

不同缓解处理对甲咪唑烟酸紫花苜蓿药害的缓解效果研究

苏旺苍¹, 徐洪乐¹, 孙兰兰¹, 冯长松², 吴仁海^{1*}

(1. 河南省农业科学院植物保护研究所, 郑州 450002; 2. 河南省农业科学院畜牧兽医研究所, 郑州 450002)

摘要 为了评价不同缓解处理对甲咪唑烟酸引起的紫花苜蓿药害的缓解效果, 于紫花苜蓿刈割后 10 d 喷施甲咪唑烟酸, 分别在药后 5 d 和 10 d 喷施磷酸二氢钾、芸苔素内酯、赤·吲乙·芸苔、赤霉酸、复硝酚钠、吡唑醚菌酯、苯乙酸、氨基酸原液、奈安共 9 种缓解剂进行药害缓解, 调查紫花苜蓿株高、鲜重并测定其产量、品质。结果表明, 240 g/L 甲咪唑烟酸水剂 129.6 g/hm² 对紫花苜蓿药害明显, 严重抑制其生长, 株高下降 25.45%, 鲜重减少 38.26%, 最终减产 13.28%; 药后 5 d 赤·吲乙·芸苔、芸苔素内酯、氨基酸原液及药后 10 d 奈安处理的株高抑制率分别为 -2.11%、-3.16%、-1.06% 和 -0.80%, 株高均显著高于药害植株, 缓解效果好。复硝酚钠、吡唑醚菌酯处理的株高、鲜重显著低于空白对照, 抑制率均 >10%, 缓解效果差。药后 5 d 芸苔素内酯处理较甲咪唑烟酸对照、空白对照产量增加 22.96%、6.64%, 增产率最高, 赤·吲乙·芸苔、氨基酸原液其次, 且对品质均无不良影响。综合分析, 在甲咪唑烟酸药后 5 d 喷施 0.01% 芸苔素内酯可溶液剂 0.022 5 g/hm²、0.136% 赤·吲乙·芸苔可湿性粉剂 90 g/hm²、氨基酸原液 300 g/hm² 对紫花苜蓿甲咪唑烟酸药害的缓解效果理想。

关键词 甲咪唑烟酸; 紫花苜蓿; 药害; 缓解剂

中图分类号: S482.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2021223

Effects of different mitigation treatments on the phytotoxicity of imazapic in alfalfa

SU Wangcang¹, XU Hongle¹, SUN Lanlan¹, FENG Changsong², WU Renhai^{1*}

(1. Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Science, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract To explore the mitigation effects of different mitigation treatments on alfalfa phytotoxicity caused by imazapic, spraying imazapic in the field 10 days after alfalfa mowing, and then spraying nine kinds of mitigators (potassium dihydrogen phosphate, gibberellic acid · indol-3-ylacetic acid · brassinolide, brassinolide, gibberellic acid, sodium nitrophenolate, pyraclostrobin, 1-naphthyl acetic acid, amino acid stock solution, naian) after five days and 10 days were conducted to relieve the phytotoxicity status, and alfalfa height and fresh weight were investigated and the yield and quality were also determined. The results showed that 240 g/L imazapic AS at 129.6 g/hm² had obvious phytotoxicity to alfalfa, severely inhibited alfalfa growth, and plant height, fresh weight and yield were decreased by 25.45%, 38.26%, and 13.28%, respectively. The plant height inhibition rates of gibberellic acid · indol-3-ylacetic acid · brassinolide, brassinolide, amino acid stock solution after five days and naian after 10 days treatment were -2.11%, -3.16%, -1.06% and -0.80%, respectively. The plant height was significantly higher than that of the phytotoxic plants, and the alleviation effect were good. The plant height and fresh weight inhibition rate of the treatments with sodium nitrophenolate and pyraclostrobin were all more than 10%, which were significantly lower than those of the blank control, and the alleviation effect were poor. After five days of imazapic treatment, the brassinolide treatment increased the alfalfa yield by 22.96% and 6.64%, respectively,

收稿日期: 2021-04-15

修订日期: 2021-05-25

基金项目: 河南省科技攻关项目(212102110464); 河南省农业科学院优秀青年科技基金(2020YQ11)

* 通信作者 E-mail: 609211576@qq.com

compared with the imazapic control and blank control, the yield increase rate was the highest, followed by gibberellic acid · indol-3-ylacetic acid · brassinolide and amino acid stock solution, and the alfalfa quality was not affected. Comprehensive analysis showed that spraying brassinolide 0.01% SL at 0.022 5 g/hm², gibberellic acid · indol-3-ylacetic acid · brassinolide 0.136% WP at 90 g/hm² or amino acid stock solution at 300 g/hm² after five days of imazapic treatment had an ideal alleviation effect on the phytotoxicity of alfalfa.

Key words imazapic; alfalfa; phytotoxicity; mitigator

紫花苜蓿 *Medicago sativa* L. 是世界上栽培最早、分布面积最大的一种多年生优质豆科牧草,因其营养价值高,适口性好、适应性强、蛋白质含量高,素有“牧草之王”的美誉^[1],是北半球温带地区最主要的牧草和草品产业化、草田轮作的首选豆科牧草之一,在农牧业生产中有着不可替代的作用^[2]。随着紫花苜蓿生产规模化、标准化发展,以及免耕农业的推广,除草剂的使用面积迅速增加。除草剂的使用有效地控制了杂草的生长,同时其对苜蓿也会产生一系列药害问题^[3]。在作物生产中,由于除草剂品种选用或使用技术不当,对作物造成负效应的报道屡见不鲜,如对当季或下茬作物产生药害及产量、品质下降等现象时有发生^[4-7]。除草剂药害常用的化学补救措施是喷施植物生长调节剂、叶面肥、解毒剂等^[8-11],通过增强植物抗逆性、调控植物正常生长^[12-17],来缓解甚至解除除草剂对作物造成的药害^[18]。利用不同缓解剂缓解大豆^[19]、玉米^[20]、小麦^[21]药害的研究已有报道,但紫花苜蓿上还缺乏系统的研究。

