

阴星望,杜瑞卿,杨建伟,等.抗旱剂对三樱椒幼苗抗旱力的影响[J].江苏农业科学,2018,46(16):122-127.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.16.031

抗旱剂对三樱椒幼苗抗旱力的影响

阴星望¹,杜瑞卿¹,杨建伟¹,梁咪咪¹,宋玉伟¹,陈吉宝^{1,2}

(1. 南阳师范学院生命科学与技术学院,河南南阳 473061; 2. 河南省南水北调中线水源区生态安全重点实验室,河南南阳 473061)

摘要:干旱是影响三樱椒生理生长、产量和品质的主要因素之一。为提高三樱椒幼苗的抗旱能力,筛选适合三樱椒的抗旱剂及其最佳施用浓度。选择不同浓度的富里酸、氯化胆碱和烯效唑 3 种抗旱剂,分别采用叶面喷洒和根灌 2 种方式,检测干旱条件下施用抗旱剂后三樱椒幼苗抗旱生理生长指标的变化。结果表明,3 种抗旱剂均提高了三樱椒的保水能力,叶片相对含水量显著增加,叶片萎蔫比例和脱落叶片数显著降低;促进了保护酶活性、可溶性糖含量、脯氨酸含量的增加,抑制了叶绿素和可溶性蛋白的降解,降低了 MDA 含量和叶片电导率。综合来看,施用 3 种抗旱剂均可提高三樱椒幼苗的抗旱能力,其中 300 mg/L 富里酸、500 mg/L 氯化胆碱和 20 mg/L 烯效唑对提高三樱椒抗旱性效果最好,浓度最适宜,且富里酸作用优于氯化胆碱,氯化胆碱作用优于烯效唑。但是叶面喷洒和根灌 2 种施药方式之间对三樱椒幼苗生理生长的影响差异不显著。

关键词:三樱椒;抗旱剂;富里酸;氯化胆碱;烯效唑;叶面喷洒;根灌;生理生长指标

中图分类号: Q945.78;S641.301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)16-0122-06

三樱椒[*Capsicum annuum* L. var. *conoides* (Mill.) Irish] 原产于日本,1976 年引种到我国河南、天津等地,且成为河南省主要经济作物之一。干旱是影响三樱椒产量和品质的主要限制因素之一,研究干旱胁迫对三樱椒生长、产量和品质的影响具有重要的现实意义。

抗旱剂是指施在土壤中或作物上以减少其蒸发、蒸腾或增强其自身抗旱性的一类化学物质的总称。抗旱剂能够使作物气孔开张、增加叶绿素含量、抑制蒸腾作用、提高根系活力、减缓土壤水分消耗,从而增强其抗旱能力,使其在干旱条件下保持正常的生长发育,并且相对提高作物的产量^[1]。氯化胆碱是一种重要的植物生长调节剂,在维护膜的稳定性方面发挥了显著作用。祁春苗等研究表明,喷施氯化胆碱可通过提高作物的抗旱性而提高品质和产量^[2]。烯效唑是一种高效的植物生长延缓剂,低毒,具有矮化植株、抗倒伏、改善作物品质、增加产量、提高作物抗旱性等作用^[3]。目前,研究多局限于氯化胆碱、烯效唑对花生、玉米、小麦等农作物的影响,对三樱椒的研究较少^[4-5]。本研究选择了富里酸、氯化胆碱、烯效唑 3 种植物抗旱剂,观察其对三樱椒生理生长的影响,并对三者进行比较筛选出较好的植物抗旱剂及最适剂量,为提高作物抗旱性提供参考价值。

1 材料与方法

1.1 材料及处理

试验材料为三樱椒,种子由河南省南阳市种子公司提供。三樱椒种子精选后,经浸泡、消毒,播种在含有锯末培养基的

生长盘中,生长盘的长、宽、高分别为 30、26、8 cm。将生长盘置于人工气候箱中,于 25 ℃ 条件下暗培养催芽萌发,2 周后进行光培养,光照时间 14 h/d,光照度 350 μmol/(m²·s),昼夜温度为 25 ℃/20 ℃,培养至 6 叶 1 心时开始移栽。选择大小一致,生长健壮的 6 叶 1 心辣椒幼苗进行移栽,盆栽容器为聚乙烯塑料营养钵(高 18 cm,内径 19 cm),每钵移栽 6 株。每个营养钵内盛放自然风干后的营养土(壤土:花土=1:1)3.0 kg,基础肥料选用尿素(46% N)、过磷酸钙(16% P₂O₅)、硫酸钾(54% K₂O),按照质量比 N:P:K=10:10:10 混合,每钵施用 4.5 g。移栽前营养土充分吸水,移栽后于温室内缓苗培养 3 周,然后开始进行抗旱剂处理^[6-7]。

1.2 试验设计

本试验在南阳师范学院东区温室内进行,选择温室内缓苗培养 3 周后的幼苗,抗旱剂施用采用叶面喷施和灌根 2 种方式。在施用抗旱剂前,培养基充分吸足水分,使所有营养钵内营养土相对含水量稳定到 65% 时开始处理。

叶面喷施:用喷雾器将抗旱剂喷洒于幼苗叶正面,喷洒时,喷头面平行于叶水平面 6 cm,喷头正对心叶,用力均匀。每株苗每次喷洒 3 下,每天于早晚各喷洒 1 次,连续喷洒 3 d。喷洒抗旱剂后停止浇水,自然干旱至营养土相对含水量达 30% 时停止试验。

灌根施用:将抗旱剂分别配制所需浓度水溶液,待营养土相对含水量从 65% 降至 40% 时,用所配制的抗旱剂溶液均匀浇灌营养土,每钵浇灌 250 mL,然后停止浇水,自然干旱至营养土相对含水量达 30% 时停止试验。

