

李松伟,原明惠,杨晨宇,等. 2种植物生长调节剂对上海青萌发生长的影响[J]. 山西农业科学, 2026, 54(2): 105-111.

LI S W, YUAN M H, YANG C Y, et al. Effects of two plant growth regulators on the emergence and growth of Chinese cabbage[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2026, 54(2): 105-111.

doi:10.26942/j.cnki.issn.1002-2481.2026.02.13

2种植物生长调节剂对上海青萌发生长的影响

李松伟,原明惠,杨晨宇,南甲戌,张东辉,章超,李静静,陈海娥,王洪亮

(河南科技学院 植物保护与环境学院(蜜蜂学院),河南 新乡 453000)

摘要:为探讨不同植物生长调节剂对上海青生长发育的影响,试验采用培养皿培养、盆栽和水培3种方法,设置不同质量浓度(5、10、15 mg/L)的植物生长调节剂N-乙酰硫代脯氨酸和邻甲氧基苯酚钠单一施用对上海青种子萌发和生长发育的影响,以期为上海青育苗和大田播种提供参考依据。结果表明,与聚谷氨酸对照相比,N-乙酰硫代脯氨酸(5 mg/L)和邻甲氧基苯酚钠(10~15 mg/L)处理均能有效促进上海青种子萌发和幼苗生长。其中,N-乙酰硫代脯氨酸在提升发芽率和促进根系发育方面表现最优;而邻甲氧基苯酚钠则在10 mg/L处理下株高最高,在15 mg/L处理下叶片最厚,二者均对酶活性有促进作用,且部分指标优于对照。综合比较得出,5 mg/L N-乙酰硫代脯氨酸浸种、幼苗期喷施10 mg/L邻甲氧基苯酚钠是较适宜上海青种子萌发和培育幼苗的方式。

关键词:上海青;植物生长调节剂;N-乙酰硫代脯氨酸;邻甲氧基苯酚钠;生长发育

中图分类号:S482.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2481(2026)02-0105-07

Effects of Two Plant Growth Regulators on the Emergence and Growth of Chinese Cabbage

LI Songwei, YUAN Minghui, YANG Chenyu, NAN Jiayu, ZHANG Donghui,

ZHANG Chao, LI Jingjing, CHEN Haie, WANG Hongliang

(School of Plant Protection and Environment(School of Bee Science), Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453000, China)

Abstract: To investigate the effects of different plant growth regulators on the growth and development of Chinese cabbage, in this study, three methods—petri dish, pot, and hydroponic culture—were used to study the germination and growth of Chinese cabbage seeds and seedlings. The effects of single application of the plant growth regulators N-acetyl-thiazolidine-4-carboxylic acid and sodium o-methoxyphenol at different concentrations(5, 10, and 15 mg/L) on seed germination and growth and development, aiming to provide a reference for Chinese cabbage nursery cultivation and field sowing. The results showed that, compared with the control (γ -PGA), treatments with N-acetyl-thiazolidine-4-carboxylic acid (5 mg/L) and sodium o-methoxyphenol(10-15 mg/L) effectively promoted the seed germination and seedling growth of Chinese cabbage. Among these, N-acetyl-thiazolidine-4-carboxylic acid performed best in improving germination rate and promoting root development. In contrast, sodium o-methoxyphenol resulted in the highest plant height at a concentration of 10 mg/L and the thickest leaves at 15 mg/L. Both treatments positively influenced enzyme activity, with some indicators outperforming the control group. A comprehensive comparison suggested that seed soaking with 5 mg/L of N-acetyl-thiazolidine-4-carboxylic acid and foliar spraying with 10 mg/L of sodium o-methoxyphenol during the seedling stage was an appropriate method for seed germination and seedling culture of Chinese cabbage.

Keywords: Chinese cabbage; plant growth regulators; N-acetyl-thiazolidine-4-carboxylic acid; sodium o-methoxyphenol;

收稿日期:2025-04-15

基金项目:河南省重点研发专项(241111111700);河南省科技攻关项目(252102111106,242102110206)