甲咪唑烟酸是一类高效、低毒、广谱的除草剂,主要用于大豆、花生等作物田防除一年生和多年生杂草以及阔叶杂草、莎草科杂草等^[22]。已有研究表明甲咪唑烟酸有效用量 108 g/hm² 对紫花苜蓿生长安全,具有较高的推广价值^[23],但由于我国田间除草剂应用存在随意加大用药量、杂草抗性增加、施药机械落后等问题^[24-26],极易造成甲咪唑烟酸药害的发生。紫花苜蓿遭受除草剂药害之后,可采取中耕、喷洒清水或浇灌等农业措施或施用化学解毒剂、生长刺激性或营养性物质等化学补救措施^[10-11]进行缓解。然而,这些缓解措施的确切效果目前尚未见报道。为了研究紫花苜蓿甲咪唑烟酸药害的化学缓解技术,选用 9 种缓解剂进行处理,评价不同缓解措施对紫花苜蓿甲咪唑烟酸药害的补救效果,以期对紫花苜蓿的生产管理提供实践指导和理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试作物

紫花苜蓿(种植 10 个月),品种为‘劲能 5020’。

1.2 供试药剂

除草剂及用量:240 g/L 甲咪唑烟酸水剂(巴斯夫欧洲公司)129.6 g/hm²,文中药剂用量均为有效成分用量。

缓解剂及用量:磷酸二氢钾(KH₂PO₄,郑州兰博尔科技有限公司)6 750 g/hm²、0.136% 赤·吡乙·芸苔可湿性粉剂(碧护,德国阿格福莱农林环境生物技术股份有限公司)90 g/hm²、0.01% 芸苔素内酯可溶液剂(BR,上海绿泽生物科技有限责任公司)0.022 5 g/hm²、4% 赤霉酸可溶液剂(GA₃,浙江钱江生物化学股份有限公司)300 g/hm²、1.8% 复硝酚钠水剂(AS,江苏剑牌农化股份有限公司)8.25 g/hm²、15% 吡唑醚菌酯悬浮剂(SC,郑州郑氏化工产品有限公司)33.75 g/hm²、5% 萘乙酸水剂(NAA,江西新瑞丰生化股份有限公司)200 g/hm²、氨基酸原液(氨基酸≥100 g/L,山东惠民中联生物科技有限公司)300 g/hm²、0.1% 奈安(0.1% 聚谷氨酸酶,PGAE,河南远东生物工程有限公司)1.2 g/hm²,试验所用的药剂均为市售。

1.3 试验设计

试验于 2020 年在河南省郑州市惠济区花园口镇河南合博草业有限公司苜蓿田进行。先于紫花苜蓿刈割后 10 d 进行 240 g/L 甲咪唑烟酸水剂 129.6 g/hm² 茎叶处理,后分别在药后 5 d 和药后 10 d 喷施 9 种缓解剂,以喷施清水为空白对照,并设甲咪唑烟酸对照(阳性对照)。试验共设置 11 个处理,每个处理设置 4 次重复,共 44 个小区,小区面积 20 m² (4 m×5 m),随机排列。

施药器械为新加坡利农 AGROLEX 公司生产的 HD400 型背负式手动喷雾器,容量 16 L。

1.4 调查项目与方法

安全性与生长指标调查:喷施甲咪唑烟酸药后

5 d 目测紫花苜蓿受害情况,药后 15、30 d 调查紫花苜蓿株高、地上部鲜重指标。

产量测定:苜蓿成熟后,每小区取中间 2 行紫花苜蓿,称其地上部分的生物产量,烘干后测其干重,换算出产量,用 kg/hm² 表示。

增产率=(处理区产量-空白对照区产量)/空白对照区产量×100%。

品质测定:紫花苜蓿成熟后,每小区取一定量紫花苜蓿,取样后对样品进行烘干处理,烘干后磨粉、过筛,过筛后样品用凯氏定氮法测定粗蛋白、索氏抽提法测定粗脂肪,洗涤法测定中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维,并计算相对饲喂价值^[27]。

1.5 数据统计分析

使用 MS Excel 2010 及 DPS 18.10 数据处理系统软件对试验的相关数据进行统计和差异显著性分析(邓肯氏新复极差法)。

2 结果与分析

2.1 甲咪唑烟酸处理后紫花苜蓿的药害症状

紫花苜蓿田施用 240 g/L 甲咪唑烟酸水剂 129.6 g/hm² 后 5 d,紫花苜蓿叶片黄化、皱缩,生长受到抑制。2 周后再观察,新生叶片恢复正常,但生长仍受到严重抑制。

