

# 苜蓿施磷对牛角花齿蓟马产卵选择、 生长发育的影响

彭 然, 曾文芳, 李亚姝, 崔晓宁, 胡桂馨

(甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业  
可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**为探索苜蓿施磷后对牛角花齿蓟马(*Odontothrips loti*)产卵选择、生长发育及苜蓿抗蓟马的影响,以苜蓿品种甘农3号和甘农9号为试验材料,观察了牛角花齿蓟马成虫在不同施磷水平下苜蓿叶片上的产卵量及其若虫的生长发育状况,并测定了不同施磷水平下苜蓿叶片的可溶性糖,氮和磷含量。结果表明:在同一苜蓿品种叶片上,随着施磷水平的增加,牛角花齿蓟马的产卵量显著增加;施磷后,牛角花齿蓟马1~2龄若虫成活率显著升高,但发育历期无显著变化,3~4龄若虫成活率和发育历期均无显著变化;随施磷量的增加,苜蓿可溶性糖含量,磷含量及糖氮比显著增加,三者与蓟马在苜蓿叶片上的产卵量之间呈不显著相关关系,甘农9号的磷含量与蓟马1~2龄若虫成活率之间具有显著的正相关关系。施磷后两个苜蓿品种对牛角花齿蓟马无显著的抗生性和排趋性。

**关键词:**磷元素;苜蓿;牛角花齿蓟马;生长发育;产卵选择

**中图分类号:**S433;S541 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)05-0037-07

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyycp.2019.05.005

土壤施肥不仅会影响植物的生长发育,还会通过植物营养成分的变化影响植食性昆虫的发育历期、存活率、寿命、生殖力以及植食性昆虫-寄主植物的关系<sup>[1-2]</sup>。磷是植物生长发育必需的营养元素,其不仅是构成植物有机化合物的重要成分,还参与植物体的代谢,包括糖代谢、碳水化合物的运输以及作物的光合调节、信息传导等,对作物的生长发育、抗逆性、产量品质都具有重要影响<sup>[3-4]</sup>。研究表明,施磷能够影响烟粉虱(*Bemisia tabaci*)的寿命、繁殖能力<sup>[1]</sup>和玉米螟(*Pyrausta nubilalis*)的存活率<sup>[5]</sup>,降低大豆蚜(*Aphis glycyines*)<sup>[6]</sup>和二斑叶螨(*Tetranychus urticae*)<sup>[7]</sup>对寄

主的选择性。但也有报道指出,高水平的磷肥会使黑豆蚜(*Aphis craccivora*)<sup>[8]</sup>和红带椿象(*Piezodorus guildinii*)<sup>[9]</sup>种群密度增加。

牛角花齿蓟马(*Odontothrips loti*)因其个体微小,繁殖迅速,取食隐蔽性强等特点,严重影响苜蓿(*Medicago sativa*)的产量和质量<sup>[10-11]</sup>。王小珊等<sup>[12]</sup>研究表明,苜蓿在受到牛角花齿蓟马为害后,叶片中的粗蛋白,粗脂肪和可消化蛋白含量均显著降低。目前,土壤施磷对牛角花齿蓟马的影响报道很少,张晓燕<sup>[13]</sup>和寇江涛等<sup>[14]</sup>的研究表明,抗蓟马苜蓿品种的补偿生长能力及生长指标高于感蓟马品种,且施磷能够提高苜蓿对蓟马的耐害性<sup>[15]</sup>,但施磷能否增强苜蓿对蓟马的抗生性和排趋性,尤其是对已广泛推广种植的感虫苜蓿而言,通过施肥管理提高其抗虫性,达到或接近抗虫苜蓿的效果,具有重要意义。因此,以西北地区广泛推广种植但对蓟马抗性较低的苜蓿品种甘农3号和抗蓟马苜蓿品种甘农9号(2017年国家牧草审定品种)为试验材料,以不同施磷水平下的苜蓿叶片饲喂牛角花齿蓟马,观察牛角花齿蓟马成虫的取食选择性以及若虫的生长发育状况,并测定苜蓿的糖、氮和磷含量,