2 种方式抗旱剂施用类型及浓度见表 1。抗旱剂处理均以持续干旱处理为对照(CK),每个处理共 10 钵,每钵留苗 4 株,试验重复 3 次。

1.3 指标测量

1.3.1 土壤自然含水量的测定 土壤自然含水量采用烘干

收稿日期:2017-10-19

基金项目:国家自然科学基金(编号:U1404303)。

作者简介:阴星望(1992—),男,河南南阳人,硕士研究生,主要从事植物生理及生态学研究。E-mail:79475147@qq.com。

通信作者:陈吉宝,博士,副教授,主要从事植物抗逆种质资源发掘及抗逆分子机理研究。E-mail:2589425750@qq.com。

表 1 抗旱剂及施用浓度

| 抗旱剂 | 叶面喷施浓度 (mg/L) | 灌根浓度 (mg/L) |
|------|---|---|
| 富里酸 | 100 (AP ₁)、200 (AP ₂)、 300 (AP ₃)、400 (AP ₄) | 100 (AG ₁)、200 (AG ₂)、 300 (AG ₃)、400 (AG ₄) |
| 氯化胆碱 | 100 (BP ₁)、300 (BP ₂)、 500 (BP ₃)、700 (BP ₄) | 100 (BG ₁)、300 (BG ₂)、 500 (BG ₃)、700 (BG ₄) |
| 烯效唑 | 10 (CP ₁)、15 (CP ₂)、 20 (CP ₃)、25 (CP ₄) | 10 (CG ₁)、15 (CG ₂)、 20 (CG ₃)、25 (CG ₄) |

注:括号内为各浓度处理对应的编号。

法测定^[8-10]。

1.3.2 生理指标测定 净光合速率(P_n)采用英国 PP systems 公司生产的 TPS-1 便携式光合仪[人工光源,大气 CO₂,光照度 350~400 μmol/(m²·s)]测定,选择晴朗天气,每天 10:00 左右进行,每处理重复测定 5 次,取平均值。叶绿素含量采用浸提法测定^[11];过氧化氢酶(CAT)活性采用高锰酸滴定法测定^[12-13];过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定^[12-13];超氧化物歧化酶(SOD)活性采用淡蓝四唑(NBT)光还原法测定^[12-13];丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定^[12-13];相对电导率用 DDS-307 电导率仪测定^[8];脯氨酸含量采用酸性茚三酮比色法测定^[11];可溶性糖含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定^[13];可溶性蛋白质含量的测定选用考马斯亮蓝 G-250 比色法^[14]。当土壤相对含水量达 30% 时,统计萎蔫叶片(叶片下垂变软),计算叶片萎蔫比例(叶片萎蔫比例=萎蔫叶片数/总叶片数)。

1.3.3 数据处理方法 用 Excel 2003 软件作图表,SPSS 17.0 软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 富里酸对三樱椒幼苗抗旱性的影响

2.1.1 富里酸对三樱椒幼苗形态特征的影响 由表 2 可知,

表 2 富里酸对三樱椒幼苗形态特性的影响

| 抗旱剂施用 方式 | 处理 | 叶片相对 含水量(%) | 叶片萎蔫 比例(%) | 脱落叶 片数(张) |
|-------------|-----------------|----------------|---------------|--------------|
| 叶面喷施 | CK | 61.33±3.56b | 70.03±9.19a | 4.33±2.51a |
| | AP ₁ | 62.67±6.89b | 63.32±4.48b | 3.67±2.08a |
| | AP ₂ | 89.33±2.89a | 61.05±1.82b | 2.67±0.57b |
| | AP ₃ | 89.67±5.33a | 46.58±4.04c | 2.00±0.00b |
| | AP ₄ | 83.00±0.05a | 46.82±9.59c | 2.67±0.57b |
| 根灌 | CK | 61.33±3.56b | 70.03±9.19a | 4.33±2.51a |
| | AG ₁ | 65.00±5.33b | 69.52±7.71a | 3.00±1.00b |
| | AG ₂ | 67.67±4.56b | 68.95±5.38a | 3.00±1.00b |
| | AG ₃ | 90.67±4.78a | 54.52±5.06b | 2.00±1.00b |
| | AG ₄ | 71.00±5.67b | 65.03±3.14a | 2.33±1.52b |

注:相同施用方式同列数据后相同字母表示无显著差异($P>0.05$),不同字母表示有显著差异($P<0.05$)。下表同。

叶面喷施较高浓度的富里酸可以提高干旱胁迫下三樱椒的叶片相对含水量,降低叶片萎蔫比列及脱落叶片数,但更高浓度的富里酸对改善三樱椒的抗旱性并无显著效果。根灌富里酸溶液对三樱椒叶片相对含水量、叶片萎蔫比例和脱落叶片数的影响效果和叶面喷施相似,AP₃ 处理和 AG₃ 处理的叶片相对含水量最大且显著大于对照组($P<0.05$),叶片萎蔫比例、脱落叶片数最小且显著小于对照组($P<0.05$),说明 300 mg/L 富里酸叶面喷施或根灌对三樱椒幼苗形态保持效果最好。

2.1.2 富里酸对三樱椒幼苗光合特性的影响 由表 3 可知,富里酸溶液叶面喷施和根灌处理三樱椒显著提高了干旱胁迫条件下三樱椒的叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素(a+b)含量、净光合速率,且随着富里酸浓度的增加,叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素(a+b)含量、净光合速率呈现先升高后降低的趋势,AP₃ 处理和 AG₃ 处理达最大值,叶绿素含量、净光合速率显著高于 CK 和 AP₁ 处理($P<0.05$)。表明 AP₃ 和 AG₃ 处理更有效抑制了干旱胁迫条件下三樱椒叶绿素的降解,增强了光合作用,提高了三樱椒的抗旱性。

表 3 富里酸对三樱椒幼苗光合特性的影响

| 抗旱剂施用方式 | 处理 | 叶绿素 a 含量 (mg/g) | 叶绿素 b 含量 (mg/g) | 叶绿素(a+b)含量 (mg/g) | 净光合速率 [μmol/(m ² ·s)] |
|---------|-----------------|--------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 叶面喷施 | CK | 0.53±0.13b | 0.28±0.04c | 0.81±0.12c | 3.77±0.78b |
| | AP ₁ | 0.68±0.03b | 0.35±0.05b | 1.03±0.13bc | 4.07±0.24b |
| | AP ₂ | 0.71±0.03b | 0.36±0.12b | 1.07±0.06bc | 4.83±0.24a |
| | AP ₃ | 1.37±0.18a | 0.64±0.06a | 2.01±0.16a | 5.60±0.13a |
| | AP ₄ | 0.76±0.27b | 0.37±0.07b | 1.14±0.07b | 4.70±0.07ab |
| 根灌 | CK | 0.53±0.13b | 0.28±0.04c | 0.81±0.12c | 3.77±0.78c |
| | AG ₁ | 0.75±0.12b | 0.54±0.16a | 1.20±0.02bc | 3.93±0.11bc |
| | AG ₂ | 0.79±0.04b | 0.42±0.06b | 1.29±0.05bc | 4.27±0.11bc |
| | AG ₃ | 1.26±0.38a | 0.61±0.19a | 1.87±0.40a | 5.53±0.38a |
| | AG ₄ | 0.92±0.02ab | 0.43±0.02b | 1.35±0.04b | 5.10±0.53ab |

