



# 四种有机活性物质对黄瓜种子萌发的影响

李应心 柳夏艳 孔令宇 曹浩轩 吕贻忠\*

中国农业大学资源与环境学院 北京 100193

**摘 要:** 为了探讨有机活性物质对蔬菜种子的促生效应,以黄瓜(“京研夏美2号”)为试材,分别采用不同浓度的水溶性有机物质(DOM)、吲哚乙酸(IAA)、黄腐酸、壳聚糖等4种有机活性物质进行浸种处理,比较4种有机活性物质对黄瓜种子发芽相关生理指标的影响。结果表明:DOM3(10%)的发芽势高于对照及其他处理,黄腐酸2、3、4(1.0、10、100 mg/L)浓度下的发芽势高于对照,壳聚糖1、2、3(1000、2000、3000 mg/L)浓度下发芽势高于对照,综合发芽势和发芽率指标可看出,高浓度的IAA抑制种子的发芽,低浓度的IAA促进种子发芽,验证了一定浓度的DOM、IAA、黄腐酸和壳聚糖能促进种子的萌发;DOM4(20%)黄瓜种子活性最高,远超过CK;IAA和壳聚糖的种子活性均低于CK,且随浓度的升高而降低;浓度为1.0 mg/L的黄腐酸处理下种子活力指数达到最高。DOM4浓度下根长比对照增长35.9%,DOM3浓度下根毛数最多;低浓度的IAA(0.1 mg/L)促进黄瓜早期根毛的生长,高浓度时抑制根系生长;黄腐酸3(10 mg/L)在第8天时根毛数最多,整个生长期间的根毛数增长率为768.2%,根系生长最旺盛;壳聚糖在高浓度和低浓度时的根长及根毛数均低于CK。一定浓度的DOM、IAA、黄腐酸能促进黄瓜根系生长。

**关键词:** 有机活性物质 黄腐酸 黄瓜种子 萌发

**中图分类号:** TQ314.1, S642.2 **文章编号:** 1671-9212(2021)04-0013-07

**文献标识码:** A **DOI:** 10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2021.04.003

**Effects of Four Kinds of Active Organic Substances on Cucumber Seed Germination**

Li Yingxin, Liu Xiayan, Kong Lingyu, Cao Haoxuan, Lv Yizhong\*

School of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing, 100193

**Abstract:** To explore the growth-promoting effect of active organic substances on vegetable seeds, cucumber (“Jingyan Xiamei No.2”) was used as a test material. Four kinds of active organic substances (DOM, IAA, fulvic acid and chitosan) with different concentrations were used to soak the seeds, and the effects of four kinds of active organic substances on physiological indexes of cucumber seed germination were compared. The results showed that the germination potential of DOM3 (10%) was higher than that of CK and other treatment. The germination potential of fulvic acid 2, 3, 4 (1.0, 10, 100 mg/L) was higher than that of CK. The germination potential of chitosan 1, 2, 3 (1000, 2000, 3000 mg/L) was higher than that of CK. It can be seen from the indexes of germination potential and germination rate, high concentration of IAA inhibited seed germination, while low concentration of IAA promoted seed germination. It was verified that a specific concentration of DOM, IAA, fulvic acid and chitosan could promote seed germination.

[基金项目] “十三五”国家重点研发计划重点专项“畜禽养殖废弃物生物降解与资源转化调控机制”项目(项目编号2018YFD0500200)。

[收稿日期] 2020-11-07

[作者简介] 李应心,女,1996年生,硕士研究生,主要从事土壤肥力与有机肥方面的研究,E-mail: 18211091699@163.com。\*通讯作者:吕贻忠,男,教授/博士生导师,E-mail: lyz@cau.edu.cn。

The cucumber seed activity of DOM4 (20%) was higher than that of CK. The seed activity of IAA and chitosan was lower than that of CK, and decreased with the increase of concentration. The seed vigor index reached the highest under fulvic acid 2 treatment (1.0 mg/L). The root length of DOM4 was 35.9% higher than that of CK, DOM 3 had the most root hair number. Low concentration of IAA (0.1 mg/L) could promote the growth of root hair in early stage, but high concentration could inhibit the growth of root. Fulvic acid 3 (10 mg/L) had the most root hair number on the eighth day, and the growth rate of root hair number was 768.2% during the whole growth period; the root length and root hair number of chitosan at high concentration and low concentration were lower than those of control. DOM, IAA and fulvic acid could promote the growth of plant roots.

