

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201404019

郑曦,杨茜茜,李小花. 小麦秸秆水浸提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 XX, LI XH. Allelopathy of wheat straw aqueous extract on five kinds of plants [J]. Guihaia, 2016, 36(3):329-334

# 小麦秸秆水浸提液对五种植物化感作用的研究

郑曦, 杨茜茜, 李小花

(江苏师范大学 生命科学学院/整合植物研究所, 江苏 徐州 221116)

**摘要:** 该文研究了不同浓度的小麦秸秆水浸提液对徐州地区 2 种玉米 (郑单 958 和农大 108) 和 3 种常见玉米田间杂草 (马唐、稗草和反枝苋) 种子萌发和幼苗生长的影响。结果表明: 当小麦秸秆浸提液浓度分别大于 75、50 和 25  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 马唐、稗草和反枝苋种子的萌发受到显著的抑制; 当小麦秸秆浸提液浓度分别大于 50 和 37.5  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 玉米郑单 958 和农大 108 种子的萌发受到显著的抑制; 但当小麦秸秆浸提液浓度大于 37.5  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 马唐、稗草和反枝苋幼苗根和芽的生长均受到明显的抑制; 当小麦秸秆浸提液浓度小于 75  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 玉米郑单 958 和农大 108 幼苗根与芽的生长受到明显的促进, 且郑单 958 幼苗叶片中叶绿素的含量以及郑单 958 的 POD 酶活性均得到提高。该研究结果表明较高浓度的小麦秸秆浸提液 (50  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 会抑制杂草的生长, 有利于玉米郑单 958 的生长, 为小麦秸秆还田和玉米田杂草的生态防治提供了理论基础。

**关键词:** 小麦秸秆浸提液, 化感作用, 玉米, 农田杂草

中图分类号: Q945.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2016)03-0329-06

## Allelopathy of wheat straw aqueous extract on five kinds of plants

ZHENG Xi, YANG Xi-Xi, LI Xiao-Hua

(School of Life Sciences /Institute of Integrated Plant, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** An experiment was carried out to explore effects of wheat straw aqueous extract on the seed germination and seedling growth of two kinds of maize (Zhengdan 958 and Nongda 108), large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*), barnyard grass (*Echinochloa crusgalli*) and redroot amaranth (*Amaranthus retroflexus*). The results showed that when the concentration of wheat straw aqueous extract was respective over 75, 50 and 37.5  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , the seed germination rates of large crabgrass, barnyard grass and redroot amaranth were inhibited, while the concentration was over 50 and 37.5  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , the seed germination rates of Zhengdan 958 and Nongda 108 were inhibited; but the root and shoot length of large crabgrass, barnyard grass and redroot amaranth decreased obviously when the extract concentration was over 37.5  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ; while the concentration of wheat straw aqueous extract was under 75  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , the root and shoot length of these two kinds of maize were improved obviously, meanwhile the content of chlorophyll and the POD enzyme activity of maize ZD958 were enhanced, and the higher concentration of wheat straw aqueous extract (50  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) had an adverse impact on weeds growth, but it was good for the growth of maize Zhengdan 958.

**Key words:** wheat straw aqueous extract, allelopathy, maize, weeds

收稿日期: 2014-11-24 修回日期: 2015-06-24

基金项目: 江苏师范大学博士学位教师科研支持项目 (11XLR24); 江苏省自然科学基金 (BK2008121) [Supported by the Project for Teachers with Doctor's Degrees in Jiangsu Normal University (11XLR24); the Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK2008121)].

作者简介: 郑曦 (1971-), 女, 江苏睢宁人, 博士, 副教授, 主要从事植物生态学及环境科学研究, (E-mail) zhengxi824@163.com。