2.2 不同缓解剂对紫花苜蓿生长指标的影响

表 1、2 可见,喷施甲咪唑烟酸药后 15 d,甲咪唑烟酸处理对紫花苜蓿本身的生长造成严重抑制,株

高、鲜重的抑制率分别达到 25.45%、38.26%。甲咪唑烟酸药后 5 d 赤·吡乙·芸苔、芸苔素内酯、赤霉酸、氨基酸原液处理对紫花苜蓿株高抑制的缓解效果较好,株高均显著高于无缓解处理甲咪唑烟酸,且与空白对照间均无显著性差异。磷酸二氢钾、萘乙酸、奈安缓解效果次之,复硝酚钠、吡唑醚菌酯缓解效果较差,株高与无缓解处理甲咪唑烟酸无显著差异,但显著低于空白对照,抑制率分别为 17.58%、13.64%。赤霉酸处理虽解除了甲咪唑烟酸对紫花苜蓿株高的抑制,其株高明显高于空白对照,表明赤霉酸可能刺激了紫花苜蓿的生长,易使植株出现徒长现象。鲜重方面,各缓解剂处理下的鲜重均显著高于无缓解处理,除复硝酚钠、吡唑醚菌酯处理外,其他各处理下的鲜重均与空白对照间无显著差异。赤霉酸处理在株高上促进紫花苜蓿生长,但鲜重与空白对照相比略有降低,说明该处理下的紫花苜蓿纤细、瘦弱,易倒伏。甲咪唑烟酸药后 10 d 喷施赤·吡乙·芸苔、芸苔素内酯、赤霉酸、氨基酸原液、奈安处理的紫花苜蓿株高抑制率分别为-0.80%、-1.58%、-7.36%、-1.32%和-0.80%,株高和空白对照间均无显著差异,均显著高于无缓解处理甲咪唑烟酸;赤·吡乙·芸苔、芸苔素内酯、赤霉酸、氨基酸原液、奈安处理鲜重也均与空白对照无显著差异,表明赤·吡乙·芸苔、芸苔素内酯、赤霉酸、氨基酸原液、奈安缓解效果较好;其次磷酸二氢钾、萘乙酸处理也有一定的缓解作用。

表 1 甲咪唑烟酸药后 5 d 喷施不同缓解剂对苜蓿生长的影响(药后 15 d 调查)¹⁾

Table 1 Effects of spraying different mitigating agents on the growth of alfalfa after five days of imazapic treatment(after 15 days)

缓解剂 Mitigator	有效用量/ g·(hm ²) ⁻¹ Active ingre- dient dosage	株高/cm Plant height	抑制率/% Inhibition rate	鲜重/g Fresh weight	抑制率/% Inhibition rate
磷酸二氢钾 potassium dihydrogen phosphate	6 750	(39.78±2.04)bcd	6.03	(392.60±3.89)ab	7.51
0.136%赤·吡乙·芸苔 WP gibberellic acid·indol-3-ylacetic acid·brassinolide 0.136% WP	90	(43.22±1.56)ab	-2.11	(434.47±14.44)a	-2.35
0.01%芸苔素内酯 SL brassinolide 0.01% SL	0.022 5	(43.67±1.21)ab	-3.16	(439.33±15.33)a	-3.49
4%赤霉酸 SL gibberellic acid 4% SL	300	(46.44±2.01)a	-9.72	(403.53±9.20)ab	4.94
1.8%复硝酚钠 AS sodium nitrophenolate 1.8% AS	8.25	(34.89±2.61)de	17.58	(342.50±26.85)c	19.32
15%吡唑醚菌酯 SC pyraclostrobin 15% SC	33.75	(36.56±1.79)cde	13.64	(359.70±8.04)bc	15.27
5%萘乙酸 AS 1-naphthyl acetic acid 5% AS	200	(40.44±1.51)bc	4.45	(394.97±13.94)ab	6.96
氨基酸原液 amino acid stock solution	300	(42.78±1.42)ab	-1.06	(431.40±10.96)a	-1.63
0.1%奈安 0.1% naian	1.2	(41.11±1.12)abc	2.88	(392.47±4.80)ab	7.55
240 g/L 甲咪唑烟酸 AS imazapic 240 g/L AS	129.6	(31.56±1.19)e	25.45	(262.07±14.70)d	38.26
空白对照 CK	—	(42.33±2.28)ab	—	(424.50±10.98)a	—

1) 表中同列不同小写字母表示有显著差异(P<0.05)。下表同。
Different lowercase letters within the same column indicate significant difference at the 0.05 level. Similarly for the following tables.

表 2 甲咪唑烟酸药后 10 d 喷施不同缓解剂对苜蓿生长的影响(药后 15 d 调查)

Table 2 Effects of spraying different mitigating agents on the growth of alfalfa after 10 days of imazapic treatment(after 15 days)

缓解剂 Mitigator	有效用量/ g · (hm ²) ⁻¹ Active ingre- dient dosage	株高/cm Plant height	抑制率/% Inhibition rate	鲜重/g Fresh weight	抑制率/% Inhibition rate
磷酸二氢钾 potassium dihydrogen phosphate	6 750	(38.78±1.13)abc	8.39	(383.87±11.33)abc	9.57
0.136%赤·吲乙·芸苔 WP gibberellic acid · indol-3-ylacetic acid · brassinolide 0.136% WP	90	(42.67±1.15)ab	—0.80	(429.30±18.47)a	—1.13
0.01%芸苔素内酯 SL brassinolide 0.01% SL	0.022 5	(43.00±1.84)ab	—1.58	(434.50±14.08)a	—2.36
4%赤霉酸 SL gibberellic acid 4% SL	300	(45.44±2.35)a	—7.36	(421.47±7.25)a	0.71
1.8%复硝酚钠 AS sodium nitrophenolate 1.8% AS	8.25	(34.56±1.03)de	18.37	(341.30±12.09)c	19.60
15%吡唑醚菌酯 SC pyraclostrobin 15% SC	33.75	(36.33±0.80)cde	14.17	(359.20±31.12)bc	15.38
5%萘乙酸 AS 1-naphthyl acetic acid 5% AS	200	(40.00±1.46)abc	5.50	(396.10±4.88)ab	6.69
氨基酸原液 amino acid stock solution	300	(42.89±2.25)ab	—1.32	(426.80±14.41)a	—0.54
0.1%奈安 0.1% naian	1.2	(42.67±2.17)ab	—0.80	(430.27±9.36)a	—1.36
240 g/L 甲咪唑烟酸 AS imazapic 240 g/L AS	129.6	(31.56±1.19)e	25.45	(262.07±14.70)d	38.26
空白对照 CK	—	(42.33±2.28)ab	—	(424.50±10.98)a	—

