

草甘膦添加表面活性剂对五节芒生理生化活性的影响

舒 骏¹, 周俊宏², 成向荣¹, 虞木奎^{1*}, 张 雷¹

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400;

2. 浙江省开化县林业局, 浙江 开化 324300)

摘要:在浙江开化五节芒入侵的撂荒地上,开展了草甘膦添加有机硅和烷基多糖苷 2 种表面活性剂防控五节芒的试验,分析了添加表面活性剂后五节芒生理生化活性的变化特征。结果表明:添加表面活性剂显著促进草甘膦药效的发挥,但不同浓度活性剂抑制效果有所差异;0.03% 浓度的有机硅和烷基多糖苷可显著提高草甘膦($9 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$)对五节芒的抑制效果,综合抑制率可达 80%~86%,分别比对照提升 35.76% 和 29.80%;添加表面活性剂显著影响五节芒的生理生化指标,喷药后 3~11 d,随着表面活性剂浓度的增加,五节芒叶片酶活性和根系 TTC 活力升高,抗氧化防御系统活性显著增强;随着受药时间增加,抗氧化系统失衡,叶片中叶绿素 a、总叶绿素、叶绿素 a/b、类胡萝卜素含量显著降低,叶绿素 b 含量显著上升;喷药后 29 d 植物体内 MDA 含量显著升高,根系 TTC 活力急剧下降,其中 APG (0.03% 浓度) 处理对五节芒根系 TTC 活力变化幅度影响最大。添加表面活性剂后,更大程度地打破了五节芒正常的生理代谢和根系活动,加速植株凋萎和死亡,有助于提高草甘膦对五节芒的防治效果。

关键词:有机硅;烷基多糖苷;草甘膦;五节芒;生理生化

中图分类号:S765

文献标识码:A

Effect of Glyphosate with Two Surfactants on Physiological and Biochemical Characteristics of *Miscanthus floridulus*

SHU Jun¹, ZHOU Jun-hong², CHENG Xiang-rong¹, YU Mu-kui¹, ZHANG Lei¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. Forestry Bureau of Kaihua County, Zhejiang Province, Kaihua 324300, Zhejiang Province, China)

Abstract: The effect of glyphosate (GLY) with two surfactants OSA and APG on physiological and biochemical characteristics in *Miscanthus floridulus* were investigated at a fallow forest land in Kaihua, Zhejiang Province. The results showed that adding surfactants significantly improved the inhibition ratio, but different concentration showed different control ratio. The inhibition ratio of OSA (0.03%) and APG (0.03%) was approximate 80%~86%, the two treatments were higher than the CK by 35.76% and 29.80%, respectively. Adding surfactants significant affected the physiological and biochemical characteristics of *M. floridulus*. The activity of blade enzyme and TTC root increased from the 3rd day to the 11th day after herbicide treatment (DAT), the concentration of surfactants and activity of antioxidant defense system of *M. floridulus* significantly enhanced. Antioxidant defense system was imbalanced with increasing of glyphosate and surfactants application time. The content of chlorophyll a, total chlorophyll, and chlorophyll a/b decreased significantly, while the content of chlorophyll b increased significantly. The

收稿日期:2015-01-16

基金项目:浙江省省院合作林业科技项目“葛藤和五节芒防治机理研究”(2012SY04)

作者简介:舒 骏(1990—),男,安徽芜湖人,硕士研究生,主要从事林业生态工程研究。

* 通讯作者:研究员,博士生导师,主要从事林业生态工程研究。E-mail:yumukui@sina.com

content of MDA in blade significantly increased and the activity of TTC root decreased on the 29th DAT, the APG (0.03%) had significantly stronger impact on the activity of TTC root than others. It showed that the stability of physiological metabolism and normal function of roots were broken in higher extent after adding surfactants, and accelerated plant wilting and death. *M. floridulus* showed severely damage symptoms. Therefore, adding surfactant could markedly improve control effect of glyphosate on *M. floridulus*.

