

## 沙芥水浸提液对白菜种子萌发和幼苗生长的化感作用

鲍红春, 郝丽珍\*, 张凤兰, 杨忠仁, 李小雷, 郑清岭

内蒙古农业大学农学院/内蒙古自治区野生特有蔬菜种质资源与种质创新重点实验室, 呼和浩特 010019

**摘要:** 本文用室内生物测定法, 研究了沙芥叶、果皮和枝条水浸提液对白菜种子萌发和幼苗生长及相关生理指标的影响。结果表明, 不同部位水浸提液均能抑制白菜种子萌发及幼苗生长, 且水浸提液浓度越高, 抑制作用越强。各部位不同浓度水浸提液降低了白菜幼苗叶绿素、可溶性蛋白含量及根系活力, 抑制了超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性, 提高了叶片相对电导率与丙二醛含量(MDA)。沙芥不同部位水浸提液的化感作用强弱表现为叶>果皮>枝条。

**关键词:** 沙芥; 白菜; 水浸提液; 化感作用; 化感机理

## Allelopathic Effects of Aqueous Extracts of *Pugionium cornutum* on Seed Germination and Seedling Growth of Cabbage

BAO Hong-Chun, HAO Li-Zhen\*, ZHANG Feng-Lan, YANG Zhong-Ren, LI Xiao-Lei, ZHENG Qing-Ling

College of Agriculture, Inner Mongolia Agriculture University, Inner Mongolia Autonomous Region Key Laboratory of Wild Peculiar Vegetable Germplasm Resources and Germplasm Enhancement, Huhhot 010019, China

**Abstract:** In this paper, the effects of aqueous extracts from leaves, peels and branches of *Pugionium cornutum* on the germination of cabbage seed, growth and physiological indexes of cabbage seedling were studied by means of bioassay in laboratory. The results showed that aquatic extracts from different parts inhibited cabbage seed germination and seedling growth, and the inhibition effect enhanced with the increase of concentration. The different concentrations of aquatic extracts from different parts decreased chlorophyll, soluble protein contents and root activity of cabbage seedling, inhibited superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) activities of the cabbage seedlings, increased leaf conductivity and MDA contents. The allelopathic effect order of aqueous extracts from different parts of *P. cornutum* was leaf>peel>branch.

**Key words:** *Pugionium cornutum*; cabbage; aqueous extracts; allelopathy effect; allelopathy mechanism

化感作用(allelopathy)是指一种植物或微生物通过挥发、淋洗、根系分泌和植物分解等途径, 向环境释放某些化学物质进而影响自身或邻近有机体(受体)的生长和发育的化学生态学现象(Rice 1984)。这种影响既可能是有害的, 也可能是有利的(金攀等2011)。植物的化感作用在自然界中普遍存在, 如菊科(*Asteraceae*)、十字花科(*Brassicaceae*)、禾本科(*Gramineae*)、豆科(*Leguminosae*)和忍冬科(*Caprifoliaceae*)等都具有化感作用(杜照奎等2012)。目前随着蔬菜种植面积的扩大, 对其化感作用的研究越来越受到重视, 一些蔬菜化感作用已得到评价、开发和利用, 其在合理种植制度建立、田间杂草控制、病虫害防治以及减少连作障碍等方面发挥着重要的作用(韩志军等2011; 刘建新等2009; 王春会等2009; 严泽生等2011)。

沙芥隶属于十字花科沙芥属, 为二年生草本植物, 分布于中国甘肃、宁夏、陕西、内蒙古等

地, 为我国的特有种。近年来研究表明沙芥一年生根、叶以及二年生的嫩茎营养成分丰富(杨忠仁等2013; 张凤兰等2012), 其不同极性溶剂萃取液具有镇痛、镇咳和促胃肠动力的药用功能; 沙芥还具有抗旱、抗寒、耐瘠薄等特点, 可作为蔬菜、药材、防风固沙植物(孔德娟等2014; 赵鹏等2013)。虽然沙芥的营养价值、药用价值和优良的遗传特性已经得到充分的肯定, 但本校沙生蔬菜课题组在进行研究其耕作方式时发现, 种植沙芥后的土壤继续种植白菜会造成白菜出苗率降低、生长不整齐和产量下降等现象, 推测沙芥与其下茬白菜之间存在化感作用。本研究通过分析沙芥

收稿 2015-03-06 修定 2015-06-29

资助 农业部公益性行业科研专项经费项目(201203004)、内蒙古主席基金和国家自然科学基金(31160393和30460080)。

\* 通讯作者(E-mail: haolizhen\_1960@163.com; Tel: 0471-4318467)。

叶、果皮和枝条水浸提液对白菜种子萌发特征及幼苗生长相关生理指标的影响,了解沙芥的化感效应及生理生化机制,以期为沙芥栽培中的合理轮、间、套作方式的制定提供理论依据。

## 材料与方 法

### 1 供试材料

以采自内蒙古鄂尔多斯毛乌素沙地自然生境的沙芥 [*Pugionium cornutum* (L.) Gaertn] 叶、果皮和枝条为实验材料,用蒸馏水洗净,低温风干。受体材料为白菜 (*Brassica chinensis* L.) ‘秋珍白六号’,纯度98%,净度98%,发芽率85%以上,含水量7%。

### 2 实验方法

#### 2.1 不同部位水浸提液制备

将沙芥的叶、果皮和枝条干样粉碎,取100 g置于3 L的广口瓶中,加入500 mL蒸馏水密闭浸提48 h,期间置于100 r·min<sup>-1</sup>的摇床上振摇,浸提后于8 000 r·min<sup>-1</sup>离心10 min,取上清液用双层滤纸过滤,得到浓度为0.20 g·mL<sup>-1</sup>的浸提液母液,将母液分别用无菌蒸馏水稀释为0.05、0.10和0.15 g·mL<sup>-1</sup>后保存于4 °C冰箱中备用。