**Key words:** organic active substance; fulvic acid; cucumber seed; germination

黄瓜在我国已经栽培了几千年, 占我国蔬菜总栽培面积 10% 左右<sup>[1]</sup>。蔬菜种子萌发是比较复杂的物质代谢过程, 活性有机物质可调节种子萌发。我国的畜禽养殖行业规模快速增大, 产生较多的畜禽粪便, 如果这些畜禽粪便得不到很好的处理, 将严重污染环境, 威胁人类健康<sup>[2]</sup>。但畜禽粪便也是一种肥料来源, 含有丰富的 N、P、K 等植物所需的营养元素<sup>[3]</sup>, 将畜禽粪便堆肥发酵制成有机肥, 已经成为一种资源化绿色处理方式。水溶性有机物质 (DOM) 被普遍认为是堆肥中最活跃的有机组分<sup>[4, 5]</sup>。有研究表明, 黄瓜种子的发芽率在不同水浸提比的堆肥 DOM 处理下均大于 80%, 随着水浸提比的增加, 黄瓜种子在猪粪 DOM 中的相对根长呈上升趋势<sup>[6]</sup>。DOM 对种子发芽实验的探究不仅能检测堆肥腐熟程度, 也能探讨种子生长最有益的浓度。吲哚乙酸 (IAA) 是调节植物生长的一种重要激素。IAA 与作物根系生长有着密切联系<sup>[7]</sup>。有研究指出, IAA 浸泡黄瓜种子, 黄瓜幼苗根系各指标数据均高于 CK<sup>[8]</sup>。堆肥中含有较高浓度的黄腐酸。有研究表明, 在苗期冲施 0.8 kg/667 m<sup>2</sup> 矿物源黄腐酸钾对黄瓜幼苗株高生长作用最为显著<sup>[9]</sup>; 施用黄腐酸液体配方肥可显著提高大棚黄瓜产量<sup>[10]</sup>。从秸秆、畜禽粪便中提取的黄腐酸可使废物得到安全利用, 在堆肥中提取黄腐酸将成为一种绿色可持续发展途径。壳聚糖是自然界仅次于纤维素的第二大有机资源, 也是仅次于蛋白质的第二大氮源<sup>[11]</sup>。有研究指出, 在高温胁迫下, 外源壳聚糖能促进黄瓜幼苗的生长, 提高植株壮

苗指数, 提高幼苗抗逆性, 减轻高温对植株的伤害<sup>[12]</sup>。壳聚糖在食品、医药、工业等领域得到广泛应用<sup>[13]</sup>。近年来, 人们发现其在农业领域也具有很广阔的应用前景。大量研究证明, 壳聚糖作为植物生长调节剂可调节植物生长发育、增强作物抗性、提高作物产量和改善农产品品质; 对农产品贮存保鲜也具有明显的效果<sup>[14 ~ 16]</sup>。本试验探讨了 DOM、IAA、黄腐酸、壳聚糖浸种对黄瓜种子发芽初期的影响, 为黄瓜高产、优质栽培特别是壮苗的培育提供相应理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

#### 1.1.1 供试试剂

吲哚乙酸购于上海麦克林生化科技有限公司, 纯度为 98%; 水溶性壳聚糖购于青岛博智汇力生物科技有限公司, 纯度 >90%。

#### 1.1.2 供试 DOM

DOM 是从堆肥中提取出来的水溶性有机物质。堆肥的制备是牛粪: 鸡粪: 蘑菇渣 = 6 : 5 : 5 进行一次发酵, 采用好氧槽式堆肥模式。收集一次发酵 30 天左右的堆肥样品进行二次发酵, 二次发酵过程采用 100 L 小型发酵装置模拟实际生产中静置通气陈化模式, 设置周期为 15 天, 获得二次堆肥样品。按水肥比 10 : 1, 于 200 rpm 的振荡机上振荡 2 h, 4000 rpm 的高速离心机上低温离心 20 min, 上清液过 0.45 μm 滤膜, 得到供试 DOM。



