

王雅情, 畅灼卓, 赵夏童, 等. 除草剂使它隆不同兑水量对谷子生理生化指标及杂草防效的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(13): 98–103.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.13.019

除草剂使它隆不同兑水量对谷子生理生化指标及杂草防效的影响

王雅情, 畅灼卓, 赵夏童, 董淑琦, 宋喜娥, 原向阳

(山西农业大学农学院, 山西太谷 030801)

摘要:采用盆栽和大田试验相结合的方法, 研究不同兑水量(450.0、225.0、112.5 L/hm²)的 20% 使它隆乳油对张杂谷 10 号、晋谷 21 号幼苗倒 2 叶的超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、可溶性蛋白含量、产量和阔叶杂草防效的影响。结果表明, 使它隆处理初期, 谷子叶片的 SOD、POD、CAT 活性及可溶性蛋白含量均随兑水量的减少呈先升高后降低趋势, 且均高于对照; 其中兑水量为 225.0 L/hm² 时, 与对照差异显著。随着兑水量的降低, 使它隆对阔叶杂草的防除效果先升高后降低, 且防效随着施药后时间的延长而降低; 兑水量为 225.0 L/hm² 时的防除效果最好, 且对谷子产量无显著影响。综上所述, 225.0 L/hm² 兑水量的使它隆处理初期会引起谷子体内抗氧化酶系统的应激反应, 显著提高抗氧化酶活性和可溶性蛋白含量, 对大田阔叶杂草的防除效果最好。

关键词:谷子; 使它隆; 兑水量; 生理生化指标; 杂草防效

中图分类号: S482.4⁺9; S451.22

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2021)13-0098-06

谷子是一种起源于我国的粮草兼用作物, 具有抗逆性强、适应性广等特点, 是干旱地区的重要粮食作物, 可作为未来应对粮食危机、水危机的重要战略储备物质^[1-4]。脱壳后的小米营养丰富, 富含人体所必需的 8 种氨基酸, 因此深受人们的喜爱^[5]。但是, 田间杂草会通过争夺营养成分和生长空间、分泌有毒物质、传播病虫害等途径, 阻碍谷子正常生长发育, 最终影响其产量与品质^[6-8]。谷田每年因杂草危害可引起谷子减产 30% 左右, 严重时甚至出现绝收现象^[9]。

使它隆是由美国陶氏益农公司开发生产的一种低毒、安全、高效的内吸传导型苗后除草剂, 主要防除小麦和谷子等田的阔叶杂草^[10-11]。在紫薇圃地施用 100 g/hm² 使它隆, 药后 30 d, 阔叶杂草的防除效果在 79% 以上; 而施用 200 g/hm² 使它隆防效

可达 83% 以上^[12]。相关研究表明, 在除草剂胁迫下植物会产生大量的活性氧(ROS), 体内超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等保护酶活性会发生相应变化来应对胁迫^[13-14]。强筋小麦体内的 SOD、POD、CAT 等活性在使它隆喷施后 5~15 d 应激升高, 随后逐渐恢复至对照水平^[15]; 在激素型除草剂二甲四氯的低浓度处理下, 谷子叶片的 SOD、POD、CAT 活性也均高于对照, 且随着施药时间的延长, 对其抗氧化酶系统的影响逐渐减小^[16]; 在阔世玛胁迫下, 谷子体内的可溶性蛋白含量升高, 谷子抵御不良环境的能力提高^[17]。

除草剂喷施过程中兑水量的多少会影响药液在靶标上的沉积, 最终影响药效。研究表明, 浓缩的且数量较少的草甘膦药滴比稀释的且数量较多的草甘膦药滴对大麦的毒性大^[18]。但是当农药有效成分用量一定时, 喷液量充足才能保证药效发挥^[19], 因此过度降低喷液量会影响药效发挥。柑橘园防除杂草发现百草枯以 600~750 L/hm² 的兑水量最合适, 草甘膦兑水量降低为 450~600 L/hm² 防除效果最好^[20], 由此可见, 不同类型除草剂的适宜兑水量不尽相同。玉米田施用苯唑草酮后, 兑水量的降低对药效和玉米产量都没有产生显著影响^[21], 在实际使用过程中可以适当降低兑水量。