**收稿日期:**2019-03-11; **修回日期:**2019-03-26

**基金项目:**甘肃农业大学科技创新基金(学科建设基金)(GAU-XKJS-2018-012);国家自然科学基金(31260579)资助

**作者简介:**彭然(1993-),男,河北唐山人,硕士研究生。

E-mail:502741543@qq.com

胡桂馨为通讯作者。

E-mail:huguixin@gsau.edu.cn

明确施磷是否可以提高苜蓿对牛角花齿蓟马的抗生性和排趋性,探索土壤施磷对蓟马-苜蓿的影响和苜蓿对蓟马的抗性机理,进而为苜蓿施肥后害虫田间可持续管理提供可利用的参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试紫花苜蓿品种为甘农 3 号(*Medicago sativa* cv. Gannong no. 3,文中用 G3 表示),甘农 9 号(*Medicago sativa* cv. Gannong no. 9,文中用 G9 表示)。

供试虫源为牛角花齿蓟马(*Odontothrips loti*)。

### 1.2 试验设计

试验为室内盆栽设计,取大田土,自然风干,测得其速效磷含量为 4.2 mg/kg,试验设施磷量( $P_2O_5$ )为 0.27,0.54,0.81,1.08 g/(10 kg 土)4 个处理水平,分别记做 P1,P2,P3,P4,以不施磷作为 P0 水平,施磷时每个处理根据原来土壤的速效磷含量补足试验设计的磷含量,每个处理同时施入同一水平的氮、钾肥,N 为 0.44 g/(10 kg 土),K( $K_2O$ )为 0.5 g/(10 kg 土),共 5 个处理,2 个品种,设 10 次重复。试验采用 17 cm×12 cm 塑料杯,底部扎孔后装土,置于搪瓷盘中,每盘为 1 个处理,每一个品种 10 次重复,于 6 叶期选取长势一致的植株,每杯保留 5 株,摘取新展开复叶供牛角花齿蓟马采食、产卵。

### 1.3 试验方法

牛角花齿蓟马的接虫及饲养采用文献[16]的方法进行。

1.3.1 牛角花齿蓟马成虫产卵选择及若虫孵化率 六叶期采集各品种各处理新展开复叶,2 个品种复叶以叶柄向外的辐射状置于直径 10 cm、高 5.5 cm 无色透明塑料罐底部,每品种每处理 1 复叶,按施磷水平由小到大的顺序依次排列,G3 和 G9 复叶交替放置,每罐 10 片复叶。用湿润棉球压住叶柄以保持叶片存活。接入牛角花齿蓟马雌成虫,3 头/复叶,用扎孔单层保鲜袋封培养皿,置于(24.5±1)℃,光周期 L:D=16 h:8 h 的 RH-250-G 型光照培养箱中。1 d 后移去成虫,并统计牛角花齿蓟马在每片小叶上的产卵量。2 d 后,统计孵化若虫数和若虫孵化的起止日期。每品种每处理设 10 片复叶重复。

1.3.2 牛角花齿蓟马若虫发育历期和成活率 在直径 10 cm、高 5.5 cm 无色透明塑料罐底铺一层稍小于

罐截面、厚度 1 mm 的脱脂棉,上置一层相同面积的滤纸,将同一品种同一处理新展开复叶放入罐中,每罐 10 片复叶,叶柄向外辐射状放置,用湿润棉球压住叶柄以保持叶片存活。接入相应处理和相应品种叶片上新孵化的牛角花齿蓟马若虫,15 头/复叶,用扎孔单层保鲜袋封罐口,然后置于(24.5±1)℃,光周期 L:D=16 h:8 h 的 RH-250-G 型光照培养箱中饲养,及时更换相应处理品种的新鲜叶片。观察、统计牛角花齿蓟马 1~2 龄若虫、3~4 龄若虫的发育起止日期及存活状况,计算每个发育时期的存活率和发育历期。每罐为 1 个重复,每品种每处理 10 个重复。

1.3.3 苜蓿可溶性糖含量的测定 摘取不同磷处理下不同苜蓿品种叶片,包于锡箔纸袋中,并立即放入液氮中速冻,全部取样完毕后保存于一 80℃冰箱中待测,可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法[17]。

1.3.4 苜蓿氮、磷含量的测定 摘取不同磷处理下不同苜蓿品种叶片,先放置在 105℃烘箱中杀青 15 min,后降温到 65℃烘干,待样品降至室温后研磨成粉状常温保存,用于氮、磷含量的测定,氮含量的测定采用凯氏定氮法[18],磷含量的测定采用钼蓝比色法[18]。