2.1.3 富里酸对三樱椒幼苗保护酶活性及膜透性的影响 由表 4 可知,对于干旱胁迫条件下三樱椒进行叶面喷施和根灌富里酸溶液,SOD 活性、POD 活性和 CAT 活性呈现先升高后降低的趋势,且各个浓度处理的 SOD 活性、POD 活性和 CAT 活性值均大于对照组;MDA 含量和相对电导率呈现先降低后升高的趋势,且各个浓度处理的 MDA 含量和相对电导率值均小于对照组。AP₃ 处理和 AG₃ 处理的 SOD 活性、POD 活

性、CAT 活性最大且显著大于对照组($P<0.05$),MDA 活性和相对电导率最小且显著小于对照组($P<0.05$)。以上结果表明,AP₃ 和 AG₃ 处理更有利于促进三樱椒保护酶活性、提高,抑制 MDA 含量的增加,减少细胞膜受伤害程度,从而提高三樱椒抗旱性。

2.1.4 富里酸对三樱椒幼苗渗透调节物质的影响 在干旱胁迫下,可溶性糖含量和脯氨酸含量的积累是植物对逆境的

表 4 富里酸对三樱椒幼苗保护酶活性及膜透性的影响

| 抗旱剂施用方式 | 处理 | SOD 活性 [U/(g · min)] | POD 活性 [U/(g · min)] | CAT 活性 [U/(g · min)] | MDA 含量 (μmol/g) | 相对电导率 (%) |
|---------|-----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|----------------|
| 叶面喷施 | CK | 4.67 ± 0.38b | 24.20 ± 1.34c | 10.21 ± 0.64b | 19.30 ± 0.91a | 60.33 ± 0.06a |
| | AP ₁ | 6.00 ± 1.50b | 26.48 ± 0.97bc | 10.80 ± 0.26b | 17.94 ± 1.64ab | 43.00 ± 1.33b |
| | AP ₂ | 7.17 ± 0.78ab | 30.33 ± 1.94b | 10.69 ± 0.32b | 15.12 ± 1.69bc | 35.33 ± 3.11b |
| | AP ₃ | 8.17 ± 0.61a | 40.93 ± 3.02a | 13.95 ± 1.07a | 12.75 ± 2.18c | 35.00 ± 4.00b |
| | AP ₄ | 7.33 ± 0.11ab | 33.30 ± 3.71b | 12.98 ± 0.41a | 13.72 ± 1.84c | 35.33 ± 2.89b |
| 根灌 | CK | 4.67 ± 0.19b | 24.20 ± 1.34c | 10.21 ± 0.64c | 19.30 ± 0.91a | 60.33 ± 0.06a |
| | AG ₁ | 5.42 ± 0.72b | 29.02 ± 4.72bc | 10.41 ± 0.43c | 15.88 ± 1.58a | 48.14 ± 1.10b |
| | AG ₂ | 5.67 ± 0.72b | 33.09 ± 1.02ab | 11.13 ± 0.64c | 14.66 ± 2.11a | 45.49 ± 2.70b |
| | AG ₃ | 8.33 ± 0.27a | 39.37 ± 3.78a | 14.63 ± 0.45a | 11.59 ± 2.39b | 38.50 ± 2.71c |
| | AG ₄ | 8.08 ± 0.44a | 35.47 ± 0.58a | 13.41 ± 0.97b | 12.89 ± 1.96b | 41.96 ± 1.71bc |

一种适应性反应,有利于维持细胞渗透势,保护细胞结构和功能。由表 5 可知,在干旱胁迫条件下,富里酸溶液叶面喷施和根灌处理三樱椒,其可溶性蛋白含量、可溶性糖含量和脯氨酸含量呈现先升高后降低的趋势,且各个浓度处理的可溶性蛋白含量、可溶性糖含量和脯氨酸含量值均大于对照组。其中,AP₃ 处理和 AG₃ 处理的可溶性蛋白含量、可溶性糖含量和脯氨酸含量最大且显著大于对照组($P < 0.05$)。表明在干旱胁迫条件下,叶面喷施和根灌富里酸溶液促进了三樱椒可溶性糖含量和脯氨酸含量的增加,抑制了可溶性蛋白的降解。

表 5 富里酸对三樱椒幼苗渗透调节物质的影响

| 抗旱剂施用方式 | 处理 | 可溶性蛋白 含量(mg/g) | 可溶性糖 含量(μg/g) | 脯氨酸 含量(μg/g) |
|---------|-----------------|-------------------|------------------|-----------------|
| 叶面喷施 | CK | 1.26 ± 0.13c | 46.36 ± 0.63b | 2.86 ± 0.52b |
| | AP ₁ | 1.28 ± 0.26c | 46.94 ± 7.33b | 3.18 ± 0.69b |
| | AP ₂ | 1.53 ± 0.06ab | 52.52 ± 8.93b | 3.65 ± 0.71b |
| | AP ₃ | 1.63 ± 0.12a | 85.67 ± 1.59a | 5.25 ± 0.22a |
| | AP ₄ | 1.60 ± 0.03ab | 57.01 ± 11.57b | 3.79 ± 0.51b |
| 根灌 | CK | 1.15 ± 0.17c | 46.36 ± 0.93c | 2.86 ± 0.67c |
| | AG ₁ | 1.29 ± 0.20bc | 47.75 ± 5.38c | 3.07 ± 0.18c |
| | AG ₂ | 1.41 ± 0.06bc | 52.14 ± 11.77bc | 3.60 ± 0.89bc |
| | AG ₃ | 1.59 ± 0.06a | 78.90 ± 3.04a | 4.47 ± 0.27a |
| | AG ₄ | 1.44 ± 0.18ab | 60.65 ± 11.00b | 3.75 ± 0.12b |

