

孙冰,张金梅,刘朋宇,等.不同浓度褐藻寡糖对黄瓜生长、产量、品质与抗氧化酶及其基因表达的影响[J].江苏农业科学,2023,51(13):175-181.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.13.027

不同浓度褐藻寡糖对黄瓜生长、产量、品质与抗氧化酶及其基因表达的影响

孙冰¹,张金梅¹,刘朋宇²,张颖¹,苏红玲¹,王郡霞¹

(1. 沈阳师范大学生命科学学院,辽宁沈阳 110034; 2. 辽宁省沈阳市食品药品检验所,辽宁沈阳 110122)

摘要:探讨不同浓度的褐藻寡糖对黄瓜生长、产量、品质及抗氧化酶与其基因表达的影响,以为黄瓜产量与品质的提高以及提高植株的抗逆能力提供试验和理论依据。选取黄瓜品种亮剑 308 为试验材料,待黄瓜幼苗长至 36 d 后,将 0.00%、0.05%、0.10%、0.20%、0.30% 和 0.50% 的褐藻寡糖分别喷施于黄瓜幼苗叶片的正反面,研究黄瓜幼苗的生长、产量、品质及抗氧化酶活性及抗氧化酶相关基因的影响。结果表明,外源褐藻寡糖的喷施对黄瓜幼苗的生长有促进作用,不同浓度的褐藻寡糖处理后,黄瓜幼苗的株高、茎粗和叶片数量均较对照组显著增加。且褐藻寡糖可提高黄瓜产量,增加果实中有机酸、维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白和可溶性固形物的含量,以此使果实的品质提高。黄瓜叶片过氧化氢酶(CAT)活性在喷施褐藻寡糖后显著提高($P < 0.05$),其中,0.2% 处理较对照组(CK)提高 56.52%;褐藻寡糖对叶片中过氧化物酶(POD)活性有一定的促进作用,0.2% 处理组较对照组(CK)提高 13.12%;0.2% 褐藻寡糖处理下叶片抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性达最大值;喷施不同浓度的褐藻寡糖对叶片中过氧化物歧化酶(SOD)活性无显著提高;不同浓度的褐藻寡糖对谷胱甘肽还原酶(GR)活性的作用效果不同。果实中 SOD、POD、CAT、APX 及 GR 活性在褐藻寡糖处理后均有所增高,其中,0.2% 处理较 CK 增长幅度最大。黄瓜果实抗氧化酶 *G-POD4* 基因和 *SOD1* 基因表达水平与黄瓜果实中的酶活性一致,植物的抗逆能力增强。然而,不同浓度的褐藻寡糖对黄瓜的影响是不同的。经综合评价后得出,不同浓度的褐藻寡糖处理下黄瓜的生长、产量、品质及抗氧化系统状况均表现为一定程度促进作用,其中喷施 0.2% 的褐藻寡糖对促进效果最好。

关键词:黄瓜;褐藻寡糖;幼苗生长;果实品质;抗氧化酶

中图分类号:S642.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)13-0175-07

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)是世界普遍种植的蔬

菜作物之一,同样也是我国种植范围最广、栽培面积最大的蔬菜作物之一^[1]。近年来,随着种植年限的增加及农药和化肥的过量施用,使环境问题愈发严重,植株面临各种生物及非生物因素影响,导致作物的产量与品质下降^[2]。近年来,通过使用安全无污染的外源物质来提高作物的产量和品质已成为重要的途径之一。

褐藻寡糖是褐藻胶经化学或酶法降解而得到的产物,通过糖苷键将 2~10 个单糖聚合而成的一种多糖,具有溶解性强、稳定性好等特点^[3]。经多

收稿日期:2022-09-24

基金项目:辽宁省应用基础研究项目(编号:2022020401-JH2/1013);辽宁省科学技术基金博士启动项目(编号:20170520357);辽宁省科学计划项目(编号:2017208001);辽宁省重点研发计划项目(编号:2018103004);沈阳师范大学优秀人才计划;大学生创新创业训练计划(编号:X202110166150)。

作者简介:孙冰(1998—),女,辽宁铁岭人,硕士研究生,研究方向为生物化学与分子生物学。E-mail:1417408702@qq.com。

通信作者:张颖,女,博士研究生,副教授,研究方向为设施逆境栽培。E-mail:f5944@163.com。

实性状遗传倾向分析[J].果树学报,2020,37(5):625-634.

[28]刘佳琴,王尚德,蒋海月.红芙蓉×中油5号组合F₁果实主要性状的遗传倾向研究[J].安徽农业科学,2012,40(21):10794-10795.

[29]赵习平,马之胜,宣立锋,等.杏杂交后代果实性状的遗传变异研究[J].河北农业科学,2005,9(1):28-31.

[30]Potts S M,Khan M A,Han Y P,et al. Identification of quantitative trait loci (QTLs) for fruit quality traits in apple [J]. Plant

Molecular Biology Reporter,2014,32(1):109-116.

[31]Kostick S A,Luby J J. A pple fruit size QTLs on chromosomes 8 and 16 characterized in 'Honeycrisp'-derived germplasm [J]. Agronomy,2022,12(6):1279.

