



植物免疫诱抗剂对大豆苗期生长的影响

任晓旭¹, 应武¹, 黄雨晴¹, 徐盛春², 阮松林¹, 张胜³

(1. 杭州市农业科学研究院, 浙江 杭州 310024; 2. 浙江省农业科学院, 浙江 杭州 310021; 3. 浙江省台州市农业技术推广中心, 浙江 台州 318000)

摘要: 植物免疫诱抗剂具有诱导植物抗性和促进生长的作用, 为比较 8 个不同植物免疫诱抗剂处理对大豆幼苗生长的影响差异, 以浙鲜 19 为试验材料, 对大豆幼苗的出苗率、株高、根长、叶长、叶宽、生物量等生物性状及叶片叶绿素相对含量 (SPAD 值)、多酚氧化酶 (PPO) 活性、苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性等理化指标进行了测定。结果表明: 不同植物免疫诱抗剂处理对大豆幼苗的生长表现各异, 喷施海藻肥处理 (HZF) 可以增加出苗率、株高、鲜重生物量等指标, 保康灵 (BKL-2) 处理对干重生物量的提高最为显著, 达到 1.91 g, 喷施芸苔素内酯处理 (YCS) 可以明显增加大豆叶片 SPAD 值。所有处理中 BKL-2 处理的 PPO 和 PAL 活性相对于 CK 均有提高, 分别提高 41.18% 和 16.14%。BKL-2 处理浓度 $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的效果优于 2 和 $6\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。BKL-2、HZF 和 MLT 处理对大豆幼苗有明显的促生长作用, 建议可在大豆生产上应用。

关键词: 植物免疫诱抗剂; 大豆; 生物量; 促生长; 抗性酶

Effects of Plant Immune Inducers on Growth of Soybean Seedlings

REN Xiaoxu¹, YING Wu¹, HUANG Yuqing¹, XU Shengchun², RUAN Songlin¹, ZHANG Sheng³

(1. Hangzhou Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310024, China; 2. Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 3. Taizhou Agricultural Technology Extension Center, Taizhou 318000, China)

Abstract: Plant immune inducers have the effects of inducing plant resistance and promoting growth, in order to compare the effects of eight different plant immune-inducing treatments on the growth of soybean seedlings, taking Zhexian 19 as material, the biological traits such as seedling emergence rate, plant height, root length, leaf length, leaf width, biomass, and physicochemical indexes such as leaf chlorophyll relative content (SPAD) value, polyphenol oxidase (PPO), and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activities, were measured. The results showed that the growth performance of soybean seedlings varied with different plant immune inducer treatments. Spraying seaweed fertilizer treatment (HZF) could increase the indexes of seedling emergence rate, plant height, and fresh weight biomass, and the treatment BKL-2 had the most significant increase in dry weight biomass with the value of 1.91 g. Spraying brassinolide treatment (YCS) could significantly increase the value of SPAD in soybean leaves. The treatment BKL-2 was an increase in all treatments on PPO activity and PAL activity relative to CK with 41.18% and 16.14%, respectively. The plant immune inducer concentration of $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ in treatment BKL-2 was better than 2 and $6\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. BKL-2, HZF and MLT treatments had significant growth promoting effects on soybean seedlings and are suggested to be applied in soybean production.

Keywords: plant immune inducer; soybean; biomass; growth promotion; resistant enzymes

植物诱导抗性是指植物抵御各种外界不良生存环境的能力, 包括对不同病虫害、各种不良环境因子以及对各种物理和化学刺激的抵抗能力等, 是植物进化过程中形成的可遗传性状, 具有非专化性、系统广谱性和持效性以及安全性等特点^[1-2]。植物免疫诱抗剂也称为植物生物刺激素, 所谓的生物刺激素是指植物在非致命的胁迫环境中, 会促进新陈代谢^[3]。刘艳潇等^[4]将植物免疫诱抗剂从作用原理角度出发, 主要可以分为有机酸类、无机化合物类、寡糖类和蛋白多肽类等类型。杨雅云^[5]认为植物免疫抗性大多由外在的诱导子或激发子诱导和激发产生, 激发子 (Elicitor) 是一类能激活寄主

植物产生防卫反应的特殊化合物的统称, 可分为多糖类、糖蛋白和多肽类等。Yang 等^[6]从植物免疫系统激活的角度将植物免疫诱抗剂分为 4 类, 分别为蛋白质类、寡糖类、化学药品类和脂类。邱德文^[7]认为有些生物激发子是无毒基因的产物, 因此是专化性的, 大部分激发子是非专化性的, 目前发现的诱导或激发因子主要类型包括有病毒衣壳蛋白、寡核苷酸、小分子多肽、脱落酸、寡糖和激活蛋白等。植物免疫诱抗剂除了能诱导植物免疫反应以使植物获得或提高对病菌的抗性外, 也可以激发植物体内代谢调控过程, 促进植物生长, 植物诱抗剂的使用可以提高植物抗逆性, 相对于其他药物而言更安

