

# 甲基磺酸乙酯(EMS)诱变对辣椒种子萌发及幼苗生理特性的影响

刘赵帆<sup>1</sup>, 李喜娥<sup>1</sup>, 白锐琴<sup>1</sup>, 张亚星<sup>1</sup>, 马彦霞<sup>2</sup>, 陈奕博<sup>1</sup>, 李明<sup>1</sup>

(1. 平凉市农业科学院 甘肃平凉 744000; 2. 甘肃省农业科学院蔬菜研究所 兰州 730000)

**摘要:**为筛选出甲基磺酸乙酯(EMS)诱变辣椒种子的最佳处理条件。本试验以平椒骨干亲本0135为材料,采用培养皿萌发与营养土育苗的方法,以蒸馏水为对照,研究用不同EMS浓度( $w$ ,后同)(0.7%、0.8%、0.9%、1.0%、1.1%、1.2%、1.3%)浸种16 h的诱变处理对辣椒种子萌发(发芽势、发芽率、发芽指数)、辣椒出苗率、辣椒幼苗建成评价指标(株高、茎粗、根长、地上部干鲜质量、地下部干鲜质量、光合色素含量)以及辣椒叶片中MDA含量、POD活性、CAT活性、SOD活性的影响。结果表明,EMS处理显著抑制了辣椒种子的萌发和出苗。辣椒种子的发芽势、发芽率、发芽指数和出苗率均随EMS浓度的升高而下降。当EMS浓度为1.1%时,辣椒发芽率(45.33%)和成苗率(42.27%)最接近半致死剂量;EMS诱变处理显著降低了幼苗叶片中光合色素含量,也显著增加了幼苗叶片中的MDA含量,且含量与EMS浓度呈正相关,EMS浓度小于1.2%时,会促进幼苗叶片中SOD活性、CAT活性、POD活性的升高,当EMS浓度为1.3%时,依然会促进CAT活性升高,却抑制SOD活性和POD活性。综上,在本试验条件下EMS浓度为1.1%是辣椒诱变的最佳处理。

**关键词:**辣椒; 甲基磺酸乙酯(EMS); 诱变; 种子萌发; 幼苗生理特性

中图分类号:S641.3

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)12-196-07

## Effects of ethyl methanesulfonate (EMS) mutagenesis on seed germination and seedling physiological characteristics of chili pepper

LIU Zhaofan<sup>1</sup>, LI Xi'e<sup>1</sup>, BAI Ruiqin<sup>1</sup>, ZHANG Yaxing<sup>1</sup>, MA Yanxia<sup>2</sup>, CHEN Yibo<sup>1</sup>, LI Ming<sup>1</sup>

(1. Pingliang Academy of Agricultural Sciences, Pingliang 744000, Gansu, China; 2. Vegetable Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China)

**Abstract:** To identify the optimal treatment conditions for ethyl methanesulfonate (EMS) mutagenesis of chili pepper seeds, this experiment used the founder parent line 0135 of Pingjiao pepper as material. Employing both petri dish germination and nursery tray seedling cultivation methods, with distilled water as the control, the study investigated the effects of 16-hour seed soaking treatments with different EMS concentrations (0.7%, 0.8%, 0.9%, 1.0%, 1.1%, 1.2%, and 1.3%) on chili pepper seed germination (germination potential, germination rate, germination index), seedling emergence rate, seedling establishment evaluation indices (plant height, stem thickness, root length, fresh and dry mass of aboveground and underground parts, photosynthetic pigment content), as well as MDA content, and POD, CAT, and SOD activity in the leaves. The results indicated that EMS treatment significantly inhibited chili pepper seed germination and seedling emergence. The germination potential, germination rate, germination index, and seedling emergence rate all decreased with the increasing EMS concentration. At an EMS concentration of 1.1%, the seed germination rate (45.33%) and seedling establishment rate (42.27%) were closest to the semi-lethal dose. EMS mutagenesis significantly reduced the content of photosynthetic pigments in seedlings and significantly increased the MDA content in seedling leaves. The increase of MDA content was positively correlated with EMS concentration. When the EMS concentration was less than 1.2%, it promoted the increase of SOD, CAT, and POD activity in seedling leaves. At an EMS concentration of 1.3%, it still promoted CAT activity but inhibited SOD and POD activity. In conclusion, under the conditions of this experiment, an EMS concentration of 1.1% is the optimal treatment for chili pepper mutagenesis.

