

黄河三角洲地区除草剂对紫花苜蓿产量及杂草群落影响的初探

王国良¹, 张清平¹, 吴波¹, 何峰², 盛亦兵¹

(1.山东省农业可持续发展研究所, 山东 济南 250100; 2.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100083)

摘要:针对紫花苜蓿田杂草, 选用咪唑乙烟酸、精喹禾灵、高效氟吡甲禾灵和乙氧氟草醚4种除草剂, 研究了不同除草剂和浓度对苜蓿产量和杂草群落特征的影响。结果表明, 喷施咪唑乙烟酸、高效氟吡甲禾灵均能提高苜蓿产量, 咪唑乙烟酸 2 000 mL·hm⁻²、高效氟吡甲禾灵 700 mL·hm⁻² 增产效果最好, 喷施乙氧氟草醚明显抑制苜蓿生长; 咪唑乙烟酸、精喹禾灵、乙氧氟草醚能明显降低杂草种类。从物种重要值来看, 马唐、马齿苋、稗草等属于较难防除杂草; 喷施除草剂对杂草群落产生了影响, 物种多样性指数随药剂浓度的增大均呈下降趋势。从试验结果综合判断, 除草剂最佳选择为咪唑乙烟酸 2 000 mL·hm⁻², 其次为高效氟吡甲禾灵 700 mL·hm⁻²。

关键词:除草剂; 紫花苜蓿; 杂草; 群落

中图分类号:S451.2

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2016)03-0281-08

doi: 10.13254/j.jare.2015.0293

引用格式:

王国良, 张清平, 吴波, 等. 黄河三角洲地区除草剂对紫花苜蓿产量及杂草群落影响的初探[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(3): 281-288.
WANG Guo-liang, ZHANG Qing-ping, WU Bo, et al. Preliminary Study on Effect of Herbicides on Alfalfa Yield and Weed Community Characteristics in Yellow River Delta, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2016, 33(3): 281-288.

Preliminary Study on Effect of Herbicides on Alfalfa Yield and Weed Community Characteristics in Yellow River Delta, China

WANG Guo-liang¹, ZHANG Qing-ping¹, WU Bo¹, HE Feng², SHENG Yi-bing¹

(1. Shandong Institute of Agricultural Sustainable Development, Jinan 250100, China; 2. Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Alfalfa (*Medicago sativa*) is one of important legume forages worldwide. However, weed is the main factor limiting alfalfa production. Biomass quality and yield and stability of dry matter production during cultivation are directly associated with the interference of weeds which compete with alfalfa for water, light and nutrients. The use of herbicides is a good alternative for weed control. In order to control weed in alfalfa field with suitable herbicide in Yellow River delta, the effect of four herbicides (imazethapyr, quizalofop-p-ethyl, haloxyfop-r-methyl and oxyfluorfen) with different concentration on alfalfa yield and weed community characteristics were studied. The results showed that both imazethapyr and haloxyfop-r-methyl treatments could increase alfalfa yield, and the best herbicide application concentration was imazethapyr with 2 000 mL·hm⁻² and haloxyfop-r-methyl with 700 mL·hm⁻², but oxyfluorfen treatment would limit alfalfa growth significantly. Weed species numbers in the treatments of imazethapyr, quizalofop-p-ethyl and oxyfluorfen decreased significantly. *Digitaria angustifolia*, *Portulaca oleracea* and *Echinochloa crusgalli* were more difficult to control from species important value in all treatments. Species diversity index decreased with higher herbicide concentration in all treatments. From this study, herbicide imazethapyr with 2 000 mL·hm⁻² application concentration was the best weed control method, and the second one was haloxyfop-r-methyl with 700 mL·hm⁻² application concentration.

Keywords: herbicide; alfalfa; weed; community characteristics

收稿日期: 2015-12-17

基金项目: 国家牧草产业技术体系项目(CARS-35); 公益性行业(农业)科研专项(201403048);

山东省农业重大应用技术创新项目[鲁财农指(2015)16号]

作者简介: 王国良(1977—), 男, 山东汶上人, 博士, 副研究员, 从事牧草栽培与草地生态研究。E-mail: wangguoliang@126.com

紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)素有“牧草之王”的美称,其粗蛋白含量高、营养价值好,在饲喂奶牛和肉牛增重方面效果显著,世界各国都有引进和培育^[1]。黄河三角洲地区是我国传统的苜蓿种植区,也是山东省“粮改饲”试点工作的重要地区,该区域未开发土地多,且成方连片,适合苜蓿规模化、集约化、产业化发展。该区属于暖温带季风气候,四季分明,雨热同季,高温、降雨主要集中在 6—8 月份^[2],造成苜蓿田间杂草生长迅速,如不及时防除,势必会对苜蓿生产造成危害,使苜蓿减产、品质下降。杂草的防治是苜蓿成功引种的关键问题,目前的措施是施用化学除草剂^[3-4],化学除草剂仍是我国当前最切实可行的除草方法^[5]。而盲目使用除草剂,常造成药害,不仅降低作物的经济产量,并对生态环境造成一定影响^[6]。因此,了解除草剂的安全性,可以有效减少除草剂药害的发生,减少经济损失,提高除草剂的适应效果,更主要的是可以有效降低除草剂的污染,提高农作物安全指标^[7]。但目前针对苜蓿田杂草防除研究的相关报道还比较少,特别是黄河三角洲地区苜蓿田除草剂研究则更少。本研究从除草剂种类和用量方面入手,以期筛选出适合本地区使用的除草剂及合适剂量,为苜蓿高产、稳产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于无棣县海丰街道办曹庄村,地处山东省北部,渤海西南岸,黄河三角洲高效经济区域重点开发区域,属北温带东亚季风区域大陆性气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷漫长,春季多风干燥,秋季温和凉爽。年平均气温 13.6℃,日照时数 2 500 h,年均降水量 700 mm,无霜期 270 d。土壤属滨海潮土。土壤有机质含量 1.7%,碱解氮含量 49.3 mg·kg⁻¹,有效磷含量 8.3 mg·kg⁻¹,速效钾 249.5 mg·kg⁻¹,pH 值 8.44。