[32]Liu Z C,Bao donge,Liu D L,et al. Construction of a genetic linkage map and QTL analysis of fruit-related traits in an F₁ red Fuji × Hongrou apple hybrid [J]. Open Life Sciences,2016,11(1):487-497.

年研究发现,褐藻寡糖在绿色农业、医疗保健、养殖业等方面均具有十分重要的研究意义及应用价值,尤其在绿色农业方面,褐藻寡糖可显著促进植物生长及缓解植物非生物胁迫^[4]。有研究发现,褐藻寡糖可提高大麦发芽率及麦芽质量^[5],还可促进大豆田间出苗、提高大豆株高、茎粗及产量^[6],并通过提高植物体内渗透调节物质的含量,使翅碱蓬的抗盐胁迫能力得到提高^[7]。因此,褐藻寡糖具有开发成为一种安全绿色高效的新型植物生长调节剂的潜力。本研究在黄瓜幼苗生长过程中外源喷施不同浓度的褐藻寡糖,研究其对黄瓜生长量、果实产量、品质和抗氧化系统的影响,以期为黄瓜产量与品质的提高及提高植株的抗逆能力提供试验和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于 2019 年 3—7 月在沈阳师范大学生命科学学院日光温室中进行,供试黄瓜品种为“亮剑 308”。褐藻寡糖由沈阳师范大学微生物研究室提供,以蒸馏水为溶剂分别稀释至 0.05%、0.10%、0.20%、0.30% 和 0.50%。

1.2 试验设计

挑选籽粒饱满,大小均匀的“亮剑 308”黄瓜种子,放入 50℃ 温水中浸种 5 h,培养箱 30℃ 催芽 24 h。随后取露白一致的种子播种于 50 孔穴盘中。幼苗生长至 3 叶 1 心期,将黄瓜幼苗定植于大棚。待黄瓜幼苗长至 36 d 后,采用手持小型喷雾器将 0.00%、0.05%、0.10%、0.20%、0.30% 和 0.50% 的褐藻寡糖分别喷施于黄瓜幼苗叶片的正反面(生长点除外),喷施量以湿润不流滴为宜。本试验共设 6 个处理,具体见表 1,每个处理 3 次重复,每处理每重复有 8 株幼苗。

表 1 试验设计

处理	褐藻寡糖浓度 (%)
CK	0.00
T1	0.05
T2	0.10
T3	0.20
T4	0.30
T5	0.50

1.3 测定项目及方法

1.3.1 黄瓜幼苗生长指标的测定 黄瓜幼苗长至

36 d 后,从各浓度处理中选取 3 株长势相同的幼苗测量其株高、茎粗、叶片数,每隔 7 d 测量 1 次。株高测量:将黄瓜幼苗伸直,采用卷尺测定黄瓜幼苗最下端叶柄下 1 cm 至顶端生长点的长度,为黄瓜幼苗的株高。茎粗测量:测定黄瓜幼苗最下端叶柄以下 1 cm 的粗度,电子游标卡尺测定。叶片数测量:从黄瓜幼苗基部到生长点的叶片数量。

1.3.2 黄瓜产量的测定 在黄瓜成熟期采收果实,并用电子秤称质量。

1.3.3 黄瓜品质的测定 采用指示剂滴定法^[8]测定黄瓜有机酸含量。使用 2,6-二氯酚酚滴定法^[9]定量测定维生素 C 含量;采用水杨酸-硫酸比色法^[10]测定黄瓜中硝酸盐的含量;黄瓜可溶性糖的含量运用蒽酮法^[1]测定。可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝染料结合法^[11]测定,可溶性固形物用 TD-45 手持糖度计^[12]测定。

1.3.4 抗氧化酶系统指标测定 参照 NBT 光化还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;通过愈创木酚在 470 nm 下的氧化速率来测定过氧化物酶(POD)活性;采用紫外吸收法测定过氧化氢酶(CAT)的活性;抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性采用紫外比色法来测定;基于 NADPH 氧化后在 340 nm 处吸光度的减少来测定谷胱甘肽还原酶(GR)的活性^[13-14]。

1.3.5 RNA 的提取与 qRT-PCR 分析 选取约 12 cm 长的黄瓜,提取黄瓜总 RNA 使用华越洋基因有限公司的试剂盒。再按照 TaKaRa 反转录试剂盒的说明,将提取的黄瓜总 RNA 反转录为 cDNA。再将 cDNA 稀释为相同浓度,以 Actin 作为看家基因,进行荧光定量 qRT-PCR。

1.4 数据处理

数据记录整理使用 Excel 软件,采用 SPSS 22.0 的 Duncan's 多重对比法对数据进行分析,应用 Origin 9.4 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同浓度褐藻寡糖对黄瓜生物量的影响

由表 2 可知,不同浓度褐藻寡糖处理后,与对照组(CK)相比,幼苗的株高、茎粗及叶片数均受到影响。株高增长量在 T3 处理下 6 月 6 日到 6 月 13 日达最大值 48.33 cm,相比对照组(CK)显著提高 36.14%;喷施外源褐藻寡糖后,除 T4 处理茎粗增长量较 CK 稍有下降外(且未达显著水平),其余处理