**Key words:** Pepper; EMS; Mutagenesis; Seed germination; Seedling physiological characteristics

收稿日期:2025-04-27; 修回日期:2025-06-29

基金项目:平凉市技术创新引导计划(平科任(2020)21号);陇原青年创新创业个人项目(2021LQGR26);平凉市科技重大专项计划(PL-STK2023A-023);平凉市技术创新引导计划(PL-STK-2022A-073);甘肃省科技厅青年科技基金(22JR5RL1047)

作者简介:刘赵帆,女,副研究员,主要从事蔬菜栽培生理研究和辣椒育种工作。E-mail:373768309@qq.com

辣椒为一年生或多年生草本植物,是全球消费量最大的辛辣调味品<sup>[1]</sup>,是具有显著品牌优势的重点产业<sup>[2]</sup>。也是我国种植面积最大的蔬菜和消费量最大的辛辣调味品,播种面积占全国蔬菜播种总面积的8%~10%,产值约2500亿元<sup>[3]</sup>。优良品种是辣椒产业发展最重要的支撑,而种质资源是选育辣椒新品种的基础。近年来随着我国农业种植结构的不断调整,商用辣椒杂交品种的不断推广,导致地方特有资源减少,辣椒遗传资源多样性被严重破坏,并且天然优良品种或材料也在逐渐缺少<sup>[4]</sup>,辣椒育种研究遗传基础趋于狭窄,导致育种工作很难有突破性的进展,辣椒产量和品质的提高均受到限制<sup>[5]</sup>。

丰富的种质资源既是品种改良的关键,又是基因功能研究的物质基础<sup>[6]</sup>。除加大现有遗传资源的保护、应用力度外,加强人工创制辣椒种质资源尤为重要。甲基磺酸乙酯(EMS)是目前应用最广泛的人工诱变剂之一,通过诱导烷基化鸟嘌呤将GC转换为AT,在整个基因组中诱变产生点突变的比例高<sup>[7-8]</sup>,但不容易造成染色体畸变,可创新种质资源,在短时间内极大地丰富育种材料,被广泛应用于作物诱变育种中,如拟南芥<sup>[9]</sup>、荞麦<sup>[10]</sup>、水稻<sup>[11]</sup>、藜麦<sup>[12]</sup>、高粱<sup>[13]</sup>、西瓜<sup>[14]</sup>、花生<sup>[15]</sup>、玉米<sup>[16]</sup>等。目前已在创制具有高产、早熟、矮秆、不育等农艺性状方面取得了丰硕的成果。有研究者利用辐射诱变<sup>[17]</sup>、秋水仙素诱变和EMS诱变<sup>[18-20]</sup>成功获得了辣椒突变体,研究了辣椒种子EMS诱变的最佳条件<sup>[5, 18]</sup>,并在M1、M2代中观察到了一些突变性状<sup>[19]</sup>,证明了EMS诱变在辣椒遗传改良中的可行性,这些研究对拓宽辣椒遗传背景具有重要意义。然而针对鲜食辣椒,其EMS诱变条件(如半致死剂量、适宜浓度等)的系统优化和突变性状的稳定遗传规律等方面,仍有待进一步研究。

种子作为辣椒最基本的繁殖器官,利用EMS处理简单易行,诱变后可长时间保存自身活性以及诱变所获得的变异基因。本研究以平椒系列辣椒的种质资源0135为材料,通过分析不同浓度的EMS处理对辣椒种子萌发、幼苗生长、抗氧化参数和光和色素的影响,筛选出辣椒种子EMS诱变的半致死剂量,为最适诱变方案确定提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验于2023年5—9月在平凉市农业科学院

实验室进行。供试材料为平椒系列辣椒的骨干亲本0135(凉市农业科学院蔬菜研究所选育),诱变剂甲基磺酸乙酯(EMS)购于北京索莱宝科技有限公司。

### 1.2 试验设计

试验共设8个处理,分别为CK(等量蒸馏水)、0.7T[EMS浓度(w,后同)为0.7%]、0.8T(EMS浓度为0.8%)、0.9T(EMS浓度为0.9%)、1.0T(EMS浓度为1.0%)、1.1T(EMS浓度为1.1%)、1.2T(EMS浓度为1.2%)、1.3T(EMS浓度为1.3%)。选取0135饱满的辣椒种子3600粒,分成8组,每组150粒,3次重复,随机区组设计,室温下浸种8 h后,沥干水分后,分别浸入不同浓度的EMS溶液中,密封避光恒温(28 °C)振荡16 h后,用流水持续冲洗8 h后备用。

**1.2.1 辣椒种子萌发试验** 在培养皿中平铺两层定性滤纸,用蒸馏水完全浸湿,将不同浓度EMS溶液处理后的种子分别置于不同培养皿中,每皿整齐摆放75粒种子,用滴管加入适量蒸馏水,27 °C恒温培养,5月12日至5月27日每天定时统计发芽数,并适时补水,3次重复。

**1.2.2 出苗及幼苗生长试验** 选用72孔穴盘和茄科类作物专用育苗基质,播种穴深度一致,人工点播,悉心管理,播种后第10天、第18天、第26天分别统计出苗数,3次重复,幼苗4叶1心时,取幼苗第4片叶,测定幼苗生理参数,幼苗9片叶时测定植株农艺性状。