1.2 试验材料

试验于 2015 年 7 月进行。选择地势平坦、地力均一的苜蓿地作为试验田,苜蓿品种为维多利亚,于 2013 年秋季播种。苜蓿大田常见杂草主要有马唐(*Digitaria sanguinalis*)、牛筋草(*Eleusine indica*)、稗草(*Echinochloa crusgalli*)、虎尾草(*Chloris virgata*)、马齿苋(*Portulaca oleracea*)、苣荬菜(*Sonchus brachyotus*)、墨旱莲(*Eclipta prostrata*)、铁苋菜(*Acalypha australis*)、野大豆(*Glycine soja*)、黄蒿(*Artemisia annua*)、莎草(*Cyperus rotundus*)、牵牛花(*Pharbitis nil*)等。

供试除草剂共计 4 种:5% 咪唑乙烟酸(I-mazethapyr)水剂,山东先达化工有限公司生产;10% 精喹禾灵(Quizalofop-p-ethyl)乳油,安徽丰乐农化有限责任公司生产;10.8% 高效氟吡甲禾灵(Haloxyfop-r-methyl)乳油,美国陶氏益农公司生产;23.5% 乙氧氟草醚(Oxyfluorfen)乳油,上海惠光环境科技有限公司生产。

1.3 试验设计

1.3.1 咪唑乙烟酸试验

采用完全随机区组试验设计,咪唑乙烟酸的喷施剂量设定为 3 个水平:2 000 mL·hm⁻²(M1)、4 000 mL·hm⁻²(M2)和 6 000 mL·hm⁻²(M3),每公顷兑水 400 L,对照为空白(M0),喷施等量的水。小区面积为 20 m²,3 次重复。2015 年 7 月 20 日收割第三茬,间隔 10 d 后进行除草剂喷施处理,于 8 月 26 日进行收获。苜蓿产量采用 1 m² 样方法测定,烘箱内 65℃ 下 48 h 烘干至恒重,称取干物质质量;在苜蓿刈割前,调查各样区杂草种群特征,采用 1 m 样段法,每个小区 3 次重复,记录样段上杂草的种类、株高、密度、盖度,根据下列公式进行杂草物种重要值和群落多样性指标分析^[8]。

重要值(IV:important value)的计算公式为:

$$IV = (\text{相对盖度} + \text{相对高度} + \text{相对密度}) / 3 \times 100\%$$

物种多样性(Species diversity)采用 Simpson 指数(D)和 Shannon-Wiener(H')

$$D = 1 / \sum P_i^2; H' = -\sum P_i \ln P_i$$

式中: P_i 为样段中的第 i 种植物重要值占有所有物种重要值之和的比例^[9]。

1.3.2 精喹禾灵试验

采用完全随机区组试验设计,精喹禾灵的喷施剂量设定为 3 个水平:450 mL·hm⁻²(J1)、900 mL·hm⁻²(J2)和 1 350 mL·hm⁻²,每公顷兑水 400 L,对照为空白(J0),喷施等量的水。试验方案、取样方法与咪唑乙烟酸试验相同。

1.3.3 高效氟吡甲禾灵试验

采用完全随机区组试验设计,高效氟吡甲禾灵的喷施剂量设定为 3 个水平:350 mL·hm⁻²(G1)、700 mL·hm⁻²(G2)和 1 050 mL·hm⁻²(G3),每公顷兑水 400 L,对照为空白(G0),喷施等量的水。试验方案、取样方法与咪唑乙烟酸试验相同。

1.3.4 乙氧氟草醚试验

采用完全随机区组试验设计,乙氧氟草醚的喷施剂量设定为 3 个水平:750 mL·hm⁻²(Y1)、1 500 mL·hm⁻²(Y2)和 2 250 mL·hm⁻²(Y3),每公顷兑水 800 L,