较 CK 均有不同程度的提高,第 1 周 T5 处理显著提高 107.32%,第 2 周 T2 处理也显著提高 83.61%;在 5 月 30 日至 6 月 6 日时,T1 和 T3 处理增加的叶片数最多达 3.5 张,较对照组 (CK) 显著提高了

180%。可见,适当浓度褐藻寡糖处理使黄瓜幼苗的株高、茎粗和叶片数得到提高,综合以上数据 T3 处理的效果最好,即 0.2% 褐藻寡糖对黄瓜生长量的促进效果最好,使黄瓜植株生长健壮。

表 2 外源褐藻寡糖对黄瓜生长量的影响

处理	株高增长量 (cm)		茎粗增长量 (mm)		叶片数增加量 (张)	
	05-30—06-06	06-06—06-13	05-30—06-06	06-06—06-13	05-30—06-06	06-06—06-13
CK	38.50±2.50a	35.50±3.54bc	0.41±0.14bc	0.61±0.09b	1.25±0.35b	2.50±0.71ab
T1	35.67±6.25a	37.00±2.83bc	0.53±0.17b	0.64±0.10b	3.50±0.71a	3.00±0.71a
T2	39.33±6.66a	43.67±4.93ab	0.58±0.14b	1.12±0.08a	2.50±0.71ab	1.50±0.86bc
T3	39.50±1.73a	48.33±3.06a	0.59±0.08b	0.70±0.18b	3.50±0.71a	2.50±0.50ab
T4	38.50±4.58a	34.33±3.06c	0.25±0.02c	0.79±0.24b	2.33±0.29ab	1.67±0.76bc
T5	40.00±5.20a	40.00±1.41bc	0.85±0.26a	0.85±0.08ab	3.17±0.58a	1.17±0.29c

注:数据均为同一处理 3 次重复的“平均值±标准差”,小写字母表示同期处理间在 5% 水平的差异显著性。

2.2 不同浓度褐藻寡糖对黄瓜产量的影响

由表 3 可知,经褐藻寡糖处理的黄瓜植株的产量与对照组 (CK) 相比显著增高。T1、T2、T3、T4 和 T5 处理组的黄瓜单株总产量较 CK 组分别提高了 67.20%、64.81%、84.43%、61.62% 和 116.83%。平均单果质量分别较 CK 组提高了 0.48%、3.21%、10.59%、12.41% 和 12.35%。由此可知,外源褐藻寡糖的添加可明显增加黄瓜的产量,且高浓度的褐藻寡糖具有更明显的增产效果。

表 3 褐藻寡糖对黄瓜产量的影响

处理	9 株瓜条总数	单株总产量 (g)	平均单果质量 (g)
CK	21	319.94b	184.84b
T1	26	534.95ab	185.72b
T2	25	527.28ab	190.79ab
T3	19	590.07a	204.41ab
T4	21	517.10ab	207.78a
T5	30	693.73a	207.67a

2.3 不同浓度褐藻寡糖对黄瓜品质的影响

由图 1-A 可知,喷施外源褐藻寡糖的黄瓜有机酸含量有显著变化。与对照组 (CK) 相比,经 0.3% 褐藻寡糖 (T4) 处理后,有机酸的含量显著降低,较对照组 (CK) 减少了 26.28%。与对照组 (CK) 相比,经 0.1% 褐藻寡糖 (T2) 处理后,黄瓜有机酸含量明显升高,达最大值 17.83%,是对照组 (CK) 的 1.05 倍。褐藻寡糖对有机酸的含量有一定影响,而有机酸不仅可以影响黄瓜的口感风味,还能保护维生素 C,选择适当浓度的褐藻寡糖可提高黄瓜有机酸含量,提高黄瓜品质。由图 1-B 可知,

喷施外源褐藻寡糖对黄瓜的硝酸盐含量并无显著影响。对照组 (CK) 与不同浓度褐藻寡糖处理 (T1~T5) 间黄瓜的硝酸盐含量相差很小,无显著差异。说明了褐藻寡糖具有绿色、健康、安全的特点。由图 1-C 可知,喷施外源褐藻寡糖可提高黄瓜维生素 C 的含量。在不同浓度褐藻寡糖处理中,T2 处理使黄瓜果实中维生素 C 含量达最大值,与对照组 (CK) 相比显著提高 33.77%。结果说明了褐藻寡糖促进黄瓜维生素 C 合成,提高黄瓜的维生素 C 含量,从而提高其品质。由图 1-D 可知,经不同浓度褐藻寡糖处理后,除 T1 处理下可溶性糖含量显著降低外,其他浓度的处理均使黄瓜的可溶性糖含量显著提升。其中,T4 处理后果实中的可溶性糖含量与对照组 (CK) 相比显著提高 39.48%,达最大值。说明褐藻寡糖的使用,会使黄瓜的果实含糖量更高,口感更好,其风味更佳。由图 1-E 可知,喷施外源褐藻寡糖可提高黄瓜的可溶性蛋白含量。在不同浓度褐藻寡糖处理中,黄瓜的可溶性蛋白含量与对照组 (CK) 相比均显著提高,其中 T5 处理下的果实中其含量达最大值,与对照组 (CK) 相比显著提高 56.21%。选择适当浓度的褐藻寡糖可提高黄瓜可溶性蛋白的含量,可提高黄瓜的口感与品质。由图 1-F 可知,喷施褐藻寡糖后黄瓜可溶性固形物含量有所提高。T1 处理可溶性固形物含量最高,与对照组 (CK) 相比显著提高 15.17%,T2、T3、T4、T5 处理组无显著差异,可溶性固形物含量增加较少。以上结果说明,低浓度的褐藻寡糖对提高黄瓜可溶性固形物的效果最好。综上,外源褐藻寡糖通过提高黄瓜中有机酸、维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白

