



野黍对东北春大豆生长发育的影响及其经济阈值

李文博, 崔娟, 徐伟, 史树森

(吉林农业大学 植物保护学院/大豆区域技术创新中心, 吉林 长春 130118)

摘要:为明确东北大豆田同期杂草野黍对大豆生长及产量的影响, 探寻防治方法。大田条件下采用添加密度系列试验和拟合方程模型方法, 研究同期杂草野黍对大豆主要农艺性状的影响及两者间的竞争关系, 计算其经济阈值。结果表明: 大豆株高、单株荚数和产量随野黍密度的增加呈降低趋势。对数函数模型拟合大豆产量损失率与野黍密度之间关系最好 $y = 22.102\ln(x) - 42.592$ ($R^2 = 0.977\ 2$; $F = 171.338\ 4$; $P = 0.000\ 2$)。根据经济危害允许水平和对数函数模型, 野黍人工防除的经济阈值为 $15.05\ \text{株}\cdot\text{m}^{-2}$, 95% 精异丙甲草胺乳油、24% 烯草酮 EC、10.8% 高效氟吡甲禾灵 EC 化学防除野黍的经济阈值分别为 8.19 、 7.59 和 $7.67\ \text{株}\cdot\text{m}^{-2}$ 。野黍与大豆争夺田间光照和土壤水肥, 导致大豆严重减产, 采取化学防除野黍具有明显经济优势。

关键词: 野黍; 大豆; 产量; 经济阈值

Effects of [*Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth] on the Growth and Development of Spring Soybean and Its Economic Threshold in Northeast China

LI Wen-bo, CUI Juan, XU Wei, SHI Shu-sen

(College of Plant Protection, Jilin Agricultural University /Innovation Center of Soybean Region Technology, Changchun 130118, China)

Abstract: Aimed to clarify the effect of [*Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth] on soybean growth and yield in Northeast soybean field in the same period and explore prevention method. The effects of main agronomic characteristics of soybean and the competition relationship between *Eriochloa villosa* and soybean was studied with the method of adding densities series test under field conditions and fitting equation model and the economic threshold was calculated. Results showed that increasing density of *Eriochloa villosa* significantly reduced plant height of soybean, soybean pod number per plant and yield under the interference and competition of *Eriochloa villosa*. Logarithmic functioned model $y = 22.102\ln(x) - 42.592$ ($R^2 = 0.977\ 2$; $F = 171.338\ 4$; $P = 0.000\ 2$) could fit the best relationship between the density of *Eriochloa villosa* and the soybean yield loss. According to EIL and the Logarithmic function model, the economic threshold of *Eriochloa villosa* for manual weeding was $15.05\ \text{plant}\cdot\text{m}^{-2}$, and the economic threshold for chemical weeding of 95% s-metolachlor EC, 24% enoxanone EC or 10.8% haloxyfop-P-methyl EC was 8.19 , 7.59 and $7.67\ \text{plant}\cdot\text{m}^{-2}$, respectively. *Eriochloa villosa* competes with soybean for light, water and nutrition of soil in the field, resulting in the yield reduction. Chemical herbicides control for *Eriochloa villosa* has obvious economic advantage.

Keywords: *Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth; Soybean; Yield; Economic threshold

大豆 [*Glycine max* (Linn.) Merr.] 是我国重要的经济作物, 随着全国大豆产区的品种多样性、种植模式及耕作管理制度的改变, 杂草群落也在发生变化^[1-2], 杂草的出苗时间、群落密度、田间分布型等是影响大豆生长与产量的主要因素^[3], 长期以来, 东北春大豆田杂草群落以阔叶类与禾本科两类为主, 禾本科杂草在数量上一直占据优势地位^[4-5]。野黍作为东北地区大豆-玉米轮作田的优势杂草、密度大、发生重, 严重地地块减产率高达 70%^[6]。近

年, 随着野黍发生频率增加, 蔓延加剧、抗药性增强, 已成为东北春大豆田的主要杂草^[7]。野黍 [*Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth], 别名拉拉草, 隶属于禾本科 (Gramineae)、野黍属 (*Eriochloa* Kunth), 是一年生草本植物。国外分布于日本、印度等, 国内广布于全国各地, 因谷粒内含淀粉, 饲用、食用价值较高^[8]。该草喜光、喜湿, 耐酸碱, 生长于田边、荒地、山坡及林缘周边等地^[9]。野黍种粒大、分布不规则、根部分蘖能力强、除草剂吸收率较低, 自然传