化感作用是指植物、微生物、病毒或真菌通过向环境中释放一些特殊的化学物质而对其它植物或微生物产生直接或间接的、有益或有害的作用(Torres et al, 1996)。植物化感作用普遍存在于自然界,是一种重要的生态机制。研究表明众多的植物具有化感潜力(付为国等, 2013; Ian et al, 2014; Mudrak et al, 2012; 王云等, 2013; Hao et al, 2007)。农田杂草是农作物产量降低的重要原因之一, 杂草通过在多个方面与农田作物进行竞争, 从而影响农作物的生长。有研究显示, 在巴基斯坦如果田间杂草得到有效控制, 全国的谷物产量将提高 37% (Baloch, 1993); 日本学者研究发现稗草可使水稻幼苗根和芽的鲜重分别降低 76% 和 78% (Hisashi et al, 2013); 杂草危害造成我国小麦减产 15% 左右, 并使小麦品质下降(张玉聚等, 2003)。人工拔除和化学除草是目前防除农田草害的主要方法, 但人工除草代价昂贵, 收效甚微, 而化学合成除草剂的大量使用对农田系统和环境产生了很大的伤害, 同时化学除草剂的安全性也有待确定。人们对利用农作物和其他植物的化感作用控制杂草的生长做了很多的研究(Dube, 2012; Ernest et al, 2013; Arif et al, 2013)。成熟的高粱粉碎后埋入土壤可以抑制 40%~50% 的杂草生长, 使小麦产量增加 15% (Cheema et al, 2000); 桑叶作为天然除草剂可控制杂草鸭茅的生长, 并提高小麦的产量(Razia et al, 2010)。前茬作物残体在控制后茬作物草害发生的同时还可提高土壤有机质的含量, 增强土壤肥力(Diekow et al, 2005; Alvadi et al, 2011)。

近年来, 中国北方旱田通常进行夏玉米与冬小麦一年两熟轮作, 农田中杂草种类较多(曹瑛等, 2010; 王开金等, 2002; 李茹等, 2007)。恶性杂草的发生面积随着耕作制度、作物布局的改变和除草剂的大面积使用而迅速扩大, 对玉米安全生产构成较大威胁。小麦秸秆具有较强的化感作用(Donald et al, 1985; 李善林等, 1996; 董立尧等, 2005; 孙磊等, 2006)。若小麦秸秆还田可以抑制玉米田杂草的萌发, 实行“以草治草”策略, 必将对农业生态系统和环境产生良好的效益。本研究选择徐州地区玉米-小麦轮作时种植广泛的两种玉米种子(郑单 958 和农大 108)以及玉米田常见的马唐、稗草和反枝苋 3 种杂草种子为研究对象, 研究小麦秸秆的水浸提液对其种子萌发和幼苗生长的影响, 为小麦秸秆还田, 实施玉米田杂草的生态防治提供理论基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料

2011 年秋季采集徐州地区玉米田常见的杂草种子: 马唐(*Digitaria sanguinalis*)、稗草(*Echinochloa crusgalli*)和反枝苋(*Amaranthus retroflexus*), 于阴凉干燥处自然过冬。玉米种子(郑单 958、农大 108)购自徐州市种子公司。

收集的小麦秸秆, 经自然风干后于阴凉干燥处贮存备用。实验前用剪刀剪碎称重, 放入玻璃器皿中, 加入蒸馏水, 使其质量浓度为  $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。放置 90 h, 每 12 h 摇动 10 min, 过滤得到水溶物溶液, 以此为母液配制 6 个处理组, 其质量浓度分别为 12.5、25、37.5、50、75 和  $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

### 1.2 方法

1.2.1 浸提液对种子萌发和幼苗生长影响的生物测定 用培养皿滤纸法(曾任森, 1999)进行小麦秸秆水浸提液处理实验。每个培养皿内放入 20 粒同品种大小一致、饱满的同种受试植物种子, 加入 20 mL 不同质量浓度的处理液, 以蒸馏水为对照, 每组重复 3 次。播种 24 h 后开始记录发芽率, 每天定时观察, 直至对照组种子的发芽率不再变化为止, 记录此时的发芽率; 种子发芽生长 7 d 后, 分别随机抽取各处理 20 株(不足 20 株的全部测定)幼苗, 测量其根长和芽长。

1.2.2 浸提液对玉米幼苗叶绿素含量和过氧化物酶活性影响的生物测定 采用盆栽法: 选用直径为 20 cm 的塑料盆, 每盆装土 550 g, 挑选 30 粒已露白、大小一致、饱满的玉米种子播于盆内, 分别于播种后第 0、5、10、15 天浇灌 50 mL 不同浓度的小麦秸秆浸提液, 以蒸馏水浇灌为对照, 每组重复 3 次, 随机区组排列, 常规管理。于第 20 天测定玉米叶片叶绿素含量与过氧化物酶活性(张志良等, 2003)。

