

张学青,胡蒙爱,王晓卓,等.壳寡糖、芽孢杆菌、香菇多糖复合对黄瓜幼苗生长和低温抗性的影响[J].江苏农业科学,2023,51(18):156-162.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.18.023

# 壳寡糖、芽孢杆菌、香菇多糖复合对黄瓜幼苗生长和低温抗性的影响

张学青<sup>1</sup>,胡蒙爱<sup>1,2</sup>,王晓卓<sup>1</sup>,张雪艳<sup>1</sup>

(1.宁夏大学农学院,宁夏银川 750021; 2.宁夏盛旭昊春农业科技有限公司,宁夏银川 750021)

**摘要:**北方地区冬季气候寒冷,黄瓜幼苗无法安全越冬,直接影响后期黄瓜产量。以清水灌根为对照(CK),用香菇多糖 700 倍液、500 mg/L 壳寡糖 + 10<sup>7</sup> CFU/mL 解淀粉芽孢杆菌(F1)、500 mg/L 壳寡糖 + 10<sup>7</sup> CFU/mL 解淀粉芽孢杆菌 + 香菇 700 倍液多糖组合(F1-X700)进行灌根处理,分析其对黄瓜幼苗促生效应的影响。结果表明,相比 CK 处理,香菇多糖灌根显著增加基质 EC 值、有机质、速效氮、速效磷、全氮含量;F1-X700 处理的有机质、速效氮、速效钾、速效磷含量均为最高。F1-X700 处理的黄瓜幼苗茎粗相对增长率、壮苗指数比 CK 处理显著高 61.4%、20.8%;株高相对增长率、叶绿素含量最高,比 CK 处理显著高 39.1%、69.1%。低温胁迫处理试验结果表明,T2 处理的 POD、SOD 活性显著比 CK2 处理高 38.3%、77.2%。试验结果表明,500 mg/L 壳寡糖 + 10<sup>7</sup> CFU/mL 解淀粉芽孢杆菌 + 香菇多糖 700 倍液复配灌根处理可显著促进黄瓜幼苗生长,抵御亚低温不良环境。

**关键词:**壳寡糖;解淀粉芽孢杆菌 XY-13;香菇多糖;基质养分;黄瓜幼苗

**中图分类号:**S642.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)18-0156-07

我国为蔬菜种植大国,蔬菜产业在我国农业经济发展中具有独特的地位和优势,种植面积逐年增

加。2021 年我国蔬菜播种面积约为 2 187.221 万 hm<sup>2</sup>,同比增长 1.8%;蔬菜产量约为 76 710.8 万 t,同比增长 2.4%<sup>[1]</sup>。根据国家统计局最新数据显示,中国以 109.8 kg 的人均蔬菜消耗量一直高居全球第一。从人均蔬菜产量来看,即便是在对外出口的情况下,我国的蔬菜不仅可以自给自足,甚至依旧有盈余。由此可见,发展绿色蔬菜对改善城乡居民生活、稳定发展农村经济、增加农民收入、扩大农产品出口都有极其重要的意义<sup>[2]</sup>。

香菇多糖是从优质香菇子实体中提取的有效活性成分。研究表明,香菇多糖处理植株可使植株产生抗性,且提高其过氧化物酶和多酚氧化酶活

收稿日期:2022-12-13

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划(编号:2021BBF02026);宁夏园艺学国家一流建设学科项目(编号:2021-2025);宁夏回族自治区科技创新领军人才项目(编号:KJT2017001);宁夏大学贺兰山学者项目(编号:2020)。

作者简介:张学青(1998—),女,宁夏固原人,硕士研究生,主要研究方向为蔬菜生理与生态。E-mail:1181715842@qq.com。

通信作者:王晓卓,博士研究生,主要研究方向为蔬菜生理与生态, E-mail:catreewp@outlook.com;张雪艳,教授,硕士生导师,主要从事设施蔬菜栽培与生理等研究, E-mail:zhangxueyan123@sina.com。

[6]余斌.引进马铃薯种质资源表型多样性分析及块茎品质的综合评价[D].兰州:甘肃农业大学,2018.

[7]黄月琴,方荣,陈学军,等.茄子种质资源表型性状分析与遗传多样性评价[J].热带作物学报,2021,42(7):1896-1904.

[8]刘珮君,王晓敏,李国花,等.166份番茄种质资源的综合评价[J].云南大学学报(自然科学版),2020,42(4):792-803.

[9]芮文婧,王晓敏,张倩男,等.番茄353份种质资源表型性状遗传多样性分析[J].园艺学报,2018,45(3):561-570.

[10]赵霞霞,颜秀娟,王学梅,等.246份番茄种质资源表型性状的遗传多样性[J].江苏农业科学,2021,49(17):134-140.

[11]龚亚菊,吴丽艳,黎志彬,等.大果番茄种质资源的遗传多样性和聚类分析[J].西南农业学报,2013,26(6):2447-2450.

[12]史建磊,宰文珊,陈依凯,等.基于表型的樱桃番茄种质遗传多样性分析[J].热带作物学报,2019,40(6):1095-1101.