收稿日期: 2019-03-08

基金项目: 吉林省科技发展规划 (20180201015NY); 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-04)。

第一作者简介: 李文博 (1989-), 男, 博士, 主要从事害虫综合治理研究。E-mail: 619162463@qq.com。

通讯作者: 史树森 (1963-), 男, 博士, 教授, 博导, 主要从事农业有害生物综合治理研究。E-mail: sss-63@263.net;

徐伟 (1971-), 女, 博士, 副教授, 主要从事昆虫化学生态研究。E-mail: xuwei1996@163.com。

播能力较弱,造成作物生长发育不良^[6,10]。

有关野黍报道多集中于防治方面,何付丽等^[11]通过盆栽试验测定烯草酮等多种药剂防治野黍时发现,三叶期之前施药效果在 90% 以上。郭玉莲等^[12]研究了 15 种除草剂对野黍的防除效果,其中 3 种经过土壤处理的除草剂和 4 种茎叶处理的除草剂防除野黍的效果均达到 100%。目前,田间同期杂草野黍对大豆生长发育的影响及经济阈值等方面的研究尚未见报道。经济阈值(economic threshold)指当防治的有害生物发生量大于经济受害允许水平所采取防治措施时的有害生物发生量,其中,作物产量、市场价格与防除费用是计算经济阈值的关键^[13-14]。如朱文达等^[15]研究千金子与水稻产量损失率间关系符合二次函数,依据产量 $7\,500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、收购价格 $1.5\text{ 元}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、药剂费用 $450\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 等计算出经济危害允许水平为 2.53%,最后得出千金子防除经济阈值为 $0.76\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$ 。为明确大豆与田间同期杂草野黍间的竞争关系及经济阈值,本试验采用添加密度方法研究不同密度的野黍对大豆生长与产量性状的影响,建立野黍与大豆产量损失率之间最佳回归模型,明确田间大豆的经济危害允许水平及防除野黍经济阈值,为制定东北春大豆田野黍的防除指标与防治策略提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验田概况

试验于吉林农业大学大豆试验田内进行,试验地块为典型大豆-玉米轮作田,前茬作物为玉米,地势平坦、肥力均匀,土质为黑钙土。各试验小区按常规栽培方式管理,期间的施肥、灌水及病虫害防治措施均相同。供试品种为吉农 38(由吉林农业大学大豆区域技术创新中心提供),大豆播种密度 $24\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

1.2 试验设计

大豆播种日期为 2018 年 5 月 3 日,收获日期为 10 月 3 日。试验共设 7 个密度处理,分别为 0(对照),10,20,40,60,80 和 $100\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$,每个处理 4 次重复,共计 28 个小区,小区面积 1 m^2 ,随机区组排列。各小区间依据试验设置的密度,采取自然出草结合人工拔除方式处理,待野黍 4 叶期时定株,每隔 7 d 检查 1 次,控制各处理区野黍密度,人工拔除其它杂草,野黍与大豆同期出苗生长。

根据 2018 年长春地区大豆生产情况,设大豆产量为 $2\,500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,收购价为 $3.4\text{ 元}\cdot\text{kg}^{-1}$ (天下粮仓网 <http://www.cofeed.com/>)。防除野黍采用人工除草与喷施化学除草剂两种方式,对比经济阈值。

1.3 调查方法

大豆成熟期,每个小区随机抽取中间 2 行 20 株大豆,分别调查单株的株高、节数、有效荚数和空荚数等,大豆开花结荚期时调查株高。各小区收获后,分别用网袋分装,存放于干燥处标记,自然晾干,再称取百粒重、实际产量。

1.4 数据处理

数据采用 Excel 2007 记录,SPSS 18.0 进行显著性分析,结合新复极差法 Duncan 进行多重比较。构建不同密度野黍与大豆产量性状测定值的回归模型,根据 R^2 与 F 值分析选择最佳拟合方程^[16]。根据野黍密度与大豆产量损失率拟合模型和经济危害允许水平,计算防除野黍的经济阈值。

