

谷 涛,李永丰,张自常,等. 稻麦轮作区日本看麦娘抗药性水平测定及高效除草剂筛选[J]. 江苏农业科学,2017,45(18):94-97.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.18.024

# 稻麦轮作区日本看麦娘抗药性水平测定 及高效除草剂筛选

谷 涛,李永丰,张自常,张 磊,杨 霞

(江苏省农业科学院植物保护研究所,江苏南京 210014)

**摘要:**以兴化市钓鱼镇省长示范方麦田采集的日本看麦娘种子与笔者保存的敏感型日本看麦娘为材料,采用室内整株生物测定与大田除草剂配方试验相结合的研究方法,分析其对 ALS 类除草剂——啶磺草胺与甲基二磺隆、ACCCase 抑制剂类除草剂——炔草酯和精噁唑禾草灵的抗药性情况,并筛选出可有效治理麦田杂草的除草剂配方。结果表明,采集的日本看麦娘种群对 ACCCase 抑制剂类除草剂炔草酯和精噁唑禾草灵产生了中等水平抗药性,抗性指数分别为 6.00 和 5.17,但该种群未对供试的 ALS 抑制剂类除草剂产生抗药性。田间配方筛选试验结果表明,在供试配方处理中,7.5% 啶磺草胺 141 g/hm<sup>2</sup> + 40% 啶磺草酮 30 g/hm<sup>2</sup> 混用能够有效防除日本看麦娘,药后 60 d 的株防效和干质量防效分别为 91.6%、93.9%。相对于不除草对照,不同处理的产量都显著提高,尤其是 7.5% 啶磺草胺 + 40% 啶磺草酮处理,产量达到了 7 210.05 kg/hm<sup>2</sup>,与人工除草处理区基本一致。

**关键词:**日本看麦娘;ACCCase 抑制剂类除草剂;ALS 类除草剂;抗药性;治理技术

**中图分类号:**S451 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)18-0094-04

日本看麦娘 (*Alopecurus japonicus*) 是一种越年生或一年生草本植物,属禾本科看麦娘属 (*Alopecurus*),主要分布于我国长江中下游地区及华南地区,是危害麦、油菜等夏收作物的最主要的恶性杂草之一<sup>[1]</sup>。目前,用于防治日本看麦娘的茎叶处理剂主要以磺酰脲(胺)类除草剂(如甲基二磺隆、啶磺草胺等)、乙酰辅酶 A 羧化酶抑制剂类除草剂(如精噁唑禾草灵、炔草酯、烯草酮等)为主<sup>[2-3]</sup>。然而,由于长期单一使用化学除草剂及栽培制度的改变,导致对日本看麦娘的防效下降,越来越多地区的日本看麦娘对一种或多种除草剂产生了抗性,抗性日本看麦娘种群呈急剧上升态势。据报道,在我国小麦田中日本看麦娘已对甲基二磺隆、精噁唑禾草灵、炔草酸、氯磺隆、甲磺隆等除草剂产生抗性或交互抗性<sup>[4-9]</sup>,在油菜田中对高效氟吡甲禾灵、精喹禾灵等除草剂产生抗药性<sup>[10-11]</sup>。笔者所在课题组近 3 年在对江苏省兴化市的稻茬小麦田调查中发现,炔草酯、精噁唑禾草灵等药剂对日本看麦娘防效下降,兴化市的日本看麦娘抗药性明显。本试验以采集自江苏省兴化市稻茬小麦田的疑似抗性日本看麦娘及本课题组保存的敏感生物型日本看麦娘为研究材料,研究江苏省兴化市稻茬小麦田中日本看麦娘种群对乙酰乳酸合成酶(ALS)与乙酰辅酶 A 羧化(ACCCase)抑制剂类除草剂的抗药性,结合大田配方筛选试验,明确可有效控制抗性日本看麦娘的化学除草剂的最佳配方,旨在为小麦田化学除草剂的减量施用、有效控制