[13]何润铭,黎振兴,郭汉权,等.基于表型性状的番茄品种遗传多样性分析[J].湖北农业科学,2021,60(18):115-120.

[14]易腾飞,李珊珊,李嘉豪,等.261份小麦品种基于农艺性状的遗传多样性分析[J].河北农业大学学报,2018,41(2):7-13.

[15]杨乐琦,仇淑芳,唐菲,等.基于主成分分析的观赏生菜品质综合评价[J].上海交通大学学报(农业科学版),2015,33(3):53-60.

[16]冯晶晶,刘磊,郑峥,等.醋栗番茄 *Solanum pimpinellifolium* 遗传多样性分析[J].植物遗传资源学报,2017,18(4):611-619,628.

性,有助于植株抵抗逆境胁迫,对植株生长也起到促进作用<sup>[3]</sup>。香菇多糖具有抗病毒、抗肿瘤、调节免疫和刺激干扰素形成等功能<sup>[4]</sup>。香菇多糖处理使寄主植株产生诱导抗性,菌物多糖中的核酸、糖蛋白等都是诱导抗病毒物质,这些物质通过植株感受点而产生抗性<sup>[5]</sup>。研究表明,香菇多糖对烟草花叶病毒(TMV)的诱导抗性在 1.00 mg/mL 诱导浓度下最明显;香菇多糖喷施烟草,诱导叶片组织过氧化物酶和多酚氧化酶活性提高,且香菇多糖对烟草种子萌发有较明显的促生作用<sup>[6]</sup>。

解淀粉芽孢杆菌可改善作物根际微生物群落,在促进作物生长方面作用显著<sup>[7]</sup>。解淀粉芽孢杆菌与黄瓜分泌物存在互作作用,可在黄瓜根际定殖,占据根部有利生态位点,为促进幼苗生长提供有利条件<sup>[8]</sup>。有研究表明,解淀粉芽孢杆菌可通过溶解磷酸盐、生物固氮等提高植物根际养分的可利用性,直接促进作物生长<sup>[9]</sup>。接种固氮、溶磷菌株,可以增加土壤中速效氮、磷、钾含量,促进作物生长<sup>[10]</sup>。王琪媛等发现,分泌 ACC 脱氨酶的根际细菌能促进植株生长<sup>[11]</sup>。在长势及光合作用方面,解淀粉芽孢杆菌也表现出显著的促进作用。这可能与解淀粉芽孢杆菌可以分泌生长素、细胞分裂素、脱落酸、赤霉素和亚精胺等生长因子有关<sup>[12]</sup>。乔俊卿等发现,使用 B1619 菌液能够增强番茄叶片的蒸腾速率、光合速率,从而达到促进番茄生长的效果<sup>[13]</sup>。张德珍等发现,用稀释的 JF-1 发酵液灌根,可以显著提高黄瓜幼苗的壮苗指数,有效增加黄瓜幼苗的侧根数、叶面积和叶绿素含量<sup>[14]</sup>。微生物对植物生长具有促进效果,一方面因为微生物可以通过分泌植物生长素促进植物发育;另一方面因为微生物可以刺激植物根系发育,从而达到促进作物生长的效果<sup>[15]</sup>。

前期试验表明,500 mg/L 壳寡糖 + 10<sup>7</sup> CFU/mL 解淀粉芽孢杆菌复配香菇多糖为黄瓜幼苗促生效果的最优处理<sup>[16]</sup>。本研究以清水灌根为对照(CK),设置香菇多糖 700 倍液(X700)单一处理、500 mg/L 壳寡糖 + 10<sup>7</sup> CFU/mL 解淀粉芽孢杆菌(F1)、500 mg/L 壳寡糖 + 10<sup>7</sup> CFU/mL 解淀粉芽孢杆菌 + 香菇多糖 700 倍液(F1-X700)处理,通过对比不同处理的基质养分特性、黄瓜幼苗长势、光合特性、根系发育的变化,探究壳寡糖、解淀粉芽孢杆菌、香菇多糖混配施用对黄瓜幼苗生长和对黄瓜幼苗低温抗性的影响,旨在为黄瓜幼苗越冬技术提供

理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

黄瓜促生长试验于 2021 年 9 月 10 日在宁夏大学实训温棚进行。试验材料为 1 叶 1 心德尔 LD-1 黄瓜幼苗(购自宁夏天缘种业有限公司)。供试解淀粉芽孢杆菌 XY-13 由宁夏大学微生物实验室提供;壳聚糖由黑龙江八一农垦大学提供;香菇多糖为有效成分含量为 1% 的水剂,购自北京三浦百草绿色植物制剂有限公司。以清水灌根为对照(CK),用香菇多糖 700 倍液(X700)、500 mg/L 壳寡糖 + 10<sup>7</sup> CFU/mL 解淀粉芽孢杆菌(F1)、500 mg/L 壳寡糖 + 10<sup>7</sup> CFU/mL 解淀粉芽孢杆菌 + 香菇多糖 700 倍液组合(F1-X700)分别进行灌根处理。在处理开始的第 1 天、第 10 天、第 20 天进行 3 次灌根处理,灌溉量为每次 15 mL/株,每个处理总计 40 株。重复 3 次,第 30 天测定幼苗长势。