收稿日期: 2023-08-01

基金项目: 杭州市农科院重大推广项目 (2019HNCT-28)。

第一作者: 任晓旭 (1985—), 男, 博士, 工程师, 主要从事作物栽培技术研究。E-mail: renxxh@ hotmail.com。

通讯作者: 张胜 (1981—), 男, 博士, 高级农艺师, 主要从事作物栽培技术研究。E-mail: zhsh1218@ 126.com。

全,可以减少或代替农药,具有显著的抗病、增产和提质的效果,具有广泛的应用前景^[4,8]。目前,植物免疫诱抗剂主要在水果^[9]、玉米^[10]、水稻^[5]、马铃薯^[8]、烟草^[11]、葡萄^[12]、番茄^[13]、中药材^[14-15]等植物上应用较多,并且多集中在植物免疫诱抗剂对提高植物抗病性的研究,对于大豆生长影响的研究鲜有报道。

本试验设置不同类型不同浓度的8个植物免疫诱抗剂处理,对大豆(浙鲜19)播种后进行喷施使用,通过分析种子萌发、出苗及大豆幼苗的生物性状及叶片生理生化指标的差异,揭示不同植物免疫诱抗剂处理对大豆浙鲜19幼苗生长的影响作用,从而为不同类型不同浓度植物免疫诱抗剂的开发和利用提供理论支持,同时也可以为大豆的植物免疫诱抗剂选择使用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为浙鲜19,由浙江农业科学院作物与核技术利用研究所提供。

供试药品分别为保康灵1号3%壳寡糖可湿性粉剂型的高效广谱免疫诱抗剂(杭州市农业科学研究院生产);阿泰灵6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂

(河北中保绿农作物科技有限公司生产);颐康维C品质改良剂含腐殖酸水溶肥料(沈阳绿浓农业科技有限公司生产);比塞尔高丰0.01%漆芸苔素内酯(河南比赛尔农业科技有限公司生产);茉莉酮(上海麦克林生化科技股份有限公司生产);海状元含腐殖酸水溶肥料(青岛海大生物集团有限公司生产)。

本研究在杭州市农业科学研究院之江基地(30°15′68.29″N、20°09′96.28″E)内进行。供试土壤为黏质土,pH8.44、有机质5.12 g·kg⁻¹、全氮含量0.035%、有效磷含量1.19 mg·kg⁻¹、速效钾含量289.822 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

如表1所示,试验共设8个处理,CK为清水对照。4月27日将浙鲜19大豆种子播种于穴盘内,每个处理播种25粒,3个重复,随后对各处理喷施植物免疫诱抗剂1次。大豆发芽,幼苗长出一对真叶后,每隔10 d喷施1次,按照不同处理的浓度要求配置1.5 L药液,共喷施3次。于5月16日,每个处理随机选择5株大豆幼苗,测定株高、根长、叶长、叶宽、生物量、叶片SPAD值、叶片多酚氧化酶(PPO)活性、叶片苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性等指标。

表1 植物免疫诱抗剂处理
Table 1 Different plant immune inducers treatments

处理 Treatments	诱抗剂类型 Type of plant immune inducers	浓度 Concentration
BKL-1	保康灵1号3%壳寡糖可湿性粉剂	2 g·L ⁻¹
BKL-2	保康灵1号3%壳寡糖可湿性粉剂	4 g·L ⁻¹
BKL-3	保康灵1号3%壳寡糖可湿性粉剂	6 g·L ⁻¹
YKW	颐康维C品质改良剂含腐殖酸水溶肥料	10 mL·L ⁻¹
HZF	海状元含腐殖酸水溶肥料(海藻肥)	10 mL·L ⁻¹
YCS	比塞尔高丰0.01%芸苔素内酯	4 mL·L ⁻¹
ATL	阿泰灵6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂	4 mL·L ⁻¹
MLT	茉莉酮	4 mL·L ⁻¹

1.3 测定项目与方法

1.3.1 成苗率 出苗5 d后,每个处理调查出苗情况,3次重复,计算出苗率。

1.3.2 植株生长及生物量指标 2022年6月8日,统计株高、根长、叶长、叶宽(叶片为每株最顶端的分枝上最后一片子),计算叶面积、地上生物量、地下生物量、根冠比(地下干重/地上干重)等指标^[16]。

1.3.3 SPAD值 用北京金科利电子科技有限公司

生产的手持式叶绿素测定仪(型号:TYS-A)测量叶片SPAD值。对所有处理组进行随机抽样,每个处理组测量9株,每株随机选取上、中、下层健壮无病虫害的叶片(均在离叶尖1/3处测定),每层测定3次,记录数据,并取平均值^[17]。

1.3.4 多酚氧化酶(PPO)活性 取0.1 g新鲜叶片,加1.0 mL预冷提取液,高速研磨仪处理;8 000 g、4 ℃离心10 min,取上清置冰上待测。37 ℃恒温准