作者简介:李松伟,副教授,主要从事植物生物刺激剂、微生物菌剂肥的开发与利用研究,E-mail:lear9999@163.com

通信作者:王洪亮,教授,博士,主要从事昆虫生态及害虫综合治理的教学和科研,E-mail:wanghlzb@163.com

growth and development

上海青 (*Brassica chinensis* L.) 为十字花科芸薹属 1 年或 2 年生草本植物。因其作为一种重要的叶菜类蔬菜,在我国上海,甚至在世界范围内被种植和消费。近年来,随着极端天气事件频发以及土壤退化等不利因素影响,上海青的生产效率与品质水平直接影响市场供应能力和农业经济效益的提升^[1-3]。此外,受疫情和城市化影响,上海青的种植面积有所减少,进一步加剧了市场供应的压力^[4]。上海青的发育过程受到温度、湿度、土壤肥力等外部因素以及基因表达、激素调控等内部因素的共同调控。因此,在明确其内外协同调控机制的基础上,优化种子萌发阶段的生理生态条件成为实现提质增效的核心技术路径。在农业生产实践中,提高上海青种子的萌发率和生长质量是增加其产量、改善其品质的关键环节^[5]。

近年来,植物生长调节剂(PGRs)作为一类能够显著影响植物生长发育的化学物质,其应用和研究日益受到重视^[6-7]。适宜浓度的植物生长调节剂能促进种子萌发、幼苗生长。徐祥鑫等^[8]研究表明,矮壮素、比久、烯效唑、多效唑和膨大素对延胡索生长发育、产量及品质有积极的影响。刘佳琪等^[9]研究表明,北美冬青果实膨大期和转色期分别喷施 2 次 5% 烯效唑 2.00 g/L,果实品质效果最优。程辉等^[10]连续多年试验表明,施用植物生长调节剂碧护能显著促进油菜生长发育。苗宇等^[11]研究发现,施用不同浓度的植物激素对当地 S-47 番茄种子的萌发和根系的伸长产生不同的影响。田梦妮^[12]研究了绿色植物生长调节剂(GGR)对上海青的影响,结果发现,20 mg/L 的 GGR 浸种及 10 mg/L 的 GGR 叶面喷施 2 种处理方式均对上海青的生长具有一定的促进作用。林家欣等^[13]研究表明,施用多胺酶、多酶酸钙、复硝酚钠、增产素(DC)及红蜜醇 5 种生物刺激素有利于上海青增加产量、提升品质。王燕等^[14]研究了不同浓度高原夏菜尾菜沼液对上海青生长性状和品质的影响,结果表明,T5(沼液:水=1:15)处理效果最佳,可以改善上海青品质。目前研究主要集中在植物生长调节剂对上海青产量和品质的提升,但对其种子和幼苗生长的研究较少。

目前,邻甲氧基苯酚钠和 N-乙酰硫代脯氨酸

这 2 种调节剂尚未在上海青栽培中应用,其效果尚待探索; γ -聚谷氨酸(γ -PGA)因其已在农业生产中广泛验证具有显著效果,故被选为本研究的基准参照。本研究选取邻甲氧基苯酚钠和 N-乙酰硫代脯氨酸植物生长调节剂,对上海青种子进行浸种处理,并对幼苗进行叶面喷施,系统研究不同植物生长调节剂对上海青种子萌发和幼苗生长发育的影响,以期上海青育苗和大田播种提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料及试剂

供试上海青种子购自河南省新乡市农资店,由于该种子未经过拌种处理,符合试验对种子纯度和自然状态的要求。

N-乙酰硫代脯氨酸(N-乙酰硫代脯氨酸 $\geq 98\%$)和邻甲氧基苯酚钠(邻甲氧基苯酚钠 $\geq 98\%$)均由中原化工研究院有限公司提供。 γ -聚谷氨酸购自山东恒科生物科技有限公司。

1.2 试验方法

试验于 2024 年 2—5 月在河南省新乡市河南科技学院植物保护与环境学院药肥协同试验基地内进行。以 ddH₂O 为空白对照, γ -聚谷氨酸(γ -PGA) 10 mg/L 处理为产品对照^[15];N-乙酰硫代脯氨酸和邻甲氧基苯酚钠分别设 5、10、15 mg/L 等 3 个质量浓度梯度。

1.2.1 培养皿试验 选取健康饱满的上海青种子,在 15% 次氯酸钠溶液中浸泡 10 min 进行消毒,随后用蒸馏水冲洗 5 次。用无菌 ddH₂O 将 N-乙酰硫代脯氨酸和邻甲氧基苯酚钠分别配制成 5、10、15 mg/L 等 3 个浓度梯度的处理液,同时配制 10 mg/L 的 γ -PGA 溶液作为产品对照,以 ddH₂O 作为空白对照。并在培养皿中垫入滤纸,每皿均匀摆放 100 粒消毒后的种子,并加入等量对应的溶液,使滤纸完全湿润。每个处理设 3 次重复。将所有培养皿置于 RX-500D3 型光照培养箱中,在 22 °C/24 °C、12 h 光照/12 h 黑暗条件下培养 7 d。

