

贺亭亭, 孙果丽, 薛晨晨, 等. 种衣剂与地膜覆盖对盐碱地大豆增产的协同效应[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(11): 2032-2039.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2024.11.006

## 种衣剂与地膜覆盖对盐碱地大豆增产的协同效应

贺亭亭<sup>1</sup>, 孙果丽<sup>1</sup>, 薛晨晨<sup>2</sup>, 何苏南<sup>1</sup>, 朱小梅<sup>1</sup>, 董 静<sup>1</sup>, 王 凯<sup>1</sup>, 张振华<sup>1</sup>, 邢锦城<sup>1</sup>  
(1.江苏沿海地区农业科学研究所, 江苏 盐城 224002; 2.江苏省农业科学院经济作物研究所, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 为了提高盐碱地中大豆的耐盐性并增加大豆的产量, 通过大豆萌发试验筛选种衣剂的最适活性物质组成及最优配伍质量浓度, 制成耐盐促生型种衣剂, 并分别开展大豆苗期穴盘试验、与地膜覆盖相结合的田间验证试验。结果表明, 将筛选的水杨酸、抗坏血酸、脯氨酸和磷酸二氢钾各按 3/4 最适质量浓度进行配伍后, 发芽率最高达到 75.6%; 在穴盘试验中, 种衣剂处理的大豆幼苗有明显的耐盐性, 种衣剂表现为促生作用, 地上部干重较对照增加了 25.21%, 根系相关性状也均显著优于对照; 在田间试验中, 各处理的效果整体表现为种衣剂与地膜覆盖相结合处理(T3处理)>种衣剂处理(T2处理)>地膜覆盖处理(T1处理)>对照(CK); 在 T1、T2、T3 处理下, 大豆产量分别较对照提高了 0.88 倍、12.64 倍、25.97 倍; 地膜覆盖处理的耕层土壤可溶性盐含量较 CK 低 25.76%~27.27%。由结果可以得出, 将种衣剂与地膜覆盖相结合, 不但减轻了土壤表层盐分的聚积、提高了大豆的水分利用效率, 而且通过调节大豆的生理代谢, 提高了其耐盐能力, 增加了盐碱地的大豆产量。

**关键词:** 盐碱地; 种衣剂; 地膜覆盖; 大豆; 产量

**中图分类号:** S565.101 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)11-2032-08

## The synergistic effect of seed coating agents and plastic film mulching on soybean yield in saline-alkali soil

HE Tingting<sup>1</sup>, SUN Guoli<sup>1</sup>, XUE Chenchen<sup>2</sup>, HE Sunan<sup>1</sup>, ZHU Xiaomei<sup>1</sup>, DONG Jing<sup>1</sup>, WANG Kai<sup>1</sup>, ZHANG Zhenhua<sup>1</sup>, XING Jincheng<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural Sciences in the Coastal District of Jiangsu Province, Yancheng 224002, China; 2. Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** In order to improve the salt tolerance and increase the yield of soybean in saline-alkali land, the optimal active substance composition and optimal compatibility mass concentration of the seed coating agent were screened through soybean germination experiments. The salt-tolerant and growth-promoting seed coating agent was prepared to conduct salt tolerance test during seedling stage, and combined with plastic film mulching for field verification, respectively. The results indicated that salicylic acid, ascorbic acid, proline and potassium dihydrogen phosphate increased the germination rate of soybean. When the four active substances were mixed at the respective optimal mass concentration of 3/4, the germination rate was the highest and reached 75.6%. The seed coating agent significantly enhanced the salt tolerance and promoted the growth

收稿日期: 2024-03-20

基金项目: 盐城市重点研发计划(农业)攻关项目(YCBN202314); 国家重点研发计划项目(2023YFD23001); 亚夫科技服务项目[KF(24)1219]

作者简介: 贺亭亭(1986-), 女, 山东烟台人, 博士, 助理研究员, 主要从事耐盐植物品种选育与利用方面的研究。(E-mail) ht142857@163.com

通讯作者: 邢锦城, (E-mail) sdauxxx@163.com

of soybean seedlings. The aboveground dry weight increased by 25.21% compared with the control. The root-related traits were also significantly better than those of the control group. In the field trials, the overall effect of the treatments was ranked as follows: the combination of the seed coating agent and plastic film mulching (T3 treatment) > the seed coating agent alone (T2 treatment) > plastic film mulching alone (T1 treatment) > the control (CK). Under T1, T2

and T3 treatments, soybean yield increased by 0.88 times, 12.64 times and 25.97 times compared with the control, respectively. Under plastic film mulching, the soluble salt content in topsoil was 25.76%–27.27% lower than that of CK. From the results, it can be concluded that the combination of the seed coating agent and plastic film mulching not only reduced the accumulation of salt in soil surface layer and improved water use efficiency of soybean, but also improved its salt tolerance and increased soybean yield in saline-alkali soil by regulating the physiological metabolism of soybean.