喷施甲咪唑烟酸药后 30 d(见表 3、4),紫花苜蓿生长虽然较药后 15 d 有所恢复,但仍受到明显抑制,株高、鲜重抑制率为 20.30%、30.90%。甲咪唑烟酸药后 5 d 施用赤·吲乙·芸苔、芸苔素内酯、赤霉酸、氨基酸原液,均可减轻甲咪唑烟酸对紫花苜蓿株高、鲜重的抑制,缓解效果最好,和空白对照相比均无显著性差异。甲咪唑烟酸药后 10 d 赤·吲乙·芸苔、芸苔素内酯、赤霉酸、氨基酸原液、奈安处理下的紫花苜蓿株高、鲜重和空白对照均无显著差异,且均显著高于甲咪唑烟酸处理,表明缓解效果较好。无论是甲咪唑烟酸药后 5 d 或药后 10 d 喷施,复硝酚钠、吡唑醚菌酯和其他处理相比,缓解效果均较差。

2.3 不同缓解剂对紫花苜蓿产量的影响

由表 5 可见,甲咪唑烟酸处理紫花苜蓿产量与空白对照差异显著,减产 13.28%。

甲咪唑烟酸药后 5 d 喷施赤·吲乙·芸苔、芸苔素内酯、氨基酸原液处理的紫花苜蓿产量分别高于空白对照 5.08%、6.64%和 4.38%,差异显著性分析显示,赤·吲乙·芸苔、芸苔素内酯、氨基酸原液处理的紫花苜蓿产量显著高于空白对照,表明缓解效果最佳;磷酸二氢钾、赤霉酸、萘乙酸、奈安处理的紫花苜蓿产量和对照相比均无显著性差异,缓解效果相对较好;复硝酚钠、吡唑醚菌酯处理的紫花苜蓿产量显著低于空白对照,缓解效果较差。

表 3 甲咪唑烟酸药后 5 d 喷施不同缓解剂对苜蓿生长的影响(药后 30 d 调查)

Table 3 Effects of spraying different mitigating agents on the growth of alfalfa after five days of imazapic treatment(after 30 days)

缓解剂 Mitigator	有效用量/ g · (hm ²) ⁻¹ Active ingre- dient dosage	株高/cm Plant height	抑制率/% Inhibition rate	鲜重/g Fresh weight	抑制率/% Inhibition rate
磷酸二氢钾 potassium dihydrogen phosphate	6 750	(50.00±1.78)bcd	4.87	(489.63±13.43)c	6.47
0.136%赤·吲乙·芸苔 WP gibberellic acid · indol-3-ylacetic acid · brassinolide 0.136% WP	90	(54.22±1.05)ab	—3.16	(536.67±13.26)a	—2.51
0.01%芸苔素内酯 SL brassinolide 0.01% SL	0.022 5	(54.67±1.69)ab	—4.01	(543.13±4.15)a	—3.74
4%赤霉酸 SL gibberellic acid 4% SL	300	(58.00±1.46)a	—10.35	(503.43±4.08)bc	3.84
1.8%复硝酚钠 AS sodium nitrophenolate 1.8% AS	8.25	(45.44±1.23)de	13.54	(434.90±8.18)d	16.93
15%吡唑醚菌酯 SC pyraclostrobin 15% SC	33.75	(46.67±2.03)cd	11.21	(451.13±7.07)d	13.83
5%萘乙酸 AS 1-naphthyl acetic acid 5% AS	200	(50.56±1.60)bc	3.81	(493.23±6.76)c	5.79
氨基酸原液 amino acid stock solution	300	(53.33±1.86)ab	—1.47	(534.10±7.01)a	—2.02
0.1%奈安 0.1% naian	1.2	(51.56±0.65)b	1.91	(489.13±10.26)c	6.57
240 g/L 甲咪唑烟酸 AS imazapic 240 g/L AS	129.6	(41.89±1.27)e	20.30	(361.73±6.89)e	30.90
空白对照 CK	—	(52.56±1.55)b	—	(523.53±9.45)ab	—

表 4 甲咪唑烟酸药后 10 d 喷施不同缓解剂处理对苜蓿生长的影响(药后 30 d 调查)

Table 4 Effects of spraying different mitigating agents on the growth of alfalfa after 10 days of imazapic treatment(after 30 days)					
缓解剂 Mitigator	有效用量/ g · (hm ²) ⁻¹ Active ingre- dient dosage	株高/cm Plant height	抑制率/% Inhibition rate	鲜重/g Fresh weight	抑制率/% Inhibition rate
磷酸二氢钾 potassium dihydrogen phosphate	6 750	(49.44±1.36)bcd	5.93	(482.77±5.37)b	7.79
0.136%赤·吲乙·芸苔 WP gibberellic acid · indol-3-ylacetic acid · brassinolide 0.136% WP	90	(53.67±1.60)ab	-2.11	(530.10±8.06)a	-1.25
0.01%芸苔素内酯 SL brassinolide 0.01% SL	0.022 5	(53.78±1.29)ab	-2.32	(538.80±9.87)a	-2.92
4%赤霉酸 SL gibberellic acid 4% SL	300	(57.67±1.49)a	-9.72	(520.00±10.34)a	0.67
1.8%复硝酚钠 AS sodium nitrophenolate 1.8% AS	8.25	(45.00±1.78)de	14.38	(430.60±6.32)c	17.75
15%吡唑醚菌酯 SC pyraclostrobin 15% SC	33.75	(46.11±1.73)cde	12.27	(449.67±12.81)c	14.11
5%萘乙酸 AS 1-naphthyl acetic acid 5% AS	200	(50.44±1.50)bc	4.03	(492.23±8.45)b	5.98
氨基酸原液 amino acid stock solution	300	(53.44±2.21)ab	-1.68	(528.30±8.50)a	-0.91
0.1%奈安 0.1% naian	1.2	(53.22±1.64)ab	-1.26	(533.13±6.61)a	-1.83
240 g/L 甲咪唑烟酸 AS imazapic 240 g/L AS	129.6	(41.89±1.27)e	20.30	(361.73±6.89)d	30.90
空白对照 CK	—	(52.56±1.55)ab	—	(523.53±9.45)a	—