经济危害允许水平(EIL)计算公式为 $EIL(\%) = [CC/(Y \times P \times E)] \times 100$,其中, CC 为杂草防除费用, Y 为大豆预期产量, P 为大豆价格, E 为防除效果^[17]。

2 结果与分析

2.1 野黍密度对大豆植株生长发育的影响

大豆收获期的株高、节数与野黍密度呈显著负相关,节间距则呈显著正相关,但大豆结荚期的株高差异不显著(表 1)。随野黍密度增加节数递减,当野黍密度从 $0\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$ 增加至 $60\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,大豆节数减少 4 节,减少了 26.47%。说明野黍严重干扰大豆正常生长。野黍密度与大豆收获期株高、节数、节间距关系符合回归模型,其中,线性函数 $y = 104.717 - 0.092x$ ($R^2 = 0.893\,8$, $F = 42.066\,0$, $P = 0.001\,3$)、指数函数 $y = 15.142e^{(-0.004x)}$ ($R^2 = 0.961\,1$, $F = 123.413\,7$, $P = 0.000\,1$)、复合函数 $y = 6.918(1.003^x)$, $R^2 = 0.925\,7$, $F = 62.308\,0$, $P = 0.000\,5$)分别能够较好拟合野黍密度与收获期株高、节数、节间距的数量关系。

2.2 野黍密度对大豆产量性状的影响

如表 2 所示,大豆单株荚数随野黍密度的增加而下降。当野黍密度为 $10\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,单株荚数较对照($0\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$)下降 5.19%,当密度增加至 $100\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,下降幅度最高达到 47.39%。说明野黍的生长严重干扰了大豆结荚率。大豆空荚率由 4.77% 增加到 22.84%,增幅率高达 378.83%。大豆产量也随野黍密度增加呈显著负相关。当野黍密度增至 $10\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$,与对照($0\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$)相比差异显著,大豆产量损失率为 8.11%;当野黍密度增至 $100\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,产量损失率达到最高的 60.60%。大豆各产量性状间均呈显著正相关或负相关,可见,野黍严重影响大豆的产量。

表 1 不同密度野黍对大豆生长的影响

Table 1 Effects of different densities of [*Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth] on soybean growth

| 野黍密度 Weed density /(株·m ⁻²) | 结荚期株高 Plant height at podding stage/cm | 收获期株高 Plant height at harvest period/cm | 节数 Node number | 节间距 Internode length /cm |
|---|--|---|-------------------|--------------------------------|
| 0 | 87.70 ± 5.79 a | 104.18 ± 1.46 ab | 15.30 ± 0.48 a | 6.81 ± 0.25 e |
| 10 | 85.90 ± 5.15 a | 103.43 ± 1.77 ab | 14.43 ± 0.43 b | 7.17 ± 0.18 d |
| 20 | 90.95 ± 6.37 a | 105.18 ± 1.37 a | 14.05 ± 0.05 b | 7.48 ± 0.08 c |
| 40 | 92.60 ± 12.35 a | 100.00 ± 3.67 bc | 13.26 ± 0.13 c | 7.54 ± 0.27 c |
| 60 | 87.33 ± 7.79 a | 98.75 ± 2.26 c | 11.25 ± 0.31 d | 8.78 ± 0.31 b |
| 80 | 89.55 ± 4.11 a | 96.63 ± 4.91 c | 11.33 ± 0.25 d | 8.53 ± 0.31 b |
| 100 | 90.48 ± 3.69 a | 96.43 ± 4.25 c | 10.31 ± 0.13 e | 9.35 ± 0.30 a |

同列不同小写字母表示各处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。
Different lowercase in the same column indicated significant difference at 0.05 level. The same below.

表 2 不同密度野黍对大豆产量相关性状的影响

Table 2 Effects of different densities of [*Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth] on soybean yield related characteristics

