

网络出版时间:2015-08-05 08:56

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.09.017

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150805.0856.034.html

二氢异喹啉抗菌物质对植物种子萌发及 幼苗生长的影响

郑作略^a, 苗芳^b, 杨新娟^a, 周乐^a

(西北农林科技大学 a 理学院, b 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】研究 2-芳基-6,7-亚甲二氧基-3,4-二氢异喹啉盐类化合物对植物种子发芽和幼苗生长的安全性,为此类化合物作为新型植物抗菌药物的开发应用提供理论依据。【方法】将糜子和油菜种子在 14 种 2-芳基-6,7-亚甲二氧基-3,4-二氢异喹啉盐类化合物(Z-1~Z-14)溶液中浸种 20 h 后,均匀点播于含无离子水的培养皿中,在设定条件下进行培养,测定种子的发芽率、根长、茎长、总鲜质量、总干质量和相对含水量。【结果】在 100 $\mu\text{g/mL}$ 测试质量浓度下,化合物 Z-1、Z-3、Z-12、Z-13 和 Z-14 对 1 种或 2 种作物的个别生长指标有显著的抑制作用,化合物 Z-2、Z-4、Z-9 和 Z-10 能够显著促进糜子根和茎的生长,同时对糜子的发芽率和幼苗的相对含水量没有显著影响;其他供试化合物对糜子和油菜的种子发芽和幼苗生长均无显著影响。【结论】除化合物 Z-1、Z-3、Z-12、Z-13 和 Z-14 外,其他供试的化合物在质量浓度 $\leq 100 \mu\text{g/mL}$ 时,对受试作物的种子萌发和幼苗生长均不会产生不良影响,部分化合物还具有促进作物根茎生长的效果,具备进一步评测后作为作物抗菌剂开发的可能。

【关键词】 异喹啉类化合物;抗菌药物;作物抗菌剂;安全性评价

【中图分类号】 O626.32

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2015)09-0116-07

Effects of 2-aryl-3,4-dihydroisoquinolin-2-iums as antifungal agents on plant seed germination and seedling growth

ZHENG Zuo-lue^a, MIAO Fang^b, YANG Xin-juan^a, ZHOU Le^a

(a College of Science, b College of Life Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This paper investigated the effects of 2-Aryl-6,7-methylenedioxy-3,4-dihydroisoquinolin-2-ium salts on plant seed germination and seedling growth to provide theoretical basis for the development and application of such compounds as new phytofungicides. 【Method】 The seeds of *Panicum miliaceum* L. and *Brassica campestris* L. were soaked in the solution of 14 2-Aryl-6,7-methylenedioxy-3,4-dihydroisoquinolin-2-ium salts for 20 h before being evenly sowed in Petri dish containing a small amount of deionized water. Then they were cultured in set conditions and germination rate, average root length, stem length, gross fresh weight, gross dry weight and relative water content were determined. 【Result】 At 100 $\mu\text{g/mL}$, compounds Z-1, Z-3, Z-12, Z-13 and Z-14 showed significantly negative effects on some indicators of germination and growth of one or two plants. Compounds Z-2, Z-4, Z-9, and Z-10 significantly improved the roots and stems of *Panicum miliaceum* L. The other compounds showed no significant effects. 【Conclusion】 Except Z-1, Z-3, Z-12, Z-13 and Z-14, other tested compounds were safe to plants

【收稿日期】 2014-02-21

【基金项目】 国家自然科学基金项目(31000865, 31172365, 31101469)

【作者简介】 郑作略(1987—),男,广东汕头人,在读硕士,主要从事天然产物化学研究。E-mail: zhengzuolue@gmail.com

【通信作者】 周乐(1965—),男,陕西蒲城人,教授,博士,博士生导师,主要从事药物化学研究。

E-mail: zhouluechem@nwsuaf.edu.cn

when used with mass concentrations of no higher than 100 $\mu\text{g/mL}$. Some compounds even promoted crops roots, and could be developed as crop antifungal agents after further evaluation.