对照为空白(Y0),喷施等量的水。试验方案、取样方法与咪唑乙烟酸试验相同。

1.4 数据处理

数据分析采用 SAS9.0 统计软件,作图采用 Excel2007 软件。

2 结果与分析

2.1 除草剂对苜蓿产量的影响

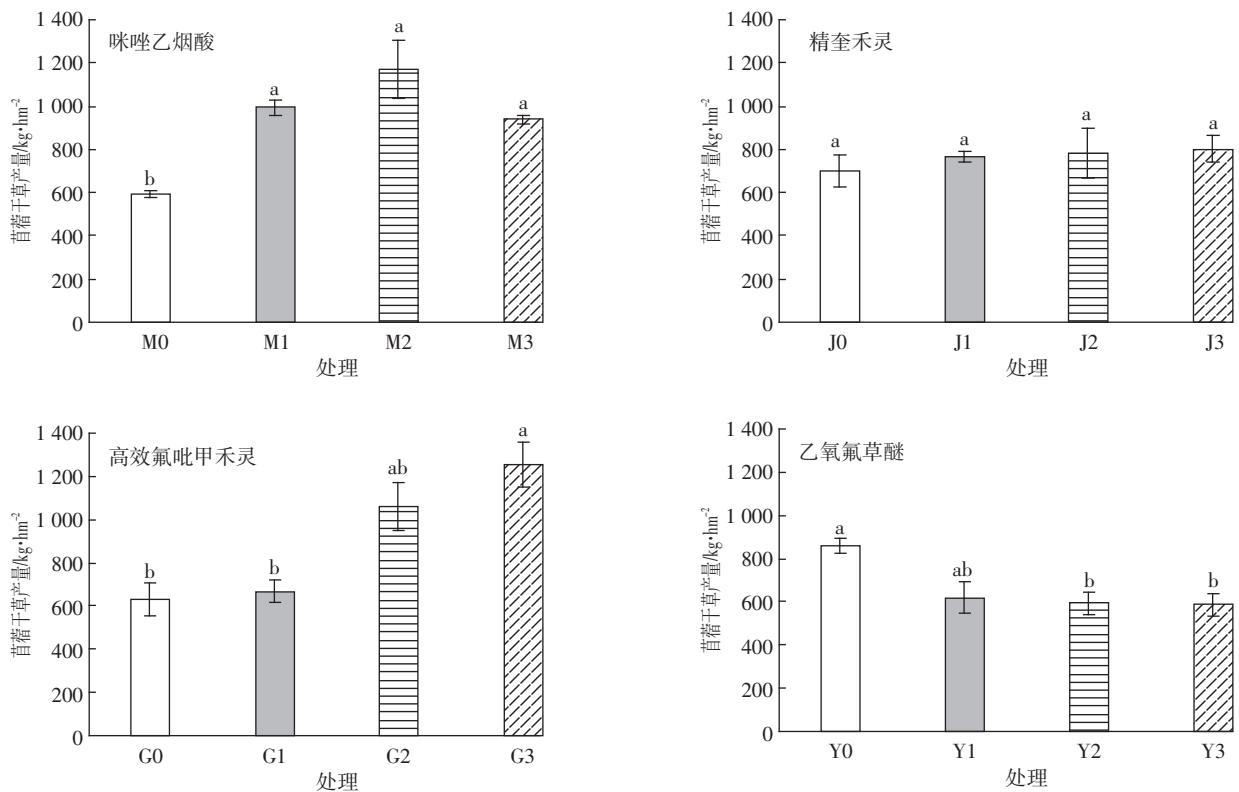
从咪唑乙烟酸试验结果来看,喷施咪唑乙烟酸有助于苜蓿干草产量提高,均大于对照处理(图 1)。对照处理苜蓿干草产量只有 $593.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, M1 ($2\,000 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$)处理下苜蓿干草产量达到 $993.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,比对照增产 67.4%; M2 ($4\,000 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$)处理下苜蓿干草产量达到 $1\,173.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,比对照增产 97.8%; M3 ($6\,000 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$)处理下苜蓿干草产量达到 $940.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,比对照增产 58.4%。3 个浓度处理之间苜蓿干草产量无显著差异($P>0.05$)。

从精奎禾灵试验结果来看,各处理间苜蓿干草产量差异不显著($P>0.05$)。对照处理下苜蓿干草产量为

$700.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,苜蓿在处理 J1 ($450 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$)、J2 ($900 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$)、J3 ($1\,350 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$)下的干草产量分别为 766.7 、 $782.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $800.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

从高效氟吡甲禾灵试验结果来看,喷施高效氟吡甲禾灵有助于苜蓿干草产量提高,抑制杂草,实现增产。对照处理苜蓿干草产量为 $633.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,苜蓿在处理 G1 ($350 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$)、G2 ($700 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$)、G3 ($1\,050 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$)下的干草产量分别达到 666.7 、 $1\,060.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $1\,253.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,分别比对照增产 5.3%、67.4%、97.9%。G2 和 G3 处理苜蓿干草产量无显著性差异($P>0.05$),G3 处理显著高于对照和 G1 处理($P<0.05$)。

从乙氧氟草醚试验结果来看,喷施乙氧氟草醚不利于苜蓿干草产量增加,这可能是由于乙氧氟草醚本身药害抑制了苜蓿的正常生长。对照处理苜蓿干草产量为 $860 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,苜蓿在处理 Y1 ($750 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$)、Y2 ($1\,500 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$)、Y3 ($2\,250 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$)下的干草产量分别达到 620.0 、 $594.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $586.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,分别比对照增产 -27.9%、-30.9%、-31.8%。Y2 和 Y3 处理



注:不同小写字母代表处理之间差异性达到显著水平($P<0.05$)。

Note: Different small letters indicate significant difference at 0.05 level among treatments.