麦田恶性杂草提供技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

日本看麦娘种子均采集自江苏省兴化市:敏感性材料(Jsxx-S)2006 年采集于未使用过除草剂的沟边和未开垦的荒地,并且经室内鉴定为对供试药剂敏感;抗性材料(Jsxx-R)为 2015 年采集于兴化市钓鱼镇小麦种植区。田间防除试验所选用的小麦品种为镇麦 9 号。

### 1.2 供试药剂

15% 炔草酯可湿性粉剂,瑞士先正达作物保护有限公司;7.5% 啶磺草胺水分散剂,美国陶氏益农公司;6.9% 精噁唑禾草灵水乳剂,拜耳作物科学公司;30 g/L 甲基二磺隆油悬乳剂,拜耳作物科学公司;50% 丙草胺乳油,北京中农科美化工有限公司;40% 啶草酮干悬浮剂,美国富美实公司;20% 氯氟吡氧乙酸乳油,美国陶氏益农公司。

### 1.3 试验地基本情况

试验田位于江苏省兴化市钓鱼镇,土壤为黏壤土。前茬为水稻,土壤肥力中等,2015 年 12 月初播种小麦,2016 年 6 月测产。室内生测试验于 2016 年 4 月完成。调查发现田间优势杂草为日本看麦娘,伴生杂草还有蔺草、藜、牛繁缕、田旋花、猪殃殃、野老鹳等,杂草的总密度达到了 500~520 株/m<sup>2</sup>。

### 1.4 试验设计和方法

**1.4.1 整株水平测定日本看麦娘种群的抗药性** 在洗净的培养皿中铺上 2 层滤纸,倒入适量的蒸馏水,将颗粒饱满且成熟的日本看麦娘种子放入培养皿中,置于智能光照培养箱中(光照度为 10 000 lx,光—暗周期为 12 h—12 h;温度:白天 25 ℃,晚上 20 ℃)。种子露白后,采用人工种植,将日本看麦娘均匀移栽入装有混合营养土(蛭石:营养土:石英砂 =

收稿日期:2016-10-27

基金项目:国家自然科学基金(编号:31501657);江苏省农业科技自主创新资金产业技术体系类[编号:CX(12)1003]。

作者简介:谷 涛(1988—),男,山西大同人,博士,助理研究员,从事农田草害研究。Tel:(025)84390821;E-mail:gtsgghz@163.com。

通信作者:李永丰,硕士,研究员,主要从事农田草害研究。Tel:(025)84390821;E-mail:liyongfeng\_2010@163.com。

1:2:1)的塑料杯中,每杯25株,然后用少量细土覆盖于种子表面。处理完毕后,将试验材料放置在人工气候箱中培养(光密度为12 000 lx,光—暗周期为12 h—12 h;温度:白天25℃,晚上20℃)。待日本看麦娘长至1~2叶期时定苗,每杯留长势一致的苗20株,3~4叶期时用除草剂啶磺草胺、甲基二磺隆、炔草酯和精噁唑禾草灵进行茎叶喷雾处理。各除

草剂的喷施剂量见表1,各处理重复4次,试验整体重复1次。喷雾采用农业部南京农业机械化研究所生产的3WPSH-500D型生测喷雾塔,圆盘直径50 cm,主轴转动速度6 r/min,喷头孔径0.03 cm,喷雾压力0.3 MPa,雾滴直径100 μm,喷头流量90 mL/min。

表1 供试药剂的处理浓度

除草剂	剂量梯度(g a. i./hm <sup>2</sup> )	
	Jsxh-S	Jsxh-R
啶磺草胺	17.63、35.25、70.50、 <u>141.00</u> 、282.00、564.00	35.25、70.50、 <u>141.00</u> 、282.00、564.00、1 128.00
甲基二磺隆	1.13、2.25、4.50、 <u>9.00</u> 、18.00、36.00	2.25、4.50、 <u>9.00</u> 、18.00、36.00、72.00
炔草酯	7.03、14.06、28.13、 <u>56.25</u> 、112.50、225.00	28.13、 <u>56.25</u> 、112.50、225.00、450.00、900.00
精噁唑禾草灵	7.22、14.44、28.80、 <u>51.75</u> 、103.50、207.00	25.88、 <u>51.75</u> 、103.50、207.00、414.00、828.00