### 1.3 数据处理

用 SPSS17.0 软件统计, 分别进行不同处理间种子萌发和幼苗生长特性差异的显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦秸秆水浸提液对 5 种植物种子发芽率的影响

从图 1 可以看出, 小麦秸秆浸提液对 5 种植物种子的萌发均有影响。小麦秸秆浸提液分别小于 50

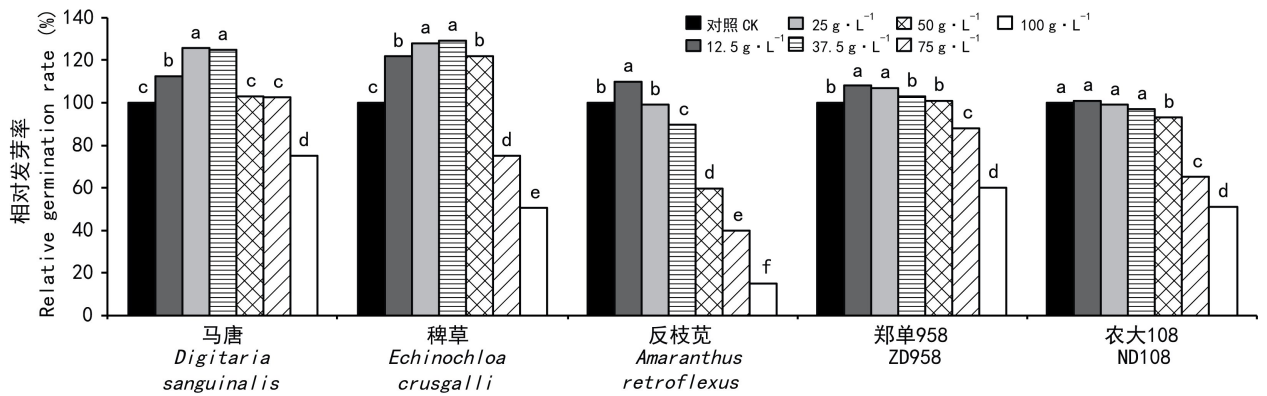


图 1 不同浓度小麦秸秆浸提液对 5 种植物种子萌发的影响 同一样品中,相同字母表示 0.05 水平上差异不显著,不同字母表示 0.05 水平上差异显著。下同。

Fig. 1 Effects of wheat straw aqueous extract on seed germination of five plants Values with different letters show significant difference ( $P=0.05$ ) in the same plant. The same below.

