



董淑琦,翟旭涛,胡春艳,郭振宇,杨雪芳,宋喜娥,郭平毅,原向阳.小麦秸秆及浸提液对4种谷田杂草的化感防除作用[J].中国农业大学学报,2023,28(06):113-123.  
DONG Shuqi, ZHAI Xutao, HU Chunyan, GUO Zhenyu, YANG Xuefang, SONG Xi'e, GUO Pingyi, YUAN Xiangyang. Allelopathic control effects of wheat straw and extracts on four kinds of weeds in foxtail millet field[J]. Journal of China Agricultural University, 2023, 28(06): 113-123.  
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2023.06.10

## 小麦秸秆及浸提液对4种谷田杂草的化感防除作用

董淑琦<sup>1</sup> 翟旭涛<sup>2</sup> 胡春艳<sup>2</sup> 郭振宇<sup>2</sup> 杨雪芳<sup>1</sup> 宋喜娥<sup>1</sup> 郭平毅<sup>1</sup> 原向阳<sup>1\*</sup>

(1. 山西农业大学 农学院, 山西 太谷 030801;

2. 山西农业大学 植物保护学院, 山西 太谷 030801)

**摘要** 为探究利用小麦秸秆及浸提液对谷田杂草的化感作用。室内试验设置小麦秸秆浸提液1(T<sub>1</sub>)、2(T<sub>2</sub>)、10(T<sub>3</sub>)、100 g/L(T<sub>4</sub>)共4个处理和对照(CK<sub>1</sub>, 0 g/L),测定对稗草(*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv)、反枝苋(*Amaranthus retroflexus* L.)、狗尾草(*Setaria viridis* (L.) Beauv)、藜(*Chenopodium album* L.)4种杂草种子发芽率、根长、芽长、发芽化感指数、根长化感指数、芽长化感指数、综合化感指数的影响;田间试验设置0(CK<sub>2</sub>)、2 250(W<sub>1</sub>)、4 500(W<sub>2</sub>)、9 000 kg/hm<sup>2</sup>(W<sub>3</sub>)4种小麦秸秆覆盖还田量,50%(P<sub>1</sub>)、70%(P<sub>2</sub>)、100%(P<sub>3</sub>)3种地膜覆盖遮光处理,测定4种田间杂草的株数、密度、盖度和防效等指标。结果表明,T<sub>1</sub>处理的小麦秸秆浸提液对4种谷田杂草种子化感指数最大,化感抑制效果最强,对4种杂草种子萌发的抑制效果由高到低为:藜>反枝苋>狗尾草>稗草,化感指数分别为-0.85、-0.77、-0.71和-0.34;T<sub>1</sub>处理对藜、狗尾草、反枝苋杂草种子萌发表现为化感促进作用,促进效果由强到弱为:狗尾草(0.14)>藜(0.05)>反枝苋(0.02),对稗草种子萌发表现为化感抑制作用;T<sub>2</sub>处理对4种杂草的芽长均表现为化感促进作用;T<sub>3</sub>处理对狗尾草和稗草的根长表现为化感抑制作用,对藜和反枝苋表现为化感促进作用;T<sub>4</sub>处理对4种谷田杂草的综合化感效应由高到低为:狗尾草>反枝苋>藜>稗草。与无秸秆覆盖处理相比,W<sub>3</sub>(9 000 kg/hm<sup>2</sup>)处理在3次中雨5 d后,藜的发生密度分别降低69.39%、64.29%和43.34%,杂草总盖度分别降低22.04%、41.98%、12.49%。随着秸秆覆盖时间的延长,降雨场次增加,杂草密度先降低后升高,杂草盖度逐渐降低,随着秸秆覆盖量从2 250增加到9 000 kg/hm<sup>2</sup>,杂草株防效从20%增加到60%以上。因此,100 g/L小麦秸秆浸提液对4种杂草种子萌发、根长、芽长的抑制效果最为显著,9 000 kg/hm<sup>2</sup>小麦秸秆覆盖可应用于谷田杂草防除。

**关键词** 小麦秸秆; 浸提液; 杂草防除; 化感作用

中图分类号 S451;S512.1.1

文章编号 1007-4333(2023)06-0113-11

文献标志码 A

## Allelopathic control effects of wheat straw and extracts on four kinds of weeds in foxtail millet field

DONG Shuqi<sup>1</sup>, ZHAI Xutao<sup>2</sup>, HU Chunyan<sup>2</sup>, GUO Zhenyu<sup>2</sup>, YANG Xuefang<sup>1</sup>,  
SONG Xi'e<sup>1</sup>, GUO Pingyi<sup>1</sup>, YUAN Xiangyang<sup>1\*</sup>

(1. College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

2. College of Plant Protection, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

**Abstract** In order to explore the allelopathy of wheat straw and extract on weeds in foxtail millet fields, four treatments of wheat straw aqueous extract 1(T<sub>1</sub>), 2(T<sub>2</sub>), 10(T<sub>3</sub>), 100 g/L(T<sub>4</sub>) and control (CK<sub>1</sub>, 0 g/L) were set up to determine their effects on seed germination rate, root length, bud length, germination allelopathy index, root length

收稿日期: 2022-08-24

基金项目: 山西农业大学省部共建有机旱作农业国家重点实验室自主研发项目(202003-5);国家谷子高粱产业技术体系(CARS-06-14, 5-A28);国家重点研发计划(2021YFD1901103-5);山西省粮食系统研发项目(202001);山西省现代谷子产业技术体系(GZTX202211);山西省回国留学人员科研项目(2020-068)

第一作者: 董淑琦(ORCID:0000-0002-0749-2808),副教授,主要从事植物化感作用、生物防除农田杂草与现代杂粮生产等研究,E-mail,dong-s-q@163.com

通讯作者: 原向阳(ORCID:0000-0001-6792-6201),教授,主要从事作物化学调控、化学除草与现代杂粮生产等研究,E-mail,yuanxiangyang200@163.com

allelopathy index, bud length allelopathy index and comprehensive allelopathy index of four weeds *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv., *Amaranthus retroflexus* L., *Setaria viridis* (L.) Beauv. and *Chenopodium album* L. In the field experiment, four wheat straw mulching treatments 0(CK), 2 250(W<sub>1</sub>), 4 500(W<sub>2</sub>), 9 000 kg/hm<sup>2</sup> (W<sub>3</sub>) and three plastic film mulching treatments 50% (P<sub>1</sub>), 70% (P<sub>2</sub>), 100% (P<sub>3</sub>) were set up to measure the number, density, coverage and control effect of 4 kinds of weeds in the field. The results show that the water extract of wheat straw treated with T<sub>4</sub> had the highest allelopathic index and the strongest allelopathic inhibition effect on the seeds of four kinds of weeds in the foxtail millet field. The inhibition effect on the seed germination of four kinds of weeds from high to low was as follows: *C. album* > *A. retroflexus* > *S. viridis* > *E. crusgalli*. And the allelopathy index were respectively -0.85, -0.77, -0.71 and -0.34; T<sub>1</sub> showed allelopathic promoting effect on the germination of weed seeds of *C. album*, *S. viridis* and *A. retroflexus*, and the promoting effect from strong to weak was as follows: *S. viridis*(0.14) > *C. album*(0.05) > *A. retroflexus*(0.02). And the allelopathic inhibiting effect was discovered on the germination of *E. crusgalli* seeds; T<sub>2</sub> showed allelopathic promotion on the bud length of four weeds; T<sub>3</sub> showed allelopathic inhibition on root length of *S. viridis* and *E. crusgalli* and allelopathic promotion on *C. album* and *A. retroflexus*; the allelopathic effects of T<sub>4</sub> on four kinds of cereal weeds from high to low was: *S. viridis* > *A. retroflexus* > *C. album* > *E. crusgalli*. Compared with the treatment without straw mulch, the occurrence density of *C. album* decreased respectively by 69.39%, 64.29% and 43.34% in W<sub>3</sub> (9 000 kg/hm<sup>2</sup>) after 3 times of moderate rain for five days, and the total coverage of weeds decreased by 22.04%, 41.98% and 12.49% respectively. With the extension of straw mulching time, the number of rainfall increased, the density of weeds decreased first and then increased, and the coverage of weeds gradually decreased. With the increase of straw coverage from 2 250 to 9 000 kg/hm<sup>2</sup>, the control effect of weed plants increased from 20% to more than 60%. Therefore, the 100 g/L extract of wheat straw has the most significant inhibition effect on the seed germination, root length and bud length of four weeds, and 9 000 kg/hm<sup>2</sup> wheat straw mulch can be used to control weeds in foxtail millet fields.