### 1.1.3 供试黄腐酸

采用焦磷酸钠法从堆肥中提取黄腐酸。

### 1.1.4 供试黄瓜

京研益农种业科技有限公司研发的黄瓜品种“京研夏美2号”。

## 1.2 试验方法

将黄瓜种子用自来水漂洗, 75% 酒精消毒 5 s, 无菌水洗滌 5 次。随机挑选饱满、大小相似的种子。每个培养皿上放置 8 粒种子, 设置 3 次重复。采用纸上发芽床法, 将 2 层滤纸置于洗净、烘干的培养皿上, 使用下述有机活性物质溶液将滤纸湿润至饱和, 将种子置于实验室气候箱中培养, 温度 25 °C, 光照 12 h, 白炽灯为光源, 光强 8000 lx, 相对湿度 60%。

DOM 与蒸馏水按一定比例配比, 设置浓度梯度为 1%、5%、10%、20%、50%, 以下称为 DOM1、DOM2、DOM3、DOM4、DOM5。

IAA 与蒸馏水按一定比例配比, 在超声波中搅拌溶解, 设置浓度梯度为 0.1、1.0、10、100、1000 mg/L, 以下称为 IAA1、IAA2、IAA3、IAA4、IAA5。

黄腐酸与蒸馏水按一定比例配比, 设置浓度梯度为 0.1、1.0、10、100、1000 mg/L, 以下称为黄腐酸 1、黄腐酸 2、黄腐酸 3、黄腐酸 4、黄腐酸 5。

水溶性壳聚糖与蒸馏水按一定比例配比, 用 NaHCO<sub>3</sub> 调 pH 至 5.5 ~ 7.0, 设置浓度梯度为 1000、2000、3000、4000、5000 mg/L, 以下称为壳聚糖 1、壳聚糖 2、壳聚糖 3、壳聚糖 4、壳聚糖 5。

用蒸馏水做空白对照 (CK)。

浸种 12 h, 置于培养皿上, 每 2 天用 10 mL 相应处理的溶液湿润。

## 1.3 测定项目与方法

2 天计算其发芽势, 7 天计算其发芽率; 每 2 天计算其根长与根毛数, 共 8 天, 分析数据。

发芽势 (%) = (第 2 天处理的发芽种子数) / (第 2 天处理的总种子数) × 100。

发芽率 (GR, %) = (第 7 天处理的发芽种子

数) / (第 7 天处理的总种子数) × 100。

发芽指数 (GI) =  $\sum Gt/Dt$ , 其中  $Gt$  指浸种后  $t$  日的发芽数,  $Dt$  指相应的发芽日数。

活力指数 (VI) =  $S \times GI$ , 其中  $S$  为发芽  $t$  时间时胚根及胚轴的总长度,  $GI$  表示发芽指数。

用卷尺测量黄瓜种子发芽期间的根长。根系扫描仪扫描黄瓜根系, 肉眼数根毛数。

实验数据处理采用 SPSS 软件进行统计分析, 使用 Microsoft Office Excel 2010 及 Origin 8.0 软件进行数据处理和图表制作。