收稿日期: 2021-02-13

基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项(编号: CARS-06-13.5-A28); 山西省重点研发计划(编号: 201903D221030); 山西省粮食系统研发项目(编号: 202001); 山西农业大学青年拔尖创新人才支持计划(编号: TYIT201406)。

作者简介: 王雅情(1996—), 女, 山西晋城人, 硕士研究生, 主要从事作物化学调控与逆境生理研究。E-mail: 291819065@qq.com。

通信作者: 原向阳, 博士, 教授, 主要从事作物化学调控与化学除草研究。E-mail: yuanxiangyang200@163.com。

本研究以张杂谷 10 号、晋谷 21 号为试验材料,研究除草剂使它隆不同兑水量对谷子抗氧化酶系统、可溶性蛋白含量、产量和杂草防效的影响,以期为使它隆低容量施用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

谷子品种:张杂谷 10 号(杂交谷,河北省张家口市农业科学院提供)、晋谷 21 号(常规谷,山西农业大学经济作物研究所提供)。

除草剂:20% 使它隆乳油,购自江苏中旗科技股份有限公司。

1.2 试验设计

盆栽试验于 2020 年 5—10 月在山西农业大学化学调控实验室进行,将张杂谷 10 号、晋谷 21 号的种子均匀播种在装有营养土的 5 cm × 5 cm 的营养钵中,每盆定植 4 株。在谷子 4 叶期时,将 1.05 L/hm² (推荐剂量)的使它隆分别兑水 450.0 (田间推荐兑水量)、225.0、112.5 L/hm² 进行喷施,以喷施 450 L/hm² 清水的谷子为对照,3 次重复。药后 3、7、14 d,选取长势一致的谷子幼苗倒 2 叶,测定谷子叶片的抗氧化酶活性和可溶性蛋白含量。

大田试验在山西农业大学申奉村试验田进行,试验田地势平坦,土壤为壤土,肥力均匀一致,田间管理与当地农田一致。前茬作物为大豆,杂草长势均匀。待谷子长到 4 叶期,进行使它隆处理,与盆栽试验处理相同,设杂草自由生长为对照区,3 次重复,每个小区面积为 10 m² (2 m × 5 m)。分别于药后 15、30、45 d 测定杂草的株防效和鲜质量防效;成熟期进行产量的测定。

1.3 测定指标

1.3.1 抗氧化酶活性测定 称取 0.1 g 新鲜谷子叶片后加入 2 mL pH 值为 7.8 的磷酸缓冲液进行充分研磨,随后转移于 2 mL 离心管中,12 000 g 离心 15 min,吸取上清液用于酶活性的测定。

测定超氧化物歧化酶活性采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法^[22],吸取上清液后加入 5 mL SOD 反应液,照光 25 min 左右,空白处理则放置暗处,用于调零,于 560 nm 下进行比色,并记录吸光度。

测定过氧化物酶的活性采用愈创木酚法^[23],吸取上清液加入 3 mL POD 反应液,在 470 nm 下进行比色,分别每隔 1 min 读取吸光度,共读取 3 次。

过氧化氢酶活性采用紫外吸收法测定^[24],吸取上清液加入 1.5 mL pH 值为 7.8 的磷酸缓冲液和 1 mL 蒸馏水,比色时加入 0.3 mL 0.1 mol/L H₂O₂,记录在 240 nm 下吸光度的变化,每 30 s 1 次,共计 3 min。

1.3.2 可溶性蛋白含量测定 采用考马斯亮蓝 G-250 法进行可溶性蛋白含量的测定^[25]。称取 0.1 g 新鲜谷子叶片进行研磨,将匀浆液转移于 2 mL 离心管中,4 000 g 离心 15 min,吸取上清液,加入 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 试剂,充分混合后于 595 nm 波长处比色。

1.3.3 杂草防效的调查 于施药后 15、30、45 d,采用绝对数调查法^[26-27],即每个小区沿着对角线选取 3 个样点,每个样点 0.25 m² (0.5 m × 0.5 m),分别统计各小区内反枝苋和藜的株数,并进行鲜质量的称量,计算株防效和鲜质量防效。

