种子活力、主要营养成分及种皮结构的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(5): 1380-1386. (Shu Y J, Wang S, Tao Y, et al. Effects of high temperature and humidity stress at the physiological maturity stage on seed vigor, main nutrients and coat structure of spring soybean[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(5): 1380-1386.

[4] 卢琼琼,宋新山,严登华. 高温胁迫对大豆幼苗生理特性的影响[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2012, 40(1): 112-115. (Lu Q Q, Song X S, Yan D H. Effects of high temperature stress on physiological characteristics in soybean seedling[J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science), 2012, 40(1): 112-115.

[5] 侯雷平,李梅兰. 油菜素内酯(BR)促进植物生长机理研究进展[J]. 植物学报, 2001, 18(5): 560-566. (Hou L P, Li M L.

Progress of studies on the plant growth promoting mechanism of brassinolide (BR) [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2001, 18(5): 560-566.

[6] Xia X J, Gao C J, Song L X, et al. Role of H₂O₂ dynamics in brassinosteroid-induced stomatal closure and opening in *Solanum lycopersicum* [J]. Plant Cell & Environment, 2014, 37(9): 2036-2050.

[7] Zhou J, Wang J, Li X, et al. H₂O₂ mediates the crosstalk of brassinosteroid and abscisic acid in tomato responses to heat and oxidative stresses[J]. Journal of Experimental Botany, 2014, 65(15): 4371-4383.

[8] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. (Li H S. Principles and techniques of plant physiology and biochemistry experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.

[9] 卢林,段彬伍. 旋光法测定稻米淀粉含量的改进研究[J]. 中国稻米, 2011, 17(1):25-27. (Lu L, Duan B W. Study on the improvement of starch content in rice by rotation method [J]. China Rice, 2011, 17(1): 25-27.)

[10] Yoshida S, Forno D A, Cock J H. Laboratory manual for physiological studies of rice[M]//Laboratory manual for physiological studies of rice. International Rice Research Institute, 1976.

[11] 王智真. 24-表油菜素内酯对葡萄幼苗缓解水分胁迫的生理效应[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015. (Wang Z Z. Ameliorative effects of 24-epibrassinolide on grape seedlings under water stress[D]. Yangling: North West Agriculture and Forestry University, 2015.)

[12] Ogwenio J O, Song X S, Shi K, et al. Brassinosteroids Alleviate heat-induced inhibition of photosynthesis by increasing carboxylation efficiency and enhancing antioxidant systems in lycopersicon esculentum[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2008, 27(1):49-57.

[13] Hayat S, Ali B, Hasan S A, et al. Effect of 28-homobrassinolide on salinity-induced changes in *Brassica juncea* [J]. Turkish Journal of Biology, 2007, 31(3):141-146.

[14] 田中伟,王方瑞,戴廷波,等. 小麦品种改良过程中物质积累转运特性与产量的关系[J]. 中国农业科学, 2012, 45(4): 801-808. (Tian Z W, Wang F R, Dai T B, et al. Characteristics of dry matter accumulation and translocation during the wheat genetic improvement and their relationship to grain yield [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(4): 801-808.

[15] Chen X J, Xia X J, Guo X, et al. Apoplastic H₂O₂ plays a critical role in axillary bud outgrowth by altering auxin and cytokinin homeostasis in tomato plants [J]. New Phytologist, 2016, 211(4):1266.

[16] 黄黎锋. 油菜素内酯在调节黄瓜光合作用和抗氧化系统中的作用[D]. 杭州: 浙江大学, 2005. (Huang L F. The roles for brassinosteroids in the regulation of photosynthesis and antioxidant system in *Cucumis Sativus* L. [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.

[17] 刘春娟,冯乃杰,郑殿峰,等. 植物生长调节剂 S3307 和 DTA-6 对大豆源库碳水化合物代谢及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(4):657-666. (Liu C J, Feng N J, Zheng D F, et al. Effects of plant growth regulators S3307 and DTA-6 on carbohydrate content and yield in soybean [J]. Scientia Agricul-

ture Sinica, 2016, 49(4): 657-666.

[18] 陈培琴, 郁松林, 詹妍妮, 等. 植物在高温胁迫下的生理研究进展[J]. 中国农学通报, 2006, 22(5): 223-227. (Chen P Q, Yu S L, Zhan Y N, et al. A review on plant heat stress physiology [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2006, 22(5): 223-227.)

[19] 张凤. 淹水对花生生理特性及产量品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012. (Zhang F. Effects of water-logging on physiological characters pod yield and seed quality of peanut[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2012.