### 1.3 测定指标及方法

#### 1.3.1 辣椒种子萌发指标测定

$$\text{发芽势 } GP\% = 7 \text{ d 发芽数} / \text{供试种子数} \times 100; \quad (1)$$

$$\text{发芽率 } GR\% = 14 \text{ d 发芽数} / \text{供试种子数} \times 100; \quad (2)$$

$$\text{发芽指数 } GI = \sum G_t / D_t \quad (G_t \text{ 为在 } t \text{ 时间种子发芽数}, D_t \text{ 为相应发芽试验时间}); \quad (3)$$

$$\text{出苗率\%} = \text{幼苗数} / \text{供试种子数} \times 100; \quad (4)$$

$$\text{成苗率\%} = \text{成活幼苗数} / (\text{播种后第26天}) / \text{供试种子数} \times 100. \quad (5)$$

**1.3.2 辣椒幼苗农艺性状及生物量测定** 利用直尺、游标卡尺分别测量幼苗株高、根长、茎粗。每处理随机选取辣椒苗3株,清洗干净根系上残留的基质,用吸水纸吸干多余水分,用电子天平分别称量地上、地下部鲜质量,随后用牛皮纸袋分装于105 °C烘箱杀青15 min,后75 °C烘至恒质量,用电

子天平称量地上、地下部干质量，并根据鲜质量计算根冠比。

**1.3.3 生理指标测定** 各项生理指标均使用苏州格锐思生物科技有限公司的试剂盒对鲜样进行测定。其叶绿素含量采用微板法测定，过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化歧化酶(SOD)活性及丙二醛(MDA)含量均采用分光光度法测定。

#### 1.4 数据处理

采用 Excel 2019 软件进行数据整理和图表绘制；采用 SPSS 19.0 软件进行差异显著性分析；采用 origin 2021 软件绘制相关性热图，相关性热图中代码 Y1~Y21 分别代表发芽势、发芽率、发芽指数、播种第 10 天出苗率、播种第 18 天出苗率、播种第 26 天出苗率、株高、茎粗、根长、地上部鲜质量、地上部干质量、地下部鲜质量、地下部干质量、根冠比、总叶绿素含量、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、CAT 活性、SOD 活性、POD 活性、MDA 含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 EMS 诱变对辣椒种子萌发及出苗的影响

由表 1 可知，与 CK 相比，EMS 处理均可显著抑制辣椒种子的萌发。CK 处理辣椒种子的发芽势为 89.33%，与 CK 相比，各 EMS 处理发芽势均显著降低，且发芽势随 EMS 浓度增加而降低，降低幅度为 48.00~73.33 百分点，1.1T 处理发芽势较 CK 显著降低了 65.33 百分点；CK 处理辣椒种子的发芽率达 98.67%，随 EMS 浓度增加，各 EMS 处理辣椒种子发芽率逐渐降低，均显著低于 CK，较 CK 降低幅度为 18.67~56.00 百分点，1.1T 处理发芽率为 45.33%，较 CK 显著降低了 53.34 百分点，最接近半致死剂量；各 EMS 处理的发芽指数均显著低于 CK，较 CK 降低幅度为 46.10%~74.25%，1.1T 处理的发芽指数为 6.65，较 CK 显著降低 56.76%。

由表 2 可知，EMS 处理会显著降低辣椒出苗率。播种第 10 天 CK 的出苗率为 30.56%，各 EMS 处理的出苗率均较 CK 显著降低，降低幅度为 8.34~22.23 百分点，1.1T 处理较 CK 显著降低了 13.89 百分点；播种第 18 天 CK 处理出苗率达到 98.15%，各 EMS 处理出苗率均较 CK 显著降低，降低幅度为 34.59~81.34 百分点，且各 EMS 处理间差异显著，1.1T 处理较 CK 显著降低了 67.59 百分点；播种后第 26 天，各 EMS 处理出苗率(成苗率)均显著低于 CK，降低幅度为 20.74~59.96 百分点，其中 1.1T 处理出苗率为 42.27%，较 CK 显著降低 55.88 百分点。

表 1 不同浓度 EMS 处理对辣椒种子萌发的影响

Table 1 Effects of different EMS concentrations on chili pepper seed germination

处理 Treatment	发芽势 Germination energy/%	发芽率 Germination rate/%	发芽指数 Germination index
CK	89.33 a	98.67 a	15.38 a
0.7T	41.33 b	80.00 b	8.29 b
0.8T	37.33 c	73.33 c	7.93 c
0.9T	34.67 d	72.00 c	7.86 c
1.0T	30.67 e	66.67 d	7.20 d
1.1T	24.00 f	45.33 e	6.65 e
1.2T	24.00 f	44.00 e	4.48 f
1.3T	16.00 g	42.67 e	3.96 g