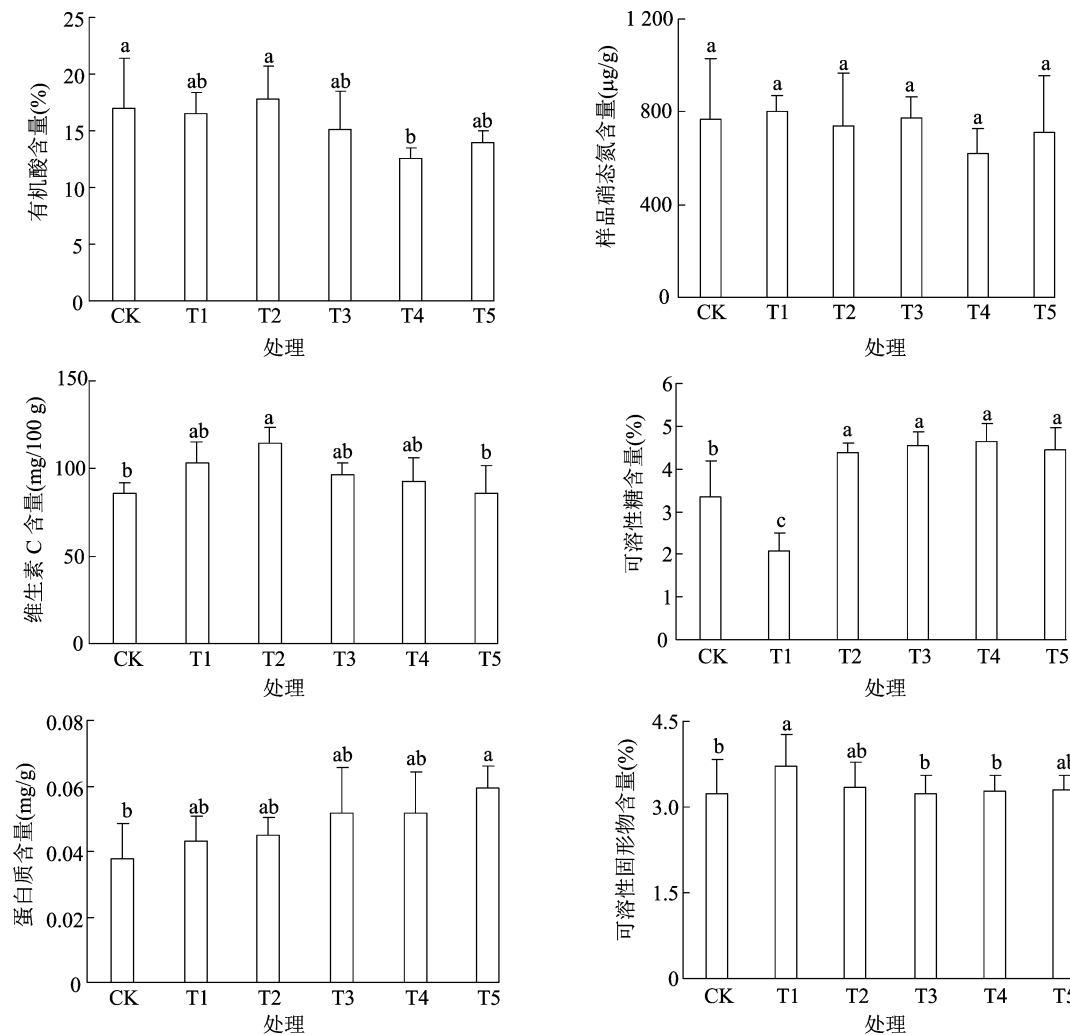


图1 外源褐藻寡糖对黄瓜品质的影响

和可溶性固形物的含量,来实现黄瓜品质的提升。此外,硝酸盐含量的测定证明褐藻寡糖的可利用性。

2.4 不同浓度褐藻寡糖对黄瓜叶片抗氧化酶活性的影响

由图 2 可知,与对照组(CK)相比,不同浓度的褐藻寡糖处理使黄瓜叶片中抗氧化酶的活性发生变化。由图 2 - A 可知,不同浓度褐藻寡糖处理后黄瓜叶片中 SOD 活性与对照组相比都有不同程度的降低,其中,除 T3 处理时降低的幅度最大,其他均未达显著水平。由图 2 - B 可知,黄瓜幼苗经不同浓度褐藻寡糖处理后,T2 处理下黄瓜叶片 CAT 活性较对照组(CK)显著提高 56.52% ($P < 0.05$),达最大值。由图 2 - C 可知,褐藻寡糖对 POD 活性具有一定的促进作用,T2 处理较对照组(CK)提高 13.12%,T5 处理较对照组(CK)提高 13.57%。由图 2 - D 可知,在不同浓度褐藻寡糖处理中,T2 处理下黄瓜叶片 APX 活性达最大值,与对照组(CK)相