表 5 甲咪唑烟酸药后喷施不同缓解剂处理对紫花苜蓿干草产量的影响

Table 5 Effects of spraying different mitigation agents on alfalfa hay yield after imazapic treatment					
缓解剂 Mitigator	有效用量/ g · (hm ²) ⁻¹ Active ingredient dosage	甲咪唑烟酸药后 5 d 喷施 Spraying mitigator after 5 days of imazapic treatment		甲咪唑烟酸药后 10 d 喷施 Spraying mitigator after 10 days of imazapic treatment	
		产量/ kg · (hm ²) ⁻¹ Yield	增产率/% Increase rate	产量/ kg · (hm ²) ⁻¹ Yield	增产率/% Increase rate
磷酸二氢钾 potassium dihydrogen phosphate	6 750	(1 743.4±0.02)b	-1.55	(1 730.9±0.05)ab	-2.26
0.136%赤·吲乙·芸苔 WP gibberellic acid · indol-3-ylacetic acid · brassinolide 0.136% WP	90	(1 860.9±0.03)a	5.08	(1 785.9±0.04)a	0.85
0.01%芸苔素内酯 SL brassinolide 0.01% SL	0.022 5	(1 888.4±0.01)a	6.64	(1 805.9±0.08)a	1.98
4%赤霉酸 SL gibberellic acid 4% SL	300	(1 763.4±0.02)b	-0.42	(1 753.4±0.03)ab	-0.99
1.8%复硝酚钠 AS sodium nitrophenolate 1.8% AS	8.25	(1 620.8±0.01)c	-8.47	(1 610.8±0.03)c	-9.04
15%吡唑醚菌酯 SC pyraclostrobin 15% SC	33.75	(1 660.8±0.03)c	-6.21	(1 645.8±0.03)bc	-7.06
5%萘乙酸 AS 1-naphthyl acetic acid 5% AS	200	(1 760.9±0.03)b	-0.56	(1 750.9±0.03)ab	-1.13
氨基酸原液 amino acid stock solution	300	(1 848.4±0.02)a	4.38	(1 788.4±0.03)a	0.99
0.1%奈安 0.1% naian	1.2	(1 740.9±0.02)b	-1.69	(1 793.4±0.04)a	1.27
240 g/L 甲咪唑烟酸 AS imazapic 240 g/L AS	129.6	(1 535.8±0.02)d	-13.28	(1 535.8±0.02)c	-13.28
空白对照 CK	—	(1 770.9±0.02)b	—	(1 770.9±0.02)a	—

甲咪唑烟酸药后 10 d 喷施,磷酸二氢钾、赤·吲乙·芸苔、芸苔素内酯、赤霉酸、萘乙酸、氨基酸原液、奈安处理的产量与空白对照均无显著性差异,缓解效果相对较好;复硝酚钠、吡唑醚菌酯处理的产量均显著低于空白对照,但与甲咪唑烟酸对照相比产量有所增加,说明这 2 种处理对缓解紫花苜蓿甲咪唑烟酸药害导致的减产也有一定的作用,但效果不明显。对比不同时间喷施缓解剂的效果,甲咪唑烟酸药后 5 d 喷施缓解剂更有利于紫花苜

蓿增产。

2.4 不同缓解剂对紫花苜蓿品质的影响

表 6、7 表明,甲咪唑烟酸处理的粗蛋白质含量、粗脂肪含量、中性洗涤纤维和相对饲料价值均和其他处理间有显著性差异($P<0.05$)。其他各处理与空白对照无显著差异,但复硝酚钠、吡唑醚菌酯处理下的粗蛋白质含量较空白对照显著下降,说明这两种缓解剂对紫花苜蓿药害的缓解效果较差,对紫花苜蓿本身的品质也会有所影响。

表 6 甲咪唑烟酸药后 5 d 喷施不同缓解剂对苜蓿品质的影响

Table 6 Effect of spraying different mitigating agents on the quality of alfalfa after five days of imazapic treatment

缓解剂 Mitigator	有效用量/ g · (hm ²) ⁻¹ Active ingre- dient dosage	粗蛋白质/% Crude protein	粗脂肪/% Ether extract	中性洗涤纤维/% Neutral detergent fiber	酸性洗涤纤维/% Acid detergent fiber	相对饲料价值/% Relative feed value
磷酸二氢钾 potassium dihydrogen phosphate	6 750	(19. 37±0. 04)abc	(2. 21±0. 01)ab	(39. 23±0. 03)ab	(29. 77±0. 02)a	(155. 82±0. 09)abcd
0. 136%赤·吡乙·芸苔 WP gibberellic acid · indol-3-ylacetic acid · brassinolide 0. 136% WP	90	(19. 41±0. 04)ab	(2. 23±0. 01)a	(39. 29±0. 03)ab	(29. 80±0. 06)a	(155. 55±0. 15)cd
0. 01%芸苔素内酯 SL brassinolide 0. 01% SL	0. 022 5	(19. 39±0. 02)abc	(2. 23±0. 01)a	(39. 31±0. 07)a	(29. 81±0. 02)a	(155. 43±0. 24)d
4%赤霉酸 SL gibberellic acid 4% SL	300	(19. 36±0. 03)abc	(2. 21±0. 02)ab	(39. 22±0. 01)ab	(29. 72±0. 12)a	(155. 94±0. 20)abc
1. 8%复硝酚钠 AS sodium nitrophenolate 1. 8% AS	8. 25	(19. 31±0. 02)bcd	(2. 20±0. 01)ab	(39. 20±0. 02)ab	(29. 70±0. 05)a	(156. 05±0. 13)ab
15%吡唑醚菌酯 SC pyraclostrobin 15% SC	33. 75	(19. 30±0. 02)cd	(2. 19±0. 01)ab	(39. 21±0. 04)ab	(29. 71±0. 04)a	(156. 00±0. 11)abc
5%萘乙酸 AS 1-naphthyl acetic acid 5% AS	200	(19. 37±0. 04)abc	(2. 21±0. 02)a	(39. 23±0. 03)ab	(29. 74±0. 04)a	(155. 89±0. 16)abcd
氨基酸原液 amino acid stock solution	300	(19. 40±0. 04)abc	(2. 23±0. 01)a	(39. 25±0. 02)ab	(29. 76±0. 04)a	(155. 76±0. 12)abcd
0. 1%奈安 0. 1% naian 240 g/L 甲咪唑烟酸 AS imazapic 240 g/L AS	1. 2	(19. 39±0. 03)abc	(2. 21±0. 01)a	(39. 21±0. 02)ab	(29. 75±0. 05)a	(155. 92±0. 10)abcd
空白对照 CK	—	(19. 24±0. 03)d	(2. 16±0. 02)b	(39. 19±0. 03)b	(29. 65±0. 03)a	(156. 21±0. 14)a
		(19. 44±0. 03)a	(2. 24±0. 03)a	(39. 26±0. 02)ab	(29. 78±0. 06)a	(155. 70±0. 18)bcd