**Key words:** saline-alkali land; seed coating agent; plastic film mulching; soybean; yield

中国约有 $9.9 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>盐碱地,具有面积大、分布广、类型多的特点,其中盐渍土面积约为 $3.7 \times 10^7$  hm<sup>2</sup><sup>[1-2]</sup>。土壤盐碱化会造成土地生产力下降,是影响作物产量的核心问题之一<sup>[3]</sup>。盐碱地作为重要的后备土地资源,其有序开发与综合利用对于提高耕地质量、保障粮食安全具有重要意义。

大豆原产于中国,是主要的粮食作物之一<sup>[4]</sup>。随着社会经济的优质发展和居民膳食结构的持续健康优化,国内对大豆的需求量不断升高。国家统计局数据显示,2022年中国进口大豆 $9.108 \times 10^7$  t,对外依存度超过了80%<sup>[5]</sup>。大豆为中度耐盐作物,具有结瘤固氮、提升地力、改善土壤结构等作用。利用盐碱地种植大豆,不但能够改良土壤、降低盐分含量,而且能够增加中国的大豆产量,减少大豆的进口量。

外源活性物质具有提高植物耐盐性的作用。大量研究发现,脱落酸<sup>[6]</sup>、水杨酸<sup>[7]</sup>等活性物质作为信号分子能够调控一系列生理代谢活动,在植物应对盐胁迫的过程中发挥着重要作用。水杨酸在适宜浓度下能够促进三叶草种子的萌发<sup>[8]</sup>,增强高粱的耐盐能力,并提高产量<sup>[7]</sup>。外源施用抗坏血酸能够增强盐胁迫下苜蓿的抗氧化能力,降低H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、O<sub>2</sub><sup>-</sup>含量,促进苜蓿种子发芽和幼苗生长<sup>[9]</sup>。脯氨酸作为渗透调节物质,能够减少油菜叶片中的Na<sup>+</sup>积累量,提高K<sup>+</sup>含量,提高抗氧化酶活性,提升油菜耐盐性<sup>[10]</sup>。吴昊<sup>[11]</sup>研究发现,磷酸二氢钾能有效提升细胞的抗氧化能力,增加植物体内的抗氧化酶含量,提高细胞内的可溶性蛋白质含量,从而提高低温下花生的萌发率。以化肥和植物生长调节剂作为活性成分制成的耐盐碱型种衣剂,具有高效节约、绿色环保等特点,在土壤中能够通过不同活性成分的缓慢释放,形成适宜种子萌发和幼苗生长的微环境<sup>[12]</sup>。目前国内有关大豆种衣剂应用的研究结果显示,复合型药剂占比达90%以上,其主要成分是杀虫剂、杀菌剂、微肥和助剂等,与抗逆型种衣剂相关的研究多集中于抗旱、抗冷方面,而关于耐盐碱种衣剂的研究较少。

地膜覆盖能够改变土壤温度,其阻隔作用有利

于减少土壤水分蒸发,保持土壤湿度,降低盐分在地表的积聚量<sup>[13-14]</sup>。庞晓攀等<sup>[15]</sup>研究发现,地膜覆盖提高了紫花苜蓿对土壤水分的利用率,增加了盐胁迫下的生物量。王永慧等<sup>[16]</sup>在滨海盐碱地相关的研究中发现,地膜覆盖能够保持棉花根区水分,增加结铃数,提升铃质量,提高棉花产量。吕雯等<sup>[17]</sup>发现,地膜覆盖处理与无覆盖常规种植相比显著提高了宁夏盐碱地中油葵的株高、茎粗、单盘粒重和百粒重,产量提高了38.65%。

本研究从激素、渗透调节剂、抗氧化剂和化肥中筛选活性物质,确定最适活性物质组成及最优配伍质量浓度,研制大豆耐盐促生型种衣剂;通过苗期耐盐试验,验证种衣剂对大豆干物质积累、根系生长发育的影响;将种衣剂与地膜覆盖处理相结合,通过调查盐碱地中大豆成熟期产量和品质的相关指标及土壤性质,分别研究种衣剂、地膜覆盖处理对大豆耐盐生长的作用效果,并分析比较各处理土壤中的养分、盐分含量差异,阐述其对盐碱地土壤改良的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 种衣剂的研制

供试品种徐豆18由江苏沿海地区农业科学研究所提供。挑选健康饱满的大豆种子,用1%次氯酸钠浸泡消毒25 min后,用无菌水冲洗并吸净种子表面的水分。将滤纸平铺在培养皿中,加入15 mL 0.9% NaCl溶液浸润滤纸,再放入30粒种子,即为对照。试验组溶液为用0.9% NaCl配制的不同质量浓度(2.0 mg/L、3.5 mg/L、5.0 mg/L、7.0 mg/L、10.0 mg/L)的赤霉素溶液、不同质量浓度(5 mg/L、10 mg/L、20 mg/L、30 mg/L、50 mg/L)的水杨酸溶液、不同质量浓度(20 mg/L、30 mg/L、50 mg/L、70 mg/L、100 mg/L)的抗坏血酸溶液、不同质量浓度(100 mg/L、150 mg/L、200 mg/L、250 mg/L、300 mg/L)的脯氨酸溶液、不同质量浓度(10 mg/L、20 mg/L、30 mg/L、40 mg/L、60 mg/L)的尿素溶液和不

同质量浓度 (100 mg/L、200 mg/L、250 mg/L、300 mg/L、500 mg/L) 的磷酸二氢钾溶液, 以上活性物质质量浓度梯度的设定均依据预试验的结果。7 d 后统计对照、试验组大豆种子的发芽率、胚根长度。发芽率 = (发芽种子数量/种子总数) × 100%, 当胚根长度大于种子纵径的一半时则视为发芽。根据试验结果确定种衣剂的最适活性成分组成和质量浓度。

## 1.2 苗期生长穴盘试验

将筛选的水杨酸、抗坏血酸、脯氨酸、磷酸二氢钾 4 种活性物质按照试验确定的最适质量浓度比例进行砂磨后, 委托河南中州种子科技发展有限公司制成大豆耐盐促生型的悬浮种衣剂。将颗粒饱满的大豆种子用种衣剂进行包衣处理, 并以用水处理的种子作为对照, 拌匀、阴干后将大豆种于 50 孔穴盘 (长 54 cm, 宽 28 cm, 高 11 cm) 中, 每穴播种 1 粒种子, 每个处理设 3 个重复, 培养温度为 25~28 °C, 光照时长为 13~14 h/d。出苗前用 100 mmol/L NaCl 溶液进行培养, 出苗后将 NaCl 溶液浓度提升至 200 mmol/L。10 d 后测定株高、地上部干重、叶片 SPAD 值, 并利用根系分析系统 WinRHIZO2019a<sup>[18]</sup> 测定根系的相关指标。