## 2 结果与讨论

### 2.1 有机活性物质对黄瓜种子发芽率、发芽势、发芽指数及活力指数的影响

由表 1 可以看出, DOM5 时的发芽势与 CK 及其他浓度处理有显著性差异, 发芽率与 CK 无明显差异, 说明在此浓度下的 DOM 溶液抑制了初期黄瓜种子发芽; IAA5 浓度下的种子发芽势为 0, 但第 7 天的发芽率为 87.5% (比其他浓度 IAA 均低, 且差异显著), 说明高浓度的 IAA 抑制种子的发芽, 低浓度的 IAA 促进种子发芽; 有文献证明黄腐酸能有效地促进种子内酶的活性, 加速发芽过程中的生化反应<sup>[17]</sup>, 在黄腐酸 2、3、4 浓度下的发芽势高于 CK, 虽然差异不显著, 但有增加趋势, 这验证了一定浓度的黄腐酸能促进种子的萌发; 在壳聚糖 1、2、3 浓度下发芽势高于 CK (差异不显著), 有文献证明壳聚糖能有效地促进种子内酶的活性, 加速发芽过程中的生化反应, 可作为一种新的引发剂激发种子活力<sup>[18~22]</sup>。发芽指数和活力指数都是对种子活力的反映, 活力指数是种子发芽速率和生长量的综合指标, 是种子活力的更好指标。活力指数越高, 种子活性越大, 本文以活力指数为判断种子活力的有利依据: DOM4 种子活性最高, 远超过 CK, DOM3 和 DOM4 与 CK 及其他处理间有显著性差异; IAA 和壳聚糖的种子活性均低于 CK, 且随浓度的升高而降低; 黄腐酸处理下黄腐酸 2 活力指数达到最高, 黄腐酸 2 和 3 处理下的种子活力指数高于 CK。

表 1 黄瓜种子发芽率、发芽势、发芽指数及活力指数

Tab.1 Germination rate, germination potential, germination index and vigor index of cucumber seeds

处理	发芽率 (%)	发芽势 (%)	发芽指数	活力指数
CK	100.0a	95.8a	15.91ab	192.47c
DOM1	95.8a	87.5a	15.02ab	183.20c
DOM2	95.8a	87.5a	15.43ab	192.92c
DOM3	100.0a	100.0a	17.07a	223.66b
DOM4	95.8a	95.8a	16.21ab	262.60a
DOM5	95.8a	75.0b	14.04b	179.75c
CK	100.0a	95.8a	15.91ab	192.47a
IAA1	100.0a	100.0a	18.07a	186.16a
IAA2	100.0a	100.0a	17.41a	142.73b
IAA3	100.0a	100.0a	15.74b	119.62c
IAA4	100.0a	100.0a	15.07b	99.48d
IAA5	87.5b	0.0b	4.22c	2.11e
CK	100.0a	95.8a	15.91bc	192.47c
黄腐酸 1	100.0a	95.8a	16.88ab	175.52d
黄腐酸 2	100.0a	100.0a	18.07a	243.99a
黄腐酸 3	100.0a	100.0a	16.07bc	207.35b
黄腐酸 4	100.0a	100.0a	15.41c	177.18d
黄腐酸 5	100.0a	95.8a	14.91c	149.07e
CK	100.0a	95.8a	15.91cd	192.47a
壳聚糖 1	100.0a	100.0a	18.74ab	56.22b
壳聚糖 2	100.0a	100.0a	19.07a	47.68c
壳聚糖 3	100.0a	100.0a	17.74abc	33.71d
壳聚糖 4	100.0a	95.8a	17.57abc	29.87d
壳聚糖 5	100.0a	95.8a	16.80bcd	30.23d

注：同一有机活性物质处理的同列数据中不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

## 2.2 有机活性物质对黄瓜种子根长的影响

由图 1 ~ 图 4 可以看出，所有处理中根长随发芽实验时间的推移逐渐升高。DOM 处理时在发芽初期与 CK 无显著性差异，第 8 天 DOM4 浓度下根长与 CK 有明显差异，增长 35.9%，证明适量 DOM 能促进根的伸长；IAA 抑制黄瓜根长的生长，浓度越高对黄瓜种子根长的抑制效果越明显，甚至导致黄瓜种子死亡，IAA1 水平下与 CK 无显著性差异，其他高浓度的 IAA 在第 8 天的根长要低于 CK；第 2 天时 CK 根长要略高于黄腐酸处理的根

