

## 西兰花茎叶腐解液对不同蔬菜幼苗的化感效应

张学鹏,宁堂原\*,张洁莹,杨燕,孙涛,韩惠芳,李增嘉

山东农业大学农学院/作物生物学国家重点实验室/农业部作物水分生理  
与抗旱种质改良作物重点实验室/山东省作物生物学重点实验室, 山东 泰安 271018

**摘要:** 针对蔬菜田长期连作障碍的普遍发生,采用生物测定的方法,研究西兰花(Broccoli)茎叶腐解液酸性、碱性、中性组分对西兰花和青刀豆(*Phaseolus vulgaris* L.)幼苗生长的化感作用,以及幼苗丙二醛(MDA)、过氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性变化,并对其进行GC-MS鉴定。结果表明:西兰花茎叶腐解液中性、酸性物质对幼苗生物量、根冠比和抗氧化酶活力的抑制作用和对植株MDA的累积作用显著,并随浓度升高抑制作用和累积作用越强;且腐解液各组分对西兰花化感抑制作用显著高于青刀豆。GC-MS鉴定检测到腐解液中性组分中所含化感物较为复杂,各组分中邻苯二甲酸酯类化感物所占比例均较高,2,2'-亚甲基双-(1,1-二甲基乙基)-4-甲基苯酚、苯甲酸也具有较强的化感作用。可见西兰花茎叶腐解液对西兰花和青刀豆幼苗生长均具有一定的化感抑制作用,但腐解液各组分对西兰花自身化感抑制作用要远大于青刀豆,因此西兰花不适合连作,生产上可以通过西兰花-青刀豆轮作栽培来减缓西兰花连作障碍。

**关键词:** 西兰花;腐解液;化感作用;GC-MS检测

**中图分类号:** S63

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2016)04-0481-06

## Allelopathy of Decomposed Exudates from Broccoli Stalk on Seedlings Growth of Different Vegetables

ZHANG Xue-peng, NING Tang-yuan\*, ZHANG Jie-ying, YANG Yan, SUN Tao, HAN Hui-fang, LI Zeng-jia

College of Agriculture/Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology/Key Laboratory of Crop Water Physiology and Drought-Tolerance Germplasm Improvement of Ministry of Agriculture/Shandong Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an 271018, China

**Abstract:** Long-term continuous cropping is ubiquitous phenomena in vegetable field. Allelopathy of decomposed exudates from broccoli stalk on broccoli and bean seedlings growth was studied in this paper. The changes of MDA content and activity of antioxidant enzymes in different levels of acidic, alkaline and neutral soluble broccoli stalk exudates were investigated. The putative allelochemicals of the broccoli stalk extracts were identified by GC-MS. The result indicated that neutral substances and acid substances extract of the decomposed broccoli stalk significantly inhibited the fresh weight of stem and leaf and root-top ratio and the inhibition in the activity of SOD, POD and the accumulation of MDA was significant. What's more, the higher the concentration of the extracts the stronger effect of the inhibition and accumulation. GC-MS analysis results showed that a large number of components were detected from three different substances. Phthalate esters derivatives had greater relative contents, while the 2,2'-methylenebis[6-(1,1-dimethylethyl)-4-ethyl-Phenol and Benzoic acid had a strong allelopathy. So the decomposed exudates from broccoli stalk has certain inhibition on broccoli and bean seedling growth, while inhibition of extract on broccoli was more rapid than bean. Therefore the broccoli is not suitable for continuous cropping and we could match with the rotation cultivation measures to slow continuous cropping obstacle of broccoli.

**Keywords:** Broccoli; decomposed exudates; allelopathic; GC-MS detection

化感作用作为连作障碍产生的重要因素之一,是指植物及微生物通过向环境中释放化学物质而产生对其它植物或微生物有益或有害的作用<sup>[1]</sup>。其产生的化学物质称为化感物质,其中植物种内的化感作用称为自毒作用<sup>[2]</sup>。化感物质的释放途径包括植株地上茎叶的淋溶、挥发及根系的分泌和腐解等,其中植株残茬腐解为化感物质产生的重要途径之一。据报道自然界中很多植物都能够分泌化感物质,如小麦<sup>[3]</sup>(*Triticum aestivum* L.)、黄瓜<sup>[4]</sup>(*Cucumis sativus* L.)、水稻<sup>[5]</sup>(*Oryza glaberrima* L.)、大蒜<sup>[6]</sup>(*Allium sativum* L.)、辣椒<sup>[7]</sup>(*Capsicum annuum* L.)、豌豆<sup>[8]</sup>(*Pisum sativum* L.)等,迄今发