注：同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

表 2 不同浓度 EMS 处理对辣椒出苗率的影响

Table 2 Effects of different EMS concentrations on seedling emergence rate of chili pepper %

处理 Treatment	出苗率 Seedling emergence rate		
	播种第 10 天 10th day after sowing	播种第 18 天 18th day after sowing	播种第 26 天(成苗率) 26th day after sowing (Seedling establishment rate)
CK	30.56 a	98.15 a	98.15 a
0.7T	22.22 b	63.56 b	77.41 b
0.8T	22.22 b	59.18 c	71.47 c
0.9T	22.22 b	55.33 d	70.70 c
1.0T	19.44 c	50.37 e	63.70 d
1.1T	16.67 d	30.56 f	42.27 e
1.2T	13.89 e	23.94 g	38.70 f
1.3T	8.33 f	16.81 h	38.19 f

### 2.2 EMS 诱变对辣椒幼苗生长的影响

从表 3 可知，与 CK 相比，除 1.3T 处理处，其他 EMS 处理均显著促进了辣椒幼苗根长增加，增加幅度为 6.65%~67.94%，但 1.3T 处理显著抑制根的伸长，较 CK 显著减少 17.91%。辣椒的其他生长指标均因 EMS 处理显著受到抑制，其中株高较 CK 降低 10.60%~27.15%，茎粗较 CK 减少 1.62%~15.21%，地上部鲜、干质量较 CK 分别减少 14.37%~40.23%、34.09%~56.82%，地下部鲜、干质量较 CK 分别减少 36.89%~57.38%、26.67%~53.33%，根冠比较 CK 降低 11.43%~48.57%。

### 2.3 EMS 诱变对辣椒幼苗光合色素含量的影响

由图 1 可知，各 EMS 处理均显著降低辣椒叶片光合色素含量。各 EMS 处理总叶绿素含量均较 CK 显著降低，降低幅度为 10.48%~37.87%，1.1T 处

表3 不同浓度 EMS 处理对辣椒幼苗生长的影响  
Table 3 Effects of different EMS concentrations on chili pepper seedling growth

处理 Treatment	根长 Root length/mm	茎粗 Stem thickness/ mm	株高 Plant height/cm	地上部鲜质量 Shoot fresh mass/g	地上部干质量 Shoot dry mass/g	地下部鲜质量 Root fresh mass/g	地下部干质量 Root dry mass/g	根冠比 Root/Shoot ratio
CK	14.13 e	3.09 a	14.62 a	1.74 a	0.44 a	1.22 a	0.15 a	0.70 a
0.7T	19.47 b	2.80 c	13.07 b	1.04 e	0.25 cd	0.65 c	0.09 d	0.62 b
0.8T	23.73 a	3.04 a	12.32 c	1.28 c	0.26 c	0.77 b	0.11 b	0.60 c
0.9T	16.57 c	2.67 d	11.10 d	1.49 b	0.24 d	0.54 e	0.08 e	0.36 f
1.0T	19.76 b	2.66 d	13.07 b	1.49 b	0.29 b	0.63 cd	0.09 d	0.42 g
1.1T	17.17 c	2.79 c	10.65 d	1.21 d	0.24 d	0.66 c	0.10 c	0.55 d
1.2T	15.07 d	2.92 b	10.88 d	1.22 d	0.25 cd	0.61 d	0.10 c	0.50 e
1.3T	11.60 f	2.62 d	10.82 d	1.06 e	0.19 e	0.52 e	0.07 f	0.49 e

理降低幅度最小。各 EMS 处理叶绿素 a 含量均较 CK 显著降低,降低幅度为 5.18%~36.16%,1.1T 处理降低幅度最小。各 EMS 处理叶绿素 b 含量均较

