

野燕麦种子萌发特性及化学防除药剂筛选

李 涛¹, 袁国徽¹, 钱振官¹, 曾茗钦², 沈国辉^{1*}

(1. 上海市农业科学院生态环境保护研究所, 上海 201403; 2. 上海农林职业技术学院, 上海 201699)

摘要 为了明确恶性杂草野燕麦的萌发特性和化学防除技术, 采用培养皿与盆栽相结合的方法, 研究温度、光照、水势、盐胁迫、pH、土层深度对种子萌发的影响并评价麦田常用除草剂对野燕麦的除草活性。结果表明, 野燕麦种子最适发芽温度为 15~20℃。对光周期不敏感, 全黑、全光照条件下均可正常萌发。当水势为 -0.2~0 MPa 时, 发芽率可达 80% 左右, 当水势降低至 -0.8 MPa 时, 不能萌发。覆盖 2~15 cm 的土层均可萌发, 其中 2~10 cm 土层中发芽率最高。适宜 pH 范围较广, 在 pH 5~9 范围内, 发芽率大于 70%。耐盐胁迫能力较强, NaCl 浓度 160 mmol/L 时, 发芽率大于 50%。除草活性评价结果表明, 炔草酯、唑啉草酯、精噁唑禾草灵、甲基二磺隆、氟唑磺隆、啶磺草胺对 4~6 叶期野燕麦均有较好防效, 供试药剂防效高低排序为: 炔草酯、唑啉草酯>精噁唑禾草灵>甲基二磺隆>氟唑磺隆、啶磺草胺>异丙隆。

关键词 野燕麦; 种子萌发特性; 除草剂筛选; 化学防除技术

中图分类号: S 451 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2017383

Seed germination characteristics of wild oat and POST-herbicide screening

LI Tao¹, YUAN Guohui¹, QIAN Zhenguan¹, ZENG Mingqin², SHEN Guohui¹

(1. Research Institute of Eco-Environmental Protection, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China;

2. Shanghai Vocational College of Agriculture and Forestry, Shanghai 201699, China)

Abstract Wild oat (*Avena fatua* L.) is an annual weed commonly found in wheat fields. Laboratory and greenhouse experiments were carried out to determine the effects of temperature, light, water stress, salt stress, pH, and burial depth on seed germination and evaluate the response of this weed to commonly used POST-herbicides in wheat fields. The results showed that the optimum temperature for germination was 15–20℃, and light was not necessary. About 80% of seeds germinated at the water potential of -0.2–0 MPa, and the seeds were completely inhibited at the water potential of -0.8 MPa. The seeds could germinate in the soil depth of 2–15 cm, and germinated best in the soil depth of 2–10 cm. More than 70% of seeds germinated at the pH values ranging from 5 to 9. It was quite tolerant to salinity; more than 50% of seeds germinated at 160 mmol/L NaCl. Clodinafop-propargyl, pinoxaden, flucarbazone-sodium, mesosulfuron-methyl, fenoxaprop-P-ethyl, and pyroxsulam provided better control effect against wild oat at 4- to 6-leaf stages. Based on the control effect, the susceptibility of wild oat to 7 herbicides was in the following order: clodinafop-propargyl, pinoxaden>fenoxaprop-P-ethyl>mesosulfuron-methyl>flucarbazone-sodium, pyroxsulam>isoproturon.

Key words wild oat (*Avena fatua*); seed germination characteristics; herbicide screening; chemical control technique

小麦是世界三大粮食作物之一, 常年播种面积 2 亿多 hm², 总产近 7 亿 t, 全世界 35%~40% 的人口以小麦为主要粮食, 为世界人口提供 1/5 的热量^[1]。小麦也是我国三大粮食作物之一, 是我国重要的商品粮和战略性粮食储备品种, 小麦生产直接

关系到我国的粮食安全和小麦产区的农业增效与农民增收^[2]。近年来, 随着免耕等农业耕作制度的推广以及化学除草剂的连年使用, 我国冬小麦田杂草种群和群落结构发生了一定的变化, 野燕麦逐渐成为小麦田的主要危害杂草^[3-4]。