#### 2.2 种子萌发试验

采用培养皿滤纸法进行种子萌发试验,滤纸灭菌,每个培养皿铺2层滤纸,选择颗粒饱满、大小均一、正常成熟的白菜种子用0.1%升汞溶液消毒2 min,再用无菌蒸馏水冲洗数次,均匀排列于培养皿内,每皿100粒,分别加入5 mL不同浓度的水浸提液,以同体积蒸馏水作为对照。每个处理3次重复,置于25 °C恒温光照培养箱内,进行萌发试验,每天观察、记录种子萌发数量,适当补充水浸液或蒸馏水,保持滤纸湿润。以胚根突破种子2 mm计为萌发,72 h统计发芽率,计算发芽指数。发芽率(%)=(规定时间内种子发芽数/供试种子数)×100。发芽指数(GI)= $\sum(G_t/D_t)$ ,其中 $G_t$ 为第t天的发芽数, $D_t$ 为相应的发芽天数。

#### 2.3 幼苗生长试验

选择颗粒饱满、大小基本一致、预先催芽的白菜种子,播种在装有河沙的营养钵中,每钵播10粒,加入各浓度的水浸提液10 mL,对照加等量水,每个处理设定3次重复,于室温条件下进行培养。每天补充适量相应的浸提液或者蒸馏水,培养8 d

后测量其根长、苗高及相关生理指标。

### 2.4 生理指标测定

取0.2 g白菜幼苗,用双蒸水洗干净,装入试管中加20 mL无离子水浸泡4 h,用DDS-IIA型电导仪测定浸泡液电导率。然后将试管置于100 °C水浴中煮沸20 min,冷却至室温,测定此时浸出液的电导率(张宪政等1994)。相对电导率=浸出液电导率值/煮沸后电导率值×100%。

白菜根系活力采用氯化三苯基四氮唑(TTC)比色法测定(郝建军等2007);过氧化氢酶(catalase, CAT)的活性采用紫外分光光度法测定参照Cakmak和Marschner (1992);过氧化物酶(peroxidase, POD)活性采用愈创木酚比色法测定(张志良1990);超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性采用NBT光化还原法测定(孔祥生和易现锋2008);幼苗可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝G-250法测定;叶绿素含量采用丙酮乙醇混合法进行测定(郝建军等2007);丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法进行测定(郝建军等2007)。

化感效应参照化感效应指数(response index, RI)进行。当 $T \geq C$ 时,  $RI = 1 - C/T$ , 当 $T < C$ 时,  $RI = T/C - 1$ , 其中C为对照值, T为处理值, RI为化感效应指数。RI>0为促进作用, RI<0时为抑制作用(Williamson和Richardson 1988)。化感综合效应(synthetic inhibiting effect, SE)是发芽率、苗高、根长、根系活力、CAT、POD、SOD活性、相对电导率和MDA含量等化感效应指数的平均值。

### 3 数据处理

采用Microsoft Excel 2003软件处理原始数据和绘图,采用DPS软件对数据进行方差分析及最小差异显著性检验。

## 实验结果

### 1 沙芥不同部位水浸提液对白菜种子萌发的影响

由图1和2可知,沙芥叶、果皮和枝条水浸提液处理均使白菜种子的发芽率和发芽指数受到抑制。与对照相比,浓度为0.15和0.20 g·mL<sup>-1</sup>的沙芥水浸提液对白菜种子萌发均出现显著抑制作用( $P < 0.05$ );其中0.20 g·mL<sup>-1</sup>叶水浸提液处理下,白菜种子发芽指数为20.1,发芽率为56%,抑制作用最

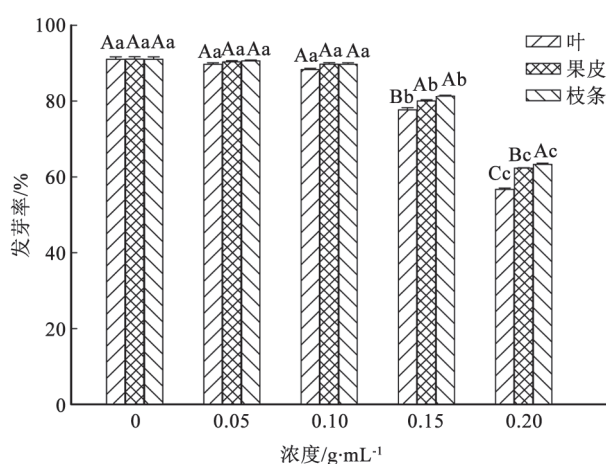


图1 沙芥不同部位水浸提液对白菜发芽率的影响  
Fig.1 Effects of aqueous extracts from different parts of *P. cornutum* on germination rate of cabbage

大写字母表示相同浓度不同部位间差异显著性( $P<0.05$ ), 小写字母表示同一部位不同浓度间差异显著性( $P<0.05$ ), 下同。

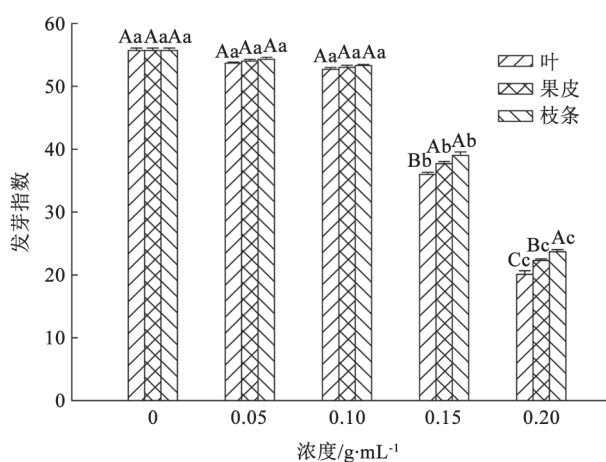


图2 沙芥不同部位水浸提液对白菜发芽指数的影响  
Fig.2 Effects of aqueous extracts from different parts of *P. cornutum* on germination index of cabbage

