

# 生物活性物质提高玉米种子萌发及抗盐能力

王晨霞 任如佳 常瑞雪 慕康国\* 陈清

(中国农业大学 资源与环境学院,北京 100193)

**摘要** 通过发芽试验,对比分析单一施用和复合施用海藻酸、腐植酸钾、胺鲜酯和芸苔素内酯等生物活性物质对玉米种子萌发及抗盐能力的影响,并分析其适宜的浓度和配比。结果表明:随溶液中生物活性物质浓度的增加,玉米种子的萌发与根生长呈先上升后下降的趋势,最适浓度分别为胺鲜酯 8~10 mg/L、芸苔素内酯 0.50~1.00 mg/L、海藻酸 200~400 mg/L、腐植酸钾 10~15 mg/L、芸苔素内酯与胺鲜酯复配液 0.5~1.0 mg/L 和芸苔素内酯与腐植酸钾复配液 0.10~1.00 mg/L。其中,复配后的芸苔素内酯与胺鲜酯对胚根的促生长作用最佳,复配后的芸苔素内酯与腐植酸钾对胚轴生长的促进效果最佳。所有供试的生物活性物质均显著提高玉米种子的抗盐能力,其中效果最好的是芸苔素内酯。综上,施用适宜浓度的生物活性物质有助于促进玉米种子的萌发和根生长,不仅主根长度增加,而且侧根数量显著增多,从而提高其抗盐能力。

**关键词** 玉米; 生物活性物质; 种子萌发; 促根促生长; 盐胁迫

中图分类号 S513

文章编号 1007-4333(2020)07-0020-08

文献标志码 A

## Optimum concentration of different bioactive substances to improve the germination and salt tolerance of maize seeds

WANG Chenxia, REN Rujia, CHANG Ruixue, MU Kangguo\*, CHEN Qing

(College of Resource and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract** In this study, the effects of single and combined bioactive substances (Seaweed extract, humic acid, diethyl aminoethyl hexanoate and brassinosteroid) with different concentrations on maize were compared by seed germination experiments. And their effects on improving the salt resistance were then analyzed. The results showed that: With the increasing of the bioactive substances concentration, the germination of maize seeds and seedling growth showed a trend of first increasing and then decreasing. The optimal concentration range were 8 - 10 mg/L diethyl aminoethyl hexanoate, 0.50 - 1.00 mg/L brassinosteroid, 200 - 400 mg/L seaweed extract, 10 - 15 mg/L Humic Acid, 0.50 - 1.00 mg/L brassinosteroid and diethyl aminoethyl hexanoate compound and 0.10 - 1.00 mg/L brassinosteroid and humic acid compound, respectively. Among them, the compound brassinosteroid and diethyl aminoethyl hexanoate had the best growth promoting effect on radicle, and the compound brassinosteroid and humic acid promoted the growth of hypocotyls best. All the tested bioactive substances could significantly improve the salt tolerance of maize seeds, of which brassinosteroid was the most effective one. In summary, the application of a suitable concentration of bioactive substances helps to promote the germination and root growth of maize seeds. Not only does the length of the main root increase, but the number of lateral roots also increases significantly, thereby improving its salt tolerance.

**Keywords** maize; bioactive substances; seed germination; growth promoting; salt tolerance

随着国内外对于生物活性物质研究的不断深入,生产上普遍应用这些物质来调控作物生长,抵御

不同非生物因素的胁迫,提高作物抗逆性<sup>[1]</sup>,调节和促进植物体对水分和养分的吸收和利用。

收稿日期: 2019-02-20

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2016YFD0200405)

第一作者: 王晨霞,硕士研究生,E-mail:859203442@qq.com

通讯作者: 慕康国,副教授,主要从事药肥控制释放原理与技术、植物营养与病害研究,E-mail:kgmu@cau.edu.cn

植物调节类物质如胺鲜脂和芸苔素内酯是应用较早,目前研究比较成熟的生物活性物质。胺鲜酯具有较高生物活性,对多种农作物具有显著的增产、抗逆、抗病和早熟等功效<sup>[2]</sup>。使用胺鲜酯对水稻进行浸种处理,10  $\mu\text{g/L}$  效果最佳,可显著提高水稻幼苗膜保护酶 SOD 和 CAT 的活性以及可溶性糖、可溶性蛋白质和脯氨酸含量,降低 MDA,从而提高植株幼苗的抗寒性<sup>[3-4]</sup>。芸苔素内酯质量浓度为 0.01 mg/L 使用时便能促进蔬菜、果树、花卉、食用菌及各种农作物的生长发育,还可以提高植物的抗逆性,主要通过调节某种基因的表达,松弛细胞壁,减小壁压,降低水势,使水分和养分进入细胞,引起细胞体积增大,发芽率、发芽势和种子活力都明显提高<sup>[5-6]</sup>,叶面积增加可以达到极显著水平<sup>[7]</sup>;还可使植物组织保持旺盛的分生能力,来抵御盐分的损害<sup>[8]</sup>。