收稿日期: 2017-10-09

修订日期: 2017-12-12

基金项目: 上海市市级农口系统青年人才成长计划(沪农青字(2016)第 1-31 号); 上海市农业科学院卓越团队建设计划(农科创 2017(A-03)); 家庭农场生态农业技术集成示范(沪农科推字(2015)第 2-2 号)

* 通信作者 E-mail: zb5@saas.sh.cn

野燕麦 *Avena fatua* L., 英文名 wild oat, 又名燕麦草、铃铛麦, 为燕麦属禾本科杂草, 是我国麦田主要危害杂草, 遍布各地麦区。野燕麦形态与小麦极为相似, 难以辨认, 其分蘖力强, 长势旺盛, 严重影响小麦产量和品质^[5]。全国统计危害面积达 500 万 hm^2 , 损失粮食 17.5 亿 kg, 近年在一些省份仍在蔓延, 成为麦田危害最严重的恶性杂草之一^[6]。

温度、水分、光照、土壤酸碱度、盐浓度等环境因子均可影响杂草种子的萌发, 开展野燕麦种子适宜萌发条件研究, 有利于掌握野燕麦的分布和危害。野燕麦的化学防除主要集中在新燕灵、野燕畏、燕麦敌、野燕枯、燕麦酯、磺酰磺隆等老除草剂品种上^[6], 上述产品大部分已停止生产, 市场上很难购得。随着除草剂工业的发展, 新除草剂品种层出不穷, 如甲基二磺隆、唑啉草酯、啶磺草胺、炔草酯、氟唑磺隆等, 对这些除草剂防除野燕麦的研究较少。

本研究的目的是确定温度、水分、光照、覆土深度、土壤酸碱度、盐浓度等环境因子对野燕麦种子萌发特性的影响, 并评价麦田常用茎叶处理除草剂对野燕麦的除草活性, 为野燕麦的综合治理提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试种子

野燕麦种子, 2016 年 4 月采于上海市崇明区长江农场小麦田, 室内晾干后, 装袋, 置于 4℃ 冰箱内保存, 备用。2017 年 3 月选取籽粒饱满、大小均一的野燕麦种子进行发芽试验。

1.2 供试药剂

选择当前小麦田常用的对禾本科杂草防效较好的除草剂品种开展评价试验。15% 炔草酯可湿性粉剂(WP)、5% 唑啉草酯乳油(EC), 瑞士先正达作物保护有限公司生产; 70% 氟唑磺隆水分散粒剂(WG), 爱利思达生物化学品北美有限公司生产; 30 g/L 甲基二磺隆可分散油悬浮剂(OD)+专用助剂 BIOPOWER, 德国拜耳作物科学公司生产; 69 g/L 精噁唑禾草灵悬浮剂(SC), 拜耳作物科学(中国)有限公司生产; 50% 异丙隆可湿性粉剂(WP), 江苏快达农化股份有限公司生产; 4% 啶磺草胺可分散油悬浮剂(OD)+专用助剂, 美国陶氏益农公司生产。除草剂均从市场购得。

1.3 种子萌发特性研究

1.3.1 温度对种子萌发的影响

选取直径 10 cm 的黑色塑料盆钵, 内置消毒土, 每盆接种野燕麦种子 15 粒, 覆土 0.5~1 cm, 分别置于 5、10、15、20、25、30、35、40、45℃ 的智能人工气候箱(SANYO MLR-352H)中培养, 光周期 L//D=12 h//12 h, 相对湿度 75%, 从底部补充种子萌发所需的水分, 重复 4 次, 14 d 后调查种子发芽数, 计算发芽率, 并量取发芽植株的株高和地上部鲜重, 计算平均值。