强; 而0.05和0.10 g·mL<sup>-1</sup>水浸提液处理下, 对白菜种子萌发抑制作用不显著, 各部位之间差异也不显著。0.20 g·mL<sup>-1</sup>水浸提液处理下, 各部位之间的抑制作用差异达到显著水平( $P<0.05$ )。与发芽率相比, 各部位水浸提液对白菜种子发芽指数的抑制作用更强, 说明水浸提液不仅能抑制白菜种子发芽, 而且还能延迟种子萌发。

## 2 沙芥不同部位水浸提液对白菜幼苗生长的影响

由图3和4可知, 与对照相比, 沙芥叶、果皮和枝条水浸提液对白菜幼苗根长和苗高均具有抑制

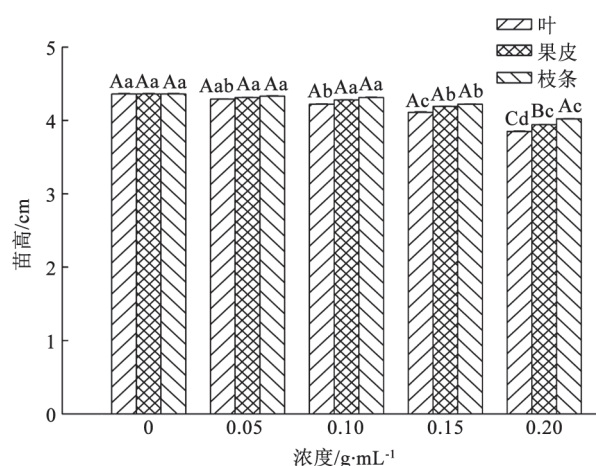


图3 沙芥不同部位水浸提液对白菜苗高的影响  
Fig.3 Effects of aqueous extracts from different parts of *P. cornutum* on seedling height of cabbage

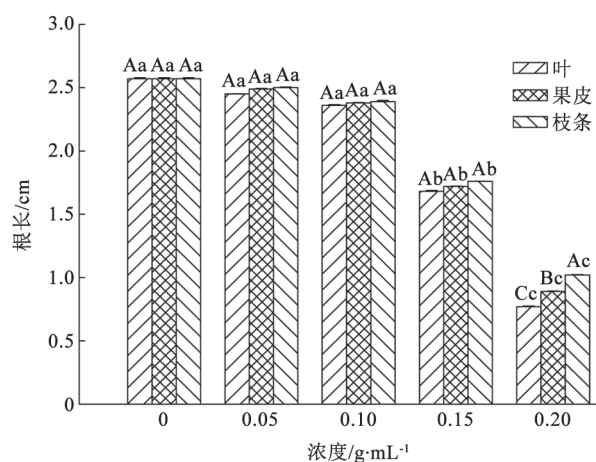


图4 沙芥不同部位水浸提液对白菜根长的影响  
Fig.4 Effects of aqueous extracts from different parts of *P. cornutum* on root length of cabbage

作用, 且随水浸提液浓度的提高, 幼苗苗高和根长逐渐降低, 抑制作用增强。其中0.05和0.10 g·mL<sup>-1</sup>的各部位水浸提液处理下, 对苗高和根长的抑制作用不明显, 相同浓度下各部位之间差异也不显著。0.15和0.20 g·mL<sup>-1</sup>浓度处理下, 与对照间差异显著( $P<0.05$ ), 且对根长的抑制作用大于苗高, 0.20 g·mL<sup>-1</sup>叶水浸提液的抑制作用最强, 白菜幼苗苗高和根长分别降低了11.7%和70.1%。

## 3 沙芥不同部位水浸提液对白菜根系活力的影响

由图5可知, 沙芥叶、果皮和枝条水浸提液对白菜根系活力存在抑制作用, 且随浓度的增加而降低。0.05和0.10 g·mL<sup>-1</sup>浓度处理下, 各部位与对

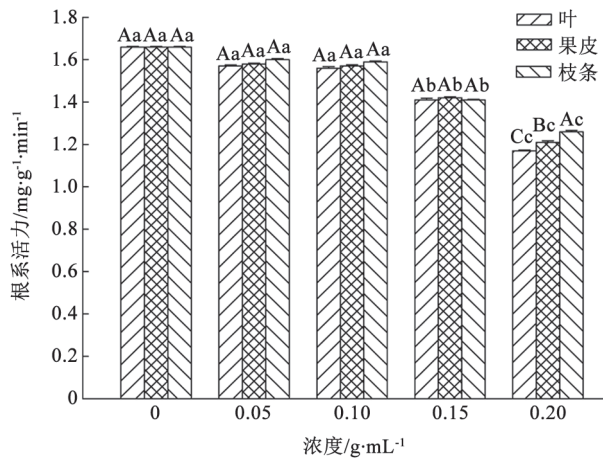


图5 沙芥不同部位水浸提液对白菜根系活力的影响  
Fig.5 Effects of aqueous extracts from different parts of *P. cornutum* on root activity of cabbage