1.2.2 盆栽试验 上海青种子催芽后播种于塑料盆(直径 20 cm,每盆 5 株)中,1 个塑料盆为一次重复,每个处理 3 次重复。在光照培养箱中培养,

待幼苗长势一致时(叶完全展开,真叶2片以上),喷施不同药剂处理。

1.2.3 水培试验 为更直观地观察和监控根系的生长发育状况,采用水培试验,以便测定根系性状。将处理好的种子包被于无菌水浸润的无菌纸内,放置于培养皿内于恒温22℃/24℃培养箱培养,进行催芽处理。待芽长长至5 mm左右,将发芽种子转移至准备好的水培仪器中,每个仪器中均匀放置20粒。每天定时向水培仪器中加入相对应药剂浓度5 mL,以刚好浸过纱布为基准。幼苗长至三叶一心时,测定其根系生长发育情况。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 生长指标的测定 发芽试验组,每天记录种子发芽数(以露白为准),3 d后根据公式计算上海青发芽势,7 d计算发芽率指标。盆栽和水培试验组,于处理6 d后,将上海青幼苗的根部和地上部分开:地上部用游标卡尺以及便携式叶绿素仪(Yaxin-1260,北京雅欣理仪科技有限公司)和叶片厚度测定仪(川陆G型指针,上海川陆)测定植株的株高、叶绿素和叶片厚度;根系部分用根系扫描仪(LA-S万深植物图像扫描仪,杭州万深检测科技有限公司)测定植株的根系性状。

发芽势=规定天数内正常发芽的种子数/供试种子总数×100% (1)

发芽率=试验时间内发芽种子数/供试种子数×100% (2)

1.3.2 抗氧化酶活性的测定 在处理6 d取样,选取长势一致的幼苗,并将叶片剪下,2~8℃下加入PBS缓冲液(pH=7.4)在液氮中充分研磨成匀浆,离心10 min(4℃×12 000 r/min)取上清液,使用由苏州格锐思生物科技有限公司提供的过氧化物酶(Peroxidase)检测试剂盒检测,在显色步骤终止后使用酶标仪(多功能酶标仪,瑞士帝肯公司Tecan)于470 nm波长下测定各孔吸光度。设置3次重复。

使用由苏州格锐思生物科技有限公司提供的超氧化物歧化酶(Catalase)试剂盒检测。使用酶标仪于510 nm波长下测定各孔吸光度。设置3次重复。

使用由苏州格锐思生物科技有限公司提供的丙二醛(Malondialdehyde)试剂盒检测。使用分光光度计于450 nm波长下测定各孔吸光度。设置3次

重复。

1.4 数据分析

试验数据均使用Excel 2019和SPSS 22.0进行处理差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 2种植物生长调节剂浸种对种子萌发的影响

从表1可以看出,不同质量浓度N-乙酰硫代脯氨酸浸种处理对上海青种子的发芽势和发芽率具有显著影响。N-乙酰硫代脯氨酸5 mg/L处理的上海青种子发芽势最高,为96.00%;15 mg/L处理的上海青种子发芽势低于 γ -PGA,但高于ddH₂O,为85.33%;各处理的发芽势大小依次为5 mg/L>10 mg/L> γ -PGA>15 mg/L>ddH₂O。其中,N-乙酰硫代脯氨酸5 mg/L浸种处理的上海青种子发芽势显著高于ddH₂O($P<0.05$)。

表1 N-乙酰硫代脯氨酸浸种对上海青种子萌发的影响

Tab.1 Effects of N-acetyl-thiazolidine-4-carboxylic acid seed soaking on the germination of Chinese

cabbage seeds			%
处理 Treatment	发芽势 Germination vigor	发芽率 Germination rate	
ddH ₂ O	84.66±2.18b	90.33±1.20b	
γ -PGA	92.66±0.88ab	96.33±1.00a	
5 mg/L	96.00±2.02a	98.00±0.33a	
10 mg/L	93.33±0.88ab	97.00±1.00a	
15 mg/L	85.33±5.66b	96.33±1.20a	

注:不同小写字母表示同一指标不同处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences among the different treatments for the same indicator($P<0.05$). The same as below.