### 1.4 数据处理

采用 SPSS 20.0 软件对所测数据进行统计分析及相关性分析,相关性分析采用 Pearson 相关系数进行检验,当  $r=0$  时表示不存在线性相关关系;当  $0 \leq |r| \leq 0.3$  时,为微弱相关;当  $0.3 < |r| \leq 0.5$  时,为低度相关;当  $0.5 < |r| \leq 0.8$  时,为显著相关;当  $0.8 < |r| < 1$  时,为高度相关;当  $|r|=1$  时为完全相关[19]。用平均值±标准误表示测定结果。采用 Excel 2016 进行图表的绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 牛角花齿蓟马在不同施肥水平苜蓿叶片上的产卵选择

除 P0 水平下牛角花齿蓟马在 G3 产卵量显著低于 P4 水平( $P < 0.05$ ),牛角花齿蓟马在 2 个品种上的产卵量均随着磷水平的升高呈不显著升高趋势( $P > 0.05$ ),与 P0 水平相比,施磷后 G3 上的产卵量在 P1~P4 水平下分别增加 38.5%,80.6%,83.7%和 112.9%;G9 上的产卵量在 P1~P4 水平下分别增加 17.9%,28.6%,50%和 110.7%(图 1)。

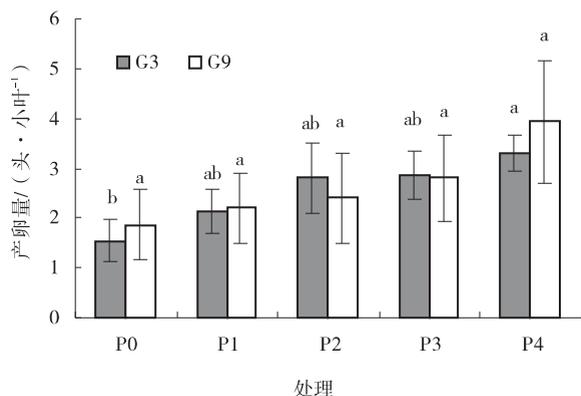


图 1 牛角花齿蓟马成虫在不同磷水平下  
苜蓿小叶上的产卵量

Fig. 1 The oviposition number of *O. loti* adult on alfalfa leaflets under different phosphorus levels

注:不同小写字母表示每品种间不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )

### 2.2 施磷苜蓿对牛角花齿蓟马各虫期生长发育的影响

相对于 P0 水平,施磷各处理 G3 叶片上卵的孵化率均呈下降趋势,仅在 P2 水平下有显著差异( $P < 0.05$ );卵的发育历期在不同磷水平间无显著差异,P2 水平下卵的发育历期最短,与卵期最长的 P3 和 P4 水平相差 0.29 d。施磷后甘农 9 号上的卵孵化率和卵的发育历期仅在 P1 水平下显著低于 P0 水平( $P < 0.05$ ),其他磷水平下均无显著差异( $P < 0.05$ )(表 1)。

随着磷水平的升高,2 个品种 1~2 龄若虫的存活率均呈现出显著升高的趋势( $P < 0.05$ ),G3 上 1~2 龄若虫的发育历期随磷水平的升高没有显著变化趋势;在 P1 和 P3 水平下 G9 上 1~2 龄若虫的发育历期显著长于 P0 水平,其他磷水平与 P0 水平间无显著差异( $P > 0.05$ )。

施磷各处理 2 个品种上 3~4 龄若虫的成活率与 P0 水平间均无显著差异;G3 施磷后 3~4 龄若虫的成活率均低于 P0 水平;除 P2 水平外,G9 施磷后 3~4 龄若虫的成活率均高于 P0 水平。施磷后 G3 和 G9 的 3~4 龄若虫的发育历期与 P0 水平间无显著相关性,P3 水平下 G9 上 3~4 龄若虫的发育历期显著短于 P1 水平( $P < 0.05$ )。

### 2.3 施磷苜蓿叶片中可溶性糖,氮以及糖氮比的变化

与 P0 水平相比,施磷后 G3 和 G9 叶片中的可溶性糖含量均显著升高( $P < 0.05$ ),且均随磷水平的增加呈现先升高后降低的趋势,在 P3 水平下达到最大值;施磷后,G3 和 G9 叶片中的氮含量均低于 P0 水平,G3 在 P1 和 P2 水平下差异显著( $P < 0.05$ );2 个品种叶片的糖氮比均随磷水平的上升呈现先升高后降低的趋势,G3 在 P2 水平下达到最大比值,G9 在 P3 水平下达到最大比值,施磷后苜蓿的糖氮比均比 P0 水平升高;所有处理水平下 G9 的糖氮比均高于 G3 (表 2)。