确孵育 10 min,取出立即转入 90 ℃ 以上沸水浴 5 min,取出后流水冷却,10 000 r·min⁻¹ 常温离心 10 min,取上清于波长 420 nm,1 cm 光径比色皿,蒸馏水调零,测定各管吸光度值(Δ*A* = *A*_{测定} - *A*_{对照})。上述指标均采用生物试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定。每 1 min 每 1 g 组织在每 1 mL 反应体系中使在 525 nm 处吸光度值变化 0.01 为 1 个酶活力单位。计算公式如下:

POD 活力
(U·g⁻¹)

=

$$\frac{\Delta A}{0.01} \times \frac{\text{提取液体积(mL)}}{\text{样本湿重(g)}} \times \frac{\text{反应体系总体积(mL)}}{\text{取样量(mL)}} \times \frac{1 \text{ mL}}{\text{反应体系总体积(mL)}} \div \text{反应时间(min)}$$

1.3.5 苯丙氨酸解氨酶(PAL) 取 0.1 g 新鲜叶片,加入 1.0 mL 提取液,冰水浴匀浆,10 000 r·min⁻¹,4 ℃ 离心 10 min,取上清置于冰上待测。混匀,静置 10 min,双蒸水调零,波长 290 nm,1 cm 光径 4 mm 内径石英比色皿,测定管各管吸光度值(Δ*A* = *A*_{测定} - *A*_{空白})。上述指标均采用生物试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定。每 1 g 组织在每 1 mL 反应体系中每 1 min 使 290 nm 吸光度值变化 0.1 为 1 个酶活力单位。计算公式如下:

PAL 活力
(U·g⁻¹)

=

$$\frac{\Delta A \times V_{\text{反应总}}}{(W \times V_{\text{样}} \div V_{\text{样总}})} \div 0.1 \div T = 17.3$$

表 2 不同免疫诱抗剂处理大豆出苗及幼苗生长生物性状比较
Table 2 Comparison of biological traits of soybean seedling emergence and growth in different plant immune inducers treatments

处理 Treatments	出苗率 Emergence rate/%	株高 Plant height/cm	根长 Root length/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶面积 Leaf area/cm ²
BKL-1	0.97 ± 0.01 a	31.70 ± 1.22 a	15.45 ± 0.72 a	7.63 ± 0.23 ab	5.13 ± 0.13 abc	39.53 ± 2.13 a
BKL-2	0.97 ± 0.01 a	32.63 ± 0.84 a	14.99 ± 0.53 ab	7.89 ± 0.24 a	5.53 ± 0.16 a	44.10 ± 2.52 a
BKL-3	0.97 ± 0.01 a	17.25 ± 0.84 c	14.31 ± 0.93 ab	4.81 ± 0.23 e	3.39 ± 0.19 e	16.85 ± 1.60 c
YKW	0.92 ± 0.04 a	32.47 ± 0.80 b	15.03 ± 1.42 ab	7.29 ± 0.16 bc	5.35 ± 0.17 bc	39.30 ± 1.94 a
HZF	0.99 ± 0.01 a	35.21 ± 1.52 a	13.15 ± 1.08 a	7.95 ± 0.20 ab	5.62 ± 0.20 ab	45.28 ± 2.66 a
YCS	0.96 ± 0.02 a	26.83 ± 0.52 b	13.31 ± 0.94 ab	6.21 ± 0.29 cd	4.52 ± 0.18 cd	28.79 ± 2.13 b
ATL	0.95 ± 0.04 a	20.15 ± 0.70 c	15.77 ± 0.76 a	6.05 ± 0.76 cd	4.49 ± 0.18 cd	27.77 ± 2.33 b
MLT	0.95 ± 0.03 a	31.97 ± 0.92 a	13.73 ± 1.07 ab	7.06 ± 1.07 abc	5.17 ± 0.17 abc	37.07 ± 2.46 a
CK	0.89 ± 0.06 a	21.30 ± 1.52 c	11.47 ± 0.60 b	5.53 ± 0.60 de	3.93 ± 0.22 d	22.74 ± 2.40 bc

注:同小写字母代表处理间存在显著性差异(*P* < 0.05),下同。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference(*P* < 0.05), the same below.