## 1.3 田间验证试验

本试验在江苏省盐城市大丰区滩涂农业示范基地 (32°59'45"N, 120°49'30"E) 开展, 年均气温为 13~16 °C, 年均降雨量为 900~1 300 mm, 年日照长度为 2 100~2 600 h。选取轻度盐碱地进行大豆的种植, 供试土壤基本状况如下: pH 值 8.43, 可溶性盐含量 1.24 g/kg, 有机质含量 10.76 g/kg, 碱解氮、有效磷、速效钾含量分别为 15.90 mg/kg、19.80 mg/kg、97.55 mg/kg。

1.3.1 试验设计 设置 1 个对照和 3 个处理, 3 个处理分别为黑色地膜覆盖处理 (T1 处理)、种衣剂处理 (T2) 处理、种衣剂结合黑色地膜覆盖处理 (T3 处理), 每个处理设 3 个重复, 各小区大小为 3 m × 5 m, 行距 × 株距为 45 cm × (20~25) cm, 每穴播种 3 粒种子。

1.3.2 样品采集与测定方法 在大豆成熟期分别调查株高、单株有效荚数、单株粒数、百粒重等产量指标, 用 FOSS 近红外谷物品质分析仪 (Infratec™ 1241)<sup>[19]</sup> 测定籽粒中的粗蛋白、粗脂肪含量。采用 5 点取样法对收获后小区的 0~20 cm 土层土壤进行取样。将土壤样品阴干后过筛, 采用电位法、重铬酸钾氧化-外加加热法、碱解-扩散法、碳酸氢铵浸提-钼锑抗比色法、乙酸铵浸提-火焰光度计法、残渣烘干-质

量法分别测定 pH 值、有机质含量、碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量、可溶性盐含量<sup>[20]</sup>。

## 1.4 数据分析

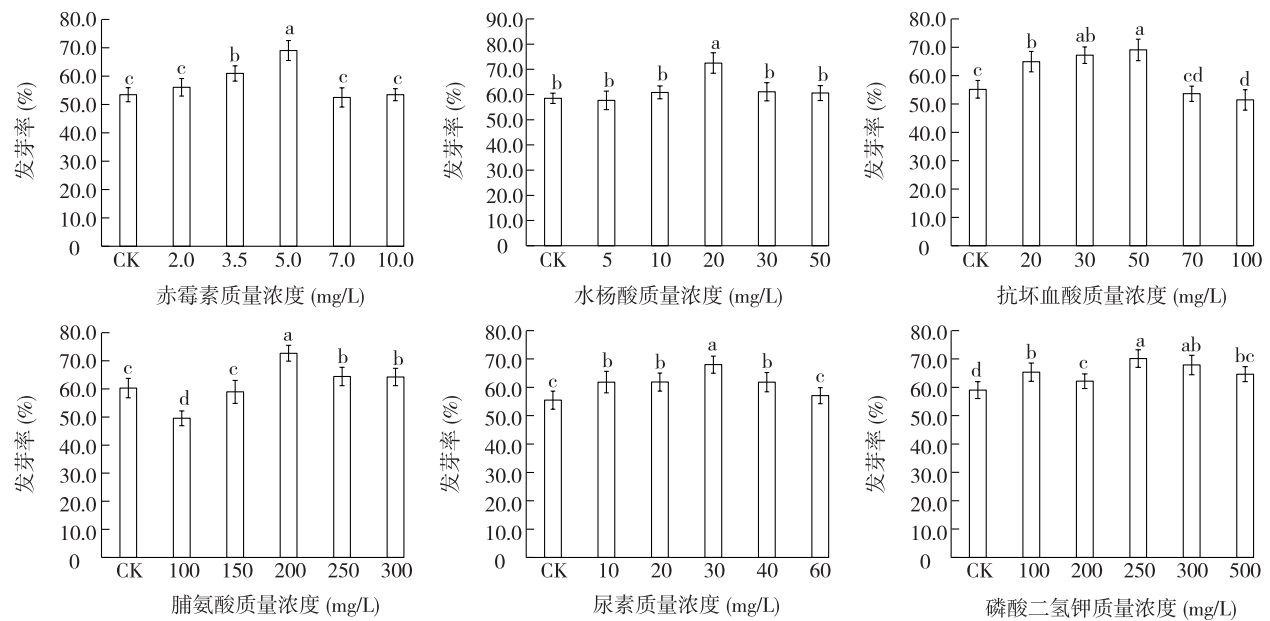
用 SPSS Statistics 20.0 软件统计并分析试验数据, 用 Duncan's 新复极差法检测数据的差异显著性, 用 Excel 2021 和 Origin 2021 软件作图。