图 1 不同除草剂及其浓度处理对苜蓿干草产量的影响

Figure 1 Effect of herbicides and concentration on alfalfa hay yield

苜蓿干草产量显著低于对照处理($P<0.05$),喷施乙氧氟草醚的处理苜蓿干草产量均低于对照处理。

2.2 除草剂对苜蓿地主要杂草种类及其重要值的影响

从表 1 可以看出,对照处理(M0)调查样段中杂草种类平均达到 6 种,M1、M2、M3 处理中杂草种类分别降至 3、5、3 种,均比对照有所降低。在喷施浓度增大的情况下,铁苋菜、黄蒿、马齿苋、苣荬菜也有较高的重要值,这类杂草表现出较难控制的趋势。

喷施精喹禾灵也能达到降低杂草种类的效果,从表 2 可以看出,对照处理(J0)杂草种类数平均达到 6 种,处理 J1、J2、J3 可使杂草种类降到 3、4、3 种。有效控制了牛筋草、虎尾草等禾本科杂草,但对马齿苋、铁苋菜等阔叶类杂草防除能力较差。从表 2 也可以看出,马唐是一种主要的恶性杂草,即使喷施精喹禾灵,

物种重要值依然较高。

从表 3 可以看出,喷施高效氟吡甲禾灵的处理效果不如上述 2 种除草剂明显,只有在高浓度处理 G2、G3 下,杂草种类数量才有所降低,马齿苋、墨旱莲、铁苋菜等阔叶类杂草较难防除,高浓度处理 G2、G3 对马唐防除有效。

随着乙氧氟草醚浓度的增加,杂草种类数量明显降低,从表 4 可以看出,最高浓度处理 Y3 的杂草种类数量为 2 种,远低于对照 6 种,杂草防除效果比较好。但对恶性杂草马唐等禾本科草,也较难控制住其生长。

2.3 除草剂对苜蓿地杂草物种多样性的影响

物种多样性指数是草地植被群落变化的重要参数,指数的大小往往能反应群落组成差异以及群落多

表 1 咪唑乙烟酸浓度处理对杂草种类及其重要值的影响

Table 1 Effect of different imazethapyr concentration treatments on weed species and important value

M0		M1		M2		M3	
杂草种类	重要值	杂草种类	重要值	杂草种类	重要值	杂草种类	重要值
牛筋草	0.36±0.14	铁苋菜	0.52±0.11	马齿苋	0.33±0.15	铁苋菜	0.50±0.23
马齿苋	0.21±0.06	虎尾草	0.31±0.12	马唐	0.29±0.07	黄蒿	0.29±0.07
墨旱莲	0.21±0.03	野大豆	0.19±0.05	苣荬菜	0.18±0.12	苣荬菜	0.23±0.12
野大豆	0.13±0.01			黄蒿	0.11±0.05		
马唐	0.07±0.04			铁苋菜	0.08±0.05		
苣荬菜	0.03±0.02						

表 2 精喹禾灵浓度处理对杂草种类及其重要值的影响

Table 2 Effect of different quizalofop-p-ethyl concentration treatments on weed species and important value

J0		J1		J2		J3	
杂草种类	重要值	杂草种类	重要值	杂草种类	重要值	杂草种类	重要值
马齿苋	0.44±0.16	马唐	0.68±0.17	马唐	0.53±0.17	马齿苋	0.49±0.30
野大豆	0.14±0.06	马齿苋	0.28±0.11	马齿苋	0.34±0.02	铁苋菜	0.31±0.02
牛筋草	0.13±0.07	苣荬菜	0.04±0.02	铁苋菜	0.07±0.02	黄蒿	0.18±0.05
马唐	0.11±0.03			苣荬菜	0.06±0.03		
虎尾草	0.10±0.03						
苣荬菜	0.08±0.05						

表 3 高效氟吡甲禾灵浓度处理对杂草种类及其重要值的影响

Table 3 Effect of different haloxyfop-r-methyl concentration treatments on weed species and important value

G0		G1		G2		G3	
杂草种类	重要值	杂草种类	重要值	杂草种类	重要值	杂草种类	重要值
马齿苋	0.42±0.02	马唐	0.38±0.09	马齿苋	0.52±0.02	马齿苋	0.50±0.19
稗草	0.19±0.05	马齿苋	0.28±0.06	墨旱莲	0.24±0.11	墨旱莲	0.23±0.10
牛筋草	0.17±0.05	虎尾草	0.17±0.06	铁苋菜	0.13±0.04	黄蒿	0.18±0.06
墨旱莲	0.10±0.04	牛筋草	0.14±0.07	苣荬菜	0.10±0.03	铁苋菜	0.08±0.05
马唐	0.10±0.02	莎草	0.04±0.03				

表 4 乙氧氟草醚浓度处理对杂草种类及其重要值的影响

Y0		Y1		Y2		Y3	
杂草种类	重要值	杂草种类	重要值	杂草种类	重要值	杂草种类	重要值
马齿苋	0.49±0.12	马唐	0.40±0.01	马唐	0.68±0.13	马唐	0.60±0.05
牛筋草	0.16±0.06	稗草	0.30±0.08	稗草	0.20±0.07	虎尾草	0.40±0.05
墨旱莲	0.13±0.07	墨旱莲	0.12±0.04	牛筋草	0.11±0.04		
马唐	0.12±0.05	莎草	0.12±0.03				
牵牛花	0.07±0.03	牛筋草	0.07±0.04				
菟荬菜	0.03±0.01						