长，在黄腐酸 3 下，第 2 天根长比 CK 低 35.2%，第 8 天根长比 CK 长 6.1%，说明在根生长过程中适宜浓度黄腐酸可促进根的生长；壳聚糖处理下的根长普遍低于 CK，随着壳聚糖浓度的增长，根长在第 8 天的增长率依次为 65.7%、46.1%、24.4%、11.9% 和 0.02%，随着浓度的升高增长率逐渐降低，说明高浓度壳聚糖抑制了根的生长。

## 2.3 有机活性物质对黄瓜种子根毛数的影响

由图 5 ~ 图 8 可以看出，各处理下根毛数随着发芽实验时间的推移逐渐升高。第 8 天时，DOM





处理根毛数只有在浓度为 10% 时才高于 CK, 且增长率最快。高浓度的 IAA 抑制黄瓜根毛的生长, 低浓度的 IAA 在根突破种皮时 (第 2 天) 促进黄瓜根毛的生长, 在第 2 天时, IAA1 和 IAA2 的根毛数与 CK 有显著性差异; 第 8 天时可以看到 IAA1 ~ IAA3 根毛数与 CK 无明显差异。在种子发芽第 8 天时, 黄腐酸 3 根毛数最多, 整个生长期间的根毛数增长率为 768.2%, 在发芽实验的生长周期内其他浓度的根毛数增长率依次为 111.3%、188.4%、293.4%、204.3%, 呈现先升高再降低的趋势。壳聚糖处理下的根毛数低于 CK, 随着浓度的增大根毛数逐渐减少。