2.2 氯化胆碱对三樱椒幼苗抗旱性的影响

2.2.1 氯化胆碱对三樱椒幼苗形态特性的影响 由表 6 可知,氯化胆碱溶液叶面喷施和根灌处理三樱椒均显著提高了其干旱胁迫条件下叶片相对含水量,降低了叶片萎焉比例及

表 6 氯化胆碱对三樱椒幼苗形态特性的影响

| 抗旱剂施用方式 | 处理 | 叶片相对 含水量(%) | 叶片萎焉 比例(%) | 脱落叶 片数(张) |
|---------|-----------------|----------------|----------------|--------------|
| 叶面喷施 | CK | 62.65 ± 1.66c | 76.39 ± 7.48a | 3.33 ± 1.52a |
| | BP ₁ | 64.64 ± 2.13c | 73.28 ± 2.55a | 2.33 ± 0.57b |
| | BP ₂ | 66.87 ± 4.81bc | 70.93 ± 16.39a | 2.33 ± 0.57b |
| | BP ₃ | 80.84 ± 0.84a | 27.60 ± 13.35b | 2.00 ± 0.00b |
| | BP ₄ | 69.97 ± 5.60b | 39.52 ± 6.40b | 2.00 ± 0.00b |
| 根灌 | CK | 62.65 ± 0.01c | 76.39 ± 7.48a | 3.33 ± 1.52a |
| | BG ₁ | 66.79 ± 0.02c | 74.96 ± 3.10a | 2.33 ± 0.57b |
| | BG ₂ | 73.81 ± 0.02b | 67.15 ± 2.21b | 2.33 ± 0.57b |
| | BG ₃ | 90.79 ± 0.05a | 59.58 ± 9.38c | 1.67 ± 0.57c |
| | BG ₄ | 76.10 ± 0.05b | 63.76 ± 0.20b | 2.33 ± 0.57b |

脱落叶片数,且随着添加的氯化胆碱溶液浓度的增加叶片相对含水量呈现先升高后降低的趋势,叶片萎焉比例和脱落叶片数呈先降低后升高的趋势。在 BP₃ 和 BG₃ 处理下,叶片相对含水量最大且显著大于对照组($P < 0.05$),叶片萎焉比例、脱落叶片数最小且显著小于对照组($P < 0.05$)。以上结果表明,叶面喷施和根灌氯化胆碱溶液均显著提高了三樱椒叶片相对含水量,降低了叶片萎焉比例、脱落叶片数。

2.2.2 氯化胆碱对叶片生长期三樱椒光合特性的影响 由表 7 可知,氯化胆碱溶液叶面喷施和根灌处理三樱椒均显著提高了其干旱胁迫条件下叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素(a + b)含量和净光合速率。其中,BP₃ 处理和 BG₃ 处理的叶绿素含量、净光合速率最大且显著大于对照组($P < 0.05$),表明 BP₃ 处理、BG₃ 处理最利于抑制三樱椒叶绿素含量的降解,增强光合作用,提高三樱椒抗旱性。

表 7 氯化胆碱对三樱椒幼苗光合特性的影响

| 抗旱剂施用方式 | 处理 | 叶绿素 a 含量 (mg/g) | 叶绿素 b 含量 (mg/g) | 叶绿素(a + b)含量 (mg/g) | 净光合速率 [μmol/(m ² · s)] |
|---------|-----------------|--------------------|--------------------|------------------------|--|
| 叶面喷施 | CK | 0.74 ± 0.11c | 0.33 ± 0.05b | 1.07 ± 0.09c | 4.33 ± 0.89b |
| | BP ₁ | 0.84 ± 0.06c | 0.43 ± 0.11b | 1.27 ± 0.05c | 4.53 ± 0.16b |
| | BP ₂ | 0.99 ± 0.15c | 0.51 ± 0.05b | 1.50 ± 0.11c | 4.77 ± 0.31b |
| | BP ₃ | 2.62 ± 0.63a | 1.33 ± 0.35a | 3.94 ± 0.75a | 6.02 ± 0.06a |
| | BP ₄ | 1.67 ± 0.20b | 0.73 ± 0.08a | 2.39 ± 0.49b | 5.37 ± 0.31ab |
| 根灌 | CK | 0.74 ± 0.11b | 0.33 ± 0.05b | 1.07 ± 0.09c | 4.33 ± 0.89c |
| | BG ₁ | 0.75 ± 0.12b | 0.38 ± 0.05b | 1.13 ± 0.08bc | 4.87 ± 0.51bc |
| | BG ₂ | 0.79 ± 0.13b | 0.39 ± 0.08b | 1.19 ± 0.16bc | 5.47 ± 0.36bc |
| | BG ₃ | 2.15b ± 0.82a | 0.98 ± 0.50a | 3.13 ± 0.99a | 6.10 ± 0.13a |
| | BG ₄ | 1.49 ± 0.38a | 0.73 ± 0.05a | 2.21 ± 0.24ab | 5.77 ± 0.31ab |

2.2.3 氯化胆碱对三樱桃幼苗保护酶活性及膜透性的影响

由表 8 可知,氯化胆碱溶液叶面喷施和根灌处理三樱桃均显著提高了其干旱胁迫条件下 SOD 活性、POD 活性、CAT 活性,总体呈现先升高后降低的趋势,MDA 含量和相对电导率呈现先降低后上升的趋势。其中,BP₃ 处理和 BG₃ 处理的