在生产中也存在很多天然活性成分,如海藻酸和腐植酸,它们也具有提高作物光合作用,增强作物抗逆能力,改善土壤环境的功能。海藻酸是一种存在于褐藻细胞壁中的天然多糖<sup>[9]</sup>。腐植酸是动植物残体在微生物的分解和转化作用,以及一系列的地球化学过程下合成的一类具有多种官能团的大分子有机弱酸混合物<sup>[10]</sup>。腐植酸钾是通过风化煤的氨化作用活化腐植酸,并与氢氧化钾复配制得的复合物<sup>[11]</sup>。腐植酸和腐植酸钾也被称为生物刺激素类物质。腐植酸钾是三大类生物活性物质中应用最广泛的,通过基施改土、叶面喷施抗干旱和灌溉施肥促根,对促进作物生长有很好的效果,能够降低土壤电导率,减少植物中脯氨酸的渗出,进而提高作物的抗盐胁迫能力,有利于解决土壤盐碱化问题<sup>[12]</sup>。将这些生物活性物质以一定的比例浓度与水溶肥复配制功能性水溶肥能促进植物激素分泌,进而促进植物的生长,增加植物脯氨酸含量,增强作物抵抗干旱和盐分胁迫的能力<sup>[9]</sup>,但是必须明确其适宜的作用浓度及潜在的作用机理。目前,关于生物活性物质及其复配物在植物抵抗盐胁迫方面的应用研究较少且较为表面。因此,本研究采用统一的试验方法和供试种子,旨在研究:海藻酸、胺鲜酯、芸苔素内酯和腐植酸钾这 4 种生物活性物质及:芸苔素内酯与胺鲜酯和芸苔素内酯与腐植酸钾这 2 种复配液,在正常条件和盐胁迫下对玉米种子萌发和生长的影响,探究不同条件下生物活性物质发挥作用的最佳浓度及其对玉米种子抗盐害的影响,明确生物活性物质对缓解盐害和促进种子萌发等方面的作用,以

期为其在不同肥料中的应用提供理论参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

所用生物活性物质有海藻酸、胺鲜酯、芸苔素内酯和腐植酸钾,其中海藻酸(SW)、胺鲜酯(DA-6)和芸苔素内酯(BR)由河南信联生化有限公司提供;腐植酸钾(HA)由中向旭曜有限公司提供,是腐植酸钾固体与 0.5% 氢氧化钾溶液反应而成的腐植酸钾溶液,混合 1(HH1:BR+DA-6)为芸苔素内酯与胺鲜酯 1:20 混合而成,混合 2(HH2:BR+HA)为芸苔素内酯与腐植酸钾 1:5 混合而成。供试玉米品种为‘中糯 2 号’,杂交糯玉米品种,在北京地区春季播种至采收平均 91 d。

试验用生物活性物质的理化性状如表 1 所示。

表 1 供试生物活性物质的外观、有效成分含量及 pH  
Table 1 Appearance, active ingredient content rate and pH of selected bioactive substances

生物活性物质 Bioactive substance	物质状态 Material status	有效成分含量/% Active ingredient content	pH
SW	棕褐色液体	30	4.5
DA-6	乳白色粉末	98	7.3
BR	白色粉末	1	7.6
HA	黑色粉末	98	8.5

注:SW 海藻酸;DA-6 胺鲜酯;BR 芸苔素内酯;HA 腐植酸钾。  
下同。

Note: The same below.

### 1.2 试验设计

于 2016 年 3—6 月在中国农业大学西校区新教学楼实验室进行。所用各生物活性物质浸种浓度设计如表 2 所示,将种子置于不同浓度的生物活性物质溶液中浸泡 6 h,晾干。所用种子的包膜剂是按照种子:颜色助剂:生物活性物质溶液体积比=200:1:1(20 g 种子+0.1 g 助剂+0.1 mL 生物活性物质溶液)配置,包膜浓度见表 3,与 20 g 种子放到培养皿中震荡至包膜均匀,晾干。

#### 1.2.1 浸种试验

挑选籽粒饱满、色泽正常的玉米种子,用 5% (V/V)的次氯酸浸泡 5 min,蒸馏水清洗 3 次,然后用 70% (V/V)的乙醇浸泡 3 min,蒸馏水清洗 3 次,晾干。然后将玉米种子分别放入不同浓度的海藻酸

表2 供试生物活性物质的浸种质量浓度

Table 2 Concentration of selected bioactive substances  
mg/L

生物活性物质 Bioactive substances	质量浓度 Concentration				
	SW	200	400	800	1 600
DA-6	1.00	8.00	10.00	15.00	60.00
BR	0.01	0.05	0.50	1.00	10.00
HA	1.00	10.00	15.00	20.00	50.00
HH1	0.10	0.50	1.00	5.00	10.00
HH2	0.01	0.10	1.00	5.00	10.00