Key words: isoquinoline compounds; antifungal medicines; phytofungicides; safety evaluation

生物碱具有来源广泛和药理活性多样的特点,在以天然化合物为先导的药物研发中具有非常重要的地位。季铵型苯并啡啉类生物碱(Benzo[c]phenanthridine alkaloid, QBAs)是一类数量较少且结构特殊的异喹啉类化合物,其最常见的化合物是血根碱和白屈菜红碱。QBAs 具有显著的抗肿瘤^[1-3]、抗菌^[4-10]、抗炎^[11]、抗血小板凝集^[12]、抗寄生虫^[13-16]等多种药理活性,是一类研发新型抗肿瘤、抗菌等药物的理想先导化合物。据此,在前期研究中,本课题组根据 QBAs 的活性决定簇,采用结构仿生策略,以 QBAs 为分子模板,设计并合成了一系列天然 QBAs 的类似物(溴化 2-芳基-6,7-亚甲二氧基-3,4-二氢异喹啉盐),即仿生化合物,活性测定结果表明,与 QBAs 类似,绝大多数仿生化合物对 10 余种植物病原菌均有良好的抑制活性,且其中部分化合物的活性显著强于 QBAs^[17],具有替代 QBAs 而成为新型农用抗菌药物的巨大潜力^[18-19]。本研究进一

步就此类仿生化合物对作物的安全性进行了评价,以期筛选出安全高效的抗菌候选药物,为此类仿生化合物作为新型植物抗菌药物的开发应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

1.1.1 植物材料 同立牌甘蓝型油菜杂交种改良陕油 6 号(品种审定编号:陕审油 2005004),由陕西杨凌农科大农业科技发展公司提供。榆麩 2 号糜子(*Panicum miliaceum* L.)种子,由西北农林科技大学农学院冯百利教授提供。

1.1.2 试剂与仪器 供试样品:14 个溴化 2-芳基-6,7-亚甲二氧基-3,4-二氢异喹啉盐(Z-1~Z-14),纯度>95%(HPLC),具体结构如图 1 所示。以上化合物均按照文献[17]的方法合成并经波谱技术进行结构鉴定。

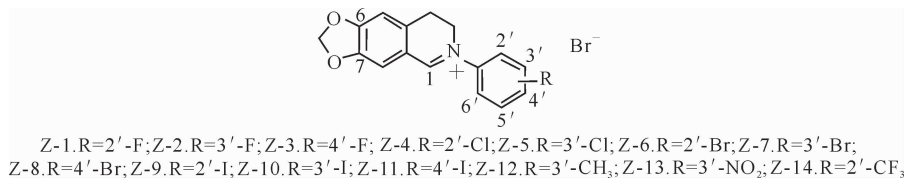


图 1 14 种溴化 2-芳基-6,7-亚甲二氧基-3,4-二氢异喹啉盐(Z-1~Z-14)的结构

Fig. 1 Structure of 2-Aryl-6,7-methylenedioxy-3,4-dihydroisoquinolin-2-ium bromides(Z-1-Z-14)

二甲基亚砷(DMSO),分析纯,天津博迪化工股份有限公司。BIC-300 型气候培养箱:上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

1.2 标题化合物对作物生长的安全质量浓度

按照文献[20-21]的方法,采用平皿法测定供试化合物对植物的安全性。随机选取化合物 Z-1 和 Z-3 为参考,以抗菌化合物对植物真菌的半数有效浓度(EC₅₀)为参考指标^[18],以体积分数 0.5%的 DMSO 水溶液为溶剂,将 Z-1 和 Z-3 配制成 200 $\mu\text{g/mL}$ 的溶液,采用对倍稀释法配制 100, 50 及 25 $\mu\text{g/mL}$ 的测定液备用。挑选颗粒饱满、大小一致的糜子或油菜种子 90 粒,放入设定浓度的 Z-1 和 Z-3 溶液中浸种,20 h 后,取出种子,用清水洗净种子表面的药液。将浸种后的种子随机均分为 3 组,每组 30 粒,均匀点播于铺有双层滤纸的培养皿($\Phi=9\text{ cm}$)中,每皿加入 30 滴纯水。将培养皿用双层湿纱布覆盖后置于相对湿度为 100%的气候培养箱中进行培