比,APX 活性提高 25.25%,但未达到显著水平。由图 2 - E 可知,喷施不同浓度的褐藻寡糖对叶片中 GR 活性的作用效果不同,与对照组(CK)相比,T1、T2、T3 和 T4 处理 GR 活性下降,与对照组(CK)相比分别降低 11.06%、16.60%、41.32% 和 42.50%;T5 处理与对照组(CK)相比并无显著差异。可见,褐藻寡糖提高了黄瓜叶片中抗氧化酶活性,激活黄瓜的抗氧化系统。

2.5 不同浓度褐藻寡糖对黄瓜果实抗氧化酶活性的影响

由图 3 可知,与对照组(CK)相比,褐藻寡糖处理使黄瓜果实中的 SOD、CAT、APX、POD 及 GR 的活性发生变化。由图 3 - A 可知,与对照组(CK)相比,随着褐藻寡糖处理浓度的不断加大,SOD 酶活性先升高后降低,其中 T3 处理使 SOD 酶活性与对照组(CK)相比提高了 19.97%,达最大值。由图 3 - B 可知,与对照组(CK)相比,不同浓度的褐藻寡

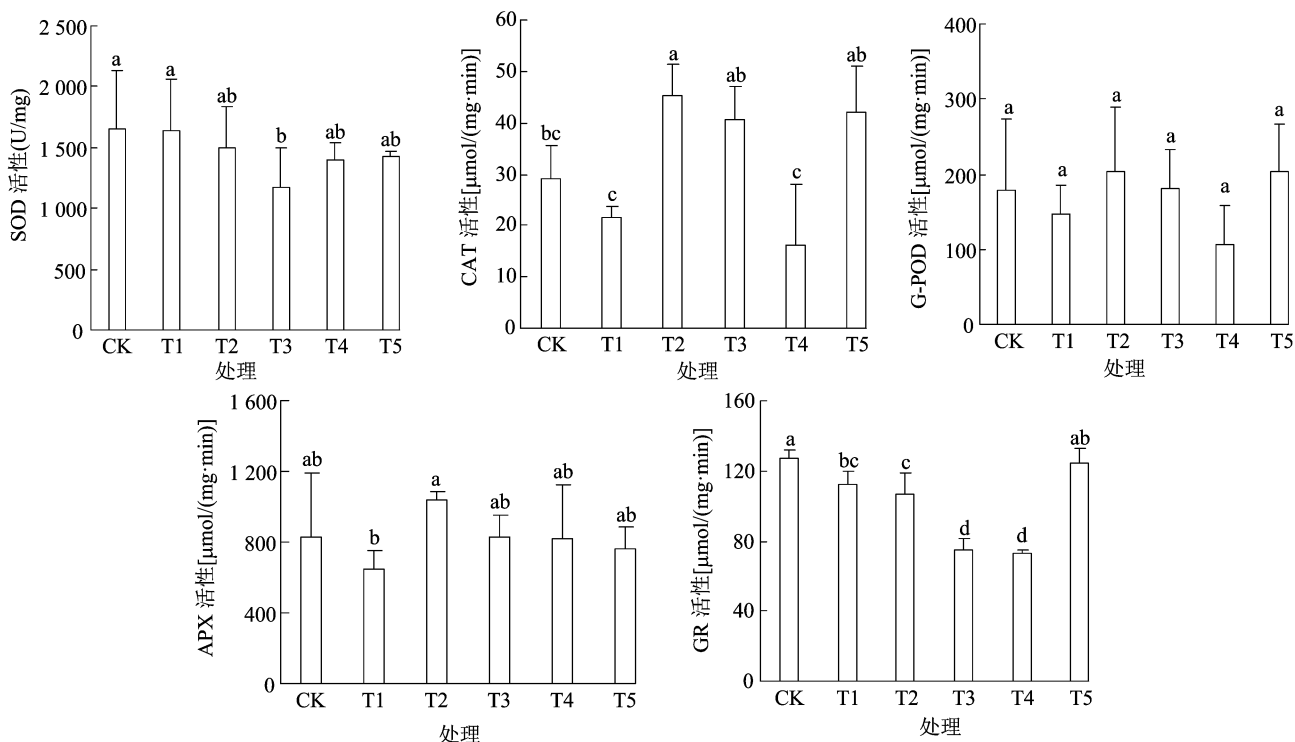


图2 外源褐藻寡糖对黄瓜叶片抗氧化酶活性的影响

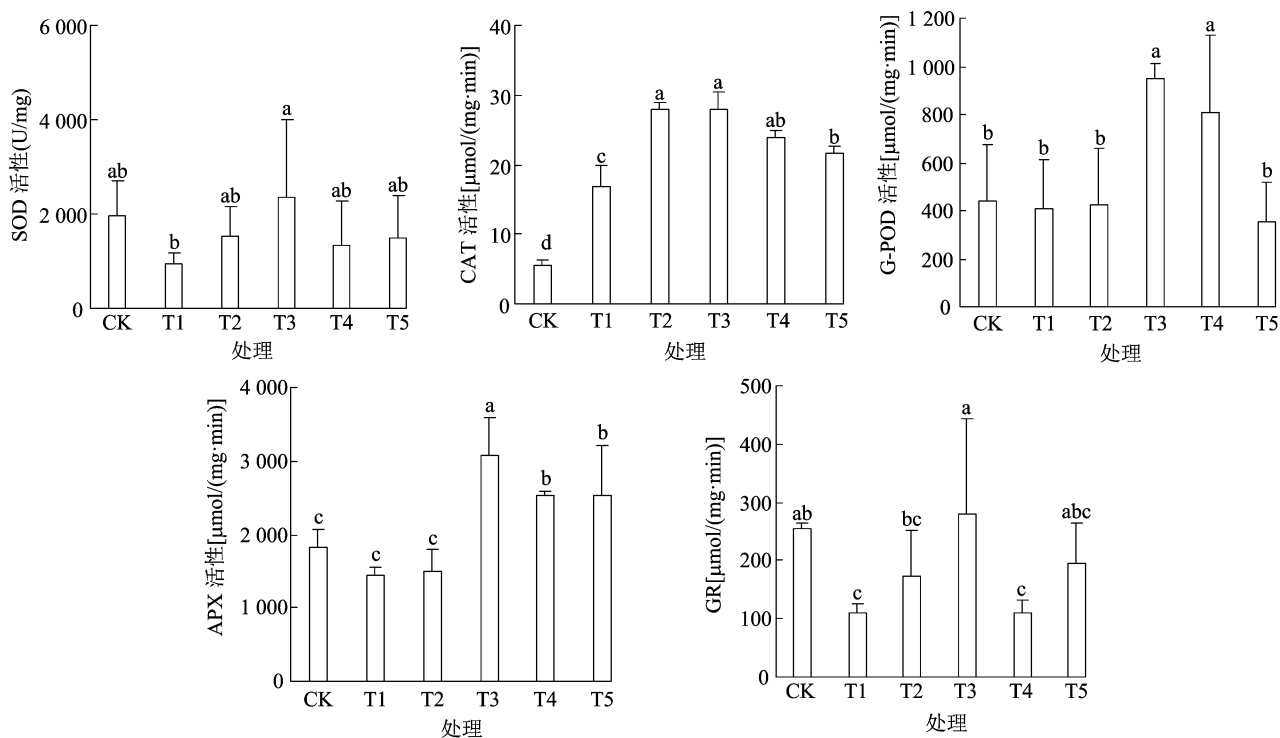


图3 外源褐藻寡糖对黄瓜果实抗氧化酶活性的影响