N-乙酰硫代脯氨酸5 mg/L处理的上海青种子发芽率最高,为98.00%;15 mg/L处理的上海青种子发芽率高于ddH₂O,为96.33%;各处理的发芽率大小依次为5 mg/L>10 mg/L> γ -PGA=15 mg/L>ddH₂O。其中,N-乙酰硫代脯氨酸5 mg/L浸种处理的上海青种子发芽率显著高于ddH₂O。

由表2可知,邻甲氧基苯酚钠5、15 mg/L处理的上海青种子发芽势最高,均为92.00%;10 mg/L处理的上海青种子发芽势低于 γ -PGA,但高于ddH₂O,为89.66%;各处理的发芽势大小依次为

5 mg/L=15 mg/L> γ -PGA>10 mg/L>ddH₂O。其中,邻甲氧基苯酚钠 5、15 mg/L 浸种处理的上海青种子发芽势显著高于 ddH₂O ($P<0.05$)。

邻甲氧基苯酚钠 10 mg/L 处理的上海青种子发芽率最高,为 97.33%;各处理间发芽率大小顺序为 γ -PGA>10 mg/L>5 mg/L>15 mg/L=ddH₂O。其中,邻甲氧基苯酚钠 5 mg/L 浸种处理的上海青种子发芽率显著高于 ddH₂O ($P<0.05$)。

表 2 邻甲氧基苯酚钠浸种对上海青种子萌发的影响
Tab.2 Effects of sodium o-methoxyphenol seed soaking on the germination of Chinese cabbage seeds %

处理 Treatment	发芽势 Germination vigor	发芽率 Germination rate
ddH ₂ O	84.66±2.18b	90.33±1.20c
γ -PGA	92.66±0.88a	98.00±0.88a
5 mg/L	92.00±3.75a	96.33±0.33ab
10 mg/L	89.66±5.13ab	97.33±0.88a
15 mg/L	92.00±1.20a	90.33±0.33c

2.2 2种植物生长调节剂对上海青幼苗的影响

从表 3 可以看出,不同质量浓度 N-乙酰硫代脯氨酸处理对上海青幼苗的株高、叶绿素含量和叶片厚度具有显著影响。

表 3 N-乙酰硫代脯氨酸对上海青幼苗的影响
Tab.3 Effects of N-acetyl-thiazolidine-4-carboxylic acid on Chinese cabbage seedlings

处理 Treatment	株高/cm Plant height	叶绿素含量(SPAD) Chlorophyll content	叶片厚度/mm Leaf thickness
ddH ₂ O	3.16±0.14c	23.03±1.23c	0.44±0.01c
γ -PGA	4.60±0.05a	36.33±0.69a	0.49±0.02a
5 mg/L	4.50±0.13a	33.98±1.22a	0.47±0.01b
10 mg/L	4.44±0.21a	29.05±1.22b	0.47±0.00b
15 mg/L	3.76±0.25b	26.88±2.47bc	0.48±0.00ab

ddH₂O 处理后的上海青幼苗株高最低,为 3.16 cm;N-乙酰硫代脯氨酸 5、10、15 mg/L 处理的上海青幼苗株高显著高于 ddH₂O ($P<0.05$)。各处理的株高大小依次为 γ -PGA>5 mg/L>10 mg/L>15 mg/L>ddH₂O。

N-乙酰硫代脯氨酸 5、10 mg/L 处理的上海青幼苗叶绿素含量显著高于 ddH₂O ($P<0.05$)。各处理的叶绿素含量大小依次为 γ -PGA>5 mg/L>10 mg/L>15 mg/L>ddH₂O。其中,5 mg/L N-

乙酰硫代脯氨酸处理的叶绿素含量与 γ -PGA 间差异不显著。

N-乙酰硫代脯氨酸 5、10、15 mg/L 处理的上海青幼苗叶片厚度显著高于 ddH₂O ($P<0.05$)。各处理的叶片厚度大小依次为 γ -PGA>15 mg/L>10 mg/L=5 mg/L>ddH₂O。

从表 4 可以看出,邻甲氧基苯酚钠处理后对上海青幼苗生长发育有一定的积极影响。

表 4 邻甲氧基苯酚钠对上海青幼苗的影响
Tab.4 Effects of sodium o-methoxyphenol on Chinese cabbage seedlings