养。气候培养箱设置为:每天光照和黑暗各 12 h,光照期间保证光照充足,温度为(26±1)℃;黑暗期间关闭热源,温度自然降至 17℃左右。期间每隔 3~4 h 观察一次水分情况,并及时补水;在设定的处理时间统计种子的发芽和生长情况。以体积分数 0.5%的 DMSO 水溶液浸种作为空白对照。待空白对照组的发芽率超过 90%后继续培养 72 h,测定每个试验浓度下单个种子的平均根长和平均茎长以及每个试验组所有种子(30 粒)的总鲜质量和总干质量。单个种子的平均相对含水量按下式进行计算:相对含水量=(总鲜质量-总干质量)/总鲜质量×100%。

根据上述试验结果,选取对种子发芽及生长无抑制作用的最大质量浓度为安全质量浓度,采用同样方法测定其他化合物的安全性。

1.3 数据处理

采用 SPSS V19.0 软件对试验数据进行统计分析。试验数据均采用“平均值±标准差”表示,数据间

差异显著性采用邓肯氏多重比较法进行。

2 结果与分析

2.1 化合物 Z-1 和 Z-3 对糜子、油菜种子萌发及幼苗生长的影响

为了确定化合物对作物的最大安全测试质量浓度,随机选定 Z-1 和 Z-3 作为代表,测定其在不同质

量浓度下对糜子和油菜种子发芽和幼苗生长的影响,结果见表 1~3。

从表 1 可以看出,Z-1 不同质量浓度处理组对于糜子的发芽率无显著影响($P>0.05$);Z-1 对油菜发芽总体无显著影响,仅在 200 $\mu\text{g/mL}$ 时具有显著的抑制作用($P<0.05$)。Z-3 所有质量浓度处理组对糜子和油菜的发芽率均无显著影响($P>0.05$)。

表 1 不同质量浓度 Z-1 和 Z-3 对糜子、油菜种子发芽率的影响
Table 1 Effects of various mass concentrations of Z-1 and Z-3 on germination rate of *Panicum miliaceum* L. and *Brassica campestris* L.

化合物 Compound	质量浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$ Concentration	糜子 <i>Panicum miliaceum</i> L.		油菜 <i>Brassica campestris</i> L.	
		48 h	72 h	36 h	48 h
Z-1	200	95.6±0.58 a	96.7±1.00 a	85.6±1.96 b	87.8±5.08 b
	100	91.1±0.58 a	97.8±1.15 a	94.4±1.96 a	95.6±1.96 ab
	50	94.4±0.58 a	97.8±0.58 a	95.6±5.10 a	97.8±3.78 a
	25	93.3±1.73 a	95.6±0.58 a	93.3±5.77 a	94.4±5.10 ab
	空白对照 Control	87.8±1.53 a	93.3±1.73 a	92.2±1.90 ab	94.4±5.10 ab
Z-3	200	90.0±1.00 a	92.2±0.58 a	95.6±7.70 a	96.7±5.77 a
	100	92.2±1.53 a	97.8±0.58 a	92.2±5.10 a	97.8±3.85 a
	50	92.2±1.16 a	95.6±1.53 a	92.2±1.92 a	92.2±1.92 a
	25	87.8±1.53 a	94.4±1.53 a	95.5±1.94 a	96.7±0.00 a
	空白对照 Control	87.8±1.53 a	93.3±1.73 a	92.2±1.90 a	94.4±5.10 a

注:同种植物的同列数据后标不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。表 2~6 相同。

Note:Different lowercase letters within each column mean significant difference ($P<0.05$). The same for Tables 2—6.

表 2 不同质量浓度 Z-1 对糜子和油菜幼苗生长的影响

Table 2 Effect of various mass concentrations of Z-1 on seedling growth of *Panicum miliaceum* L. and *Brassica campestris* L.