Key words: organosilicone; alkyl polyglucosides; glyphosate; *Miscanthus floridulus*

五节芒 (*Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb.) 是一种生态适应性强、繁殖速度快的禾本科 (Gramineae) 多年生草本,也是我国东南沿海地区撂荒地和新建林地的主要杂草。草甘膦是防治五节芒有效的除草剂之一。为了提高草甘膦的利用率,常利用表面活性物质提高药液的吸附力,减少因雨水冲刷导致的药液流失,从而避免主剂过量使用,减轻环境危害^[1,12]。

脂肪胺乙氧基化物表面活性剂因原料成本低廉,增效显著,成为草甘膦最优助剂,但研究发现它对哺乳动物刺激性大,对鱼类具有较高毒性,现已被淘汰^[5]。寻找具有增效显著、环境友好的其它物质作为草甘膦表面活性剂,成为研究的难点^[1]。有机硅和烷基多糖苷具有扩张快、粘附性好的特点,可作为增加草甘膦药效的表面活性剂。表面活性物质可以提高草甘膦有效利用率,但在不同杂草的防治上表现出差异,不适量的添加甚至会与草甘膦产生拮抗作用^[5],例如会增加豚草 (*Ambrosia artemisiifolia* L.) 对草甘膦的吸收^[6],而在禾本科大黍 (*Panicum maximum* Jacq.) 上表现出相反的作用^[7]。目前,草甘膦及表面活性剂对五节芒防控作用的研究尚未见报道,喷药后五节芒抗氧化系统防御过程尚不明晰。本试验开展了草甘膦添加2种助剂防治五节芒的研究,分析了不同助剂添加后五节芒生理生化活性的变化,为进一步深入了解植物受害机制,提高防治效果奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

主剂:33%草甘膦 (glyphosate, GLY) 铵盐 (浙江捷马化工股份公司生产);经过多种主剂筛选试验,草甘膦在五节芒防治上表现出优良性状。

2种表面活性剂:有机硅喷雾助剂 (OSA, 乙氧基聚醚改性三硅氧烷喷雾助剂,山东百士威农药有限公司生产)。上世纪80年代后 OSA 开始应用于杂草防治研究中,对水稳定性、叶面附着和吸收性

能、植物毒性等方面有较为系统的研究^[1,5]。OSA 本身对植物不产生药害,仅诱发叶片气孔渗透,对环境危害极小^[1]。烷基多糖苷 (APG, APG-0810, 活性物质含量50%,购自山东临沂批发城奥泰化工经营部)。APG 以葡萄糖或淀粉与天然脂肪醇反应得到,是一种非离子表面活性剂,能溶解、破坏植物表皮蜡质层,增强药剂渗透^[2],具有无毒、对人体刺激小、生物降解快等特点,是一种环保型表面活性剂^[3]。

1.2 试验地概况及试验设计

试验在浙江省开化县池淮镇实施,试验地前茬为柑橘 (*Citrus reticulata* Blanco),已撂荒约13 a,目前柑橘消失殆尽,五节芒覆盖率超过90%。土壤质地为壤土,0~15 cm 土壤总氮 2.35 g·kg⁻¹,总磷 0.46 g·kg⁻¹,总钾 7.83 g·kg⁻¹。2014年4月进行全面割刈,分别于6月6日和7月31日两次喷施除草剂,主剂草甘膦浓度均为9 L·hm⁻²,助剂 OSA 和 APG 浓度分别设为0.03%、0.09%和0.14%。共设8个处理 (表1),每处理重复3次,小区面积为10×15 m²。

表1 不同处理设计

处理编号	喷药类型	助剂浓度/%
1	GLY	-
2	GLY + OSA - 1	0.03
3	GLY + OSA - 2	0.09
4	GLY + OSA - 3	0.14
5	GLY + APG - 1	0.03
6	GLY + APG - 2	0.09
7	GLY + APG - 3	0.14
8	CK	-

1.3 测定项目与方法

1.3.1 形态指标测定 分别于喷药前1 d (第1次喷药日起算,下同)、喷药后53 d (防治中期)和喷药后127 d (防治后期)对每个处理选定的3丛五节芒标准丛 (下同),测量各丛分株数,计算分株数抑制率 (RCN): $RCN = (BCN - ACN) / BCN \times 100\%$,其中,BCN 为喷药前分株数,ACN 为喷药后分株数。