表3 供试生物活性物质的包膜浓度

Table 3 Concentration of bioactive substances on  
polymer-coated seedings g/L

生物活性物质 Bioactive substances	质量浓度 Concentration				
	SW	0.1	1.0	2.0	4.0
DA-6	2.0	5.0	10.0	15.0	20.0
BR	0.5	1.0	2.0	4.0	5.0
HA	0.1	0.5	1.0	2.0	3.0
HH1	0.5	2.0	4.0	8.0	10.0
HH2	0.1	0.2	0.4	0.5	5.0

溶液、胺鲜酯溶液、芸苔素内酯溶液、腐植酸钾溶液、芸苔素内酯与胺鲜酯复配液和芸苔素内酯与腐植酸钾复配液中(表2),进行浸种处理,蒸馏水作为对照,浸种时间为6 h。浸种结束后将玉米种子用蒸馏水冲洗3次,晾干。然后将处理的种子置于铺有2层滤纸、直径为18 cm的灭菌培养皿中,并加入50 mL左右的蒸馏水使滤纸湿润。每皿50粒种子,3次重复。

### 1.2.2 盐胁迫试验

以10 g/L NaCl溶液作为盐胁迫处理。种子的各生物活性物质的包膜剂中种子、颜色助剂与生物活性物质的体积比为200:1:1。挑选籽粒饱满、色泽正常的玉米种子,用体积分数5%的次氯酸浸泡5 min,蒸馏水清洗3次,然后用体积分数70%的乙醇浸泡3 min,蒸馏水清洗3次,晾干。根据预试验

及查阅相关资料分别选取2.0 g/L海藻酸、10.0 g/L胺鲜酯、2.0 g/L芸苔素内酯、2.0 g/L腐植酸钾、4.0 g/L芸苔素内酯与胺鲜酯复配和0.2 g/L芸苔素内酯与腐植酸钾复配包膜剂对玉米种子进行包膜处理,晾干。然后将处理的玉米种子置于铺有2层滤纸的直径为18 cm的灭菌培养皿中,滤纸用50 mL 10 g/L NaCl溶液湿润,未包膜的玉米种子做对照,其他处理相同。每皿50粒种子,3次重复。

上述装有种子的培养皿均置于恒温培养箱中培养,先于25℃下黑暗催芽24 h,并记录各培养皿中种子的萌发数,然后继续在25℃的恒温培养箱中每天8 h光照,16 h黑暗处理,并在固定时间记录种子萌发数,同时加适量蒸馏水保持皿内滤纸的湿润。

### 1.2.3 指标测定

以胚根长度超过种子长度的一半记为发芽,每天记录种子的萌发数。处理后第3天统计发芽势,%;第7天统计发芽率,%。并测量下胚轴与胚根的长度及玉米幼苗的鲜重和干重。

发芽势=第3天种子萌发数/供试种子总数×100%;

发芽率=第7天种子萌发数/供试种子总数×100%;

发芽指数= $\sum G_t/D_t$ ,其中 $G_t$ 为在第 $t$ 天的种子萌发数, $D_t$ 为相应的种子萌发天数;

活力指数=GI×S,S为平均根长;

胚根长、胚轴长、根长、苗高用直尺直接测量。

### 1.3 数据分析

用Microsoft Excel 2007处理数据及制图,用SPSS 17.0软件Duncan法对数据进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 对玉米种子萌发的影响

由表4可知,与对照相比,所用的生物活性物质及其复配溶液在不同浓度条件下均会对玉米种子的萌发产生显著影响,具体表现为随着所用生物活性物质浓度的增加,对种子萌发表现出先促进后抑制的作用效果。浓度为10 mg/L的胺鲜酯、0.50 mg/L的芸苔素内酯、400 mg/L的海藻酸、10 mg/L的腐植酸钾、复配浓度为0.5 mg/L的芸苔素内酯与胺鲜酯和复配浓度为1.00 mg/L的芸苔素内酯与腐植酸钾对玉米种子的促进作用最明显,其发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数均显著大于对照组。

表 4 不同生物活性物质对玉米种子萌发的影响

Table 4 Effects of different concentrations of bioactive substances on maize seed germination