植物 Plant	Z-1 质量浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$ Concentration of Z-1	根长/mm Root length	茎长/mm Stem length	总鲜质量/g Gross fresh weight	总干质量/g Gross dry weight	相对含水量/% Relative water content
糜子 <i>Panicum miliaceum</i> L.	200	39.0±1.24 a	44.3±1.76 a	1.360 3±0.014 b	0.189 3±0.002 b	86.1±0.14 c
	100	41.4±3.05 a	44.4±2.05 a	1.373 4±0.018 b	0.183 1±0.005 b	86.7±0.46 b
	50	43.7±1.07 a	45.4±0.34 a	1.432 7±0.047 a	0.202 8±0.004 a	85.8±0.22 c
	25	43.3±1.54 a	45.4±1.46 a	1.467 9±0.011 a	0.202 4±0.004 a	86.2±0.15 c
	空白对照 Control	41.0±2.96 a	46.6±0.71 a	1.352 7±0.007 b	0.134 9±0.006 c	90.0±0.38 a
油菜 <i>Brassica campestris</i> L.	200	64.1±1.72 b	22.1±1.42 b	1.013 6±0.011 b	0.091 5±0.006 b	91.0±0.45 a
	100	71.8±0.86 a	21.8±1.00 b	1.054 2±0.088 ab	0.097 1±0.007 ab	90.8±0.65 a
	50	71.2±0.30 a	22.7±0.31 b	1.042 4±0.002 ab	0.093 8±0.006 ab	91.0±0.55 a
	25	71.5±0.76 a	22.3±1.10 b	1.002 3±0.009 ab	0.092 6±0.008 b	90.8±0.53 a
	空白对照 Control	63.3±0.60 b	27.3±1.08 a	1.114 3±0.102 a	0.096 0±0.005 a	91.4±0.45 a

注:总鲜质量和总干质量为各试验组所有幼苗的鲜质量和干质量。表 3,5,6 同。

Note,Gross fresh weight and gross dry weight represent fresh weight and dry weight of all seedlings in each group. The same for Tables 3, 5,6.

由表 2 可以看出,各质量浓度 Z-1 处理对糜子的根茎生长均无显著性影响($P>0.05$),但对幼苗相对含水量有显著降低作用($P<0.05$),对总鲜质量和总干质量有显著促进作用($P<0.05$)。对油菜而言,25~100 $\mu\text{g/mL}$ 的 Z-1 对根长具有显著的促进作用($P<0.05$),但 200 $\mu\text{g/mL}$ Z-1 对油菜根长的促进作用消失;所有质量浓度 Z-1 处理对茎生长

均表现出了显著的抑制作用($P<0.05$),对幼苗的总鲜质量和总干质量有不同程度的抑制作用,对相对含水量则无显著影响($P<0.05$)。

由表 3 可以看出,对糜子而言,200 $\mu\text{g/mL}$ Z-3 对糜子幼苗的茎长、总鲜质量、总干质量有显著的抑制作用($P<0.05$);50 和 100 $\mu\text{g/mL}$ Z-3 对糜子的总鲜质量有显著抑制作用($P<0.05$),对根长、茎

长、总干质量及相对含水量大多无显著影响。对于油菜而言,所有质量浓度 Z-3 处理对根长均有显著的促进作用($P<0.05$),对茎长呈现不同程度的抑制作用,对幼苗的总干质量和相对含水量均无显著影响($P>0.05$),对总鲜质量则呈现不规则的显著抑制或促进作用。