1.3.2 土层深度对种子萌发的影响

采用透明一次性杯子(口径 10 cm, 高 30 cm, 底部打孔), 装入 5 cm 深消毒土, 每个杯子播种 15 粒种子, 分别覆盖 0、2、4、6、8、10、11、12、13、14、15、20 cm 消毒土, 置于智能人工气候箱中培养(恒温 20℃, 相对湿度 75%, 光周期 L//D=12 h//12 h), 每处理重复 4 次, 每天从底部补充种子发芽所需的水分, 14 d 后记录野燕麦发芽数, 以种子顶出土面为发芽标准, 计算发芽率。

1.3.3 水势对种子萌发的影响

采用培养皿法进行试验, 用分子量为 6 000 的聚乙二醇(PEG)配制质量浓度分别为 41.2、67.2、105.6、161.3、241.0、354.4 g/L 的溶液, 与之相对应的溶液水势为 -0.05、-0.1、-0.2、-0.4、-0.8 和 -1.6 MPa^[7]。在铺有双层滤纸直径 9 cm 的培养皿中加入 8 mL 待测液, 每个培养皿播种野燕麦种子 15 粒, 用保鲜膜封口, 然后置于智能人工气候箱中培养, 以去离子水为对照, 重复 4 次。培养条件和调查方法同 1.3.2。

1.3.4 pH 对种子萌发的影响

将野燕麦种子置于 pH 为 4、6、8、10 的缓冲液中, 以去离子水(pH 7.06)为对照, 重复 4 次。用 1 mol/L 的 HCl 配制 pH 为 4 的 2 mmol/L 邻苯二甲酸氢钾(potassium hydrogen phthalate)缓冲液; 用 1 mol/L 的 NaOH 配制 pH 为 6 的 2 mmol/L 2-(N-吗啉代)-乙基磺酸(MES)缓冲液; 使用 1 mol/L 的 NaOH 配制 pH 为 8 的 2 mmol/L N-2-羟乙基-哌嗪基-N-2-乙基磺酸(HEPES)缓冲液; 用 1 mol/L 的 NaOH 配制 pH 为 10 的 2 mmol/L N-[Tris(羟甲基)-甲基]甘氨酸(tricine)缓冲液。培养条件和调查方法同 1.3.2。

1.3.5 盐胁迫对种子萌发的影响

将种子置于 NaCl 浓度为 10、20、40、80、160 和 320 mmol/L 的待测液中, 以去离子水为对照。培养

条件和调查方法同 1.3.2。

1.3.6 光照对种子萌发的影响

将种子置于 0 h//24 h、12 h//12 h、24 h//0 h (光照//黑暗)的智能人工气候箱中培养,其他培养条件和调查方法同 1.3.2。

1.4 麦田常用除草剂对野燕麦的除草活性测定

采用温室盆栽法开展评价试验^[8]。在口径 9 cm 的黑色塑料盆钵内装入 5 cm 深的消毒土,然后放入装有水的搪瓷盘中,让水逐渐渗入,每盆播种野燕麦 15 粒,覆土 0.5~1 cm,置于温室内培养,温度 15~20℃,相对湿度 65%~85%,待野燕麦长至 4~5 叶期,间去弱小苗,每钵定苗至 10 株,进行茎叶喷雾处理。喷药工具为北京农业信息技术研究中心生产的 ASS-4 型自动控制喷雾台,扇形喷头,流量为 800 mL/min,喷雾压力 0.4 kPa,喷液量 450 L/hm²,将待处理的野燕麦均匀排列在喷雾台上,调整喷头距离杂草顶端 50 cm,按照供试药剂及剂量均匀喷雾处理,试验设计见表 1,每处理重复 4 次。喷药后详细记录野燕麦的受害症状,如生长抑制、失绿、畸形等。药后 15、30 d 调查残存野燕麦株数,计算株防效,药后 30 d 调查残存野燕麦株数的同时测定残存野燕麦地上部分鲜重,计算鲜重防效。