表 7 甲咪唑烟酸药后 10 d 喷施不同缓解剂对苜蓿品质的影响

Table 7 Effects of spraying different mitigating agents on the quality of alfalfa after 10 days of imazapic treatment

缓解剂 Mitigator	有效用量/ g · (hm ²) ⁻¹ Active ingre- dient dosage	粗蛋白质/% Crude protein	粗脂肪/% Ether extract	中性洗涤纤维/% Neutral detergent fiber	酸性洗涤纤维/% Acid detergent fiber	相对饲料价值/% Relative feed value
磷酸二氢钾 potassium dihydrogen phosphate	6 750	(19. 35±0. 03)ab	(2. 22±0. 01)a	(39. 24±0. 03)a	(29. 74±0. 03)a	(155. 82±0. 06)abc
0. 136%赤·吡乙·芸苔 WP gibberellic acid · indol-3-ylacetic acid · brassinolide 0. 136% WP	90	(19. 43±0. 01)a	(2. 25±0. 03)a	(39. 25±0. 03)a	(29. 79±0. 04)a	(155. 65±0. 14)c
0. 01%芸苔素内酯 SL brassinolide 0. 01% SL	0. 022 5	(19. 41±0. 04)ab	(2. 24±0. 02)a	(39. 26±0. 04)a	(29. 80±0. 03)a	(155. 49±0. 04)c
4%赤霉酸 SL gibberellic acid 4% SL	300	(19. 39±0. 05)ab	(2. 23±0. 04)a	(39. 21±0. 03)ab	(29. 70±0. 05)a	(155. 99±0. 15)abc
1. 8%复硝酚钠 AS sodium nitrophenolate 1. 8% AS	8. 25	(19. 29±0. 04)bc	(2. 18±0. 03)ab	(39. 19±0. 02)ab	(29. 71±0. 01)a	(156. 12±0. 23)ab
15%吡唑醚菌酯 SC pyraclostrobin 15% SC	33. 75	(19. 30±0. 02)c	(2. 19±0. 02)ab	(39. 22±0. 04)ab	(29. 72±0. 04)a	(156. 07±0. 14)abc
5%萘乙酸 AS 1-naphthyl acetic acid 5% AS	200	(19. 38±0. 04)ab	(2. 22±0. 01)a	(39. 24±0. 03)a	(29. 75±0. 03)a	(155. 92±0. 11)abc
氨基酸原液 amino acid stock solution	300	(19. 41±0. 04)ab	(2. 23±0. 03)a	(39. 25±0. 05)a	(29. 77±0. 03)a	(155. 83±0. 20)abc
0. 1%奈安 0. 1% naian 240 g/L 甲咪唑烟酸 AS imazapic 240 g/L AS	1. 2	(19. 42±0. 03)ab	(2. 23±0. 02)a	(39. 26±0. 02)a	(29. 76±0. 02)a	(155. 89±0. 17)abc
空白对照 CK	—	(19. 24±0. 03)c	(2. 16±0. 02)b	(39. 19±0. 03)b	(29. 65±0. 03)a	(156. 21±0. 14)a
		(19. 44±0. 03)a	(2. 24±0. 03)a	(39. 26±0. 02)a	(29. 78±0. 06)a	(155. 70±0. 18)bc

3 结论与讨论

本研究于紫花苜蓿刈割后 10 d 喷施 240 g/L 甲咪唑烟酸水剂 129.6 g/hm², 药后 5 d, 紫花苜蓿叶片黄化、皱缩, 生长受到抑制, 药害症状明显。磷酸二氢钾、芸苔素内酯、赤·吲乙·芸苔、赤霉酸、复硝酚钠、吡唑醚菌酯、萘乙酸、氨基酸原液、奈安等 9 种缓解剂在甲咪唑烟酸药后 5 d 即药害早期喷施, 试验得出赤·吲乙·芸苔、芸苔素内酯、氨基酸原液对药害的缓解效果最佳, 磷酸二氢钾、萘乙酸、奈安缓解效果次之, 复硝酚钠、吡唑醚菌酯缓解效果较差。甲咪唑烟酸药后 10 d 即药害中期喷施, 赤·吲乙·芸苔、芸苔素内酯、氨基酸原液、奈安缓解效果均较好, 磷酸二氢钾、萘乙酸处理也有一定的缓解作用, 复硝酚钠、吡唑醚菌酯和其他处理相比, 缓解效果较差。赤霉酸处理虽然对株高缓解效果好, 但导致株高过高不够健壮。产量分析结果表明, 甲咪唑烟酸药后 5 d 芸苔素内酯处理增产最显著, 赤·吲乙·芸苔、氨基酸原液增产效果其次, 并且对品质均无不良影响。