株防效 = [(空白对照区杂草株数 - 处理区杂草株数) / 空白对照区杂草株数] × 100% ;

鲜质量防效 = [(空白对照区杂草鲜质量 - 处理区杂草鲜质量) / 空白对照区杂草鲜质量] × 100% 。

1.3.4 产量测定 在谷子成熟期时,每个小区选取 3 m² (3 m × 1 m) 进行单收,风干脱粒进行称质量计算产量。

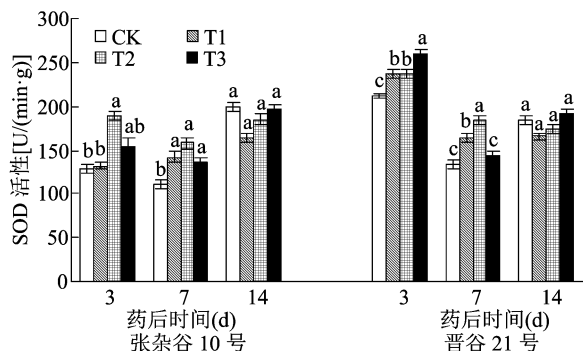
1.4 数据处理

利用 Microsoft Excel 2010 和 DPS 6.5 软件进行数据处理和分析。采用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 使它隆不同兑水量对谷子叶片 SOD 活性的影响

由图 1 可知,药后 3 d,张杂谷 10 号叶片的 SOD 活性在 T2 处理时比对照高 45.23%,差异达显著水平;晋谷 21 号叶片的 SOD 活性在 3 个处理下均显著高于对照,分别比对照高 11.83%、12.07%、22.59%。药后 7 d,张杂谷 10 号叶片的 SOD 活性在 3 个处理下均显著高于对照,分别比对照高 29.03%、43.38%、23.07%;晋谷 21 号叶片的 SOD 活性在 T1、T2 处理时均显著高于对照,分别比对照高 22.26%、38.26%。药后 14 d,2 个谷子品种叶片 SOD 活性的变化趋势基本一致,均与对照差异不显著。随着药后时间的延长,2 个品种谷子叶片 SOD 活性呈先降低后升高的趋势。



图中不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。图 2 至 图 5 同图 1

图 1 使它隆不同兑水量对谷子叶片 SOD 活性的影响

2.2 使它隆不同兑水量对谷子叶片 POD 活性的影响

由图 2 可知,使它隆处理后,2 个谷子品种叶片 POD 活性的变化趋势基本一致,均高于对照。施药后同一时期,随着兑水量的降低,2 种谷子叶片 POD 活性呈先升高后降低的趋势。药后 3 d,2 个谷子品种叶片 POD 活性在各处理下均与对照相比差异达显著水平;药后 7、14 d,张杂谷 10 号叶片 POD 活性在各处理下均恢复至与对照无显著差异水平,而晋谷 21 号仍均与对照差异显著。随着药后时间的延长,2 个谷子品种叶片的 POD 活性逐渐升高,在药后 14 d 达到最大值。

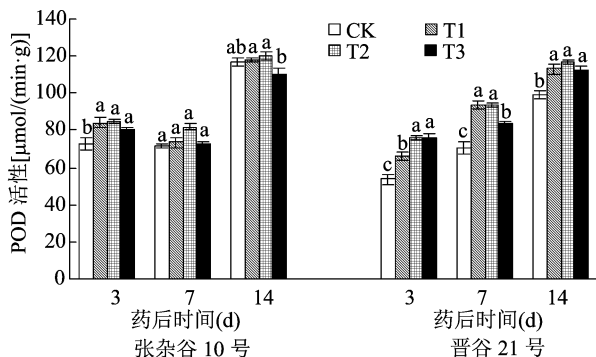


图 2 使它隆不同兑水量对谷子叶片 POD 活性的影响

2.3 使它隆不同兑水量对谷子叶片 CAT 活性的影响

由图 3 可知,喷施不同兑水量的使它隆后,2 个谷子品种叶片 CAT 活性在药后 3、7 d 的变化趋势基本一致,均高于对照。药后 14 d,2 种谷子叶片 CAT 活性变化趋势不一致,张杂谷 10 号叶片 CAT 活性均低于对照,而晋谷 21 号 T1、T2 处理高于对照。药后 3 d,张杂谷 10 号叶片 CAT 活性在 T2 处理时比对照高 31.97%,差异达显著水平;而晋谷 21 号 T1、T2 处理分别比对照高 47.39%、55.28%,差异均达