参考朱金文等^[12]的方法分别于喷药处理后 48 h 剪去五节芒地上部分,测定鲜质量。根茎继续培养至喷药后 127 d,剪下再生植株茎叶,测定鲜质量。每处理 5 丛,3 次重复。计算鲜质量抑制率(*RFW*): $RFW = (BFW - AFW) / BFW \times 100\%$,其中,*BFW* 为喷药后 48 h 地上部分鲜质量,*AFW* 为喷药后 127 d 地上部分鲜质量。

参考除草活性目测评价标准^[13],将形态指标划分 5 个等级。五级:植株长势旺盛,绿叶多,难见到枯叶;四级:草株长势良好,绿叶较多,部分叶片黄绿相间,绿叶:枯黄叶数量比大约为 2:1;三级:草株生长受抑制,枯叶与绿叶数量比大致持平为 1:1;二级:草株长势差,枯叶较多,部分叶片黄绿相间,绿叶:枯黄叶数量比大约为 1:2;一级:草株生长受到严重抑制,全株枯黄,难以见到绿叶。计算枯黄率(*WR*): $WR = (OEN + 0.67 \times TON + 0.50 \times TEN + 0.33 \times FRN + 0 \times FEN) / TN \times 100\%$,其中,*OEN* 为一级株数,*TON* 为二级株数,*TEN* 为三级株数,*FRN* 为四级株数,*FEN* 为五级株数,*TN* 为草株总数。

计算综合抑制率(*CR*): $CR = (RCN + RFW + WR) / 3 \times 100\%$ 。

1.3.2 生理指标测定 喷药后 11 d 采取五节芒叶片(主茎从上向下数第 3、4 对叶子)测定叶绿素相对含量,采用丙酮乙醇提取法^[8]。植物叶片剪成宽度小于 1 mm 细丝,称取 0.05 g 样品放入试管,在试管中加入 5 mL 混合液(丙酮:无水乙醇 = 1:1),避光浸泡 24 h。测量时取 1 mL 提取液加 4 mL 混合液。测定 A_{470} 、 A_{645} 、 A_{663} 光吸收值,计算公式: $Ca = 12.72A_{663} - 2.59A_{645}$, $Cb = 22.88A_{645} - 4.67A_{663}$, $Chla = Ca \times V \times N \times (1000 \times W) - 1$, $Chlb = Cb \times V \times N \times (1000 \times W) - 1$, $Chl(a+b) = Chla + Chlb$, $Car = (1000D_{470} - 3.27Ca - 104Cb) / 229 \times V \times N \times (1000 \times W) - 1$ 。其中,*Ca* 为叶绿素 a 浓度($mg \cdot L^{-1}$),*Cb* 为叶绿素 b 浓度($mg \cdot L^{-1}$),*Chla* 为叶绿素 a 含量($mg \cdot g^{-1}$),*Chlb* 为叶绿素 b 含量($mg \cdot g^{-1}$),*Chl(a+b)* 为叶绿素 a 和 b 含量($mg \cdot g^{-1}$),*Car* 为类胡萝卜素浓度($mg \cdot L^{-1}$),*V* 为光合色素提取液体积(mL);*W* 为样品质量(g);*N* 为稀释倍数。

分别于喷药后 3、6、11、29 d 采取五节芒叶片和根系,测定相关生理生化指标。

酶液的制备:称取鲜叶 0.5 g,加入 10 mL 预冷的 pH7.8 磷酸缓冲液,用液氮研磨提取,然后 4℃ 离心($10\,500 r \cdot \min^{-1}$) 15 min,取上清液冷藏备用。

超氧化物歧化酶(SOD)活性采用 NBT 光化还原法测定:在试管中分别加入 3 mL 反应液(0.05 mol · L⁻¹ 磷酸缓冲液 1.5 mL,750 μmol · L⁻¹ NBT 溶液、130 mmol · L⁻¹ Met 溶液、100 μmol · L⁻¹ EDTA 溶液、20 μmol · L⁻¹ 核黄素各 0.3 mL,蒸馏水 0.25 mL 和 0.05 mL 酶提取液)。混匀后将对照管置暗处,其它各管于 4 000 lx 日光灯下反应 20 min。测定 A_{560} 光吸收值,以抑制 NBT 光化还原的 50% 为 1 个酶活性单位表示。