表 8 氯化胆碱对三樱桃幼苗保护酶活性及膜透性的影响

| 抗旱剂施用方式 | 处理 | SOD 活性 [U/(g · min)] | POD 活性 [U/(g · min)] | CAT 活性 [U/(g · min)] | MDA 含量 (μmol/g) | 相对电导率 (%) |
|---------|-----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|----------------|
| 叶面喷施 | CK | 7.80 ± 0.66c | 30.47 ± 5.47b | 2.67 ± 0.35b | 31.67 ± 4.25a | 67.33 ± 8.22a |
| | BP ₁ | 8.58 ± 0.57bc | 30.62 ± 1.45b | 2.95 ± 0.34b | 24.33 ± 3.27a | 55.67 ± 1.78b |
| | BP ₂ | 9.78 ± 0.07bc | 36.86 ± 2.76b | 3.13 ± 0.29b | 13.39 ± 0.63b | 49.33 ± 2.44bc |
| | BP ₃ | 12.46 ± 1.18a | 49.71 ± 4.07a | 3.90 ± 0.28a | 12.74 ± 3.03b | 38.67 ± 2.44c |
| | BP ₄ | 10.82 ± 0.89ab | 36.99 ± 4.01b | 3.21 ± 0.09b | 13.09 ± 3.49b | 44.65 ± 2.44bc |
| 根灌 | CK | 7.80 ± 0.66b | 30.47 ± 5.47c | 2.67 ± 0.35c | 31.67 ± 4.25a | 67.33 ± 8.22a |
| | BG ₁ | 7.91 ± 1.36b | 33.52 ± 4.14c | 2.69 ± 0.33c | 26.35 ± 6.24a | 54.33 ± 6.89b |
| | BG ₂ | 8.35 ± 0.63b | 37.46 ± 10.82bc | 2.79 ± 0.30bc | 18.51 ± 5.06b | 51.67 ± 1.11bc |
| | BG ₃ | 11.65 ± 0.78a | 51.68 ± 6.34a | 3.51 ± 0.19a | 13.63 ± 2.59c | 43.00 ± 1.33c |
| | BG ₄ | 8.36 ± 0.91b | 39.01 ± 3.76ab | 2.98 ± 0.12ab | 14.59 ± 1.81bc | 50.67 ± 1.18bc |

2.2.4 氯化胆碱对三樱桃幼苗渗透调节物质的影响

由表 9 可知,氯化胆碱溶液叶面喷施和根灌处理三樱桃均提高了其干旱胁迫条件下可溶性蛋白含量、可溶性糖含量和脯氨酸含量,且随着浓度的增加,总体呈现先升高后降低的趋势。其中,BG₃ 处理可溶性蛋白含量、可溶性糖含量和脯氨酸含量最高,BP₃ 处理可溶性糖含量和脯氨酸含量显著高于对照组 ($P < 0.05$),BG₃ 处理可溶性蛋白含量和脯氨酸含量显著高于对照组 ($P < 0.05$)。总体上可以说明 BP₃ 处理和 BG₃ 处理浓度更有利于促进三樱桃可溶性糖含量和脯氨酸含量的增加,抑制了可溶性蛋白的降解,从而提高三樱桃抗旱性。

表 9 氯化胆碱对三樱桃幼苗渗透调节物质的影响

| 抗旱剂施用方式 | 处理 | 可溶性蛋白 含量 (mg/g) | 可溶性糖 含量 (μg/g) | 脯氨酸含量 (μg/g) |
|---------|-----------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 叶面喷施 | CK | 0.90 ± 0.04a | 57.77 ± 5.88b | 4.30 ± 0.98c |
| | BP ₁ | 1.02 ± 0.07a | 59.23 ± 5.79b | 4.87 ± 0.64c |
| | BP ₂ | 0.92 ± 0.24a | 59.65 ± 3.64b | 5.34 ± 1.33b |
| | BP ₃ | 1.11 ± 0.18a | 83.23 ± 7.82a | 8.41 ± 0.41a |
| | BP ₄ | 1.16 ± 0.09a | 62.13 ± 5.81b | 5.68 ± 0.88b |
| 根灌 | CK | 0.90 ± 0.04b | 57.77 ± 5.88a | 4.30 ± 0.98c |
| | BG ₁ | 1.08 ± 0.04a | 58.12 ± 4.34a | 4.60 ± 0.33c |
| | BG ₂ | 1.12 ± 0.07a | 63.67 ± 3.48a | 5.32 ± 0.29bc |
| | BG ₃ | 1.18 ± 0.04a | 70.63 ± 4.93a | 7.90 ± 0.54a |
| | BG ₄ | 1.13 ± 0.03a | 65.14 ± 8.18a | 5.94 ± 0.04b |

2.3 烯效唑对三樱桃幼苗抗旱性的影响

2.3.1 烯效唑对三樱桃幼苗形态特征的影响

由表 10 可知,烯效唑溶液叶面喷施和根灌三樱桃显著提高了其在干旱胁迫条件下叶片相对含水量,降低了叶片萎焉比例及脱落叶片数,且随着添加的烯效唑溶液浓度的增加,叶片相对含水量呈现先升高后降低的趋势,叶片萎焉比例呈先降低后升高的趋势,叶面喷施脱落叶片数呈降低趋势,但根灌处理脱落叶片数在低浓度 CG₁ 出现增多,之后又下降。其中,CP₃ 处理和 CG₃ 处理条件下的相对含水量最大,叶片萎焉比例和脱落叶片数最小(根灌处理叶片萎焉比例除外),且与对照组有显著差异 ($P < 0.05$)。总体而言,叶面喷施和根灌烯效唑溶液均

SOD 活性、POD 活性和 CAT 活性最大且显著大于对照组 ($P < 0.05$),MDA 和相对电导率最小且显著小于对照组 ($P < 0.05$),表明 BP₃ 处理和 BG₃ 处理最有利于促进三樱桃保护酶活性提高,抑制 MDA 含量的增加,提高三樱桃抗旱性。