**收稿日期:** 2015-05-10

**修回日期:** 2015-06-23

**基金项目:** 公益性行业(农业)科研专项经费资助(201103001);科技支撑计划(2012BAD14B07);山东省科技发展计划(2014GNC111007)

**作者简介:** 张学鹏(1988-),男,硕士研究生,研究方向为农业生态学. E-mail:zhangxuepeng22@163.com

**\*通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:ningty@163.com

现的化感物质以有机酸、酚类和萜类化合物最为多见。众多研究也表明作物秸秆残茬在腐解过程中自身产生或释放化感物质,对自身或周围作物产生直接或间接的相互排斥和促进的作用<sup>[9-11]</sup>。近年来,由于我国土地资源、农业生产科技水平等因素的限制,多处蔬菜田出现连作栽培,蔬菜植株残茬分解产生的自毒物在土壤中不断累积,使土壤环境恶化,导致菜田连作障碍逐年严重<sup>[12]</sup>。

西兰花是一种营养价值和经济效益较高的蔬菜,随着西兰花种植面积越来越大,由此产生的连作障碍也越来越频繁,而青刀豆是与西兰花同季节的当地经济效益较高的蔬菜之一。因此本文通过研究西兰花茎叶腐解液的不同组分对西兰花和青刀豆幼苗生长和幼苗衰老酶活性的影响以及对腐解液的不同组分进行 GC-MS 分析鉴定,明确西兰花残茬对西兰花和青刀豆的化感效应,为西兰花-青刀豆轮作减缓西兰花菜田连作障碍,提高西兰花菜田整体生产水平提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 腐解液组分对蔬菜幼苗生长的化感效应研究

1.1.1 试验材料采集与腐解液的制备 2012 年,采集山东省莱阳市照旺庄试验田西兰花收获期茎叶,杀酶(105 °C, 0.5 h),放入烘箱中烘干(65 °C)粉碎后备用。腐解液制备:取烘干粉碎的西兰花茎叶按 1:1 (W:V) 加入蒸馏水拌匀,并加入少量根际土以接种微生物,35 °C 恒温保湿腐解 40 d。用蒸馏水浸提腐解物 (V:W=5:1),浸提时间为 5 d,提取液经抽滤除去杂质后备用<sup>[13]</sup>。

1.1.2 腐解液组分的制取 腐解液组分的制备参照韩丽梅<sup>[14]</sup>的方法,西兰花茎叶腐解液 1000 mL,其中 500 mL 用乙酸乙酯萃取其中酸性、中性、碱性有机物质。具体方法:首先用浓盐酸调溶液 pH=3,用乙酸乙酯萃取 3 次(每次乙酸乙酯 100 mL),得有机相 A,水相 A;对于有机相 A,用 pH=9~10 的 NaHCO<sub>3</sub> 萃取溶液 3 次(每次 100 mL),得有机相 B 和水相 B;对于有机相 B,用 pH=12 的 NaOH 萃取 3 次,弃水相,留有机相 C,蒸干(35 °C),得中性组分 (BsrNe);对于水相 B,用浓盐酸调溶液 pH=3,用乙酸乙酯萃取 3 次(每次乙酸乙酯 100 mL),弃水相,留有机相,蒸干(35 °C),得酸性组分 (BsrAc)。对于水相 A,用 NaOH 调制溶液至 pH=12,乙酸乙酯萃取 3 次(每次 100 mL),弃水相,留有机相,蒸干(35 °C),得碱性组分 (BsrAl)。

1.1.3 生物检测方法 将分离的西兰花茎叶腐解液中的酸性物质 (Acidic substances)、碱性物质 (Alkaline substances) 和中性物质 (Neutral substance) 进行蔬菜幼苗的生物检测。分别按 0 g·mL<sup>-1</sup>、25 g·L<sup>-1</sup>、50 g·L<sup>-1</sup>、75 g·L<sup>-1</sup>、100 g·L<sup>-1</sup> 配成测试液。供试种子:西兰花、青刀豆。将均匀一致经用 10% 的次氯酸钠溶液消毒 30 min 并用蒸馏水冲洗 3 遍的受体种子 30 粒,放入加入铺有 2 层定性滤纸的培养皿中(每培养皿加蒸馏水 5 mL),将培养皿置于人工气候箱中,培养温度为 25 °C,黑暗培养 2~3 d,出芽后留取 20 棵发芽幼苗,再向培养皿内加入上述浓度腐解液组分溶液,光照 12 h·d<sup>-1</sup>,光照强度 108 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,视培养皿湿度状况每天加 1 mL 蒸馏水,一周后测定根重、茎叶重,每处理重复 3 次。