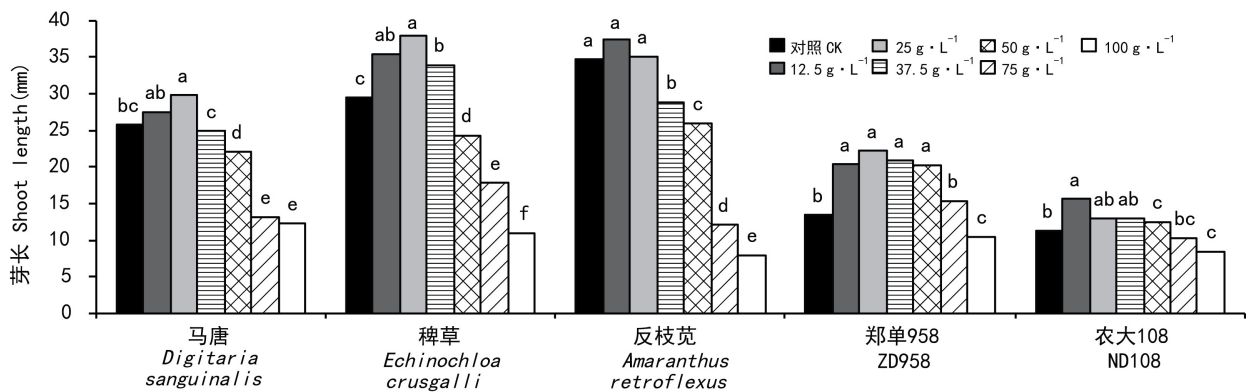


图 2 不同浓度小麦秸秆浸提液对 5 种植物幼苗芽长生长的影响

Fig. 2 Effects of wheat straw aqueous extract on shoot length of five plants

和  $75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 马唐和稗草种子的萌发率比对照 (CK) 明显增加, 达到显著水平;  $25$  和  $37.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 小麦秸秆浸提液处理组对这马唐和稗草种子萌发的促进效果最好, 相对于对照组, 其种子的发芽率分别增加了  $25.66\% \sim 24.5\%$  和  $28\% \sim 29.3\%$ ;  $12.5$  和  $25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 小麦秸秆浸提液处理组对郑单 958 种子萌发促进作用最好, 种子的发芽率分别增加了  $8\% \sim 7\%$ , 与对照相比达到显著水平; 低浓度的小麦秸秆浸提液 ( $\leq 12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 对反枝苋种子的萌发有促进作用, 相比对照组增加了  $10\%$ , 与对照相比达到显著水平, 而当浸提液的浓度  $\geq 37.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 反枝苋种子的萌发受到明显的抑制作用, 与对照相比达到显著水平, 反枝苋的发芽率与小麦秸秆浸提液浓度有显著的相关关系, 相关系数为  $0.8774$ ; 低浓度的小麦秸秆浸提液 ( $< 50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 对农大 108 种子的萌发无影响, 而随着小麦秸秆浸提液浓度的提高,

农大 108 种子的发芽率逐渐降低。除农大 108 外, 小麦秸秆浸提液对其它四种植物种子的萌发都存在低促高抑的作用, 且对杂草种子萌发的促进作用要强于玉米种子。

## 2.2 小麦秸秆水浸提液对 5 种植物幼苗芽长的影响

从图 2 可以看出, 当小麦秸秆浸提液浓度  $> 37.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 马唐和稗草芽的生长受到明显抑制, 相比对照达到显著差异水平; 当小麦秸秆浸提液浓度  $> 25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 反枝苋芽的生长受到明显抑制, 与对照相比达显著水平。只有当小麦秸秆浸提液  $> 75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 两种玉米幼苗芽的生长才较对照 CK 显著下降, 而较低浓度的小麦秸秆浸提液 ( $\leq 50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 显著促进玉米郑单 958 幼苗芽的生长, 玉米农大 108 幼苗芽的生长基本不受小麦秸秆浸提液的影响, 仅  $12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的小麦秸秆浸提液比对照 CK 显著促进其芽的生长。

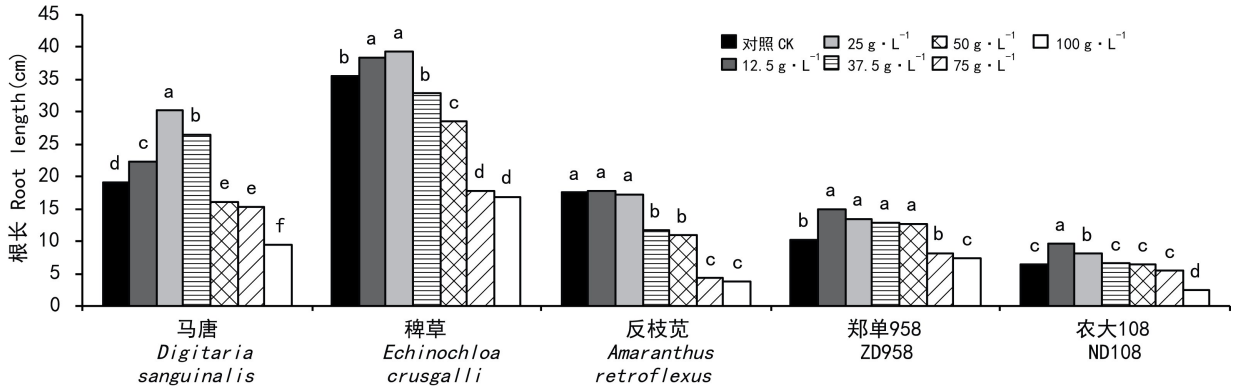


图3 不同浓度小麦秸秆浸提液对5种植物幼苗芽生长的影响

Fig. 3 Effects of wheat straw aqueous extract on root length of five plants

表1 小麦秸秆浸提液对玉米幼苗叶绿素含量和POD酶活性的影响

Table 1 Effects of wheat straw aqueous extract on content of chlorophyll and POD activity of maize