2.2 不同免疫诱抗剂处理对大豆幼苗叶片相对叶绿素含量(SPAD 值)的影响
如图 1 所示,处理 YCS 的 SPDA 值高于 CK 外

× Δ*A* ÷ *W*
1.4 数据分析
数据处理分析应用 SPSS 22.0 软件,计量采用均数 ± 标准差表示。为验证不同种类不同浓度植物免疫诱抗剂对大豆幼苗生长的差异,对出苗率数据进行反正弦转换后,进行差异性显著分析,对上述测定指标进行了单因素方差分析(One-way, ANOVA),并采用了最小显著性差异法(Least Significant Difference, LSD, *P* < 0.05)进行检验。运用 Origin(2022b)对分析结果进行作图。

2 结果与分析

2.1 免疫诱抗剂处理对大豆幼苗生物性状的影响
由表 2 可知,与对照相比,尽管不同免疫诱抗剂处理在出苗率上无显著差异,但在株高、根长、叶长、叶宽和叶面积上具有明显差异。对于株高来说,除 BKL-3 和 ATL 处理外,其余 6 个处理显著高于对照,其中处理 HZF 株高值最大。对于根长而言,仅 BKL-1、HZF 和 ATL 处理显著长于 CK,其中 ATL 处理最长。在叶长、叶宽和叶面积 3 个指标上,各处理的变化规律基本一致,除处理 BKL-3、YCS 和 ATL 外,其余 5 个处理均大于 CK,其中 BKL-2 最大。

(且差异不显著),其他处理的数值均低于 CK。喷施保康灵的处理和处理 YKW 均与 CK 差异显著,处理 BKL-3 明显低于 CK,且与其他两个浓度的喷施

保康灵处理差异显著,处理 BKL-1 与处理 BKL-2 的差异并不显著,由此可以推断,在大豆的幼苗期,喷施植物免疫诱抗剂不能显著提高叶片的 SPAD 值,高浓度的植物免疫诱抗剂会显著降低叶片的 SPAD 值。

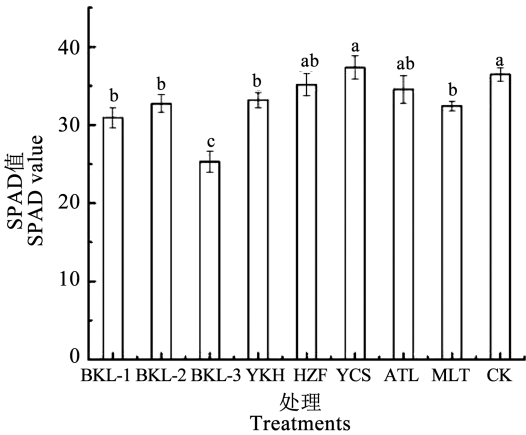


图 1 不同处理大豆幼苗叶片相对叶绿素含量

Fig. 1 Relative chlorophyll content of soybean seedling leaves in different treatments

2.3 免疫诱抗剂处理对大豆幼苗生物量的影响

由图 2 可知,地下鲜重处理 BKL-1 和 BKL-3,由于浓度因素的影响,导致大豆幼苗的生物量总体降低,可见从生物量角度而言,不适宜的浓度会阻碍植物生长及生物量的积累。处理 BKL-3 的地上鲜重、地下鲜重、地上干重和地上干重均为最小。对于地上鲜重而言,处理 HZF 的值最大,为 7.536 5 g,其次为处理 MLT,为 7.391 1 g,再次为处理 BKL-2,为 7.307 7 g,处理 HZF 与 CK 的差异性不显著,CK 处理 YCS 的地上鲜重略低于 CK,且差异不显著。对于地下鲜重,除处理 BKL-3 外,CK 的值最小,最大值的也是处理 HZF,为 1.161 9 g,与 CK 差异性不显著,其次为处理 YKW,为 0.866 9 g。由地上鲜重和地下鲜重可以看出,处理 HZF 均能有效增加大豆幼苗的生物量,而处理 BKL-2 和处理 MLT 可以增加地上鲜重的程度要大于地下鲜重。对于地上干重而言,最大值为处理 MLT,值为 1.689 8 g,其次为处理 BKL-2,值为 1.662 3 g,其次为 CK,值为 1.632 9 g。对于地下干重,排在第一位的是处理 BKL-2,第二位的是 CK。

如图 3 所示,对于总鲜重而言,前三位的处理分别为 MLT、BKL-2 和 HZF。总干重而言,处理 BKL-2 最高,为 1.91 g·L⁻¹,其后依次为处理 MLT 和 CK。

因此可以看出,大多数植物免疫诱抗剂处理对大豆幼苗的鲜重均有所提高,但是对于干重的提升仅为处理 BKL-2 和处理 MLT,处理 HZF 明显增加了大豆幼苗的鲜重。

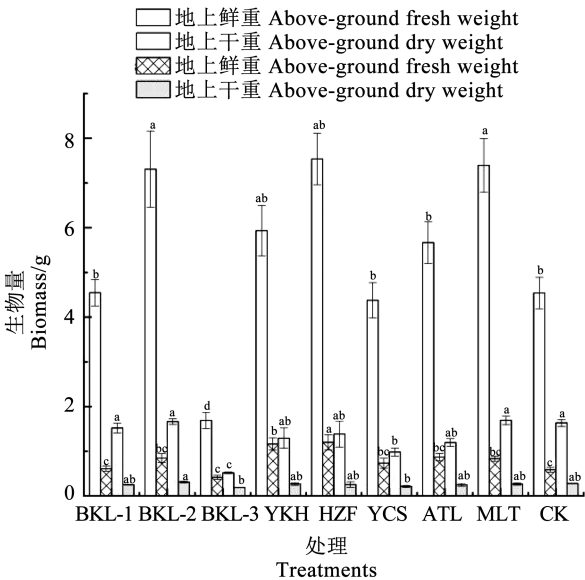


图 2 不同处理大豆幼苗地上地下生物量

Fig. 2 Above- and under-ground biomass of soybean seedlings in different treatments

