

## 小麦水浸提液对节节麦种子萌发和幼苗生长的影响

王宁<sup>1</sup>, 袁美丽<sup>2</sup>, 陈浩<sup>1</sup>

(1. 河南科技大学 林学院, 河南 洛阳 471000; 2. 洛阳市隋唐城遗址植物园, 河南 洛阳 471002)

**摘要:** 为阐明小麦 *Triticum aestivum* 对入侵植物节节麦 *Aegilops tauschii* 的化感作用机制, 采用培养皿生物测定法, 依据萌发率、苗高、根长及超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)等生理生化指标的变化, 研究了小麦茎叶和根系水浸提液对节节麦种子萌发和幼苗生长的影响。结果表明: 小麦茎叶和根系水浸提液对节节麦种子萌发、幼苗苗高和根长均表现出“低促高抑”的化感作用。生理生化指标结果显示, 小麦不同部位水浸提液对节节麦幼苗生长表现出质量浓度效应的化感胁迫作用, 随浸提液质量浓度的增加, 节节麦幼苗相对电导率不断增加, 叶绿素质量分数逐渐下降, 当浸提液质量浓度达  $100 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  时, 与对照差异均达显著水平 ( $P<0.05$ )。此外, SOD 活性、脯氨酸质量分数及丙二醛质量摩尔浓度均呈逐渐增加变化, 其中, 前期 ( $0\sim 5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 丙二醛质量摩尔浓度较对照增加差异不显著 ( $P>0.05$ ), 可能与节节麦自身调节有关, 之后增加迅速, 且较对照增加均达到差异显著水平 ( $P<0.05$ ), 表明节节麦幼苗生长受到小麦水浸提液化感胁迫作用的加剧。综合化感效应值显示, 浸提液质量浓度为  $25\sim 100 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  时, 小麦对节节麦幼苗化感抑制作用强弱为茎叶 $\geq$ 根系。图4表1参46

**关键词:** 植物生理学; 化感作用; 节节麦; 种子萌发; 幼苗生长

**中图分类号:** Q945.1; S311      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2018)01-0112-09

## Seed germination and seedling growth of *Aegilops tauschii* with wheat extracts

WANG Ning<sup>1</sup>, YUAN Meili<sup>2</sup>, CHEN Hao<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000, Henan, China; 2. The Sui & Tang Dynasties Relics Botanical Garden of Luoyang, Luoyang 471002, Henan, China)

**Abstract:** To clarify allelopathic potential and the preliminary mechanism of *Triticum aestivum* (wheat) on *Aegilops tauschii*, the effect of concentrations of *T. aestivum* extracts from stems, leaves, and roots on seed germination and seedling growth of *A. tauschii* were studied using Petri dish bioassays. Effects were based on physiological and ecological indexes, such as seed germination rate, seedling height, root length, superoxide dismutase (SOD) activity, malondialdehyde (MDA) content and other physiological and ecological index. Results showed that the aqueous extract increased membrane penetrability of *A. tauschii*, and enlarged the relative electrical conductivity, but decreased the chlorophyll mass fraction, reaching significance at  $100 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $P<0.05$ ). Also, water extracts increased SOD activities as well as proline and MDA content. At low concentrations ( $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), MDA increase was not significant ( $P>0.05$ ), but with higher concentrations, MDA increased significantly ( $P<0.05$ ). According to the inhibition synthesis effect, the allelopathic inhibition of wheat stems and leaves was stronger than roots in the range of  $25\sim 100 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ . Thus, seed germination along with seedling and root growth of *A. tauschii* were promoted at low concentrations of *T. aestivum* extracts and inhibited at high concentrations. [Ch, 4 fig. 1 tab. 46 ref.]

**Key words:** plant physiology; allelopathy; *Aegilops tauschii*; seed germination; seedling growth

收稿日期: 2016-12-20; 修回日期: 2017-04-19

基金项目: 地方高校国家级大学生创新创业训练计划项目(201510464079); 河南科技大学博士科研启动基金项目(4026-13480036)

作者简介: 王宁, 讲师, 博士, 从事园林植物逆境生理研究。E-mail: 475662628@qq.com

小麦 *Triticum aestivum* 是中国最重要的粮食作物, 小麦生产关系到国家粮食安全。麦田杂草对小麦生产造成了巨大的影响, 如何有效地防控麦田杂草已成为农业生产中亟待解决的问题<sup>[1]</sup>。利用植物化感作用控制田间杂草被认为是环境友好型、可持续农业发展的新技术, 已成为当代农业生态学研究中的重要领域之一<sup>[2-3]</sup>。诸多研究证明, 小麦具有一定的化感潜力<sup>[4-9]</sup>。节节麦 *Aegilops tauschii* 为禾本科 Poaceae 山羊草属 *Aegilops* 1 年生或越年生植物, 起源于东欧、西亚等地, 是世界恶性杂草<sup>[10]</sup>。自 1955 年, 节节麦首次在中国河南省新乡市被发现并采集到标本, 如今已入侵中国陕西、山东、河北等地, 并呈迅速蔓延的态势。由于节节麦与小麦亲缘关系较近, 两者又具有类似的外部形态及生长习性, 更重要的是节节麦拥有较强的分蘖、繁殖及适应性等特点, 共同造成其成为麦田中最难防除的禾本科恶性杂草之一<sup>[11-12]</sup>。因严重威胁中国粮食生产安全, 节节麦已被列入《中华人民共和国进境植物检疫性有害生物名录》。至今, 未见有节节麦响应小麦化感作用的研究报道。为此, 本研究以小麦不同部位水浸提液对节节麦种子萌发及幼苗生长的影响, 揭示小麦化感作用机理, 为麦田节节麦等杂草防控提供参考依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

试验于 2016 年 6-9 月进行。节节麦种子采自洛阳市周山森林公园后山麦田, 34°63'N, 112°38'E, 以洛阳地区常用小麦品种‘洛麦 28’为供体。