处理 Treatment	质量浓度/ (mg/L) Concentration	发芽势/% Germination potential	发芽率/% Germination rate	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	胚根长/mm Radicle length	胚轴长/mm Hypocotyl length
CK	0	80.3 b	85.0 b	36.9 b	78.4 c	196 b	114 b
DA-6-1	1	84.3 b	87.0b	40.9 ab	79.2 c	197 b	114 b
DA-6-2	8	86.4 a	94.0 a	42.9 a	88.0 ab	209 a	130 a
DA-6-3	10	93.7 a	95.2 a	44.9 a	92.5 a	207 a	127 a
DA-6-4	15	88.5 a	92.0 a	43.9 a	85.0 ab	197 b	121 ab
DA-6-5	60	60.0 c	90.9 ab	38.9 b	84.0 b	198 b	108 b
BR-1	0.01	82.4 b	85.0 b	38.8 a	80.6 b	208 b	132 a
BR-2	0.05	83.3 b	88.2 b	39.9 a	82.0 ab	212 b	130 a
BR-3	0.50	85.7 a	90.0 a	41.5 a	89.9 ab	216 b	132 a
BR-4	1.00	81.0 b	92.5 a	40.3 a	95.5 a	237 a	135 a
BR-5	10.00	69.9 c	60.5 c	31.9 b	66.6 c	209 b	111 b
SW-1	200	83.3 b	85.3 b	39.9 b	89.4 ab	227 a	137 a
SW-2	400	88.0 a	93.0 a	42.7 a	96.9 a	224 a	133 a
SW-3	800	85.1 a	92.7 a	41.1 a	83.0 b	202 ab	119 b
SW-4	1 600	80.7 b	88.0 b	39.0 b	78.0 c	201 ab	119 b
SW-5	2 000	79.0 b	81.1 b	37.9 b	76.2 c	200 ab	111 c
HA-1	1	89.3 a	90.0 a	42.6 a	93.6 a	209 a	115 a
HA-2	10	90.0 a	91.0 a	43.0 a	91.0 a	206 a	119 a
HA-3	15	73.0 c	76.0 c	35.2 b	72.3 b	211 a	122 a
HA-4	20	73.2 c	75.2 c	35.1 b	66.7 b	190 a	120 a
HA-5	50	65.0 d	75.7 c	34.5 b	42.8 c	124 b	106 a
HH1-1	0.1	85.3 a	89.3 a	41.3 a	76.8 c	186 b	121 ab
HH1-2	0.5	88.0 a	90.0 a	42.2 a	104.8 a	248 a	128 a
HH1-3	1.0	80.2 b	87.7 a	39.1 a	116.9 a	299 a	129 a
HH1-4	5.0	64.0 c	79.0 b	32.8 a	72.2 c	220 ab	128 a
HH1-5	10.0	65.1 c	60.5 c	30.3 a	62.0 d	251 ab	116 b
HH2-1	0.01	80.9 b	89.3 ab	39.7 b	76.8 b	249 ab	127 ab
HH2-2	0.10	83.3 b	93.0 a	41.1 ab	104.8 a	275 a	153 a
HH2-3	1.00	88.2 a	94.7 a	42.9 a	101.7 a	237 ab	136 ab
HH2-4	5.00	87.0 a	88.0 b	41.9 a	72.2 b	234 ab	128 ab
HH2-5	10.00	79.5 b	83.3 b	38.3 b	62.0 b	198 b	114 b

注：不同字母表示同一物质的不同浓度间差异达  $P < 5\%$  显著水平。下同。Note: The different letters mean significant differences for different treatments ( $P < 0.05$ ). The same below.

其中,腐植酸钾浓度为1和10 mg/L时对玉米种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数具有显著促进作用,其中10 mg/L效果最佳,分别比0.50 mg/L的芸苔素内酯增加5.0%、1.1%、3.6%和1.2%;海藻酸浓度为400 mg/L时对玉米种子的作用最显著,其发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数分别比0.50 mg/L的芸苔素内酯增加2.7%、3.3%、2.9%和7.8%,与10 mg/L的胺鲜脂相比,活力指数增加4.8%;芸苔素内酯与胺鲜酯复配浓度为0.5 mg/L时对玉米种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数具有显著影响,与0.50 mg/L的芸苔素内酯相比,各指标分别增加2.7%、0.0%、1.7%和16.6%,与10 mg/L的胺鲜脂相比,玉米种子的发芽势、发芽率和发芽指数均降低,但活力指数增加13.2%;芸苔素内酯与腐植酸钾复配浓度为1.00 mg/L时,对玉米种子的作用最显著,发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数分别比芸苔素内酯增加2.9%、5.2%、3.4%和13.1%,与10 mg/L的腐植酸钾相比,发芽势和发芽指数降低2.0%和0.2%,发芽率和活力指数增加4.1%和11.8%。