CK 显著降低,降低幅度为 16.13%~42.14%,叶绿素 b 含量持续降低,1.3T 处理叶绿素 b 含量最低,显著低于其他处理。

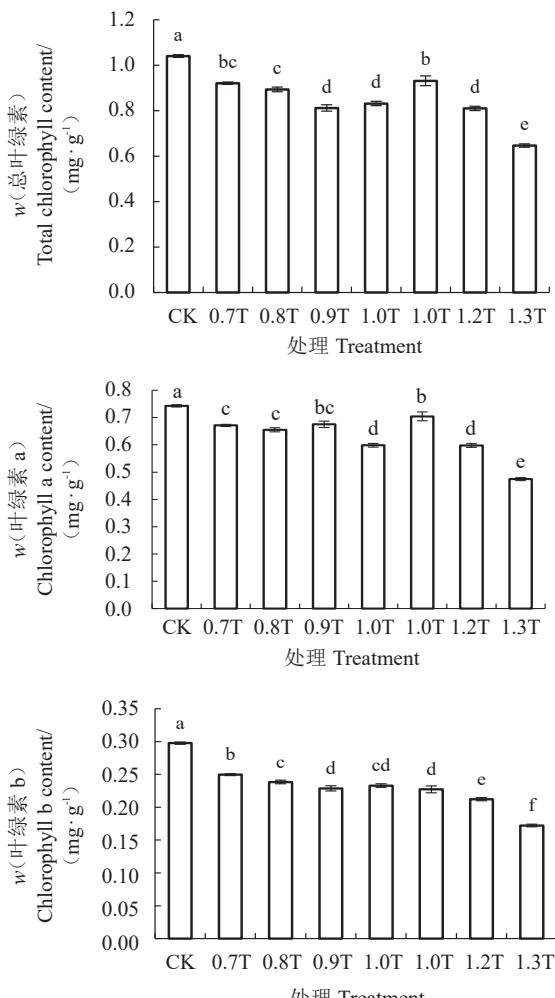
#### 2.4 EMS 诱变对辣椒幼苗抗氧化系统的影响

由图 2 可知,与 CK 相比,各 EMS 处理辣椒叶片中的 MDA 含量均显著增加,增加幅度为 6.43%~55.49%,且 MDA 含量与 EMS 浓度呈正相关,1.1T 处理 MDA 含量(b)为  $45.53 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1}$ ,较 CK 显著增加 38.16%。

由图 2 可知,辣椒叶片中 SOD 活性随 EMS 浓度增加先增高后降低,1.1T 处理活性最高,达  $443.24 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ ,较 CK 显著增高了 27.12%。与 CK 相比,各 EMS 处理叶片中 CAT 活性均显著增高,且随 EMS 浓度的增高先增高后降低,1.1T 处理活性最高,为  $120.09 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ,较 CK 显著增高了 118.85%。辣椒叶片中 POD 活性也随 EMS 浓度增加先增高后降低。除 1.3T 处理外,各 EMS 处理 POD 活性均较 CK 显著增高,1.1T 处理 POD 活性最高,较 CK 显著增高了 43.30%,随后各处理 POD 活性逐渐降低,1.3T 处理 POD 活性较 CK 略有降低,但差异不显著。

#### 2.5 相关性分析

由图 3 可知,种子萌发指标(发芽势、发芽率、发芽指数)与出苗率(播种第 10、18、26 天)均呈极显著正相关,与幼苗生长指标(除根长以外)、光合色素含量之间呈显著或极显著正相关,与 CAT 活性、MDA 含量呈极显著负相关,除发芽率与 SOD 活性呈显著负相关外,发芽势和发芽率与 SOD 活性、POD 活性无显著相关。出苗率与幼苗生长指标(除根长以外)呈显著或极显著正相关,与光合色素含量呈极显著正相关,与 CAT 活性、MDA 含量呈极显著负相关。植株的株高、地上部干鲜质量、地



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

图 1 不同浓度 EMS 处理对辣椒幼苗光合色素含量的影响

Fig. 1 Effects of different EMS concentrations on photosynthetic pigment content of chili pepper seedlings