# 2 结果与分析

## 2.1 种衣剂活性物质的筛选及配伍

2.1.1 发芽率 由图 1 可知, 在盐胁迫下, 大豆在不同质量浓度各活性物质处理下的发芽率存在差异。对于同一种活性物质而言, 随着活性物质质量浓度的提高, 发芽率整体呈现先升高后降低的趋势。0.9% NaCl 溶液 (CK) 处理的大豆发芽率为 53.5%~60.3%。当外源赤霉素、水杨酸质量浓度分别为 5.0 mg/L、20 mg/L 时, 大豆的发芽率均最高, 分别为 69.9%、72.5%, 与对照相比分别提高了 21.97%、23.93%。当抗坏血酸质量浓度为 50 mg/L 时发芽率最高, 为 69.1%, 比对照提高了 25.18%; 当抗坏血酸质量浓度超过 50 mg/L 后, 发芽率显著下降。当脯氨酸质量浓度为 200 mg/L 时, 与 CK 相比使大豆的发芽率提高了 20.56%, 达到 72.7%。此外, 试验结果表明, 尿素、磷酸二氢钾对盐胁迫下的大豆发芽率具有提升作用, 最适质量浓度分别为 30 mg/L、250 mg/L, 与对照相比发芽率分别提高了 22.52%、18.81%。

2.1.2 胚根长度 表 1~表 4 列出了不同活性物质在各质量浓度处理下对大豆胚根长度的影响。由表 1、表 4 可以看出, 与对照相比, 水杨酸、磷酸二氢钾具有显著促进大豆胚根耐盐伸长的作用。当水杨酸质量浓度为 20 mg/L 时, 大豆胚根长度排名前 20 的平均长度和最长胚根长度均最高。当磷酸二氢钾质量浓度为 250 mg/L 时, 大豆胚根长度的平均值显著高于其他质量浓度下的胚根长度。因此可推测, 水杨酸和磷酸二氢钾提高大豆发芽率的最适质量浓度与促进胚根伸长的最适质量浓度基本一致。从整体上看, 抗坏血酸对胚根的伸长作用不明显, 但是当质量浓度为 30 mg/L 时, 胚根长度排名前 20 的平均长度为 25.77 cm, 较对照的 21.51 cm 明显增加 (表 2)。相比之下, 脯氨酸在试验所用质量浓度范围内没有表现出明显促进盐胁迫下大豆胚根生长的效果 (表 3)。用赤霉素、尿素处理过的大豆胚根多数弯曲并呈螺旋状盘绕, 因此不进行数据统计。



不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。  
图 1 不同活性物质在各质量浓度处理下对大豆发芽率的影响

Fig.1 Effects of different active substances on the germination rate of soybean under different mass concentrations

表 1 水杨酸在各质量浓度处理下对大豆胚根长度的影响  
Table 1 Effects of salicylic acid on soybean radicle length at different mass concentrations

水杨酸 质量浓度 (mg/L)	平均胚根 长度 (cm)	胚根长度排名 前 20 的平均长度 (cm)	最长胚根 长度 (cm)
0	19.47±1.02c	21.74±1.03e	30.93
5	19.88±1.64bc	22.99±1.72d	40.95
10	20.60±1.43b	25.54±1.47c	36.76
20	20.67±1.41b	27.49±1.41a	45.60
30	22.29±1.50a	25.72±1.03bc	33.25
50	22.31±1.55a	26.80±1.23ab	35.47

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

表 2 抗坏血酸在各质量浓度处理下对大豆胚根长度的影响  
Table 2 Effects of ascorbic acid on soybean radicle length under different mass concentrations

抗坏血酸 质量浓度 (mg/L)	平均胚根 长度 (cm)	胚根长度排名 前 20 的平均长度 (cm)	最长胚根 长度 (cm)
0	19.05±1.29ab	21.51±1.34c	31.95
20	19.51±1.36a	24.27±1.18b	34.56
30	19.66±1.46a	25.77±1.57a	44.96
50	18.86±1.25ab	24.17±1.30b	39.14
70	18.79±1.77ab	21.89±1.96c	41.05
100	18.12±1.48b	20.84±1.58c	43.82

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

2.1.3 活性物质配伍 综合上述结果,赤霉素、尿素虽然有助于提升盐胁迫下大豆的发芽率,但是胚根发育不正常,因此选用其余 4 种活性物质研制大豆耐盐促生型种衣剂。以各活性物质提高盐胁迫下大豆发芽率的最佳质量浓度为依据,按照不同质量浓度比例进行配伍,结果见表 5。试验结果表明,在 3/4 质量浓度配比下,大豆的发芽率最高,达到 75.6%(图 2)。因此,本研究选用水杨酸、抗坏血酸、脯氨酸和磷酸二氢钾作为种衣剂活性物质,按照 3/4 的最佳配伍质量浓度制成大豆耐盐促生型种衣剂。

表 3 脯氨酸在各质量浓度处理下对大豆胚根长度的影响  
Table 3 Effects of proline on soybean radicle length under different mass concentrations

脯氨酸质量 浓度 (mg/L)	平均胚根 长度 (cm)	胚根长度排名 前 20 的平均长度 (cm)	最长胚根 长度 (cm)
0	22.02±1.20a	26.19±1.08a	31.80
100	19.46±1.65c	20.51±1.63c	36.31
150	18.32±1.09d	21.55±1.01c	28.71
200	17.56±1.05e	23.38±0.85b	28.57
250	20.99±0.97b	23.94±0.61b	30.60
300	19.92±1.10c	24.03±0.66b	28.69

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。



表 4 磷酸二氢钾在各质量浓度处理下对大豆胚根长度的影响

Table 4 Effects of potassium dihydrogen phosphate on soybean radicle length under different mass concentrations

磷酸二氢钾 质量浓度 (mg/L)	平均胚根 长度 (cm)	胚根长度排名 前 20 的平均长度 (cm)	最长胚根 长度 (cm)
0	18.29±1.35d	21.57±1.26e	29.83
100	18.43±1.24cd	22.71±0.96d	35.21
200	22.00±1.59b	24.74±1.42c	41.73
250	24.08±1.43a	29.75±1.40a	38.74
300	22.80±1.72b	27.27±1.46b	36.85
500	19.60±1.27c	23.28±1.21d	31.76