## 2.2 对玉米胚根和下胚轴生长的影响

与对照相比,不同浓度的芸苔素内酯、胺鲜酯、海藻酸、腐植酸钾、芸苔素内酯与胺鲜酯复配及芸苔素内酯与腐植酸钾复配均对玉米胚根和下胚轴的生长产生不同程度的影响,且随着各物质浓度的增加,其生长趋势均呈现先上升后下降的趋势(表4)。浓度为8 mg/L的胺鲜酯、1.00 mg/L的芸苔素内酯、200 mg/L的海藻酸、15 mg/L的腐植酸钾、复配浓度为1.0 mg/L的芸苔素内酯与胺鲜酯和复配浓度为0.10 mg/L的芸苔素内酯与腐植酸钾对玉米种子的作用效果最明显,其胚根长和胚轴长分别比对照增加15.8%和20.2%、6.6%和14.0%、71.9%和18.7%、7.7%和7.0%、52.6%和13.2%、40.3%和34.2%。其中海藻酸浓度为200和400 mg/L时,对玉米的胚根长和胚轴长有显著的促进作用,200 mg/L时促进效果最好,分别比8 mg/L的胺鲜酯增加8.6%和5.4%,对玉米的胚轴长比1.00 mg/L的芸苔素内酯增加1.5%。1~50 mg/L的腐植酸钾对玉米胚根及下胚轴的生长具有一定的促进作用,但无显著影响。芸苔素内酯与胺鲜酯复配浓度为0.5和1.0 mg/L时对玉米胚根长与下胚轴长均有显著促进作用,1.00 mg/L效果最佳,对玉米的胚根长比胺鲜酯增加43.1%,比芸

苔素内酯增加26.2%。芸苔素内酯与腐植酸钾复配浓度为0.1 mg/L时促根效果最佳,胚根长和胚轴长分别比腐植酸钾增加30.3%和25.4%,比芸苔素内酯增加16.0%和13.3%。

## 2.3 对玉米种子抗盐性的影响

由表5可以看出,适宜浓度的胺鲜酯、芸苔素内酯、海藻酸、腐植酸钾、芸苔素内酯与胺鲜酯复配和芸苔素内酯与腐植酸钾复配包膜均能有效缓解盐胁迫对玉米种子萌发产生的影响。缓解效果最好的是芸苔素内酯,其次为海藻酸和胺鲜酯。与其余5种处理相比,芸苔素内酯对玉米种子萌发的发芽势、发芽率、发芽指数和苗高促进效果最佳,分别比空白对照增加了1235.0%、597.0%、756.3%和96.7%;海藻酸对玉米种子萌发的活力指数和根长促进作用最佳,分别比对照增加了2416.7%和230.0%。此外,与胺鲜酯相比,2.0 g/L的腐植酸钾降低了玉米种子的各项发芽指标和生长指标,与芸苔素内酯相比,除根长增加9.2%之外,其余指标均降低;海藻酸对玉米种子萌发的活力指数和根长分别比芸苔素内酯增加12.7%和34.7%,除发芽率和苗高外,玉米种子的发芽势、发芽指数、活力指数和根长分别比胺鲜酯增加46.6%、2.7%、24.8%和21.1%;芸苔素内酯与胺鲜酯复配对玉米种子萌发和根生长均具有显著促进作用,其中根长比胺鲜酯增加5.5%,比芸苔素内酯增加17.3%;0.2 g/L芸苔素内酯与腐植酸钾复配液对玉米种子的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数和苗高分别比芸苔素内酯降低64.0%、58.0%、58.4%、61.9%和42.5%,与2.0 g/L的腐植酸钾相比,苗高显著降低13.8%,发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数和根长降低27.8%、2.0%、21.9%、34.6%和16.8%。

从图1中可以看出,盐胁迫下玉米种子的萌发均受到不同程度的影响,使用生物活性物质包膜的种子长势均优于对照,包膜处理促进了玉米种子根的生长,不仅主根长度增加,而且侧根数量显著增多,对侧根的影响效果最佳的是海藻酸,其次是胺鲜酯和腐植酸钾。

## 3 讨论

随着对生物活性物质作用机理研究的深入,越来越多的生物活性物质被应用于农业生产,需要注意的是:生物活性物质用量不同,其作用存在差异。天然活性物质海藻酸可以促进作物生长<sup>[13]</sup>,增加叶

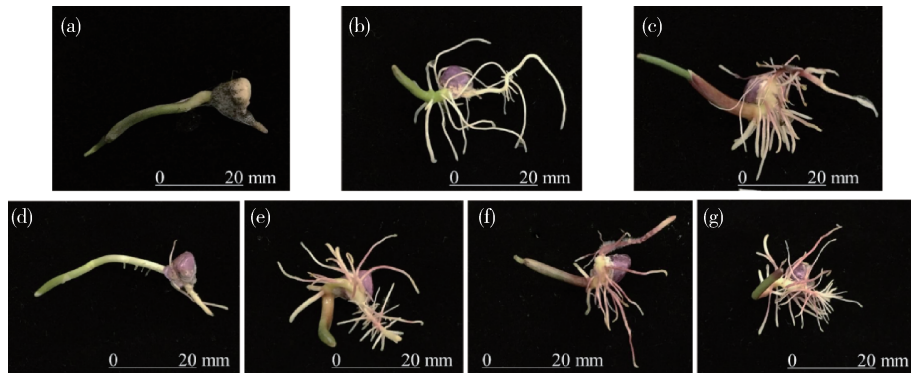
表5 不同生物活性物质包膜对玉米种子抗盐能力的影响

Table 5 Effects of different coating bioactive substances on the salt tolerance of maize seeds