### 1.2 试验方法

1.2.1 水浸提液的制备 选取生长良好的小麦全株, 分别剪取茎叶和根系, 蒸馏水冲洗后阴干剪碎, 各准确称取 100 g 定容至 1 L, 25 °C 浸提 24 h, 双层滤纸过滤除去植株残体制得质量浓度为 100 g·L<sup>-1</sup> 的母液, 用蒸馏水分别稀释成 5, 10, 25, 50, 100 g·L<sup>-1</sup> 的浸提液, 置 4 °C 冰箱保存备用。使用时提前取出在室内静置一段时间, 避免骤冷对种子造成影响。

1.2.2 种子萌发试验 选取大小均匀、籽粒饱满的节节麦种子, 用质量浓度为 1% 的次氯酸钠溶液浸泡 10 min 消毒, 用蒸馏水反复冲洗后在室内自然晾干, 置于铺有 2 层滤纸的培养皿(直径 12 cm)内, 50 粒·皿<sup>-1</sup>, 分别加入不同质量浓度的浸提液 5 mL, 称量并记录各皿质量。以等量蒸馏水处理为对照, 重复 3 次·处理<sup>-1</sup>。在昼/夜温度为 25 °C/18 °C, 光暗各 12 h 的光照培养箱进行培养。隔 24 h 统计 1 次种子萌发情况(以胚根突破种皮为萌发标准), 第 7 天统计萌发率, 并随机取 10 株幼苗测定苗高、根长。试验期间适量补充浸提液以保持各处理培养皿质量不变。

1.2.3 生理指标的测定 将经过预萌发处理的小麦种子移栽至盛有适量石英砂的塑料杯(直径 10 cm, 高度 15 cm)中, 10 粒·杯<sup>-1</sup>, 随后加入 10 mL 不同质量浓度的浸提液, 以加入等体积蒸馏水的为对照, 重复 3 次·处理<sup>-1</sup>。置于昼/夜温度为 25 °C/18 °C, 光暗各 12 h 的光照培养箱进行培养。培养 15 d 后, 选取生长一致的叶片进行各项生理指标的测定。参照邹琦<sup>[13]</sup>电导法进行电解质渗透率的测定(相对电导率, REC)。参照李合生<sup>[14]</sup>的方法测定叶绿素(Chl)质量分数, 酸性茚三酮法测定脯氨酸(Pro); 硫代巴比妥酸(TBA)法测定丙二醛(MDA)质量摩尔浓度; 氮蓝四唑(NBT)法测定超氧化物歧化酶(SOD)。

1.2.4 数据处理 发芽率  $R_c = (7 \text{ d 内供试种子发芽数} / \text{供试种子数}) \times 100\%$ 。参照 WILLIAMSON 等<sup>[15]</sup>的方法计算化感效应指数  $I_r = 1 - C/T$  ( $T \geq C$ ) 或  $I_r = T/C - 1$  ( $T < C$ )。式中,  $C$  为对照值,  $T$  为处理值。 $I_r > 0$  为促进作用,  $I_r < 0$  为抑制作用, 其绝对值大小反映化感作用的强弱<sup>[13]</sup>。其中, 相对电导率与丙二醛质量摩尔浓度所测值越大表明化感抑制作用越强, 因此在计算  $I_r$  时乘以“-1”<sup>[16]</sup>。综合化感效应( $E_s$ )为供体植物对受体植物的各个测试指标  $I_r$  的算术平均值<sup>[17]</sup>。本研究通过综合化感效应( $E_s$ )反映不同部位浸提液对小麦幼苗化感效应的强弱, 其计算公式为  $E_s = (I_{r \text{ 根长}} + I_{r \text{ 苗高}} + I_{r \text{ REC}} + I_{r \text{ Chl}} + I_{r \text{ SOD}} + I_{r \text{ Pro}} + I_{r \text{ MDA}}) / 7$ 。

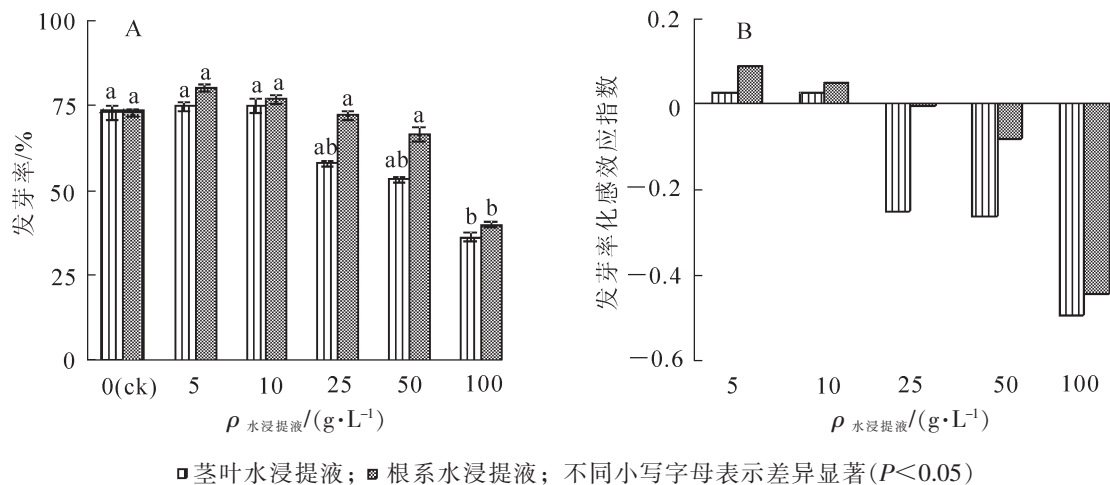
### 1.3 数据统计分析

利用 Excel 2010 软件处理数据并绘图, SPSS 18.0 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦水浸提液对节节麦种子萌发的影响

随浸提液质量浓度的增加,节节麦种子发芽率呈先升后降的变化(图1A)。浸提液质量浓度为5~10  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,不同部位水浸提液处理的种子发芽率均略有增加,但与对照差异均不显著( $P>0.05$ );之后,发芽率均呈下降变化,至100  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,与对照差异均达到显著水平( $P<0.05$ ),其中,茎叶水浸提液处理下降了50.0%,而根系处理则下降了45.0%。化感效应指数显示(图1B):小麦不同部位水浸提液对节节麦种子萌发整体表现为“低促高抑”的化感效应。浸提液质量浓度为25~100  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,对种子萌发的化感抑制作用为茎叶>根系。