膜脂过氧化产物(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法测定:取酶液 1.5 mL 于带塞试管,加入 0.5% TBA 溶液 2.5 mL,混合后于沸水浴上反应 20 min,冷却后离心,取上清测定 A_{532} 、 A_{600} 、 A_{450} 光吸收值,计算公式: $MDA (\mu mol \cdot L^{-1}) = 6.45 (A_{532} - A_{600}) - 0.56 A_{450}$ 。

过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法^[9]测定:在试管中分别加入 3 mL 反应液(0.05 mol · L⁻¹ 的 pH7.0 磷酸缓冲液 1 mL,0.3% 过氧化氢 1 mL,0.2% 愈创木酚 0.95 mL),最后加入 0.05 mL 酶液启动反应,于 0、30、60、90、120、150、180 s 记录 A_{470} 光吸收值,测定光吸收值降低速度。将每分钟 OD 增加 0.01 定义为 1 个活力单位。

根系活力采用 TTC 法^[10]测定:(1)制作标准曲线。0.4% TTC 溶液 0.2 mL,加入甲醇 9.8 mL 和少量保险粉,充分摇动,所生成的红色 TTF 溶液作为已知母液,取 6 只试管,分别配制 0、20、40、80、120、160 μg · mL⁻¹ 浓度 TTF 溶液。用分光光度计比色,以甲醇作参比,波长 485 nm,记录光吸收值。并以光吸收值为纵坐标,以 TTF 溶液浓度为横坐标,绘制出以甲醇为溶剂的标准曲线。(2)显色。选取鲜根 0.5 g,充分浸没在 0.4% TTC 溶液和 0.067 mol · L⁻¹ 磷酸缓冲液各 5 mL 的混合液内,在 37℃ 下暗保温 2 h,此后加入 1 mol · L⁻¹ 硫酸 2 mL,以停止反应。(3)提取。将已显色的根擦干装入新试管中,加入 10 mL 甲醇,置于 30~40℃ 的保温箱中 7 h,使根尖切段完全变白为止。以甲醇作参比,测定 A_{485} 光吸收值。计算公式:根系活力($\mu g \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$) = $(C \times m) / (W \times t)$,其中,*C* 为根据 A_{485} 光吸收值在标准曲线上查得的样品浓度($\mu g \cdot mL^{-1}$),*m* 为提取液稀释倍数,*W* 为样品鲜质量(g),*t* 为样品显色反应时间(h)。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003、SPSS16.0 软件进行数据计算、方差显著性分析及绘图制表。

2 结果与分析

2.1 不同处理对五节芒生长的影响

从表2可以看出,草甘膦添加不同助剂后防治五节芒的效果具有显著差异。从防治中期结果看,随着2种助剂浓度增加,分株数抑制率逐步降低。施用OSA-1和APG-1的五节芒分株数抑制率最高,分别达到71.45%和70.76%,比GLY处理高出1.23倍和1.22倍。不同药剂及浓度处理对五节芒枯黄率的影响与分株数抑制率趋势一致。OSA-1、OSA-2处理五节芒枯黄率最高,比GLY处理高出1.33和1.30倍。

表2 不同处理对五节芒生长的影响

处理编号	防治中期		防治后期		
	分株数抑制率/%	枯黄率/%	分株数抑制率/%	枯黄率/%	鲜质量抑制率/%
1	58.00 ± 4.36ab	48.41 ± 1.59b	70.07 ± 4.07b	52.15 ± 3.75b	27.19 ± 11.97d
2	71.45 ± 13.61a	64.30 ± 2.61a	88.16 ± 0.76a	77.05 ± 4.65a	91.48 ± 1.23a
3	57.96 ± 2.78ab	62.81 ± 4.76a	76.67 ± 3.00ab	70.30 ± 1.50ab	80.60 ± 3.16abc
4	49.03 ± 6.61b	58.37 ± 5.13ab	49.87 ± 6.17c	63.20 ± 8.60ab	73.83 ± 4.33c
5	70.76 ± 1.70a	59.57 ± 3.90ab	86.86 ± 1.82a	74.45 ± 1.75a	77.48 ± 2.38bc
6	69.38 ± 0.63a	56.15 ± 3.81ab	82.49 ± 3.26ab	68.35 ± 1.55ab	81.94 ± 2.28abc
7	64.50 ± 2.42ab	53.93 ± 3.25ab	83.68 ± 2.44a	69.20 ± 3.90ab	88.70 ± 2.03ab