注:标下划线的为各除草剂的推荐剂量。

1.4.2 大田除草剂配方筛选试验 田间化学防除杂草试验在兴化试验田进行。试验设7个处理:(1)50%丙草胺+75%氯吡嘧磺隆(T1)。在小麦播后2~4 d,用50%丙草胺乳油1.2 L/hm<sup>2</sup>和75%氯吡嘧磺隆可湿性粉剂135 g/hm<sup>2</sup>,兑水450 L/hm<sup>2</sup>均匀喷雾。(2)50%丙草胺+40%唑草酮(T2)。小麦播后2~4 d,用50%丙草胺乳油1.2 L/hm<sup>2</sup>,兑水450 L/hm<sup>2</sup>均匀喷雾。待1年生禾本科杂草2.5~5.0叶期时,用40%唑草酮干悬浮剂30 g/hm<sup>2</sup>,兑水450 L/hm<sup>2</sup>均匀喷雾。(3)7.5%啶磺草胺+15%炔草酯(T3)。1年生禾本科杂草2.5~5.0叶期,用7.5%啶磺草胺水分散剂141 g/hm<sup>2</sup>和15%炔草酯可湿性粉剂300 g/hm<sup>2</sup>,兑水450 L/hm<sup>2</sup>均匀喷雾。(4)7.5%啶磺草胺+40%唑草酮(T4)。7.5%啶磺草胺水分散剂和40%唑草酮干悬浮剂用量分别为141 g/hm<sup>2</sup>和30 g/hm<sup>2</sup>,用法同(3)。(5)15%炔草酯+20%氯氟吡氧乙酸(T5)。15%炔草酯可湿性粉剂和20%氯氟吡氧乙酸乳油用量分别为300 g/hm<sup>2</sup>和750 mL/hm<sup>2</sup>,用法同(3)。(6)人工拔草(T6)。喷清水,用水量为450 L/hm<sup>2</sup>,定时拔草,保证小麦整个生育期无草。(7)空白对照(不除草,CK)。喷清水,450 L/hm<sup>2</sup>。每个处理小区面积为30 m<sup>2</sup>,重复4次,随机区组设计。按照上述试验设计的用药剂量配药,采用带扇型喷头的喷雾器进行喷雾,喷雾采用细雾滴,在无风或者微风条件下喷施。

## 1.5 测定指标

1.5.1 日本看麦娘地上部分干质量 药后21 d观察日本看麦娘存活状态,并将各处理残存日本看麦娘的地上部分剪下,分别用自来水冲洗茎、叶,再用蒸馏水冲洗3遍,沥去水分,装入纸袋后,120℃杀青30 min,然后在70℃下烘干72 h至恒质量,用BS214D电子天平称质量。

1.5.2 杂草株防效和干质量防效 药后60 d,大田除草剂配方筛选试验各处理小区选择4个点,每个点0.25 m<sup>2</sup>(0.5 m×0.5 m),调查各小区存活杂草的株数,并参照“1.5.1”节方法测定各处理区的样本干质量。株防效和干质量防效的计算公式如下:

株防效=(对照区杂草基数-药后杂草株数)/对照区杂草基数×100%;