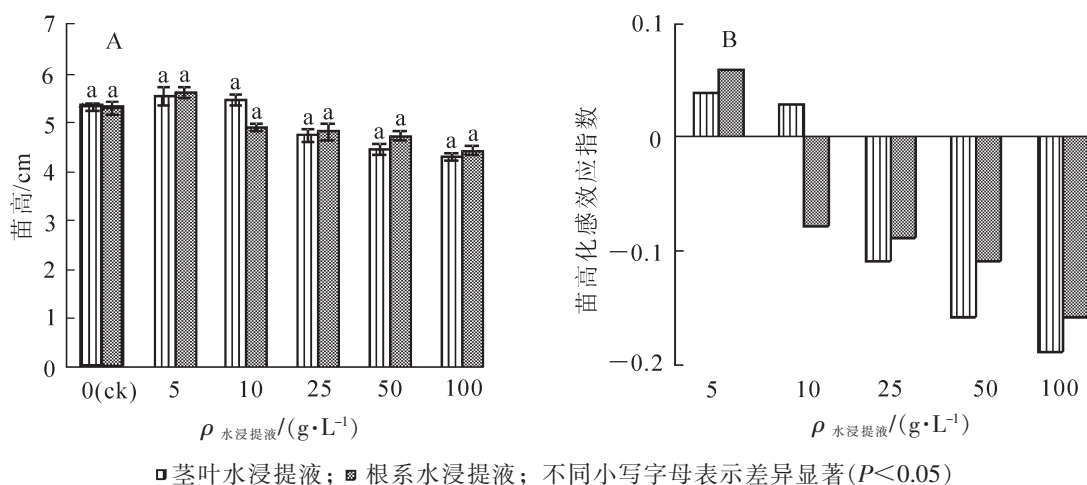
□ 茎叶水浸提液; ▨ 根系水浸提液; 不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )

图1 小麦水浸提液对节节麦种子发芽率及其化感效应指数的影响

Figure 1 Effect of the aqueous extracts from wheat on the germination rate and response index of *Aegilops tauschii*

### 2.2 小麦水浸提液对节节麦幼苗生长的影响

2.2.1 对幼苗苗高的影响 节节麦幼苗苗高随水浸提液质量浓度的增加呈先升后降的变化(图2A),但小麦茎叶和根系不同质量浓度水浸提液的处理下,幼苗苗高与对照差异均不显著( $P>0.05$ )。化感效应指数的变化显示(图2B):小麦不同部位水浸提液对节节麦幼苗苗高呈“低促高抑”的化感效应。25~100  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 茎叶水浸提液处理对幼苗苗高表现出质量浓度效应的化感抑制作用,且均明显大于根系水浸提液处理。



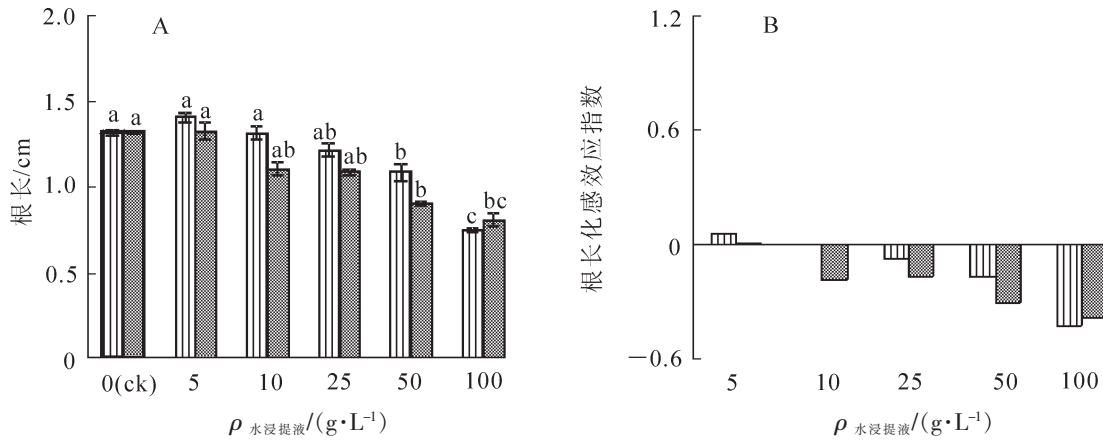
□ 茎叶水浸提液; ▨ 根系水浸提液; 不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )

图2 小麦水浸提液对节节麦幼苗苗高及其化感效应指数的影响

Figure 2 Effect of the aqueous extracts from wheat on seedling height and response index of *Aegilops tauschii*

2.2.2 对幼苗根长的影响 节节麦幼苗根长随水浸提液质量浓度的增加整体呈先升后降的变化,茎叶和

根系水浸提液质量浓度达  $50 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  及以上时，幼苗根长较对照下降达到差异显著水平(图 3A,  $P<0.05$ )。化感效应指数显示(图 3B)：小麦不同部位水浸提液对节节麦幼苗根长有“低促高抑”的化感作用。 $10\sim 50 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  质量浓度下对节节麦根长的化感抑制作用为茎叶<根系，而在  $100 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  时，则为茎叶>根系。