1.1.4 蔬菜幼苗粗酶制备及测定项目 粗酶提取:取 1.1.3 培养结束的幼苗鲜样,将 1 g 左右的叶片放在研钵,加入 10 mL 浓度为 0.05 mol·L<sup>-1</sup> 磷酸缓冲溶液(分 2 次)进行研磨 8000 r·min<sup>-1</sup> 的冷冻离心机下离心 20 min,上清液为粗酶液。吸取 4 mL 酶液,冷藏备用<sup>[15]</sup>。SOD 测定采用氮蓝四唑光化还原法,MDA 测定采用比色法,POD 测定采用愈创木法。

### 1.2 腐解液组分有机化合物的 GC-MS 分析

分离后的有机化合物于 30 °C 下减压浓缩至干,加 100 mL 去离子水溶解,用乙酸乙酯按体积比 1:1 萃取 3 次,合并萃取液,30 °C 下减压浓缩至 5 mL,过 0.45 μm 有机膜后用于 GC-MS 分析。色谱条件为 Rtx-5MS 色谱柱,30.0 m×0.32 mm 毛细管柱,0.25 μm 滤膜;先在 50 °C 保持 2 min,以 6 °C·min<sup>-1</sup> 速度升温至 250 °C,保持 10 min;进样口温度 230 °C,载气 He,流速 2.4 mL·min<sup>-1</sup>,进样量 1 μL。质谱条件为 EI 电离方式,电子能量 70 eV,离子源温度 200 °C,扫描范围 45~550 amu。通过谱图库 NIST 08 检索确定腐解液成分,采用峰面积归一法计算各成分相对含量。气相色谱—质谱仪 (GC-MS-QP2010) 以及处理峰值软件均来自 Shimadzu 公司。

### 1.3 数据统计方法

Microsoft Excel 2003 和 DPS7.05 软件对数据进行处理和统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 腐解液组分对蔬菜幼苗生长的化感效应

2.1.1 腐解液组分对幼苗鲜重和根冠比的化感效应 由表 1 可知,从幼苗鲜重来看,随各组分浓度增大,幼苗鲜重减小,浓度 100 g·L<sup>-1</sup> 时,幼苗鲜重最小,说明高浓度抑制幼苗生长;腐解液组分中碱性物质处理的幼苗鲜重整体表现为大于用酸性物质和中性物质处理的幼苗,说明腐解液组分中酸性、中性物质抑制幼苗生物量形成比碱性物质对作用强;此外腐解液对西兰花幼苗的抑制作用要显著高于青刀豆。幼苗根冠比随浓度的增高而减小;酸性、中性物质处理的幼苗根冠比低于碱性物质处理的幼苗,说明酸性、中性物质对作物根的抑制作用大于对茎叶的抑制作用;西兰花幼苗的根冠比明显小于青刀豆幼苗,表明西兰花腐解液对西兰花幼苗的化感效应大于对青刀豆幼苗。

表 1 腐解液组分及其浓度处理下幼苗茎叶鲜重和根冠比变化

Table 1 Changes of the seeding fresh weight and root-shoot ratio in different decomposed liquid components and concentrations