表 10 烯效唑对叶片生长期三樱桃形态特性的影响

| 抗旱剂施用方式 | 处理 | 相对含水量 (%) | 叶片萎焉 比例 (%) | 脱落叶片数 (张) |
|---------|-----------------|----------------|------------------|----------------|
| 叶面喷施 | CK | 74.96 ± 1.56c | 87.15 ± 1.30a | 2.67 ± 0.57a |
| | CP ₁ | 77.51 ± 1.65bc | 76.08 ± 5.27b | 2.33 ± 0.57a |
| | CP ₂ | 80.61 ± 0.92b | 74.17 ± 3.24b | 2.33 ± 0.57a |
| | CP ₃ | 86.00 ± 1.13a | 59.96 ± 11.62c | 2.00 ± 0.00a |
| | CP ₄ | 83.14 ± 1.02ab | 61.57 ± 6.66c | 2.00 ± 0.00a |
| 根灌 | CK | 74.96 ± 1.56c | 87.15 ± 1.30a | 2.67 ± 0.57ab |
| | CG ₁ | 77.51 ± 1.06bc | 77.50 ± 3.93b | 3.00 ± 1.00a |
| | CG ₂ | 81.28 ± 1.88b | 80.94 ± 1.68b | 2.33 ± 0.57b |
| | CG ₃ | 86.00 ± 0.88a | 86.00 ± 15.86a | 2.00 ± 0.00c |
| | CG ₄ | 83.14 ± 1.76ab | 82.14 ± 6.56b | 2.00 ± 0.00c |

提高了三樱桃叶片相对含水量。

2.3.2 烯效唑对三樱桃幼苗光合特性的影响

由表 11 可知,烯效唑溶液叶面喷施和根灌三樱桃均显著提高了其干旱胁迫条件下叶绿素含量和净光合速率,且随着添加的烯效唑浓度的增加,叶绿素含量和净光合速率呈现先升高后降低的趋势。其中,CP₃ 处理和 CG₃ 处理条件下的叶绿素含量、净光合速率最大且显著大于对照组 ($P < 0.05$),表明叶面喷施和根灌烯效唑溶液对于干旱胁迫条件下三樱桃叶片叶绿素的降解起到了显著的抑制作用,提高三樱桃抗旱性。

2.3.3 烯效唑对三樱桃幼苗保护酶活性及膜透性的影响

由表 12 可知,进行烯效唑溶液叶面喷施和根灌处理三樱桃,在干旱胁迫条件下,三樱桃幼苗 SOD 活性、POD 活性和 CAT 活性呈现先升高后降低的趋势,但活性值均大于对照组;MDA 含量和相对电导率先降低后升高的趋势,但含量均小于对照组。其中,CP₃ 处理和 CG₃ 处理的 SOD 活性、POD 活性最大且显著大于对照组 ($P < 0.05$),各处理 CAT 活性无显著差异 ($P < 0.05$),MDA 含量和相对电导率最小且显著小于对照组 ($P < 0.05$)。说明叶面喷施和根灌烯效唑溶液促进了三樱桃保护酶活性的增加,抑制了 MDA 含量的增加。在 10 ~ 25 mg/L 浓度范围内,以 20 mg/L 叶面喷施或根灌效果最好。

2.3.4 烯效唑对三樱桃幼苗渗透调节物质的影响

由表 13 可知,干旱胁迫条件下对三樱桃进行叶面喷施和根灌烯效唑

表 11 烯效唑对三樱椒幼苗光合特性的影响

| 抗旱剂施用方式 | 处理 | 叶绿素 a 含量 (mg/g) | 叶绿素 b 含量 (mg/g) | 叶绿素(a+b)含量 (mg/g) | 净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] |
|---------|-----------------|--------------------|--------------------|----------------------|--|
| 叶面喷施 | CK | 0.54 ± 0.04c | 0.37 ± 0.07b | 0.91 ± 0.04c | 3.00 ± 0.60a |
| | CP ₁ | 0.72 ± 0.02b | 0.42 ± 0.05b | 1.14 ± 0.02b | 3.30 ± 0.40a |
| | CP ₂ | 0.76 ± 0.09b | 0.44 ± 0.08b | 1.20 ± 0.06b | 3.50 ± 0.13a |
| | CP ₃ | 1.21 ± 0.07a | 0.58 ± 0.11a | 1.79 ± 0.12a | 4.77 ± 0.31a |
| | CP ₄ | 1.08 ± 0.02a | 0.60 ± 0.12a | 1.68 ± 0.11a | 3.90 ± 0.20a |
| 根灌 | CK | 0.54 ± 0.04b | 0.37 ± 0.07b | 0.91 ± 0.04c | 3.00 ± 0.60b |
| | CG ₁ | 0.60 ± 0.43b | 0.37 ± 0.05b | 0.92 ± 0.36c | 3.37 ± 0.18b |
| | CG ₂ | 0.72 ± 0.08b | 0.39 ± 0.02b | 1.06 ± 0.06bc | 3.70 ± 0.20b |
| | CG ₃ | 1.17 ± 0.04a | 0.63 ± 0.13a | 1.80 ± 0.12a | 4.90 ± 0.33a |
| | CG ₄ | 0.86 ± 0.08b | 0.41 ± 0.04b | 1.28 ± 0.04b | 3.80 ± 0.47b |

表 12 烯效唑对三樱椒幼苗保护酶活性及膜透性的影响

| 抗旱剂施用方式 | 处理 | SOD 活性 [U/(g · min)] | POD 活性 [U/(g · min)] | CAT 活性 [U/(g · min)] | MDA 含量 ($\mu\text{mol/g}$) | 相对电导率 (%) |
|---------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------|
| 叶面喷施 | CK | 5.07 ± 0.85e | 29.33 ± 2.43b | 3.05 ± 0.57a | 31.17 ± 3.39a | 42.67 ± 4.44a |
| | CP ₁ | 5.71 ± 0.73bc | 31.66 ± 3.26b | 3.13 ± 0.20a | 23.22 ± 7.95ab | 37.56 ± 5.17ab |
| | CP ₂ | 6.68 ± 0.11ab | 33.07 ± 3.37b | 3.49 ± 0.12a | 16.48 ± 3.41b | 32.89 ± 4.13ab |
| | CP ₃ | 7.48 ± 0.37a | 45.65 ± 5.14a | 4.43 ± 0.28a | 13.21 ± 0.97b | 26.50 ± 4.26c |
| | CP ₄ | 7.33 ± 0.36a | 37.26 ± 1.05b | 3.63 ± 0.38a | 15.36 ± 1.59b | 30.85 ± 6.01bc |
| 根灌 | CK | 5.07 ± 0.85e | 29.33 ± 2.43c | 3.05 ± 0.57b | 31.17 ± 3.39a | 42.67 ± 4.44a |
| | CG ₁ | 6.03 ± 0.30bc | 30.95 ± 0.94bc | 3.40 ± 0.08b | 14.80 ± 7.00b | 37.48 ± 2.47ab |
| | CG ₂ | 6.94 ± 0.10b | 34.22 ± 3.21bc | 3.56 ± 0.17b | 13.52 ± 4.17b | 32.38 ± 7.01bc |
| | CG ₃ | 7.37 ± 0.90a | 41.91 ± 2.44a | 4.14 ± 0.33a | 12.55 ± 3.46b | 24.49 ± 1.42b |
| | CG ₄ | 7.06 ± 0.37ab | 36.01 ± 0.92b | 3.66 ± 0.28b | 13.12 ± 0.79b | 30.25 ± 2.11bc |