表 1 供试药剂及剂量

Table 1 Test herbicides and dosages

供试药剂 Tested herbicide	供试剂量/g·(hm ²) ⁻¹ Dosage
15%炔草酯 WP clodinafop-propargyl 15% WP	33.75
70%氟唑磺隆 WG flucarbazone-sodium 70% WG	31.5
5%唑啞草酯 EC pinoxaden 5% EC	45
30 g/L 甲基二磺隆 OD+BIOPOWER mesosulfuron-methyl 30 g/L OD+BIOPOWER	9+2 250
69 g/L 精噁唑禾草灵 SC fenoxaprop-P-ethyl 69 g/L SC	51.75
50%异丙隆 WP isoproturon 50% WP	1 125
4%啶磺草胺 OD+专用助剂 pyroxsulam 4% OD+adjuvant	12+450
空白对照 Nontreated control	—

1.5 数据处理方法

试验所得数据采用 SPSS 11.5 for windows 软件进行统计分析,应用 Duncan 氏新复极差法进行 0.05 水平差异显著性分析。发芽率、株防效和鲜重防效按照如下公式计算:

发芽率 = $\frac{\text{发芽种子数}}{\text{供试种子总数}} \times 100\%$;

株防效 = $\frac{\text{对照区株数} - \text{处理区株数}}{\text{对照区株数}} \times 100\%$;

鲜重防效 =

$\frac{\text{对照区地上部分鲜重} - \text{处理区地上部分鲜重}}{\text{对照区地上部分鲜重}} \times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 温度对种子萌发的影响

温度是调节杂草发生消长的主要因素。野燕麦种子在 10~35℃的条件下均可萌发,其中以 15~20℃时的发芽率最高,为 75%~85%,低于 15℃或高于 20℃时,发芽率显著下降,10、25 和 30℃的发芽率分别为 47.5%、55%和 47.5%,35℃仅有零星的野燕麦种子可以发芽,发芽率为 2.5%,低于 5℃或高于 40℃时,野燕麦种子不能萌发(图 1)。株高和地上部分鲜重测定结果表明,虽然野燕麦在 15~20℃时具有最高的发芽率,但野燕麦出苗后,在 25~30℃条件下,植株长得更高、更壮,说明野燕麦对环境具有很强的适应能力(图 2~3)。

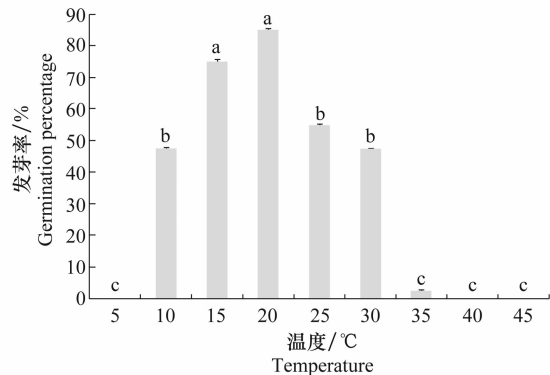


图 1 温度对野燕麦种子发芽率的影响

Fig. 1 Effects of temperature on the germination of wild oat

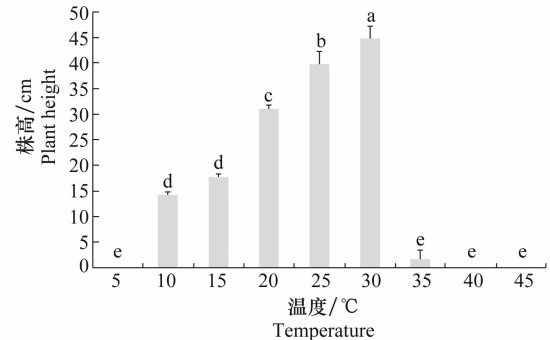


图 2 温度对野燕麦株高的影响

Fig. 2 Effects of temperature on the plant height of wild oat

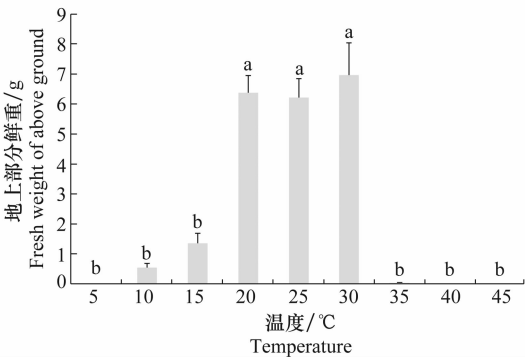


图3 温度对野燕麦地上部分鲜重的影响
Fig.3 Effects of temperature on aboveground fresh weight of wild oat