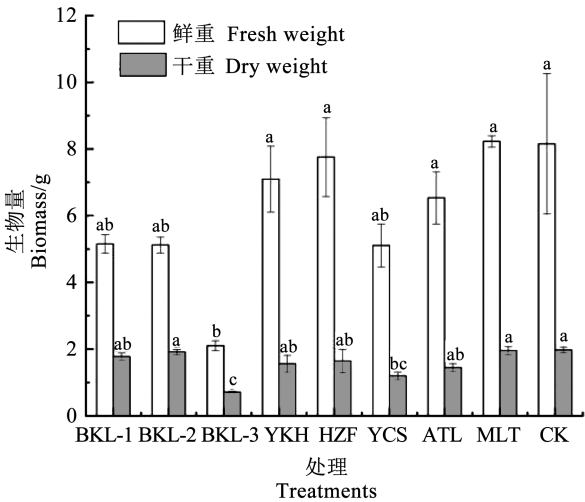


图 3 不同处理大豆幼苗干鲜生物量

Fig. 3 Dry and fresh biomass of soybean seedlings in different treatments

如图 4 所示,不同植物免疫诱抗剂处理下根冠比的差异不显著,这也可能与大豆的幼苗期生长发育的营养物质来源有关,大豆的种子发育到幼苗期的生长,其营养物质来源于子叶。处理 BKL-3 的根冠比最大,为 0.361;CK 为 0.186,处理 YCS、YKW 和 ATL 均大于 CK,且均超过了 0.2。处理 HZF、BKL-2、BKL-1 和 MLT,相比 CK 均有所降低,由此可见,不

同种类的免疫诱抗剂对大豆幼苗的根冠比的影响有所不同,在增加地上部分和地下部分干物质的能力上有所差别,除此之外,也和免疫诱抗剂喷施浓度有关。

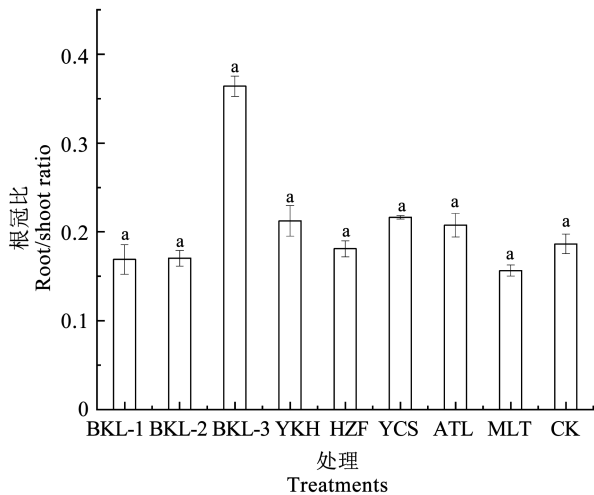


图 4 不同处理大豆幼苗根冠比

Fig.4 Root/shoot ratio of soybean seedlings in different treatments

2.4 免疫诱抗剂对叶片 PPO 和 PAL 活性的影响

如图 5 所示:PPO 活性只有 BKL-2 处理显著高于 CK,比 CK 增加了 41.18%,其余 7 个处理与 CK 无显著差异;对于 PAL 活性而言,BKL-3、YCS、BKL-2、YKW、ATL、BKL-1、HZF、MLT 和 BKL-2 处理均显著高于 CK,分别比 CK 增加 17.39%、16.74%、16.14%、14.94%、11.13%、10.63%、9.43% 和 3.2%。BKL-2、BKL-3、YKW、YCS 处理与 CK 差异显著。就上述双酶活性指标而言,仅 BKL-2 处理显著高于 CK。