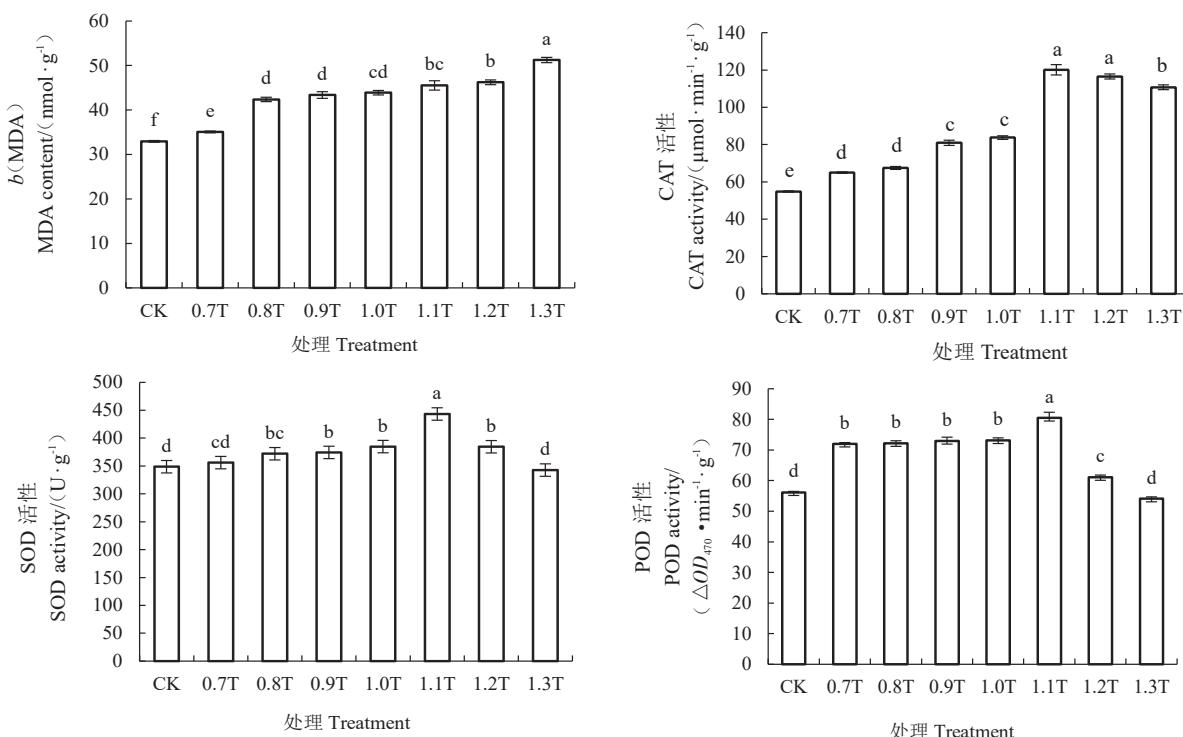
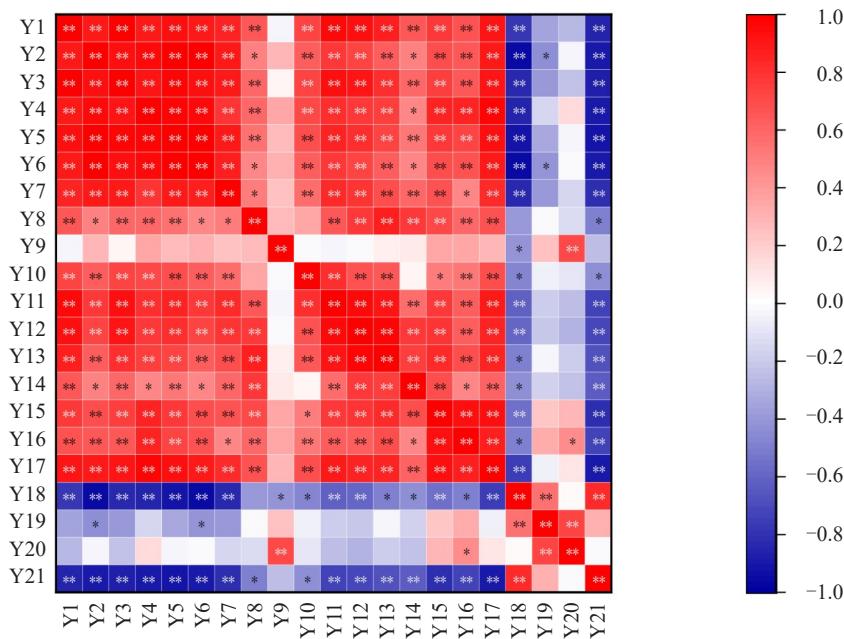


图 2 不同浓度 EMS 处理对辣椒幼苗抗氧化系统的影响

Fig. 2 Effects of different EMS concentrations on the antioxidant system of chili pepper seedlings

下部干鲜质量与叶片光合色素含量呈显著或极显著正相关,与 CAT 活性、MDA 含量呈显著或极显著负相关。茎粗与光合色素含量呈极显著正相关,与 MDA 含量呈显著负相关。根长与 CAT 活性呈

显著负相关,与 POD 活性呈极显著正相关。总叶绿素含量与 CAT 活性、MDA 含量均呈极显著负相关,叶绿素 a 含量与 POD 活性呈显著正相关,与 CAT 活性呈显著负相关,与 MDA 含量呈极显著负相关,叶



注: \*表示在 0.05 水平显著相关; \*\*表示在 0.01 水平极显著相关。

Note: \* represents significant correlation at 0.05 level; \*\* represents extremely significant correlation at 0.01 level.

图 3 EMS 处理辣椒种子后种子萌发、出苗率、幼苗生长、叶片光合色素含量以及幼苗抗氧化系统各指标相关性分析  
Fig. 3 Correlation analysis among seed germination, emergence rate, seedling growth, leaf photosynthetic pigment content, and antioxidant system indicators in chili pepper after EMS treatment

绿素 b 含量与 CAT 活性、MDA 含量均呈极显著负相关。CAT 活性与 SOD 活性、MDA 含量均呈极显著正相关,SOD 活性与 POD 活性呈极显著正相关。