处理 Treatment	株高/cm Plant height	叶绿素含量(SPAD) Chlorophyll content	叶片厚度/mm Leaf thickness
ddH ₂ O	3.16±0.14c	23.03±1.23c	0.44±0.01c
γ -PGA	4.60±0.05b	36.33±0.69a	0.49±0.02b
5 mg/L	5.03±0.20a	24.86±1.15bc	0.58±0.01a
10 mg/L	5.16±0.23a	27.66±0.26b	0.56±0.01a
15 mg/L	5.00±0.28a	25.40±0.57b	0.57±0.036a

ddH₂O 处理后的上海青幼苗株高最低,为 3.16 cm;邻甲氧基苯酚钠处理的上海青幼苗株高均显著高于 ddH₂O 和 γ -PGA ($P<0.05$)。各处理的株高大小依次为 10 mg/L>5 mg/L>15 mg/L> γ -PGA>ddH₂O。其中,邻甲氧基苯酚钠 10 mg/L 处理的作用效果最好。

邻甲氧基苯酚钠 10、15 mg/L 处理的上海青幼苗叶绿素含量显著高于 ddH₂O ($P<0.05$)。各处理的叶绿素含量大小依次为 γ -PGA>10 mg/L>15 mg/L>5 mg/L>ddH₂O。其中,5 mg/L 邻甲氧基苯酚钠处理的上海青幼苗叶绿素含量与 ddH₂O 间差异不显著。

邻甲氧基苯酚钠 5、10、15 mg/L 处理的上海青幼苗叶片厚度显著高于 ddH₂O 和 γ -PGA ($P<0.05$)。各处理的叶片厚度从大到小依次为 5 mg/L>15 mg/L>10 mg/L> γ -PGA>ddH₂O。其中,邻甲氧基苯酚钠 5 mg/L 处理的作用效果最好。

2.3 2种植物生长调节剂对幼苗根系性状的影响

由表 5 可知,不同质量浓度 N-乙酰硫代脯氨酸处理对上海青幼苗根系的根长、根表面积和根体积具有显著影响。

N-乙酰硫代脯氨酸 5 mg/L 处理后的上海青幼苗根长最长,为 17.40 cm;5、10 mg/L 处理的上海青幼苗根长显著高于 ddH₂O 和 γ -PGA ($P<0.05$)。

各处理的根长大小依次为 5 mg/L>10 mg/L>15 mg/L> γ -PGA>ddH₂O。其中,15 mg/L处理的上海青幼苗根长虽与 ddH₂O 和 γ -PGA 间差异不显著,但均高于2个对照。

表5 N-乙酰硫代脯氨酸对上海青根系发育的影响
Tab.5 Effects of N-acetyl-thiazolidine-4-carboxylic acid on the development of Chinese cabbage roots

处理 Treatment	根长/cm Root length	根表面积/cm ² Root surface area	根体积/cm ³ Root volume
ddH ₂ O	9.67±0.24c	0.88±0.11c	0.01±0.00c
γ -PGA	10.15±1.130c	1.25±0.06b	0.01±0.00b
5 mg/L	17.40±1.05a	1.55±0.04a	0.02±0.00a
10 mg/L	15.39±1.82ab	1.28±0.03b	0.02±0.00a
15 mg/L	12.44±0.98bc	1.20±0.09b	0.02±0.00a

从表5可以看出,N-乙酰硫代脯氨酸5 mg/L处理的上海青幼苗根表面积显著高于ddH₂O和 γ -PGA($P<0.05$)。各处理的根表面积大小依次为5 mg/L>10 mg/L> γ -PGA>15 mg/L>ddH₂O。其中,N-乙酰硫代脯氨酸10 mg/L处理的上海青幼苗根表面积虽与 γ -PGA间差异不显著,但高于ddH₂O。

N-乙酰硫代脯氨酸5、10、15 mg/L处理的上海青幼苗根体积显著高于ddH₂O($P<0.05$)。各处理的根体积大小依次为15 mg/L=5 mg/L=10 mg/L> γ -PGA=ddH₂O。

从表6可以看出,不同质量浓度邻甲氧基苯酚钠处理对上海青幼苗根系的根长、根表面积和根体积具有显著影响。

表6 邻甲氧基苯酚钠对上海青根系发育的影响

Tab.6 Effects of sodium o-methoxyphenol on the development of Chinese cabbage roots