项目 Item	玉米品种 Maize cultivar	浸提液浓度 Concentration of aqueous extract ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )						
		对照 CK	12.5	25	37.5	50	75	100
叶绿素含量 Content of chlorophyll	郑单 958 ZD958	1.702b	1.917ab	2.257a	2.35a	2.13a	1.68ab	0.912c
	农大 108 ND108	1.369c	1.446bc	1.6b	1.79a	1.412c	1.296c	1.023d
POD 活性 Activity of POD	郑单 958 ZD958	47.83b	48.33b	51.83ab	54a	50.25ab	48.1b	35.79c
	农大 108 ND108	68.67a	65a	55.5b	54.83b	52.34bc	50.01cd	47.49d

注: 各行数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: Values followed by the different small letters within a line are significantly different at 0.05.

### 2.3 小麦秸秆水浸提液对5种植物幼苗根长的影响

从图3可以看出,相比对照,小麦秸秆浸提液对5种植物种子幼苗根的生长存在低促高抑的影响。在浸提液浓度为  $25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,马唐与稗草幼苗根长相比对照增加最多,分别达到 58% 和 15.2%,为 11 mm 和 4.45 mm,当浸提液浓度大于  $37.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,其根长生长受到抑制,与对照相比达到显著水平;当小麦秸秆浸提液浓度大于  $25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,反枝苋根的生长受到抑制,与对照相比达到显著水平,而且随着浸提液浓度的增加抑制作用加强,相关系数为 0.902 1;而只有当小麦秸秆浸提液浓度大于  $75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,郑单 958 和农大 108 根的生长才会受到明显的抑制,与对照相比达到显著水平,说明较低浓度的小麦秸秆浸提液 ( $\leq 50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 显著促进玉米郑单 958 幼苗根的生长。

### 2.4 小麦秸秆浸提液对玉米幼苗叶绿素含量和POD酶活性的影响

从表1可以看出,小麦秸秆浸提液 ( $< 75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 提高了玉米郑单 958 幼苗叶片中叶绿素的含量,与对照 CK 相比达到显著水平,从而提高了其叶的光合作用能力,有利于光合产物的合成,对玉米郑

单 958 幼苗的进一步生长有利;对于玉米农大 108,  $25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $37.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的小麦浸提液促进了其叶绿素的合成,与对照 CK 相比达到显著水平,而当浸提液浓度大于  $75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,叶绿素含量降低,与对照 CK 相比达到显著水平,其余处理组对其叶绿素含量无影响。

从表1可以看出,当小麦秸秆浸提液的浓度  $> 75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,玉米郑单 958 POD 酶的活性相比对照 CK 显著下降,表明在该浓度小麦秸秆浸提液的影响下,郑单 958 POD 的酶活性降低,体内因胁迫产生的自由基无法被有效清除,幼苗生长将受到严重影响,而当小麦秸秆浸提液的浓度  $\leq 75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,郑单 958 的 POD 酶活性均不低于对照,表明在此浓度范围内的小麦秸秆浸提液的影响下,郑单 958 依靠自身 POD 酶的作用来降低小麦秸秆浸提液对其生长产生的不利影响,玉米幼苗的生长基本不受影响;随着小麦浸提液浓度的增加,农大 108 的 POD 酶活性随之降低,相关系数  $R^2$  为 0.916 2。可见小麦秸秆浸提液对农大 108 的生长存在抑制作用,而只有当浸提液浓度过高 ( $> 75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 时,才会对郑单 958 的生长产生不利影响。