2.2 土层深度对种子萌发的影响

野燕麦种子具有较强的顶土能力,覆盖 2~15 cm 的土层,野燕麦种子均能萌发,覆盖 2~10 cm 土层的发芽率最高,覆土深度大于 10 cm,随着覆土深度的增加,野燕麦种子发芽率逐渐降低,当覆土达到 20 cm 时,虽有极少数的野燕麦种子发芽,但是无法长出土面,多扭曲死于土中,不能出苗,撒于土表的野燕麦种子不能萌发(图 4)。

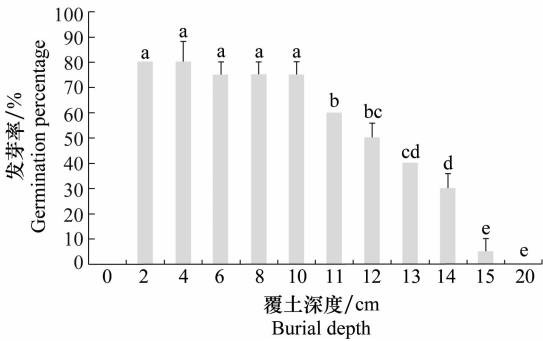


图4 覆土深度对野燕麦种子发芽率的影响
Fig.4 Effects of burial depth on germination of wild oat

2.3 水势对野燕麦种子发芽的影响

野燕麦种子发芽率随着水势的降低而降低。当水势为-0.05 MPa 和-0.1 MPa 时,野燕麦种子发芽率大于 80%,与对照发芽率(84.44%)无显著差异,之后随着水势降低,野燕麦种子发芽率逐渐下降,当水势降低至-0.8 MPa 时,野燕麦种子不能萌发(图 5)。

2.4 pH 对野燕麦种子萌发的影响

野燕麦种子萌发受 pH 影响不大,在 pH 4~10 的范围内均可以萌发。当 pH 为 5、6、7、8、9 时,发芽率均大于 70%,与去离子水处理(pH 为 7.06)之

间没有显著差异。说明野燕麦种子对土壤酸碱度具有广泛的适应性,pH 并不是影响野燕麦种子萌发的限制性因素。当 pH 为 4 或 10 时,野燕麦种子发芽率降低,说明过酸或过碱的条件也会影响野燕麦种子的发芽(图 6)。

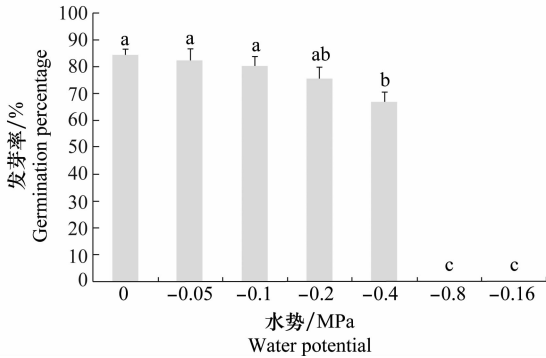


图5 水势对野燕麦种子发芽率的影响
Fig.5 Effects of water potential on germination of wild oat

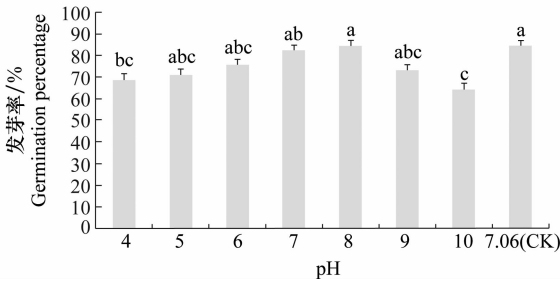


图6 pH 对野燕麦种子发芽率的影响
Fig.6 Effects of pH value on germination of wild oat

2.5 盐胁迫对野燕麦种子萌发的影响

当 NaCl 浓度为 10、20、40 mmol/L 时,野燕麦种子的发芽率为 80%左右,与对照去离子水处理无显著差异。当盐浓度大于 80 mmol/L 时,随着盐浓度的增加,野燕麦种子发芽率显著降低,当盐浓度达到 320 mmol/L 时,野燕麦种子不能萌发(图 7)。