照相比其根系活力的差异均不显著,且各部位之间差异也不显著;水浸提液浓度为0.15和0.20 g·mL<sup>-1</sup>处理下,各部位与对照相比其根系活力的差异均达显著水平( $P < 0.05$ )。0.20 g·mL<sup>-1</sup>叶、果皮和枝条水浸提液处理下,根系活力分别比对照降低了29.5%、27.1%和24.1%,对根系活力影响最大,各部位之间的差异也达到显著水平。表明随水浸提液浓度的升高,白菜根系受到的危害逐渐增大,根系脱氢酶的活性受到抑制,根系活力下降。

#### 4 沙芥不同部位水浸提液对白菜幼苗叶绿素含量的影响

由图6可知,不同浓度叶、果皮和枝条水浸提

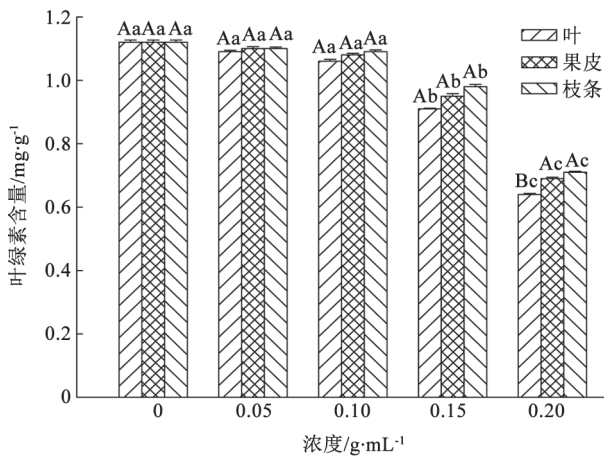


图6 沙芥不同部位水浸提液对白菜叶绿素含量的影响  
Fig.6 Effects of aqueous extracts from different parts of *P. cornutum* on chlorophyll content of cabbage

液处理下,白菜幼苗的叶绿素含量均有不同程度的降低。且浓度越大,下降越明显。对照叶绿素含量为1.12 mg·g<sup>-1</sup>,0.20 g·mL<sup>-1</sup>叶、果皮、枝条水浸提液处理的叶绿素含量比对照分别降低了42.9%、38.4%和36.6%,其中0.15~0.20 g·mL<sup>-1</sup>不同部位水浸提液处理下,与对照间差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。说明沙芥不同部位水浸提液对白菜叶绿素含量具有化感抑制作用。

#### 5 沙芥不同部位水浸提液对白菜叶片电导率的影响

由图7可知,白菜叶片的电导率随着水浸提液浓度的增加呈现逐渐升高的趋势。0.10 g·mL<sup>-1</sup>的叶、果皮和枝条水浸提液处理下,白菜叶片电导率分别提高了1.6%、1.3%和1.1%,与对照间差异不显著,且不同部位之间差异不显著。0.20 g·mL<sup>-1</sup>的各部位水浸提液处理下,电导率分别提高了44.8%、35.9%和32.5%,与对照间差异显著( $P < 0.05$ ),且不同部位之间差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。说明随着水浸提液浓度的升高,细胞膜受到破坏,细

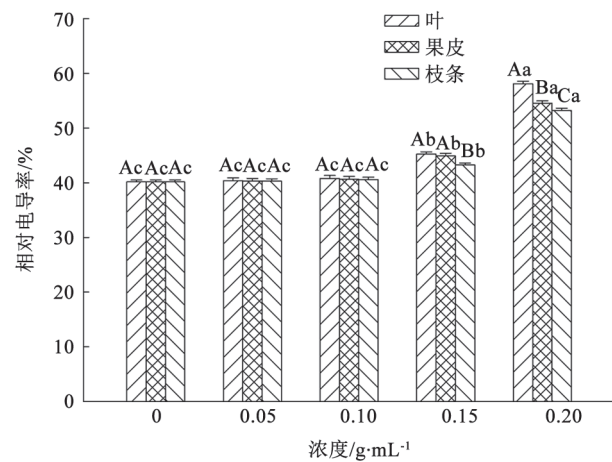


图7 沙芥不同部位水浸提液对白菜叶片相对电导率的影响  
Fig.7 Effects of aqueous extracts from different parts of *P. cornutum* on relative conductivity of cabbage

胞膜内电解质外渗量增多,电导率增大。

#### 6 沙芥不同部位水浸提液对白菜幼苗丙二醛含量的影响

由图8可知,白菜体内MDA含量随水浸提液浓度的增加呈现升高趋势,表明细胞膜受损的程度逐渐加大。沙芥叶、果皮和枝条水浸提液浓度为0.10 g·mL<sup>-1</sup>,白菜MDA含量分别增加了3.4%、2.6%、3.4%,与对照间差异不显著,不同部位之间

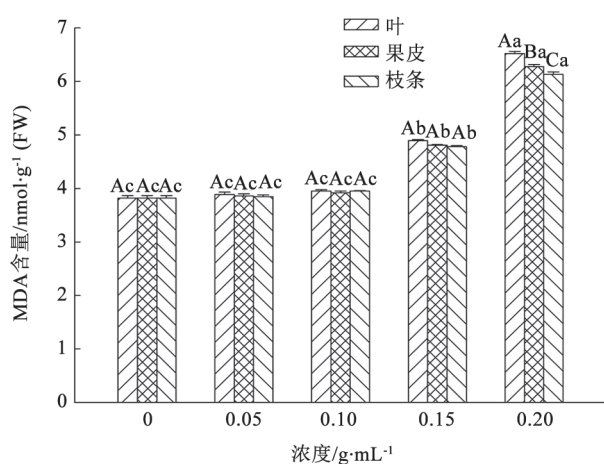


图8 沙芥不同部位水浸提液对白菜幼苗MDA含量的影响  
Fig.8 Effects of aqueous extracts from different parts of *P. cornutum* on MDA content of cabbage seedling