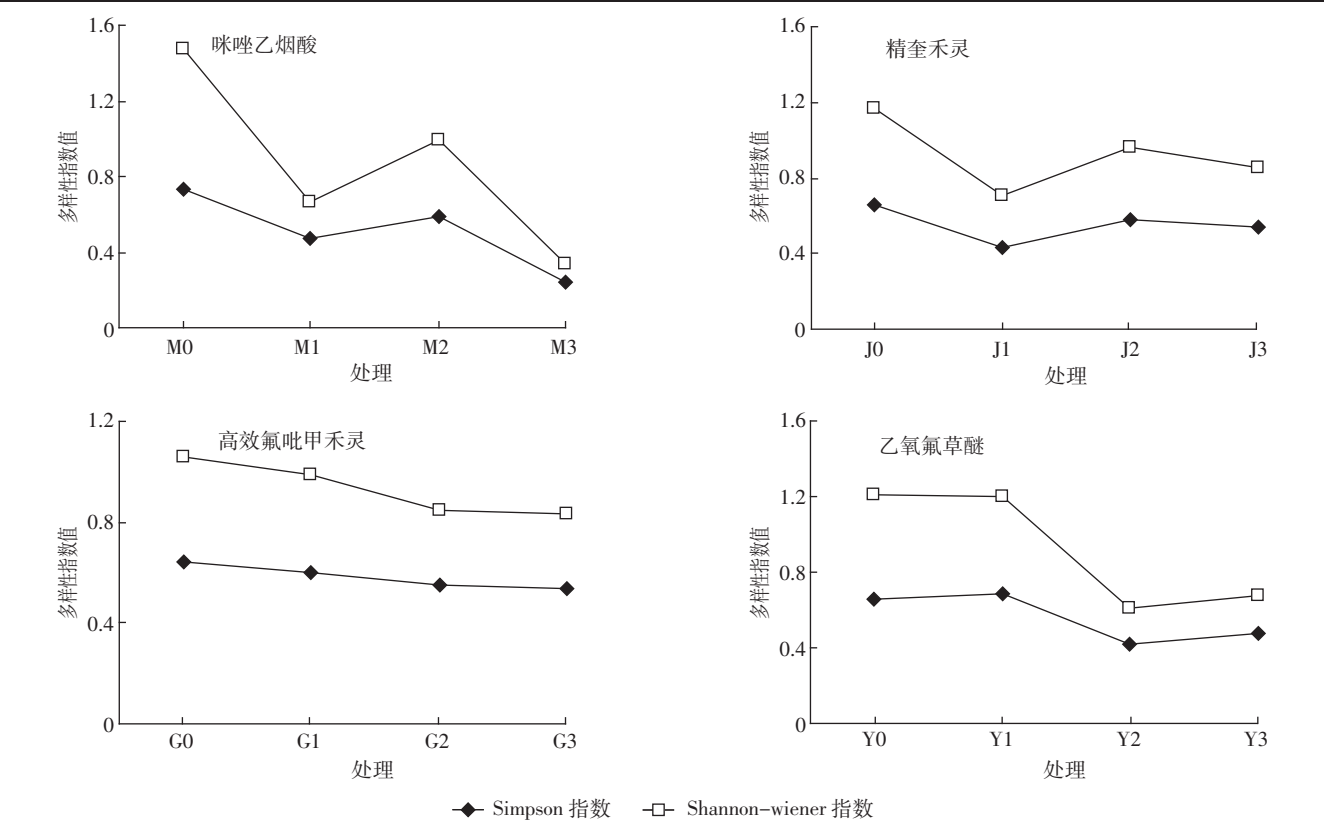


图 2 除草剂及其浓度对杂草物种多样性指数的影响

Figure 2 Effect of herbicides and concentration on weed species diversity

样性的变化。从图 2 可以反映出,除草剂及其浓度对杂草群落多样性指数的变化产生了影响,杂草群落的组成和个体数量发生了变化,总体趋势是随喷施浓度的增大,杂草群落物种多样性指数整体呈下降趋势。咪唑乙烟酸不同浓度处理下,杂草群落多样性指数下降尤为明显,Shannon-Wiener 指数从 M0 时的 1.47 下降到 M3 处理时的 0.34,Simpson 指数从 M0 时的 0.74 下降到 M3 处理时的 0.24,降幅最大,说明咪唑乙烟酸对杂草的抑制率较强。乙氧氟草醚 Y2、Y3 处理下,杂草群落多样性指数也呈现较大程度的下降,效果较为明显。精奎禾灵和高效氟吡甲禾灵处理下,杂草群落多样性指数下降较为平缓。

3 讨论

杂草是影响黄河三角洲地区苜蓿产量和品质的重要因素,由于苜蓿专用除草剂研发过少,筛选合适的除草剂及其适用浓度是解决当前难题的最佳途径。杂草一般大面积发生在第二茬至第四茬苜蓿生长之间,此时光、热、水同期,有利于杂草生长,形成草害^[10]。除草剂选择的标准,在能抑制杂草生长的同时,重要的是不能影响苜蓿的产草量。本试验选用的 4 种除草剂,均属大田农作物常用除草剂。从产量角度分析,喷施精奎禾灵没有达到苜蓿增产效果,喷施咪唑乙烟酸和高效氟吡甲禾灵增产效果最好,能有效抑制