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

表 5 活性物质的不同质量浓度配伍组合

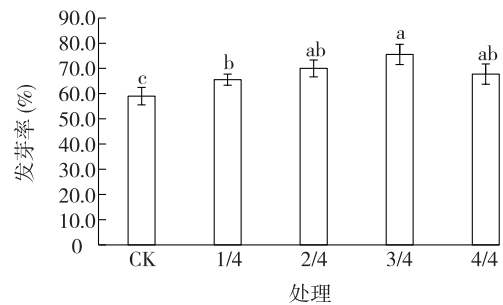
Table 5 Compatibility of active substances in different proportions

配伍比例	水杨酸 质量浓度 (mg/L)	抗坏血酸 质量浓度 (mg/L)	脯氨酸 质量浓度 (mg/L)	磷酸二氢钾 质量浓度 (mg/L)
1/4	5	12.5	50	62.5
2/4	10	25.0	100	125.0
3/4	15	37.5	150	187.5
4/4	20	50.0	200	250.0

## 2.2 种衣剂的苗期试验

穴盘试验结果表明,在盐胁迫下,试验组的大豆

出苗率比对照提高了 2.06%。由表 6 可知,种衣剂处理能够明显促进大豆的抗盐生长。试验组的平均株高较对照提高了 17.97%,差异显著 ( $P<0.05$ )。与对照相比,种衣剂处理组的地上部干重增加了 53.97 mg,地上部干重提高了 25.21%。对照与种衣剂处理组叶片的 SPAD 值无显著差异。种衣剂处理组的根长、根表面积、根系总长度和总根尖数均显著高于对照,分别提高了 23.85%、29.41%、40.35%和 84.40%。该结果表明,使用种衣剂有利于促进大豆侧根的形成和生长,提高大豆幼苗的耐盐性。



不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。1/4、2/4、3/4、4/4 表示配伍比例。

图 2 活性物质的不同配伍比例对盐胁迫下大豆发芽率的影响

Fig. 2 Effects of different compatibility ratios of active substances on soybean germination rate under salt stress

表 6 NaCl 胁迫下种衣剂对大豆幼苗生长指标的影响

Table 6 Effects of seed coating agents on growth indices of soybean seedlings under NaCl stress

处理	株高 (cm)	SPAD 值	地上部干重 (mg)	根长 (cm)	根表面积 (cm <sup>2</sup> )	根系总长度 (cm)	总根尖数 (条)
对照	16.08±0.33b	33.55±0.34a	214.06±11.59b	9.60±0.58b	12.65±0.44b	191.98±9.68b	546.70±52.32b
种衣剂	18.97±0.35a	33.62±0.65a	268.03±12.04a	11.89±0.56a	16.37±0.81a	269.44±15.99a	1 008.10±90.45a

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

## 2.3 种衣剂与地膜覆盖的田间验证

2.3.1 对大豆生长和产量的影响 由表 7 可以看出,与 CK 相比,T1、T2、T3 处理的大豆产量分别提高了 0.88 倍、12.64 倍、25.97 倍。T2、T3 处理提高盐碱地的大豆产量主要是通过提高出苗率、促进植株生长来实现的。与 CK 相比,T2 处理的大豆株高增加了 18.97%,T3 处理的株高提高了 49.74%,差异均显著 ( $P<0.05$ )。与 CK 相比,T2 处理大豆的单株有效荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重分别提高了 69.81%、50.94%、50.72%、3.73%,T3 处理大豆的单株有效荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重分别提高了 111.92%、112.86%、134.38%、9.65%,差异

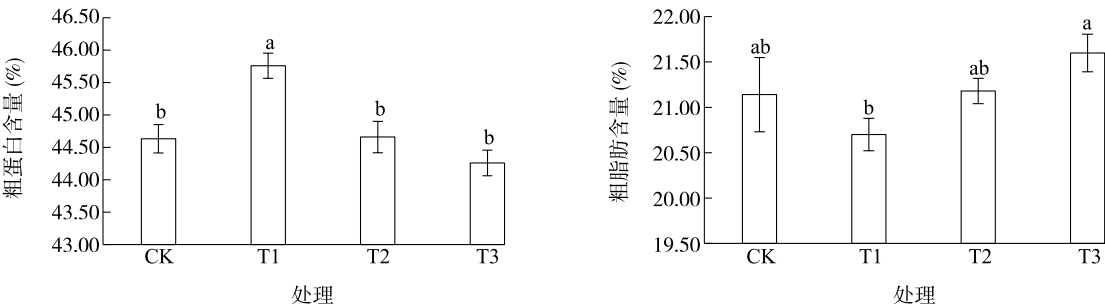
均显著 ( $P<0.05$ )。与 CK 相比,虽然 T1 处理的各产量相关指标存在优势,但是均未表现出显著差异。由此可以得出,对照与 3 种处理的作用效果排序总体为种衣剂与地膜覆盖相结合 (T3 处理)>种衣剂 (T2 处理)>地膜覆盖 (T1 处理)>对照 (CK)。

2.3.2 对大豆品质的影响 由图 3 可以看出,在 T2、T3 处理下,大豆粗蛋白含量与 CK 相比无显著差异。T1 处理的粗蛋白含量为 45.76%,较 CK 的 44.63%提高了 2.53%,并与其他处理间差异显著。在 CK、T2 和 T3 处理下,大豆的粗脂肪含量分别为 21.14%、21.18%和 21.60%,无显著差异;T1 处理的粗脂肪含量为 20.70%,显著低于 T3 处理。