表 13 烯效唑对三樱椒幼苗渗透调节物质的影响

| 抗旱剂施用方式 | 处理 | 可溶性蛋白含量 (mg/g) | 可溶性糖含量 ($\mu\text{g/g}$) | 脯氨酸含量 ($\mu\text{g/g}$) |
|---------|-----------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 叶面喷施 | CK | 0.88 ± 0.10b | 92.08 ± 3.18c | 2.96 ± 0.32b |
| | CP ₁ | 1.24 ± 0.18a | 93.90 ± 1.38c | 3.07 ± 0.56b |
| | CP ₂ | 1.25 ± 0.18a | 98.87 ± 4.03bc | 3.35 ± 0.59b |
| | CP ₃ | 1.47 ± 0.08a | 117.69 ± 11.48a | 5.25 ± 0.13a |
| | CP ₄ | 1.42 ± 0.04a | 105.35 ± 1.95ab | 3.59 ± 0.30b |
| 根灌 | CK | 0.88 ± 0.10c | 92.08 ± 3.18b | 2.96 ± 0.32b |
| | CG ₁ | 1.27 ± 0.12b | 93.82 ± 2.89bc | 3.00 ± 0.32b |
| | CG ₂ | 1.34 ± 0.19ab | 97.45 ± 3.19bc | 3.17 ± 0.46b |
| | CG ₃ | 1.55 ± 0.11a | 108.24 ± 3.36a | 4.39 ± 0.06a |
| | CG ₄ | 1.37 ± 0.04ab | 100.62 ± 1.44b | 3.52 ± 0.06b |

溶液,可溶性蛋白含量、可溶性糖含量和脯氨酸含量呈现先升高后降低的趋势,且均大于对照组。其中,CP₃ 处理和 CG₃ 处理的可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、脯氨酸含量最大且显著大于对照组 ($P < 0.05$),在 10 ~ 25 mg/L 浓度范围内,以 20 mg/L 叶面喷施或根灌效果最好。

2.4 3 种植物抗旱剂生理生长指标间的判别分析

2.4.1 叶面喷施植物抗旱剂生理生长指标间的判别分析
在叶面喷施处理条件下,将生理生长指标在 3 种不同植物抗旱剂组上进行判别分析,除 MDA 含量、POD 活性无显著差异外,其他各个指标均存在显著差异,正确判别率为 100%。从图 1 可以看出,3 种不同植物抗旱剂组间距离较远,分界清楚,各组围绕组中心集中分布,说明 3 种植物抗旱剂对三樱椒生理生长的影响显著不同。

2.4.2 根灌植物抗旱剂生理生长指标间的判别分析 在根

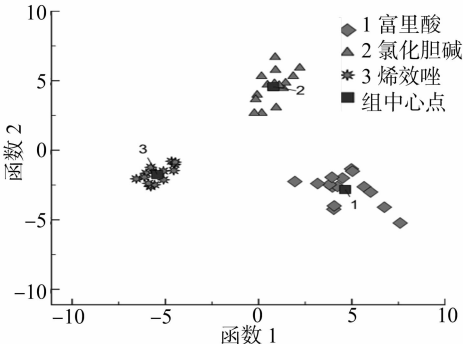


图1 叶面喷施处理下 3 种不同植物抗旱剂的判别分析

灌处理条件下,将各生理生长指标在 3 种不同植物抗旱剂组上进行判别分析,绝大多数指标均存在显著差异,正确判别率为 100%。由图 2 可知,3 种不同植物抗旱剂组间距离较远,分界清楚,各组围绕组中心集中分布,说明 3 种植物抗旱剂对三樱椒生理生长的影响显著不同。

3 结论与讨论

植物抗旱剂能促进作物根系的发育,增强作物根系的吸水、吸肥能力,尤其是土壤深层的水分和养分;减小叶片的气孔开张度,增加气孔阻力,抑制叶面蒸腾,从而减少叶层水分散失,保持植株体内水分^[1,15]。本研究表明,富里酸、氯化胆碱和烯效唑 3 种植物抗旱剂提高了三樱椒的保水能力,且 300 mg/L 富里酸、500 mg/L 氯化胆碱和 20 mg/L 烯效唑处理下的三樱椒叶片相对含水量显著增加,叶片萎蔫比例和脱落叶片数显著降低。

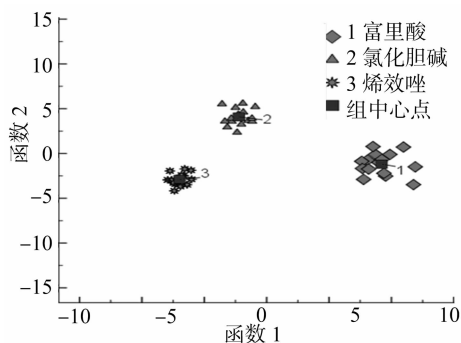


图2 根灌处理下 3 种不同植物抗旱剂的判别分析

干旱胁迫条件会迫使叶片中叶绿体受到损伤,导致叶绿素降解,抑制叶绿素的合成,光合速率下降。冀宪领等以桑树为研究材料,发现桑树叶片的净光合速率随着干旱胁迫的加剧,降低幅度逐渐增加^[16]。植物抗旱剂能保持细胞正常功能,维持植株叶绿体和线粒体结构的稳定,叶绿素分解减慢,含量增加,延缓植株衰老,作物光合生产和物质积累能力增强;提高光合速率和降低呼吸消耗,使得光合作用在干旱条件下能较长时间维持正常^[17]。本试验表明,植物抗旱剂抑制了三樱桃叶绿素的降解,提高了三樱桃的光合能力,且 300 mg/L 富里酸、500 mg/L 氯化胆碱和 20 mg/L 烯效唑处理下的三樱桃叶绿素含量和净光合速率与对照相比显著增加。