干质量防效=(对照区杂草干质量-处理区杂草干质量)/对照区杂草干质量×100%。

1.5.3 产量及产量构成因素测定 于小麦成熟期,各小区分别取样1 m<sup>2</sup>,调查各小区的小麦穗数,每穗粒数和千粒质量。各小区实收计产。

## 1.6 数据分析

大田配方筛选数据统计分析采用DPS软件进行。生测试验中,数据处理使用Seefeldt等描述的双逻辑非线性回归模型进行<sup>[12]</sup>[见公式(1)],软件为Sigmaplot 12.3。求出种群的GR<sub>50</sub>值,进而求出抗性指数RI。

$$Y = C + \frac{D - C}{1 + \left( \frac{x}{GR_{50}} \right)^b}$$

注:式中Y为特定除草剂剂量下所测杂草地上部分干重相对于不喷药对照的百分数;x为除草剂的用量;C为剂量反应下限,D为剂量反应上限。GR<sub>50</sub>为生长抑制中量;b为斜率。抗性指数(RI)=抗性种群GR<sub>50</sub>/敏感种群GR<sub>50</sub>。抗性分级标准为:高水平抗性,RI>10;中水平抗性,RI=5~10;低水平抗性,RI=2~4。

## 2 结果与分析

### 2.1 日本看麦娘对供试药剂的抗性水平

从图1可以看出,在供试的4种除草剂中,Jsxh-S和Jsxh-R对啶磺草胺的剂量反应曲线近于重叠(图1-a),二者的GR<sub>50</sub>值接近(Jsxh-S的GR<sub>50</sub>为28.56 g a. i./hm<sup>2</sup>,Jsxh-R的GR<sub>50</sub>为38.64 g a. i./hm<sup>2</sup>)(表2)。种群Jsxh-R相对于种群Jsxh-S(敏感性材料)的抗性指数仅有1.35,表明兴化麦田中采集的日本看麦娘种群Jsxh-R对啶磺草胺未产生抗药性。甲基二磺隆与啶磺草胺同是ALS抑制剂类除草剂,从图1-b、表2可以看出,Jsxh-R对甲基二磺隆的反应与啶磺草胺相似,对甲基二磺隆没有产生抗药性。从图1-c、图1-d、表2可知,Jsxh-R对炔草酯、精噁唑禾草灵产生了抗药性,抗性指数分别为6.00与5.17,表明示范区日本看麦娘种群(Jsxh-R)对炔草酯与精噁唑禾草灵产生了中等水平的交互抗性。

### 2.2 控制抗性日本看麦娘的除草剂配方筛选

从表3可以看出,与空白对照相比,丙草胺+氯吡嘧磺隆(T1)、丙草胺+唑草酮(T2)、啶磺草胺+炔草酯(T3)、啶磺草胺+唑草酮(T4)、炔草酯+氯氟吡氧乙酸(T5)处理后,杂

表 2 本看麦娘种群对不同除草剂的敏感性

种群	啶磺草胺		甲基二磺隆		炔草酯		精噁唑禾草灵	
	GR <sub>50</sub> (g/hm <sup>2</sup> )	RI	GR <sub>50</sub> (g/hm <sup>2</sup> )	RI	GR <sub>50</sub> (g/hm <sup>2</sup> )	RI	GR <sub>50</sub> (g/hm <sup>2</sup> )	RI
Jsxh-S	28.56 ± 3.71	—	2.51 ± 0.23	—	23.55 ± 0.73	—	15.92 ± 1.26	—
Jsxh-R	38.64 ± 0.87	1.35	3.89 ± 0.58	1.55	141.21 ± 28.27	6.00	82.29 ± 41.69	5.17