腐解液组分 Component	浓度 Concentration	茎叶鲜重 Stem and leaf fresh weight (g)		根冠比 Root-shoot ratio	
		西兰花 Broccoli	青刀豆 Green bean	西兰花 Broccoli	青刀豆 Green bean
BsrAc	CK	1.47±0.05a	11.83±0.53a	0.23±0.02ab	11.83±0.53a
	25	1.31±0.11a	11.86±0.69a	0.17±0.02bcd	0.28±0.01abcd
	50	1.08±0.34ab	9.73±0.98bcd	0.15±0.01bcd	0.27±0.06abcd
	75	0.77±0.07b	8.55±0.02cde	0.14±0.01cd	0.23±0.03abcde
	100	0.67±0.13b	8.41±0.36de	0.12±0.02d	0.20±0.02de
BsrAl	25	1.38±0.15a	11.33±2.00ab	0.26±0.09a	0.33±0.06a
	50	1.29±0.04a	10.14±0.83bc	0.17±0.01bcd	0.31±0.03ab
	75	1.27±0.23a	10.13±1.04bc	0.15±0.04bcd	0.32±0.14a
	100	1.05±0.30ab	8.39±1.96de	0.15±0.01bcd	0.30±0.02abc
	25	1.31±0.42a	9.93±0.07bcd	0.21±0.07abc	0.26±0.01abcd
BsrNe	50	1.25±0.18a	9.41±0.20cd	0.13±0.04d	0.21±0.02cde
	75	1.14±0.02ab	8.31±0.47de	0.14±0.01cd	0.21±0.02bcde
	100	1.01±0.23ab	7.34±0.01e	0.13±0.00d	0.15±0.02e

Notes: BsrAc: Acidic substances 酸性物质; BsrAl: Alkaline substances 碱性物质; BsrNe: Neutral substances 中性物质。

25:25 g L<sup>-1</sup> 的西兰花茎叶腐解液; 50:50 g L<sup>-1</sup> 的西兰花茎叶腐解液; 75:75 g L<sup>-1</sup> 的西兰花茎叶腐解液; 100:100 g L<sup>-1</sup> 的西兰花茎叶腐解液。

不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) 下同。Values with different low encases in the same row are significant difference ( $P < 0.05$ ). The same as follows.

2.1.2 腐解液组分对幼苗 SOD 活性及其化感效应 由表 2 可看出,腐解液各组分低浓度腐解液处理对幼苗 SOD 酶活性均具有促进作用,随腐解液浓度增加,其对幼苗 SOD 酶活性产生抑制作用,且随浓度增加抑制作用越强烈;腐解液各组分对西兰花和青刀豆幼苗抑制作用均表现出酸性 > 碱性 > 中性,表明中性组分对幼苗 SOD 活性抑制作用较强;腐解液对西兰花幼苗 SOD 酶活性的抑制作用大于青刀豆幼苗,说明腐解液对西兰花幼苗有较强的抑制作用。

2.1.3 腐解液组分对幼苗 POD 活性及其化感效应 由表 2 可得,腐解液处理下的幼苗 POD 酶活性小于对照处理,随着腐解液浓度的增加,其对幼苗 SOD 酶活性产生的抑制作用越强烈;其中中性物质对西兰花和青刀豆幼苗 POD 酶活性的抑制作用均大于酸性、碱性物质,说明中性物质对植株的化感效应较为强烈;各处理对西兰花幼苗的 POD 酶活性显著低于青刀豆幼苗,表明西兰花茎叶腐解液对西兰花幼苗的化感抑制作用强烈。

2.1.4 腐解液组分对幼苗 MDA 含量 从表 2 中可发现,腐解液处理下幼苗的 MDA 含量随浓度的增大而逐渐积累,说明随着腐解液浓度的增加对幼苗膜系统破坏程度加大。中性物质处理下植株幼苗 MDA 含量高于其他处理,说明中性物质对幼苗抑制强。低浓度酸性物质处理幼苗时发现 MDA 含量低于对照处理,但差异不显著,表明酸性物质在低浓度时可能会降低 MDA 浓度,减少对幼苗伤害。

表 2 腐解液组分及其浓度处理下幼苗 SOD、POD 活性和 MDA 含量变化

Table 2 The activities of SOD, POD and the content of aging enzyme MDA in the different decomposed liquid components and concentrations