[20] 屠小菊, 汪启明, 饶力群, 等. 高温胁迫对植物生理生化的影响[J]. 湖南农业科学, 2013(13): 28-30. (Tu X J, Wang Q M, Rao L Q, et al. Effects of high temperature stress on physiology and biochemistry of plant [J]. Hunan Agriculture Sciences, 2013(13): 28-30.)

[21] 杨东清, 王振林, 倪英丽, 等. 高温和外源 ABA 对不同持绿型小麦品种籽粒发育及内源激素含量的影响[J]. 中国农业科学, 2014(11): 2109-2125. (Yang D Q, Wang Z L, Ni Y L, et al. Effects of high temperature stress and spraying exogenous ABA post-anthesis on grain filling and grain yield in different types of stay-green wheat[J]. Scientia Agriculture Sinica, 2014(11): 2109-2125.

[22] Xia X J, Wang Y J, Zhou Y H, et al. Reactive oxygen species are involved in brassinosteroid-induced stress tolerance in cucumber [J]. Plant Physiology, 2009, 150(2): 801-14.

[23] Wei L J, Deng X G, Zhu T, et al. Ethylene is involved in brassinosteroids induced alternative respiratory pathway in cucumber (Cucumis sativus L.) seedlings response to abiotic stress [J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6: 925.

[24] 吴园园, 田一丹, 刘丽欣, 等. 三唑酮预处理对花期大豆干旱胁迫及复水后生理特性及产量的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(11): 1749-1755. (Wu Y Y, Tian Y D, Liu L X, et al. Effects of triadimefon on physiological characteristics and yield of soybean under drought and rewating at flowering stage[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2013, 27(11): 1749-1755.)

[25] 朱建强, 张文英. 夏大豆花荚期受胁迫对农艺性状、产量与品质的影响[J]. 大豆科学, 2001, 20(1): 71-74. Zhu J Q, Zhang W Y. Influence upon agronomic properties yields and qualities of summer soybean in period of soybean with flowers and pods under subsurface waterlogging of soybean field [J]. Soybean Science, 2001, 20(1): 71-74.

[26] 姜东, 谢祝捷, 曹卫星, 等. 花后干旱和渍水对冬小麦光合特性和物质运转的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(2): 175-182. (Jiang D, Xie Z J, Cao W X, et al. Effects of post-anthesis drought and waterlogging on photosynthetic characteristics, assimilates transportation in winter wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2004, 30(2): 175-182.)

[27] 常汝镇, 陈一舞, 邵桂花, 等. 盐对大豆农艺性状及籽粒品质的影响[J]. 大豆科学, 1994(2): 101-105. (Chang R Z, Chen Y W, Shao G H, et al. Effects of salt on agricultural characters and chemical quality of seed in soybean [J]. Soybean Science, 1994(2): 101-105.)

国产大豆加工升值变身“黄金豆”

随着我国大豆加工技术的不断突破,除了传统的豆油、豆腐、豆浆、豆奶之外,人们能吃到的大豆制品越来越丰富,其品质和身价也不断提高。一粒粒不起眼的国产大豆,经过加工脱胎换骨,变作“黄金豆”。

国外大豆以榨油和饲用豆粕为主,国产大豆则以食品加工为主。有数据显示,2012 - 2015 年,我国食品工业大豆原料用量在1 000万 t 到1 150万 t。国产大豆近几年的产量都在1 200万 t 左右,即国产大豆 90% 以上用于食用。大豆加工业的市场需求非常大。据统计,2015 年我国大豆年加工量达到9 200万 t,其中,约 8 000万 t 用于油脂加工,这一部分多以进口大豆为原料;另外的1 000余万 t 用于食品加工,以国产大豆为主。

国家大豆产业技术体系首席科学家、中国农业科学院作物科学研究所研究员韩天富介绍,从广义上说,大豆加工主要包括了大豆油脂、食品加工和饲料加工 3 大部分,而我国则主要集中在传统豆制品和蛋白类制品的加工上。目前我国国产大豆的加工主要分为两类,一类是传统产品的工业化,即把传统的手工制作变成工厂化生产,比如冻豆腐的真空压缩工艺、千页豆腐的标准化生产等;另一类则是普通食品的功能化,即功能和保健食品的开发,提取大豆中的营养成分进行再加工。

在推行转方式调结构的今天,尤其是减粮增豆的背景下,国产大豆的优质食用路线的确立,为加工产业迎来机遇。而随着人们对健康膳食要求的提高,作为优质蛋白质来源的大豆制品的市场需求在扩大。如韩天富所希冀,“国产大豆加工的兴起,不仅有利于传统饮食走向世界,也有利于人们减少对动物蛋白的依赖,培养健康饮食的理念。更重要的是,能大幅提升大豆的附加值,反过来还能促进订单生产、规范种植标准,从而全面提升国产大豆的竞争力。”

节选自《农民日报》