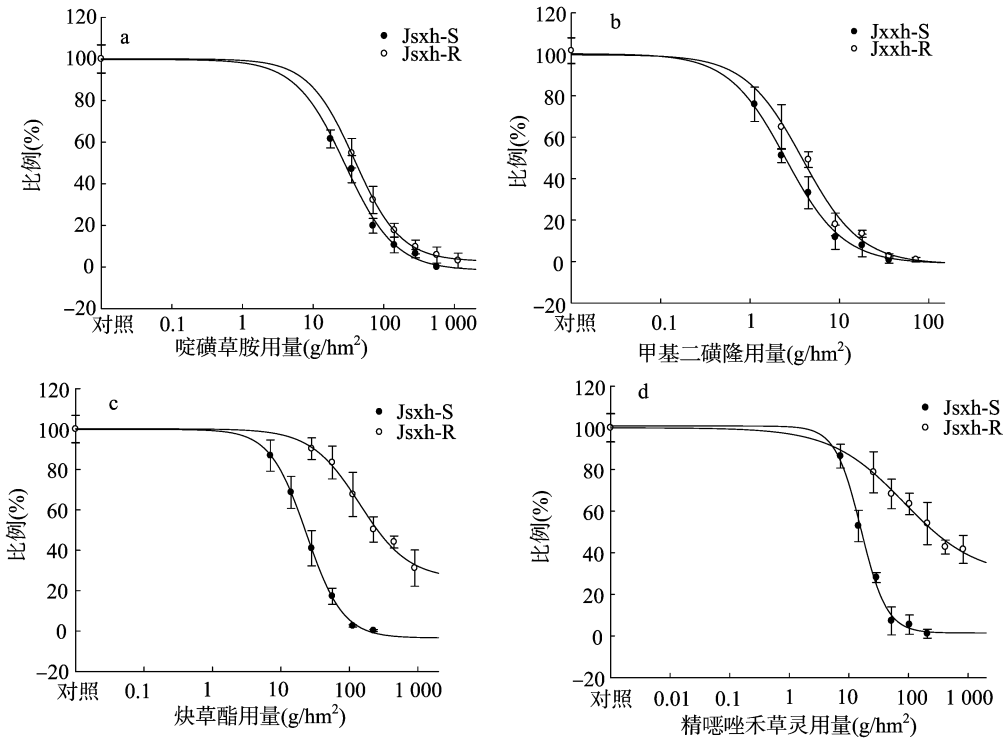


图1 日本看麦娘种群对4种常见麦田除草剂的剂量反应曲线

草发生数目分别降低 84.5 %、76.8 %、65.4 %、91.5 %、55 %；杂草干质量分别降低 91.8 %、83.3 %、74.3 %、95.1 %、69.8 %。总草防除效果以啶磺草胺+唑草酮防除效果最优，株防效和干质量防效分别为 91.5 % 和 95.1 %。笔者还发现不同处理间日本看麦娘的株防效和干质量防效与总杂草基本一致。防效最好的组合仍然是 T4，防效最差的除草剂组合为 T3 和 T5，这可能是由于该组合中含有炔草酯，而日本看麦娘又对其产生抗药性造成的。从表 4 可以看出，不同处理间残

存杂草对小麦的穗数、每穗粒数和千粒质量都有显著的影响，最终影响了小麦的产量。与空白对照相比，不同处理均显著增加了小麦产量。处理 T1 ~ T6 的小麦产量分别比空白对照增加了 72.27 %、70.47 %、57.60 %、92.27 %、55.2 %、95.67 %，增产均达显著水平。不同处理组合中以人工除草小麦产量最高，为 7 337.53 kg/hm<sup>2</sup>；其次是啶磺草胺+唑草酮处理(T4)，为 7 210.05 kg/hm<sup>2</sup>；二者没有明显差异，表明应用啶磺草胺+唑草酮能取得很好的除草及保产效果。