腐解液组分 Component	浓度 Concentration	SOD (U/g·FW)		POD (U/g·FW)		MDA (μmol/g·Fw)	
		西兰花 Broccoli	青刀豆 Green bean	西兰花 Broccoli	青刀豆 Green bean	西兰花 Broccoli	青刀豆 Green bean
		CK	384.3±4.8bc	375.9±42.1de	85.72±4.07a	93.53±9.08a	3.70±1.10bc
BsrAc	25	535.6±55.9a	544.8±7.9a	38.49±29.71b	91.63±1.86ab	3.22±0.03c	11.60±1.48g
	50	460.6±24.7ab	405.6±0.4cd	34.25±5.38bcd	81.40±15.57abc	4.68±0.61bc	12.07±0.58efg
	75	397.0±11.5bc	334.6±7.1efg	32.31±2.81bcd	76.26±1.26bcd	4.76±1.45bc	12.41±0.34defg
	100	231.4±95.1ef	298.2±27.0fg	23.75±0.11bcd	76.05±4.24bcd	4.98±0.70bc	12.44±0.34defg
BsrAl	25	399.8±26.5bc	500.2±31.3ab	37.50±3.54bc	82.68±2.66ab	3.76±0.09bc	12.61±0.60cdefg
	50	397.5±27.9bc	322.2±75.8efg	32.21±7.85bcd	82.02±0.85ab	4.13±0.14bc	12.67±0.27cdefg
	75	215.6±27.5ef	271.1±12.2gh	32.77±0.52bcd	62.80±16.69de	5.87±2.17ab	13.68±1.68bcde
	100	165.4±51.5f	215.3±10.8hi	30.90±5.57bcd	64.68±8.20cde	8.38±0.23a	14.52±0.14bc
BsrNe	25	393.8±23.0bc	462.7±31.3bc	29.75±3.73bcd	75.10±4.67bcd	4.63±0.20bc	15.05±2.18ab
	50	366.4±9.1cd	340.8±18.9def	19.06±7.72bcd	75.81±0.43bcd	5.00±0.48bc	13.60±2.09bcdef
	75	292.6±17.9de	215.9±15.9hi	17.46±1.55cd	64.68±10.13cde	5.77±2.42bc	14.23±0.74bcd
	100	192.3±40.7f	153.6±0.5i	15.30±5.02d	57.14±1.74e	5.96±1.39ab	16.85±0.99a

2.2 腐解液有机化合物的 GC-MS 分析

腐解液中性组分中含有的物质种类较酸性、碱性组分更为复杂，通过 NIST08 质谱数据库鉴定出 40 余种物质（表 3），主要包含酯类、烃类、醛、酮类、醇类、酸类、酚类、杂环化合物及胺类等物质。其中酯类、烃类、醛酮类物质所占比例较高，分别占到 58.31%、33.72%、5.05%。

酸性组分中被鉴定出 20 种物质，主要包含酯类；烃类；酸类；醇类、酚类、杂环化合物。其中酯类、烃类、酸类物质所占比例较高，分别占到 83.89%、7.97%、4.53%。

碱性组分经鉴定发现其主要含酯类；烃类；醇类、酚类、胺类、杂环化合物。其中酯类、烃类、胺类物质所占比例较高，分别占到 90.98%、3.91%、2.13%。

表 3 西兰花茎叶腐解液各组分 GC-MS 分析

Table 3 The components of the broccoli stalk decomposed liquids by GC - MS

化合物名称 Compound	相对含量 RC %	化合物名称 Compound	相对含量 RC %
中性组分		胺类	0.85
酯类	58.31	N-苯基-2-萘胺	0.85
邻苯二甲酸二丁酯	32.04	杂环化合物	0.66
邻苯二甲酸二异辛酯	18.46	氧芴	0.66
邻苯二甲酸二异丁酯	3.35	酸性组分	
邻苯二甲基二乙酯	1.27	酯类	83.89
乙酸,2-(2,2,6-三甲基-7-氧杂双环-[4.1.0]庚-1-基)- 丙烯酯	2.89	邻苯二甲酸二丁酯	55.16
甲氧基乙酸,4-癸酸十六烷酯	0.16	邻苯二甲酸二异辛酯	21.07
油酸甲酯	0.14	邻苯二甲酸二异丁酯	5.71
烃类	33.72	邻苯二甲酸二乙酯	1.63
四十烷	7.87	抗坏血酸 2,6-棕榈酸酯	0.32
三十六烷	6.17	烃类	7.97
二十一烷	3.14	四十烷	3.72
十七烷	2.14	三十六烷	1.11
十四烷	2.06	三十二烷	0.76
十六烷	1.61	二十烷	0.56
三十五烷	1.31	五十四烷	0.56
二十四烷	0.99	二十一烷	0.52
二十八烷	0.98	十六烷	0.42
三十四烷	0.92	十七烷	0.32
十三烷	0.81	酮类	0.87
6-甲基-二十二烷	0.7	3,4,4a,5,6,7-氢-6-甲基-1(2H)-萘酮	0.52
二十烷	0.67	反式-3-氧杂双环[3.3.0]辛烷-2-酮, 7-异亚丙基-4- 甲氧基-	0.35
三十二烷	0.66	醇类	0.30
三十一烷	0.51	3,3-二甲基-庚-4,5-二烯-2-醇	0.30
6-甲基-十五烷	0.41	酸类	4.53
十二烷, 2,6,10-三甲基-	0.33	苯乙酸	3.55
五十四烷	0.29	苯甲酸	0.98
1,54-二溴-五十四烷	0.29	酚类	1.49
四十四烷	0.27	苯酚,2,2'-亚甲基双-(1,1-双甲基)-4-甲基-	1.49
十五烷	0.25	杂环化合物	0.95
二十二烷	0.24	氧芴	0.95