注:数值为平均数 ± 标准误(SE);同列不同小写字母表示差异0.05显著水平。下同。

2.2 不同处理对五节芒叶片光合色素含量的影响

从表3可以看出,除草剂处理后五节芒叶片中叶绿素a、总叶绿素、叶绿素a/b、类胡萝卜素含量显著降低,叶绿素b含量整体显著上升。添加助剂后均显著降低叶片叶绿素a和类胡萝卜素含量,其中

从防治后期结果看,各助剂处理显著提高五节芒防治效果。OSA-1和APG-1药效较好,显著高于GLY,其中OSA-1处理分株数抑制率、枯黄率和鲜质量抑制率分别提高18.09%、24.09%和64.29%;APG-1处理分株数抑制率、枯黄率和鲜质量抑制率分别提高16.79%、22.3%和50.29%。OSA(0.03%浓度)处理对草甘膦抑制五节芒的效果较佳,综合抑制率达到85.6%,但随着OSA浓度的增加综合抑制率以10%幅度递减,OSA(0.14%浓度)处理综合抑制率只达到62.3%;APG处理对草甘膦防治五节芒的效果较为稳定,综合抑制率维持在77.6%~80.5%,分别比GLY处理提升12.5%~35.76%。

OSA-1和APG-1处理减少叶片叶绿素a含量幅度较大,分别达到29.60%和26.5%。OSA-1处理显著降低叶片总叶绿素含量21.16%,APG-1、APG-2处理明显降低叶绿素a/b。

表3 不同处理对五节芒叶片光合色素含量的影响

处理编号	叶绿素a/(mg·g ⁻¹)	叶绿素b/(mg·g ⁻¹)	总叶绿素/(mg·g ⁻¹)	叶绿素a/b	类胡萝卜素/(mg·g ⁻¹)
1	2.018 ± 0.185c	0.571 ± 0.109a	2.590 ± 0.296bc	3.563 ± 0.3561ab	0.334 ± 0.018b
2	1.557 ± 0.085a	0.573 ± 0.114a	2.130 ± 0.036a	2.809 ± 0.708ab	0.202 ± 0.026a
3	1.758 ± 0.126ab	0.558 ± 0.103a	2.313 ± 0.116ab	3.252 ± 0.811ab	0.166 ± 0.027a
4	1.777 ± 0.112ab	0.592 ± 0.181a	2.370 ± 0.066ab	3.245 ± 1.262ab	0.167 ± 0.023a
5	1.595 ± 0.101a	0.690 ± 0.115a	2.287 ± 0.211ab	2.340 ± 0.242a	0.201 ± 0.017a
6	1.739 ± 0.106ab	0.690 ± 0.108a	2.430 ± 0.215ab	2.546 ± 0.240a	0.203 ± 0.019a
7	1.893 ± 0.130b	0.482 ± 0.102a	2.370 ± 0.230ab	4.017 ± 0.579b	0.183 ± 0.043a
8	2.580 ± 0.106d	0.400 ± 0.013b	2.980 ± 0.111c	6.395 ± 0.182c	0.639 ± 0.022c

2.3 不同处理对五节芒叶片SOD活性的影响

除草剂处理后3d,各处理叶片SOD活性显著低于GLY处理和CK(表4),不同助剂处理之间差异较小。喷药后6d,各处理SOD活性明显上升,其中APG-2、APG-3处理增加幅度最大。喷药后11d,各处理SOD活性逐步下降,显著低于CK。29d时