显著水平。药后 7 d,张杂谷 10 号叶片 CAT 活性在 T2 处理时比对照高 50.32%,而晋谷 21 号 T1、T2 处理分别比对照高 53.59%、59.54%,差异均达显著水平。药后 14 d,晋谷 21 号叶片 CAT 活性在 T2 处理时仍与对照差异显著。随着施药时期的推移,2 种谷子叶片 CAT 活性逐渐升高。

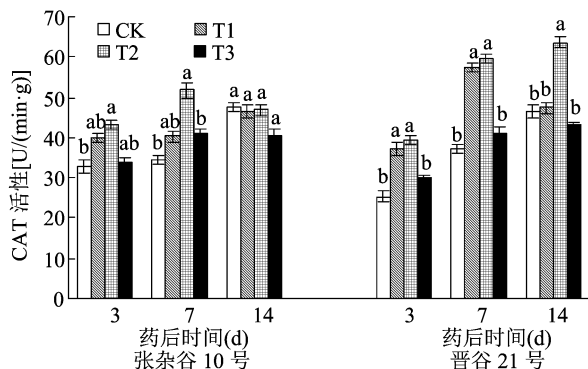


图 3 使它隆不同兑水量对谷子叶片 CAT 活性的影响

2.4 使它隆不同兑水量对谷子叶片可溶性蛋白含量的影响

由图 4 可知,药后 3 d,随着兑水量的降低,张杂谷 10 号叶片可溶性蛋白含量逐渐升高,在 T2、T3 处理时显著高于对照,分别比对照高 26.02%、69.64%;晋谷 21 号叶片可溶性蛋白含量在各处理下均显著高于对照。药后 7 d,晋谷 21 号叶片可溶性蛋白在 T2、T3 处理时仍显著高于对照,分别比对照高 23.43%、17.97%。药后 14 d,张杂谷 10 号各处理叶片可溶性蛋白含量均显著低于对照,而晋谷 21 号各处理叶片可溶性蛋白含量均高于对照,二者的变化趋势不一致。

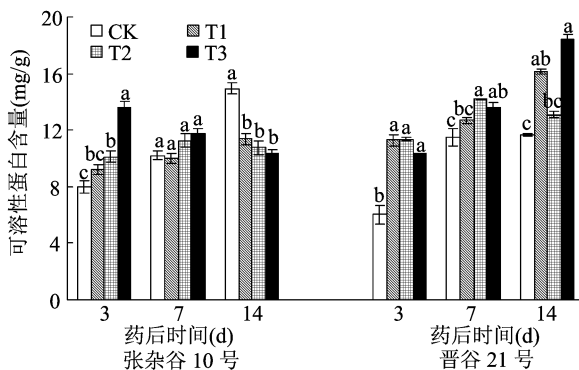


图 4 使它隆不同兑水量对谷子叶片可溶性蛋白含量的影响

2.5 使它隆不同兑水量对谷田阔叶杂草的株防效

由表 1 可知,随着兑水量的降低,使它隆对反枝苋、藜和总阔叶杂草的株防效先升高后降低,T2 处理时株防效达到最高,且对藜的株防效明显高于反枝苋。药后 15 d,不同处理下的反枝苋、藜、总阔叶

杂草株防效分别为 52.01% ~ 74.11%、97.70% ~ 98.85%、75.93% ~ 87.06%；其中 T2 处理时最高，分别为 74.11%、98.85%、87.06%。药后 30 d，藜和总阔叶杂草株防效在 T2 处理下显著高于 T3 处理；不同处理下的反枝苋、藜、总阔叶杂草株防效分别为 48.77% ~ 71.60%、77.86% ~ 98.34%、