杂草生长。从试验结果来看,咪唑乙烟酸最佳处理浓度为 $2\,000\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ (M1),与 $4\,000\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ (M2)、 $6\,000\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ (M3)处理相比,苜蓿产量并无显著性差异,这可能与喷药时期有关,本试验是在苜蓿刈割后第10 d喷施,此时苜蓿正处于再生苗期,不是施药敏感时期,这与咪唑乙烟酸在谷子和豆类作物中的试验结果相类似,苗期喷药,随着喷施浓度的增加,作物产量无显著性差异^[11-12]。精喹禾灵和高效氟吡甲禾灵均是选择性除草剂,主要用于阔叶类作物中禾本科杂草的防除,在油菜、烟草中应用较多^[13-14],近年来也开始用于苜蓿田中禾本科杂草防除^[15]。本试验发现,就苜蓿产量而言,高效氟吡甲禾灵要优于精喹禾灵,高效氟吡甲禾灵最佳处理浓度为 $700\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ (G2)。喷施乙氧氟草醚,随着浓度的增加,苜蓿干草产量呈现负增长,在防除杂草的同时,也抑制了苜蓿的生长,所以从本试验结果来看,乙氧氟草醚不适合作为苜蓿田除草剂,这与王薇等^[16]的研究结果相一致,乙氧氟草醚对苜蓿出苗和苗后生长危害严重。一些在小麦、大豆上的研究结果也表明^[17-18],除草剂对作物生长来说是一种胁迫,可对其生长、生理产生影响^[19-20],最直观的表现就是生长受到抑制^[21]。

重要值是植物种群在群落中优势程度的衡量指标,试验小区中测定的物种数是除草剂效果的直观体现。喷施除草剂均降低了杂草物种数量,试验处理下重要值高的杂草,可以认定为除草剂在该处理浓度下,对此类杂草防除效果不佳。从试验结果可以看出,喷施咪唑乙烟酸,在 $2\,000\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ (M1)处理下就能有效降低杂草物种数(表1),而 $4\,000\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ (M2)处理和 $6\,000\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ (M3)处理对苣荬菜和黄蒿的防除效果反而不如 $2\,000\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ (M1)处理,这可能与这2种植物耐药性有关,当其他杂草被抑制时,土壤种子库中苣荬菜和黄蒿的种子容易破土而出^[22],但此时苜蓿植株高大,植被覆盖度高,已临近收获期,而苣荬菜和黄蒿均以幼苗居多,竞争力较弱,对苜蓿产量影响甚微。

但咪唑乙烟酸对铁苋菜、马齿苋、苣荬菜等杂草防除效果不好,在实际操作过程中,可以配合其他专项除草剂使用,以便达到最佳除草效果。精喹禾灵可有效防除禾本科杂草(表2),(但对马齿苋、苣荬菜、铁苋菜)等阔叶类杂草不能很好防除。高效氟吡甲禾灵对杂草物种数控制性较差,从表3可以,喷施高效氟吡甲禾灵各浓度处理下的杂草种类并没有发生明显降低趋势,但从现场调查可以得知,杂草种类虽多,

但植株高度、盖度、密度等指标方面要显著降低,对大多数杂草有一定的抑制作用,降低了杂草在水、热、光等生长环境中的竞争力。乙氧氟草醚虽然对杂草控制比较有效,但同时也降低了苜蓿的产量,对苜蓿的生长是有害的。一种药剂仅能防除一种或某几种杂草,不可能防除所有的杂草,且不同药剂对同一种杂草防除效果差别很大^[23],因此,下一步研究应该把几种有针对性的除草剂混合配施,综合评价混合施用效果,使苜蓿田除草达到经济、有效的目的。

施用除草剂可明显减少杂草种类,杂草耐药性强弱不同影响到种群的多度、存在度和相对显著度^[24],进而对杂草群落多样性产生影响。除草剂对杂草群落的研究已有很多,多集中在棉田、稻田等^[25-26],苜蓿地中除草剂对杂草群落的影响报道还较少。一般来说,连续多年使用同一类除草剂,致使农田杂草种群迅速更迭,群落结构发生改变,演替加速,次要杂草或产生抗体的群体上升为优势种群^[27]。同时,长期使用除草剂,还会降低农田植物的多样性^[28]。本试验引进了Simpson和Shannon-Wiener多样性指数来对杂草群落变化进行定量分析,虽然试验时间较短,但从某种程度上也可以看出除草剂对杂草群落影响的一种趋势。从本试验结果看,4种除草剂均能降低群落多样性指数,除草剂对降低杂草群落多样性指数是十分明显的,指数越低,表明杂草群落越单一化,控制效果更为突出,这与谭乾开等^[29]在除草剂保试达(GLA)对香蕉园杂草群落动态研究相类似,随着保试达喷施浓度的增大,杂草群落多样性指数值呈下降趋势,杂草群落重建较慢,可减少杂草种类,抑制杂草生物量增加。吴竞伦等^[30]在稻田杂草的研究也表明,连续多年施用除草剂,杂草群落的均匀度和多样性指数都低于对照,杂草生物量降低,减少对水稻的竞争,促进水稻高产。

4 结论

从苜蓿干草产量方面考虑,喷施咪唑乙烟酸 $2\,000\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和高效氟吡甲禾灵 $700\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增产效果最好;乙氧氟草醚对苜蓿生长有抑制作用,不能作为苜蓿田除草剂使用。从杂草物种数和重要值方面考虑,喷施咪唑乙烟酸 $2\,000\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、精喹禾灵 $450\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ 效果最好;高效氟吡甲禾灵对降低杂草物种数效果有限。从杂草群落多样性指数来看,喷施咪唑乙烟酸、乙氧氟草醚效果最为明显。