仅OSA-1处理叶片活性高于CK,其余均显著低于CK。

2.4 不同处理对五节芒叶片MDA含量的影响

从表5中可以看出,除草剂处理后,叶片MDA含量随着药后天数的推移而变化。喷药后3d,只有OSA-1、OSA-3处理MDA含量显著低于CK。喷药后

表4 不同处理对五节芒叶片 SOD 活性的影响

U · g⁻¹

处理编号	处理后时间/d			
	3	6	11	29
1	156.27 ± 40.84b	323.20 ± 12.00bc	155.73 ± 12.93b	233.33 ± 14.14b
2	107.47 ± 19.75c	222.13 ± 26.12d	142.67 ± 22.83b	298.13 ± 30.78a
3	89.07 ± 8.17c	260.53 ± 29.04cd	154.93 ± 11.38b	202.40 ± 19.64cd
4	82.40 ± 15.62c	369.07 ± 73.30b	148.80 ± 15.98b	185.07 ± 16.03d
5	90.67 ± 7.69c	372.00 ± 58.40b	145.07 ± 27.09b	175.20 ± 15.98de
6	88.00 ± 26.45c	462.13 ± 51.82a	124.00 ± 18.17b	151.73 ± 1.22e
7	106.40 ± 18.08c	481.07 ± 36.75a	102.40 ± 19.40b	131.20 ± 9.23e
8	277.33 ± 10.69a	284.07 ± 11.00cd	278.00 ± 11.79a	280.80 ± 18.45a

6 d,各处理 MDA 含量呈上升趋势,其中 OSA-3 处理增加幅度最大,达到 182.3%,其次为 OSA-1 (156.0%浓度)、APG-1 (127.4%浓度)处理,而 CK 增加幅度只有 8.8%。喷药后 11 d,各处理 MDA 含量基本与前期(6 d)持平,部分处理回落。喷药后 29 d,各处理 MDA 含量再次显著上升,均显著高于 CK,其中含量最高的处理是 APG-1 和 OSA-3,分别比 CK 增加 89.2%和 86.9%。与 11 d 相比 GLY 和 APG-2 处理增加幅度最大,分别达到 183.7%和 117.4%。总体来说,除草剂对叶片 MDA 含量影响较大,在 29 d 左右作用显著增强。

表5 不同处理对五节芒叶片 MDA 含量的影响

 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$

处理编号	处理后时间/d			
	3	6	11	29
1	8.11 ± 0.04ab	18.29 ± 2.48a	8.07 ± 0.63d	22.90 ± 1.12bc
2	7.07 ± 0.19b	18.01 ± 2.23a	11.65 ± 0.82c	19.53 ± 1.06c
3	9.29 ± 1.71ab	11.35 ± 2.34c	15.72 ± 0.68b	25.59 ± 3.01ab
4	5.50 ± 0.45b	15.91 ± 2.05abc	19.27 ± 5.04a	27.90 ± 1.71a
5	7.74 ± 0.54ab	17.60 ± 1.68a	15.97 ± 0.48b	28.25 ± 1.61a
6	10.40 ± 0.72ab	14.22 ± 2.12abc	11.61 ± 0.66c	25.25 ± 1.96ab
7	10.48 ± 0.94ab	12.29 ± 1.60c	15.14 ± 0.80b	24.76 ± 1.17ab
8	15.23 ± 2.32a	16.56 ± 1.23ab	15.22 ± 1.14b	14.93 ± 1.28d

2.5 不同处理对五节芒叶片 POD 活性的影响

除草剂处理后五节芒叶片 POD 活性随着时间先增加后降低,11 d 左右达到最高值,CK 趋于稳定(表6)。除草剂处理后 3 d 各处理 POD 活性均显著高于 CK,其中 APG-2 和 OSA-3 处理对 POD 活性影响最大,分别为 CK 的 2.30 倍和 2.24 倍。除草剂处理后 6 d 各处理对 POD 活性的影响与处理后 3 d 趋势一致,其中 APG-3 和 OSA-3 处理增加幅度最大,分别为 CK 的 2.90 倍和 2.69 倍。喷药后 11 d 各处理 POD 活性均大幅度增加,其中 OSA-2、APG-2 和 APG-1 处理增加幅度最大,较喷药后 6 d 分别提高

了 344.6%、284.5%和 274.5%,而 CK 只提高了 11.7%;OSA-3 和 APG-3 处理对 POD 活性影响最大,分别为 CK 的 8.62 倍和 8.55 倍。除草剂处理后 29 d 各处理 POD 活性均大幅度回落,APG 处理对五节芒叶片 POD 活性影响较为持续,高于其它处理及 CK。