| 野黍密度 Weed density /(株·m ⁻²) | 单株荚数 Pods per plant | 空荚率 Empty pods rate/% | 百粒重 100-seed weight/g | 小区产量 Plot yield /(kg·m ⁻²) | 产量损失率 Soybean yield loss rate/% |
|---|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|---------------------------------------|
| 0 | 41.40 ± 0.30 a | 4.77 ± 0.24 e | 21.42 ± 0.44 a | 183.38 ± 3.33 a | 0 |
| 10 | 39.25 ± 1.01 b | 5.75 ± 0.83 e | 21.31 ± 1.00 ab | 170.13 ± 4.31 a | 8.11 |
| 20 | 35.74 ± 0.68 c | 7.82 ± 1.19 d | 21.10 ± 0.70 ab | 140.75 ± 9.60 b | 26.09 |
| 40 | 30.40 ± 0.60 d | 9.41 ± 0.95 d | 20.81 ± 0.77 abc | 122.88 ± 23.08 c | 37.03 |
| 60 | 29.42 ± 0.27 e | 15.40 ± 1.17 c | 20.76 ± 0.32 abc | 113.00 ± 9.06 c | 43.08 |
| 80 | 23.58 ± 0.48 f | 20.35 ± 2.00 b | 20.50 ± 0.30 bc | 89.75 ± 7.35 d | 57.31 |
| 100 | 21.78 ± 0.75 g | 22.84 ± 1.07 a | 20.22 ± 0.72 c | 84.38 ± 3.77 d | 60.60 |

2.3 野黍与大豆产量损失的曲线回归分析

采用5种模型拟合了野黍密度与大豆产量损失率之间曲线关系,结果如表3所示,回归分析效果依次为:对数函数>二次函数>线性函数>幂函数>指数函数,对数函数拟合效果最好,其次是二次函

数、线性函数,指数函数拟合效果最差。依据模型效果(R^2 、 F 及显著性)分析得出对数函数 $y = 22.102\text{Ln}(x) - 42.592$ ($R^2 = 0.977\ 2$; $F = 171.338\ 4$; $P = 0.000\ 2$)能够最好地拟合野黍密度与大豆产量损失率间的关系($P < 0.001$)。

表 3 不同密度野黍与大豆产量损失的回归分析

Table 3 Regression analysis between [*Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth] density and yield loss of soybean

| 拟合方式 Fit method | 回归模型 Regression model | R^2 | F | 显著性 Significance |
|------------------------------|-----------------------------------|--------|----------|---------------------|
| 线性函数 Linear function | $y = 0.545x + 10.543$ | 0.9303 | 53.3480 | 0.0020 |
| 对数函数 Logarithmic function | $y = 22.102\text{Ln}(x) - 42.592$ | 0.9772 | 171.3384 | 0.0002 |
| 二次函数 Quadratic function | $y = 2.404 + 1.006x - 0.004x^2$ | 0.9667 | 42.3687 | 0.0063 |
| 幂函数 Power function | $y = 1.639x^{0.812}$ | 0.9208 | 46.5369 | 0.0024 |
| 指数函数 Exponential function | $y = 12.563e^{0.018x}$ | 0.7387 | 11.3123 | 0.0282 |

2.4 大豆田野黍经济危害允许水平及经济阈值

长春地区的人工除草费用约1 400元·hm⁻²,共防除两次,效果达到95%。使用药剂除草时,除计算药剂费用,还需附加一定的施药费用。防除野黍不同生长期所用药剂也不同,苗前可选择95%精异丙甲草胺乳油,苗后采用24%烯草酮乳油和10.8%高效氟吡甲禾灵乳油进行防除,3种除草药剂费用分别为316,150和200元·hm⁻²(药剂费用+人工费),除草效果80%~95%左右。野黍的经

济危害允许水平因防除方法不同也存在差异(表4)。人工防除、95%精异丙甲草胺乳油、24%烯草酮乳油及10.8%高效氟吡甲禾灵乳油防除野黍对应的经济危害允许水平分别为17.34%、3.91%、2.21%和2.45%。
根据大豆经济危害允许水平,由拟合的野黍密度与大豆产量损失关系模型 $y = 22.102\text{Ln}(x) - 42.592$ 可推算出大豆田野黍的经济阈值,结果显示,人工防除野黍的经济阈值为15.05株·m⁻²,

95% 精异丙甲草胺乳油、24% 烯草酮乳油和 10. 8% 高效氟吡甲禾灵乳油防除野黍的经济阈值分别为 8. 19, 7. 59 和 7. 67 株·m⁻²。通过比较经济阈值可知, 药剂防除豆田野黍的经济优势大于人工防除。