表 3 不同质量浓度 Z-3 对糜子和油菜幼苗生长的影响

Table 3 Effect of various concentrations of Z-3 on seedling growth of <i>Panicum miliaceum</i> L. and <i>Brassica campestris</i> L.						
植物 Plant	Z-3 质量浓度/ ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) Concentration of Z-3	根长/mm Root length	茎长/mm Stem length	总鲜质量/g Gross fresh weight	总干质量/g Gross dry weight	相对含水量/% Relative water content
糜子 <i>Panicum miliaceum</i> L.	200	41.6±2.20 a	44.7±1.20 b	1.203 2±0.007 d	0.167 5±0.007 c	86.1±0.66 a
	100	40.5±1.84 a	45.4±1.08 ab	1.322 0±0.004 c	0.185 1±0.007 b	86.0±0.52 a
	50	41.9±1.16 a	46.4±0.63 ab	1.341 7±0.007 a	0.203 9±0.006 a	85.8±0.41 a
	25	41.7±0.77 a	47.0±1.07 a	1.368 3±0.009 b	0.193 6±0.007 ab	85.8±0.59 a
	空白对照 Control	41.0±2.96 a	46.6±0.71 a	1.373 4±0.014 b	0.183 1±0.005 b	86.7±0.27 a
油菜 <i>Brassica campestris</i> L.	200	68.3±2.12 a	21.9±1.10 c	1.040 7±0.008 d	0.093 3±0.015 a	91.0±1.37 a
	100	70.1±4.83 a	24.0±1.72 bc	1.141 4±0.005 b	0.099 0±0.008 a	91.3±0.68 a
	50	69.1±2.30 a	22.8±1.60 bc	1.035 3±0.005 d	0.091 6±0.007 a	91.1±0.68 a
	25	68.5±2.77 a	25.1±0.57 ab	1.180 2±0.008 a	0.097 4±0.004 a	91.7±0.32 a
	空白对照 Control	61.5±3.44 b	27.2±0.69 a	1.114 3±0.009 c	0.096 0±0.005 a	91.4±0.49 a

综合分析可见,对糜子和油菜种子的发芽及根生长而言,100 $\mu\text{g/mL}$ Z-1 或 Z-3 是安全的,因此选择 100 $\mu\text{g/mL}$ 作为其他化合物安全性评价的测试质量浓度。

2.2 其他化合物对糜子和油菜种子萌发及幼苗生长的影响

基于 2.1 节的结果,选择 100 $\mu\text{g/mL}$ 为测试质量浓度,采用与 1.2 节相同的方法测定其他 12 种化合物(Z-2,Z-4~Z-14)对糜子和油菜种子萌发和生长的影响,结果见表 4~6。

表 4 显示,对糜子 48 h 的发芽率而言,Z-2、Z-4、Z-6 和 Z-9 处理组显著高于空白对照($P<0.05$),其他化合物处理组与空白对照均无显著性差异($P>0.05$);对于糜子 72 h 的发芽率而言,Z-2、Z-4、Z-9 和 Z-10 处理组显著高于空白对照($P<0.05$),其他化合物处理组与空白对照均无显著性差异($P>0.05$)。上述结果说明,Z-2、Z-4、Z-6、Z-9 和 Z-10 对糜子的发芽具有显著促进作用,其他化合物对糜子发芽无显著影响。

表 4 12 种供试化合物对糜子和油菜种子发芽率的影响

Table 4 Effect of 12 tested compounds on germination rate of <i>Panicum miliaceum</i> L. and <i>Brassica campestris</i> L. %				
化合物 Compound	糜子 <i>Panicum miliaceum</i> L.		油菜 <i>Brassica campestris</i> L.	
	48 h	72 h	48 h	72 h
Z-2	94.4±1.92 ab	97.8±1.92 ab	88.9±3.85 ab	91.1±1.92 bc
Z-4	96.7±3.33 a	98.9±1.92 a	88.9±5.09 ab	93.3±3.33 ab
Z-5	84.4±1.92 de	93.3±3.33 bc	91.1±1.92 ab	97.8±1.92 a
Z-6	93.3±3.33 ab	95.6±3.85 abc	87.8±3.85 ab	90.0±0.00 bc
Z-7	90.0±3.33 bcd	94.4±1.92 abc	95.6±1.92 a	95.6±1.92 ab
Z-8	92.2±3.85 abc	94.4±3.85 abc	91.1±5.09 ab	97.8±1.92 a
Z-9	93.3±3.33 ab	97.8±1.92 ab	92.2±1.92 ab	94.4±1.92 ab
Z-10	92.2±1.92 abc	98.9±1.92 a	95.6±3.85 a	98.9±1.92 a
Z-11	90.0±3.33 bcd	94.4±1.92 abc	92.2±3.85 ab	95.6±1.92 ab
Z-12	88.9±3.85 bcd	93.3±0.00 bc	75.6±1.92 c	80.0±3.33 e
Z-13	85.6±1.92 de	96.7±3.33 abc	81.1±1.92 c	86.7±3.33 cd
Z-14	82.2±1.92 e	87.8±3.85 d	80.0±6.67 c	82.2±5.09 de
空白对照 Control	86.7±3.33 cde	92.2±1.92 cd	91.1±5.09 ab	91.1±5.09 bc