处理 Treatment	种类 Variety	质量浓度/ (mg/L) Concentration	发芽势 Germination potential	发芽率/% Germination rate	发芽指数 Germination index (GI)	活力指数 Vigor index (VI)	根长/mm Root length	苗高/mm Seeding height
CK	CK	10.0	2.0 c	6.7 d	1.6 c	0.6 c	40.0 c	61.0 d
1	DA-6	10.0	13.3 b	33.3 b	11.1 a	12.1 a	109.0 a	101.0 a
2	BR	2.0	26.7 a	46.7 a	13.7 a	13.4 a	98.0 b	120.0 a
3	SW	2.0	19.5 ab	33.3 b	11.4 a	15.1 a	132.0 a	96.0 ab
4	HA	2.0	13.3 b	20.0 c	7.3 b	7.8 b	107.0 ab	80.0 b
5	HH1	4.0	20.0 a	26.7 c	10.5 a	12.1 a	115.0 a	76.0 c
6	HH2	0.2	9.6 b	19.6 c	5.7 b	5.1 b	89.0 b	69.0 c

注：不同字母表示同一物质的不同浓度间差异达  $P < 5\%$  显著水平。下同。

Note: The different letters mean significant differences for different treatments ( $P < 0.05$ ). The same below.



(a) CK; (b) 2.0 g/L 腐植酸钾 Humic acid, HA; (c) 2.0 g/L 海藻酸 Seaweed extract, SW; (d) 2.0 g/L 芸苔素内酯 Treatment 3; Brassinosteroid, BR; (e) 10.0 g/L 胺鲜脂 Diethyl aminoethyl hexanoate, DA-6; (f) 4.0 g/L 芸苔素内酯与胺鲜酯 1 : 20 混合 Brassinosteroid and diethyl aminoethyl hexanoate 1 : 20, HH1; (g) 0.2 g/L 芸苔素内酯与腐植酸钾 1 : 5 混合 Brassinosteroid : Humic acid 1 : 5, HH2.

图1 不同生物活性物质包膜对玉米种子抗盐能力的作用

Fig. 1 Effects of different coating bioactive substances on the salt tolerance of maize seeds

绿素含量<sup>[14]</sup>、促进开花<sup>[15-16]</sup>、提高产量和促进种子萌发<sup>[17-18]</sup>。温延晨等<sup>[19]</sup>使用 0.01 g 海藻酸/盆的用量可以促进作物生长,超过用量会抑制作物正常生长。这一结果与本研究中海藻酸低浓度促进,高浓度抑制相符,当海藻酸浓度  $< 800$  mg/L 时有利于玉米种子的萌发和生长,400 mg/L 时最适宜玉米种子的萌发,浓度为 200 mg/L 时最适宜玉米的根和幼苗生长。腐植酸钾对于玉米的主要作用是促进根的生长发育,增强种子活力。王红等<sup>[20]</sup>将玉米种子用 20 mg/L 的生根剂(含腐植酸钾 10%)浸种,总根长及侧根数显著高于对照,随着生根剂浓度的增加,根系长度呈现先增加后减少的趋势,这一浓度与本

研究的 1~10 mg/L 重合,但低于本研究的最适浓度,这可能与生根剂中加入了  $\alpha$ -萘乙酸钠有关。芸苔素内酯对于玉米的根长及苗高有协同促进的作用,能提高种子活力,主要是促根作用。纪秀娥<sup>[21]</sup>将不同浓度的芸苔素内酯对玉米种子浸种,低浓度芸苔素内酯对玉米种子的发芽势、发芽率具有促进作用,0.015 mg/L 浸种效果最佳,该结果明显低于本试验中对玉米种子萌发和生长最适宜的浸种浓度 0.50 mg/L,这可能与所选用的玉米品种有关。在本研究中,芸苔素内酯与腐植酸钾的混合液(HH2)比单独使用效果更好,对玉米种子的根长、苗高及发芽率均具有显著促进作用。此外,随着胺鲜酯浓度

的增加,玉米种子的萌发和生长呈现先上升后下降的趋势,其中浓度为 10 mg/L 时最适宜玉米种子萌发,浓度为 8 mg/L 时对玉米根长与苗高的生长最适宜。芸苔素内酯与胺鲜酯的混合液(HH1)与单一物质相比,可显著提高玉米的根长、苗高以及种子活力。张伟<sup>[22]</sup>将胺鲜酯与芸苔素内酯混合进行大白菜发芽试验,结果表明 2 400 : 1 的比例可提高苗高 136%,提高根长 84%,本试验中,HH1 浸种对玉米种子萌发和根生长具有一定的促进作用,当浓度为 1 mg/L 时,效果最好,但本试验的促根促苗效果未达到 136% 和 84%,可能与胺鲜酯和芸苔素内酯的比例不同及作物种类不同有关。