化合物名称 Compound	相对含量 RC %	化合物名称 Compound	相对含量 RC %
三十烷	0.24	碱性组分	
二十九烷	0.23	酯类	90.98
4-甲基-十七烷	0.22	邻苯二甲酸二丁酯	64.99
5-甲基-十八烷	0.22	邻苯二甲酸二异辛酯	19.06
5-甲基-二十八烷	0.19	邻苯二甲酸二异丁酯	5.1
醛、酮类	5.05	邻苯二甲酸二乙酯	1.83
2,4,4-三甲基-3-(3-氧代丁基)环己基-2-酮	1.44	烃类	3.91
3,5-二羟基-(3 $\beta$ ,5 $\alpha$ )-麦角甾醇-25-烯-6,12-二酮	0.55	三十二烷	1.89
2-环己烯-1-酮,4-(3-羟基-1-丁烯)-3,4,4-三甲基-	0.41	二十九烷	1.05
2,4,4-三甲基-3-[(1E)-3-氧代-1-丁烯酰基]-2-环己烯-1-酮	0.2	二十一烷	0.5
2(4H)-苯并呋喃酮,5,6,7,7a-四氢-4,4,7a-三甲基-3-丁烯-2-酮,4-(4-羟基-2,2,6-三甲基-7-氧杂双环[4.1.0]庚-1-基)	0.81	三十六烷	0.47
吡咯[1,2-a]吡嗪-1,4-二酮,六氢-3-(2-甲基丙基)-3-丁烯醛,2-甲基-4-(2,6,6-三甲基-1-环己烯)-醇类	0.73	醇类	0.41
苯乙醇	0.21	3,3-二甲基-庚-4,5-二烯-2-醇	0.41
酸类	0.26	酚类	0.99
2-十二烯基-1-基(-)琥珀酸酐	0.26	2,2'-亚甲基双-(1,1-二甲甲基)-4-甲基苯酚	0.99
酚类	0.94	胺类	2.13
2,2'-亚甲基双-(1,1-二甲甲基)-4-甲基苯酚	0.94	N-苯基-2-萘胺	2.13
		杂环化合物	1.58
		氧芴	1.58

### 3 讨论

作物秸秆富含多种养分和生理活性物质,实行秸秆还田能改善土壤物理性状,补充土壤养分,提高土壤的生物有效性,增加作物产量等作用<sup>[16]</sup>。但是,秸秆还田后作物秸秆经过腐解而释放出来的化学物质,常常对下茬作物产生不良影响<sup>[17,18]</sup>。

石蒜 (*Lycoris radiata* L.) 水浸提物对萝卜 (*Raphanus sativus* L.)、黄瓜、番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 和油菜 (*Brassica campestris* L.) 幼苗生长均具有较强的抑制作用,浓度越大抑制越强<sup>[19]</sup>。邓天福等<sup>[20]</sup>研究表明,番茄的水浸提液和根系分泌物对黄瓜的幼苗生长(苗高、根长和鲜重)有明显的抑制作用,对白菜 (*Chinese cabbage* L.)、辣椒、茄子 (*Solanum melongena* L.) 根长表现为抑制作用。本研究发现腐解液对西兰花和青刀豆幼苗生长发育均有抑制作用,对西兰花抑制作用显著高于青刀豆,且浓度越大抑制作用越强。郭亚利等<sup>[21]</sup>和于会泳等<sup>[22]</sup>研究表明烤烟根系分泌物中的中溶性组分对幼苗根系活力抑制作用最强,对发芽势和发芽率的影响大小依次为:中溶性组分>酸溶性组分>碱溶性组分。而本研究也表明中性、酸性物质降低幼苗生物量和根冠比,且随浓度增大降低程度愈大。