### 3 讨论与结论

小麦秸秆浸提液不仅对杂草种子萌发有一定影响,且对种子萌发后幼苗的生长也有很大影响。小麦秸秆还田在中国北方小麦、玉米一年两熟的耕作制度下,对农田系统产生了很大的影响(Shilling, 1985;王海燕,2002)。本研究发现,当小麦秸秆浸提液浓度分别大于 75、50 和 25  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,马唐、稗草和反枝苋种子的萌发相比对照受到显著抑制作用,当小麦秸秆浸提液浓度分别大于 50 和 37.5  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,玉米郑单 958 和农大 108 种子的萌发相比对照受到显著抑制作用;当小麦秸秆浸提液大于 37.5  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,马唐、稗草和反枝苋幼苗根和芽的生长均明显受到抑制,且抑制作用随着浸提液浓度增加而加强,只有当小麦秸秆浸提液浓度大于 75  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,玉米郑单 958 和农大 108 幼苗根与芽的生长相比对照才会受到显著的抑制。

叶绿素是绿色植物进行光合作用的基础物质,叶绿素含量的高低决定了叶片光合速率的大小,其含量高低在一定程度上反映了叶片衰老的快慢(王法宏等,2001)。小麦秸秆浸提液( $<75 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )相比对照显著提高了玉米郑单 958 幼苗叶片中叶绿素的含量,提高其叶片的光合作用能力,同时郑单 958 体内 POD 酶可以有效地清除因施用小麦秸秆浸提液( $\leq 75 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )而产生的自由基,对幼苗的进一步生长有利;而玉米农大 108 仅在小麦浸提液浓度为 25  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  和 37.5  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,其叶绿素含量与对照 CK 相比显著增加,其余处理组( $<75 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )对其叶绿素含量无影响。

过氧化物酶是植物体内膜脂过氧化过程中重要的保护酶之一,是植物体内消除过氧化物、降低活性氧伤害的一种关键酶,对保护膜结构的稳定性至关重要(王法宏等,2003)。随着小麦浸提液浓度的增加,玉米农大 108 的 POD 酶活性随之降低,清除自由基的能力下降,对其幼苗进一步生长不利。

从上述可知,浓度为 50  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  的小麦秸秆浸提液虽然会促进马唐和稗草种子的萌发,但会对其幼苗根和芽的生长产生抑制作用,不利于杂草的进一步生长;其对玉米郑单 958 种子萌发虽无显著的促进作用,但却会促进玉米郑单 958 幼苗根与芽的生长,提高其叶片叶绿素的含量和 POD 的酶活性,有利于玉米幼苗的进一步生长。可见,选择适量的小

麦秸秆还田既可以抑制玉米田常见杂草的生长,又不会对下茬作物玉米的生长产生不利的影响。本研究在徐州地区小麦-玉米轮作过程中,若实施小麦秸秆还田,推荐优先选择玉米品种郑单 958,且小麦秸秆的还田量要通过实践来进一步的确定。