黄瓜耐低温试验于 2022 年 1 月 7 日开始,于宁夏大学农学院光照培养箱内进行。试验以 2 叶 1 心德尔 LD-1 黄瓜幼苗为试材,幼苗期各不同处理根据黄瓜生长需求进行统一灌水,每个穴盘(72 穴)灌水 1 L/次。将黄瓜幼苗放置于光照培养箱内以正常温光环境培养,以清水灌根为对照,以 500 mg/L 壳寡糖 + 10<sup>7</sup> 解淀粉芽孢杆菌 + 香菇多糖 700 倍液混合液对黄瓜幼苗进行为期 3 d 的预处理。第 4 天进行低温胁迫处理,至第 10 天取样,测定长势、抗氧化酶活性等指标。试验中设置 3 个不同的温度组合:以昼/夜温度 28 °C/18 °C 为对照,低温处理的昼/夜温度分别控制为 20 °C/12 °C、16 °C/8 °C,光照时间及强度统一(表 1),耐低温试验设计详见表 2。

表 1 光照处理

时间段	光照度 [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]
09:00—11:00	270
11:00—14:00	540
15:00—16:00	270

### 1.2 取样和测定方法

1.2.1 幼苗长势测定 分别在试验第 1 天至第 30 天,随机选择长势良好均一的代表性植株 10 株,同时测定并计算幼苗的株高相对生长率(RGR-PH)、茎粗相对生长率(RGR-SV)。叶绿素含量采用 SPAD-502 叶绿素仪测定。

表 2 耐低温试验设计

处理	昼/夜温度	外源物质
CK1	28 ℃/18 ℃	无
T1	28 ℃/18 ℃	500 mg/L 壳寡糖 + 10 <sup>7</sup> 解淀粉芽孢杆菌 + 香菇多糖 700 倍液
CK2	20 ℃/12 ℃	无
T2	20 ℃/12 ℃	500 mg/L 壳寡糖 + 10 <sup>7</sup> 解淀粉芽孢杆菌 + 香菇多糖 700 倍液
CK3	16 ℃/8 ℃	无
T3	16 ℃/8 ℃	500 mg/L 壳寡糖 + 10 <sup>7</sup> 解淀粉芽孢杆菌 + 香菇多糖 700 倍液

$$RGR - PH = [\ln(h_2) - \ln(h_1)] / (t_2 - t_1); \quad (1)$$

$$RGR - SV = [\ln(d_2 d_2 h_2) - \ln(d_1 d_1 h_1)] / (t_2 - t_1)。$$

(2)

式中： $h_1$ 、 $h_2$  代表 2 次测量的株高； $d_1$ 、 $d_2$  代表 2 次测量的茎直径； $n_1$ 、 $n_2$  代表 2 次测量的叶片数； $t_1$ 、 $t_2$  代表 2 次取样时间<sup>[17]</sup>。

2021 年 9 月 20 日取代表性植株 6 株。用电子天平称量地上部、地下部的鲜质量和干质量。

1.2.2 光合特性测定 2021 年 9 月 20 日,每个处理取代表性植株,测定黄瓜幼苗光合特性。于晴天 09:00—11:00,用美国 LI-6800 便携式光合仪测量叶片荧光特性。

1.2.3 基质化学特性分析 2021 年 9 月 21 日,随机选取 50 g 基质样品,风干后过 1 mm 筛,用于测定基质养分。pH 值采用 pH 计测定;EC 值采用电导率仪测定;总氮(TN)含量采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 硝

化-半微量凯氏定氮法<sup>[18]</sup>测定;有机质含量采用重铬酸钾外加热法测定;速效氮含量采用碱解扩散法测定;速效磷含量采用 0.5 mol/L 的 NaHCO<sub>3</sub> 浸提,钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用 1.0 mol/L 醋酸铵浸提,火焰光度法<sup>[19]</sup>测定。

1.2.4 抗氧化酶活性测定 2022 年 1 月 17 日称取 0.5 g 不同处理黄瓜幼苗新鲜叶片,使用硫代巴比妥酸法测定 MDA 含量。使用氮蓝四唑(NBT)法测定鲜样黄瓜叶片 SOD 活性,采用愈创木酚法测定 POD 活性,采用紫外分光光度法<sup>[20]</sup>测定 CAT 活性。

### 1.3 数据分析

采用 Excel 2019、SPASS 20.0 软件对试验数据进行统计与分析。采用单因素 ANOVA 进行显著性分析( $\alpha = 0.05$ ),使用 Origin 2018 软件作图。所有数据重复 3 次。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对基质养分特性的影响

由表 3 可知,香菇多糖 700 倍液处理(X700)的基质 EC 值、有机质、速效氮、速效磷、全氮含量均显著高于 CK 处理。相较于 CK 处理,F1 处理的基质养分含量显著增加,且 F1 处理对基质 EC 值和速效钾含量增加效果优于 X700 处理。F1、X700、F1 - X700 处理的各基质养分指标基本显著高于 CK 处理,其中 F1 - X700 处理的有机质、速效氮、速效钾、速效磷含量均为最高,比 CK 处理显著高 32.2%、294.1%、67.9%、38.0%。