### 3 讨论与结论

适宜的 EMS 浓度筛选是 EMS 诱变育种中重要的环节之一<sup>[21]</sup>。研究表明 EMS 诱变辣椒种子过程中,达到半致死剂量的处理,是最佳诱变处理<sup>[22-23]</sup>,已有大量研究表明半致死剂量可作为筛选突变体的重要指标<sup>[7, 19, 24]</sup>。本试验研究结果显示,EMS 处理显著抑制了辣椒种子的萌发,这一结论同前人利用 EMS 诱变油菜种子<sup>[25]</sup>、藜麦种子<sup>[26]</sup>等的结论一致。辣椒种子的发芽势、发芽率、发芽指数和出苗率均随着 EMS 浓度的升高而降低,且均显著低于 CK。当 EMS 浓度为 1.1% 时,辣椒发芽率(45.33%)和成苗率(42.27%)最接近半致死剂量,这与周书栋<sup>[5]</sup>的 EMS 浓度为 1.0% 是 6421 辣椒的半致死剂量的结论略有差异,这可能与同种作物不同品种间遗传背景差异有关。

幼苗形态参数、生物量、叶绿素含量等都属于重要的幼苗建成质量评价指标<sup>[27-28]</sup>。本研究中虽然辣椒幼苗茎粗、株高、地上部干鲜质量、地下部干鲜质量、根冠比在 EMS 处理后均受到抑制,但当 EMS 浓度小于 1.3% 时,却对幼苗根长有不同程度的促进作用,具体原因还需进一步研究。各 EMS 处理均显著降低了辣椒叶片的光合色素含量,与 CK 相比,总叶绿素含量、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量分别显著降低了 10.48%~37.87%、5.18%~36.16%、16.13%~42.14%。

逆境中,当植物酶保护系统受到破坏时,自由基会引起膜脂过氧化,植物叶片内丙二醛含量将会上升,对植物造成毒害作用<sup>[5, 26]</sup>。本试验条件下,辣椒幼苗叶片中 MDA 含量随 EMS 浓度增加而增加,即 EMS 处理会破坏幼苗酶保护系统,且破坏程度与 EMS 浓度呈正相关。

EMS 诱变处理使辣椒幼苗发生了许多生理生化反应,产生了大量的有害自由基,SOD、POD、CAT 等作为重要的保护酶,可减轻氧自由基对细胞膜系统的伤害,可反映植物抗逆性的强弱<sup>[18, 29]</sup>。在本试验中辣椒幼苗叶片中 CAT 活性随 EMS 浓度的增加先升高后降低,EMS 浓度为 1.1% 时最高,较 CK 显著增高 118.85%。而 EMS 浓度小于 1.2% 时,随 EMS 浓度的增加,对幼苗叶片中 SOD 活性、POD 活性的促进作用先增强后减弱,EMS 浓度为 1.1%

时促进效果最显著,分别较 CK 显著增强 27.12%、43.30%,但当 EMS 浓度达到 1.3% 时,却抑制了 SOD 活性、POD 活性。即低浓度的 EMS 诱变处理会增强辣椒幼苗叶片中 SOD 活性、POD 活性,但高浓度时反而会产生抑制作用,此结论与温日宇等<sup>[26]</sup>的研究结果一致。

相关性分析揭示了种子萌发、幼苗建成与生理代谢的内在联系:萌发质量直接影响幼苗生长与光合色素积累,而后者与生物量形成紧密耦合;同时,较高的氧化应激水平(CAT 活性与 MDA 含量升高)对种子萌发和生长均表现出显著抑制作用。这为通过萌发阶段和早期生理状态预测幼苗质量提供了理论依据。

本研究筛选出用蒸馏水预浸种 8 h,然后用 1.1%EMS 诱变处理 16 h 为辣椒 0135 的最适诱变方案。但诱变后如何筛选具有目的性状的变异植株,需要进一步研究。后续将利用此方案大量诱变辣椒 0135,经过 M2 代株群筛选突变株,以及 M3、M4 代遗传稳定性检验,分类构建不同类型突变体库,用于进一步研究。目前通过靶向诱导基因组局部突变技术鉴定 EMS 诱变产生的突变体的相关研究不断深入,希望后续借助该技术对获得的稳定遗传突变群体进行基因关联相关研究。