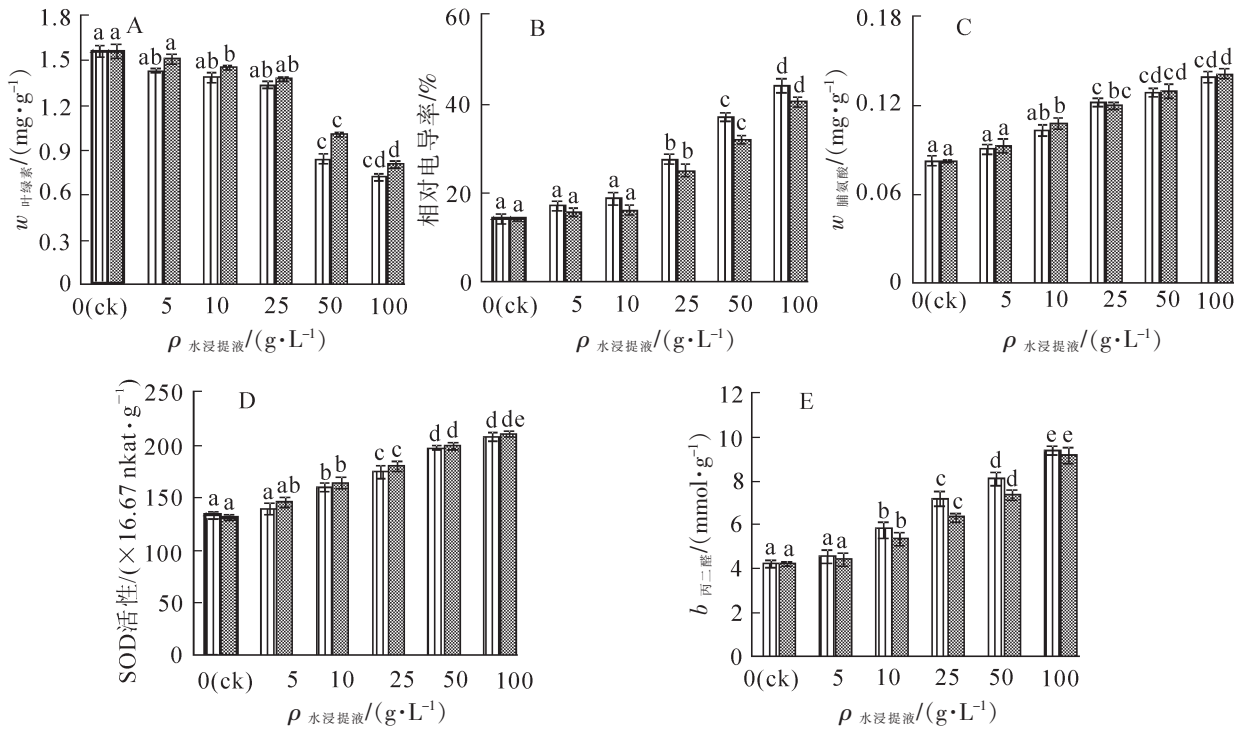


□ 茎叶水浸提液；■ 根系水浸提液；不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )

图 3 小麦水浸提液对节节麦幼苗根长及其化感效应指数的影响

Figure 3 Effect of the aqueous extracts from wheat on root length and response index of *Aegilops tauschii*

2.2.3 对幼苗生理指标的影响 ①叶绿素质量分数。随水浸提液质量浓度的增加节节麦幼苗叶绿素质量分数整体呈下降趋势(图 4A)。低质量浓度( $5\sim 25 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ )的水浸提液处理，叶绿素质量分数下降缓慢；水浸提液质量浓度达到  $50 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  时，小麦不同部位水浸提液处理叶绿素质量分数与对照差异均达显著水平 ( $P<0.05$ )。至  $100 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ，小麦茎叶和根系水浸提液处理的叶绿素质量分数较对照分别下降了 53.8%，48.4%。②相对电导率。随小麦水浸提液质量浓度的增加，节节麦幼苗相对电导率呈持续升高的趋势(图 4B)，表明细胞膜透性不断增大。 $5\sim 10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  范围内，不同部位水浸提液处理下相对电导率增加相对缓慢，与对照差异均未达到显著水平 ( $P>0.05$ )，之后，随水浸提液质量浓度的持续增加，相对电导率与



□ 茎叶水浸提液；■ 根系水浸提液；不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )

图 4 小麦水浸提液对节节麦幼苗生理指标的的影响

Figure 4 Effects of aqueous extracts from wheat on physiological indexes of *Aegilops tauschii* seedlings

表1 小麦水浸提液对节节麦幼苗的综合化感效应

Table 1 Synthesis effects of aqueous extracts from wheat on the seedlings of *Aegilops tauschii*

部位	$\rho_{\text{水浸提液}}/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	$I_{\text{R苗高}}$	$I_{\text{R根长}}$	$I_{\text{RREC}}$	$I_{\text{R叶绿素}}$	$I_{\text{RSOD}}$	$I_{\text{RPO}}$	$I_{\text{RMDA}}$	综合效应( $E_s$ )
茎叶	5	0.04	0.12	-0.28	-0.09	0.05	0.09	-0.07	-0.02
	10	0.03	0.06	-0.25	-0.11	0.17	0.19	-0.27	-0.03
	25	-0.11	-0.08	-0.48	-0.14	0.24	0.32	-0.41	-0.09
	50	-0.16	-0.17	-0.62	-0.46	0.32	0.36	-0.48	-0.17
	100	-0.19	-0.43	-0.68	-0.54	0.36	0.41	-0.55	-0.23
根系	5	0.06	0.01	-0.10	-0.03	0.09	0.11	-0.05	0.01
	10	-0.08	-0.16	-0.12	-0.07	0.20	0.23	-0.21	-0.03
	25	-0.09	-0.17	-0.43	-0.12	0.26	0.31	-0.33	-0.08
	50	-0.11	-0.31	-0.55	-0.36	0.33	0.36	-0.42	-0.15
	100	-0.16	-0.38	-0.65	-0.48	0.37	0.42	-0.54	-0.20