表 1 不同磷水平下牛角花齿蓟马各虫期的成活率和发育历期

Table 1 Survival rate and developmental period of *O. loti* under different phosphorus levels

品种	处理	孵化率/%	卵发育 历期/d	1~2 龄若虫 成活率/%	1~2 龄若虫 发育历期/d	3~4 龄若虫 成活率/%	3~4 龄若虫 发育历期/d	总发育 历期/d
G3	P0	90.79±0.39 <sup>a</sup>	4.95±0.81 <sup>a</sup>	41.37±1.05 <sup>d</sup>	6.38±0.86 <sup>a</sup>	88.85±3.15 <sup>a</sup>	5.45±0.99 <sup>a</sup>	16.78±0.91 <sup>a</sup>
	P1	90.28±1.58 <sup>ab</sup>	4.92±0.93 <sup>a</sup>	43.37±2.20 <sup>d</sup>	6.82±1.09 <sup>a</sup>	85.52±4.96 <sup>a</sup>	4.93±0.90 <sup>a</sup>	16.67±0.96 <sup>a</sup>
	P2	86.49±0.40 <sup>b</sup>	4.69±0.76 <sup>a</sup>	48.77±0.29 <sup>c</sup>	6.49±1.43 <sup>a</sup>	87.98±0.48 <sup>a</sup>	4.72±0.54 <sup>a</sup>	15.90±0.82 <sup>b</sup>
	P3	89.76±0.87 <sup>ab</sup>	4.98±0.83 <sup>a</sup>	57.72±0.90 <sup>b</sup>	6.28±1.54 <sup>a</sup>	87.64±2.36 <sup>a</sup>	5.40±0.99 <sup>a</sup>	16.66±1.09 <sup>a</sup>
	P4	89.64±1.40 <sup>ab</sup>	4.98±0.71 <sup>a</sup>	68.87±0.02 <sup>a</sup>	6.79±1.43 <sup>a</sup>	86.41±0.69 <sup>a</sup>	4.80±0.67 <sup>a</sup>	16.30±0.87 <sup>ab</sup>
G9	P0	92.23±0.45 <sup>ab</sup>	5.20±0.73 <sup>a</sup>	48.40±2.35 <sup>d</sup>	6.45±0.96 <sup>bc</sup>	85.46±3.11 <sup>a</sup>	4.97±1.06 <sup>ab</sup>	16.63±0.95 <sup>a</sup>
	P1	85.31±0.53 <sup>b</sup>	4.71±0.74 <sup>b</sup>	54.76±0.91 <sup>c</sup>	7.11±0.16 <sup>ab</sup>	89.82±0.93 <sup>a</sup>	5.56±0.67 <sup>a</sup>	17.37±0.96 <sup>a</sup>
	P2	94.14±0.20 <sup>a</sup>	5.40±0.78 <sup>a</sup>	56.45±0.55 <sup>c</sup>	6.39±0.92 <sup>bc</sup>	85.21±2.52 <sup>a</sup>	4.92±0.80 <sup>ab</sup>	16.72±0.82 <sup>a</sup>
	P3	91.35±1.24 <sup>ab</sup>	5.24±0.79 <sup>a</sup>	64.19±0.19 <sup>b</sup>	7.80±1.48 <sup>a</sup>	90.52±1.16 <sup>a</sup>	4.26±0.74 <sup>b</sup>	17.30±0.94 <sup>a</sup>
	P4	90.86±4.59 <sup>ab</sup>	5.07±0.81 <sup>ab</sup>	76.73±0.54 <sup>a</sup>	5.90±1.59 <sup>c</sup>	92.38±1.75 <sup>a</sup>	5.53±1.56 <sup>a</sup>	16.50±1.38 <sup>a</sup>

注:数据为平均值±标准差,同列不同小写字母表示不同处理间的差异显著( $P < 0.05$ )