**Keywords** wheat straw; extract; weeds control; allelopathic effects

谷子(*Setaria italica* L.)起源于中国,是目前世界上栽培最久的杂粮作物之一,距今有 7 300 多年的栽培历史,即使在水稻北移和小麦引入后,谷子依然是北方旱作农业的主栽作物<sup>[1]</sup>。谷子具有抗旱、耐瘠、适应性强、营养丰富、粮饲兼备等优点,在农业农村部下发了镰刀湾地区玉米结构调整指导意见下,玉米种植面积减少,谷子种植面积逐年升高,而谷田杂草种类繁多,抗逆性强<sup>[2]</sup>,且谷田登记除草剂仅有 2~3 种,谷田除草主要依靠效率低、成本高的人工除草方式进行。因此,草害严重影响谷子的产量,制约谷子产业化发展<sup>[3-4]</sup>。

目前,我国的秸秆以肥料利用为主<sup>[5]</sup>,秸秆还田可以增加土壤有机质,改良土壤结构,促进微生物活力和作物根系发育,改变土壤真菌和细菌群落变化<sup>[6-10]</sup>。秸秆还田不仅有增肥增产作用,而且还可以提高水分利用率,减少化肥和农药的使用,降低碳排放,实现碳中和,是促进农业生产可持续发展的一种措施<sup>[11-12]</sup>。

化感作用是指植物向环境中释放代谢物质,即化感物质,对其他植物、微生物、昆虫产生直接或间接的促进或抑制作用<sup>[13-14]</sup>。植物的化感作用是一种

普遍存在的自然现象,在农业生产中应用广泛,应用化感物质的促进作用,建立作物间的混作、间作、套作等种植组合模式,同时通过作物轮作等保护生物多样性,减少化感物质造成的负面影响<sup>[15]</sup>,本团队研究了谷子秸秆残留的化感物质在不同浓度对玉米和冬小麦的种子发芽和苗期生长中都会产生一定的影响<sup>[16-17]</sup>。另外,油菜和小麦两种秸秆的浸出液均能促进水稻生长,且油菜秸秆浸出液的促进效果强于小麦<sup>[18]</sup>,为作物轮作倒茬提供参考。同时利用化感作用防除杂草也受到人们越来越多的关注,国内外已有许多利用化感作用进行田间杂草防除的研究报道<sup>[19-24]</sup>,Robson 等<sup>[25]</sup>研究显示蓖麻、棉叶珊瑚花等物种水浸提液对鬼针草种子的萌发和幼苗生长都表现出抑制作用。李春花等<sup>[26]</sup>研究表明荞麦秸秆还田量为 4 800 kg/hm<sup>2</sup> 时,禾本科及阔叶杂草的株数和鲜重与对照相比明显下降,防除效果显著。Crawford 等<sup>[27]</sup>证实谷类作物秸秆覆盖可以降低毛豆田杂草 20% 的出苗率,同时对杂草幼苗生长具有抑制作用。

小麦秸秆对杂草的化感作用已有较多研究,小麦秸秆浸提液不仅对黄芩、桔梗、党参等中药材种子

萌发及幼苗生长有一定的影响<sup>[28-29]</sup>,对田间杂草的种子萌发也有很大影响<sup>[30-31]</sup>。小麦秸秆在本地区较为常见,但关于小麦秸秆对谷田杂草化感作用的研究报道较少,本研究拟通过设置不同浓度的小麦秸秆浸提液和不同秸秆覆盖量,测定4种杂草种子萌发、根长、芽长及谷田杂草盖度、密度、株数、防效等指标,旨在探究小麦秸秆对杂草的化感防除作用,以期小麦秸秆覆盖还田在谷田应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试小麦秸秆于晋中市太谷区山西农业大学农作站(37°25' N, 112°34' E)收集,将其晾干后剪成3 cm小段,保存备用。供试杂草藜(*Chenopodium album* L.)、狗尾草(*Setaria viridis* (L.) Beauv)、稗草(*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv)、反枝苋(*Amaranthus retroflexus* L.)种子于农作站谷子田间采集。

### 1.2 试验设计

#### 1.2.1 小麦秸秆浸提液制备

将小麦秸秆晾干后用高速粉碎机粉碎,过80目筛,得到小麦秸秆干粉。将秸秆干粉与蒸馏水以1:10的质量比充分混合于烧杯中,待溶解后置于超声仪中超声提取30 min,静置3~5 min后用纱布过滤,除去残渣。将滤出液以6 400 r/min的转速离心3 min,得到的上清液即为小麦秸秆浸提液原液,质量浓度为100 g/L。将小麦秸秆浸提液原液用蒸馏水稀释10倍(10 g/L)、50倍(2 g/L)、100倍(1 g/L)4个处理浓度,以清水作为对照(CK<sub>1</sub>),放入4℃冰箱留存备用。

#### 1.2.2 室内发芽试验

在直径为9 cm的灭菌后培养皿中铺2层灭菌滤纸,每皿各加入5 mL的小麦秸秆浸提原液和稀释10、50、100倍液,以加蒸馏水为空白对照(CK<sub>1</sub>),挑选均匀一致的杂草种子,每皿均匀点播30粒,每处理设置3次重复。将培养皿置于27℃、RH为50%的人工气候培养箱中,每日根据培养皿的干湿情况适时补充相同量浸提液,每天同一时间记录杂草种子的发芽数,发芽以胚根与种子等长、胚芽长度达到种子一半作为标准,以第6天的发芽数计算每处理的发芽率(GR),同时,在第6天测量杂草种子根长、芽长等生物学指标<sup>[16-17,32]</sup>,并计算其相应指标。发芽率(GR)及化感效应指数(RI)计算公式如下:

$$\text{发芽率(GR)} = (G_6/N) \times 100\%$$

化感效应指数(RI) = 1 - CK/T 或 T/CK - 1  
式中:GR为发芽率,G<sub>6</sub>为当天发芽数量,RI为化感效应指数,当T≥CK时,RI=1-CK/T,当T<CK时,RI=T/CK-1,G<sub>6</sub>为第6天发芽数,N为每皿杂草种子总数,T为处理组数据,CK<sub>1</sub>为对照组数据。

综合化感效应指数(SE):各处理(秸秆浸提液各浓度)对4种杂草种子根长、芽长、根鲜重、芽鲜重等相关测量指标化感效应指数(RI)的平均值。

#### 1.2.3 田间杂草试验

试验于2020年5月在山西农业大学农作站进行。试验设置3种小麦秸秆覆盖还田量,分别为2 250(W<sub>1</sub>,1/4量)、4 500(W<sub>2</sub>,1/2量)、9 000 kg/hm<sup>2</sup>(W<sub>3</sub>,全量),以不覆盖秸秆(CK<sub>2</sub>)及根据秸秆覆盖还田后遮光面积,黑色地膜同等面积遮光处理为对照,地膜遮光处理分别为地膜50%(P<sub>1</sub>)、70%(P<sub>2</sub>)、100%(P<sub>3</sub>),每处理重复3次,小区面积30 m<sup>2</sup>(5 m×6 m),地膜处理小区为穴播。谷子于2020年5月上旬播种,待谷子出苗后,将裁剪的小麦秸秆均匀撒于对应小区行间。