对照差异均达显著水平( $P<0.05$ )。至  $100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ，茎叶和根系水浸提液处理相对电导率分别较对照增加了 2.1 倍和 1.8 倍。③脯氨酸质量分数。随小麦水浸提液质量浓度的增加节节麦幼苗脯氨酸质量分数整体呈不断升高的趋势(图 4C)。茎叶和根系水浸提液处理中，脯氨酸质量分数与对照差异达到显著水平( $P<0.05$ )的起始质量浓度分别为  $25\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ， $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。至  $100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ，茎叶和根系水浸提液处理脯氨酸质量分数分别较对照增加了 68.2%，71.0%。④SOD 活性。从图 4D 可以看出：随小麦水浸提液质量浓度的增加节节麦幼苗 SOD 活性不断升高。茎叶和根系水浸提液处理中，SOD 活性与对照差异达显著水平( $P<0.05$ )的起始质量浓度均为  $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。50~ $100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  下，SOD 活性增加缓慢； $100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  与  $50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  浸提液处理下的 SOD 活性差异不显著( $P>0.05$ )。⑤丙二醛质量摩尔浓度。随小麦水浸提液质量浓度的增加节节麦幼苗丙二醛质量摩尔浓度呈不断升高的趋势(图 4E)。5  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  不同部位水浸提液处理下的丙二醛质量摩尔浓度与对照差异均不显著( $P>0.05$ )。之后，随着水浸提液质量浓度的持续增加，节节麦幼苗丙二醛质量摩尔浓度不断升高，且与对照差异均达到显著水平( $P<0.05$ )。至  $100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ，小麦茎叶和根系水浸提液处理丙二醛质量摩尔浓度较对照均增加了 1.2 倍。

2.2.4 小麦水浸提液对节节麦的综合化感效应 对节节麦幼苗苗高、根长以及叶绿素质量分数、相对电导率等生理指标进行综合分析，可反映小麦茎叶和根系水浸提液对节节麦幼苗的总体化感作用。从综合化感效应值可以看出(表 1)：茎叶水浸提液对节节麦幼苗表现为化感抑制作用，而根系水浸提液则呈“低促高抑”的化感作用；化感抑制作用均随水浸提液质量浓度的增加而增大；相同水浸提液质量浓度条件下，茎叶水浸提液处理的化感效应值均大于或等于根系水浸提液，表明小麦水浸提液对节节麦幼苗的化感作用为茎叶 $\geq$ 根系。

### 3 结论与讨论

化感作用作为植物的一种竞争手段，广泛存在于多种生态系统<sup>[18]</sup>。化感物质通过作用于种子萌发、幼苗生长等不同生育阶段，对受体植物造成影响<sup>[19-21]</sup>。本研究表明：小麦不同部位水浸提液对节节麦种子的萌发及幼苗生长存在明显的化感作用，茎叶和根系之间又存在一定的差异，这可能与植物不同器官的化感物质含量及种类不同有关<sup>[22]</sup>。

种子萌发对物种更新至关重要，发芽率的降低会降低植物在群落中的多度和竞争力<sup>[23]</sup>。幼苗阶段是植物生命周期中最为关键的时期之一，也是对外界逆境较为敏感的时期<sup>[24]</sup>。本研究表明：小麦不同部位水浸提液对节节麦种子发芽率、幼苗苗高及根长生长均表现为“低促高抑”的化感作用，且化感抑制作用随浸提液质量浓度的增加而增大。从化感效应指数可知： $25\sim 100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  处理下小麦水浸提液对节节麦种子发芽率及幼苗苗高，以及  $100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  处理下对幼苗根长的化感抑制作用均为茎叶 $>$ 根系，这与小麦对其他植物化感作用研究结果一致<sup>[1,25]</sup>。此外，小麦不同部位水浸提液处理对节节麦根长的化感抑制作用大于苗高，这与郑丽等<sup>[26]</sup>对紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum*，李富荣等<sup>[27]</sup>对几种菊科 Compositae 入侵植物的研究结论一致，可能与根系最先接触化感物质有关。供体植物通过对受体植物根长生长的抑

制,降低根对水肥等土壤资源的有效利用,从而最终影响其生长发育及在群落中的地位<sup>[21]</sup>。

细胞膜是植物化感物质作用的起始点<sup>[28-29]</sup>。逆境胁迫导致细胞内活性氧含量增加,从而造成氧化伤害,膜结构和功能的改变必然会影响细胞内叶绿素、蛋白质等物质的合成,从而影响幼苗的生长<sup>[28]</sup>。朱慧等<sup>[30]</sup>对高寒草场主要牧草、田学军等<sup>[31]</sup>对肿柄菊 *Tithonia diversifolia* 的化感作用研究发现,化感胁迫对受体植物细胞膜的结构功能造成破坏,导致细胞电解质的大量外渗,从而造成相对电导率的不断增大。本试验表明:节节麦幼苗相对电导率表现出类似的变化规律。本试验中,随水浸提液质量浓度的增加,节节麦幼苗叶绿素质量分数明显下降,可能与化感胁迫导致叶绿素合成减缓或分解加快有关,这也与黄玉梅等<sup>[32]</sup>对孔雀草 *Tagetes patula*, 郑洁等<sup>[33]</sup>对白三叶 *Trifolium repens* 的研究结果一致。植物通过脯氨酸、可溶性糖等渗透调节物质含量的增加,降低细胞的渗透势,从而适应外界逆境胁迫<sup>[34]</sup>。刘瑞姣等<sup>[35]</sup>对桔梗 *Platycodon grandiflorum*, 黄凯丰等<sup>[36]</sup>对甜荞 *Fagopyrum esculentum* 的化感作用研究发现,脯氨酸质量分数均随浸提液质量浓度的增加而呈不断升高的变化。本研究中节节麦幼苗脯氨酸质量分数呈类似的变化规律。化感胁迫破坏了植物体内抗氧化系统与活性氧之间的平衡,从而造成膜脂过氧化作用的发生<sup>[37]</sup>。SOD 作为细胞内活性氧清除的重要酶之一,对膜系统的稳定起着重要作用。本试验中,节节麦幼苗通过 SOD 活性的不断增加抵御小麦茎叶和根系水浸提液的化感胁迫,这也与前人的研究结果一致<sup>[38-39]</sup>。其中,100 g·L<sup>-1</sup> 处理与 50 g·L<sup>-1</sup> 处理的 SOD 活性差异不显著( $P>0.05$ ),表明高质量浓度浸提液处理下节节麦幼苗 SOD 活性增加缓慢,可能与过渡的化感抑制导致 SOD 活性逐渐下降有关。丙二醛作为膜脂过氧化的主要产物之一,其质量摩尔浓度的高低可直接反映细胞膜脂过氧化程度及植物的受胁迫程度<sup>[40]</sup>。节节麦幼苗丙二醛随小麦不同部位水浸提液质量浓度的增加呈不断升高的变化,这与张志忠等<sup>[41]</sup>对空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides*, 葛婷婷等<sup>[42]</sup>对高粱 *Sorghum* 的化感作用研究结论一致。其 5 g·L<sup>-1</sup> 小麦不同部位水浸提液处理下,节节麦幼苗丙二醛质量摩尔浓度增加缓慢,与对照差异不显著( $P>0.05$ ),这可能与节节麦自身调节适应相关;之后,丙二醛质量摩尔浓度的快速上升与小麦化感物质持续积累,造成膜脂过氧化程度加重有关。