表 3 不同处理对基质养分的影响

处理	pH 值	EC 值 (mS/cm)	有机质含量 (g/kg)	速效氮含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	全氮含量 (g/kg)
CK	7.15 ± 0.03c	0.63 ± 0.01d	454.37 ± 3.15c	8.17 ± 0.62d	37.95 ± 0.99c	0.50 ± 0.006d	3.42 ± 0.04b
X700	7.36 ± 0.02a	0.88 ± 0.00c	550.63 ± 10.19ab	18.20 ± 1.46c	41.92 ± 1.72c	0.59 ± 0.003c	3.73 ± 0.06a
F1	7.36 ± 0.01a	1.32 ± 0.01a	539.08 ± 13.88b	19.83 ± 1.42c	52.82 ± 2.62b	0.61 ± 0.004bc	3.84 ± 0.08a
F1 - X700	7.24 ± 0.02b	1.11 ± 0.01b	600.69 ± 13.34a	32.20 ± 1.62a	63.73 ± 2.62a	0.69 ± 0.006a	3.84 ± 0.04a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。表 4 至表 6 同。

### 2.2 不同处理对黄瓜幼苗长势的影响

由表 4 可知,F1、F1 - X700 处理的茎粗相对生长率、叶绿素含量均显著高于 CK 处理。X700、F1、F1 - X700 处理之间的株高相对生长率无显著差异,但都显著高于 CK 处理。F1 - X700 处理的茎粗相对生长率、叶绿素含量、壮苗指数均为最高,分别比 CK 处理显著高 61.4%、67.5%、20.8%。

### 2.3 不同处理对黄瓜幼苗根系发育的影响

由表 5 可知,F1、X700、F1 - X700 处理的根系生长指标均显著高于 CK 处理。X700 处理的总根长、根表面积、根体积均显著高于 CK 处理。F1 - X700 处理的总根长、根表面积、根直径、根体积最高,比 CK 处理显著高 47.7%、140.2%、32.5%、171.3%。

表 4 不同处理对黄瓜幼苗长势的影响

处理	株高相对生长率 (cm/d)	茎粗相对生长率 (cm/d)	叶绿素含量 (SPAD 值)	壮苗指数
CK	0.034 ± 0.002b	0.044 ± 0.002c	24.70 ± 1.22c	0.053 ± 0.002c
X700	0.045 ± 0.001a	0.060 ± 0.001bc	30.67 ± 1.24b	0.055 ± 0.002bc
F1	0.046 ± 0.001a	0.065 ± 0.002ab	39.13 ± 0.49a	0.059 ± 0.002abc
F1 - X700	0.046 ± 0.001a	0.071 ± 0.002a	41.37 ± 1.17a	0.064 ± 0.001a

表 5 不同处理对黄瓜幼苗根系发育的影响

处理	总根长 (cm)	根表面积 (cm <sup>2</sup> )	根平均直径 (mm)	根体积 (cm <sup>3</sup> )
CK	321.59 ± 18.67c	67.16 ± 5.30d	0.83 ± 0.04d	3.80 ± 0.36d
X700	420.39 ± 15.61ab	132.84 ± 16.98abc	0.95 ± 0.05bcd	6.71 ± 0.12c
F1	435.11 ± 21.28ab	149.72 ± 3.88ab	1.09 ± 0.03ab	9.16 ± 0.16ab
F1 - X700	475.05 ± 24.84a	161.33 ± 3.33a	1.10 ± 0.04a	10.31 ± 0.40a

## 2.4 不同处理对黄瓜幼苗光合作用的影响

由表 6 可知, F1、X700、F1 - X700 处理净光合速率均显著高于 CK 处理。X700 处理的蒸腾速率、

净光合速率显著高于 CK 处理。F1 - X700 处理的蒸腾速率、净光合速率、气孔导度均为最高, 比 CK 处理显著高 60.0%、68.6%、28.6%。

表 6 不同处理对黄瓜幼苗光合作用的影响

处理	蒸腾速率 [mol/(m·s)]	净光合速率 [μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 (μmol/mol)	气孔导度 [mol/(m <sup>2</sup> ·s)]
CK	0.020 ± 0.001d	2.13 ± 0.17c	333.26 ± 13.14a	0.21 ± 0.01b
X700	0.025 ± 0.002bcd	2.80 ± 0.22b	357.40 ± 3.85a	0.24 ± 0.01ab
F1	0.027 ± 0.002abc	3.28 ± 0.16ab	360.19 ± 2.50a	0.25 ± 0.01ab
F1 - X700	0.032 ± 0.001a	3.59 ± 0.20a	360.03 ± 11.28a	0.27 ± 0.03a

## 2.5 低温胁迫下复配处理对黄瓜幼苗生物量的影响

由图 1 可知, 随温度的降低, 黄瓜幼苗地上部、地下部干鲜质量呈现减小的趋势。相同温度环境下, 各 CK 处理与 T 处理间的地上部、地下部干鲜质量无显著差异, 但 T2 处理的地下部干质量显著比