表 2 不同磷水平下苜蓿叶片中可溶性糖、氮含量及糖氮比

Table 2 The soluble sugar content, nitrogen content and sugar to nitrogen ratio of alfalfa leaves under different phosphorus application levels

处理	可溶性糖含量/%		氮含量/%		糖氮比	
	G3	G9	G3	G9	G3	G9
P0	2.85±0.06 <sup>d</sup>	3.81±0.13 <sup>b</sup>	5.69±0.17 <sup>a</sup>	5.40±0.07 <sup>a</sup>	0.50±0.02 <sup>c</sup>	0.71±0.02 <sup>c</sup>
P1	3.22±0.04 <sup>c</sup>	4.05±0.09 <sup>b</sup>	4.95±0.20 <sup>c</sup>	5.06±0.03 <sup>a</sup>	0.66±0.04 <sup>b</sup>	0.80±0.02 <sup>b</sup>
P2	4.07±0.15 <sup>a</sup>	4.16±0.06 <sup>b</sup>	5.10±0.15 <sup>bc</sup>	5.09±0.19 <sup>a</sup>	0.80±0.04 <sup>a</sup>	0.82±0.08 <sup>b</sup>
P3	4.09±0.10 <sup>a</sup>	4.74±0.18 <sup>a</sup>	5.54±0.07 <sup>ab</sup>	5.35±0.02 <sup>a</sup>	0.74±0.03 <sup>ab</sup>	0.89±0.04 <sup>a</sup>
P4	3.61±0.04 <sup>b</sup>	4.04±0.17 <sup>b</sup>	5.44±0.07 <sup>ab</sup>	5.36±0.09 <sup>a</sup>	0.66±0.01 <sup>b</sup>	0.76±0.04 <sup>c</sup>

注:数据为平均值±标准误,同列不同小写字母表示不同处理间的差异显著( $P<0.05$ ),下同

## 2.4 施磷后苜蓿叶片磷的含量

施磷后 2 个苜蓿品种叶片中的磷含量均显著高于 P0 水平( $P<0.05$ )。G3 和 G9 心叶中的磷含量随土壤施磷量增加的变化趋势基本相同,均表现出“低-高-低”的变化规律。G3 在 P2 水平,G9 在 P3 水平磷含量最高。不施磷的情况下,G3 叶片中的磷含量高于 G9;而在磷元素富足的情况下,G9 叶片对磷的吸收能力则更强(表 3)。

## 2.5 苜蓿叶片的营养物质与蓟马产卵发育之间的相关性分析

蓟马的产卵量与苜蓿可溶性糖含量之间为低度相关关系( $0.3<|r|<0.5$ ),与苜蓿其他营养物质之间为弱相关关系( $|r|<0.3$ ),均无显著相关性;1~2 龄若虫成活率与可溶性糖含量之间为低度相关关系,与氮含量和糖氮比以及 G3 的磷含量之间为弱相关关系,

与 G9 的磷含量之间为极显著的正相关关系( $0.5<|r|<0.8, P<0.01$ );3~4 龄若虫成活率与 G3 可溶性糖、糖氮比之间为负向弱相关关系,与 G3 的氮含量及 G9 的可溶性糖、磷含量之间为低度相关关系,与其他指标之间为弱相关关系,均无显著相关性(表 4)。

表 3 不同施磷水平下苜蓿叶片的磷含量

Table 3 The phosphorus content of alfalfa leaves under different phosphorus application levels mg/g

处理水平	苜蓿品种	
	G3	G9
P0	3.30±0.11 <sup>d</sup>	2.97±0.02 <sup>c</sup>
P1	3.71±0.02 <sup>c</sup>	3.16±0.03 <sup>bc</sup>
P2	4.12±0.01 <sup>a</sup>	3.62±0.08 <sup>b</sup>
P3	4.01±0.06 <sup>b</sup>	4.31±0.05 <sup>a</sup>
P4	3.69±0.08 <sup>c</sup>	4.12±0.06 <sup>a</sup>

表 4 苜蓿叶片营养物质与蓟马产卵、若虫成活率的 Pearson 相关系数

Table 4 The Pearson correlation coefficient of alfalfa leaves with thrips oviposition and nymph survival rate