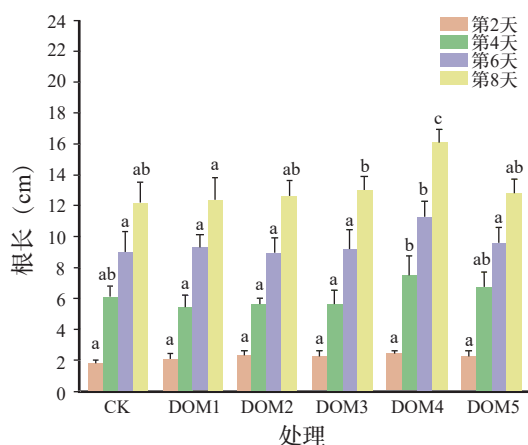


图 1 DOM 对黄瓜种子根长的影响

Fig.1 Effects of DOM on root length of cucumber seeds

注: 图中同一图例同一发芽天数不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

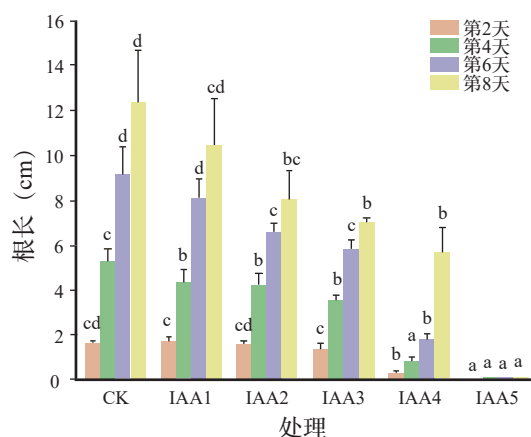


图 2 IAA 对黄瓜种子根长的影响

Fig.2 Effects of IAA on root length of cucumber seeds

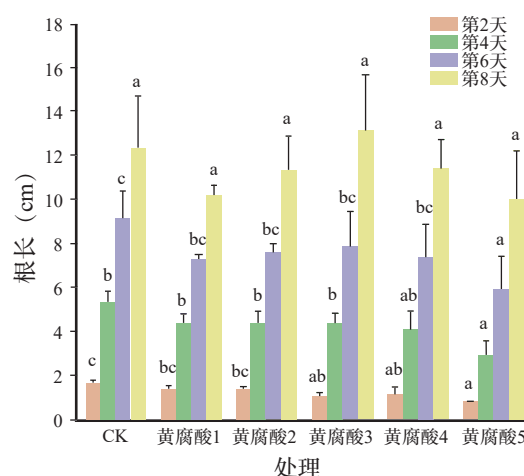


图 3 黄腐酸对黄瓜种子根长的影响

Fig.3 Effects of fulvic acid on root length of cucumber seeds

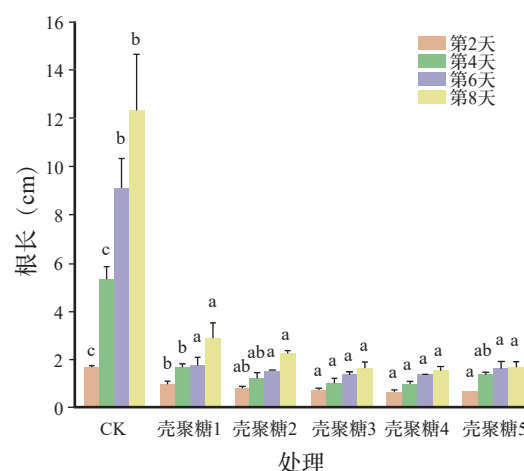


图 4 壳聚糖对黄瓜种子根长的影响

Fig.4 Effects of chitosan on root length of cucumber seeds

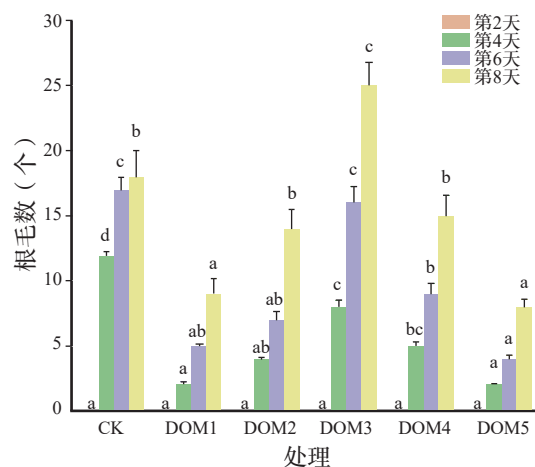


图 5 DOM 对黄瓜种子根毛数的影响

Fig.5 Effects of DOM on root hair number of cucumber seeds

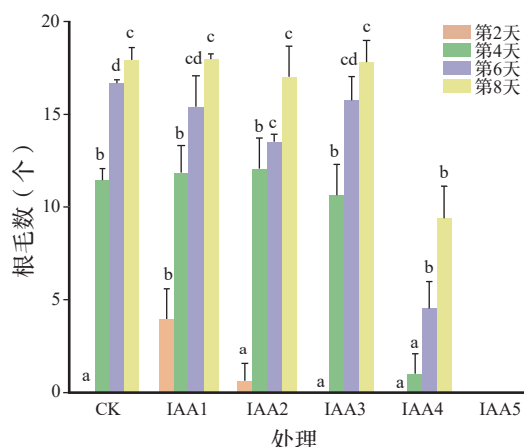


图 6 IAA 对黄瓜种子根毛数的影响

Fig.6 Effects of IAA on root hair number of cucumber seeds

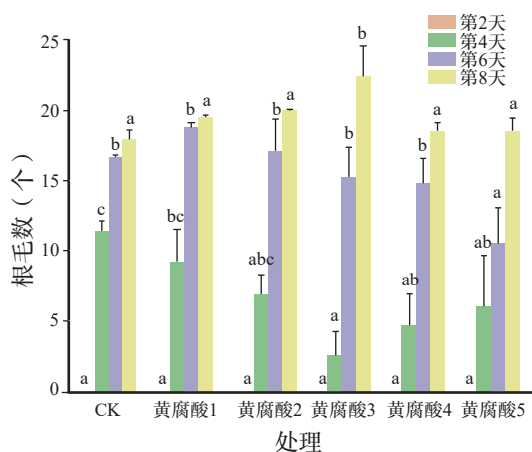


图 7 黄腐酸对黄瓜种子根毛数的影响

Fig.7 Effects of fulvic acid on root hair number of cucumber seeds

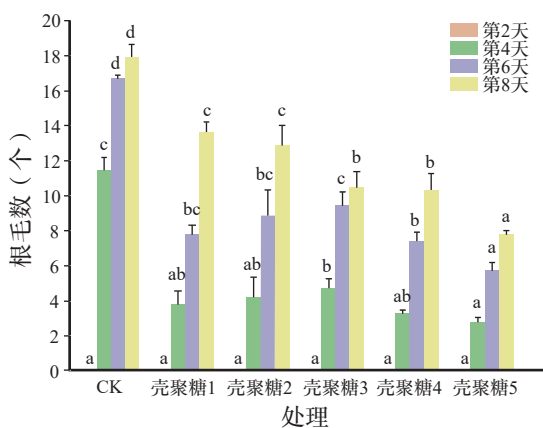


图 8 壳聚糖对黄瓜种子根毛数的影响

Fig.8 Effects of chitosan on root hair number of cucumber seeds