甲咪唑烟酸是通过抑制植物的乙酰乳酸合酶 (ALS), 阻止支链氨基酸的生物合成, 从而破坏蛋白质的合成, 干扰 DNA 合成及细胞的分裂与生长, 最终造成植株死亡^[22]。已有研究表明, 240 g/L 甲咪唑烟酸水剂在 108 g/hm² 对紫花苜蓿安全^[23], 但用量高于 108 g/hm² 就会对紫花苜蓿产生较为严重的药害。本研究发现, 240 g/L 甲咪唑烟酸水剂 129.6 g/hm² 剂量下苜蓿出现叶片黄化、皱缩, 生长抑制等典型的药害症状; 另外, 紫花苜蓿株高、地上部鲜重也都显著降低, 产量损失 13% 以上。彭旭丹^[28] 试验得出白菜和萝卜经 240 g/L 甲咪唑烟酸水剂 108~216 g/hm² 处理时药害明显, 在各种缓解剂中 0.136% 赤·吲乙·芸苔可湿性粉剂对甲咪唑烟酸药害的缓解效果较好。方丽等^[29] 的试验结果表明, 通过不同浓度的赤霉素溶液和芸苔素溶液浸种后, 可在一定程度上缓解甲咪唑烟酸对小麦胚根、芽长、苗鲜重产生的药害。其中 200~400 mg/kg 的赤霉素溶液和 0.5 mg/kg 的芸苔素溶液效果最好。本试验在紫花苜蓿出现药害后不同时期进行不同缓解剂处理得出甲咪唑烟酸药后 5 d 喷施赤·吲乙·芸苔、芸苔素内酯对药害的缓解效果均较好, 且紫花苜蓿产量显著高于空白对照, 也印证了赤·吲乙·芸苔、芸苔素内酯可以较好地缓解甲咪唑烟酸对不同作物的药害。但本研究中发现赤霉酸处理虽然可以消

除甲咪唑烟酸对紫花苜蓿生长的抑制, 但其株高比空白对照高 9.72%, 而鲜重却较空白对照降低 4.94%, 这说明赤霉酸易使紫花苜蓿出现徒长、倒伏现象, 这与王恒亮等^[19] 在大豆上的研究结果类似, 故不推荐其单独使用来缓解甲咪唑烟酸紫花苜蓿药害。

芸苔素内酯是一类广谱、高效的植物内源激素, 能够增强植物营养生长、促进细胞分裂和生殖生长; 还可增强植物体的抗逆性^[30]; 芸苔素内酯对某些除草剂解毒作用明显, 可延缓作物叶片衰老、提高光合能力、促进蛋白质合成、改善植物品质, 对作物有增产作用^[31-32]。周小毛等^[33] 研究证实芸苔素内酯可以缓解胺苯磺隆对玉米生长的抑制, 张兴华等^[34] 证实芸苔素内酯对棉花草甘膦药害有耐毒功效, 袁柱等^[35] 得出芸苔素内酯对促进紫花苜蓿生长发育, 提高产量效果很好。该药剂作为一种新型绿色环保植物生长调节剂, 正常使用剂量下就可以达到安全有效的作用, 且作用浓度很低, 在小麦、水稻、玉米、花生等作物上应用均有明显的增产效果, 高效低价, 已广泛在市面上推广使用。0.136% 赤·吲乙·芸苔可湿性粉剂 (碧护) 是一种营养平衡型植物生长调节剂, 能诱导作物增强抗逆性、提高产量和改善品质, 具有缓解作物药害、减少环境污染的功效, 可广泛应用于大田作物、经济作物、果树、蔬菜、食用菌、园林花卉等^[36]。谢丽芳等^[37] 得出 0.136% 赤·吲乙·芸苔可湿性粉剂对花生二氯喹啉酸药害具有较好的缓解作用, 产量增加 40.1%; 张宏军等^[38] 试验表明喷施了 0.136% 赤·吲乙·芸苔可湿性粉剂之后, 硝磺草酮处理下的玉米恢复程度有所加强, 玉米株高明显增加。0.138% 赤·吲乙·芸苔可湿性粉剂 (碧护) 以其显著的植保功效、增产效果及显著的经济效益, 受到了农民的喜爱、认同和接受。氨基酸原液速溶高渗, 具有强力生根、促进根系健康发达、茎秆粗壮、叶片浓绿发亮, 改善作物果实品质的功效, 生态环保、增产显著。氨基酸原液对缓解氟磺胺草醚大豆药害^[19]、烟嘧磺隆玉米药害^[20] 均有较好的效果。本研究也得出氨基酸原液在甲咪唑烟酸药后 5 d 喷施对缓解紫花苜蓿药害效果较好, 且后期紫花苜蓿增产显著。

综合分析各缓解剂在减轻紫花苜蓿甲咪唑烟酸药害上的效果表明, 甲咪唑烟酸药后 5 d 喷施芸苔素内酯、赤·吲乙·芸苔、氨基酸原液对于甲咪唑烟酸引起的紫花苜蓿药害均具有理想的缓解效果且显著增加产量。但从施药成本和经济效益考虑, 芸苔素内酯是最适合应用于缓解甲咪唑烟酸紫花苜蓿药害的缓解剂。

参考文献

[1] 张玉发,王庆锁,苏家楷. 试论中国苜蓿产业[J]. 中国草地, 2000(1): 64-69.

[2] 贾慎修. 草地学[M]. 2 版. 北京: 农业出版社, 1995: 81-144.

[3] 折帅帅,冯平,王梅. 2 种除草剂对紫花苜蓿蛋白质含量的影响[J]. 陕西农业科学, 2020, 66(9): 45-47.

[4] 董振起. 8 种除草剂对直播稻田杂草的防效及安全性评价[J]. 天津农林科技, 2019(3): 22-23.

[5] 刘韶光,赵夏童,宋喜娥,等. 膜间喷施芽前除草剂对谷子安全性及对杂草防效的影响[J]. 作物杂志, 2019(2): 173-178.

[6] 吴仁海,职倩倩,魏子云,等. 红花苗前除草剂筛选及安全性评价[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 204-210.