品种	项目	可溶性糖含量	氮含量	糖氮比	磷含量
G3	产卵量	0.432	0.215	0.227	0.235
	1~2 龄若虫成活率/%	0.419	0.182	0.244	0.292
	3~4 龄若虫成活率/%	-0.004	0.447	-0.034	0.067
G9	产卵量	0.468	0.220	0.234	0.243
	1~2 龄若虫成活率/%	0.334	0.294	0.167	0.758**
	3~4 龄若虫成活率/%	0.365	0.215	0.270	0.383

注:显著性检验为双尾检验,\*表示具有显著相关性( $P<0.05$ ),\*\*表示具有极显著相关( $P<0.01$ )

## 3 讨论

### 3.1 施磷对苜蓿排趋性的影响

排趋性是昆虫对不具备寄主特性的植物或作物品种的反应,即昆虫在寻找食物,产卵场所或隐蔽时呈负

的反应或完全忌避<sup>[20]</sup>。寄主植物对植食性昆虫的排趋性表现为昆虫取食、产卵等行为对寄主植物的种类存在一定的选择性,它包括取食选择性和产卵选择性,这两种选择性之间有密切联系<sup>[21]</sup>。在苜蓿营养生长期,牛角花齿蓟马主要在苜蓿的心叶中取食,并在苜蓿

叶片的叶缘叶肉内产卵<sup>[22]</sup>,若虫孵化后即首蓿叶背或心叶内取食为害,行动能力较弱,很少移动或迁移到其他植株上进行取食,因此,牛角花齿蓟马成虫对寄主产卵选择程度决定了若虫对首蓿的为害程度。试验中,随着施磷水平的升高蓟马的产卵量逐渐增加但不显著,首蓿叶片的磷含量随施磷量的增加而先增后降,相关性分析结果表明蓟马产卵量与首蓿叶片含磷量没有显著相关性,说明施磷不影响牛角花齿蓟马对首蓿的选择性,或施磷后的首蓿对牛角花齿蓟马无显著的排趋性。

### 3.2 施磷对首蓿抗生性的影响

抗生性是指当昆虫取食了对它有抗性的植物时,会引发幼虫死亡率增加,生长发育受阻,发育畸形和生殖力降低等不同程度的不良生理反应<sup>[23]</sup>。如垂柳叶片被甲虫啃食时,其叶片能够对甲虫的口器造成腐蚀,从而减少害虫的啃食和落卵量<sup>[24]</sup>。土壤施肥在对植物内的营养物质、品质产生影响的同时,还能通过植物内矿质元素的再分配对植食性昆虫产生抗生性,抑制昆虫的生长发育和繁殖<sup>[23,25]</sup>,如蒋明星等<sup>[26]</sup>报道施用有机肥不利于白背飞虱(*Sogatella furcifera*)种群的增长,但 Bentz<sup>[27]</sup>和 Minkenberg<sup>[28]</sup>的试验也表明,当植物无法产生对植食性昆虫具有抗生性的物质或抗生性较弱时,施用化肥不仅会提高作物产量和品质,也为植食性昆虫提供了良好的营养条件。试验中蓟马若虫在1~2龄阶段的成活率随着施磷水平的增加呈显著升高的趋势,且与G9叶片中的磷含量呈极显著正相关关系,施磷水平的增加对蓟马若虫3~4龄阶段的成活率没有显著地抑制作用,对蓟马若虫各时期的发育时间也没有显著的延长作用,说明施磷有利于蓟马若虫的生长发育,这与卢伟等<sup>[1]</sup>对烟粉虱的研究结果一致。

糖氮比是植物抗虫性中的重要指标,碳水化合物含量的增加和氮含量的降低将会导致高的糖氮比,也就意味着植物组织中低的蛋白含量给植食性昆虫提供低的营养,进而可以提高抗虫性<sup>[29]</sup>。随着施磷水平的升高,可溶性糖含量显著升高,而氮含量降低,糖氮比升高,但三者与牛角花齿蓟马的产卵选择、1,2龄和3,4龄若虫的成活率及发育历期没有显著相关性,说明施磷后首蓿对牛角花齿蓟马无显著的抗生性。

试验结果表明首蓿施磷对蓟马无明显排趋性和抗生性,而张晓燕等<sup>[15]</sup>的大田研究表明施磷可显著提高

首蓿对蓟马的抗性,说明施磷对首蓿抗蓟马的影响主要是增强了首蓿对蓟马的耐害性。

在试验过程中,由于蓟马体型微小,1,2龄若虫、3,4龄若虫分界不明显,故将1~2龄若虫、3~4龄若虫作为整体进行观察。试验仅跟踪了牛角花齿蓟马一个世代的发育历期和成活率,在采食了含磷较高的首蓿叶片后是否会对其成虫和下一代的生长发育产生影响需要进一步探讨。