植物组织细胞中的酶系统具有清除活性氧的能力,能够保护植物组织细胞免受膜脂过氧化产物的伤害,使植物维持正常的生长发育。但是在严重干旱胁迫条件下,植物产生活性氧和清除活性氧之间的平衡被打破,活性氧的生成率高于清除率,导致植物细胞受到氧化胁迫,启动膜脂过氧化作用,产生 MDA,使细胞受到损伤。本试验表明,叶面喷施和根灌抗旱剂促进了三樱桃保护酶活性的增强,抑制了 MDA 含量的增加和相对电导率的上升。300 mg/L 富里酸、500 mg/L 氯化胆碱和 20 mg/L 烯效唑处理下的三樱桃保护酶活性与对照相比显著增加,MDA 含量和相对电导率显著下降。

抗旱剂通过调节渗透调节物质,增加细胞内溶质的含量,降低细胞内水势,保持细胞内外的渗透压,一方面提高植株吸水能力,另一方面减少水分散失^[18]。杜金伟等研究发现,在干旱胁迫条件下,叶片中可溶性蛋白含量增加^[19]。刘景辉等研究发现,随着土壤含水量的减少,可溶性糖含量呈上升趋势^[20]。本研究结果表明,干旱胁迫条件下叶面喷施和根灌抗旱剂促进了三樱桃可溶性糖含量和脯氨酸含量的增加,抑制了可溶性蛋白的降解,且 300 mg/L 富里酸、500 mg/L 氯化胆碱和 20 mg/L 烯效唑处理下的三樱桃可溶性糖含量和脯氨酸含量显著增加,蛋白质降解减缓。

本研究中相同浓度抗旱剂叶面喷施和根灌 2 种使用方式对三樱桃幼苗生理生长无明显影响。对 3 种抗旱剂的作用效果进行判别分析,说明 3 种植物抗旱剂对三樱桃生理生长的影响显著不同。从对三樱桃幼苗形态特征的影响来看,富里酸作用优于氯化胆碱,氯化胆碱作用优于烯效唑;从对三樱桃幼苗光合特性的影响来看,氯化胆碱作用优于富里酸,富里酸作用优于烯效唑;从对三樱桃幼苗保护酶活性及膜透性的影

响来看,富里酸、氯化胆碱和烯效唑三者作用优势差异不明显;从对三樱桃幼苗渗透调节物质的影响来看,富里酸、氯化胆碱和烯效唑三者作用优势差异不明显;综合来看,富里酸抗旱作用优于氯化胆碱,氯化胆碱抗旱作用优于烯效唑。在考虑安全、经济效益的条件下,叶面喷施和根灌 300 mg/L 富里酸、500 mg/L 氯化胆碱和 20 mg/L 烯效唑对提高三樱桃抗旱性效果最好。

参考文献:

- [1] 张卫星,赵致,廖景容,等. 作物抗旱剂的应用研究进展[J]. 中国农学通报,2004,20(6):334-339,341.
- [2] 祁春苗. 氯化胆碱对地黄耐旱性的诱导效应[D]. 郑州:河南农业大学,2007.
- [3] 钟瑞春,唐秀梅,蒋菁,等. 烯效唑对花生生长、光合作用及产量形状的影响[J]. 广东农业科学,2015,42(11):65-70.
- [4] 朱翠萍. 烯效唑拌种对花生产量及品质的影响[J]. 现代农业科技,2013,26(4):158,164.
- [5] 李波. 不同水分胁迫下烯效唑浸种大豆苗期生长及产量的影响[D]. 雅安:四川农业大学,2006:8-18.
- [6] 曾化伟. 土壤水分含量与施氮量对辣椒部分生理特性及产量品质的影响[D]. 贵阳:贵州大学,2007:7-16.
- [7] 高建芹,陈松,彭琦,等. 苗期喷施烯效唑对油菜生长及产量和品质的影响[J]. 江苏农业学报,2016,32(2):305-312.
- [8] 陈翠玲,姚素梅,肖冰冰,等. 新乡市四区六县土壤田间持水量抽样调查[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2011,39(3):5-9,14.
- [9] 霍海霞,牛文全,汪有科. 干旱胁迫对 2 种辣椒植株形态可塑性及持水力的影响[J]. 江西农业大学学报,2008,30(4):643-647.
- [10] 袁娜娜. 室内环刀法测量土壤田间持水量[J]. 中国新技术新产品,2014,10(9):184.
- [11] 路景玲,徐颖,魏晓云,等. 螯合剂处理重金属污染底泥研究进展[J]. 环境保护科学,2010,36(4):36-39.
- [12] 刘萍,李明军. 植物生理学实验技术[M]. 北京:科学出版社,2007:125-127.
- [13] 张志良,瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2003:274-276.
- [14] 王三根. 植物生理学[M]. 北京:科学出版社,2013:302-311.
- [15] 樊小林,张一平,李玲,等. 抗旱剂对作物生长土壤结构及土壤水分性质的影响[J]. 西北农业学报,1994,3(1):54-58.
- [16] 冀宪领,盖英萍,牟志美,等. 干旱胁迫对桑树生理生化特性的影响[J]. 蚕业科学,2004,30(2):117-122.
- [17] 宋凤斌,戴俊英. MOC 抗旱剂叶面喷施增强玉米耐旱性机理的研究[J]. 吉林农业大学学报,1999,21(2):1-6.
- [18] 吴艳艳. 抗旱剂的研究进展[J]. 山东化工,2015,44(3):69-70,76.
- [19] 杜金伟,崔世茂,金丽萍,等. 水分胁迫对山杏渗透调节物质积累及保护酶活性的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2009,30(2):88-93.
- [20] 刘景辉,赵海超,任永峰,等. 土壤水分胁迫对燕麦叶片渗透调节物质含量的影响[J]. 西北植物学报,2009,29(7):1432-1436.