[7] 史鹏飞,杨光,张丽霞,等. 6 种芽后除草剂对黄麻田杂草的防除效果及安全性[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(33): 136-138.

[8] 于雨生. 除草剂产生药害的原因和防治技术[J]. 天津农业科学, 2009, 15(2): 89-90.

[9] 李华光,王红霞. 除草剂药害与预防[J]. 山西农业科学, 2009, 37(5): 94-95.

[10] 张素霞. 化学除草剂药害避免方法与补救措施[J]. 现代农业科技, 2010(2): 207.

[11] 李德宏. 除草剂药害症状及其挽救措施[J]. 河南农业科学, 2006(7): 69.

[12] 王熹. 作物化控原理[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997.

[13] 赵毓橘,陈季楚. 植物生长调节剂生理基础与检测方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.

[14] FLORE J A, LAKSO A N. Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops [J]. Horticultural Reviews, 1989, 11(2): 111-146.

[15] OOKAWA T, NARUOKA Y, SAYAMA A, et al. Cytokinin effects on ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase oxygenase and nitrogen partitioning in rice during ripening [J]. Crop Science, 2004, 44(6): 2107-2115.

[16] 董学会,何钟佩,关彩虹. 根系导入生长素和玉米素对玉米光合产物输出及分配的影响[J]. 中国农业大学学报, 2001, 6(3): 21-25.

[17] 宁海龙,胡国华,李文滨. 氮磷钾底肥对大豆蛋白质含量的效应[J]. 大豆科学, 2006, 25(3): 288-293.

[18] 王险峰,关成宏. 常见除草剂药害症状诊断与补救[J]. 农药, 1998, 37(4): 35-40.

[19] 王恒亮,葛玉红,苏旺苍,等. 不同缓解处理对氟磺胺草醚大豆药害的缓解效果研究[J]. 大豆科学, 2013, 32(5): 676-679.

[20] 王恒亮,葛玉红,苏旺苍,等. 不同缓解处理对玉米烟嘧磺隆药害的缓解效果研究[J]. 河南农业科学, 2013, 42(11): 81-85.

[21] 苏旺苍,燕照玲,葛玉红,等. 不同缓解方式对小麦炔草酯药害的补救效果[J]. 河南农业科学, 2014, 44(9): 58-63.

[22] 穆杰,吴松兰,姚刚,等. 超高效除草剂——甲咪唑烟酸应用情况分析[J]. 吉林农业, 2010(10): 71.

[23] 高兴祥,李美,杨向黎,等. 18 种茎叶处理除草剂紫花苜蓿田应用效果测定[J]. 杂草学报, 2018, 36(3): 35-40.

[24] 李松子. 水稻田除草剂的应用及杂草抗性现状[J]. 农业开发与装备, 2018(2): 29-30.

[25] 杨彩宏,田兴山,岳茂峰,等. 农田杂草抗性概述[J]. 中国农学通报, 2009, 25(22): 236-240.

[26] 邵振润,郭永旺. 我国施药机械与施药技术现状及对策[J]. 植物保护, 2006, 32(2): 5-8.

[27] 张丽英. 饲草分析及饲料质量检测技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 67-96.

[28] 彭旭丹. 几种除草剂对白菜、萝卜的药害及缓解剂对其缓解作用研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2016.

[29] 方丽,李建波. 赤霉素、芸苔素对小麦上甲咪唑烟酸的解毒作用[J]. 农业科技通讯, 2020(11): 87-91.

[30] 苏一诺,苗阳阳,彭芳华,等. 芸苔素内酯对连作及非连作紫花苜蓿生产调控初探[J]. 草地学报, 2019, 27(4): 874-881.

[31] 黄允才,张格成,胡光华. 天然芸苔素缓解除草剂药害的作用[J]. 农药, 2000, 39(6): 40-42.

[32] ANDRZEJ B. Metabolism of brassinosteroids in plants [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2007, 45(2): 95-107.

[33] 周小毛,黄雄英,柏连阳,等. 芸苔素内酯保护玉米免受胺苯磺伤害的作用及其机理[J]. 植物保护学报, 2005, 32(2): 189-194.

[34] 张兴华,李捷. 氯吡脞和芸苔素内酯对棉花田草甘膦药害的解毒效果[J]. 农药, 2008, 47(11): 834-835.

[35] 袁柱,孙彦,任逸,等. 叶面喷施芸苔素内酯对紫花苜蓿生长发育和种子产量的影响[J]. 草地学报, 2016, 24(4): 879-885.

[36] 彭玉林. 植物生长调节剂——碧护[J]. 农村百事通, 2012(14): 38.

[37] 谢丽芳,钟秋璇,申昌优,等. 花生除草剂药害解毒试验研究[J]. 杂草学报, 2018, 36(2): 53-56.

[38] 张宏军,刘学,倪汉文,等. 硝磺草酮对玉米药害的早期诊断和缓解方法[J]. 杂草科学, 2009(4): 19-22.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 269 页)

[27] SOERGEL D C, OSTIGUY N, FLEISCHER S J, et al. Sunflower as a potential trap crop of *Halymorpha halys* (Hemiptera, Pentatomidae) in pepper fields [J]. Environmental Entomology, 2015, 44(6): 1581-1589.

[28] NIELSEN A L, DIVELEY G, POTE J M, et al. Identifying a potential trap crop for a novel insect pest, *Halymorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae), in organic farms [J]. Environ-

mental Entomology, 2016, 45(2): 472-478.

[29] 李鑫,尹翔宇,马丽,等. 茶翅蝽的行为与控制利用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(10): 139-145.

[30] 李秋霖,赵吉兰,田嘉慧,等. 茶翅蝽非典型气味受体基因的克隆及其生物信息学特征和组织特异性表达分析[J]. 植物保护学报, 2020, 47(6): 1219-1227.

(责任编辑: 田 喆)