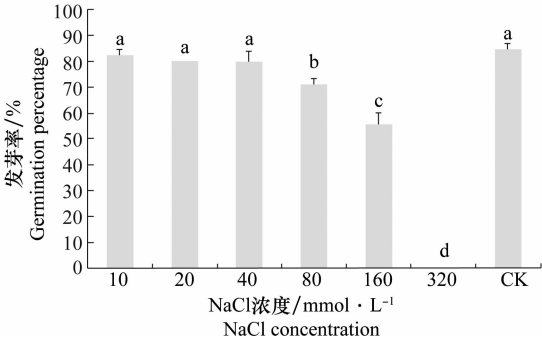


图7 NaCl 胁迫对野燕麦种子发芽率的影响
Fig.7 Effects of salt stress on germination of wild oat

2.6 光照对野燕麦种子萌发的影响

野燕麦种子在 0 h//24 h、12 h//12 h、24 h//0 h (光照//黑暗)的光周期条件下均可萌发,并且三个处理的发芽率无显著差异,说明野燕麦种子的萌发对光周期不敏感(图 8)。

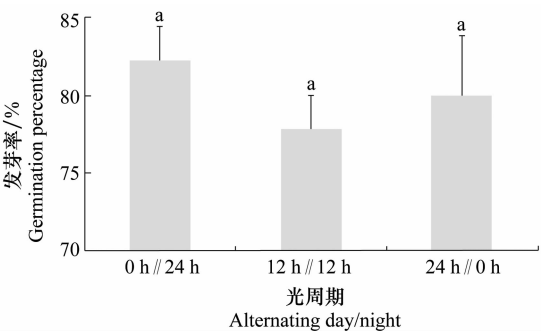


图 8 不同光照时间对野燕麦种子发芽率的影响
Fig. 8 Effects of light on germination of wild oat

2.7 麦田常用除草剂对野燕麦的除草活性

除草活性测定结果表明,除 50%异丙隆 WP

外,各供试药剂及剂量对 4~6 叶期野燕麦均有较好的防效。药后 15 d 调查,15%炔草酯 WP 33.75 g/hm² 和 5%唑啉草酯 EC 45 g/hm² 对野燕麦的防效最好,株防效均为 100%,69 g/L 精噁唑禾草灵 SC 51.75 g/hm² 的株防效可达 90%,30 g/L 甲基二磺隆 OD 9 g/hm² + 专用助剂 BIOPOWER 处理的株防效为 75%左右,70%氟唑磺隆 WG31.5 g/hm² 和 4%啶磺草胺 OD 12 g/hm² + 专用助剂处理作用速度相对较慢,此时株防效仅 70%左右。药后 30 d 调查,炔草酯和唑啉草酯处理对野燕麦的防效依然优秀,株防效和鲜重防效均为 100%,其他药剂处理对野燕麦的防效有所提高,精噁唑禾草灵处理对野燕麦的株防效和鲜重防效均大于 90%,甲基二磺隆处理对野燕麦的株防效接近 80%,鲜重防效大于 90%,氟唑磺隆和啶磺草胺处理对野燕麦的株防效均大于 70%,鲜重防效大于 80%(表 2)。