表6 不同处理对五节芒叶片 POD 活性的影响

 $\mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1}$

处理编号	处理后时间/d			
	3	6	11	29
1	26.87 ± 0.97b	23.28 ± 0.94b	15.43 ± 1.53d	12.78 ± 3.20d
2	16.23 ± 0.71e	16.34 ± 1.03c	51.95 ± 4.08c	15.26 ± 4.85d
3	26.51 ± 1.40b	21.68 ± 0.63b	96.38 ± 2.73b	16.44 ± 3.411d
4	30.03 ± 1.26b	30.58 ± 1.69a	109.60 ± 4.39a	19.16 ± 3.59d
5	20.97 ± 1.08d	23.94 ± 1.49b	89.65 ± 8.14b	23.22 ± 1.68c
6	30.81 ± 1.36a	24.11 ± 5.40b	92.70 ± 14.44b	29.34 ± 1.90b
7	23.70 ± 2.75c	33.05 ± 4.67a	108.70 ± 6.35a	52.90 ± 2.43a
8	13.38 ± 1.17f	11.38 ± 0.60c	12.71 ± 0.55d	13.59 ± 2.57d

2.6 不同处理对五节芒根系 TTC 活力的影响

除草剂处理 3 ~ 6 d 后,GLY 处理根系活力与 CK 差异不大,处理 11 d 后 GLY 处理根系活力显著上升,比 CK 提高 64.2%,而处理 29 d 后 GLY 处理根系活力大幅度回落,比 CK 降低 42.6%(表7)。其它处理根系活力随着天数推移而变化大致相同,处理后 11 d 大部分处理根系活力增速明显,其中显著增加的是 APG-1 (提高 383.8%)、APG-2 (提高 219.8%)处理,分别是 CK 的 4.56 倍和 3.97 倍。除草剂处理后 29 d 各处理根系活力大幅度回落,仅 APG-1 处理显著高于 CK。APG 处理对五节芒根系活力影响作用更大。

3 结论与讨论

本试验结果表明,草甘膦添加 2 种表面活性剂后显著提高了五节芒分株数抑制率、地上部分鲜质

表 7 不同处理对五节芒根系 TTC 活力的影响

处理 编号	处理后时间/d			
	3	6	11	29
1	57.62 ± 7.19bcd	57.62 ± 1.80c	90.88 ± 3.41c	32.90 ± 3.65d
2	46.76 ± 11.61d	27.34 ± 1.43d	71.47 ± 3.15d	37.78 ± 3.39c
3	68.01 ± 6.16abc	112.43 ± 1.86a	70.96 ± 2.89d	58.30 ± 3.49b
4	47.35 ± 11.59cd	47.10 ± 3.53c	58.90 ± 1.36e	42.05 ± 1.32c
5	49.88 ± 10.50cd	52.14 ± 3.01c	252.25 ± 3.09a	90.80 ± 3.64a
6	78.40 ± 27.69a	72.41 ± 3.17b	219.75 ± 3.59b	40.34 ± 2.31c
7	74.93 ± 6.51ab	79.85 ± 3.00b	52.66 ± 2.33e	41.88 ± 3.06c
8	51.36 ± 5.78cd	54.12 ± 4.01c	55.36 ± 4.12e	57.36 ± 2.03b

量抑制率和枯黄率,显著影响了五节芒的生理生化指标。综合来看,OSA(0.03%浓度)和APG(0.03%浓度)处理对草甘膦(9 L · hm⁻²)抑制五节芒生长的效果较佳,综合抑制率达到80%~86%,分别比对照提升35.76%和29.8%。OSA处理随着浓度增加,出现药效减弱的现象。这可能是OSA与草甘膦混用,产生拮抗作用^[11,14]。已有报道指出,添加OSA后草甘膦药液在喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb)上的最大稳定持留量显著降低^[12]。拮抗作用的原因可能是添加不同表面活性剂后药剂黏度发生变化,导致草甘膦雾滴在叶面不同程度地聚结和流失。