在盐胁迫环境下,玉米种子分别经 10 g/L 胺鲜酯、2.0 g/L 芸苔素内酯、2.0 g/L 海藻酸、2.0 g/L 腐植酸钾、4.0 g/L HH1 和 0.2 g/L HH2 包膜处理后,与对照相比均表现出较好的种子耐盐性。其中,芸苔素内酯和胺鲜酯是一种高效植物生长物质,具有很高的生物活性,能通过提高叶绿素含量、提高 POD、CAT 和 SOD 等植物保护酶活性、改变细胞膜物理透性、使植物组织保持旺盛的分生能力,来抵御盐分的损害<sup>[8]</sup>。本试验中,4.0 g/L 的芸苔素内酯和胺鲜酯复配液,与芸苔素内酯和胺鲜酯单独处理相比,发芽指数和活力指数并无显著差异,只有发芽率和苗高显著低于单一物质,这说明 HH1 会抑制玉米种子萌发和幼苗生长,削弱单一物质的抗盐能力。腐植酸钾基施改土、叶面喷施抗旱耐盐及灌溉施肥促根等已得到广泛应用,通过提高作物抗盐性能有效解决土壤盐碱化问题,缓解盐害逆境胁迫,降低土壤电导率,减少植物渗出脯氨酸,进而提高作物的抗盐胁迫能力<sup>[12]</sup>。本试验中,芸苔素内酯和腐植酸钾复配后的抗盐能力均小于单一物质,其中玉米种子的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数和苗高均与芸苔素内酯差异显著,但除苗高外,各指标与腐植酸钾无显著差异,说明复配后腐植酸钾在发挥主要抗盐作用。

## 4 结 论

本研究确定了在正常条件下,海藻酸质量浓度为 400 mg/L、腐植酸钾为 10 mg/L、胺鲜酯为 10 mg/L、芸苔素内酯为 0.50 mg/L、芸苔素内酯与胺鲜酯复配浓度为 0.5 mg/L 和芸苔素内酯与腐植酸钾复配浓度为 1.00 mg/L 时,最适宜玉米种子萌发。其中,促种子萌发效果最好的是胺鲜酯,其次是

腐植酸钾。当海藻酸质量浓度为 200 mg/L、腐植酸钾为 15 mg/L、胺鲜酯为 8 mg/L、芸苔素内酯为 1.00 mg/L、芸苔素内酯与胺鲜酯复配浓度为 1.0 mg/L、芸苔素内酯与腐植酸钾复配浓度为 0.10 mg/L 时,对玉米的根长和苗高的促进效果最好。复配后的芸苔素内酯与胺鲜酯对胚根的促进效果最佳,复配后的芸苔素内酯与腐植酸钾对胚轴的促进效果最佳,说明芸苔素内酯的 2 种复配物均具有优于单一物质的促根效果。

经适宜浓度的 4 种生物活性物质及 2 种复配液包膜后均能对盐胁迫下玉米种子的萌发产生显著影响。其中芸苔素内酯对玉米种子的发芽势、发芽率、发芽指数和苗高的作用效果最佳,海藻酸对玉米种子的根长作用效果最佳,不仅促进了种子的根生长,主根长度增加,而且侧根数量显著增多。

不同生物活性物质表现出来的促萌发促根效果和提高作物耐盐抗性,对于提高肥料、农药利用率,解决土壤盐渍化问题提供了新的思路。而且,对于设施农业土壤盐渍化状况的改善及盐碱地植物的生长有着重要的意义,有利于植物在盐胁迫环境下生存,有利于改善次生盐渍化途中的作物生存状况。

## 参考文献 References

- [1] 吕杰,王秀峰,魏珉,杨凤娟,高青海,杜栋梁,杨晓玉.不同盐处理对黄瓜幼苗生长及生理特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2007(6):1123-1128  
Lv J, Wang X F, Wei M, Yang F J, Gao Q H, Du D L, Yang X Y. Effect of different salt treatments on growth and physiological characteristics of cucumber seedlings[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007(6): 1123-1128 (in Chinese)
- [2] 潘彬荣,岳高红,刘永安,梅喜雪,许立奎.胺鲜酯对甜玉米叶片光合特征、籽粒糖分积累和产量的调控效应[J].农药学报,2015,17(6):660-666  
Pan B R, Yue G H, Liu Y A, Mei X X, Xu L K. Regulation effects of diethyl aminoethyl hexanoate on the leaf photosynthetic characteristics, the grain sugar accumulation and the yield of sweet corn[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2015, 17(6): 660-666 (in Chinese)
- [3] 梁颖. DA-6 对水稻幼苗抗冷性的影响[J].山地农业生物学报,2003(2):95-98  
Liang Y. Influence of DA-6 on cold resistance of rice seedling [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2003(2): 95-98 (in Chinese)
- [4] 张子龙. DA-6 浸种对水稻幼苗生长及抗寒性的影响[J].贵州