CK2 处理高 27.2%。总体来说, 温度变化对地下部鲜质量的影响最大。

## 2.6 低温胁迫下复配处理对黄瓜幼苗抗氧化酶活性的影响

由图 2、图 3 可知, 在不同温度环境中, 所有 T 处理的 SOD、POD、CAT 活性在各个时期大于或等于

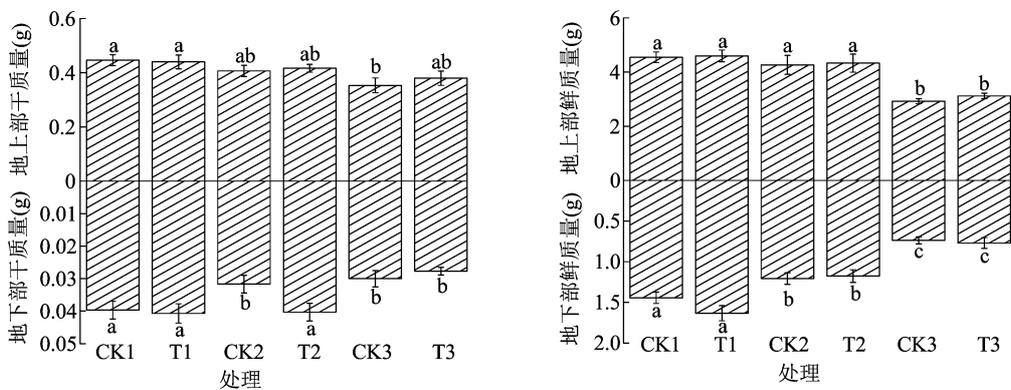


图 1 低温胁迫下复配处理对黄瓜幼苗生物量累积的影响

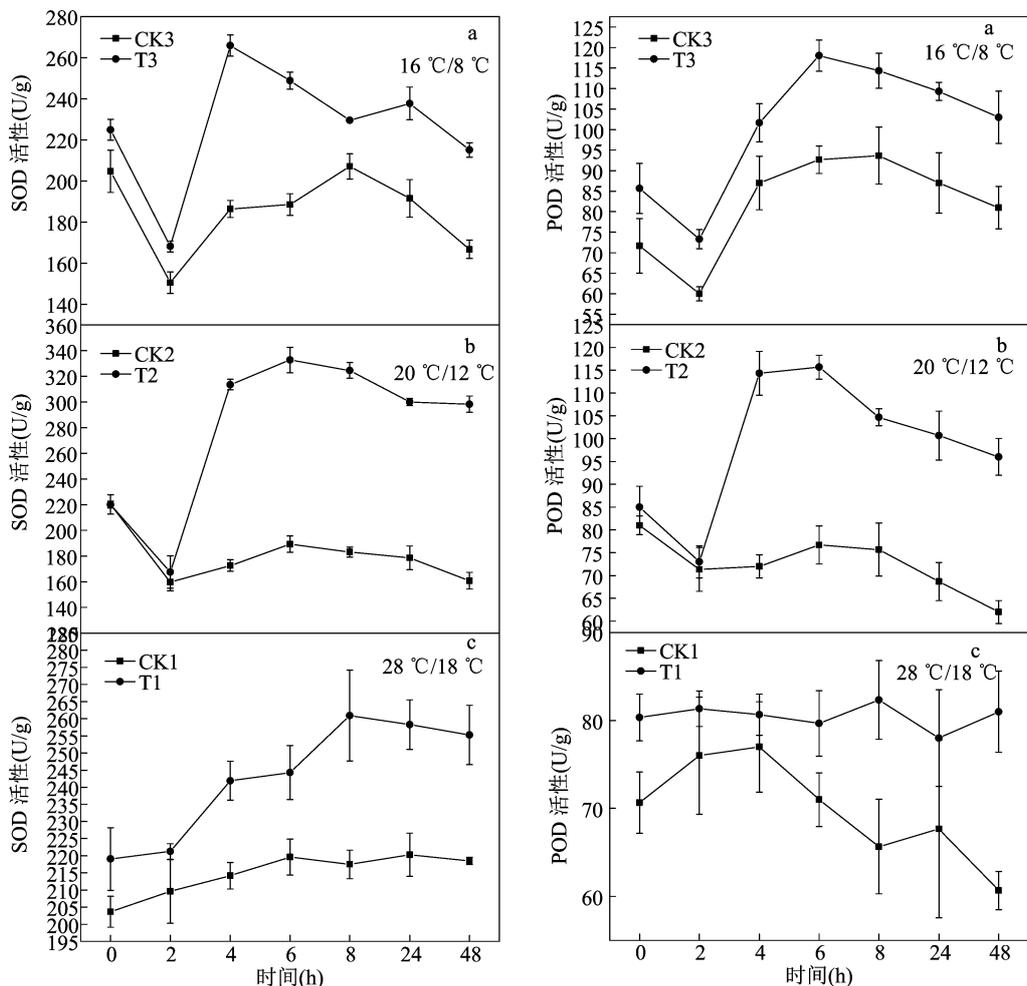


图2 低温胁迫下复配处理对黄瓜幼苗 SOD 和 POD 含量的影响

CK 处理,而 MDA 含量则与之相反。常温与低温处理下,各时期 T 处理与 CK 处理的酶活性、MDA 含量变化趋势相近,T 处理酶活性指标高于 CK 处理,丙二醛含量低于 CK 处理。亚低温处理下,T2 处理的 POD 与 SOD 活性均在 2 h 时下降,随后大幅增加,于 6 h 达到峰值,CK 处理的 POD、SOD 活性在低温胁迫处理下,先下降再小幅上升,后又降低。在处理 6 h,T2 处理的 POD、SOD 活性显著高于 CK 处理 38.3%、77.2%。T2 处理与 CK2 处理的 CAT 活性均在 2 h 下降,随后增加,但 T2 处理增长较快,且其峰值高于 CK2 处理;T2 处理的 MDA 含量在 2 h 达到峰值,随后先下降后小幅上涨,但 CK2 处理于 4 h 才达到峰值,随后下降。T2 处理的 MDA 累积量显著低于 CK2 处理。

### 3 讨论

农药化肥对农业生产的危害日益凸显,为了达到农业绿色可持续发展,研究发现一些生物源物质

可有效促进植株生长,且能提高植物的抗逆性。生物刺激素、芽孢杆菌、植物免疫诱抗剂均是当下有利于植物生长且对环境友好的创新研究方向<sup>[21]</sup>。3 类生物源物质对作物均有一定的抗逆促生作用。本试验探究生物刺激素、芽孢杆菌、植物免疫诱抗剂配施对基质养分提升、作物生长及黄瓜幼苗低温抗性的影响,对培育黄瓜壮苗及黄瓜幼苗安全越冬具有重要意义。

枯草芽孢杆菌对基质的改善作用与其本身具有的溶磷、固氮能力及 ACC 脱氨酶活性有关。枯草芽孢杆菌与壳寡糖复配后,显著提升基质的有机质含量和速效氮养分。壳寡糖作为一种安全绿色的外源促生物质在农业领域已广泛应用,多用于促进种子萌发、促进植物生长、改善果实品质等方面<sup>[22]</sup>。本试验施用 500 mg/L 壳寡糖和芽孢杆菌复合,黄瓜幼苗壮苗指数、叶绿素含量、茎粗相对生长率、地下部鲜质量、根系发育、净光合速率均显著提升。郭卫华等发现,黄瓜幼苗添加壳寡糖可显著增加株