表 7 种衣剂与地膜覆盖对盐胁迫下大豆成熟期产量相关性状的影响

处理	株高 (cm)	单株有效荚数 (个)	单株粒数 (粒)	单株粒重 (g)	百粒重 (g)	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
CK	31.10±2.20c	23.75±2.10c	35.00±4.84c	8.32±1.56c	24.67±0.04c	32.40±2.14d
T1	32.18±1.82bc	32.33±3.28bc	45.67±2.51bc	10.95±1.15bc	24.42±0.08c	61.05±6.94c
T2	37.00±2.27b	40.33±3.69ab	52.83±5.04b	12.54±1.09b	25.59±0.14b	442.05±25.96b
T3	46.57±2.48a	50.33±5.44a	74.50±5.88a	19.50±0.81a	27.05±0.46a	873.90±53.32a

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。



不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。  
图 3 种衣剂和地膜覆盖对盐胁迫下大豆品质相关性状的影响

Fig.3 Effects of seed coating agents and plastic film mulching on soybean quality-related traits under salt stress

2.3.3 对土壤性质的影响 大豆成熟期土壤性质指标测定结果(表 8)表明,在 T2 处理下,土壤 pH 值的降幅最大,有机质含量明显提升,较 CK 增加了 25.80%。这可能是受到大豆叶片脱落腐解、根系及其分泌物的影响。在 T3 处理下,地膜内碱解氮含量

显著下降,与 CK 相比降低了 31.55%,但速效钾含量较 CK 显著增加。CK 与 T2 处理土壤中的可溶性盐含量较高,与其他处理相比差异显著。T1、T3 处理的土壤可溶性盐含量相对较低,分别较对照低 25.76%、27.27%。

表 8 不同处理下大豆种植后土壤性质的变化

处理	pH 值	有机质含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	可溶性盐含量 (g/kg)
CK	8.32±0.09c	9.65±0.64d	14.01±1.33b	21.27±0.77b	96.75±1.38c	1.98±0.19a
T1	8.46±0.02b	10.64±0.04bcd	15.55±0.59ab	24.00±1.17a	97.59±0.71c	1.47±0.04b
T2	8.19±0.02d	12.14±0.16a	18.52±1.25a	19.33±1.27b	103.62±0.72b	1.87±0.14a
T3	8.65±0.01a	10.95±0.04bc	9.59±3.02c	20.80±0.46b	111.20±1.30a	1.44±0.03b

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

3 讨论

3.1 活性物质对大豆耐盐萌发的影响

外源活性物质能够通过渗透调节、激素调节等方式促进种子萌发,增强植株对盐碱、干旱等逆境的耐受性<sup>[21-25]</sup>。水杨酸在适宜浓度下能够调节植物中植物激素的积累,缓解盐胁迫造成的氧化损伤<sup>[26-27]</sup>,并且能够提高植物的光合作用,维持盐胁迫下植物的离子稳态<sup>[28]</sup>。脯氨酸含量的增加是植物应对盐胁迫的

重要手段<sup>[29]</sup>。通过外源添加脯氨酸,能够促进植物中内源脯氨酸的积累,维持细胞的渗透势、保障细胞膜的稳定性<sup>[30]</sup>,从而增加植物的耐盐性。但有研究结果表明,对种子进行水杨酸处理会降低盐胁迫下小麦、甜椒中的脯氨酸含量<sup>[31-32]</sup>。因此,在本研究的种衣剂中同时添加了水杨酸、脯氨酸。抗坏血酸是一种通用的非酶类抗氧化剂,具有清除活性氧的能力,并且与脯氨酸类似,可以通过外源添加抗坏血酸来缓解盐胁迫对植物的伤害<sup>[33]</sup>。此外,抗坏血酸价格低廉、

副作用少,已被广泛应用于植物耐逆性研究中<sup>[9]</sup>。本研究结果表明,随着外源活性物质质量浓度的提高,盐胁迫下的大豆发芽率均呈现出先升高后降低的趋势,与前人的研究结果<sup>[34-36]</sup>相符。此外,活性物质还会影响大豆胚根的伸长,但是在影响发芽率、胚根伸长的最适质量浓度方面,尚无完全一致的研究结果。在盐胁迫下外源施用赤霉素、尿素后,大豆胚根的卷曲较为严重。本研究中,赤霉素、尿素提高种子耐盐性的作用机制可能与其他4种活性物质并不相同。

### 3.2 耐盐促生型种衣剂对大豆生长发育的影响

种衣剂能够直接作用于植物种子和幼苗,提高其耐逆能力并增加产量。Rady等<sup>[37]</sup>的研究结果表明,在盐胁迫下,抗坏血酸-脯氨酸-还原型谷胱甘肽组合浸种处理的玉米幼苗长势显著优于各组分单独浸种处理,内源游离脯氨酸、抗坏血酸和还原型谷胱甘肽含量较对照明显增加。本研究的盐胁迫发芽试验结果也表明,将4种活性物质按比例混合后,大豆发芽率最高达到75.6%,高于各组分单独处理的发芽率。本研究中的耐盐促生型种衣剂,通过水杨酸减弱了盐分对大豆萌发的抑制作用,促进了胚根的伸长和生物量的积累,可能由于脯氨酸、抗坏血酸缓解了渗透胁迫,提高了抗氧化能力,磷酸二氢钾则为大豆幼苗生长提供了养分。验证试验结果表明,种衣剂在大豆苗期能够显著促进盐胁迫下的植株生长、地上部干物质积累和根系生长发育,在大豆成熟期更是对于提升单株有效荚数、单株粒数和单株粒重等关键农艺性状具有明显的作用。关于种衣剂对于大豆营养生长和生殖生长的促进作用,本研究结果与前人的研究结果<sup>[38-39]</sup>相似。在轻度盐碱地试验中,种衣剂处理显著提高了大豆的发芽率,且植株的一致性较强。在苗期的穴盘耐盐试验中,可能由于NaCl处理浓度过高,导致种衣剂提高发芽率的效果不显著,但是对幼苗的促生效果明显。Ghassemi-Golezani等<sup>[40]</sup>发现,随着大豆所受盐胁迫程度的提高,导致蛋白质含量降低、油分含量相对增加。由本研究结果可知,CK、T2处理较T1处理的粗蛋白含量降低,可能与土壤盐分含量较高相关。郑绍辉等<sup>[41]</sup>研究发现,大豆成熟期需要吸收大量氮素来完成籽粒中高蛋白的合成与积累。因此本研究中T3处理下的大豆粗蛋白含量降低可能与田块氮素含量低、吸收的氮素营养不足有关。