差异也不显著,这可能是由于较低浓度的水浸提液化感效应激活了白菜体内的一些保护酶,抑制了膜脂过氧化反应,MDA产量低。当各部位水浸提液浓度为0.20 g·mL<sup>-1</sup>,MDA含量分别增加60.4%、64.4%和70.6%,与对照间差异显著( $P < 0.05$ )。表明白菜体内膜脂过氧化作用增强,细胞膜透性增大,细胞受伤害程度加重。

### 7 沙芥不同部位水浸提液对白菜幼苗保护酶活性的影响

由图9和10可知,不同浓度沙芥叶、果皮和枝条水浸提液处理后,白菜幼苗体内的SOD和POD活性变化趋势相似,随着水浸提液浓度的增大而

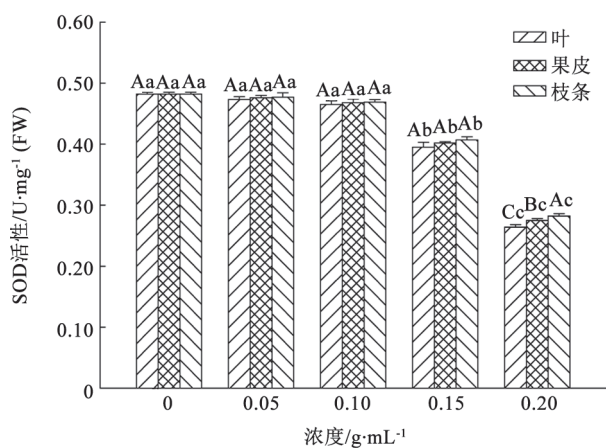


图9 沙芥不同部位水浸提液对白菜幼苗SOD活性的影响  
Fig.9 Effects of aqueous extracts from different parts of *P. cornutum* on SOD activity of cabbage seedling

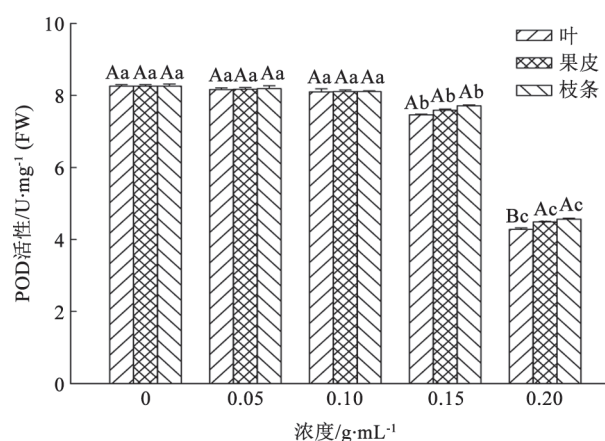


图10 沙芥不同部位水浸提液对白菜幼苗POD活性的影响  
Fig.10 Effects of aqueous extracts from different parts of *P. cornutum* on POD activity of cabbage seedling

逐渐降低。当浓度增大到0.15 g·mL<sup>-1</sup>时,SOD和POD的活性急剧下降。而CAT活性呈先升高后降低的变化趋势(图11),之前缓慢上升,在水浸液浓度为0.10 g·mL<sup>-1</sup>时,CAT活性达到峰值,之后则急剧下降,在浓度为0.20 g·mL<sup>-1</sup>时达到最低值,与对照差异显著,不同部位之间差异也达到显著水平。

### 8 沙芥不同部位水浸提液对白菜幼苗可溶性蛋白含量的影响

由图12看出,水浸提液浓度越高,白菜幼苗可溶性蛋白含量越低,抑制作用越强。与对照相比,浓度为0.15 g·mL<sup>-1</sup>时,各部位水浸提液对可溶性蛋白含量的抑制效应均达到显著水平。当水浸提液

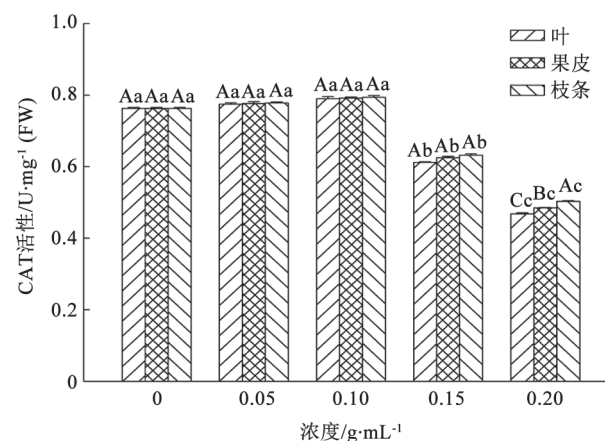


图11 沙芥各部位水浸提液对白菜CAT活性的影响  
Fig.11 Effects of aqueous extracts from different parts of *P. cornutum* on SOD activity of cabbage seedling

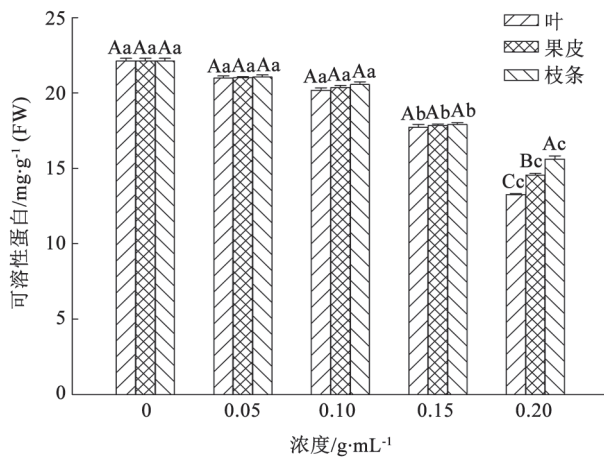


图12 沙芥各部位水浸提液对白菜幼苗可溶性蛋白含量影响  
Fig.12 Effects of aqueous extracts from different parts of *P. cornutum* on soluble protein content of cabbage seedling