### 3 结论与讨论

发芽实验是从生物学的角度来判断试剂是否对种子有毒害的标准之一，而种子发芽率是衡量毒性最直观简便的方式。通过 4 种有机活性物质对黄瓜种子的发芽实验来证明活性物质对黄瓜的促生作用，以便得出对黄瓜种子的萌发和幼苗的生长起积极作用的有机活性物质浓度。

在本试验中，用不同浓度的 DOM、IAA、黄腐酸、壳聚糖溶液浸种处理黄瓜种子，DOM 对黄瓜种子发芽势的影响随着 DOM 浓度的升高呈先增后降的趋势，其中 DOM3（浓度为 10%）对黄瓜的促生长作用最好，DOM4（浓度为 20%）时活力指数最高，但 DOM5（浓度为 50%）时发芽势达到最低，活力指数下降明显，原因是 DOM 是直接从堆肥中提取出来，含有大量重金属元素等，对种子有一定的抑制作用。IAA 高浓度时抑制种子萌发，低浓度时促进种子萌发，在种子突破种皮前高浓度的 IAA 对种子便有抑制作用，种子活力指数均低于 CK。黄腐酸 2、3、4 时发芽势高于 CK，说明黄腐酸 2、3、4 有利于种子的萌发，其中黄腐酸 2 浓度下活力指数最高。壳聚糖 1、2、3 时发芽势高于 CK，说明壳聚糖 1、2、3 促进种子初期萌发；随浓度增大，发芽势随着壳聚糖浓度呈现下降的趋势。

综上，适宜浓度的 DOM、IAA、黄腐酸、壳聚糖等均可促进黄瓜种子的萌发。DOM 处理下，发芽前期根长与 CK 没有差异，第 8 天时 DOM4 浓度下根长与 CK 有显著性差异，较 CK 增长 35.9%，证明 DOM4 是根系伸长的最适浓度。IAA 抑制黄瓜种子根长生长；根生长过程中黄腐酸促进根长生长，尤其是黄腐酸 3（浓度为 10 mg/L）时最为明显，发芽结束时比 CK 高 6.1%；壳聚糖处理下的根长均低于不施加壳聚糖的溶液，壳聚糖不能促进黄瓜根长增长，在 5 种浓度的壳聚糖处理下，随浓度的增加根长降低，原因需要进一步研究探讨。DOM 处理中根毛数只有在浓度为 10% 时才高于 CK；发芽初期低浓度的 IAA 促进黄瓜根毛数增多，而高浓度 IAA 时的根毛数极少；黄腐酸 3（浓



度为 10 mg/L) 在第 8 天时根毛数最多, 增长最快, 整个生长期间的根毛数增长率为 768.2%, 10 mg/L 的黄腐酸能促进黄瓜根毛生长; 壳聚糖处理下的根毛数普遍低于 CK, 壳聚糖不能促进黄瓜根毛数增加, 在 5 种浓度的壳聚糖处理下, 低浓度的壳聚糖比高浓度的根毛数要多。因此, 本试验条件下, 适宜浓度的 DOM、IAA、黄腐酸能促进黄瓜根系生长, 壳聚糖对黄瓜根系生长没有促进作用。