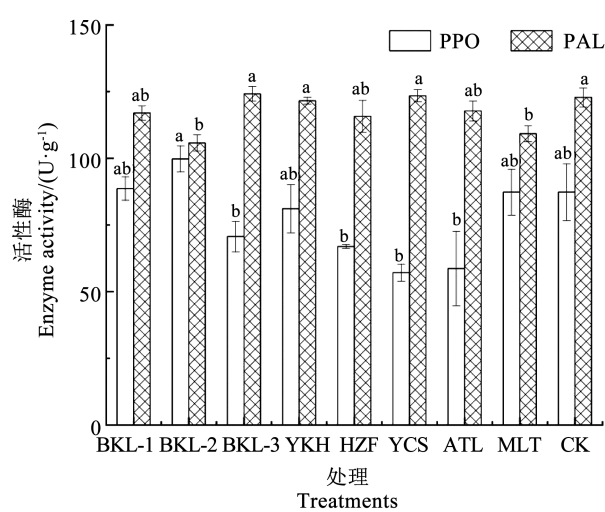


图 5 不同处理大豆叶片酶活性

Fig.5 Enzyme activity of soybean leaves in different treatments

3 讨论

植物免疫诱抗剂可以激发植物体内代谢调控过程,促进植物生长^[4,18-19]。白颖^[20]对使用不同浓度植物免疫诱抗剂 JM1 号喷施芽苗期的玉米及番茄研究显示,原液和 100 倍溶液的浓度对玉米和番茄幼苗的叶片叶绿素含量均低于对照处理,对于保康灵的 3 个处理而言,该结论与本试验结果一致。康恩祥等^[21]使用不同诱抗剂对甜瓜进行喷雾处理研究表明,诱导剂处理后植株叶片的净光合速率,气孔导度明显大于对照,经诱导处理后叶片的光合能力增强。总体而言,不同种类的植物免疫诱抗剂,对大豆幼苗叶片的 SPAD 值提高并不是很明显,而且浓度过高反而会降低叶片的 SPAD 值,这与刘祥臣等^[22]的研究结论一致。阿泰灵是由 3% 氨基寡糖和 3% 极细链格孢激活蛋白配合而成的植物免疫诱抗剂^[23-27]。张强等^[28]研究表明,阿泰灵对秧苗生长发育具有促进作用,随阿泰灵浓度的降低总体呈先增后降的变化趋势,说明阿泰灵在拌底土和浸种时浓度并不是越高越好,只有浓度适宜才能充分发挥药效。茉莉酮是茉莉酸类物质,对植株外源喷施茉莉酮处理能显著提高,植物次生代谢产物总酚、类黄酮等含量,增强抗氧化能力^[29],本研究的结果也表明,MLT 处理相对于 CK 在大豆幼苗的生物量指标方面有着明显的增加。油菜素内酯可以促进植物细胞的伸长与分裂、增强叶片的光合作用能力、调控植物根发育,从而改善植物生长发育状况,提高植物产量^[30]。本试验中,处理 YCS 在大豆叶片相对叶绿素含量指标方面,相对于 CK 有着明显增加,且均高于其他处理,本试验与上述结论一致。处理 YKW 和 HZF 相比,前者在大豆幼苗的根长指标要高于后者,其他生物性状、叶片相对叶绿素含量、生物量等指标均略低于处理 HZF,但对于叶片中 PAL 和 PPO 活性却有相反的表现,两者处理所用的植物免疫诱抗剂均为含腐殖酸水溶肥料,但是不同生产厂家的产品对同一植物的促进作用也不完全一致。

4 结论

本研究表明,6 种植物免疫诱抗剂均能不同程度地提高大豆品种浙鲜 19 的出苗率、幼苗的株高、叶长、叶宽、叶面积、生物量等生物性状,但植物免疫诱抗剂的使用浓度对大豆幼苗的生长的影

响有明显差异,保康灵1号是利用基于寡糖的一种高效广谱免疫诱抗剂^[26],2和4 g·L⁻¹的浓度对于大豆幼苗的生长促进作用均没有6 g·L⁻¹浓度效果好。安晓霞^[25]研究表明:3 g·L⁻¹壳寡糖的效果好于10 g·L⁻¹、50 mg·L⁻¹和200 mg·L⁻¹处理;0.8和1.6 mmol·L⁻¹水杨酸优于0.05,0.1,0.4,5,6 mmol·L⁻¹浓度处理;1 mmol·L⁻¹茉莉酸甲酯也比0.1及0.5 mmol·L⁻¹处理组效果好。因此,对植物免疫诱抗剂的使用需要适宜的浓度才能显著提高作物的生长。大豆幼苗总鲜重最高的处理为MLT,为8.22 g,排在第二位的为BKL-2处理,为8.16 g,但是干重最高的为BKL-2处理,为1.97 g,排在第二位的为MLT处理,为1.95 g。对于根冠比而言,处理BKL-3的值最大,为0.361,超过CK近2倍。对于叶片中PPO活性而言,BKL-2处理的值最高,显著高于CK,而其他处理均低于CK。叶片中PAL活性,BKL-3处理的活性最高,只有BKL-2处理可以同时提高两种酶活性。不同植物免疫诱抗剂对同一种植物的生长影响效果不完全一致,且只有适宜浓度的植物免疫诱抗剂才能有效促进植物生长。从本试验的结果,综合大豆幼苗的植株生长、叶绿素含量、生物量以及酶活性等指标来看,BKL-2处理对大豆幼苗的生长有着良好的促进作用。对于不同植物的生长阶段和需求可以选择相应的植物免疫诱抗剂。今后,对于植物免疫诱抗剂的研究工作,可以开展不同诱抗剂复配使用对作物生长的影响,来揭示复合配方对植株生长的多重促进作用。

参考文献

[1] 郑家瑞,李云洲. 植物诱导抗性研究进展[J]. 山地农业生物学报, 2022, 41(2): 51-58. (ZHENG J R, LI Y Z. Research progress on induced resistance in plants[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2022, 41(2): 51-58.)