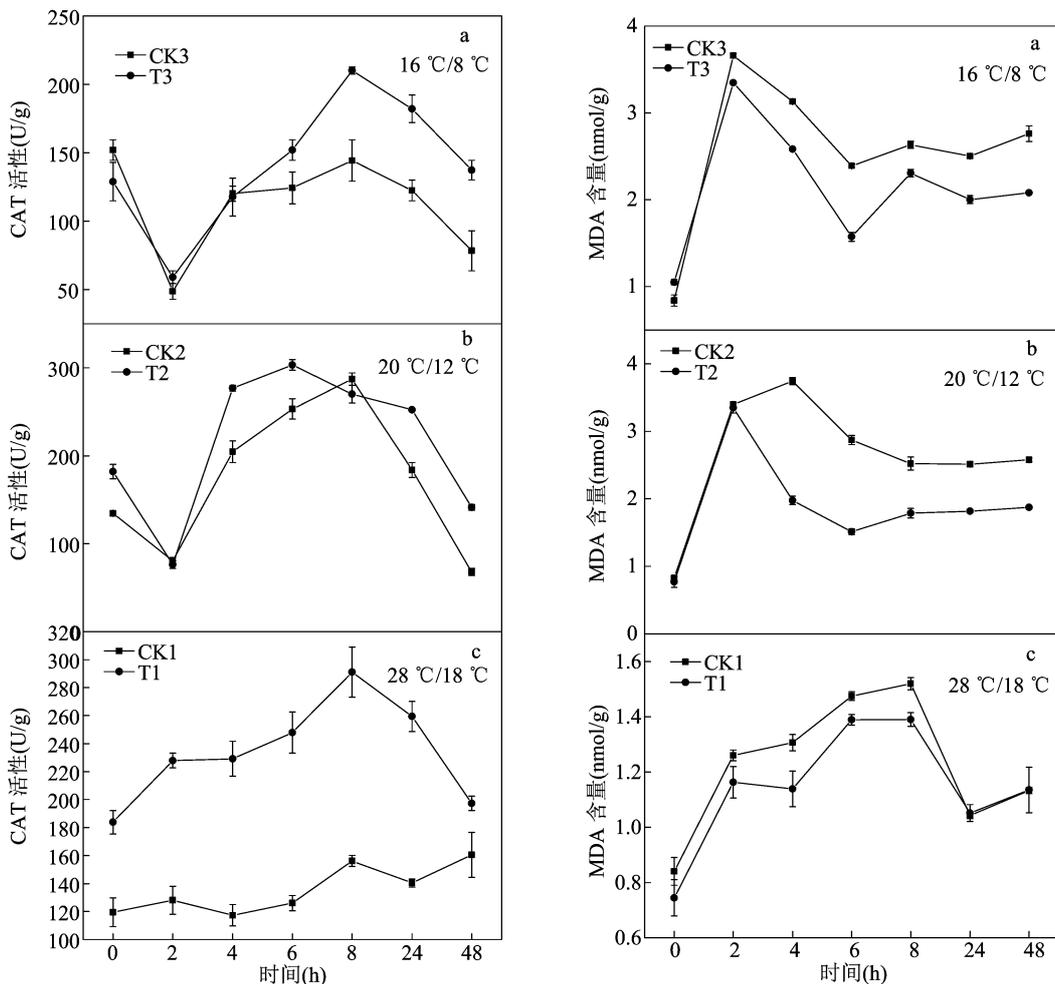


图3 低温胁迫下复配处理对黄瓜幼苗 CAT 和丙二醛含量的影响

高、叶面积、净光合速率,壳寡糖处理调控黄瓜叶片的气孔导度、胞间的  $\text{CO}_2$  浓度,提升光合作用速率,促进植株生长<sup>[23]</sup>。这可能与壳寡糖诱导的叶绿体直径增加及叶绿体中基因表达的调节有关<sup>[24]</sup>。香菇多糖是一种具有潜在激活植物防御响应活性的线性  $\beta$ -1,3-葡聚糖。本试验中,香菇多糖 700 倍液处理相对 CK 处理也可显著提高黄瓜幼苗根长、根表面积、根体积指标。500 mg/L 壳寡糖 +  $10^7$  CFU/mL 解淀粉芽孢杆菌 + 香菇多糖 700 倍液复配液处理的促进作用更为显著。

不适宜的环境条件对植物生长发育产生负面影响,低温胁迫是限制设施蔬菜生产的主要因素。前人研究发现,低温胁迫会明显抑制作物的生长,尤其限制株高、茎粗及生物量的积累,同时影响作物的叶绿素含量及光合作用<sup>[25]</sup>。本研究中的低温胁迫试验的结果与之一致。研究表明,壳寡糖处理均能提高低温胁迫下黄瓜幼苗的根系活力<sup>[26]</sup>。根际细菌能够诱导提高植物抗逆相关酶活性,提高作

物的抗逆能力<sup>[27]</sup>。壳寡糖、解淀粉芽孢杆菌、香菇多糖混配处理对黄瓜幼苗的促生抗逆效果显著优于 CK 处理,这可能与解淀粉芽孢杆菌和壳寡糖之间的相互作用有关。一方面是因为,解淀粉芽孢杆菌能分泌壳聚糖酶,形成生物活性更高的壳寡糖,增强壳寡糖的生物活性<sup>[28-29]</sup>;另一方面是因为,基质添加壳聚糖对根际细菌具有定向调控作用,可明显改善根际基质的细菌群落结构,促进优势细菌群的保留与增殖,有助于解淀粉芽孢杆菌 XY-13 定殖于黄瓜幼苗根系,促进基质养分活化与作物根系发育<sup>[30]</sup>。