表 3 不同处理对总杂草和日本看麦娘的防除效果

处理(药后 60 d)	除草剂用量 (商品量)(hm <sup>2</sup> )	总杂草			日本看麦娘			
		密度 (株/m <sup>2</sup> )	干质量 (g)	株防效 (%)	干质量防 效(%)	密度 (株/m <sup>2</sup> )	干质量 (g)	株防效 (%)
50% 丙草胺 + 75% 氯吡嘧磺隆 (T1)	1.2 L + 135 g	80.3	14.00	84.5	91.8	56.3	9.28	86.5
50% 丙草胺 + 40% 唑草酮 (T2)	1.2 L + 30 g	120.3	28.47	76.8	83.3	92.0	20.54	77.9
7.5% 啶磺草胺 + 15% 炔草酯 (T3)	141 g + 300 g	179.8	43.67	65.4	74.3	122.3	34.19	70.6
7.5% 啶磺草胺 + 40% 唑草酮 (T4)	141 g + 30 g	44.0	8.38	91.5	95.1	34.8	6.69	91.6
15% 炔草酯 + 20% 氯氟吡氧乙酸 (T5)	300 g + 0.75 L	233.5	51.39	55.0	69.8	198.5	40.92	52.3
人工除草 (T6)		0.0	0.00	100.0	100.0	0.0	0.00	100.0
不除草 (CK)		519.0	170.08			416.3	109.81	

3 讨论

麦田杂草是影响小麦高产稳产的限制性因子之一，我国

每年因草害引起的小麦减产约 400 万 t<sup>[13]</sup>。因此，科学合理有效控制麦田杂草危害，已成为小麦获得高产的重要管理措施之一。化学除草剂除草具有省工、省力、高效、快捷等优点，

表 4 不同处理对小麦籽粒产量的影响

处理	除草剂用量 (商品量)	穗数 ( $\times 10^4/\text{hm}^2$ )	每穗粒数	千粒质量 (g)	理论产量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	实际产量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	增产率 (%)
50% 丙草胺 + 75% 氯吡嘧磺隆 (T1)	1.2 L/ $\text{hm}^2$ + 135 g/ $\text{hm}^2$	426.8bc	35.8a	43.45b	6 641.59bc	6 461.89b	72.34
50% 丙草胺 + 40% 唑草酮 (T2)	1.2 L/ $\text{hm}^2$ + 30 g/ $\text{hm}^2$	421.0bc	35.8a	43.67b	6 585.72bc	6 390.61b	70.44
7.5% 啶磺草胺 + 15% 炔草酯 (T3)	141 g/ $\text{hm}^2$ + 300 g/ $\text{hm}^2$	417.0bc	35.1ab	41.20c	6 036.37c	5 913.70c	57.72
7.5% 啶磺草胺 + 40% 唑草酮 (T4)	141 g/ $\text{hm}^2$ + 30 g/ $\text{hm}^2$	434.8ab	38.8a	43.57b	7 340.76ab	7 210.05a	92.29
15% 炔草酯 + 20% 氯氟吡氧乙酸 (T5)	300 g/ $\text{hm}^2$ + 0.75 L/ $\text{hm}^2$	414.3c	35.6ab	41.24c	6 081.87c	5 820.92c	55.25
人工除草 (T6)		447.5a	38.9a	44.45a	7 729.24a	7 337.53a	95.69
不除草 (CK)		366.5d	29.9b	36.38d	3 989.74d	3 749.50d	

深受广大农民欢迎,已成为我国当前最简单可行的除草方法<sup>[14-16]</sup>。然而,由于过度依赖和长期使用相对有限的化学除草剂,防治效果逐渐下降,农民为了防除杂草,不断增加药剂使用量和次数,导致了抗药性杂草的发生和发展,且杂草抗药性问题越来越突出。本研究在前期调查的基础上,采集日本看麦娘杂草防除下降区域的草种,通过整株生物测定法来监测该地区的日本看麦娘种群对 ALS 除草剂啶磺草胺、甲基二磺隆和 ACCase 除草剂炔草酯、精噁唑禾草灵的抗药性情况,进而为麦田抗性杂草的有效治理服务。本研究结果表明,兴化市钓鱼镇麦田中的日本看麦娘种群对 ALS 除草剂敏感,但对 ACCase 除草剂产生了抗药性。为了取得有效的杂草防除效果,ACCase 类除草剂已不适合在该地区的麦田使用。