浓度为0.20 g·mL<sup>-1</sup>时,白菜幼苗中可溶性蛋白含量分别降低了40.1%、34.2%和29.4%,与对照差异显著( $P<0.05$ ),不同部位之间差异也达到显著水平。

### 9 沙芥不同部位水浸提液对白菜的化感综合效应

将发芽率、发芽指数、苗高、根长和根系活力等12项指标进行综合分析,可反映沙芥对白菜的总体化感作用强度。由表1可知,3个不同部位水浸提液对白菜发芽率、发芽指数、苗高、根长、根系活力、叶绿素含量、SOD、POD、CAT活性和可溶性蛋白含量的RI均为负值,说明沙芥不同部位水浸提液具有化感抑制作用;而对MDA和叶片相对电导率的RI均为正值,表现为促进作用。并且呈明显的浓度效应,即随着水浸提液浓度的升高而逐渐增强。各部位不同浓度水浸提液化感

表1 沙芥不同部位水浸提液对白菜种子萌发和幼苗生长的化感综合效应

Table 1 Allelopathic effect of aqueous extracts from different parts of *P. cornutum* on the seed germination and seedlings growth of cabbage

指标	化感指数(RI)											
	叶水浸提液浓度/g·mL <sup>-1</sup>				果皮水浸提液浓度/g·mL <sup>-1</sup>				枝条水浸提液浓度/g·mL <sup>-1</sup>			
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.05	0.10	0.15	0.20	0.05	0.10	0.15	0.20
发芽率	-0.01	-0.03	-0.15	-0.38	-0.01	-0.02	-0.12	-0.32	-0.01	-0.02	-0.11	-0.31
发芽指数	-0.04	-0.05	-0.35	-0.64	-0.03	-0.05	-0.32	-0.60	-0.03	-0.04	-0.30	-0.57
苗高	-0.02	-0.03	-0.06	-0.12	-0.01	-0.02	-0.04	-0.10	-0.01	-0.01	-0.03	-0.08
根长	-0.05	-0.08	-0.35	-0.70	-0.03	-0.07	-0.33	-0.65	-0.03	-0.07	-0.31	-0.60
根系活力	-0.05	-0.06	-0.15	-0.30	-0.05	-0.05	-0.14	-0.27	-0.04	-0.05	-0.15	-0.24
叶绿素	-0.03	-0.05	-0.19	-0.43	-0.02	-0.04	-0.15	-0.38	-0.02	-0.03	-0.13	-0.37
相对电导率	0.01	0.02	0.11	0.31	0.01	0.02	0.11	0.26	0.01	0.01	0.08	0.25
MDA	0.02	0.03	0.22	0.41	0.01	0.03	0.21	0.39	0.01	0.03	0.20	0.37
SOD	-0.02	-0.04	-0.18	-0.45	-0.01	-0.03	-0.17	-0.43	-0.01	-0.03	-0.16	-0.42
POD	-0.01	-0.02	-0.10	-0.48	-0.01	-0.02	-0.09	-0.47	-0.01	-0.02	-0.08	-0.46
CAT	0.02	0.04	-0.20	-0.39	0.02	0.04	-0.18	-0.38	0.02	0.04	-0.17	-0.37
可溶性蛋白	-0.05	-0.09	-0.20	-0.40	-0.05	-0.08	-0.20	-0.34	-0.05	-0.07	-0.19	-0.29
综合效应	-0.02	-0.03	-0.14	-0.30	-0.01	-0.02	-0.11	-0.27	-0.01	-0.02	-0.12	-0.26

综合效应介于-0.30~-0.01之间。相同浓度下,沙芥各部位水浸提液化感作用强弱为叶>果皮>枝条。各部位水浸提液对沙芥种子发芽、苗高、根长、根系活力等的化感综合效应与单一指标一致。因此,沙芥叶为化感物质存在的主要部位之一。

## 讨 论

### 1 沙芥不同部位水浸提液的化感作用

通过测定供体对受体植物种子萌发及幼苗生

长的影响,已成为研究化感作用最重要的方法之一。种子萌发是植物生活史的开端,其萌发率决定个体生存和群体数量。植物通过向环境释放化感物质,进而影响周围种子萌发及幼苗生长发育(李晓娟等2013;李彦斌等2008;张震等2009)。因此,发芽率、发芽指数、苗高和根长等往往被视为衡量化感效应强弱的重要指标。本研究结果表明,沙芥叶、果皮和枝条水浸提液对白菜种子萌发影响不同,其发芽率和发芽指数的RI均为负值,

表现为抑制作用, 并呈现浓度效应, 即随着水浸提液浓度增加, 化感抑制作用逐渐增强。这与玉米叶水浸提液对黄芩(*Scutellarla balcalensls*)的化感作用(彭晓邦和张硕新2012)、黄花棘豆(*Oxytropis ochrocephala*)对油菜(*Brassica campestris*)化感作用研究结果相反(李翔等2011)。高于 $0.15 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度的水浸提液对白菜种子萌发及幼苗生长均产生较强的抑制作用, 白菜幼苗根系逐渐卷曲变短, 并有黑褐色斑点出现, 而对照根系却洁白、生长整齐。这与裂叶牵牛[*Ipomoea hederacea*]对小麦、白菜、早熟禾(*Poa angustifolia*)和鸡冠花(*Celosia cristata*)化感作用(刘明久等2008); 紫花苜蓿(*Medicago sativa*)对玉米和小麦化感作用(朱晓红等2004)研究结果一致。说明沙芥对白菜存在化感效应, 且白菜根对沙芥化感作用敏感。前人研究表明, 同一植物不同器官间的化感作用通常存在一定差异, 可能与不同器官中化感物质的种类和含量有关(马瑞君等2006; Hunter和Menges 2002)。王广印等(2008)研究结果表明, 辣椒全株、根、茎、叶水浸液对不同受体蔬菜种子发芽的化感抑制程度不同, 其化感作用强弱为叶>茎>全株>根。本试验中沙芥不同部位水浸提液对白菜种子萌发和幼苗生长的抑制程度存在一定差异, 相同浓度下各部位水浸提液化感作用强弱依次为叶>果皮>枝条, 说明沙芥叶中化感物质较丰富。