根据国家标准 GB/T 28592—2012<sup>[33]</sup>,分别于覆盖秸秆后的3次中雨(24 h内降雨量达到10~25 mm为中雨,时间分别为2020年6月29日、7月8日、7月26日)5 d后,在各处理小区内进行随机样方调查,样方面积为0.25 m<sup>2</sup>,每个处理选取3个样方进行调查,测定样方内杂草种类、株数、盖度等指标,计算公式如下:

$$\text{田间密度} = \text{某种杂草在各调查样本中株数} / \text{调查样方面积}$$

$$\text{盖度} = (\text{样方中绿色植被像素点} / \text{调查样方总像素点}) \times 100\%$$

$$\text{株防效} = (\text{对照区杂草株数} - \text{秸秆覆盖区杂草株数}) / \text{对照区杂草株数} \times 100\%$$

$$\text{鲜重防效} = (\text{对照区杂草鲜重} - \text{秸秆覆盖区杂草鲜重}) / \text{对照区杂草鲜重} \times 100\%$$

### 1.3 数据处理

使用Microsoft Excel 2021和IBM SPSS Statistics 25软件,采用Duncan新复极差法分析数据,并用Origin 2021软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦秸秆浸提液对4种谷田杂草种子萌发的影响

由表1可知,随着小麦秸秆浸提液浓度升高,

藜、狗尾草、反枝苋3种杂草种子的发芽率均呈先升高后下降的趋势,稗草种子的发芽率呈下降趋势。 $T_1$ 处理仅对稗草种子发芽率表现为抑制作用,但与对照( $CK_1$ )相比无显著差异; $T_2$ 、 $T_3$ 处理对4种杂

草种子发芽率均表现为抑制作用,与 $CK_1$ 相比无显著差异; $T_4$ 处理的4种杂草种子萌发表现出最强的抑制作用,藜、狗尾草、稗草和反枝苋的发芽率与 $CK_1$ 相比分别降低80.00%、24.44%、28.89%、53.33%。

表1 小麦秸秆浸提液对4种杂草种子的发芽率

Table 1 Germination rate of wheat straw extract on four weed seeds %

处理 Treatment	藜 <i>C. album</i>	狗尾草 <i>S. viridis</i>	稗草 <i>E. crusgalli</i>	反枝苋 <i>A. retroflexus</i>
$CK_1$	93.33±0.00 ab	34.44±7.29 a	84.44±1.11 a	68.89±2.94 a
$T_1$	97.78±1.11 a	40.00±3.85 a	83.33±1.92 a	70.00±1.92 a
$T_2$	93.33±1.92 ab	28.89±2.94 a	78.89±2.22 a	65.56±4.01 a
$T_3$	91.11±1.11 b	26.67±1.92 a	78.89±2.22 a	56.67±10.18 a
$T_4$	13.33±1.92 c	10.00±1.92 b	55.56±4.01 b	15.56±2.94 b

注: $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 分别表示质量浓度1、2、10、100 g/L。同列不同字母表示Duncan's分析中差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note:  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  are 1, 2, 10, 100 g/L respectively. Different letters in the same column indicate significant difference in Duncan's analysis ( $P<0.05$ ). The same below.

## 2.2 小麦秸秆浸提液对4种谷田杂草种子根长、芽长的影响

由图1可知, $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 处理对狗尾草种子的芽长以及藜和反枝苋种子的根长、芽长有促进作用。3种处理对藜的根长和芽长均有显著促进作用,根长分别比 $CK_1$ 增加336.01%、228.41%、

182.21%,芽长分别增加24.13%、47.55%、82.16%。藜和反枝苋种子的芽长随小麦秸秆浸提液浓度增加呈逐渐增长的趋势, $T_4$ 处理对4种杂草种子的根长、芽长均具有抑制作用,狗尾草的根长、芽长,稗草、反枝苋的根长与 $CK_1$ 相比差异均达显著水平。

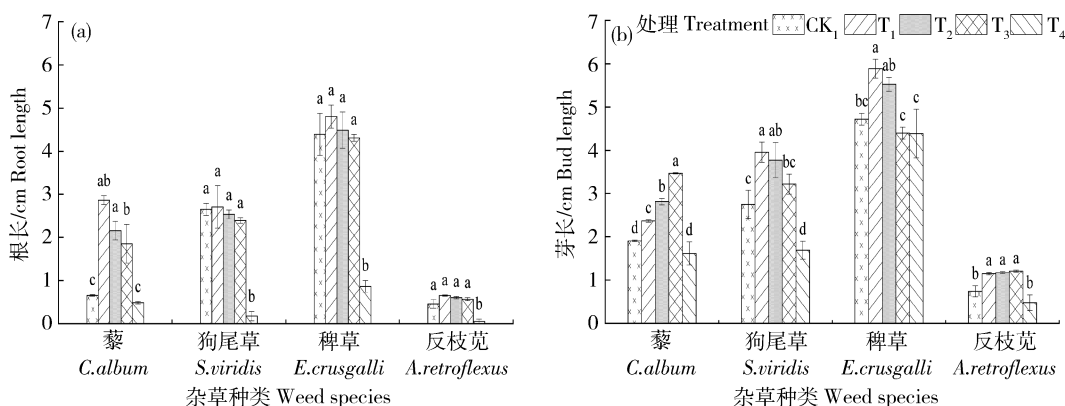


图1 小麦秸秆浸提液对4种杂草种子的根长(a)和芽长(b)

Fig. 1 Extract of wheat straw on root length (a) and bud length (b) of four weed seeds

## 2.3 小麦秸秆浸提液对4种谷田杂草种子发芽率化感指数的影响

由图2可知, $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 处理对杂草种子发芽

率均表现为化感抑制效果,其中 $T_4$ 处理对4种杂草种子的化感指数最小,化感抑制效果最强,对藜、狗尾草、稗草和反枝苋4种杂草种子发芽率化感指数

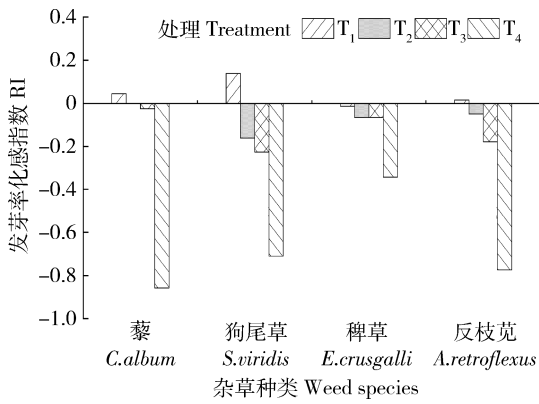


图 2 小麦秸秆浸提液对 4 种杂草种子发芽率的化感指数

Fig. 2 Allelopathic index of wheat straw extract on seed germination rate of four weeds

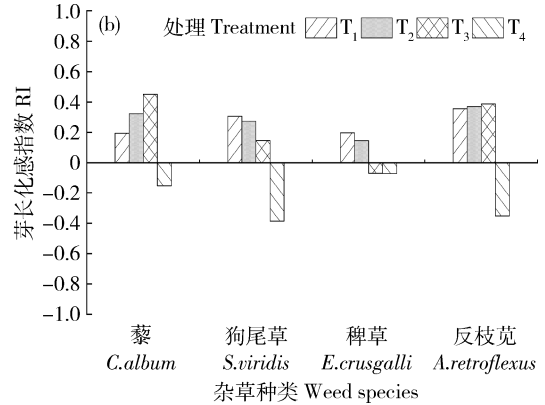
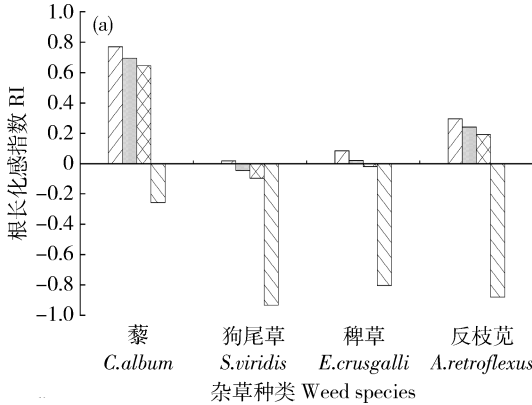


图 3 小麦秸秆浸提液对 4 种杂草种子根长 (a) 和芽长 (b) 的化感指数

Fig. 3 Allelopathic index of wheat straw extract to seed root length (a) and bud length (b) of four weeds