- 农业科学, 2001(4): 14-17  
Zhang Z L. Effects of DA-6 immersion on growth and cold resistance of rice seedlings[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2001(4): 14-17 (in Chinese)
- [5] 邹华文. 表高油菜素内酯浸种对玉米种子萌发及其生理特性的影响[J]. 湖北农学院学报, 2002(3): 193-195  
Zou H W. Effect of high brassinolide on seed germination and physiological characteristics of maize[J]. *Journal of Hubei Agricultural College*, 2002(3): 193-195 (in Chinese)
- [6] 孔祥生, 张妙霞. 油菜素内酯和多效唑对玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 1998(2): 21-23  
Kong X S, Zhang M X. Effects of brassinolide and doxazole on seed germination and seedling growth of maize[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 1998(2): 21-23 (in Chinese)
- [7] 龙友华, 邱红波, 何腾兵. 4种植物生长调节剂浸种对玉米调控效应[J]. 中国农学通报, 2011, 27(9): 106-110  
Long Y H, Qiu H B, He T B. Regulating effect of seed pretreatment with four plant growth regulators on maize[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(9): 106-110 (in Chinese)
- [8] 宋士清. 化学物质对温室黄瓜幼苗盐胁迫、灰霉病逆境的诱抗作用及其机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006  
Song S Q. Effects and mechanism of some chemicals on the resistance induction of cucumber seedlings against salt stress and *Botrytis cinerea* Persin greenhouse[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006 (in Chinese)
- [9] Craigie J S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture[J]. *Journal of Applied Phycology*, 2011, 23(3): 371-393
- [10] 周丽平, 袁亮, 赵秉强, 李燕婷, 林治安. 腐植酸促进作物根系生长机理的研究进展[J]. 腐植酸, 2019(2): 13-18  
Zhou L P, Yuan L, Zhao B Q, Li Y T, Lin Z A. Advances in research on the mechanism of humic acid promoting root growth of crops[J]. *Humic Acid*, 2019(2): 13-18 (in Chinese)
- [11] 王锋. 腐植酸钾的研制及对食用型甘薯产量品质形成的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009  
Wang F. Preparation of humate potassium and its effects on yield and quality of edible sweet potato[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2009 (in Chinese)
- [12] García-Martínez A M, Díaz A, Tejada M, Bautista, J, Rodríguez B, Santa María C, Revilla E, Parrado J. Enzymatic production of an organic soil biostimulant from wheat-condensed distiller solubles; Effects on soil biochemistry and biodiversity[J]. *Process Biochemistry*, 2010, 45(7): 1127-1133
- [13] Staden J V, Upfold S J, Drewes F E. Effect of seaweed concentrate on growth and development of the marigold *Tagetes patula*[J]. *Journal of Applied Phycology*, 1994, 6(4): 427-428.
- [14] Blunden G, Jenkins T, Liu Y W. Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract[J]. *Journal of Applied Phycology*, 1996, 8(6): 535-543
- [15] Crouch I J, Staden J V. Effect of seaweed concentrate on the establishment and yield of greenhouse tomato plants [J]. *Journal of Applied Phycology*, 1992, 4(4): 291-296
- [16] Eris A, Sivritepe H O, Sivritepe N. The effects of seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract on yield and quality criteria in peppers[J]. *Acta Horticulturae*, 1995(412): 185-192
- [17] Demir N, Dural B, Yildirim K. Effect of seaweed suspensions on seed germination of tomato, pepper and aubergine [J]. *Journal of Biological Sciences*, 2006, 6(6): 1130-1133
- [18] Kumar G, Sahoo D. Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var Pusa Gold[J]. *Journal of Applied Phycology*, 2011, 23(2): 251-255
- [19] 温延臣, 袁亮, 林治安, 赵秉强, 殷军港, 李志坚. 海藻液对玉米苗期生长的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(30): 36-39  
Wen Y C, Yuan L, Lin Z A, Zhao B Q, Yin J G, Li Z J. Effects of seaweed extract in maize seedling stage[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(30): 36-39 (in Chinese)
- [20] 王红, 宋涛, 刘辉, 杨晓云, 王敏. 不同浓度生根剂对玉米根系生长的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2016(2): 57-60  
Wang H, Song T, Liu H, Yang X Y, Wang M. Effects of different concentrations of rooting agents on the root growth of maize[J]. *Heilongjiang Agriculture Science*, 2016(2): 57-60 (in Chinese)
- [21] 纪秀娥, 史留功, 胡春红, 郭彤. 油菜素内酯对小麦、玉米种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(9): 88-89  
Ji X E, Shi L G, Hu C H, Guo T. Effect of brassinolide on seed germination of wheat and maize[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(9): 88-89 (in Chinese)
- [22] 张伟. 一种含胺鲜酯与芸苔素内酯的植物生长调节组合物. 中国专利, CN103250700A[P]. 2013-08-21  
Zhang W. The invention relates to a plant growth regulatory composition containing fresh amine ester and brassinolide. Chinese, CN103250700A[P]. 2013-08-21 (in Chinese)

责任编辑: 王燕华