64.10% ~ 85.70%。药后 45 d，反枝苋、藜、总阔叶杂草株防效在 T2 处理下显著高于 T3 处理；不同处理下的反枝苋、藜、总阔叶杂草株防效分别为 44.83% ~ 71.26%、71.54% ~ 89.23%、58.94% ~ 80.76%。随着施药时期的延长，使它隆相同兑水量对阔叶杂草的株防效逐渐降低，15 d 时的株防效最高。

表 1 使它隆不同兑水量处理对谷田阔叶杂草的株防效

处理	处理后时间 (d)	反枝苋		藜		总阔叶杂草	
		株数(株)	株防效(%)	株数(株)	株防效(%)	株数(株)	株防效(%)
CK	15	52.72		58.00		110.79	
T1		15.00	71.59a	0.67	98.85a	15.67	85.86a
T2		13.67	74.11a	0.67	98.85a	14.33	87.06a
T3		25.33	52.01a	1.33	97.70a	26.67	75.93a
CK	30	54.00		60.21		114.21	
T1		16.00	70.37a	1.33	97.79a	17.33	84.82a
T2		15.33	71.60a	1.00	98.34a	16.33	85.70a
T3		27.67	48.77b	13.33	77.86b	41.00	64.10b
CK	45	58.00		65.00		123.00	
T1		18.00	68.97a	8.00	87.69a	26.00	78.86a
T2		16.67	71.26a	7.00	89.23a	23.67	80.76a
T3		32.00	44.83b	18.5	71.54b	50.50	58.94b

注:数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),表 3 同。

2.6 使它隆不同兑水量对谷田阔叶杂草的鲜质量防效

由表 2 可知,随着兑水量的降低,使它隆对反枝苋、藜、总阔叶杂草的鲜质量防效与株防效的变化趋势基本一致,呈先升高后降低的趋势。药后 15、30 d,反枝苋、藜、总阔叶杂草的鲜质量防效 T2 处理均高于 T3 处理,差异达显著水平;其中药后 15 d,不同处理反枝苋、藜、总阔叶杂草的鲜质量防效分别为 56.49% ~ 81.43%、86.91% ~ 98.31%、69.23% ~ 88.50%,药后 30 d,分别降低为 53.96% ~ 79.97%、85.21% ~ 97.26%、62.53% ~ 84.71%。药后 45 d,反枝苋、总阔叶杂草的鲜质量防效在 T2 处理时高于 T3,差异达显著水平;不同处理下反枝苋、藜、总阔叶杂草的鲜质量防效分别为 52.35% ~ 79.40%、83.37% ~ 95.94%、61.39% ~ 84.22%。药后 15 d 时,T2 处理反枝苋、藜、总阔叶杂草的鲜质量防效最高,分别为 81.43%、98.31%、88.50%,且对藜的鲜质量防效明显高于反枝苋。

2.7 使它隆不同兑水量对谷子产量及增产率的影响

由图 5 可知,不同兑水量处理后,除晋谷 21 号

T2 处理下产量低于对照外,其他处理下 2 个谷子品种产量均高于对照。不同处理下,张杂谷 10 号分别增产 1.60%、2.93%、1.06%;晋谷 21 号分别增产 0.84%、2.00%、-0.09%。在 T2 处理时,2 个谷子品种产量均达到最大值;张杂谷 10 号增产 2.93%,晋谷 21 号增产 2.00%。

3 讨论与讨论

为应对除草剂胁迫,植物体内 SOD、POD、CAT 等抗氧化酶活性会发生变化,协同清除过量的活性氧以减轻或抵御除草剂对细胞的伤害^[28-29]。其中,SOD 是植物抵御逆境的第一道防线,起着保护细胞免受自由基毒害的重要作用^[30-31];过氧化氢(H_2O_2)是 ROS 主要成分之一,POD 和 CAT 可将体内 H_2O_2 转化为氧气和水,抑制活性氧对脂膜的过氧化作用。朱诗禹等发现,精异丙甲草胺在一定浓度范围内,会提高大豆体内的抗氧化酶活性^[32];郭磊等研究表明,施用百草枯后,显著提高了桃树叶片 POD 和 CAT 活性^[33]。本研究中药后 3、7 d,谷子叶片细胞中 SOD、POD 和 CAT 活性均出现不同程度的升高;兑水量为 225.0 L/hm² 时,除张杂谷 10 号