2.5 小麦秸秆浸提液对 4 种谷田杂草的综合化感指数的影响

由图 4 可知, T<sub>4</sub> 处理对 4 种杂草的综合化感效应均表现为化感抑制作用, 综合化感抑制作用由高到低表现为: 狗尾草 > 反枝苋 > 藜 > 稗草, 综合化感效应指数分别为: -0.68、-0.67、-0.42、-0.41; T<sub>3</sub> 处理对狗尾草和稗草的综合化感效应表现为抑制作用, 其他各处理对 4 种杂草均表现为化感促进作用, 随小麦秸秆浸提液浓度的增加, 对狗尾草、稗草和反枝苋的促进作用逐渐增强。

2.6 小麦秸秆不同覆盖量下的 4 种谷田杂草密度

由表 2 可知, 4 种杂草密度随小麦秸秆覆盖量的增加表现为逐渐下降的趋势。第 1 次中雨 5 d 后, 4 种杂草密度与 CK<sub>2</sub> 相比, W<sub>1</sub>、W<sub>2</sub>、W<sub>3</sub> 处理的藜、狗尾草、稗草、反枝苋的密度均显著低于 CK<sub>2</sub>; W<sub>1</sub>、W<sub>2</sub> 处理的藜的密度均显著高于 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub> 处

分别为 -0.85、-0.71、-0.34 和 -0.77, 被抑制效果由强到弱为: 藜 > 反枝苋 > 狗尾草 > 稗草; T<sub>1</sub> 处理对藜、狗尾草、反枝苋 3 种杂草种子发芽率表现为化感促进作用, 化感指数分别为 0.05、0.14 和 0.02, 促进效果由强到弱为: 狗尾草 > 藜 > 反枝苋。

2.4 小麦秸秆浸提液对 4 种谷田杂草种子根长、芽长化感指数的影响

由图 3 可知, T<sub>4</sub> 处理对 4 种杂草种子的根长、芽长均表现为化感抑制作用, 其中对狗尾草的化感抑制作用最强, 对根长和芽长的化感指数分别为 -0.93 和 -0.39, T<sub>3</sub> 处理对稗草种子的根长、芽长及狗尾草种子的根长表现为化感抑制作用, T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 处理对 4 种杂草种子芽长均表现为化感促进作用。

理, 狗尾草、稗草、反枝苋的密度均低于 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> 处理,

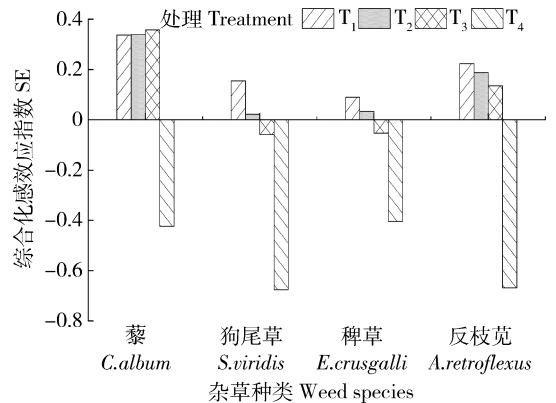


图 4 小麦秸秆浸提液对藜、狗尾草、稗草、反枝苋的综合化感指数

Fig. 4 Allelopathic index of wheat straw extract to *C. album*, *S. viridis*, *E. crusgalli* and *A. retroflexus*

但差异不显著,与  $P_3$  差异显著。因此,第1次中雨5 d后  $W_1$ 、 $W_2$  处理对藜发生量的减少依赖于秸秆覆盖后物理遮盖效应,对狗尾草、稗草、反枝苋发生量的减少是物理遮盖效应和化感物质共同作用的效果。第2次中雨5 d后, $W_1$ 、 $W_2$  处理的藜、狗尾草、反枝苋密度均高于  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  处理, $W_2$  处理下4种杂草密度均低于  $CK_2$ ,故造成  $W_2$  处理杂草密度降低的主要因素为物理遮盖效应。第3次中雨5 d

后, $W_2$  处理的4种杂草密度均高于  $P_2$ 、 $P_3$  处理,且藜的密度均显著高于  $P_2$ 、 $P_3$ ;  $W_3$  处理的藜、稗草的密度分别比  $CK_2$  减少48.38%、63.33%。小麦秸秆覆盖在短时间内的物理遮盖和化感效应共同作用抑制了4种杂草的发生,但随着秸秆覆盖时间的延长,仅对藜、稗草的发生量有显著抑制效果。随着降雨场次的增多,秸秆逐渐腐解,化感物质被雨水淋溶稀释,对4种杂草发生的化感抑制作用逐渐减弱。

表2 小麦秸秆不同覆盖量下4种谷田杂草密度

Table 2 Weed density of four kinds of foxtail millet fields under different wheat straw mulching 株/m<sup>2</sup>

中雨场次 Moderate rain frequency	处理 Treatment	藜 <i>C. album</i>	狗尾草 <i>S. viridis</i>	稗草 <i>E. crusgalli</i>	反枝苋 <i>A. retroflexus</i>
第1次 The first	$W_1$	57.33±6.11 ab	20.00±4.00 b	17.33±2.31 bc	2.66±2.30 b
	$W_2$	46.67±6.11 bc	14.67±2.31 bc	16.00±4.00 bc	1.33±2.30 b
	$W_3$	20.00±4.00 d	12.00±4.00 c	13.33±2.31 c	2.66±4.61 b
	$P_1$	41.33±12.86 c	16.00±4.00 bc	16.00±4.00 bc	4.00±6.92 b
	$P_2$	37.33±8.33 c	14.67±2.31 bc	21.33±6.11 ab	2.66±4.62 b
	$P_3$	/	/	/	/
	$CK_2$	65.33±10.07 a	26.67±6.11 a	26.67±2.31 a	12.00±4.00 a
第2次 The second	$W_1$	50.67±8.33 b	14.67±8.33 a	14.67±12.86 a	4.00±4.00 a
	$W_2$	38.67±8.33 bc	10.67±4.62 ab	2.67±2.31 b	/
	$W_3$	23.33±12.86 d	5.33±2.31 bc	/	/
	$P_1$	29.33±9.24 cd	6.67±2.31 abc	4.00±0.00 b	2.67±4.62 b
	$P_2$	20.00±4.00 d	8.00±4.00 abc	1.33±2.31 b	1.33±2.31 b
	$P_3$	/	/	/	/
	$CK_2$	65.33±8.33 a	10.67±6.11 ab	2.67±4.62 b	4.00±0.00 b
第3次 The third	$W_1$	88.00±4.00 a	14.67±9.24 a	17.33±10.07 b	9.33±8.33 a
	$W_2$	53.33±31.07 bc	11.33±6.11 a	14.67±10.07 bc	6.66±2.30 ab
	$W_3$	45.33±8.33 cd	7.33±6.11 ab	14.67±2.31 bc	4.00±4.00 ab
	$P_1$	21.33±6.11 de	9.33±2.31 ab	13.33±12.86 bc	2.66±4.62 ab
	$P_2$	20.00±6.93 de	5.33±2.31 ab	10.67±8.33 bc	2.66±4.62 ab
	$P_3$	/	/	/	/
	$CK_2$	80.00±24.33 ab	14.67±8.33 a	40.00±6.93 a	4.00±4.00 a

注: $W_1$ 、 $W_2$  和  $W_3$  分别为小麦秸秆覆盖量2 250、4 500和9 000 kg/hm<sup>2</sup>。 $P_1$ 、 $P_2$  和  $P_3$  分别表示地膜遮光50%、70%和100%。“/”表示小区未发现样品,无法取样。同一列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note:  $W_1$ ,  $W_2$  and  $W_3$  are wheat straw mulching amounts of 2 250, 4 500 and 9 000 kg/hm<sup>2</sup>, respectively;  $P_1$ ,  $P_2$  and  $P_3$  represent 50%, 70% and 100% shading by plastic film, respectively. “/” means that no sample is found, so it can't be sampled. Different lowercase letters in the same column showed significant difference ( $P<0.05$ ). The same below.