### 参考文献

- [1] 邹学校,马艳青,戴雄泽,等.辣椒在中国的传播和产业发展[J].园艺学报,2020,47(9):1715-1726.
- [2] 何磊,严希,赖卫,等.辣椒 PIN 基因家族鉴定及其在果柄离区和根系发育中的表达分析[J].西北植物学报,2024,44(12):1878-1889.
- [3] 王立浩,张宝玺,张正海,等.“十三五”我国辣椒育种研究进展、产业现状及展望[J].中国蔬菜,2021(2):21-29.
- [4] HUANG D F, HE J W, FU W T, et al. Phenotypic variation analysis of ethyl methane sulfonate induced mutant population of pepper[J]. Pakistan Journal of Botany, 2022, 54(1):195-203.
- [5] 周书栋.辣椒突变体库构建及矮秆突变体筛选与分析[D].长沙:湖南农业大学,2017.
- [6] YANG M, YANG Z J, YANG W Y, et al. Genetic diversity assessment of the international maize and wheat improvement center and Chinese wheat core germplasms by non-denaturing fluorescence in situ hybridization [J]. Plants, 2022, 11(11):1403.
- [7] TALEBI A B, TALEBI A B, SHAHROKHIFAR B. Ethyl methane sulphonate (EMS) induced mutagenesis in Malaysian rice (cv. MR219) for lethal dose determination[J]. American Journal of Plant Science, 2012, 3(12):1661-1665.
- [8] CHEN Y L, LIANG H L, MA X L, et al. An efficient rice mutagenesis system based on suspension-cultured cells[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2013, 55(2):122-130.

- [9] KIM Y S, SCHUMAKER K S, ZHU J K. EMS mutagenesis of *arabidopsis*[M]. *Methods in Molecular Biology*, 2006, 323: 101-103.
- [10] 彭艳,刘婷婷,阮景军,等.‘川荞2号’表型变异突变体筛选及黄酮代谢相关基因的表达分析[J].植物遗传资源学报,2022,23(5):1508-1520.
- [11] 陈开,陈宇峰,封昱均,等.水稻EMS诱变根系突变体的筛选及其农艺性状分析[J].西南农业学报,2022,35(6):1233-1242.
- [12] 刘正杰,张全,林春,等.藜麦EMS诱导条件优化及穗突变体的筛选[J].种子,2022,41(4):6-12.
- [13] 王炜,陈琛,葛玉彬,等.甜高粱EMS诱变获得新种质的研究[J].核农学报,2022,36(1):7-13.
- [14] 赵展,王晓婷,李林,等.甲基磺酸乙酯诱变西瓜种子的条件优化[J].中国瓜菜,2022,35(1):81-85.
- [15] 吕正昊,史晓龙,周东英,等.1个花生EMS突变体的表型评价及荚果大小相关性状分析[J].沈阳农业大学学报,2022,53(2):140-146.
- [16] KUMAR G, RAI P K. EMS induced karyomorphological variation in Maize (*Zea mays L.*) inbreds[J]. *Turkish Journal of Biology*, 2007, 31(4):187-195.
- [17] 常媚瑕,吴媛,苏世贤,等.<sup>60</sup>Co-γ辐射对朝天椒种子诱变效应的影响[J].分子植物育种,2021,19(17):5755-5767.
- [18] 常媚瑕.<sup>60</sup>Co-γ、EMS及秋水仙素对朝天椒种子诱变效应的影响[D].贵阳:贵州大学,2021.
- [19] ADEKOY F, OLULEYE F. Induced morphological variations among *capsicum annuum* ‘Tatase’ mutants[J]. *Keffi*, 2012, 8(2):50-58.
- [20] DEVI A S, MULLAINATHAN L. Physical and chemical mutagenesis for the improvement of *Capsicum annuum* L.[J]. *World Journal of Applied Sciences*, 2011, 15:108-113.
- [21] 宋凌宇,何余,李金平,等.EMS诱变对大麦种子萌发及M1代植株成熟期主要性状的影响[J].麦类作物学报,2024,44(9):1096-1103.
- [22] SHAHWAR D, ANSARI M Y K, KHATOON B, et al. Phenotypic characterization of ethyl methanesulfonate (EMS) induced bigger pod (bp) with multiple seed mutant in lentil (*Lens culinaris* Medik.) [J]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2024, 59:103259.
- [23] WANG W Q, GUAN X Z, GAN Y, et al. Creating large EMS populations for functional genomics and breeding in wheat[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2024, 23(2):484-493.
- [24] JAIN S M. Mutagenesis in crop improvement under the climate change[J]. *Romanian Biotechnological Letters*, 2010, 15 (2) : 88-106.
- [25] 曲高平,孙妍妍,庞红喜,等.甘蓝型油菜EMS突变体库构建及抗除草剂突变体筛选[J].中国油料作物学报,2014,36(1):25-31.
- [26] 温日宇,刘建霞,肖东东,等.EMS诱变对藜麦种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].分子植物育种,2024,22(8):2656-2662.
- [27] SUN Y K, XU J Q, MIAO X S, et al. Effects of exogenous silicon on maize seed germination and seedling growth[J]. *Scientific Reports*, 2021, 11:1014.
- [28] 何建军,姚立蓉,汪军成,等.干旱和盐胁迫对盐生植物盐生草种子萌发特性的影响[J].草业学报,2020,29(11):129-140.
- [29] KHARKWAL M C, PANDEY R N, PAWAR S E. Mutation breeding for crop improvement[M]//*Plant Breeding: Mendelian to Molecular Approaches*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2004:601-645.