[2] QIU D, DONG Y, ZHANG Y, et al. Plant immunity inducer development and application [J]. Molecular Plant-Microbe Interactions: MPMI, 2017, 30(5): 355-360.

[3] RICCI M, TILBURY L, DARIDON B, et al. General principles to justify plant biostimulant claims[J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 10: 494.

[4] 刘艳潇,祝一鸣,周而勋. 植物免疫诱抗剂的作用机理和应用研究进展[J]. 分子植物育种, 2020, 18(3): 1020-1026. (LIU Y X, ZHU Y M, ZHOU E X. Research progress on the action mechanism and application of plant immune inducers[J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(3): 1020-1026.)

[5] 杨雅云. 一个来自于稻瘟病菌的免疫诱导蛋白的鉴定和功能

分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2008. (YANG Y Y. Characterization and functional analysis of an immunity-inducing protein from *Magnaporthe grisea* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.)

[6] YANG B, YANG S, ZHENG W, et al. Plant immunity inducers: From discovery to agricultural application [J]. Stress Biology, 2022, 2(1): 5.

[7] 邱德文. 植物免疫诱抗剂的研究进展与应用前景[J]. 中国农业科技导报, 2014, 16(1): 39-45. (QIU D W. Progress and prospect of plant immunity inducer[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2014, 16(1): 39-45.)

[8] 曹娟. 植物免疫诱抗剂(ZNC)对马铃薯防病增产提质作用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2021. (CAO J. The effect of plant immune inducer (ZNC) on potato immunity, yield and quality[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2021.)

[9] YA AYBA L, KARPUN N N, MIKHAILOVA Y V, et al. Inclusion of plant immunity inducers in the fruit crops protection system for the purpose of reducing the pesticide load [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 604(1): 012019.

[10] 马金慧,杨克泽,徐志鹏,等. 不同植物免疫诱抗剂对玉米茎基腐病菌的抑制效果和田间防效[J]. 农药, 2022, 61(11): 840-844. (MA J H, YANG K Z, XU Z P, et al. Antifungal effect and field efficacy of different plant immunoinducagents on corn stalk rot[J]. Agrochemicals, 2022, 61(11): 840-844.)

[11] 边立丽,艾栋,陈玉蓝,等. 基于SPAD值的烤烟氮素营养诊断研究[J]. 中国土壤与肥料, 2022(5): 177-183. (BIAN L L, AI D, CHEN Y L, et al. Study on nitrogen nutrition diagnosis of flue-cured tobacco based on SPAD value[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2022(5): 177-183.)

[12] 王晓琳,吴琴燕,彭燕琼,等. 2种生物诱抗剂对葡萄霜霉病的诱导抗病作用[J]. 中国农学通报, 2021, 37(32): 127-131. (WANG X L, WU Q Y, PENG Y Q, et al. Effects of two inducers on induced resistance to grapevine downy mildew[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(32): 127-131.)

[13] 国淑梅,张凯,张鹤,等. 番茄植株对外源植物诱抗剂的生理响应[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(3): 102-104. (GUO S M, ZHANG K, ZHANG H, et al. Physiological response of tomato plants to exogenous plant elicitors [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(3): 102-104.)

[14] 翟杨,罗晨,牛艳斌,等. 四种诱抗剂对苧麻生长发育和抗苎麻夜蛾特性的影响[J]. 植物保护学报, 2022, 49(3): 809-815. (ZHAI Y, LUO C, NIU Y B, et al. Effects of four inducers on the growth and development of ramie and its resistance to ramie moth *Arcte coerula*[J]. Journal of Plant Protection, 2022, 49(3): 809-815.)

[15] 陈敏洁,杨超超,汪晓菲,等. 免疫诱抗剂对浙贝母生长与抗病的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(12): 2865-2868. (CHEN M J, YANG C C, WANG X F, et al. Effect of

immunostimulating agent on growth and disease resistance of *Fritillaria thunbergii* Miq [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2022, 63(12): 2865-2868.)

[16] 方临志, 马稚昱, 年海, 等. 光质对菜用大豆苗期光形态建成及根冠比的影响[J]. 大豆科学, 2018, 37(3): 366-372. (FANG L Z, MA Z Y, NIAN H, et al. Effects of light quality on the photomorphogenesis and the root-shoot ratio of soybean at seedlings stage[J]. Soybean Science, 2018, 37(3): 366-372.)

[17] 徐婷, 柳延涛, 王海江. 不同改良剂对盐碱地花生生长特性和产量的影响[J]. 西南农业学报, 2023, 36(1): 62-74. (XU T, LIU Y T, WANG H J. Effects of different modifiers on growth characteristics and yield of peanut in saline alkali soil [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2023, 36(1): 62-74.)