糖处理使 CAT 酶的活性均显著提高 ($P < 0.05$), 其中 T3 处理使 CAT 酶活性达最大值, 较 CK 组提高 402.28%。由图 3 - C 可知, 不同浓度褐藻寡糖处

理对黄瓜果实中 POD 酶活性的影响不同, 与对照组 (CK) 相比, T1、T2 和 T5 处理 POD 酶活性无明显差异, T3 和 T4 处理酶活性显著增加 ($P < 0.05$), 其中

T3 处理使 POD 酶活性达到最大值,较 CK 组提高 115.50%。由图 3-D 可知,与对照组(CK)相比,随着褐藻寡糖浓度的不断加大,APX 酶活性先升高后降低。与对照组(CK)相比,T1 和 T2 处理酶活性降低,但未达到差异显著水平,T3、T4 和 T5 处理中 APX 酶活性较对照组均显著提高,其中 T3 处理使 APX 酶活性达最大值,较 CK 组提高 69.96%。由图 3-E 可知,褐藻寡糖处理后,仅有 T3 处理 GR 的活性较对照组(CK)升高,提高 10.13%,T1、T2、T4 和 T5 处理均较对照组(CK)降低,但 T2、T5 处理与对照组的差异不显著,T1、T4 处理与对照组相比差异显著。综上,黄瓜果实中抗氧化酶的活性随着褐藻寡糖处理浓度的升高,其总体呈现出先升高后降低的趋势,其中 T3 处理效果最好,即 0.2% 褐藻寡糖是最适浓度。