表 4 野黍的经济危害允许水平及经济阈值

| 防除措施 Control measure | 防除费用 Control cost / (yuan·hm ⁻²) | 防除效果 Efficacy/% | 经济危害允许水平 Economic infestation level/% | 经济阈值 Economic threshold /(plant·m ⁻²) |
|--|---|--------------------|---|--|
| 人工除草 Manual weeding | 1400 | 95 | 17. 34 | 15. 05 |
| 95% 精异丙甲草胺乳油 95% essential metolachlor EC | 316 | 95 | 3. 91 | 8. 19 |
| 24% 烯草酮乳油 24% clethodim EC | 150 | 80 | 2. 21 | 7. 59 |
| 10. 8% 高效氟吡甲禾灵乳油 10. 8% haloxyfop-P EC | 200 | 96 | 2. 45 | 7. 67 |

3 讨 论

农田生态系统中, 杂草不断与作物争夺土壤养分、水肥、光热等资源, 严重干扰作物的生长与产量^[18-19], 一般通过数学模型的构建来表示杂草与作物间的竞争关系^[20]。不同地区大豆田的地理环境、土壤性质、耕作模式等差异, 使得杂草群落丰富度、均匀度、优势种等存在差异, 导致建立的杂草密度与产量及产量损失之间的数学模型也存在差异^[21-22]。如李秉华等^[23]研究表明夏玉米田杂草密度与产量损失率符合指数方程, 崔娟等^[16]认为大豆产量损失率与稗草密度之间线性函数拟合最佳, 胡发广等^[24]报道了大豆产量损失率与鬼针草密度之间符合对数函数, 董莉环等^[25]同样以二次函数、对数函数分别拟合出酸模叶蓼密度与大豆产量、产量损失率的曲线关系等。本研究结果与前人报道结果相似, 野黍密度与大豆产量损失率的关系符合对数函数 $y = 22. 102\text{Ln}(x) - 42. 592$ ($R^2 = 0. 977\ 2$; $F = 171. 338\ 4$; $P = 0. 000\ 2$)。

目前, 生产上大豆田防除杂草仍以人工除草与药剂防治两种方式为主, 前者成本较高、费时费力, 化药除草虽能减轻农业劳动强度、适合大面积喷洒、降低生产成本、有助于作物产量的提高等, 但长期使用会破坏生态环境, 杂草也会产生抗性^[26-27]。杂草危害的经济阈值指作物增收效益与杂草防除效益相等时的杂草数量^[28]。防除杂草必要性取决于杂草密度、作物产量、防除成本等, 此外, 还需考虑作物生产技术水平、气候变化和田间杂草发生规律等因素^[29-30]。本研究明确防除野黍与大豆竞争过程中, 人工除草防效最低, 24% 烯草酮乳油防效最好, 经济阈值分别为 7. 59 和 15. 05 株·m⁻², 即当野黍密度为 7. 59 ~ 15. 05 株·m⁻²时应该实施相应的防除措施。本试验结果能够为实际防除野黍时制定当地的经济阈值提供参考。

4 结 论

东北春大豆田间同期杂草野黍可与大豆争夺生长空间、干扰大豆生长、降低大豆产量。随着野黍密度的增加, 大豆产量损失率逐渐增大, 大豆产量损失率与野黍密度之间关系符合对数函数 $y = 22. 102\text{Ln}(x) - 42. 592$ ($R^2 = 0. 977\ 2$; $F = 171. 338\ 4$; $P = 0. 000\ 2$)。根据大豆产量损失率与野黍密度之间关系, 结合当年(2018)不同除草方式成本和大豆市场价格, 推算出人工防除与 95% 精异丙甲草胺乳油、24% 烯草酮 EC 和 10. 8% 高效氟吡甲禾灵 EC 3 种除草剂防除野黍时的经济阈值分别为 15. 05, 8. 19, 7. 59 和 7. 67 株·m⁻²。相比之下, 化学除草方法成本更低、效果更好, 在大豆田防除野黍时使用化学除草剂具有明显的经济优势。

参考文献

[1] 赵玉信, 杨惠敏. 作物格局、土壤耕作和水肥管理对农田杂草发生的影响及其调控机制[J]. 草业学报, 2015, 24(8): 199-210. (Zhao Y X, Yang H M. Effects of crop pattern, tillage practice and water and fertilizer management on weed and their control mechanisms [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2015, 24 (8): 199-210.)