## 4 结论

(1)施磷后首蓿叶片的磷含量、糖含量增加,氮含量降低,糖氮比升高;

(2)牛角花齿蓟马在施磷首蓿叶片上的产卵量增加但不显著,蓟马对施磷首蓿无显著产卵选择性,即施磷首蓿对蓟马无显著排趋性。

(3)首蓿施磷对牛角花齿蓟马1~2龄若虫生长发育有利,但对3~4龄若虫的生长发育无显著影响,即首蓿对蓟马无显著抗生性。

### 参考文献:

- [1] 卢伟,侯茂林,文吉辉,等. 土壤施肥对烟粉虱生长发育、寄主选择及繁殖的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(4): 914-920.
- [2] 庞淑婷,董元华. 土壤施肥与植食性害虫发生为害的关系[J]. 土壤, 2012, 44(5): 719-726.
- [3] John Ryan, Abdul Rashid. Phosphorus[J]. Encyclopedia of Soil Science, 2002(1), 1-4.
- [4] Jeschke W D, Kirkby E A, Peuke A D, et al. Effects of P deficiency on assimilation and transport of nitrate and phosphate in intact plants of castor bean (*Ricinus communis* L.)[J]. Journal of Experimental Botany, J exp hot, 1997, 48: 75-91.
- [5] Forkner R E, Hunter M D. What goes up must come down Nutrient addition and predation pressure on oak herbivores[J]. Ecology, 2000, 81(6): 1588-1600.
- [6] Anwar M, Shafique M, Rao M T. Integration of sowing time and fertilizer application for management of aphids and increased yield in Brassica[J]. Pakistan Journal of Zoology, 1998, 30: 307-309.
- [7] Facknath S, Lalljee B. Effect of soil-applied complex fertiliser on an insect-host plant relationship; *Liriomyza trifolii* on *Solanum tuberosum*[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2010, 115(1): 67-77.
- [8] Slamn F A A. Effect of some agricultural practices on the

- population density of Cowpea Aphid, *Aphis craccivora* Koch infesting broad bean plants in Upper Egypt[J]. *Asiatic Journal of Agricultural Sciences*, 2002, 33: 10-20.
- [9] Cardoso A M, Cividanes F J, Natale E W. Influence of phosphate-potassic fertilization on the occurrence of soybean insect pests[J]. *Neotropical Entomology*, 2002, 31: 441-444.
- [10] 张蓉, 马建华, 王进华, 等. 宁夏苜蓿病虫害发生现状及防治对策[J]. *草业科学*, 2003, 20(6): 40-44.
- [11] 严林, 梅洁人. 青海省紫花苜蓿病虫种类及害虫天敌的调查[J]. *植物保护*, 1996, 22(5): 24-25.
- [12] 王小珊, 杨成霖, 王森山, 等. 蓟马持续为害对苜蓿品质的影响[J]. *草原与草坪*, 2014, 34(4): 31-35.
- [13] 张晓燕, 彭然, 胡桂馨. 牛角花齿蓟马若虫持续为害对苜蓿生长的影响[J]. *草原与草坪*, 2017, 37(4): 8-13.
- [14] 寇江涛, 胡桂馨, 张新颖, 等. 持续危害下抗、感蓟马苜蓿无性系大田生长特性研究比较[J]. *草原与草坪*, 2011, 31(4): 35-40.
- [15] 张晓燕, 王森山, 李小龙, 等. 施磷对苜蓿抗蓟马的影响[J]. *草业学报*, 2016, 25(5): 102-108.
- [16] 胡桂馨, 师尚礼, 景康康, 等. 牛角花齿蓟马在苜蓿上的接虫方法: CN102550493A[P]. 2012.
- [17] 邹琦. *植物生理学实验指导*[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 113-114.
- [18] 鲍士旦. *土壤农化分析*[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 268-271.
- [19] 时立文. *SPSS 19.0 统计分析从入门到精通*[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [20] 翟凤林. *作物抗虫育种原理与方法*[M]. 北京: 科学技术出版社, 1987.
- [21] 钦俊德. *昆虫与植物的关系—论昆虫与植物的相互作用及其演化*[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [22] 吴永敷, 赵秀华, 特木尔布和. 蓟马是我国苜蓿生产的主要害虫[J]. *中国草地学报*, 1990(3): 65-66.
- [23] 肖英方, 张存政, 顾正远. 水稻品种对白背飞虱的抗性机理[J]. *植物保护学报*, 2001, 28(3): 198-202.
- [24] RAUPP, Michael J. Effects of leaf toughness on mandibular wear of the leaf beetle, *Plagioderma versicolora* [J]. *Ecological Entomology*, 1985, 10(1): 73-79.
- [25] Garratt M P D, Wright D J, Leather S R. The effects of organic and conventional fertilizers on cereal aphids and their natural enemies [J]. *Agricultural & Forest Entomology*, 2010, 12(3): 307-318.
- [26] 蒋明星, 程家安. 不同施肥水平对水稻上白背飞虱种群的影响[J]. *中国水稻科学*, 2003, 17(3): 270-274.
- [27] Jo-Ann Bentz, Larew H G. Ovipositional Preference and Nymphal Performance of *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) on *Dendranthema grandiflora* Under Different Fertilizer Regimes [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1992, 85(2): 514-517.
- [28] Opjm Minkenbergh, Mjj F. Preference and performance of an herbivorous fly, *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae), on tomato plants differing in leaf nitrogen [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 1989, 82(3): 350-354.
- [29] 张晓燕. 施磷对苜蓿营养、次生代谢物质及抗蓟马的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.