处理 Treatment	根长/cm Root length	根表面积/cm ² Root surface area	根体积/cm ³ Root volume
ddH ₂ O	9.67±0.24c	0.88±0.11c	0.01±0.00c
γ -PGA	10.15±1.13ab	1.25±0.06a	0.01±0.00b
5 mg/L	11.27±0.62a	1.19±0.03b	0.01±0.00ab
10 mg/L	8.60±0.32b	1.25±0.12a	0.02±0.00a
15 mg/L	9.16±0.50ab	1.11±0.08bc	0.02±0.00a

邻甲氧基苯酚钠5 mg/L处理后的上海青幼苗根长最长,为11.27 cm;且显著高于ddH₂O($P<0.05$);10、15 mg/L处理与 γ -PGA间差异不显著。

各处理的根长大小依次为5 mg/L> γ -PGA>ddH₂O>15 mg/L>10 mg/L。

邻甲氧基苯酚钠10 mg/L处理的上海青幼苗根表面积显著高于ddH₂O($P<0.05$)。各处理的根表面积大小依次为 γ -PGA=10 mg/L>5 mg/L>15 mg/L>ddH₂O。其中,10 mg/L处理的上海青幼苗根表面积最大,为1.25 cm²。

邻甲氧基苯酚钠10、15 mg/L处理的上海青幼苗根体积显著高于ddH₂O($P<0.05$);5 mg/L处理的根体积高于ddH₂O和 γ -PGA,且差异显著。各处理的根体积大小依次为15 mg/L=10 mg/L>5 mg/L= γ -PGA=ddH₂O。其中,邻甲氧基苯酚钠15 mg/L处理的上海青幼苗根体积最大,为0.02 cm³。

2.4 2种植物生长调节剂对幼苗酶活的影响

N-乙酰硫代脯氨酸对上海青幼苗叶片POD活性影响的试验结果如表7所示。结果表明,N-乙酰硫代脯氨酸5、10 mg/L处理的上海青叶片POD活性显著高于ddH₂O($P<0.05$);15 mg/L处理与 γ -PGA间差异不显著,但高于ddH₂O。各处理的POD活性大小依次为5 mg/L=10 mg/L> γ -PGA>15 mg/L>ddH₂O。其中,N-乙酰硫代脯氨酸5 mg/L处理的上海青幼苗叶片POD活性最高,为24.66 min/g。

表7 N-乙酰硫代脯氨酸对上海青叶片酶活的影响

Tab.7 Effects of N-acetyl-thiazolidine-4-carboxylic acid on enzyme activity of Chinese cabbage leaves

处理 Treatment	POD/(min/g)	CAT/(min/g)	MDA/(nmol/g)
ddH ₂ O	19.20±2.32b	65.10±3.82b	19.05±1.19a
γ -PGA	22.26±1.81ab	80.87±4.21a	15.52±0.96ab
5 mg/L	24.66±1.20a	82.33±4.45a	12.53±0.90b
10 mg/L	24.66±1.10a	80.87±1.24a	16.26±1.04ab
15 mg/L	21.66±0.88ab	77.19±5.27ab	14.73±1.96b

N-乙酰硫代脯氨酸5 mg/L处理的上海青叶片CAT活性显著高于ddH₂O($P<0.05$);10 mg/L处理与 γ -PGA间差异不显著,但高于ddH₂O。各处理的CAT活性大小依次为5 mg/L>10 mg/L= γ -PGA>15 mg/L>ddH₂O。其中,N-乙酰硫代脯氨酸5 mg/L处理的上海青幼苗叶片CAT活性最高,为82.33 min/g。

与ddH₂O和 γ -PGA相比,N-乙酰硫代脯氨酸

5、15 mg/L 处理能显著降低上海青叶片 MDA 含量 ($P < 0.05$)。

从表 8 可以看出, 邻甲氧基苯酚钠 10、15 mg/L 处理后的上海青叶片 POD 活性高于 ddH₂O 和 γ -PGA。各处理的 POD 活性大小依次为 10 mg/L > 15 mg/L > γ -PGA > 5 mg/L > ddH₂O。其中, 邻甲氧基苯酚钠 10 mg/L 处理的上海青幼苗叶片 POD 活性最高, 为 24.58 min/g。

表 8 邻甲氧基苯酚钠对上海青叶片酶活的影响

Tab.8 Effects of sodium o-methoxyphenol on enzyme activity of Chinese cabbage leaves