SOD 是存在于细胞中和细胞内过氧化物体系的一种保护酶,其主要功能是清除细胞内部的自由基,使自由基保持在一个较低水平上;POD 可抑制逆境条件下细胞膜脂过氧化作用,降低细胞膜遭受的伤害,因此酶活性越高,植株的抵抗不利环境的能力越强;MDA 作为膜脂过氧化作用的最终产物,其含量是膜脂过氧化程度的一个重要标志,而且与细胞膜受损坏程度直接相关。李彦斌等<sup>[23]</sup>发现棉花 (*Gossypium* spp.) 秸秆腐解产物,在一定程度上影响棉花植株生长,随着秸秆还田量的增多和秸秆腐解时间延长,POD 活性增加,SOD 活性和根系活力呈下降趋势,叶片 MDA 含量却升高。本研究发现西兰花茎叶腐解液在低浓度时能够提高幼苗 SOD、POD 活性,而随浓度增加,逐渐抑制幼苗 SOD、POD 活性。而腐解液处理下幼苗 MDA 的积累量多于对照处理,说明随腐解液浓度增加,自毒作用愈加强烈,并且降低幼苗 SOD、POD 活性,破坏幼苗细胞膜结构,造成 MDA 的大量积累。同时腐解液中性组分对三种衰老酶化感抑制作用大于酸性组分、碱性组分,而且各组分对西兰花的三种酶抑制作用明显高于青刀豆。

本试验通过 GC-MS 分析鉴定出西兰花茎叶腐解液中含有酯类、烃类、醛酮类、醇类、酸类、酚类、杂环化合物及胺类等物质,其中酸、碱、中性组分中均含有邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二异辛酯、邻苯二甲酸二异丁酯、邻苯二甲酸二乙酯四种酯类物质,且所占比例均较高。徐宁等<sup>[24]</sup>研究表明邻苯二甲酸酯类物质是大葱 (*Allium fistulosum* L. var. *giganteum* Makion) 根系分泌物中的重要化感物质。耿广东等<sup>[7]</sup>研究表明邻苯二甲酸二丁酯是辣椒和茄子根系分泌物中的主要化感物质。因此,邻苯二甲酸酯类物质可能是西兰花茎叶腐解液中的重要化感物质。而中性组分中的醛酮类物

质、酸性组分中的酸类物质以及碱性组分中的胺类物质相对含量所占比例也较高,这可能是造成三种组分化感效应差异的化感类物质。前人研究表明,大蒜根系分泌物中的 2,6-二异丙基苯酚对萝卜幼苗生长表现抑制化感作用<sup>[6]</sup>,黄瓜和豌豆根系分泌物中的苯甲酸、肉桂酸及其衍生物具有自毒作用<sup>[8,25]</sup>,对羟基苯甲酸和水杨酸对葡萄具有明显的化感抑制作用<sup>[26]</sup>,由此推断 2,2'-亚甲基双-(1,1-二甲基乙基)-4-甲基苯酚、苯甲酸也可能是具有化感潜力的组分。虽然有研究表明,从植物中检测到烷烃类化感物质<sup>[27,28]</sup>,但由于化感物质是一类生物活性次生代谢物,而烷烃的化学性质极为稳定,不是生理活性物质<sup>[29]</sup>,因此本研究中西兰花茎叶腐解液中的大量烷烃类物质可能不是化感物质。

本文中鉴定出的一些物质对植物的化感作用还未见报道,而鉴定出的物质是否确为西兰花化感作用的主要物质还需进一步试验来证实。本试验结果表明,西兰花残茬对西兰花化感作用较强,说明西兰花不适合连作,而相比较而言对青刀豆的化感作用较小,因此生产上可以考虑西兰花-青刀豆轮作栽培方式来减缓西兰花菜田的连作障碍。本文仅仅是研究了西兰花茎叶腐解液的化感效应,因此今后还需对西兰花根系分泌物的化感效应做进一步研究。