## Effect of phosphorus application to alfalfa on oviposition selection, growth and development of *Odontothrips loti*

PENG Ran, ZENG Wen-fang, LI Ya-shu, CUI Xiao-ning, HU Gui-xin

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Education Ministry/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Two alfalfa varieties (Gannong No. 3 and Gannong No. 9) were used to investigate the effect of phosphorus application on oviposition selection, growth and development of *Odontothrips loti*, and the resistance

of alfalfa to thrips. The egg laying amount of adults, growth and development of nymphs under different phosphorus levels were observed. The soluble sugar content, nitrogen content and phosphorus content were determined as well. The result showed that the egg laying amount of thrips on the leaf of same alfalfa variety increased significantly with the increase of phosphorus level. The survival ratio of 1-2 instar nymph increased significantly after phosphorus application, but the developmental period did not change significantly. There was no significant changes in 3-4 instar nymph survival ratio and developmental period. The soluble sugar content, phosphorus content and sugar to nitrogen ratio of alfalfa were significantly increased after phosphorus application and there was no significant correlation with egg laying amount, there was a significant positive correlation between phosphorus content and 1-2 instar nymphs survival rate of Gannong No. 9. Two alfalfa varieties did not show significant antixenosis and antibiosis to thrips after phosphorus application.

**Key words:** phosphorus element; alfalfa; *Odontothrips loti*; growth and development; oviposition selection

---

(上接 36 页)

## Salt tolerance evaluation of four creeping bentgrass varieties at seed germination stage

WANG Hui-hui, LIU Qi-hua, WANG Jing, LIU Lu, CHAI Qi

(National Experimental Teaching Demonstration Center of Grassland Science/College of Grassland Agricultural Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** Four creeping bentgrass cultivars (Impala, Kromi BT, Travel Star, Pen-1) were used to evaluate their salt tolerance at germination stage under NaCl stress (0, 20, 60, 120, 180, 240 and 300 mmol/L). 11 growth indices, including germination rate, germination potential, germination index and vigor index, the germination process and morphological changes of seeds, were measured. The salt tolerance of 4 cultivars was evaluated comprehensively by membership function method. The results showed that the low concentration of NaCl solution promoted the germination. When the NaCl concentration exceeded a certain range, NaCl stress significantly inhibited the germination and growth. With the increase of salt concentration, each growth index showed a decreasing trend. When the salt concentration was 240 to 300 mmol/L, the seeds hardly germinated. The response degree of creeping bentgrass seed germination to salt stress was different among tested cultivars. In which, Impala and Travel Star performed best, while Kromi BT and Pen-1 worst. The order of salt tolerance was Travel Star > Impala > Kromi BT > Pen-1.

**Key words:** creeping bentgrass; salt tolerance; seed germination; comprehensive evaluation of membership function