处理 Treatment	POD/(min/g)	CAT/(min/g)	MDA/(nmol/g)
ddH ₂ O	19.20±2.32b	65.10±3.82b	19.05±1.19a
γ -PGA	22.27±1.81ab	80.87±4.22a	15.52±0.96b
5 mg/L	20.25±1.06ab	76.14±4.76ab	18.15±1.37a
10 mg/L	24.58±0.92a	80.83±3.72a	16.99±1.72b
15 mg/L	24.12±0.75ab	83.17±2.68a	15.09±1.07b

邻甲氧基苯酚钠 5、10、15 mg/L 处理的上海青叶片 CAT 活性显著高于 ddH₂O ($P < 0.05$)。各处理的 CAT 活性大小依次为 15 mg/L > γ -PGA > 10 mg/L > 5 mg/L > ddH₂O。其中, 邻甲氧基苯酚钠 15 mg/L 处理的上海青幼苗叶片 CAT 活性最高, 为 83.17 min/g。

与 ddH₂O 相比, 邻甲氧基苯酚钠 10、15 mg/L 处理能显著降低上海青叶片 MDA 含量 ($P < 0.05$)。

3 结论与讨论

本研究表明, 上海青种子发芽率和发芽势均随 N-乙酰硫代脯氨酸质量浓度升高而降低, 这与高起等^[16]在采用多种植物生长调节剂浸泡牛至种子上的研究结果有一定相似性, 而不适宜的外源物质对植物种子萌发具有抑制作用^[17]。上海青种子采用邻甲氧基苯酚钠处理后, 其发芽率和发芽势影响规律不明显。邻甲氧基苯酚钠处理后不同质量浓度发芽率与 γ -PGA 对照无显著差异, 但与 ddH₂O 对照存在显著差异。

本研究表明, 喷施 N-乙酰硫代脯氨酸和邻甲氧基苯酚钠后均显著促进上海青幼苗的生长发育。其中, N-乙酰硫代脯氨酸 5 mg/L 处理对上海青株高和叶绿素含量有积极的影响, 15 mg/L 处理后促进上海青叶片厚度增加; 邻甲氧基苯酚钠

10 mg/L 处理对上海青株高和叶绿素含量有积极的影响, 5 mg/L 处理下上海青叶片厚度有显著差异。而对于上海青根系发育, 低质量浓度的 N-乙酰硫代脯氨酸作用效果明显, 但在根系体积上作用效果小; 邻甲氧基苯酚钠处理后根系发育虽规律不明显, 但 5 mg/L 能显著促进根系生长, 10 mg/L 能显著促进根表面积发育, 15 mg/L 能显著促进根体积发育。

由此可见, N-乙酰硫代脯氨酸和邻甲氧基苯酚钠在上海青种子萌发和幼苗生长过程中起着关键作用。使用 5 mg/L N-乙酰硫代脯氨酸浸种上海青种子可以显著提高其萌发率, 增强 POD、CAT、MDA 抗氧化酶活性。10 mg/L 邻甲氧基苯酚钠对上海青更有利于幼苗生长发育。

综上所述, N-乙酰硫代脯氨酸和邻甲氧基苯酚钠有利于上海青种子萌发和幼苗生长发育。然而培养箱恒定温度与田间实际条件差异较大, 还需要验证其田间使用效果。且对于这 2 种植物生长调节剂的作用方式和机理还不明确, 需进一步研究。

参考文献:

- [1] 吴霞. 极端天气对我国粮食安全的影响和对策分析[J]. 黑龙江粮食, 2023(11): 48-50.
WU X. Influence of extreme weather on China's food security and its countermeasures[J]. Heilongjiang Grain, 2023(11): 48-50.
- [2] 王妍, 邹磊, 李建兵, 等. 我国主要粮食产区土壤有效态钙镁硫的变化特征及其对作物产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2024(3): 209-217.
WANG Y, WU L, LI J B, et al. Soil available calcium, magnesium and sulfur and their effects on crop yields across major grain production areas of China[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2024(3): 209-217.
- [3] 顾绍耕. 丰富市场供应 提高经济效益: 浅论上海郊区发展域外农业的目的和意义[J]. 上海农村经济, 2015(7): 15-16.
GU S G. Enriching market supply and improving economic benefits: On the purpose and significance of developing foreign agriculture in Shanghai suburbs[J]. Shanghai Rural Economics, 2015(7): 15-16.
- [4] 陶涛. 植物生长调节剂二氢吡吩铁对水稻和小麦大田农艺性状和产量的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2022.
TAO T. Effects of plant growth regulator ferric chlorin on agronomic traits and yield in rice and wheat fields [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2022.
- [5] RIFNA E J, RATISH RAMANAN K, MAHENDRAN R. Emerging technology applications for improving seed germination[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 86: 95-108.
- [6] WU X, GONG D H, ZHAO K J, et al. Research and develop-