表 2 使它隆不同兑水量处理对谷田阔叶杂草的鲜质量防效

处理	处理后时间 (d)	反枝苋		藜		总阔叶杂草	
		鲜质量(g)	鲜质量防效(%)	鲜质量(g)	鲜质量防效(%)	鲜质量(g)	鲜质量防效(%)
CK	15	1 725.33		1 242.67		2 968.00	
T1	15	413.00	76.06ab	23.33	98.12a	436.33	85.30a
T2	15	320.33	81.43a	21.00	98.31a	341.33	88.50a
T3	15	750.67	56.49b	162.67	86.91b	913.33	69.23b
CK	30	3 955.00		1 494.33		5 449.33	
T1	30	966.00	75.58a	56.33	96.23a	1 022.33	81.24a
T2	30	792.33	79.97a	41.00	97.26a	833.33	84.71a
T3	30	1 821.00	53.96b	221.00	85.21b	2 042.00	62.53b
CK	45	4 611.00		1 897.00		6 508.00	
T1	45	1 213.5	73.68b	90.50	95.23a	1 304.00	79.96a
T2	45	949.83	79.40a	77.00	95.94a	1 026.83	84.22a
T3	45	2 197.17	52.35c	315.50	83.37a	2 512.67	61.39b

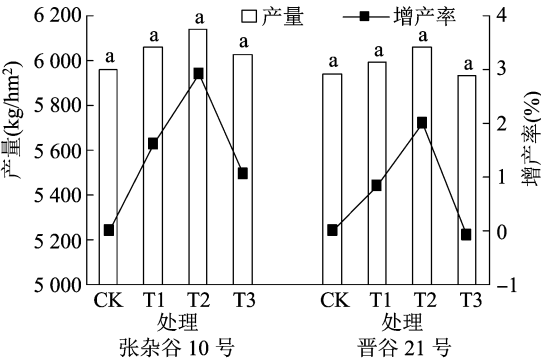


图5 使它隆不同兑水量对谷子产量和增产率的影响

叶片的 POD 活性在药后 7 d 与对照差异不显著外,其他时间段 2 个谷子品种抗氧化酶活性均显著高于对照,表明在使它隆胁迫初期,谷子体内的活性氧清除机制被激活,保护谷子免受除草剂侵害。药后 14 d,张杂谷 10 号叶片抗氧化酶活性恢复至与对照无显著差异水平,而晋谷 21 号部分处理叶片恢复。喷施不同兑水量的使它隆后,谷子叶片抗氧化酶活性升高,且随着施药时间的延长,对谷子叶片抗氧化酶活性的影响逐渐减小,这与郭美俊等的研究结果^[14]一致。

可溶性蛋白是重要的渗透调节物质,可直接或间接影响植物的代谢情况,反映除草剂等胁迫对植物的伤害程度^[34]。相关研究表明,在盐胁迫下紫苏叶片中的可溶性蛋白开始大量积累,协调细胞与外界的渗透压^[35]。本研究中,药后 3 d,在 225.0 L/hm² 兑水量处理下,谷子叶片可溶性蛋白含量显著高于对照,说明谷子可以通过协调渗透压保护生物膜结构的完整。而药后 7、14 d,张杂谷 10

号与晋谷 21 号叶片可溶性蛋白含量的变化不同,说明 2 个谷子品种的可溶性蛋白含量在应对除草剂胁迫时有差异。

谷田中阔叶杂草主要有曼陀罗、苋、藜、苘麻等。本试验中随着兑水量的降低,使它隆对田间阔叶杂草的防除效果呈先增加后降低的趋势,当兑水量为 225 L/hm² 时达到最大值。随着生育期的推进,对反枝苋与藜的株防效和鲜质量防效逐渐降低,原因可能是小区内新增杂草较多,这与李琦等研究结果^[36]相同。