### 参考文献:

- ALVADI ABJ, MMILTON DV, ANIBAL DM, et al, 2011. Winter pasture and cover crops and their effects on soil and summer grain crops [J]. *Pesq Agropec Bras*, 46: 1 357-1 363.
- ARIF M, ZAHID AC, MUHAMMAD NM, et al, 2013. Maize-sorghum intercropping systems for purple nutsedge management [J]. *Arch Agron Soil Sci*, 59(9): 1 279-1 288.
- BALLOCH GM, 1993. Biological control of weeds [J]. *Prog Farm*, PARC, Islamabad, 3: 10-18.
- CAO Y, FAN BE, FENG YB, et al, 2010. Investigation of common weed species and dominant weed species in summer corn field in Xi'an [J]. *Weed Sci*, 3: 33-36. [曹瑛, 范变娥, 冯渊博, 等, 2010. 西安市夏玉米田常见杂草种类及优势种群调查研究 [J]. *杂草科学*, 3: 33-36.]
- CHEEMA ZA, KHALIQ A, 2000. Use of sorghum allelopathic properties to control weeds in irrigated wheat in a semi arid region of Punjab [J]. *Agric Ecol Environ*, 79: 105-112.
- DIEKOW J, MIELNICAUK J, KNICKER H, et al, 2005. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years [J]. *Soil and Till Res*, 81: 87-95.
- DONALD AC, 1985. Effect of winter wheat (*Triticum aestivum*) straw mulch level on weed control [J]. *Weed Sci*, 34: 110-114.
- DONG LY, WANG MH, WU SW, et al, 2005. Isolation and identification of allelochemicals from wheat and allelopathy on *leptochloa chinensis* in direct-seeding rice field [J]. *Chin J Rice Sci*, 19(6): 551-555. [董立尧, 王鸣华, 武淑文, 等, 2005. 小麦对直播稻田千金子的化感作用及化感物质分离鉴定 [J]. *中国水稻学*, 19(6): 551-555.]
- DUBE E, CHIDUZA C, MUCHAONYERWA P, et al, 2012. Winter cover crops and fertiliser effects on the weed seed bank in a low-input maize-based conservation agriculture system [J]. *S Afr J Plant Soil*, 29(3&4): 95-197.
- EMEST D, COMELIUS C, PARDON M, 2013. Conservation agriculture effects on plant nutrients and maize grain yield after four years of maize-winter cover crop rotation [J]. *S Afr J Plant Soil*, 30(4): 227-232.
- FU WG, TIAN YF, TANG JJ, et al, 2013. Allelopathic effects of *Phragmites communis* aqueous extract on seed germination and seedling growth of *Phalaris arundinacea* [J]. *Guihaia*, 33(2): 154-158. [付为国, 田远飞, 汤涓涓, 等, 2013. 芦苇浸提液对藨草种子萌发及幼苗生长生理特性的影响 [J]. *广西植物*, 33(2): 154-158.]
- HAO ZP, WANG Q, CHRISTIE P, et al, 2007. Allelopathic potential of watermelon tissues and root exudates [J]. *Sci Hortic*, 112: 315-320.
- HISASHI KN, TAKESHI I. 2013. The chemical-mediated allelopathic interaction between rice and barnyard grass [J]. *Plant Soil*, 370: 267-275.
- IAN JR, BRANDON TS, GREGORY WS, et al, 2014. Eavesdropping

- in plants: delayed germination via biochemical recognition [J]. *J Ecol*, 102: 86-94.
- LIR, ZHAO GD, XIONG ZZ, et al, 2007. Occurrence rule and control of weed community in summer corn field [J]. *Jiangsu J Agric Sci*, 3: 84-85. [李茹, 赵桂东, 熊战之, 等, 2007. 夏玉米田杂草发生规律及防除技术 [J]. *江苏农业科学*, 3: 84-85.]
- LI SL, YOU ZG, LI SR, et al, 1996. Allelopathy of wheat extraction to the growth of two weeds [J]. *Chin J Biol Contr*, 12(4): 168-170. [李善林, 由振国, 李孙荣, 等, 1996. 小麦提取物对反枝苋、繁缕生长的化感效应研究 [J]. *中国生物防治*, 12(4): 168-170.]
- MUDRAK O, FROUZ J, 2012. Allelopathic effect of salix caprea litter on late successional plants at different substrates of postmining sites: pot experiment studies [J]. *Botany/Botanique*, 90(4): 311-318.
- RAZIA AH, MUMTAZ H, ZAHID AC, et al, 2010. Mulberry leaf water extract inhibits bermudagrass and promotes wheat growth [J]. *Weed Biol Manag*, 10: 234-240.
- SHILLING DG, 1985. Rye and wheat mulch: The suppression of certain broadleaf weeds and the isolation and identification of phytotoxins [J]. *ACS Symp Ser*, 286: 243-271.
- SUN L, CHEN BL, ZHOU ZHG, 2006. Effect of allelopathic substance from wheat root zones on the growth of cotton seedling [J]. *Cotton Sci*, 18(4): 213-215. [孙磊, 陈兵林, 周治国, 2006. 麦棉套作系统中小麦根区化感物质对棉苗生长的影响 [J]. *棉花学报*, 18(4): 213-215.]
- TORRES A, OLIVA RM, CASTELLANO D, et al, 1996. Proceedings of the first world congress on allelopathy—A Science for the Future [C]. Cádiz, Spain: International Allelopathy Society: 278.
- WANG FH, REN DC, WANG XQ, 2001. Effect of applying fertilizer on root activity, delaying the senescence of the flag leaf and yield in winter wheat [J]. *J Tritic Crops*, 21(3): 51-54. [王法宏, 任德昌, 王旭清, 2001. 施肥对小麦根系活性、延缓旗叶衰老及产量的效应 [J]. *麦类物学报*, 21(3): 51-54.]
- WANGFH, WANG XQ, LI SJ, et al, 2003. Effect of vertical distribution of root on senescence of flag leaf and partition of dry matter in high yielding winter wheat [J]. *J Tritic Crops*, 23(1): 53-57. [王法宏, 王旭清, 李松坚, 等, 2003. 小麦根系扩展深度对旗叶衰老及光合产物分配的影响 [J]. *麦类物学报*, 23(1): 53-57.]
- WANG HY, JIANG ZP, 2002. Allelopathy and its use in environmental protection [J]. *Tech Equip Environ Poll Contr*, 3(6): 86-89. [王海燕, 蒋展鹏, 2002. 化感作用及其在环境保护中的应用 [J]. *环境污染治理技术与设备*, 3(6): 86-89.]
- WANG KJ, QIANG S, 2002. Quantitative analysis of weed community in wheat field in northern areas of Jiangsu Province [J]. *Jiangsu J Agric Sci*, 18(3): 147-153. [王开金, 强胜, 2002. 江苏省长江以北地区麦田杂草群落的定量分析 [J]. *江苏农业学报*, 18(3): 147-153.]
- ZENG RS, 1999. Review on bioassay methods for allelopathy research [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1: 123-126. [曾任森, 1999. 化感作用研究中的生物测定方法综述 [J]. *应用生态学报*, 1: 123-126.]
- ZHANG CL, FU SL, 2009. Allelopathic effects of eucalyptus and the establishment of mixed stands of eucalyptus and native species [J]. *For Eco Manag*, 258: 1391-1396.
- ZHANG YJ, XU FB, 2003. Application technology and market development of Herbicide [M]. Zhengzhou: Zhengzhou University Press. [张玉聚, 徐凤波, 2003. 除草剂应用技术与市场开发 [M]. 郑州: 郑州大学出版社.]
- ZHANG ZL, ZHAI W, 2003. The guidance of plant physiology experiment [M]. Beijing: Higher Education Press. [张志良, 翟伟菁, 2003. 植物生理实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社.]