除草剂药害等胁迫能造成植物细胞产生大量的超氧化物自由基(O₂⁻)^[16]。植物对逆境抵抗能力往往与体内的SOD活性水平有关,逆境环境破坏SOD保护酶系统,导致O₂⁻积累,造成细胞膜系统破坏。SOD在抗御自由基毒害中处于第一道防线。POD主要是清除经SOD催化反应形成的H₂O₂,H₂O₂的过量会抑制CO₂的固定和加速植物衰老^[16]。喷药后叶片SOD活性持续低于对照,说明在抗御自由基毒害中第一道防线已被攻破。O₂⁻迅速在植物体内积累,积累到一定程度会降低叶绿素的形成^[15,17]。本试验研究显示,喷药后五节芒叶片叶绿素异常,叶片中叶绿素a、总叶绿素、叶绿素a/b、类胡萝卜素含量显著降低,叶绿素b含量显著上升;Shimazaki等研究表明叶绿体内过量的O₂⁻是导致叶绿素a和类胡萝卜素降低的原因^[7],与本试验结果一致。MDA是膜脂氧化的最终产物,会严重损伤生物膜,加速叶绿素降解^[18]。喷药后3~11 d五节芒叶片POD和SOD活性升高,MDA含量与对照大致持平,说明五节芒自身有着较强的生理适应性,抗氧化系统活性显著增强;喷药后29 d,MDA含量显著升高,说明植物体内的氧化代谢失调,清除活性氧

的防卫系统被破坏,细胞膜系统受损。对多年生杂草的防治,重点在于破坏植物正常的根系活动,根系TTC活力主要反映的是根系还原能力,测定与呼吸相关的琥珀酸脱氢酶含量^[4]。植物受到胁迫后,根系活力出现先增高后降低的趋势^[4],喷药后11 d根系活力上升,29 d后五节芒根系TTC活力下降,APG处理对五节芒根系活力的影响强于OSA处理,其中APG(0.03%浓度)处理对五节芒根系TTC活力变化幅度影响最大。

参考文献:

- [1] 华乃震. 草甘膦活性和助剂[J]. 农药, 2002, 41(2):1-5.
- [2] 周莉, 于厚春, 刘剑洪, 等. APG对草甘膦的增效作用及机理探讨[J]. 农药, 2009, 48(2):140-143.
- [3] 黄洪周. 中国表面活性剂工业可实施的绿色表面活性剂新产品[J]. 精细与专用化学品, 2007, 15(16):1-5.
- [4] 苗海霞, 孙明高, 夏阳, 等. 盐胁迫对苦苣根系活力的影响[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2005, 36(1):9-12.
- [5] Falk R H. Surfactant-Induced Phytotoxicity[J]. Weed Technology, 1994, 12(3):519-525.
- [6] Singh D, Singh M. Absorption and translocation of glyphosate with conventional and organosilicone adjuvants[J]. Weed Biology and Management, 2008, 8(2):104-111.
- [7] Shimazaki K, Sakaki T, Kondo N, et al. Active oxygen participation in chlorophyll destruction and lipid peroxidation in SO₂⁻ fumigated leaves of spinach[J]. Plant and Cell Physiology, 1980, 21(8):1193-1204.
- [8] 何冰, 叶海波, 杨肖娥. 铅胁迫下不同生态型东南景天叶片抗氧化酶活性及叶绿素含量比较[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(3):274-278.
- [9] 史新, 徐应明, 谢忠雷, 等. 海泡石对Cd胁迫下水稻幼苗生理生化特性的影响[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(4):5-9.
- [10] 王芳, 刘鹏, 朱靖文. 镁对大豆根系活力叶绿素含量和膜透性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(2):235-239.
- [11] 苏少泉. 草甘膦述评[J]. 农药, 2005, 44(4):145-149.
- [12] 朱金文, 李洁, 吴志毅, 等. 有机硅喷雾助剂对草甘膦在空心莲子草上的沉积和生物活性的影响[J]. 农药学报, 2011, 13(2):192-196.
- [13] 施春华. 11种草甘膦助剂除草活性筛选[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24(1):86-90.
- [14] 杨学茹, 黄艳琴. 农药助剂用有机硅表面活性剂[J]. 有机硅材料, 2002, 16(2):25-29.
- [15] Asada K, Kiso K. Initiation of aerobic oxidation of sulfite by illuminated spinach chloroplasts[J]. European Journal of Biochemistry, 1973, 33(2):253-257.
- [16] 汪宗立, 刘晓忠, 李建坤, 等. 玉米的渍涝伤害与膜脂过氧化作用和保护酶活性的关系[J]. 江苏农业学报, 1988, 4(3):1-8.
- [17] 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.