### 3.3 地膜覆盖对大豆耐盐生长的影响

地膜覆盖有益于盐碱地控盐增产。有研究发现,

地膜覆盖与不覆盖相比能够显著降低土壤的水分蒸发量,提高土壤含水率<sup>[42]</sup>。在本研究中,CK田块的大豆出苗率低,地表裸露,造成大量土壤水分蒸发,盐分随着土壤毛细管上升至土壤表面,进一步加剧了大豆受到的盐胁迫程度,同时雨水的淋洗作用也造成土壤有机质含量明显下降,因此无地膜覆盖条件下的大豆产量低。覆膜处理后,水分蒸发并在地膜内部聚集成水珠,随后再滴入土壤,该过程有利于降低表层土壤盐分含量,缓解耕层土壤盐分含量变化<sup>[43]</sup>。本研究结果显示,T1处理、T3处理膜内的土壤可溶性盐含量显著低于CK、T2处理。由此可见,地膜覆盖处理为大豆提供了相对较好的水盐环境,有利于增加产量。

## 4 结论

本研究以水杨酸、抗坏血酸、脯氨酸和磷酸二氢钾作为活性成分,研制出了大豆耐盐促生型种衣剂。该种衣剂能提高大豆在盐碱地中的发芽率,增强植株的耐盐能力,并促进大豆生长。但是,随着胁迫程度的提高,种衣剂提高发芽率的效果会减弱。地膜覆盖能够减少土壤水分的蒸发量,保持土壤的温度和湿度,降低耕作层的盐分含量,并减轻雨水对土壤养分的淋洗作用。从大豆增产效果来看,表现为种衣剂与地膜覆盖相结合处理>种衣剂处理>地膜覆盖处理>裸种。种衣剂与地膜覆盖相结合主要通过增强植株的耐盐能力和降低土壤含盐量2种途径增加盐碱地中的大豆产量。

### 参考文献:

- [1] 杨劲松,姚荣江,王相平,等. 中国盐渍土研究:历程、现状与展望[J]. 土壤学报,2022,59(1):10-27.
- [2] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [3] LÄUCHLI A, GRATTAN S R. Plant growth and development under salinity stress[M]//JENKS M A, HASEGAWA P M, JAIN S M. Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops. Dordrecht:Springer,2007:1-32.
- [4] 崔宁波,郭翔宇. 我国大豆生产技术与应用的经济分析[M]. 北京:中国农业出版社,2010.
- [5] 国家统计局. 中华人民共和国2022年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2023-02-28). [https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202302/t20230228\\_1919011.html](https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202302/t20230228_1919011.html), National Bureau of Statistics.
- [6] LI X Y, LI S X, WANG J H, et al. Exogenous abscisic acid alleviates harmful effect of salt and alkali stresses on wheat seedlings[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2020,17(11):3770.
- [7] JANGRA M, DEVI S, SATPAL, et al. Correction to:amelioration effect of salicylic acid under salt stress in *Sorghum bicolor* L[J]. Applied Biochemistry and Biotechnology,2022,194(8):3802.