对于油菜 48 h 的发芽率而言,Z-12、Z-13 和 Z-14 处理组显著低于空白对照($P<0.05$),其他化合物处理组与空白对照组无显著差异($P>0.05$);对于油菜 72 h 的发芽率而言,化合物 Z-5、Z-8 和 Z-10 的处理组显著高于空白对照($P<0.05$),Z-12 和 Z-14 处理组显著低于空白对照($P<0.05$)。以上结果表明,Z-12 和 Z-14 对油菜发芽有一定抑制作用,而 Z-5、Z-8 和 Z-10 有一定的促进作用,其他化合物无

显著影响。

表 5 显示,对于糜子的根生长情况而言,Z-4、Z-8、Z-9 和 Z-10 处理组显著高于空白对照组 ($P<0.05$),其他化合物处理组与空白对照无显著性差异 ($P>0.05$);对于糜子的茎生长而言,Z-2、Z-9 和 Z-10 处理组显著高于空白对照组 ($P<0.05$),Z-6、Z-12、Z-13 和 Z-14 处理组显著低于空白对照组 ($P<0.05$),其他化合物处理与空白对照处理差异不显

著;对于糜子的总鲜质量和总干质量而言,除 Z-12 处理总鲜质量及 Z-12、Z-13 处理组总干质量与空白对照组无显著差异外,其他处理均显著高于空白对照组,表明绝大部分供试化合物对糜子幼苗的总鲜质量和总干质量有一定的促进作用;对糜子幼苗的相对含水量而言,所有供试化合物组与空白对照组间均无显著差异 ($P>0.05$),说明其对糜子幼苗的相对含水量无显著影响。

表 5 12 种供试化合物(100 μg/mL)对糜子幼苗生长的影响
Table 5 Effect of 12 tested compounds (100 μg/mL) on seedling growth of *Panicum miliaceum* L.

化合物 Compound	根长/mm Root length	茎长/mm Stem length	总鲜质量/g Gross fresh weight	总干质量/g Gross dry weight	相对含水量/% Relative water content
Z-2	39.0±2.67 cde	46.1±0.92 ab	1.346 0±0.005 d	0.186 3±0.006 ab	86.2±0.51 a
Z-4	41.5±1.41 bc	44.3±0.56 bc	1.357 7±0.007 cd	0.190 1±0.005 a	86.0±0.42 a
Z-5	35.6±0.93 g	43.7±1.37 c	1.367 4±0.005 cd	0.190 0±0.004 a	86.1±0.36 a
Z-6	38.8±2.15 cdef	41.4±0.94 de	1.373 3±0.008 cd	0.189 8±0.004 a	86.2±0.25 a
Z-7	39.0±0.78 cde	43.4±1.65 c	1.363 4±0.008 cd	0.189 4±0.007 a	86.1±0.49 a
Z-8	41.8±1.40 b	42.7±2.08 cd	1.350 5±0.005 d	0.188 3±0.009 a	86.1±0.67 a
Z-9	40.8±0.76 bc	46.3±0.55 a	1.417 8±0.017 b	0.192 4±0.007 a	86.4±0.49 a
Z-10	45.8±1.52 a	46.0±0.57 ab	1.460 6±0.009 a	0.195 0±0.005 a	86.7±0.25 a
Z-11	39.4±0.83 bcd	44.6±0.52 abc	1.392 2±0.042 bc	0.192 7±0.005 a	86.1±0.77 a
Z-12	36.3±0.85 fg	40.7±0.61 e	1.120 0±0.015 g	0.157 1±0.006 c	86.0±0.55 a
Z-13	37.9±0.84 defg	40.6±0.30 e	1.173 4±0.060 f	0.154 8±0.007 c	86.8±1.20 a
Z-14	36.6±1.83 efg	41.4±0.69 de	1.303 7±0.007 e	0.175 2±0.010 b	86.6±0.73 a
对照 Control	37.0±0.80 defg	43.4±1.32 c	1.125 5±0.007 g	0.152 7±0.011 c	86.4±0.89 a