王正贵等研究发现,在无草条件下几乎所有供试除草剂处理下的小麦产量均出现降低趋势^[37]。由此说明在有杂草存在的情况下,除草剂的增产效果是由于草害的减少使作物获得更多生活空间和水分引起的。本试验中喷施不同兑水量的使它隆后,除晋谷 21 号的产量在 112.5 L/hm² 时低于对照外,其他处理下 2 个谷子品种的产量均高于对照,但是未达显著水平。

本研究结果表明,225.0 L/hm² 兑水量的使它隆处理初期,会显著提高谷子幼苗叶片的抗氧化酶活性和可溶性蛋白含量,以此应对除草剂胁迫;随着施药时间的延长,谷子叶片抗氧化酶活性逐渐恢复至与对照无显著差异水平;同时该兑水量条件下对大田的阔叶杂草防除效果优于 450.0、112.5 L/hm²,且对产量无显著影响。

参考文献:

[1]任 君,阎小涛,秦秀珍. 山西省谷子产业发展现状及前景展望

- [J]. 现代农业科技,2017(20):267-268.
- [2] Anand P, Kunnumakkara A B, Sundaram C, et al. Cancer is a preventable disease that requires major lifestyle changes [J]. *Pharmaceutical Research*, 2008, 25(9):2097-2116.
- [3] Liu J K, Tang X, Zhang Y Z, et al. Determination of the volatile composition in brown millet, milled millet and millet bran by gas chromatography/mass spectrometry [J]. *Molecules* (Basel, Switzerland), 2012, 17(3):2271-2282.
- [4] 宁娜. 晒、除草剂及不同生态因子对谷子品质的影响[D]. 晋中:山西农业大学,2016:3-4.
- [5] Kasaoka S, Oh-Hashi A, Morita T, et al. Nutritional characterization of millet protein concentrates produced by a heat-stable α -amylase digestion [J]. *Nutrition Research*, 1999, 19(6):899-910.
- [6] 孙金秋, 任相亮, 胡红岩, 等. 农田杂草群落演替的影响因素综述[J]. *杂草学报*, 2019, 37(2):1-9.
- [7] 张朝贤, 倪汉文, 魏守辉, 等. 杂草抗性研究进展[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(4):1274-1289.
- [8] 宋喜娥, 郭浩璇, 刘亚楠, 等. 山西省晋中市春播谷田杂草发生情况调查与分析[J]. *杂草学报*, 2020, 38(2):9-15.
- [9] 程汝宏, 师志刚, 刘正理, 等. 抗除草剂简化栽培型谷子品种冀谷 25 的选育及配套栽培技术研究[J]. *河北农业科学*, 2010, 14(11):8-12.
- [10] 金涛, 段幼生, 高同春. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法测定双氟磺草胺和氯氟吡氧乙酸在小麦和土壤中的残留及消解动态[J]. *农药学报*, 2018, 20(4):468-476.
- [11] 柳建伟, 岳德成, 李青梅, 等. 几种除草剂对恶性杂草苣荬菜和打碗花的防除效果[J]. *农药*, 2019, 58(6):458-461.
- [12] 胡慧中, 丁晓平, 刘建军, 等. 不同除草剂对紫薇圃地杂草的防除效果[J]. *河南农业科学*, 2019, 48(6):87-94.
- [13] 蒋明义, 荆家海. 渗透胁迫对水稻膜脂过氧化及体内保护酶系统的影响[J]. *植物生理学报*, 1991, 17(1):80-84.
- [14] 王俊红, 裴雪霞, 党建友, 等. 两种除草剂及其用量对小麦生长发育及旗叶抗氧化酶活性的影响[J]. *作物杂志*, 2017(3):157-161.
- [15] 王正贵, 封超年, 郭文善, 等. 麦田常用除草剂对弱筋小麦生理生化特性的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(6):1027-1032.
- [16] 郭美俊, 白亚青, 高鹏, 等. 二甲四氯胁迫对谷子幼苗叶片衰老特性和内源激素含量的影响[J]. *中国农业科学*, 2020, 53(3):513-526.
- [17] 张伟莉, 张丽光, 杨慧杰, 等. 阔世玛对谷子幼苗叶片光合特性及可溶性物质含量的影响[J]. *核农学报*, 2020, 34(6):1294-1301.