表 2 麦田除草剂对野燕麦的防效¹⁾

Table 2 Effects of POST-herbicides on wild oat

供试药剂 Tested herbicide	剂量/ g·(hm ²) ⁻¹ Dosage	药后 15 d 15 DAA	药后 30 d 30 DAA	
		株防效/% Reduction in plant number	株防效/% Reduction in plant number	鲜重防效/% Reduction in biomass
15%炔草酯 WP clodinafop-propargyl 15% WP	33.75	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a
70%氟唑磺隆 WG flucarbazone-sodium 70% WG	31.5	(68.62±1.58)d	(71.79±1.68)d	(85.04±0.91)d
5%唑啉草酯 EC pinoxaden 5% EC	45	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a
30 g/L 甲基二磺隆 OD+BIOPOWER mesosulfuron-methyl 30 g/L OD+BIOPOWER	9+630	(75.23±1.99)c	(79.49±2.81)c	(90.34±0.99)c
69 g/L 精噁唑禾草灵 SC fenoxaprop-P-ethyl 69 g/L SC	51.75	(90.06±0.74)b	(92.31±0.34)b	(95.27±0.50)b
50%异丙隆 WP isoproturon 50% WP	1 125	(7.90±0.91)e	(16.20±4.42)e	(30.09±1.06)e
4%啶磺草胺 OD+专用助剂 Pyroxulam 4% OD + adjuvant	12+270	(71.43±0.67)d	(75.93±0.93)cd	(83.99±0.86)d

1) DAA: 药后日数。DAA: Days after application.

3 讨论

水分、温度、氧气、光照是种子萌发的重要外部环境条件^[9],研究温度、水势、pH、盐胁迫、光照等外部条件对野燕麦种子萌发的影响,可为野燕麦的农业防除措施提供理论依据。本研究结果表明,野燕麦种子在 10~35℃的条件下均可萌发,最适发芽温度为 15~20℃,野燕麦种子发芽后,其在 25~30℃

条件下,植株长得更高、更壮。说明野燕麦能适应的温度范围较广,这也是野燕麦在全世界都能造成危害的重要原因^[10-11]。

野燕麦种子对水势较为敏感,当水势为-0.05 和-0.1 MPa 时,发芽率大于 80%,当水势降低至-0.8 MPa 时,野燕麦种子不再萌发。种子大小决定了其顶土能力,杂草种子越小,贮藏的能量越小,越难从较深的土层中出苗^[12]。

野燕麦种子相对于蒺藜、看麦娘、硬草、棒头草等麦田杂草而言,体型要大得多,因此也决定了野燕麦具有较强的顶土能力。覆盖 2~15 cm 的土层,野燕麦种子均可以萌发,其中 2~10 cm 土层中发芽率最高。试验中发现,播于土表的野燕麦种子不萌发,与涂鹤龄等^[11]的研究结果一致。这可能是由于野燕麦种子外面包裹着颖壳,使得播于土表的种子无法从土壤中吸收到足够的水分。

大量文献资料表明,杂草种子对 pH 的适应范围较宽,在土壤 pH 4~10 时均可萌发^[13]。本研究结果表明,在 pH 5~9 时,野燕麦发芽率均大于 70%,与去离子水处理(pH 7.06)没有显著差异。但当野燕麦处于过酸(pH<4)或过碱(pH>10)的环境时,发芽率会降低。我国大多数土壤 pH 在 5~8 之间^[14],说明 pH 并不是限制野燕麦发生的主要因素。

大部分的杂草种子在盐浓度大于 80 mmol/L 时不能萌发^[15]。本试验中,野燕麦种子在盐浓度为 10、20、40 mmol/L 时,发芽率不受影响,当盐浓度在 80~160 mmol/L 时,发芽率虽会降低,但仍有 50% 以上的发芽率,当盐浓度达到 320 mmol/L 时,野燕麦种子不能萌发。说明野燕麦具有较强的抗盐胁迫特性。野燕麦种子对光周期不敏感,全黑、全光照条件下均可萌发。