### 参考文献

- [1] 王田利. 我国黄瓜生产的发展变化历程[J]. 西北园艺, 2015(6): 4~6.
- [2] 王亚飞, 李梦婵, 邱慧珍, 等. 不同畜禽粪便堆肥的微生物数量和养分含量的变化[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(3): 37~45.
- [3] 付涛, 李翔, 上官华媛, 等. 电场促进畜禽粪便好氧堆肥中 DOM 演化的光谱学研究[J]. 环境科学学报, 2021, 41(4): 1465~1477.
- [4] 余旭芳, 周俊, 任兰天, 等. 小麦秸秆堆肥水溶性有机物的结构和组成演变[J]. 光谱学与光谱分析, 2021, 41(4): 1199~1204.
- [5] 唐朱睿, 席北斗, 何小松. 猪粪堆肥过程中水溶性有机物结构演变特征[J]. 光谱学与光谱分析, 2018, 38(5): 204~210.
- [6] 王定美, 武丹, 李季, 等. 猪粪及其堆肥不同水浸提比对种子发芽特性指标的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(3): 579~584.
- [7] Jutta L M. Bacteria and fungi controlling plant growth by manipulating auxin: balance between development and defense[J]. Journal of Plant Physiology, 2014(172): 4~12.
- [8] 任毛飞, 张燕, 李蒙, 等. IAA 和 GA3 对黄瓜种子萌发的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2019(4): 42~45.
- [9] 郎朗, 张星, 李任丰, 等. 施用矿物源黄腐酸钾对黄瓜生长、产量及土壤的影响[J]. 腐植酸, 2020(2): 56~59.
- [10] 闫嘉欣, 常青, 杨治平, 等. 黄腐酸液体配方肥对大棚黄瓜产量及品质的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(10): 47~51.
- [11] 张凤, 王慢慢, 杨文娟, 等. 壳聚糖交联天然沸石用于水溶液中亚甲基蓝的吸附研究[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2014, 37(6): 893~898.
- [12] 王涛, 黄语燕, 陈永快, 等. 高温胁迫下外源壳聚糖对黄瓜幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(23): 142~146.
- [13] 胡文玉, 吴姣莲. 壳聚糖的性质和用途及其在农业上的应用前景[J]. 植物生理学讯, 1994, 30(4): 294~296.
- [14] Sathiyabama M, Akila G, Charles R E. Chitosan-induced defence responses in tomato plants against early blight disease caused by *Alternaria solani* (Ellis and Martin) Sorauer[J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2014, 47(16): 1963~1973.
- [15] Mondal M M A, Malek M A, Puteh A B, et al. Effect of foliar application of chitosan on growth and yield in okra[J]. Australian Journal of Crop Science, 2012, 6(5): 918~921.
- [16] 师素云, 薛启汉, 陈游, 等. 羧甲基壳聚糖对玉米的生理调节功能初探[J]. 中国农业大学学报, 1997(5): 1~6.
- [17] 谷端银. 腐植酸对氮胁迫下黄瓜生长及生理代谢的影响[D]. 山东农业大学博士学位论文, 2016.
- [18] 邵晨霞, 胡晋, 宋文坚, 等. 不同酸度壳聚糖溶液引发对玉米发芽和幼苗生理特性的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2005(6): 705~708.
- [19] 张发亮, 张景会. 20% 福克种衣剂添加壳聚糖对玉米种子活力的影响研究[J]. 中国西部科技, 2008(25): 44, 30.
- [20] 刘化涛, 黄明镜, 黄学芳, 等. 水分胁迫下壳聚糖对菜豆种子萌发的影响[J]. 农学学报, 2016, 6(2): 60~64.
- [21] 刘惠静, 夏俊丰, 郝建全, 等. 壳聚糖对白菜陈种子萌发的影响[J]. 长江蔬菜, 2014(14): 52~54.
- [22] 宋淑淑, 朱启忠, 王蓉, 等. 壳聚糖对棉花种子萌发及相关酶活性的影响[J]. 种子, 2012, 31(4): 40~42.