- [18] Liu S H, Campbell R A, Students J A. Absorption and translocation of glyphosate in aspen (*Populus tremuloides* Michx.) as influenced by droplet size, droplet number, and herbicide concentration [J]. *Weed Science*, 1996, 44(3):482-488.
- [19] 孙芹, 王斌, 司乃国. 几种杀菌剂防治黄瓜霜霉病作用特性研究[J]. *现代农药*, 2015, 14(6):46-48.
- [20] 李华英, 黄晞, 李益超, 等. 百草枯和草甘膦不同施药液量对柑橘园杂草防除效果的研究[J]. *广西农学报*, 2010, 25(5):15-17.
- [21] 张锦伟, 刘露萍, 谢亚琼, 等. 不同兑水量条件下甲基化大豆油对苯唑草酮药效的影响[J]. *杂草科学*, 2014, 32(1):83-86.
- [22] Beauchamp C, Fridovich I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels [J]. *Analytical Biochemistry*, 1971, 44(1):276-287.
- [23] Castillo F J, Penel C, Greppin H. Peroxidase release induced by ozone in *Sedum album* leaves: involvement of Ca [J]. *Plant Physiology*, 1984, 74(4):846-851.
- [24] Aebi H E. Catalase [M]//Methods of enzymatic analysis. Weinheim: Academic Press, 1974.
- [25] 王学奎, 黄见良. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2015.
- [26] 李志华, 景小兰, 李会霞, 等. 谷子苗期除草剂的安全性及杂草防效研究[J]. *作物杂志*, 2017(1):150-154.
- [27] 马国兰, 刘都才, 刘雪源, 等. 不同除草剂对直播稻田杂草的防效及安全性评价[J]. *杂草科学*, 2014, 32(1):91-95.
- [28] Liang Y C, Hu F, Yang M C, et al. Antioxidative defenses and water deficit-induced oxidative damage in rice (*Oryza sativa* L.) growing on non-flooded paddy soils with ground mulching [J]. *Plant and Soil*, 2003, 257(2):407-416.
- [29] Wang L P, Zheng B H, Meng W. Molecular biomarkers in aquatic organisms in relation to the oxidative stress imposed by environmental pollutants [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1):380-388.
- [30] 王国骄, 王嘉宇, 马殿荣, 等. 不同耐冷性杂草稻和栽培稻抗氧化系统对冷水胁迫的响应[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(8):1660-1668.
- [31] 赵嫚, 陈仕勇, 李亚萍, 等. 外源 GABA 对盐胁迫下金花菜种子萌发及幼苗抗氧化能力的影响[J]. *江苏农业学报*, 2021, 37(2):310-316.
- [32] 朱诗禹, 崔娟, 徐伟, 等. 精异丙甲草胺苗前封闭处理对大豆苗期生长及其生理生化指标的影响[J]. *植物保护学报*, 2016, 43(4):677-682.
- [33] 郭磊, 张斌斌, 周懋, 等. 除草剂对桃树生理特性和流胶的影响[J]. *西北植物学报*, 2017, 37(1):81-87.
- [34] 棚维言, 张涛, 黄永禄, 等. 喷施多效唑对甜高粱生长及生理特性的影响[J]. *作物杂志*, 2011(5):73-76.
- [35] 隋利, 易家宁, 王康才, 等. 不同氮素形态及其配比对盐胁迫下紫苏生理特性的影响[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(11):3277-3283.
- [36] 李琦, 于金萍, 刘亦学, 等. 48% 异噁唑草酮·精异丙甲草胺可分散油悬浮剂防治玉米田一年生杂草效果与安全性评价[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(34):129-133.
- [37] 王正贵, 于倩倩, 周立云, 等. 几种除草剂对小麦籽粒产量及生理特性的影响[J]. *核农学报*, 2011, 25(4):791-795.