## 2 沙芥化感作用对白菜中叶绿素和蛋白质的影响

光合作用是植物代谢的基础, 叶绿素是光能吸收与转换的主要物质, 其含量直接影响植株对光能的利用(Maxwell和Johnson 2000)。本实验中, 沙芥不同浓度叶、果皮和枝条水浸提液处理下, 均能够降低白菜幼苗叶绿素的含量。且浓度越大, 降低越明显, 当浓度达到 $0.15 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 与对照间差异达到显著水平。这可能是沙芥水浸提液中的化感物质进入白菜幼苗体内, 抑制了ATP酶的活性, 使叶绿素合成的酶系统受到影响, 叶绿素含量降低, 光合能力减弱, 从而进一步抑制白菜的生长。

可溶性蛋白为植物体内重要的渗透调节物质, 其中多数是参与各种物质代谢的酶类, 它们的含量在一定程度上反映植物体内物质合成与代谢的能力(王芳等2013)。植物在逆境胁迫下细胞内正常的代谢活动会受到影响, 体内可溶性蛋白和氨基

酸含量也会发生一定变化(Renaut等2004; Shen等2003)。有研究报道, 干旱和臭氧等逆境胁迫下的植物, 可溶性蛋白质含量降低(姚晓华和吴昆仑2012; 张巍巍等2009)。本实验中低于 $0.10 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 沙芥水浸提液, 对白菜幼苗中可溶性蛋白抑制作用不明显; 高于 $0.15 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 沙芥水浸提液显著降低了可溶性蛋白含量, 抑制了白菜幼苗的根系活力。其原因可能是沙芥水浸提液中的化感物质使白菜幼苗的生长受到抑制, 其体内的水解作用增强, 将可溶性蛋白降解为氨基酸。白菜幼苗体内可溶性蛋白含量的降低, 可能导致白菜幼苗核酸合成代谢受阻, 影响膜功能, 阻碍叶绿素的合成及影响根系活力, 最终导致白菜根和幼苗生长受阻。

## 3 沙芥化感作用对白菜相关酶活性的影响

POD、SOD和CAT是植物体内清除活性氧的重要抗氧化酶, 作为酶保护系统的重要组分, 三者只有协同作用才能有效清除代谢过程中产生的活性氧, 避免其对生物膜结构和功能造成破坏(孙海燕和王炎2012; 占胜利等2009)。而植物在遭受逆境胁迫时, 由于氧自由基的毒害会发生膜脂过氧化作用, 其产物MDA会严重损伤细胞膜系统(李寿田等2002)。因此, MDA含量往往能较为直接的反应细胞膜脂过氧化程度及植物的受胁迫程度。韩志军等(2011)研究了不同浓度的花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)叶浸提液对3个大豆品种种子萌发、幼苗生长的化感作用, 结果表明, 随着花椒叶水浸提液浓度增高, 大豆植株SOD活性显著降低, MDA含量持续增高。林文雄等(2001)报道, 水稻叶片浸提液能显著抑制稗草SOD和POD活性, 促进MDA含量的增加。张凤娟等(2008)研究了不同浓度的黄顶菊(*Flaveria bidentis*)茎叶浸提液对白菜和水稻幼苗的化感作用, 结果表明, 黄顶菊茎叶浸提液降低白菜和水稻的CAT、POD和SOD的活性, 提高了MDA含量。本研究表明, 不同浓度沙芥水浸提液处理后白菜幼苗体内的SOD、POD活性变化趋势相似, 随着浓度的增大呈降低的变化趋势, 而CAT活性则呈先升高后降低的变化趋势, 当浓度较低时( $\leq 0.10 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), POD、SOD与CAT活性与对照间差异不明显, 这可能是水浸提液的胁迫程度还没超过酶自身的调节能力。当浓度增大到 $0.15 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 与对照间差异达到显著水平。这导致

MDA含量快速增加,白菜体内的质膜透性增大,膜的结构与功能受到破坏,内容物外溢量增加,电解质外渗率增大,叶片相对电导率升高,根系活力降低,最终导致幼苗生长缓慢或死亡。由此表明,白菜细胞内活性氧自由基代谢失衡,引起自由基的积累和膜脂过氧化,从而导致质膜结构和功能受损,是沙芥对白菜产生化感抑制作用的重要原因之一。然而,化感作用机理复杂多样。关于沙芥对白菜幼苗代谢中一些酶的活性影响等生化机理还有待进一步研究。