除草活性测定结果表明,除异丙隆外,炔草酯、唑啉草酯、精噁唑禾草灵、甲基二磺隆、氟唑磺隆、啶磺草胺对 4~6 叶期的野燕麦均有较好的效果,防效高低排序为:炔草酯、唑啉草酯>精噁唑禾草灵>甲基二磺隆>氟唑磺隆、啶磺草胺。除草剂的长期、单一、大量使用,容易使杂草产生抗药性。吕晓辉等研究了野燕麦对高效氟吡甲禾灵的抗药性,郭峰研究了野燕麦对精噁唑禾草灵和炔草酸的抗药性,陈保桦研究了野燕麦对炔草酯的抗药性^[16-18]。为了延缓野燕麦抗性种群的产生,不同类型的除草剂品种需交替使用,本文中除草活性测定结果,为小麦田野燕麦化学防除以及不同类型除草剂的合理交替使用提供了理论依据。本除草剂活性测定试验中,各供试除草剂只设置了一个常规推荐剂量,氟唑磺隆、啶磺草胺提高使用剂量对野燕麦的效果需要进一步的试验。本文主要评价了茎叶处理药剂对野燕麦的除草活性,土壤封闭处理药剂对野燕麦的防除效果需要进一步的试验。

参考文献

- [1] REYNOLDS M, FOULKES M J, SLAFER G A, et al. Raising yield potential in wheat [J]. Journal of Experimental Botany, 2009, 60(7): 1899.
- [2] 赵俊晔, 于振文. 我国小麦生产现状与发展小麦生产能力的思考[J]. 农业现代化研究, 2005, 26(5): 344-348.
- [3] 高兴祥, 孙作文, 李美, 等. 大穗看麦娘化学防控田间效果评价[J]. 草业学报, 2016, 25(8): 172-179.
- [4] 常伟良, 蔡战伟, 张改平, 等. 豫西地区麦田野燕麦危害加重成因及防除对策[J]. 中国植保导刊, 2007, 27(11): 32-33.
- [5] 郭良芝, 郭青云, 魏有海, 等. 50g/L 唑啉草酯 EC 防除春小麦田野燕麦药效及对作物的安全性研究[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(4): 820-822.
- [6] 王鸣华, 章维华, 蒋木庚. 野燕麦除草剂的研究进展[J]. 农药, 2003, 42(8): 6-8.
- [7] MICHAEL B E, KAUFAMAN M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000 [J]. Plant Physiology, 1973, 51: 914-916.
- [8] 中华人民共和国农业部. NY/T1155. 4-2006 农药室内生物测定试验准则(除草剂)第 4 部分: 活性测定试验茎叶喷雾法[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [9] 曹仪植, 宋占午. 植物生理学[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1998: 252-372.
- [10] 阎国学. 旱作农田野燕麦的危害及防除措施[J]. 甘肃农业科技, 2007(5): 46-47.
- [11] 涂鹤龄, 陈梦宜, 钟胜全, 等. 青海高原农田野燕麦发生特点及除草剂应用技术的初步探讨[J]. 植物保护学报, 1979(1): 71-82.
- [12] MENNAN H, NGOUAJIO M. Seasonal cycles in germination and seedling emergence of summer and winter populations of catchweed bedstraw (*Galium aparine*) and wild mustard (*Brassica kaber*) [J]. Weed Science, 2006, 54: 114-120.
- [13] PRESTON C. Factors affecting turnipweed (*Rapistrum rugosum*) seed germination in southern Australia [J]. Weed Science, 2006, 54(6): 1032-1036.
- [14] 罗小娟, 吕波, 李俊, 等. 鳢肠种子萌发及出苗条件的研究[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(2): 71-75.
- [15] GRIEVE C M, SUAREZ D L. Purslane (*Portulaca oleracea* L.): a halophytic crop for drainage water reuse system [J]. Plant Soil, 1997, 192: 277-283.
- [16] 吕晓辉. 野燕麦、旱雀麦对高效氟吡甲禾灵的抗药性研究[D]. 西宁: 青海大学, 2016.
- [17] 郭峰. 日本看麦娘 (*Alopecurus japonicus* Steud.)、野燕麦 (*Avena fatua* L.) 对精噁唑禾草灵及炔草酸的抗药性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [18] 陈保桦, 张娟, 伊布, 等. 野燕麦群体对麦极抗药性的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(18): 255-259.