- [8] 吴志毅,曹克璠,陈海军,等. 外源水杨酸对盐胁迫下三叶草种子萌发特征的影响[J]. 绿色科技,2023,25(1):85-93.
- [9] CHEN Z, CAO X L, NIU J P. Effects of exogenous ascorbic acid on seed germination and seedling salt-tolerance of alfalfa[J]. PLoS One,2021,16(4):e0250926.
- [10] 鲁克嵩,闫磊,侯佳玉,等. 盐胁迫下外源脯氨酸对油菜  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  平衡、生长及抗氧化系统的影响[J]. 华中农业大学学报,2023,42(5):141-148.
- [11] 吴昊. 磷酸二氢钾对提高花生萌发期耐低温胁迫能力的影响[J]. 黑龙江粮食,2023(12):59-61.
- [12] 聂呈荣,凌菱生. 温度处理不同种质花生种子对萌发和幼苗生长的影响[J]. 花生科技,1997(2):1-5.
- [13] 张殿发,郑琦宏,董志颖. 冻融条件下土壤中水盐运移机理探讨[J]. 水土保持通报,2005,25(6):14-18.
- [14] ZHAO Y G, LI Y Y, WANG J, et al. Buried straw layer plus plastic mulching reduces soil salinity and increases sunflower yield in saline soils[J]. Soil and Tillage Research,2016,155:363-370.
- [15] 庞晓攀,张静,刘慧霞,等. 地膜覆盖对盐碱地紫花苜蓿生长性状及产量的影响[J]. 草业科学,2015,32(9):1482-1488.
- [16] 王永慧,孙艳茹,陈建平,等. 滩涂盐碱地不同种植方式的生态效应及对棉花产量的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(15):137-140.
- [17] 吕雯,孙兆军,李茜,等. 不同覆盖方式对盐碱原土壤水分和油菜产量的影响[J]. 安徽农业科学,2017,45(14):26-28,38.
- [18] 张立芸,段青松,范茂攀,等. 玉米和大豆根系对滇中地区坡耕地红黏土抗剪强度的影响[J]. 土壤学报,2022,59(6):1527-1539.
- [19] 朱大洲,黄文江,马智宏,等. 基于近红外网络的小麦品质监测[J]. 中国农业科学,2011,44(9):1806-1814.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [21] THAKUR M, TIWARI S, KATARIA S, et al. Recent advances in seed priming strategies for enhancing planting value of vegetable seeds[J]. Scientia Horticulturae,2022,305:111355.
- [22] 张雪莲,罗德旭,杨红,等. 外源褪黑素和硒对高温胁迫下辣椒生理特性和抗氧化系统的影响[J]. 江苏农业学报,2023,39(8):1729-1738.
- [23] 闫锋. 外源水杨酸对低温胁迫下谷子幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(7):86-91.
- [24] 潘家丽,覃子倚,李静,等. 外源过氧化氢处理对采后荔枝褐变及活性氧代谢的影响[J]. 南方农业学报,2022,53(5):1227-1234.
- [25] 钟心怡,张文霞,邓嘉欣,等. GSH 与 NO 协同处理对番茄贮藏品质及抗氧化性的影响[J]. 南方农业学报,2022,53(1):157-165.
- [26] CHEN H N, TAO L Y, SHI J M, et al. Exogenous salicylic acid signal reveals an osmotic regulatory role in priming the seed germination of *Leymus chinensis* under salt-alkali stress[J]. Environmental and Experimental Botany,2021,188:104498.
- [27] ESMAEILI M, HEIDARZADE A. Enhance the allelopathic potential of two rice cultivar (*Oryza sativa* L.) by foliar application of salicylic acid under salinity stress[J]. International Journal of Bio-sciences,2015,6(4):177-183.
- [28] LIU Z G, MA C Y, HOU L, et al. Exogenous SA affects rice seed germination under salt stress by regulating  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  balance and endogenous GAs and ABA homeostasis[J]. International Journal of Molecular Sciences,2022,23(6):3293.
- [29] RADY M M, MOHAMED G F. Modulation of salt stress effects on the growth,physio-chemical attributes and yields of *Phaseolus vulgaris* L. plants by the combined application of salicylic acid and *Moringa oleifera* leaf extract[J]. Scientia Horticulturae,2015,193:105-113.
- [30] ABDELHAMID M T, RADY M M, OSMAN A S, et al. Exogenous application of proline alleviates salt-induced oxidative stress in *Phaseolus vulgaris* L. plants[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology,2013,88(4):439-446.
- [31] EL-HAWARY M M, HASHEM O S M, HASANUZZAMAN M. Seed priming and foliar application with ascorbic acid and salicylic acid mitigate salt stress in wheat[J]. Agronomy,2023,13(2):493.
- [32] ABDELAAL K A, EL-MAGHRABY L M, ELANSARY H, et al. Treatment of sweet pepper with stress tolerance-inducing compounds alleviates salinity stress oxidative damage by mediating the physio-biochemical activities and antioxidant systems[J]. Agronomy,2019,10(1):26.
- [33] BILLAH M, ROHMAN M M, HOSSAIN N, et al. Exogenous ascorbic acid improved tolerance in maize (*Zea mays* L.) by increasing antioxidant activity under salinity stress[J]. African Journal of Agricultural Research,2017,12(17):1437-1446.
- [34] 华智锐,李小玲. 外源抗坏血酸对盐胁迫下商麦 1619 生长生理的影响[J]. 江西农业学报,2019,31(9):1-8.
- [35] 马广民. 水杨酸对盐胁迫下苦瓜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国瓜菜,2024,37(2):100-105.
- [36] 刘丽苹,汪军成,司二静,等. 外源甜菜碱和脯氨酸对盐胁迫下大麦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 麦类作物学报,2023,43(6):766-774.
- [37] RADY M M, HEMIDA K A. Sequenced application of ascorbate-proline-glutathione improves salt tolerance in maize seedlings[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety,2016,133:252-259.
- [38] 訾勇,孙玉霞,王瑞霞. 不同种衣剂对大豆生长发育和产量的影响[J]. 农业科技通讯,2016(8):81-82.
- [39] 侯鑫格,颜士宇,郑永基,等. 黑龙江大豆种衣剂品种的筛选与应用[J]. 黑龙江科学,2021,12(8):42-43.
- [40] GHASSEMI-GOLEZANI K, TAIFEH-NOORI M, OUSTAN S, et al. Oil and protein accumulation in soybean grains under salinity stress[J]. Notulae Scientia Biologicae,2010,2(2):64-67.
- [41] 郑绍辉,赵鑫,MDMATIUL I. 大豆鼓粒期的氮积累及转移对产量的影响[J]. 土壤与作物,2017,6(1):1-8.
- [42] 王青松,冯浩,董勤各,等. 地膜覆盖对河套灌区春玉米耗水结构及水分利用的影响[J]. 灌溉排水学报,2021,40(8):10-18.
- [43] 张玉洁,王宁,杨彬,等. 不同颜色地膜覆盖对盐碱地水盐状况及向日葵产量和水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报,2023,42(11):1-10.

(责任编辑:徐艳)