## 参考文献

- [1] Rice EL. Allelopathy[M]. Second edition. New York: Academy Press, 1974:151-187
- [2] Singh HP, Batish DR, Kohli RK. Autotoxicity: Concept, organisms, and ecological significance[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 1999,18(6):757-772
- [3] 于建光,顾元,常志州,等.小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻的化感效应[J].土壤学报,2013,50(2):349-356
- [4] Yu JQ, Ye SF, Zhang MF. Effect of root exudates and aqueous root extracts of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and allelochemicals on photosynthesis and antioxidant enzymes in cucumber[J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2003,3(1):129-139
- [5] 孔垂华,徐效华,梁文举,等.水稻化感品种根分泌物中非酚酸类化感物质的鉴定与抑草活性[J].生态学报,2004,24(7):1317-1322
- [6] 周艳丽.大蒜 (*Allium sativum* L.)根系分泌物的化感作用研究及化感物质鉴定[D].西安:西北农林科技大学,2007
- [7] 耿广东,张素勤,程智慧.辣椒根系分泌物的化感作用及其化感物质分析[J].园艺学报,2009,36(6):873-878
- [8] 喻景权,松井佳久.豌豆根系分泌物自毒作用的研究[J].园艺学报,1999,26(3):175-179
- [9] 刘忠玲,王庆成,郝龙飞.白桦、落叶松不同器官水浸液对种子萌发和播种苗生长的种间化感作用[J].应用生态学报,2011,22(12):3138-3144
- [10] 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
- [11] Ozhan B. Allelopathic effects of wheat and rye straw on some weeds and crops[J]. Asian Journal of Plant Science, 2003,2(10):772-778
- [12] 阮弈平.蔬菜连作障碍中自毒作用及其缓解措施研究[D].杭州:浙江大学,2013
- [13] 李艳宾,万传星,张琴,等.棉秆腐解液对棉花种子萌发及幼苗生长的影响[J].农业环境科学学报,2009,28(6):1258-1262
- [14] 韩丽梅,沈其荣,鞠会艳,等.大豆地上部水浸液的化感作用及化感物质的鉴定[J].生态学报,2002,22(9):1425-1432
- [15] 张志良,瞿伟菁.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2003:123-276
- [16] 张洁莹,宁堂原,冯宇鹏,等.套作糯玉米对连作菜田土壤特性及产量的影响[J].中国农业科学,2013,46(10):1994-2003
- [17] Zuo Sheng-peng, Li Xiu-wei, Ma Yong-qing. Response of transgenic potato seedlings to allelopathic pressure and the effect of nutrients in the culture medium[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010,30(4):226-232
- [18] Wuest SB, Albrecht SL, Skirvin KW. Crop residue position and interference with wheat seedling development[J]. Soil and Tillage Research, 2000,55(3-4):175-182
- [19] 蒋红云,张燕宁,冯平章,等.石蒜对萝卜、黄瓜、番茄和油菜幼苗的化感效应[J].应用生态学报,2006,17(9):1656-1659
- [20] 邓天福,王建华,高扬帆,等.番茄化感物质对几种蔬菜幼苗生长的影响[J].贵州农业科学,2010,38(8):43-44
- [21] 郭亚利,李明海,吴洪田,等.烤烟根系分泌物对烤烟幼苗生长和养分吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(3):458-463
- [22] 于会泳,申国明,高欣欣.烟草根系分泌物的 GC-MS 检测[J].中国烟草学报,2013,19(4):64-72
- [23] 李彦斌,刘建国,程相儒,等.秸秆还田对棉花生长的化感效应[J].生态学报,2009,29(9):4942-4948
- [24] 徐宁,王超,魏珉,等.大葱根系分泌物对黄瓜种子萌芽和枯萎病原菌的化感作用及其 GC-MS 分析[J].园艺学报,2012,39(8):1511-1520
- [25] Yu JQ, Matsui Y. Phytotoxic substances in root exudates of cucumber (*Cucumis sativus* L.)[J]. Journal of Chemical Ecology, 1994,20(1):21-31
- [26] 郭修武,李坤,孙英妮,等.葡萄根系分泌物的化感效应及化感物质的分离鉴定[J].园艺学报,2010,37(6):861-868
- [27] 张新慧,张恩和.不同植龄啤酒花根际土壤中有机化合物的初步分离鉴定[J].土壤学报,2009,46(2):368-371
- [28] 王芳.茄子连作障碍机理研究[D].北京:中国农业大学,2003
- [29] 程智慧,徐鹏.百合根系分泌物的 GC-MS 鉴定[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(9):202-208