不同除草剂的混用、轮用是延缓杂草产生抗性的有效途径之一,也是有效治理杂草抗性与减少作物田除草剂施用量的途径之一<sup>[17-19]</sup>。本研究通过大田试验,观察不同除草剂组合对日本看麦娘的防效,结果显示,与不除草对照比较,各处理的杂草数量和生物量都明显降低,小麦产量显著提高。在不同处理中,啶磺草胺 + 唑草酮组合能有效防除田间杂草,对总杂草和日本看麦娘的防效均达 90% 以上。同时,该处理的产量为 7 210.05 kg/ $\text{hm}^2$ ,与人工除草处理的产量差异不显著。表明该除草剂组合使用可有效治理包括抗性日本看麦娘在内的田间杂草。在本研究中发现的抗性日本看麦娘种群,其抗性机理还有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 黄世霞,王庆亚,张守栋. 看麦娘生物学特性研究[J]. 江苏农业科学,2006(4):58-60.
- [2] 吴明荣,唐伟,陈杰. 我国小麦田除草剂应用及杂草抗药性现状[J]. 农药,2013,52(6):457-460.
- [3] 康晓霞,袁林泽,周奋启,等. 扬州市邗江区小麦田杂草调查与日本看麦娘的化学防除[J]. 杂草科学,2014,32(3):21-24.
- [4] 李宜慰,梅传生,李永丰,等. 麦田茴草和日本看麦娘对绿黄隆抗性的初步研究[J]. 江苏农业学报,1996,12(2):34-38.
- [5] 许定平. 麦田杂草日本看麦娘对氯/甲磺隆的抗药性测定及其机理初步研究[D]. 北京:中国农业科学院,2002:26-46.

- [6] 李永丰,吴竞仑,王庆亚,等. 日本看麦娘对氯磺隆、异丙隆和骠马的抗药性[J]. 江苏农业学报,2005,21(4):283-287.
- [7] Xu H L, Li J, Zhang D, et al. Mutations at codon position 1999 of acetyl-CoA carboxylase confer resistance to ACCase-inhibiting herbicides in Japanese foxtail (*Alopecurus japonicus*) [J]. Pest Management Science, 2014, 70(12):1894-1901.
- [8] Cui H L, Wang C Y, Han Y J, et al. Cross-Resistance of Japanese foxtail (*Alopecurus japonicus*) to ACCase inhibitors in China [J]. Weed Technology, 2015, 29(3):444-450.
- [9] Bi Y L, Liu W T, Guo W L, et al. Molecular basis of multiple resistance to ACCase- and ALS-inhibiting herbicides in *Alopecurus japonicus* from China [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2016, 126:22-27.
- [10] 杨彩宏,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.
- [11] 祝玮玮,刘艺妮,刘祥英,等. 油菜田看麦娘对精噁唑禾的抗性水平及抗性机理研究[J]. 植物保护,2014,40(5):80-85.
- [12] Seefeldt S S, Fuerst E P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships [J]. Weed Technology, 1995, 9(2):218-227.
- [13] 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.
- [14] 张泽溥. 我国农田杂草治理技术的发展[J]. 植物保护,2004,30(2):28-33.
- [15] 张军高,漆永红,岳德成,等. 玉米田封闭除草剂撒施效果比较[J]. 江苏农业科学,2015,43(9):154-157.
- [16] 王军华,王易芬,陈蕾蕾,等. 除草剂草甘膦微生物降解技术研究进展[J]. 江苏农业科学,2016,44(4):8-12.
- [17] 张朝贤,倪汉文,魏守辉,等. 杂草抗药性研究进展[J]. 中国农业科学,2009,42(4):1274-1289.
- [18] Beckie H J, Reboud X. Selecting for weed resistance; herbicide rotation and mixture [J]. Weed Technology, 2009, 23(3):363-370.
- [19] 张伟星,刘清,徐建伟,等. 噁嗪草酮与五氟磺草胺或双草醚混用对水稻机插秧田杂草的防效及水稻的安全性[J]. 杂草学报,2016,34(3):39-44.