综合化感效应已被广泛地应用于植物化感作用研究<sup>[43-45]</sup>。从综合化感效应值可知,小麦茎叶水浸提液对节节麦幼苗整体呈化感抑制作用,而根系水浸提液则表现为“低促高抑”的化感作用。小麦不同部位相同质量浓度水浸提液对节节麦幼苗的化感抑制作用强弱为茎叶 $\geq$ 根系。本研究仅在室内条件下,结合节节麦种子萌发及幼苗生长等相关指标的测定,证实了小麦茎叶和根系化感效应的存在,实际情况中小麦释放化感物质的途径很多,且自然条件中影响化感物质的环境因素也较多<sup>[46]</sup>,因此,加强田间条件下小麦对节节麦等杂草的化感效应研究将为阐明小麦的化感除草作用提供参考依据。

#### 4 参考文献

- [1] 陈珊,邱秋金,李园萍,等.化感小麦植株及根际土壤水浸提液对看麦娘发根力的影响[J].福建农林大学学报(自然科学版),2014,43(5):518-522.  
CHEN Shan, QIU Qiujin, LI Yuanping, et al. Allelopathic effects of aqueous extracts from wheat (*Triticum aestivum* L.) tissues and its rhizospheric soils on rooting ability of *Alopecurus aequalis* [J]. *J Fujian Agric For Univ Nat Sci Ed*, 2014, 43(5): 518 - 522.
- [2] 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 Jianhua, CHEN Ting, LIN Wenxiong. Plant allelopathy types and their application in agriculture [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2013, 21(10): 1173 - 1183.
- [3] DUKE S O. Allelopathy: current status of research and future of the discipline: a commentary [J]. *Allel J*, 2010, 25(1): 17 - 30.
- [4] ALSAADAWI I S. Allelopathic influence of decomposing wheat residues in agroecosystems [J]. *J Crop Prod*, 2001, 4(2): 185 - 196.
- [5] 左胜鹏,马永清,稻永忍,等.不同基因型小麦麦茬对杂草的化感抑制作用[J].植物保护学报,2005,32(2):195-200.  
ZUO Shengpeng, MA Yongqing, INANAGA S, et al. Allelopathic effect of wheat stubbles with different genotypes on

- weed suppression [J]. *Acta Phytophyl Sin*, 2005, **32**(2): 195 – 200.
- [6] 张晓珂, 梁文举, 姜勇. 东北地区不同小麦品种对黑麦草的化感作用[J]. *应用生态学报*, 2006, **17**(7): 1191 – 1195.  
ZHANG Xiaoke, LIANG Wenju, JIANG Yong. Allelopathic potentials of different wheat varieties in Northeast China against ryegrass [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, **17**(7): 1191 – 1195.
- [7] WU Hanwen, HAIG T, PRATLEY J, *et al.* Distribution and exudation of allelochemicals in wheat *Triticum aestivum* [J]. *J Chem Ecol*, 2000, **26**(9): 2141 – 2154.
- [8] WU Hanwen, HAIG T, PRATLEY J, *et al.* Allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum* L.): variation of phenolic acids in shoot tissues [J]. *J Agric Food Chem*, 2001, **48**(11): 5321 – 5325.
- [9] ASLAM F, KHALIQ A, MATLOOB A, *et al.* Allelopathy in agro-ecosystems: a critical review of wheat allelopathy-concepts and implications [J]. *Chemoecology*, 2017, **27**(1): 1 – 24.
- [10] 房锋, 高兴祥, 魏守辉, 等. 麦田恶性杂草节节麦在中国的发生发展[J]. *草业学报*, 2015, **24**(2): 194 – 201.  
FANG Feng, GAO Xingxiang, WEI Shouhui, *et al.* Occurrence and effects of *Aegilops tauschii* in China [J]. *Acta Pratac Sin*, 2015, **24**(2): 194 – 201.
- [11] 房锋, 张朝贤, 黄红娟, 等. 麦田节节麦发生动态及其对小麦产量的影响[J]. *生态学报*, 2014, **34**(14): 3917 – 3923.  
FANG Feng, ZHANG Chaoxian, HUANG Hongjuan, *et al.* The occurrence of Tausch's goatgrass (*Aegilops tauschii* Coss.) in wheat fields and its effect on wheat yield [J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, **34**(14): 3917 – 3923.
- [12] 王克功, 曹亚萍, 任瑞兰, 等. 麦田恶性杂草节节麦发芽特性研究[J]. *麦类作物学报*, 2010, **30**(5): 958 – 962.  
WANG Kegong, CAO Yaping, REN Ruilan, *et al.* Study on germinative character of *Aegilops tauschii*, a worst weed in wheat-field [J]. *J Tritic Crop*, 2010, **30**(5): 958 – 962.
- [13] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [15] WILLIAMSON G B, RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J]. *J Chem Ecol*, 1988, **14**(1): 181 – 187.
- [16] 高姗, 廖超英, 刘瑞顺, 等. 黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)对羊柴(*Hedysarum laeve*)及柠条(*Caragana intermedia*)的化感作用[J]. *中国沙漠*, 2015, **35**(3): 645 – 651.  
GAO Shan, LIAO Chaoying, LIU Ruishun, *et al.* Allelopathic effects of *Artemisia ordosica* on *Hedysarum laeve* and *Caragana intermedia* [J]. *J Desert Res*, 2015, **35**(3): 645 – 651.
- [17] 刘威, 陈佳宁, 张帆, 等. 白三叶水浸液对草坪草的化感作用[J]. *东北农业大学学报*, 2014, **45**(5): 52 – 58.  
LIU Wei, CHEN Jianing, ZHANG Fan, *et al.* Allelopathy of *Trifolium repense* L. aqueous extracts on turfgrasses [J]. *J Northeast Agric Univ*, 2014, **45**(5): 52 – 58.
- [18] RICE E L. *Allelopathy* [M]. 2nd Ed. New York: Academic Press, 1984.
- [19] DUKE S O. Weeding with allelochemicals and allelopathy-a commentary [J]. *Pest Manage Sci*, 2007, **63**(4): 307. <https://doi.org/10.1002/ps.1367>.
- [20] KONG Chuihua, LI Hangbo, HU Fei, *et al.* Allelochemicals released by rice roots and residues in soil [J]. *Plant Soil*, 2006, **288**(1/2): 47 – 56.
- [21] 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等. 红薯叶片浸提液对5种主要农田杂草种子萌发及幼苗生长的化感作用[J]. *生态学报*, 2017, **37**(6): 1931 – 1938.  
SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, *et al.* Allelopathic effects of water extracts from sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves on five major farming weeds [J]. *Acta Ecol Sin*, 2017, **37**(6): 1931 – 1938.
- [22] 胡飞, 孔垂华. 胜红蓟化感作用研究 I. 水溶物的化感作用及其化感物质分离鉴定[J]. *应用生态学报*, 1997, **8**(3): 304 – 308.  
HU Fei, KONG Chuihua. Allelopathy of *Ageratum conyzoides* ( I ) allelopathy of *Ageratum conyzoides* aqueous extract and isolation and identification of its allelochemicals [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1997, **8**(3): 304 – 308.
- [23] 黄洪武, 李俊, 董立尧, 等. 加拿大一枝黄花对植物化感作用的研究[J]. *南京农业大学学报*, 2009, **32**(1):