### 2.7 小麦秸秆不同覆盖量下的杂草总盖度

由图 5 可知,不同小麦秸秆覆盖量处理均降低了谷田杂草总盖度,且随秸秆覆盖量增加杂草总盖度呈现逐渐下降的趋势。3 次中雨 5 d 后,小麦秸秆覆盖量处理杂草总盖度均低于 CK<sub>2</sub>,且在 W<sub>3</sub> 处理下杂草总盖度最低,W<sub>1</sub>、W<sub>2</sub>、W<sub>3</sub> 处理的杂草总盖度分别比 CK<sub>2</sub> 降低 22.04%、41.98%、12.49%。第 3 次中雨 5 d 后,W<sub>1</sub> 处理的杂草盖度高于 CK<sub>1</sub>,高于 P<sub>1</sub> 处理,

且差异显著。因此,W<sub>1</sub> 处理对杂草总盖度降低主要依赖于物理遮盖效应;W<sub>2</sub> 处理杂草总盖度在第 3 次降雨后高于 P<sub>2</sub> 处理,故在第 1、第 2 次中雨 5 d 后 W<sub>2</sub> 处理的杂草总盖度降低是物理遮盖和化感效应共同作用的结果,第 3 次中雨 5 d 后杂草总盖度的降低主要依赖于物理遮盖效应。随着小麦秸秆覆盖时间的延长,降雨场次增加,秸秆逐渐腐烂降解,对杂草总盖度的影响逐渐降低,杂草总盖度逐渐升高。

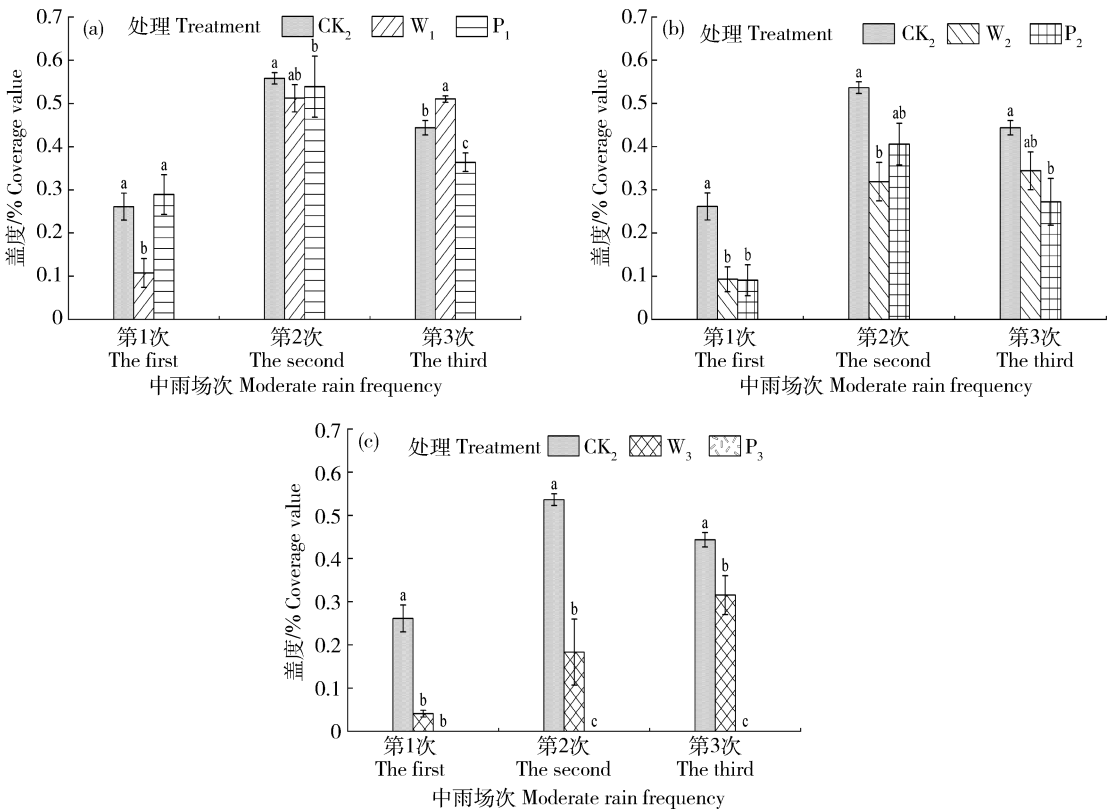


图 5 小麦秸秆不同覆盖量下杂草总盖度

Fig. 5 Total weed coverage under different wheat straw mulching

### 2.8 小麦秸秆不同覆盖量下的杂草防效

由表 3 可知,杂草株数、鲜重随小麦秸秆覆盖量增加呈逐渐下降的趋势,株防效、鲜重防效呈逐渐上升的趋势。W<sub>1</sub> 处理在第 1 次中雨 5 d 后株防效、鲜重防效达到最大值分别为 25.31%、1.81%; W<sub>2</sub> 处理在第 2 次中雨 5 d 后株防效达到最大值为 40.50%,在第 3 次中雨 5 d 后鲜重防效达到最大值为 26.32%; W<sub>3</sub> 处理在第 2 次中雨 5 d 后株防效、鲜重防效达到最大值分别为 62.76%、57.66%。第 1 次中雨 5 d 后,W<sub>1</sub>、W<sub>2</sub>、W<sub>3</sub> 处理杂草株数、鲜重均低于 CK<sub>2</sub>,差异显著;W<sub>1</sub>、W<sub>2</sub> 处理株防效均低于 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub> 处理,但差异不显著;W<sub>1</sub>、

W<sub>2</sub> 处理鲜重防效低于 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub> 处理,差异显著; W<sub>3</sub> 处理株防效、鲜重防效均高于 W<sub>1</sub>、W<sub>2</sub> 处理,且株防效与 W<sub>1</sub>、W<sub>2</sub> 处理相比差异显著,鲜重防效与 W<sub>1</sub> 处理相比差异显著,与 W<sub>2</sub> 处理相比差异不显著,W<sub>3</sub> 处理株防效、鲜重防效分别为 62.37%、48.37%;第 2 次中雨 5 d 后,W<sub>3</sub> 处理杂草株数、鲜重低于 CK<sub>2</sub>,差异显著;株防效、鲜重防效高于 W<sub>1</sub>、W<sub>2</sub> 处理,且鲜重防效差异显著;W<sub>1</sub>、W<sub>2</sub> 处理株防效、鲜重防效低于 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> 处理,但差异不显著。第 3 次中雨 5 d 后,W<sub>2</sub>、W<sub>3</sub> 处理杂草株数、鲜重与 CK<sub>2</sub> 相比差异显著,W<sub>2</sub>、W<sub>3</sub> 处理株防效、鲜重防效差异不显著。

表3 小麦秸秆不同覆盖量下杂草防效

Table 3 Weed control effect under different wheat straw mulching

中雨场次 Moderate rain frequency	处理 Treatment	株数 Number	株防效/% Plant control effect	鲜重/g Fresh weight	鲜重防效/% Fresh weight control effect
第1次 The first	W <sub>1</sub>	96.00 b	25.31 b	123.67 a	1.81 c
	W <sub>2</sub>	80.00 b	37.69 b	95.00 b	24.24 bc
	W <sub>3</sub>	48.00 c	62.37 a	65.33 c	48.37 ab
	P <sub>1</sub>	77.33 b	39.49 b	70.00 bc	44.21 ab
	P <sub>2</sub>	76.00 b	39.29 b	60.67 c	51.49 a
	P <sub>3</sub>	/	/	/	/
	CK <sub>2</sub>	130.67 a	/	125.67 a	/
第2次 The second	W <sub>1</sub>	82.67 b	21.56 b	535.00 a	1.07 c
	W <sub>2</sub>	62.67 bc	40.50 ab	472.67 ab	15.02 bc
	W <sub>3</sub>	38.67 d	62.76 a	226.00 c	57.66 a
	P <sub>1</sub>	45.33 cd	56.56 a	363.00 abc	32.38 abc
	P <sub>2</sub>	58.67 cd	44.06 ab	299.00 bc	44.40 ab
	P <sub>3</sub>	/	/	/	/
	CK <sub>2</sub>	105.33 a	/	530.00 a	/
第3次 The third	W <sub>1</sub>	94.67 ab	23.44 b	882.67 a	0.66 c
	W <sub>2</sub>	81.33 bc	36.43 ab	662.33 bc	26.32 ab
	W <sub>3</sub>	54.67 bc	60.09 ab	555.67 c	38.34 a
	P <sub>1</sub>	44.00 cd	64.46 a	800.67 ab	10.92 bc
	P <sub>2</sub>	36.00 cd	71.22 a	615.67 c	31.61 ab
	P <sub>3</sub>	/	/	/	/
	CK <sub>2</sub>	134.67 a	/	900.33 a	/