[2] 高同彬. 窄行平作密植大豆田化学除草技术研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2003. (Gao T B. Studies on the technique of chemical weed control in narrow-row solid-seeding soybean field [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2003.)

[3] Jeschke M R, Stoltzenberg D L, Kegode G O, et al. Predicted soybean yield loss as affected by emergence time of mixed-species weed communities[J]. Weed Science, 2011, 59: 416-423.

[4] 金焕贵, 张世斌, 陈亿兵. 烯草酮乳油防除春大豆田一年生禾本科杂草药效试验[J]. 黑龙江农业科学, 2010(6): 70-72. (Jin H G, Zhang S B, Chen Y B. Field efficacy trials of Clethodim Emulsifiable Concentrate (EC) on annual grass family weeds in spring soybean field [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2010 (6): 70-72.)

[5] 关成宏, 董爱书, 李海燕. 黑龙江垦区杂草群落演变情况分析 及防控要点[J]. 现代化农业, 2018(9): 2-5. (Guan C H, Dong

A S, Li H Y. Analysis on the evolution of weed communities in Heilongjiang reclamation area and key points for control and prevention[J]. Modern Agriculture, 2018(9): 2-5.)

[6] 于文. 恶性杂草野黍防治技术[J]. 现代化农业, 2007(6): 7. (Yu W. Control technology of malignant weeds and wild millet [J]. Modern Agriculture, 2007(6): 7.)

[7] 黄春艳, 陈铁保, 王宇, 等. 高效盖草能加助剂对野黍防除效果的评价[J]. 杂草科学, 2005(2): 41-43. (Huang C Y, Chen T B, Wang Y, et al. Evaluation of control effect of high efficiency covering herb and additive on *Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth[J]. Weed Science, 2005(2): 41-43.)

[8] 陈守良. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1990, 10(1): 275. (Chen S L. Flora of China[M]. Beijing: Science Press, 1990, 10(1): 275.)

[9] 贾金蓉, 马诚义, 马红. 野黍种子休眠特性及破除方法[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(14): 88-91. (Jia J R, Ma C Y, Ma H. Dormancy characteristics and breaking methods of millet seeds [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(14): 88-91.)

[10] 席振海, 胡远富, 于文, 等. 大豆田恶性杂草—野黍的防治[J]. 现代化农业, 2002(12): 9. (Xi Z H, Hu Y F, Yu W, et al. Control of malignant weeds in soybean field-[*Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth] [J]. Modern Agriculture, 2002(12): 9.)

[11] 何付丽, 陈丽丽, 郭晓慧, 等. 稀禾啉、烯草酮等 6 种除草剂对不同叶龄期野黍的防治效果比较[J]. 作物杂志, 2013(1): 112-116. (He F L, Chen L L, Guo X H, et al. Control effects of six herbicides on different leaf age *Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth[J]. Crops, 2013(1): 112-116.)

[12] 郭玉莲, 黄春艳, 黄元炬, 等. 15 种除草剂对野黍的防治效果[J]. 杂草科学, 2014, 32(1): 127-129. (Guo Y L, Huang C Y, Huang Y J, et al. Efficacy of 15 herbicides on *Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth[J]. Weed Science, 2014, 32(1): 127-129.)

[13] 王小奇. 斑鞘豆叶甲发生危害规律及其经济阈值[D]. 长春: 吉林农业大学, 2017: 6. (Wang X Q. The occurrence, damage-regularity and economic threshold of *Colposcelis signata* (Motschulsky) [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2017: 6.)

[14] Takuro U. Ecological threshold and ecological economic threshold: Implications from an ecological economic model with adaptation [J]. Ecological Economics, 2013, 93: 374-380.)

[15] 朱文达, 周普国, 何燕红, 等. 千金子对水稻生长和产量性状的影响及其防治经济阈值[J]. 南方农业学报, 2018, 49(5): 863-869. (Zhu W D, Zhou P G, He Y H, et al. Influence of *Leptochloa chinensis* (L.) nees. on growth and yield properties of rice and its economic threshold of control [J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(5): 863-869.)

[16] 崔娟, 董莉环, 吴磊, 等. 同期稗草对东北春大豆生长的影响及其经济阈值[J]. 大豆科学, 2016, 35(6): 992-996. (Cui J, Dong L H, Wu L, et al. Influence of *Echinochloa crusgalli* on the growth of spring soybean and its economic threshold in Northeast China[J]. Soybean Science, 2016, 35(6): 992-996.)