48 - 54.

HUANG Hongwu, LI Jun, DONG Liyao, *et al.* The study on allelopathy of *Solidago canadensis* L. to several plants [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2009, **32**(1): 48 - 54.

- [24] TURK M A, TAWAHA A-R M. Inhibitory effects of aqueous extracts of black mustard on germination and growth of lentil [J]. *J Agron*, 2002, **1**(1): 28 - 30.
- [25] 阿依古力·阿布都拉, 玉山·库尔班, 阿布都哈巴儿·阿布都克日木. 小麦和棉花不同部位水浸液对播娘蒿种子发芽和幼苗生长的化感效应[J]. 新疆农业大学学报, 2014, **37**(5): 385 - 392.  
Ayiguli Abudula, Yusan Kurban, Abuduhabar Abdukerim. Allelopathic effect of wheat and cotton aqueous extracts with different parts on seed germination and seedlings growth of *Descurainia sophia* [J]. *J Xinjiang Agric Univ*, 2014, **37**(5): 385 - 392.
- [26] 郑丽, 冯玉龙. 紫茎泽兰叶片化感作用对 10 种草本植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 生态学报, 2005, **25**(10): 2782 - 2787.  
ZHENG Li, FENG Yulong. Allelopathic effects of *Eupatorium adenophorum* Spreng. on seed germination and seedling growth in ten herbaceous species [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25**(10): 2782 - 2787.
- [27] 李富荣, 黄莹, 梁士楚, 等. 几种菊科入侵植物和非入侵植物的化感作用比较[J]. 生态环境学报, 2011, **20**(5): 813 - 818.  
LI Furong, HUANG Ying, LIANG Shichu, *et al.* Compare the allelopathy of some invasive and non-invasive Compositae species [J]. *Ecol Environ Sci*, 2011, **20**(5): 813 - 818.
- [28] 张秋菊, 张爱华, 雷锋杰, 等. 人参皂苷粗提液对西洋参早期生长的化感效应[J]. 西北植物学报, 2011, **31**(3): 576 - 582.  
ZHANG Qiuju, ZHANG Aihua, LEI Fengjie, *et al.* Allelopathic effect of crude ginsenoside extracts on early growth of *Panax quinquefolium* L. [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2011, **31**(3): 576 - 582.
- [29] 张重义, 林文雄. 药用植物的化感自毒作用与连作障碍[J]. 中国生态农业学报, 2009, **17**(1): 189 - 196.  
ZHANG Zhongyi, LIN Wenxiong. Continuous cropping obstacle and allelopathic autotoxicity of medicinal plants [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2009, **17**(1): 189 - 196.
- [30] 朱慧, 马瑞君, 陈树思, 等. 高寒草场主要牧草对黄帚橐吾水浸液化感胁迫的生理响应[J]. 草业学报, 2007, **16**(5): 102 - 106.  
ZHU Hui, MA Ruijun, CHEN Shusi, *et al.* Physiological response of main pasture plants in psychro-grassland to allelopathic stress of aqueous extracts from *Ligularia virgaurea* [J]. *Acta Pratac Sin*, 2007, **16**(5): 102 - 106.
- [31] 田学军, 沈云玫, 陶宏征, 等. 入侵植物肿柄菊对三叶鬼针草的化感作用[J]. 生态环境学报, 2015, **24**(7): 1128 - 1131.  
TIAN Xuejun, SHEN Yunmei, TAO Hongzheng, *et al.* Allelopathy of invasive *Tithonia diversifolia* on *Bidens pilosa* [J]. *Ecol Environ Sci*, 2015, **24**(7): 1128 - 1131.
- [32] 黄玉梅, 张杨雪, 刘庆林, 等. 孔雀草水浸提液对 4 种园林植物化感作用的研究[J]. 草业学报, 2015, **24**(6): 150 - 158.  
HUANG Yumei, ZHANG Yangxue, LIU Qinglin, *et al.* Research on allelopathy of aqueous extract from *Tagetes patula* to four garden plants [J]. *Acta Pratac Sin*, 2015, **24**(6): 150 - 158.
- [33] 郑洁, 刘芳, 吴兴波, 等. 白三叶叶片水浸提液对几种园林植物的化感作用[J]. 浙江农林大学学报, 2014, **31**(1): 19 - 27.  
ZHENG Jie, LIU Fang, WU Xingbo, *et al.* Research of the aquatic extract from leaves of *Trifolium repens* to several garden plants [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2014, **31**(1): 19 - 27.
- [34] 叶文斌, 樊亮. 党参和黄芪根际土壤水浸液对亚麻种子萌发和幼苗生长的化感效应[J]. 西北农业学报, 2013, **22**(7): 62 - 67.  
YE Wenbin, FAN Liang. Allelopathy of rhizosphere soil aqueous of extract from *Codonopsis pilosula* and *A. membranaceus* on germination and seedling growth of *Linum usitatissimum* [J]. *Acta Agric Boreal-Occident Sin*, 2013, **22**(7): 62 - 67.
- [35] 刘瑞姣, 李尚擘, 张瑞娥, 等. 桔梗水浸提液对小麦幼苗的化感作用[J]. 生物学杂志, 2014, **31**(1): 28 - 32.