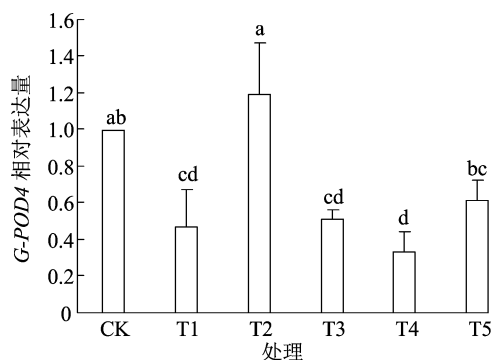


图4 外源褐藻寡糖对黄瓜果实抗氧化酶基因表达的影响

3 讨论

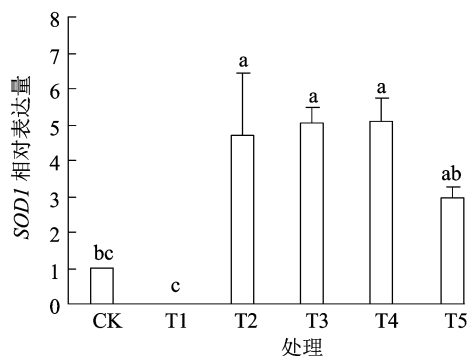
褐藻寡糖可影响植物生长发育,调节种子萌发和根系发育,及植物光合作用等,从而促进植物的生长发育,提高植物的产量及品质,增强植物的抗逆性^[15-21]。

褐藻寡糖能够促进植物的生长。马纯艳等研究证明,褐藻胶寡糖对高粱种子萌发和幼苗生长有促进作用^[22]。本试验结果表明,外源喷施合适浓度的褐藻寡糖可促进黄瓜幼苗生长,增加黄瓜幼苗株高、茎粗及叶片数,这与李佳琪等的试验结果一致^[17]。不同浓度的褐藻寡糖对黄瓜幼苗生长的影响有一定差异,其中,0.2% 褐藻寡糖对黄瓜幼苗的作用效果最好。然而,褐藻寡糖调控植物生长发育的生理及分子机制尚不清楚。

褐藻寡糖可以改善果实的品质。刘同梅等表明,褐藻寡糖能有效降低果实失质量率,减缓果实硬度的下降,使果实贮藏时其可溶性固形物的变化

2.6 不同浓度褐藻寡糖对黄瓜果实抗氧化酶活性相关基因的影响

G-POD4、*SOD1* 分别是抗氧化酶 POD 和 SOD 的关键调控基因。由图 4-A 可知,喷施褐藻寡糖后黄瓜果实中抗氧化酶 *G-POD4* 基因表达水平发生变化,与对照组(CK)相比,除 T2 处理升高外,其他 4 组处理均使 *G-POD4* 基因表达水平降低。由图 4-B 可知,不同浓度褐藻寡糖处理的黄瓜果实中 *SOD1* 基因表达水平较对照组(CK)呈现上升的趋势,其中,T3 和 T4 组较对照组(CK) *SOD1* 基因表达水平增长幅度最大,分别增加了 406.30% 和 410.21%。综上,适当浓度的褐藻寡糖可有效提高抗氧化酶基因表达量,并且抗氧化酶基因表达水平与黄瓜果实中的抗氧化酶活性一致,说明外源喷施适当浓度的褐藻寡糖可使黄瓜的抗逆性增强。



减弱,保持果实可滴定酸、可溶性糖含量及维生素 C 含量的稳定^[23]。本研究结果表明,喷施褐藻寡糖后黄瓜果实中有机酸、硝酸盐、维生素 C、可溶性糖、可溶性糖蛋白和可溶性固形物含量均有所提高,较对照组差异显著,在 0.2% ~ 0.3% 褐藻寡糖对黄瓜品质的作用效果最好。

当植物在水分胁迫、盐胁迫和重金属胁迫等逆境条件下时,植物细胞会受到氧化损伤。植株体内 ROS 产生与消除的动态平衡被打破,导致 ROS 过度累积,一些生物分子(如 DNA、RNA、蛋白质和脂质)被氧化,使酶失活,从而降低蛋白质的合成速率。一般而言,植物细胞可通过防御机制清除多余的 ROS。抗氧化酶系统就是其中最重要的机制之一,抗氧化酶 SOD、CAT、POD、APX 和 GR 可用来衡量植物细胞抗氧化能力^[24]。本研究结果表明,喷施褐藻寡糖的黄瓜叶片与果实中的抗氧化酶 SOD、CAT、POD、APX 和 GR 活性较对照组(CK)增加,果实抗氧化酶 *G-POD4*、*SOD1* 基因表达上调,其表达量变

化与对应的抗氧化酶活性变化呈现一致的趋势,说明喷施褐藻寡糖后,黄瓜植株通过调控抗氧化酶基因表达水平来提高体内抗氧化酶活性。褐藻寡糖使植物体内抗氧化酶的活性提高,清除植物体内多余的 ROS,增强植物抗逆性,本试验结果与刘瑞志对番茄的研究^[25]类似。但 *G-POD4*、*SOD1* 基因表达上调并不显著,甚至有部分处理基因下调,可能是由于果实成熟期间其体内活性氧增加,且活性氧产生速率远远高于抗氧化酶的增长速率,抗氧化酶基因受到一定程度抑制^[26]。喷施褐藻寡糖可调节黄瓜幼苗叶片和果实的抗氧化酶系统,使抗氧化酶的活性提高,有效清除细胞中 $O_2 \cdot$ 及 H_2O_2 , 提高黄瓜抗逆性。