( 上接第 354 页 Continue from page 354 )

1999. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社: 64.]
- ZENG B, LUO SP, LI J, et al, 2008. Morphological variations in natural populations of *Amygdalus ledebouriana* [J]. *Biodivers Sci*, 16(5): 484-491. [曾斌, 罗淑萍, 李疆, 等, 2008. 新疆野扁桃天然居群形态变异的研究 [J]. *生物多样性*, 16(5): 484-491.]
- ZHANG CX, MING J, LIU C, et al, 2008. Phenotypic variation of natural populations in *Lilium regale* Wilson [J]. *Acta Horti Sin*, 35(8): 183-188. [张彩霞, 明军, 刘春, 等, 2008. 岷江百合天然群体的表型多样性 [J]. *园艺学报*, 35(8): 183-188.]
- ZHAO QL, LI L, SHA YC, et al, 2012. Morphological variations of different *Phyllanthus emblica* L. provenances in Yunnan [J]. *Chin J Trop Crops*, 33(1): 178-181. [赵琼玲, 李丽, 李丽, 等, 2012. 云南不同种源余甘子植物形态变异研究 [J]. *热带作物学报*, 33(1): 178-181.]
- ZHANG RL, JIA Y, ZHANG QX, 2008. Phenotypic variation of natural populations of *Primula denticulata* ssp. *Sinodenticulata* [J]. *Biodivers Sci*, 16(4): 362-368. [张睿鹏, 贾茵, 张启翔, 2008. 滇北球花报春天然群体表型变异研究 [J]. *生物多样性*, 16(4): 362-368.]
- ZHENG YL, SUN WB, 2008. Variation in morphophysiological characters of fruits of *Trigonobalanus doichangensis* (Fagaceae) according to individual trees, populations and years [J]. *Euphytica*, 164: 231-238.
- ZHAO YQ, CHEN JY, MU XQ, et al, 2013. The morphology diversity of *Datura stramonium* L. from different populations [J]. *Chin J Trop Crops*, 34(9): 1836-1843. [赵云青, 陈菁瑛, 慕小倩, 等, 2013. 曼陀罗不同居群形态多样性比较研究 [J]. *热带作物学报*, 34(9): 1836-1843.]