- LIU Ruijiao, LI Shangbo, ZHANG Ruie, *et al.* Allelopathy of aquatic extracts from *Platycodon grandiflorum* on wheat seedling [J]. *J Biol*, 2014, **31**(1): 28 – 32.
- [36] 黄凯丰, 胡丽雪, 饶庆琳, 等. 甜芥根系分泌物的化感作用研究[J]. 安徽农业大学学报, 2012, **39**(5): 731 – 734.
- HUANG Kaifeng, HU Lixue, RAO Qinglin, *et al.* Allelopathic effect of common buckwheat root exudates [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2012, **39**(5): 731 – 734.
- [37] 邱秋金, 谢惠玲, 李圆萍, 等. 看麦娘根系对小麦根水提液化感作用的生理响应[J]. 中国生态农业学报, 2015, **23**(2): 233 – 238.
- QIU Qiujin, XIE Huiling, LI Yuanping, *et al.* Physiological response of *Alopecurus aequalis* root to allelopathic effects of wheat (*Triticum aestivum* L.) root tissue extracts [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2015, **23**(2): 233 – 238.
- [38] FARHOUDI R, LEE D J. Allelopathic effects of barley extract (*Hordeum vulgare*) on sucrose synthase activity, lipid peroxidation and antioxidant enzymatic activities of *Hordeum spontaneum* and *Avena ludoviciana* [J]. *Proc Natl Acad Sci India Sect B Biol Sci*, 2013, **83**(3): 447 – 452.
- [39] 刘成, 陈晓德, 吴明, 等. 芦苇叶片化感作用对加拿大一枝黄花生长及生理生化特性的影响[J]. 草业学报, 2014, **23**(3): 182 – 190.
- LIU Cheng, CHEN Xiaode, WU Ming, *et al.* Allelopathic effects of *Phragmites communis* leaves on the growth and physiobiochemical characteristics of *Solidago canadensis* [J]. *Acta Pratac Sin*, 2014, **23**(3): 182 – 190.
- [40] 鲍红春, 郝丽珍, 张凤兰, 等. 沙芥水浸提液对白菜种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 植物生理学报, 2015, **51**(7): 1109 – 1116.
- BAO Hongchun, HAO Lizhen, ZHANG Fenglan, *et al.* Allelopathic effects of aqueous extracts of *Pugionium cornutum* on seed germination and seedling growth of cabbage [J]. *Plant Physiol J*, 2015, **51**(7): 1109 – 1116.
- [41] 张志忠, 石秋香, 孙志浩, 等. 入侵植物空心莲子草对生菜和萝卜的化感效应[J]. 草业学报, 2013, **22**(1): 288 – 293.
- ZHANG Zhizhong, SHI Qiuxiang, SUN Zhihao, *et al.* Allelopathy of the invasive plant *Alternanthera philoxeroides* to radish and lettuce [J]. *Acta Pratac Sin*, 2013, **22**(1): 288 – 293.
- [42] 葛婷婷, 黄益洪, 何晓兰, 等. 高粱不同组织浸提液对小麦幼苗的化感作用[J]. 麦类作物学报, 2015, **35**(5): 722 – 728.
- GE Tingting, HUANG Yihong, HE Xiaolan, *et al.* Allelopathic effect of aqueous extract of different organs of *Sorghum* on seedling growth of wheat [J]. *J Tritic Crop*, 2015, **35**(5): 722 – 728.
- [43] 赵利, 牛俊义, 李长江, 等. 地肤水浸提液对胡麻化感效应的研究[J]. 草业学报, 2010, **19**(2): 190 – 195.
- ZHAO Li, NIU Junyi, LI Changjiang, *et al.* Allelopathy of aqueous extracts of *Kochia scoparia* on flaxseed [J]. *Acta Pratac Sin*, 2010, **19**(2): 190 – 195.
- [44] 王云, 符亮, 龙凤玲, 等. 2种婆婆纳属植株水浸提液对6种受体植物的化感作用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, **41**(4): 178 – 190.
- WANG Yun, FU Liang, LONG Fengling, *et al.* Allelopathic effects of water extractions from two *Veronica* species on 6 kinds of receiving crops [J]. *J Northwest A&F Univ Nat Sci Ed*, 2013, **41**(4): 178 – 190.
- [45] 傅蓁仪, 徐海量, 安红燕, 等. 柽柳水浸提液对猪毛菜种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 西北植物学报, 2012, **32**(9): 1836 – 1843.
- FU Jinyi, XU Hailiang, AN Hongyan, *et al.* Allelopathy of aqueous extracts from *Tamarix* spp. on seed germination and seedling growth of *Salsola collina* Pall. [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2012, **32**(9): 1836 – 1843.
- [46] 张晓珂, 姜勇, 梁文举, 等. 小麦化感作用研究进展[J]. 应用生态学报, 2004, **15**(10): 1967 – 1972.
- ZHANG Xiaoke, JIANG Yong, LIANG Wenju, *et al.* Research advances in wheat (*Triticum aestivum*) allelopathy [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **15**(10): 1967 – 1972.