### 参考文献

- 杜照奎,李钧敏,钟章成(2012).空心莲子草水浸提液的化感作用及化感物质分析.西南大学学报(自然科学版),34(8):53~60
- 韩志军,陈静,郑寒,马建华,吴瑜,冯鹏真,周建平(2011).花椒叶浸提液对大豆种子萌发和幼苗生长的化感作用.应用与环境生物学报,17(4):585~588
- 郝建军,唐宗利,于洋(2007).植物生理学实验技术.北京:化学工业出版社,68~172
- 金攀,杨利民,韩梅(2011).一年蓬化感物质的初步分离和生物测定.吉林农业大学学报,33(1):36~41
- 孔德娟,郝丽珍,张凤兰,赵鹏,杨忠仁,布仁吉雅(2014).沙芥种子发育过程中的脱水耐性.植物生理学报,50(3):324~330
- 孔祥生,易现锋(2008).植物生理学实验技术.北京:中国农业出版社
- 李寿田,周健民,王火焰,陈小琴(2002).化感作用在植物上的研究概况.中国生态农业学报,10(4):68~70
- 李翔,沈慧敏,杨顺义,岳秀利(2011).黄花棘豆水浸液对油菜化感作用机理的初步研究.甘肃农业大学学报,46(4):90~96
- 李晓娟,王强,倪穗,阮晓,王永红,张焕,王高峰(2013).栗与美国板栗化感作用的比较.植物生态学报,37(2):173~182
- 李彦斌,刘建国,李凤,刘淑娟,耿伟(2008).棉花植株水浸液化感效应的研究.中国生态农业学报,16(6):1489~1494
- 林文雄,何华勤,郭玉春(2001).水稻化感作用及其生理生化特性的研究.应用生态学报,12(6):871~875
- 刘建新,胡浩斌,王鑫(2009).黄瓜地上部水浸液对番茄的化感抑制效应.中国生态农业学报,17(2):312~317
- 刘明久,周修任,许桂芳,汤晓洁(2008).裂叶牵牛浸提液对几种种子萌发的化感作用.生态环境,17(3):1190~1192
- 马瑞君,王明理,赵坤,郭守军,赵庆芳,孙坤(2006).高寒草场优势杂草黄帚囊吾水浸液对牧草的化感作用.应用生态学报,17(5):845~850
- 彭晓邦,张硕新(2012).玉米叶水浸提液对不同产地黄芩种子的化感效应.草业科学,29(2):255~262
- 孙海燕,王炎(2012).辣椒根系分泌的潜在化感物质对生菜幼苗抗氧化代谢的影响.植物生理学报,48(9):887~894
- 王春会,程智慧,牛青,梁静娜,薛书浩(2009).大蒜植株超声波浸提液对不同受体蔬菜的化感作用.西北农林科技大学学报(自然科学版),37(7):103~109
- 王芳,常盼盼,陈永平,彭云玲,方永丰,王汉宁(2013).外源NO对镉胁迫下玉米幼苗生长和生理特性的影响.草业学报,22(2):178~186
- 王广印,孙晓娜,谢玉会,周秀梅(2008).辣椒植株水浸液对蔬菜种子发芽的化感作用.江苏农业学报,24(5):616~623
- 严泽生,徐冬梅,贺忠群(2011).芦笋不同组织水浸提液对辣椒的化感效应.安徽农业科学,39(16):9533~9535
- 杨忠仁,贾晋,张凤兰,郝丽珍,王六英,张卫华(2013).沙芥植株营养器官不同时期解剖结构特征与抗旱性关系研究.广东农业科学,(3):24~26
- 姚晓华,吴昆仑(2012).PEG预处理对青稞种子萌发和幼苗生理特性的影响.西北植物学报,32(7):1403~1411
- 占胜利,朱朝华,王兰英,戴进用,邓昌盛(2013).胡椒化感作用及其机理研究.安徽农业科学,37(3):943~945
- 张凤娟,徐兴友,陈凤敏,郭艾英,龙茹(2008).黄顶菊茎叶浸提液对白菜和水稻幼苗化感作用的初步研究.西北植物学报,28(8):1669~1674
- 张凤兰,杨忠仁,郝丽珍(2012).干燥前预处理对沙芥叶片品质的影响.干旱地区农业研究,30(2):264~268
- 张巍巍,郑飞翔,王效科(2009).臭氧对水稻根系活力、可溶性蛋白含量与抗氧化系统的影响.植物生态学报,33(3):425~432
- 张宪政,陈凤玉,王荣福(1994).植物生理学实验技术.沈阳:辽宁科学技术出版社,212
- 张震,徐丽,马艳婷,李娟(2009).喜旱莲子草组织水浸液对黑麦草种子和幼苗的化感效应.西北植物学报,29(1):148~153
- 张志良(1990).植物生理学实验指导.北京:高等教育出版社,154~155
- 赵鹏,张轶婷,郝丽珍,庞杰,杨忠仁,张凤兰(2013).超干处理对沙芥属蔬菜种子活力及抗氧化代谢的影响.中国农业科学,46(2):334~342
- 朱晓红,王朋,梁文举,姜勇,臧树良(2004).苜蓿化感作用的初步研究.生态学杂志,23(3):128~130
- Cakmak I, Marschner H (1992). Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiol*, 98: 1222~1227
- Hunter ME, Menges ES (2002). Allelopathic effects and root distribution of *Ceratiola ericoid* (Empetraceae) on seven rosemary scrub species. *Am J Bot*, 89 (7): 1113~1118
- Maxwell K, Johnson GN (2000). Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *J Exp Bot*, 345: 659~668
- Renaut J, Lutts S, Hoffmann L, Hausamn JF (2004). Responses of poplar to chilling temperatures: proteomic and physiological aspects. *Plant Biol*, 6: 81~90
- Rice EL (1984). Allelopathy. 2nd Ed. New York: Academic Press, 1~3
- Shen SH, Jing YX, Kuang TY (2003). proteomics approach to identify wound-response related proteins from rice leaf sheath. *Proteomics*, 3: 527~535
- Williamson GB, Richardson D (1988). Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls. *J Chem Ecol*, 14 (1): 181~187