### 3 讨论

作物秸秆淋溶腐烂后向周围环境中释放化感物质,不仅影响作物的生长,也影响周围其他植物的种子萌发与生长,从而对幼苗产生促进或抑制作用。秸秆产生的化感作用的大小与浸提液的浓度有关,化感物质对作物的生长具有低浓度促进、高浓度抑制的双重作用<sup>[32,34-37]</sup>,本研究结果显示,T<sub>1</sub>处理对藜、狗尾草、反枝苋种子萌发均表现为促进作用,其他处理为抑制作用,T<sub>4</sub>处理对4种杂草的根长、芽长均有抑制作用,随浓度降低,逐渐呈现为促进作用,与董淑琦等<sup>[32]</sup>、赵孔等<sup>[34]</sup>、苏世鸣等<sup>[35]</sup>、蔡立群

等<sup>[36]</sup>、王园园等<sup>[37]</sup>的结果相似。

小麦秸秆浸提液 T<sub>4</sub> 处理对 4 种杂草种子发芽率抑制效果由强到弱为:藜>反枝苋>狗尾草>稗草;T<sub>1</sub> 处理对藜、狗尾草、反枝苋杂草种子发芽率表现为化感促进作用,促进效果由强到弱为:狗尾草>藜>反枝苋。小麦秸秆浸提原液对 4 种杂草种子的根长、芽长均表现为化感抑制作用,T<sub>3</sub> 处理对稗草种子的根长、芽长及狗尾草种子的芽长表现为化感抑制作用,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 处理对 4 种杂草种子芽长均表现为化感促进作用。

田间杂草在作物生长过程中都有不同程度的发生,杂草大量发生严重影响农作物的产量,目前杂草



防除主要依靠化学防治,会对土壤及环境造成难以逆转的破坏,已有对作物化感作用的研究发现,不仅杂草会释放化感物质影响作物生长,一些作物也能合成化感物质并释放,从而抑制杂草生长,同时还可以减少对化学除草剂的依赖<sup>[38-39]</sup>。张丽娟等<sup>[40]</sup>研究显示玉米茎粉末用量为 10 g/kg 时,对鳢肠 (*Eclipla prostrata* L.)、反枝苋、稗草和马唐 (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.) 4 种杂草的株高抑制率和鲜重防效达到了 80% 以上。付佑胜等<sup>[41]</sup>研究表明随着秸秆覆盖量增加,田间杂草防控效果明显增加,高留茬条件下秸秆覆盖量  $\geq 0.75 \text{ kg/m}^2$  的 2 个处理 30 d 对杂草的防效均为 100%。李淑英等<sup>[42]</sup>研究表明随着油菜秸秆覆盖量的增加,对棉田杂草的抑制效果增强。李贵等<sup>[43]</sup>研究表明随着水稻秸秆还田量增加,小麦田杂草密度显著下降,秸秆还田量达到  $4\ 500 \text{ kg/hm}^2$  时,小麦分蘖前杂草发生密度下降 60%。本研究结果显示在小麦秸秆不同覆盖量下,4 种杂草密度随小麦秸秆覆盖量的增加有逐渐下降的趋势,即随小麦秸秆覆盖量增加,杂草的防除效果增强,在 3 次中雨 5 d 后,  $W_3$  处理对田间杂草株防效均达 60% 以上。随降雨场次的增加,杂草的盖度逐渐降低、杂草密度先降低后升高,说明秸秆对杂草的化感作用减弱。

## 4 结 论

4 种杂草在种子发芽率、根长、芽长等方面对不同浓度小麦秸秆浸提液表现出明显的化感响应,其中,100 g/L 的小麦秸秆水浸提液处理显著降低 4 种杂草的发芽率,显著降低狗尾草的根长和芽长,显著降低稗草的根长,该处理对 4 种杂草的化感抑制作用最强。1/4 和 1/2 量小麦秸秆覆盖还田可短时间内有效抑制谷田杂草的发生,全量小麦秸秆覆盖对 4 种杂草具有较好的防除效果,覆膜遮盖也有一定的杂草防效,但会产生白色污染,因此,9 000 kg/hm<sup>2</sup> 小麦秸秆覆盖可应用于谷田杂草防除。

## 参考文献 References

[1] 刁现民. 禾谷类杂粮作物耐逆和栽培技术研究新进展[J]. 中国农业科学, 2019, 52(22): 3943-3949  
Diao X M. Progresses in stress tolerance and field cultivation studies of orphan cereals in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(22): 3943-3949 (in Chinese)

[2] 房锋, 李美, 高兴祥, 李健, 张朝贤. 黄河三角洲地区棉田杂草组成及其群落特征[J]. 植物保护, 2016, 42(5): 148-153

Fang F, Li M, Gao X X, Li J, Zhang C X. Species composition and characterization of weed communities in cotton fields in Yellow River delta[J]. *Plant Protection*, 2016, 42(5): 148-153 (in Chinese)

[3] 周汉章, 侯升林, 宋银芳, 赵宇, 董立, 贾海燕, 吕芑, 王新玉, 刘恩魁, 薄奎勇. 谷田单子叶杂草对谷子产量损失的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(12): 179-184  
Zhou H Z, Hou S L, Song Y F, Zhao Y, Dong L, Jia H Y, Lv P, Wang X Y, Liu E K, Bo K Y. Impacts of monocotyledon weeds on millet yield loss in foxtail millet field[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(12): 179-184 (in Chinese)

[4] 李志华, 景小兰, 李会霞, 田岗, 刘鑫, 穆婷婷. 谷子苗期除草剂的安全性及杂草防效研究[J]. 作物杂志, 2017(1): 150-154  
Li Z H, Jing X L, Li H X, Tian G, Liu X, Mu T T. Safety and weed control efficiency of foxtail millet seedling stage herbicides[J]. *Crops*, 2017(1): 150-154 (in Chinese)

[5] 石祖梁, 贾涛, 王亚静, 王久臣, 孙仁华, 王飞, 李想, 毕于运. 我国农作物秸秆综合利用现状及焚烧碳排放估算[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(9): 32-37  
Shi Z L, Jia T, Wang Y J, Wang J C, Sun R H, Wang F, Li X, Bi Y Y. Comprehensive utilization status of crop straw and estimation of carbon from burning in China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2017, 38(9): 32-37 (in Chinese)

[6] 李守华. 长期秸秆还田对提高小麦-玉米轮作耕层土壤养分及产量分析[J]. 中国农学通报, 2022, 38(14): 60-64  
Li S H. Effect of long-term straw returning on topsoil nutrients and crop yield under wheat-maize rotation [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38(14): 60-64 (in Chinese)

[7] 王旭东, 庄俊杰, 刘冰洋, 李帅帅, 赵鑫, 刘洋, 张海林. 秸秆还田条件下中国农田土壤有机碳含量变化及其影响因素的 Meta 分析[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(8): 12-24  
Wang X D, Zhuang J J, Liu B Y, Li S S, Zhao X, Liu Y, Zhang H L. Residue returning induced changes in soil organic carbon and the influential factors in China's croplands: A meta-analysis[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2020, 25(8): 12-24 (in Chinese)