4 结论

本研究以黄瓜为试验材料,褐藻寡糖促进黄瓜植株生长,增加黄瓜果实产量、提升果实营养品质,同时提高黄瓜叶片及果实中的抗氧化酶含量,果实中抗氧化酶基因表达上调,使植物潜在的抗逆能力增强。其中 T3 处理,即 0.2% 褐藻寡糖处理的效果最佳。

参考文献:

- [1] 廉 华,李润哲,马光恕,等. 氮肥施用方式对高丙醇二酸黄瓜生理特性、产量及品质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2021,39(6):171-178.
- [2] 武杞蔓,田诗涵,李昀烨,等. 微生物菌肥对设施黄瓜生长、产量及品质的影响[J]. 生物技术通报,2022,38(1):125-131.
- [3] 吴 哲,任丹丹,梁馨元,等. 褐藻胶寡糖的制备分离及生物活性[J]. 食品安全质量检测学报,2020,11(1):1-7.
- [4] 刘 航,尹 恒,张运红,等. 褐藻胶寡糖生物活性研究进展[J]. 天然产物研究与开发,2012,24(增刊1):201-204,228.
- [5] 赵信池,周海龙,栾 静,等. 褐藻胶寡糖对大麦发芽水解酶活力和麦芽质量的影响[J]. 大连工业大学学报,2020,39(4):250-254.
- [6] 罗晓峰,代宇佳,宋 艳,等. 三种植物生长调节剂对大豆生长发育及产量的影响[J]. 核农学报,2021,35(4):980-988.
- [7] 孙 林,陈春琳,钟志海,等. 褐藻寡糖对翅碱蓬种子萌发及抗盐胁迫能力的影响[J]. 分子植物育种,2021,21(8):2746-2753.
- [8] 张文标,张 硕,屠伟杰,等. 农业有机废弃物发酵 CO_2 施肥对大棚黄瓜生长及品质的影响[J]. 浙江农业学报,2011,23(4):736-740.
- [9] 王甲辰,陈延华,王学霞,等. 低剂量无机氮肥与有机栽培黄瓜主要品质比较[J]. 北方园艺,2020(11):1-6.
- [10] 杨雪松,赵海静. 不同基质对黄瓜长势、产量及果实品质的影响[J]. 蔬菜,2021(11):11-15.
- [11] 吕 剑,金 宁,郁继华,等. 基质栽培黄瓜生长、产量及品质对不同灌水下限的响应[J]. 干旱地区农业研究,2020,38(5):107-115.
- [12] 刘赵帆. 微生物菌肥替代部分化肥对设施黄瓜生长、品质及产量的影响[J]. 北方园艺,2022(2):47-53.
- [13] 张治安,陈展宇. 植物生理学实验技术[M]. 长春:吉林大学出版社,2008:180-189.
- [14] 侯福林. 植物生理学实验教程[M]. 3 版. 北京:科学出版社,2015:105-108.
- [15] 张守栋,韩晓弟,张同作,等. 褐藻胶寡糖对大豆种子萌发及幼苗生理的影响[J]. 西北农业学报,2015,24(11):95-100.
- [16] Hu X K, Jiang X L, Hwang H, et al. Promotive effects of alginate-derived oligosaccharide on maize seed germination[J]. Journal of Applied Phycology, 2004, 16(1):73-76.
- [17] 李佳琪,汤 洁,李明月,等. 不同分子量的褐藻寡糖对黄瓜幼苗光合作用及生长的影响[J]. 中国农业大学学报,2018,23(9):53-59.
- [18] 张运红,孙克刚,和爱玲,等. 喷施海藻酸钠寡糖对小麦幼苗生长发育和抗旱性的影响[J]. 河南农业科学,2016,45(2):56-61.
- [19] 李映龙,单守明,刘成敏,等. 叶面喷施壳寡糖对华脆苹果光合作用和果实品质的影响[J]. 农业科学研究,2019,40(3):19-22.
- [20] Tang J C, Zhou Q X, Chu H R, et al. Characterization of alginase and elicitor-active oligosaccharides from *Gracilbacillus* A7 in alleviating salt stress for *Brassica campestris* L. [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(14):7896-7901.
- [21] 聂伟燕,汤 洁,严国富. 水分胁迫下褐藻酸寡糖对黄瓜幼苗抗氧化酶活性及渗透调节物质的影响[J]. 北方园艺,2019(4):6-11.
- [22] 马纯艳,卜 宁,马连菊. 褐藻胶寡糖对高粱种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版),2010,28(1):79-82.
- [23] 刘同梅,王文霞,胡建恩,等. 海藻酸钠寡糖采前处理对猕猴桃贮藏品质的影响[J]. 辽宁农业科学,2017(6):6-10.
- [24] Foyer C H, Noctor G. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context[J]. Plant, Cell and Environment, 2005, 28(8):1056-1071.
- [25] 刘瑞志. 褐藻寡糖促进植物生长与抗逆效应机理研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2009.
- [26] Jimenez A, Creissen G, Kular B, et al. Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening[J]. Planta, 2002, 214(5):751-758.