综合以上分析,黄河三角洲地区苜蓿地杂草防除

推荐使用除草剂咪唑乙烟酸和高效氟吡甲禾灵。本试验筛选出的苜蓿田除草剂及用量最佳选择为咪唑乙烟酸 2 000 mL·hm⁻²,其次为高效氟吡甲禾灵 700 mL·hm⁻²。

参考文献:

- [1] 李向林, 万里强. 苜蓿青贮技术研究进展[J]. 草业学报, 2005, 14(2): 9-15.
LI Xiang-lin, WAN Li-qiang. Research progress on *Medicago sativa* silage technology[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(2): 9-15. (in Chinese)
- [2] 马其东, 高振生, 洪维曾, 等. 黄河三角洲地区苜蓿生态适应性研究[J]. 草地学报, 1999, 7(1): 28-38.
MA Qi-dong, GAO Zhen-sheng, HONG Fu-zeng, et al. Study on the adaptation of alfalfa in Yellow River delta[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 1999, 7(1): 28-38. (in Chinese)
- [3] 戚志强, 胡跃高, 曾昭海, 等. 十四种化学除草剂对沧州地区苜蓿地杂草防效试验[J]. 草原与草坪, 2005(6): 41-44.
QI Zhi-qiang, HU Yue-gao, ZENG Zhao-hai, et al. Effects of 14 chemical herbicides on weed control of alfalfa in Cangzhou [J]. *Grassland and Turf*, 2005(6): 41-44. (in Chinese)
- [4] 蔡敦江, 周兴民, 朱 廉, 等. 苜蓿生产中除草剂的选择与使用技术研究[J]. 草业科学, 1995, 12(1): 21-22.
CAI Dun-jiang, ZHOU Xing-min, ZHU Lian, et al. Studies on selection and use of herbicide in alfalfa production[J]. *Pratacultural Science*, 1995, 12(1): 21-22. (in Chinese)
- [5] 张泽博. 我国农田杂草治理技术的发展[J]. 植物保护, 2004, 30(2): 28-33.
ZHANG Ze-bo. Advances in cropland weed management in China[J]. *Plant Protection*, 2004, 30(2): 28-33. (in Chinese)
- [6] 尹会会, 杨中旭, 李秋芝, 等. 化学除草剂研发与应用中存在的问题及解决对策[J]. 山东农业科学, 2013, 45(4): 126-129.
YIN Hui-hui, YANG Zhong-xu, LI Qiu-zhi, et al. Problems present in research, development and application of chemical herbicides and its countermeasures[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2013, 45(4): 126-129. (in Chinese)
- [7] 刘 欢, 幕 平, 赵桂琴, 等. 2 种除草剂对燕麦产量、杂草防除及后茬作物安全性的影响[J]. 草地学报, 2015, 23(1): 187-193.
LIU Huan, MU Ping, ZHAO Gui-qin, et al. Effects of two tested herbicides on the oat, weed control and safety of succeeding crops[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2015, 23(1): 187-193. (in Chinese)
- [8] 董 鸣. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 10-11.
DONG Ming. Survey, observation and analysis of terrestrial biocommunities[M]. Beijing: China Standards Press, 1996: 10-11. (in Chinese)
- [9] 孙 涛, 毕玉芬, 赵小社, 等. 围栏封育下山地灌草丛草地植被植物多样性与生物量的研究[J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(2): 246-250.
SUN Tao, BI Yu-fen, ZHAO Xiao-she, et al. Diversity and biomass of shrub-grasser vegetation of mountain grassland under enclosure [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2007, 22(2): 246-250. (in Chinese)
- [10] 吕世海. 北京地区大田苜蓿地杂草及其防治技术[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2001, 22(2): 33-36.
LÜ Shi-hai. Weeds and weed control technology for alfalfa field in Beijing area[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2001, 22(2): 33-36. (in Chinese)
- [11] 张 婷, 师志刚, 王根平, 等. 咪唑乙烟酸对冀谷 33 生长发育的影响及对后茬作物的安全性[J]. 中国农业科学, 2015, 48(24): 4916-4923.
ZHANG Ting, SHI Zhi-gang, WANG Gen-ping, et al. Effect of imazethapyr on millet Jigu 33 growth and its safety on succeeding crops [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(24): 4916-4923. (in Chinese)
- [12] Soltani N, Nurse R, Sikkema P. Effect of imazethapyr application timing in kidney and white bean[J]. *Agricultural Sciences*, 2013, 4(12): 678-682.
- [13] 杨弘宏, 董立尧, 李 俊, 等. 油菜田日本看麦娘对高效氟吡甲禾灵抗药性的研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(12): 2759-2765.
YANG Cai-hong, DONG Li-yao, LI Jun, et al. Study on resistance of *Alopecurus japonicus* Steud. populations to haloxyfop-r-methyl in oilseed rape fields[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(12): 2759-2765. (in Chinese)
- [14] 乔利东, 赵小翠, 田海丰. 精喹禾灵乳油防除大豆田杂草的田间试验[J]. 杂草科学, 2014, 32(3): 62-64.
QIAO Li-dong, ZHAO Xiao-cui, TIAN Hai-feng. Field experiments on quizalofop-p-ethyl 20% EC for weed control in soybeans[J]. *Weed Science*, 2014, 32(3): 62-64. (in Chinese)
- [15] 林建海, 许瑞轩, 项 敏, 等. 春播紫花苜蓿苗期杂草的化学防治研究[J]. 草地学报, 2013, 21(4): 714-719.
LIN Jian-hai, XU Rui-xuan, XIANG Min, et al. Chemical control of weeds in spring-seeded alfalfa (*Medicago sativa* L.) seedling stage[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2013, 21(4): 714-719. (in Chinese)
- [16] 王 薇, 陈为峰, 孙晓平, 等. 不同除草剂对紫花苜蓿生长和杂草防除的影响[J]. 农药, 2007, 46(9): 638-640.
WANG Wei, CHEN Wei-feng, SUN Xiao-ping, et al. Effects of herbicides to alfalfa growth and weeds control[J]. *Agrochemicals*, 2007, 46(9): 638-640. (in Chinese)
- [17] 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.
WANG Zheng-gui, YU Qian-qian, ZHOU Li-yun, et al. Effects of herbicides on grain yield and physiological characteristics of wheat[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2011, 25(4): 791-795. (in Chinese)
- [18] 王克勤. 除草剂对高油大豆产量及品质的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 311-313.
WANG Ke-qin. Effects of yield and quality of high oil content soybean in different herbicide[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(11): 311-313. (in Chinese)
- [19] Wu J C, Xu J X, Liu J L, et al. Effects of herbicides on rice resistance and on multiplication and feeding of brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Stål) [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2007, 22(2): 246-250. (in Chinese)

- parvatalugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae) [J]. *International Journal of Pest Management*, 2001, 47(2): 153–159.
- [20] 吴进才, 刘井兰, 沈迎春, 等. 农药对不同水稻品种 SOD 活性的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(4): 451–456.
- WU Jin-cai, LIU Jing-lan, SHEN Ying-chun, et al. Effect of several pesticides on SOD activity in different rice varieties [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(4): 451–456. (in Chinese)
- [21] 吴进才, 王爱华, 许俊峰, 等. 两种选择性农药的使用对刺激三化螟产卵及水稻生化影响的研究 [J]. 中国农业科学, 2003, 36(10): 1163–1170.
- WU Jin-cai, WANG Ai-hua, XU Jun-feng, et al. Studies on stimulating effect of two selective insecticides on the number of egg laid by rice yellow borer, *Tryporyza incertulas* (Walker) and their effects on biochemistry of rice plants [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(10): 1163–1170. (in Chinese)
- [22] 卢娟, 肖黎丽. 农田杂草种子库与除草策略[J]. 辽宁农业科学, 2006(2): 57–59.
- LU Juan, XIAO Li-li. Farmland weed seedbank and control strategies [J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2006(2): 57–59. (in Chinese)
- [23] 高兴祥, 李美, 房锋, 等. 防除多花黑麦草等 4 种禾本科杂草的药剂活性测定[J]. 草业学报, 2014, 23(6): 349–354.
- GAO Xing-xiang, LI Mei, FANG Feng, et al. Biological activities of eight herbicides against four grass weeds of wheat fields [J]. *Acta Prata-culturae Sinica*, 2014, 23(6): 349–354. (in Chinese)
- [24] 刘方明, 梁文举, 闻大中. 耕作方法和除草剂对玉米田杂草群落的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1879–1882.
- LIU Fang-ming, LIANG Wen-ju, WEN Da-zhong. Effects of tillage method and herbicide on corn field weed community [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(10): 1879–1882. (in Chinese)
- [25] 吴建荣, 吉荣龙, 崔必波, 等. 除草剂对棉田杂草群落结构的影响[J]. 江苏农业学报, 2001, 17(1): 28–33.
- WU Jian-rong, JI Rong-long, CUI Bi-bo, et al. Effects of herbicides on weed community structures in cotton fields [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2001, 17(1): 28–33. (in Chinese)
- [26] 余柳青, 陆永良, 渡边泰, 等. 稻田环境植物多样性研究[J]. 中国水稻科学, 1998, 12(3): 149–154.
- YU Liu-qing, LU Yong-liang, DU Bian-tai, et al. Plant diversity research in rice field habitat [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 1998, 12(3): 149–154. (in Chinese)
- [27] Chancellor R J. A review of long-term effects of herbicides; The long-term effects of herbicides on weed populations [J]. *Annals of Applied Biology*, 1979, 91(1): 141–144.
- [28] 黄顶成, 尤民生, 侯有明, 等. 化学除草剂对农田生物群落的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1451–1458.
- HUANG Ding-cheng, YOU Min-sheng, HOU You-ming, et al. Effects of chemical herbicides on bio-communities in agroecosystems [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1451–1458. (in Chinese)
- [29] 谭乾开, 黎华寿, 廖昌庆, 等. 保试达 (GLA) 防除香蕉园杂草的药效及其对杂草群落的动态影响[J]. 热带作物学报, 2009, 30(6): 838–845.
- TAN Qian-kai, LI Hua-shou, LIAO Chang-qing, et al. Weed control effect and dynamic effect of a new herbicide glufosinate ammonium on weed community in banana plantations [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2009, 30(6): 838–845. (in Chinese)
- [30] 吴竞伦, 李永丰, 王一专, 等. 不同除草剂对稻田杂草群落演替的影响[J]. 植物保护学报, 2006, 33(2): 202–206.
- WU Jing-lun, LI Yong-feng, WANG Yi-zhuan, et al. Effects of different herbicides on shift of weed community in paddy fields [J]. *Acta Phytolacica Sinica*, 2006, 33(2): 202–206. (in Chinese)