低温胁迫下,复配处理的 POD、SOD 活性显著比 CK 处理高 38.3%、77.2%,丙二醛含量显著低于 CK 处理。抗氧化酶活性提高与丙二醛含量减少与复配处理中添加壳寡糖有关。陈芊如等研究发现,施用外源壳寡糖能够显著降低烟草幼苗叶片中活性氧(ROS)、丙二醛(MDA)含量,增强烟草叶片中抗氧化酶活性,同时还能够显著提高烟草幼苗叶片

中渗透调节物质的含量<sup>[31]</sup>。复配处理可增强植株清除活性氧自由基的能力,防止膜系统的氧化损伤和过氧化损伤,诱导黄瓜幼苗的抗寒性,帮助黄瓜幼苗度过低温逆境。

#### 4 结论

单一香菇多糖处理可提高基质养分并促进黄瓜幼苗生长,但 F1 处理对黄瓜幼苗的促进作用优于单一香菇多糖处理。香菇多糖 700 倍液与 F1 复配,以及 F1 处理均可显著提高基质养分、黄瓜幼苗长势、蒸腾速率、净光合速率、气孔导度、根系生长指标。综合来说,F1 - X700 处理对提高基质养分、促进黄瓜幼苗生长和光合特性增加效果最显著。香菇多糖、壳寡糖和芽孢杆菌复合在低温条件下可提升黄瓜幼苗的低温抗性,且在亚低温环境下的黄瓜幼苗抗寒作用效果优于低温处理。

#### 参考文献:

[1] 中商产业研究院. 2021 年中国蔬菜种植面积、产量及消费量分析 [EB/OL]. [2022 - 10 - 10]. <https://www.chyxx.com/industry/1106640.html>.

[2] 李秀龄,叶林,王永红,等. 我国发展绿色蔬菜的重要性及打造龙头企业的必要性[J]. 现代农业科技,2015(3):314-315.

[3] 杨鑫,樊吴静,李丽淑,等. 香菇多糖对马铃薯疮痂病抗性及其生理特性的影响[J]. 西南农业学报,2019,32(1):98-103.

[4] 李红卫,周国燕,郭慧青,等. 从香菇中浸提香菇多糖的方法对比研究[J]. 食品科学,2008,29(11):173-175.

[5] 张超,操海群,陈莉,等. 食用菌多糖对植物病毒抑制作用的初步研究[J]. 安徽农业大学学报,2005,32(1):15-18.