[18] 杨玉花, 雷阳, 白志元, 等. 杂交大豆苗期对干旱胁迫的生理响应[J]. 西南农业学报, 2022, 35(10): 2303-2310. (YANG Y H, LEI Y, BAI Z Y, et al. Physiological response of hybrid soybean to drought stress [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2022, 35(10): 2303-2310.)

[19] 项倩, 吴磊, 徐若涵, 等. 不同温度下染病番茄叶片 SPAD 和叶绿素含量的相关性[J]. 北方园艺, 2022(18): 8-15. (XIANG Q, WU L, XU R H, et al. Correlation between SPAD and chlorophyll content in infected tomato leaves at different temperatures[J]. Northern Horticulture, 2022(18): 8-15.)

[20] 白颖. 新型植物免疫诱抗剂 JM1 号对玉米及番茄芽期生理生化特性的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021: 15-30. (BAI Y. Effect of new plant immune inducer JM1 on physiological and biochemical characteristics of maize and tomato sprouts [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2021: 15-30.)

[21] 康恩祥, 乃小英, 陈年来, 等. 诱抗剂复合处理对甜瓜光合特性及果实品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(2): 150-153, 161. (KANG E X, NAI X Y, CHEN N L, et al. Effects of inducing treatment on photosynthetic characteristics and fruit yield and quality of muskmelon[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012, 30(2): 150-153, 161.)

[22] 刘祥臣, 李彦婷, 张强, 等. 植物免疫诱抗剂阿泰灵对杂交水稻两优 6326 秧苗素质及产量的影响[J]. 中国稻米, 2017, 23(6): 69-72, 75. (LIU X C, LI Y T, ZHANG Q, et al. Effects of plant immune inducer ATai Ling on the seedling quality and yield of hybrid rice[J]. China Rice, 2017, 23(6): 69-72, 75.)

[23] 国淑梅, 于晓野, 曲玉阳, 等. 植物诱抗剂对设施番茄生长及产量的影响[J]. 东北农业科学, 2021, 46(2): 66-69, 93. (GUO S M, YU X Y, QU Y Y, et al. Effects of plant inducer on growth and yield of greenhouse tomato[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2021, 46(2): 66-69, 93.)

[24] 肖艳, 李睿, 李梦秋, 等. 天然糖类促生诱抗剂的研究进展[J]. 南方农业, 2020, 14(2): 153-154, 157. (XIAO Y, LI R, LI M Q, et al. Research progress of natural sugar growth-promoting inducer[J]. South China Agriculture, 2020, 14(2): 153-154, 157.)

[25] 安晓霞, 曾粮斌, 余永廷, 等. 三种诱抗剂处理对苧麻叶片 PPO 和 POD 活力的影响[J]. 中国麻业科学, 2014, 36(1): 46-50, 54. (AN X X, ZENG L B, YU Y T, et al. Effects of three elicitors on PPO and POD activities in ramie leaves [J]. Plant Fiber Sciences in China, 2014, 36(1): 46-50, 54.)

[26] 沈国正, 刘辉, 肖文斐, 等. 免疫诱抗剂保康灵 1 号对葡萄促生长与抗病的效应[J]. 浙江农业科学, 2016, 57(8): 1193-1196. (SHEN G Z, LIU H, XIAO W F, et al. Effects of immune inducer Baokangling No. 1 on grape growth and disease resistance [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2016, 57(8): 1193-1196.)

[27] 党海月, 张妮妮, 朱明旗, 等. 阿泰灵对苹果锈果类病毒病田间防效及机制研究[J]. 西北农业学报, 2022, 31(1): 123-128. (DANG H Y, ZHANG N N, ZHU M Q, et al. Field effect and mechanism of atailing on apple scar skin viroid [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2022, 31(1): 123-128.)

[28] 张强, 刘祥臣, 余贵龙, 等. 不同浓度阿泰灵对再生稻两优 6326 秧苗素质和纹枯病抗性 & 产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(15): 130-133. (ZHANG Q, LIU X C, YU G L, et al. Impacts of different concentrations of plant immune inducer ATaiLing on seedling quality, resistance to sheath blight and yield of ratoon rice “Liangyou 6326” [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(15): 130-133.)

[29] 商叶, 汪晓谦, 刘洋, 等. 采后 PDJ 处理对‘南果梨’果实酚类物质含量变化的影响[J]. 中国果树, 2017(S1): 66-69, 86. (SHANG Y, WANG X Q, LIU Y, et al. Effect of postharvest PDJ treatment on phenolic content changes of ‘Nanguo pear’ [J]. China Fruits, 2017(S1): 66-69, 86.)

[30] 陈晨, 陈虹, 倪铭, 等. 油菜素内酯调控植物生长发育的研究进展[J]. 林业科学, 2022, 58(7): 144-155. (CHEN C, CHEN H, NI M, et al. Research progress of brassinolide in regulating plant growth and development [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2022, 58(7): 144-155.)