[8] Shi K, Shao H. Changes in the soil fungal community mediated by a *Peganum harmala* allelochemical [J/OL]. *Frontiers in Microbiology*, (2022-06-16) [2022-8-14]. DOI: 10.3389/fmicb.2022.911836

[9] 冯茹娅, 胡春艳, 董淑琦, 杨雪芳, 郭振宇, 原向阳, 胡桃花, 郭平毅. 谷子秸秆雨水淋溶物对其根围土壤细菌多样性的化感效应[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(4): 61-72  
Feng R J, Hu C Y, Dong S Q, Yang X F, Guo Z Y, Yuan X Y, Hu T H, Guo P Y. Allelopathic effects of rain leaching from millet straw on the bacterial community in bulk soil[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(4): 61-72 (in Chinese)

[10] Zhang Z Y, Liu D B, Wu M Q, Xia Y, Zhang F L, Fan X P. Long-term straw returning improve soil K balance and potassium supplying ability under rice and wheat cultivation[J/OL]. *Scientific Reports*, [2022-08-17]. DOI: doi.org/10.1038/s41598-021-01594-8

[11] 石含之, 赵沛华, 黄永东, 吴志超, 杜应琼, 杜瑞英. 秸秆还田对土壤有机碳结构的影响[J]. 生态环境学报, 2020, 29(3): 536-542  
Shi H Z, Zhao P H, Huang Y D, Wu Z C, Du Y Q, Du R Y. Effect of straw mulching on soil organic carbon structure [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, 29(3): 536-542 (in Chinese)

[12] 潘剑玲, 代万安, 尚占环, 郭瑞英. 秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(5): 526-535  
Pan J L, Dai W A, Shang Z H, Guo R Y. Review of research progress on the influence and mechanism of field straw residue incorporation on soil organic matter and nitrogen availability[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(5): 526-535 (in Chinese)

[13] 朱丽珍, 田英, 王俊, 秦星, 何军. 植物化感作用及其在草地农业生态系统中的应用[J]. 土壤与作物, 2021, 10(1): 1-17  
Zhu L Z, Tian Y, Wang J, Qin K, He J. Plant allelopathy and its application in grassland agroecosystem[J]. *Soils and Crops*, 2021, 10(1): 1-17 (in Chinese)

- [14] Schandry N, Becker C. Allelopathic plants: Models for studying plant-interKingdom interactions[J]. *Trends in Plant Science*, 2020, 25(2): 176-185
- [15] 王建花, 陈婷, 林文雄. 植物化感作用类型及其在农业中的应用[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(10): 1173-1183  
Wang J H, Chen T, Lin W X. Plant allelopathy types and their application in agriculture[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(10): 1173-1183 (in Chinese)
- [16] 董淑琦, 原向阳, 温银元, 郭平毅, 胡春艳, 聂磊云, 吕亚楠. 谷子秸秆水浸提液对玉米苗期生长的化感作用研究[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(8): 35-42  
Dong S Q, Yuan X Y, Wen Y Y, Guo P Y, Hu C Y, Nie L Y, Lv Y N. Allelopathic effects of the water extracts of foxtail millet straw on maize growth at seedling stage[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2016, 21(8): 35-42 (in Chinese)
- [17] 董淑琦, 原向阳, 胡春艳, 温银元, 郭平毅, 聂磊云, 乔晓芳. 谷子秸秆水浸提液对下茬冬小麦苗期化感作用的影响[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(5): 31-38  
Dong S Q, Yuan X Y, Hu C Y, Wen Y Y, Guo P Y, Nie L Y, Qiao X F. Allelopathic effects of the water extracts from foxtail millet straw on winter wheat seedlings[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2015, 20(5): 31-38 (in Chinese)
- [18] 朱芸, 同金焱, 丛日环, 鲁剑巍. 油菜与小麦秸秆浸出液对水稻种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国油料作物学报, 2021, 43(2): 241-250  
Zhu Y, Yan J Y, Cong R H, Lu J W. Effects of rapeseed and wheat straw residue leachates on germination and growth of rice seedlings[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2021, 43(2): 241-250 (in Chinese)
- [19] Duke S O. Allelopathy: Current status of research and future of the discipline: A commentary[J]. *Allelopathy Journal*, 2010, 25(1): 17-30
- [20] 李茹, 陈国奇, 张玉华, 刘庆虎, 张凯, 董立尧. 油菜和小麦秸秆水浸提液对千金子种子萌发和幼苗生长的影响及其应用[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(2): 293-298  
Li R, Chen G Q, Zhang Y H, Liu Q H, Zhang K, Dong L Y. Influences of oilseed rape and wheat aquatic straw extract on *Leptochloa chinensis* seed germination and seedling growth, and the application potential[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 34(2): 293-298 (in Chinese)
- [21] 范愈新, 颜仕龙, 蔡波, 朱朝华, 袁洋, 敖苏. 苦瓜秸秆水浸提液对3种杂草的化感作用[J]. 草地学报, 2017, 25(5): 1002-1006  
Fan Y X, Yan S L, Cai B, Zhu C H, Yuan Y, Ao S. Allelopathic effects of *Momordica charantia* straw water extract on three weeds[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2017, 25(5): 1002-1006 (in Chinese)
- [22] 周娟娟, 魏巍, 谢文栋, 严俊, 王有侠, 何世丞. 燕麦植株浸提液对垂穗披碱草种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 中国草地学报, 2021, 43(8): 18-25  
Zhou J J, Wei W, Xie W D, Yan J, Wang Y X, He S C. Allelopathic effect of oat (*Avena sativa*) aqueous extracts on seed germination and seedling growth of *Elymus nutans* [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2021, 43(8): 18-25 (in Chinese)
- [23] Wang C, Liu Z, Wang Z C, Pang W H, Zhang L, Wen Z Z, Zhao Y R, Sun J, Wang Z Y, Yang C. Effects of autotoxicity and allelopathy on seed germination and seedling growth in *Medicago truncatula* [J/OL]. *Frontiers in Plant Science*, [2022-08-14]. DOI: doi.org/10.3389/fpls.2022.908426
- [24] Liu S L, Ma Z Y, Zhang Y, Chen Z W, Du X, Mu Y H. Astragalus *sinicus* incorporated as green manure for weed control in corn[J/OL]. *Frontiers in Plant Science*, [2022-08-18]. DOI: doi: 10.3389/fpls.2022.829421
- [25] Robson W N L, Estefenson M M, Julian J J L, Francisca D da S A. Bioherbicidal potential of plant species with allelopathic effects on the weed *Bidens bipinnata* L [J/OL]. *Scientific Reports*, [2022-08-14]. DOI: doi.org/10.1038/s41598-022-16203-5
- [26] 李春花, 孙道旺, 何成兴, 王艳青, 卢文洁, 尹桂芳, 王莉花. 荞麦秸秆粉还田对杂草及苦荞产量的影响[J]. 杂草学报, 2017, 35(2): 61-66  
Li C H, Sun D W, He C X, Wang Y Q, Lu W J, Yin G F, Wang L H. Effect of buckwheat-straw powder returning to field on weeds and Tartary yield[J]. *Journal of Weed Science*, 2017, 35(2): 61-66 (in Chinese)
- [27] Crawford L E, Williams M M II, Wortman S E. An early-killed rye (*Secale cereale*) cover crop has potential for weed management in edamame (*Glycine max*) [J]. *Weed Science*, 2018, 66(4): 502-507
- [28] 华智锐, 李小玲. 3种小麦秸秆水浸液对黄芩和桔梗的化感作用研究[J]. 江西农业学报, 2019, 31(6): 32-39  
Hua Z R, Li X L. Allelopathy of three aqueous extracts of wheat straw on *Scutellaria baicalensis* and *Platycodon grandiflorum* [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2019, 31(6): 32-39 (in Chinese)
- [29] 王芳, 王汉宁, 张春龙, 鱼小军, 方永丰. 3种农作物秸秆水浸液对党参化感作用的研究[J]. 种子, 2010, 29(11): 35-37, 41  
Wang F, Wang H N, Zhang C L, Yu X J, Fang Y F. Study on allelopathy of aqueous extract from three crops on *Codonopsis pilosula* [J]. *Seed*, 2010, 29(11): 35-37, 41 (in Chinese)
- [30] 郑曦, 杨茜茜, 李小花. 小麦秸秆水浸液对五种植物化感作用的研究[J]. 广西植物, 2016, 36(3): 329-334  
Zheng X, Yang X X, Li X H. Allelopathy of wheat straw aqueous extract on five kinds of plants[J]. *Guihaia*, 2016, 36(3): 329-334 (in Chinese)
- [31] 刘小民, 边全乐, 李乘华, 樊翠芹, 许贤, 王贵启, 梁双波. 小麦秸秆不同部位水浸液对牛筋草的化感作用研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(27): 58-63  
Liu X M, Bian Q L, Li B H, Fan C Q, Xu X, Wang G Q, Liang S B. Allelopathic effects of aqueous extracts of different segments of wheat straw on the seed germination and seedling growth of goosegrass (*Elyusine indica*) [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(27): 58-63 (in Chinese)
- [32] 董淑琦, 曹鹏, 胡春艳, Sher Alam, 原向阳, 杨雪芳, 郭平毅. 谷子秸秆不同部位水浸液对3种杂草的化感作用[J]. 应用生态学报, 2020, 31(7): 2243-2250  
Dong S Q, Cao P, Hu C Y, Alam S, Yuan X Y, Yang X F, Guo P Y. Allelopathic effects of water extracts from different parts of foxtail millet straw on three kinds of weeds [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(7): 2243-2250 (in Chinese)
- [33] 中国气象局. 中华人民共和国国家标准 GB/T 28592—2012[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2012  
National Standards of the People's Republic of China GB/T 28592—2012 [S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China, 2012 (in Chinese)
- [34] 赵孔平, 刘伟堂, 朱宝林, 陈秀涛, 王倩, 王金信. 不同作物秸秆腐解液对节节麦种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2020, 36(12): 132-138  
Zhao K P, Liu W T, Zhu B L, Chen X T, Wang Q, Wang J X. Decomposed liquids of different crops' straw affect seed germination and seedling growth of *Aegilops tauschii* [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(12): 132-138 (in Chinese)
- [35] 苏世鸣, 任丽轩, 霍振华, 杨兴明, 黄启为, 徐阳春, 周俊, 沈其荣. 西瓜与旱作水稻间作改善西瓜连作障碍及对土壤微生物区系的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(3): 704-712  
Su S M, Ren L X, Huo Z H, Yang X M, Huang Q W, Xu Y C, Zhou J, Shen Q R. Effects of intercropping watermelon with rain fed rice on Fusarium wilt and the microflora in the rhizosphere soil [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(3): 704-712 (in Chinese)
- [36] 蔡立群, 牛怡, 罗珠珠, 武均, 岳丹, 周斌, 董博, 张仁陟. 秸秆腐还田土壤养分及微生物量的动态变化[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(9): 1047-1056  
Cai L Q, Niu Y, Luo Z Z, Wu J, Yue D, Zhou H, Dong B, Zhang R Z.