[6] 罗琰. 香菇多糖对烟草花叶病毒的抑制作用研究[J]. 现代农业科技,2013(24):147,163.

[7] 邵美琪,赵卫松,苏振贺,等. 盐胁迫下枯草芽孢杆菌 NCD-2 对番茄促生作用及对土壤微生物群落结构的影响[J]. 中国农业科学,2021,54(21):4573-4584.

[8] 董春娟,李亮,王玲玲,等. 壳聚糖对番茄穴盘苗根际细菌群落结构的改良作用[J]. 园艺学报,2017,44(8):1505-1516.

[9] Agbodjato N A, Noumavo P A, Adjahoun A, et al. Synergistic effects of plant growth promoting rhizobacteria and chitosan on *in vitro* seeds germination, greenhouse growth, and nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) [J]. *Biotechnology Research International*, 2016, 2016:7830182.

[10] 王娟娟. 肥效微生物筛选及对小麦促生效果的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2019.

[11] 王琪媛,王甲辰,叶磊,等. 含 ACC 脱氨酶的根际细菌提高植物抗盐性的研究进展[J]. 生物技术通报,2021,37(2):174-186.

[12] 杨晓云,陈志谊,蒋盼盼,等. 解淀粉芽孢杆菌 B1619 对番茄的

促生作用[J]. 中国生物防治学报,2016,32(3):349-356.

[13] 乔俊卿,刘郇洲,余翔,等. 集成生物防治和秸秆还田技术对设施番茄增产及土传病害防控效果研究[J]. 中国生物防治学报,2013,29(4):547-554.

[14] 张德珍,李婷婷,代惠洁,等. 解淀粉芽孢杆菌 JF-1 对黄瓜的防病促生作用[J]. 北方园艺,2020(10):16-21.

[15] Domanskaya O V, Bome N A, Iashnikov A V, et al. The multiple activities and the plant beneficial potential of *Bacillus* spp. derived from the permafrost of western Siberia [J]. *Agronomy*, 2021, 11(11):2347.

[16] 胡蒙爱. 生物刺激素、芽孢杆菌、植物诱抗剂复合提高黄瓜幼苗质量的研究[D]. 银川:宁夏大学,2019.

[17] 张雪艳,田蕾,高艳明,等. 生物有机肥对黄瓜幼苗生长、基质环境以及幼苗根系特征的影响[J]. 农业工程学报,2013,29(1):117-125.

[18] 王敏欣,王志锋,刘杰,等. 增效型整合肥对小麦生长及产量的影响[J]. 现代农业科技,2019(21):5-7,11.

[19] 伍廷辉,严凯. 六盘水猕猴桃主要病害调查及防治建议[J]. 安徽农学通报,2018,24(5):54-56.

[20] 王庆彬,刘治国,彭春娥,等. 宛氏拟青霉提取物诱导小白菜抗低温胁迫的作用机理[J]. 核农学报,2022,36(2):473-480.

[21] 张尚卿,孙祥瑞,潘阳,等. 新型生物刺激素在设施蔬菜冷害预防和缓解救治中的应用技术[J]. 中国蔬菜,2019(12):85-87.

[22] Malerba M, Cerana R. Chitosan effects on plant systems [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2016, 17(7):996.

[23] 郭卫华,赵小明,杜昱光. 壳寡糖对黄瓜种子萌发和幼苗生长及光合特性的影响[J]. 中国农学通报,2009,25(3):164-169.

[24] Limpanavech P, Chaiyasuta S, Vongprommek R, et al. Chitosan effects on floral production, gene expression, and anatomical changes in the *Dendrobium* orchid [J]. *Scientia Horticulturae*, 2008, 116(1):65-72.

[25] 刁倩楠,蒋雪君,陈幼源,等. 外源水杨酸预处理对低温胁迫下甜瓜幼苗生长及其抗逆生理特性的影响[J]. 西北植物学报,2018,38(11):2072-2080.

[26] 狄文伟. 不同分子量壳寡糖对黄瓜穴盘苗抗寒能力的影响[J]. 新农业,2016(7):7-9.

[27] Yasmeeen T, Ahmad A, Arif M S, et al. Biofilm forming rhizobacteria enhance growth and salt tolerance in sunflower plants by stimulating antioxidant enzymes activity [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2020, 156:242-256.

[28] 程功,焦思明,冯翠,等. 毕赤酵母表达解淀粉芽孢杆菌壳聚糖酶及其水解制备可控结构壳寡糖[J]. 食品科学,2019,40(8):73-78.

[29] 陈芊如,丁蓬勃,胡希好,等. 外源壳寡糖对低温胁迫条件下烟草幼苗的保护作用[J]. 江苏农业科学,2022,50(1):80-85.

[30] 赵肖琼,梁泰帅,张恒慧. 壳寡糖对 NaCl 胁迫下盆栽小白菜生长和品质的影响[J]. 北方园艺,2020(15):32-37.

[31] 陈芊如,丁蓬勃,胡希好,等. 外源壳寡糖对低温胁迫条件下烟草幼苗的保护作用[J]. 江苏农业科学,2022,50(1):80-85.