- ment trends in plant growth regulators[J]. *Advanced Agrochem*, 2024, 3(1):99-106.
- [7] 郭豪,王浩,王璞,等. 植物生长调节剂对万寿菊种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *山西农业科学*, 2024, 52(4):118-126.
GUO H, WANG H, WANG P, et al. Effects of plant growth regulators on seed germination and seedling growth of *Tagetes erecta* L. [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2024, 52(4):118-126.
- [8] 徐祥鑫,张青霞,刘一冰,等. 植物生长调节剂对延胡索产量和品质的影响[J]. *河南农业科学*, 2026, 55(2):48-58.
XU X X, ZHANG Q X, LIU Y B, et al. Effects of plant growth regulators on the yield and quality of corydalis[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2026, 55(2):48-58.
- [9] 刘佳琪,邹义萍,殷雅文,等. 不同植物生长调节剂对北美冬青果实品质的影响[J]. *河南农业科学*, 2025, 54(1):128-135.
LIU J Q, ZOU Y P, YIN Y W, et al. Effects of different plant growth regulators on the fruit quality of American holly[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2025, 54(1):128-135.
- [10] 程辉,王军威,柳菁,等. 植物生长调节剂“碧护”在彩色花油菜上的施用效果研究[J]. *陕西农业科学*, 2023, 69(6):88-90.
CHENG H, WANG J W, LIU J, et al. Effect of "vita cat" plant growth regulator on colored rape[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2023, 69(6):88-90.
- [11] 苗宇,蒋舒蕊,赵凯,等. 不同植物生长调节剂对番茄种子萌发和根系生长的影响[J]. *现代园艺*, 2023, 46(17):56-58.
MIAO Y, JIANG S R, ZHAO K, et al. Effects of different plant growth regulators on tomato seed germination and root growth[J]. *Contemporary Horticulture*, 2023, 46(17):56-58.
- [12] 田梦妮. 绿色植物生长调节剂GGR在上海青上的应用试验[J]. *长江蔬菜*, 2023(14):46-48.
TIAN M N. Application experiment of green plant growth regulator GGR on Shanghai cabbage[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2023(14):46-48.
- [13] 林家欣,陆苑莹,伏广农,等. 不同生物刺激素对水培上海青产量及品质的影响[J]. *农业工程技术*, 2023, 43(6):11-15.
LIN J X, LU Y Y, FU G N, et al. Effects of different biostimulants on the yield and quality of hydroponic Shanghai green[J]. *Agricultural Engineering Technology*, 2023, 43(6):11-15.
- [14] 王燕,李纯斌. 尾菜沼液对上海青生长及品质的影响[J]. *植物学研究*, 2024, 13(4):462-468.
WANG Y, LI C B. Effects of tail vegetable biogas slurry on growth and quality of Shanghai cabbage[J]. *Botanical Research*, 2024, 13(4):462-468.
- [15] 郑明阳,周锐,熊敏先,等. 植物生长调节剂对青稞种子萌发、幼苗生长及耐旱性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(10):105-112.
ZHENG M Y, ZHOU R, XIONG M X, et al. Influences of plant growth regulators on seed germination, seedling growth and drought tolerance of highland barley[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2023, 51(10):105-112.
- [16] 高起,马良,闫钰,等. 植物生长调节剂对牛至种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *草业科学*, 2025, 42(3):679-686.
GAO Q, MA L, YAN Y, et al. Effects of different plant growth regulators on seed germination and seedling growth of *Origanum vulgare* [J]. *Pratacultural Science*, 2025, 42(3):679-686.
- [17] 宋朝玉,孙兆法,张淑霞. α -萘乙酸浸种对黄瓜幼苗影响的初步研究[J]. *山东农业科学*, 2009, 41(4):90-91.
SONG Z Y, SUN Z F, ZHANG S X. Preliminary study on the effect of α -naphthylacetic acid soaking seeds on cucumber seedlings[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2009, 41(4):90-91.