[17] 吴尚, 张纪利, 李保同, 等. 千金子对水稻生长的影响及其经济阈值[J]. 中国农业科学, 2015, 48(3): 469-478. (Wu S, Zhang J L, Li B T, et al. Influence of *Leptochloa chinensis* on the growth of paddy rice and its economic threshold [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 43(3): 469-478.)

[18] 王宇, 黄春艳, 黄元炬, 等. 不同杂草群落对黑龙江春大豆产量损失的影响[J]. 中国植保导刊, 2014, 34(6): 9, 10-12. (Wang Y, Huang C Y, Huang Y J, et al. Influence of different weed communities on yield loss of spring soybean in Heilongjiang province [J]. China Plant Protection, 2014, 34(6): 9, 10-12.)

[19] Chauhan B S, Johnson D E. Phenotypic plasticity of *Chinese sprangletop* (*Leptochloa chinensis*) in competition with seeded rice [J]. Weed Technology, 2011, 25: 652-658.)

[20] Cousens R. A simple model relating yield loss to weed density[J]. Annals of Applied Biology, 1985, 107: 239-252.)

[21] Holst N, Rasmussen I A, Bastiaans L. Field weed population dynamics: A review of model approaches and applications [J]. Weed Research, 2007, 47(1): 1-14.)

[22] 李伟杰. 黑龙江省北部地区大豆田杂草发生危害调查及化学防治研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014. (Li W J. Studies on damage investigation and chemical control of soybean weeds in the north of Heilongjiang province [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.)

[23] 李秉华, 王贵启, 许贤, 等. 免耕夏玉米田杂草生态经济阈值研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(15): 173-176. (Li B H, Wang G Q, Xu X, et al. Research on weed eco-economic threshold in no-tillage summer corn field [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(15): 173-176.)

[24] 胡发广, 吕玉兰. 鬼针草与大豆的竞争及防除阈值[J]. 杂草科学, 2009(2): 30-33. (Hu G F, Lyu Y L. Competition and control threshold of *Bidens Bidens* and soybean [J]. Weed Science, 2009(2): 30-33.)

[25] 董莉环, 崔娟, 吴磊, 等. 酸模叶蓼对大豆生长的影响及其经济阈值[J]. 中国农学通报, 2017, 33(15): 15-20. (Dong L H, Cui J, Wu L, et al. Effects of *Polygonum lapathifolium* on soybean growth and its economic threshold [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(15): 15-20.)

[26] 徐高峰, 张付斗, 李天林, 等. 奇异蒺藜和小子蒺藜生物学特性及其对小麦生长的影响和经济阈值研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(21): 4409-4417. (Xu G F, Zhang F D, Li T L, et al. Biological characteristics, influence on growth of wheat and its economical threshold of *Phalaris paradoxa* L. and *Phalaris minor* Retz [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(21): 4409-4417.)

[27] 梁丽娜, 郭平毅, 李奇峰. 中国除草剂产业现状、面临的问题及发展趋势[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 321-323. (Liang L N, Guo P Y, Li Q F. China herbicides industry present situation, question and development trend [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(10): 321-323.)

[28] 田兴山, 岳茂峰, 冯莉, 等. 豚草对花生产量性状的影响及其经济阈值[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(3): 300-304. (Tian X S, Yue M F, Feng L, et al. Influence of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) on peanut yield and economic threshold [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2012, 34(3): 300-304.)

[29] 朱文达, 颜冬冬, 曹堃程, 等. 紫茎泽兰对花生生长的影响及其经济阈值[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(5): 518-522. (Zhu W D, Yan D D, Cao A C, et al. Effects of *Eupatorium adenophorum* on growth of peanut and its economic threshold [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2012, 34(5): 518-522.)

[30] 曹堃程, 颜冬冬, 朱文达, 等. 紫茎泽兰对小葱生长的影响及其经济阈值[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2018, 38(2): 47-52. (Cao A C, Yan D D, Zhu W D, et al. Effects and the economic threshold of *Eupatorium adenophorum* on the growth of *Allium ascalonicum* [J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2018, 38(2): 47-52.)