- Dynamic characteristics of soil nutrients and soil microbial biomass of field-returned straws at different decay accretion conditions[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2014, 22(9): 1047-1056 (in Chinese)
- [37] 王园园, 董淑琦, 原向阳, 温银元, 宋喜娥, 杨雪芳, 郭平毅. 谷子茎秆水浸提液对其种子萌发及幼苗生长的自毒作用[J]. *中国农业大学学报*, 2019, 24(6): 38-48  
Wang Y Y, Dong S Q, Yuan X Y, Wen Y Y, Song X E, Yang X F, Guo P Y. Autotoxicity effect of the water extracts of foxtail millet straw on seed germination and seedling growth [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2019, 24(6): 38-48 (in Chinese)
- [38] 李香菊. 近年我国农田杂草防控中的突出问题与治理对策[J]. *植物保护*, 2018, 44(5): 77-84  
Li X J. Main problems and management strategies of weeds in agricultural fields in China in recent years[J]. *Plant Protection*, 2018, 44(5): 77-84 (in Chinese)
- [39] 孔垂华. 作物化感品种对农田杂草的调控[J]. *植物保护学报*, 2018, 45(5): 961-970  
Kong C H. Allelopathic crop cultivars for weed management in cropping systems[J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45(5): 961-970 (in Chinese)
- [40] 张丽娟, 李凌绪, 周斐, 万方浩, 罗小勇. 玉米秸秆对4种农田杂草生长的抑制作用[J]. *植物保护*, 2016, 42(6): 63-66, 109  
Zhang L J, Li L X, Zhou F, Wan F H, Luo X Y. The growth inhibition effects of corn straw on four weeds in farmland[J]. *Plant Protection*, 2016, 42(6): 63-66, 109 (in Chinese)
- [41] 付佑胜, 刘伟中, 张凯, 曹凯歌, 赵桂东. 麦秸秆高留茬条件下不同秸秆覆盖量对稻田杂草及水稻产量的影响[J]. *西南农业学报*, 2019, 32(10): 2313-2318  
Fu Y S, Liu W Z, Zhang K, Cao K G, Zhao G D. Effect of different straw amount on weeds and yield under high stubble condition of wheat straw in rice field [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(10): 2313-2318 (in Chinese)
- [42] 李淑英, 路献勇, 程福如, 闫晓明, 郑曙峰, 马艳. 油-棉连作棉田油菜秸秆覆盖对棉田杂草发生及土壤杂草种子库的动态影响[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(9): 138-144  
Li S Y, Lu X Y, Cheng F R, Yan X M, Zheng S F, Ma Y. Dynamic influence of rapeseed straw mulching on weed occurrence and weed seed bank in cotton field under rape-cotton continuous cropping system[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(9): 138-144 (in Chinese)
- [43] 李贵, 王晓琳, 张朝贤, 黄红娟, 魏守辉. 水稻秸秆还田结合草酰酸对禾本科杂草和小麦生长发育的影响[J]. *植物保护学报*, 2015, 42(1): 130-137  
Li G, Wang X L, Zhang C X, Huang H J, Wei S H. Effects of rice-straw residues and herbicide clodinafop-propargyl on wheat and Gramineae weeds[J]. *Journal of Plant Protection*, 2015, 42(1): 130-137 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅



**第一作者简介:** 董淑琦, 博士, 硕士生导师, 现为山西农业大学农学院副教授、中国植物保护学会植物化感作用专业委员会委员、山西省杂粮学会副秘书长。主要从事植物化感作用与生物防除杂草、现代杂粮生产的教学和科研工作。主持国家重点研发计划项目子课题任务、山西省科技重点研发等项目 10 多项; 获山西省科学技术进步三等奖 1 项; 以第一作者或通讯作者在 SCI 收录期刊、国家级核心期刊等发表学术论文 10 多篇; 主持编写地方标准 2 项; 参加国际国内学术研讨会 10 多次并做大会报告。2018 年荣获全国农科学子联合实践优秀指导教师。



**通讯作者简介:** 原向阳, 博士, 教授, 博士生导师, 山西农业大学农学院院长, 国家谷子高粱产业技术体系岗位科学家、山西省谷子产业技术体系首席专家、山西省作物化学调控工程技术中心主任、山西省杂粮学会秘书长。主要研究领域为: 现代杂粮(谷子)生产; 作物化学调控与化学除草; 作物安全生产理论与技术。先后主持国家自然科学基金 2 项, 其他国家级省部级项目 10 项, 发表学术论文 100 多篇, 授权国家专利 20 个, 制定各类标准 7 个, 获山西省科技进步三等奖 2 项、农业农村部主推技术 1 项、省主推技术 2 项。带领团队围绕限制谷子产业发展的技术瓶颈开展工作, 2014 年率先在全国实现谷子的联合收获, 形成有机旱作谷子生产全程机械化技术, 并入选 2020 年全国大众创业万众创新活动周山西分会场“最具市场投资价值产品(项目)”, 研究示范推广工作得到了新华网、山西卫视等媒体的报道。先后获山西省第 19 届“五四”青年奖章、“三晋英才”拔尖骨干人才等荣誉称号。