表 6 显示,对于油菜幼苗的根长、茎长及总干质量而言,各化合物处理组与相应的空白对照组间均无显著性差异 ($P>0.05$);在相对含水量方面,仅 Z-14 处理组较空白对照组显著降低,其他供化合物处理组与空白对照组均无显著差异 ($P>0.05$);在总鲜质量方面,Z-14 处理组显著低于空白对照组 ($P<$

0.05),Z-5、Z-9、Z-12 处理与空白对照差异不显著 ($P>0.05$),其他各化合物处理均显著高于空白对照组 ($P<0.05$)。以上结果说明,除 Z-14 对油菜的总鲜质量和相对含水量有一定的不良影响外,其他化合物对油菜的所有生长指标均无不良影响。

表 6 12 种供试化合物(100 μg/mL)对油菜幼苗生长的影响
Table 6 Effect of 12 tested compounds (100 μg/mL) on seedling growth of *Brassica campestris* L.

化合物 Compound	根长/mm Root length	茎长/mm Stem length	总鲜质量/g Gross fresh weight	总干质量/g Gross dry weight	相对含水量/% Relative water content
Z-2	67.8±4.57 abc	20.2±1.28 d	1.426 0±0.057 b	0.110 4±0.004 a	92.3±0.06 ab
Z-4	64.8±2.36 abc	21.2±0.69 cd	1.386 3±0.010 bc	0.108 2±0.008 a	92.2±0.62 ab
Z-5	62.2±1.70 c	21.8±0.90 bcd	1.185 2±0.066 d	0.107 5±0.006 a	91.8±0.60 ab
Z-6	69.4±2.72 ab	23.1±0.91 abcd	1.421 4±0.011 b	0.108 3±0.008 a	92.4±0.60 ab
Z-7	70.8±5.71 a	22.9±0.31 abcd	1.425 9±0.013 b	0.113 8±0.009 a	92.0±0.57 ab
Z-8	67.3±5.29 abc	24.2±2.24 ab	1.484 8±0.014 a	0.116 4±0.014 a	92.1±0.85 ab
Z-9	64.2±3.76 abc	21.2±1.54 cd	1.278 5±0.018 d	0.096 7±0.005 a	92.5±0.38 ab
Z-10	64.6±4.27 abc	20.2±0.92 d	1.405 5±0.015 bc	0.101 5±0.013 a	92.8±0.82 a
Z-11	68.6±2.47 abc	24.7±2.12 a	1.506 3±0.018 a	0.116 6±0.014 a	92.3±0.85 ab
Z-12	63.8±3.48 bc	21.6±0.93 bcd	1.312 8±0.011 d	0.102 8±0.006 a	92.2±0.42 ab
Z-13	62.8±1.36 bc	23.3±1.36 abc	1.377 5±0.014 c	0.112 1±0.015 a	91.9±1.06 ab
Z-14	62.6±1.49 bc	21.2±1.42 cd	1.079 0±0.014 e	0.097 3±0.016 a	91.0±1.41 b
空白对照 Control	64.5±3.77 abc	22.0±2.91 abcd	1.317 0±0.016 d	0.096 8±0.013 a	92.7±0.90 a

2.3 化合物对糜子和油菜种子萌发及幼苗生长的安全性评价

根据 2.1 和 2.2 节的试验结果,表 7 列出了各

化合物(100 μg/mL)对糜子和油菜种子的萌发及幼苗生长的安全性评价结果。由表 7 可以看出,在 14 种供试化合物中,有 9 种化合物(Z-2、Z-4~Z-11)对

2 种作物的所有生长指标均无显著不良影响,且几乎每个化合物对每种植物的一个或数个生长指标还具有改善作用;有 5 个化合物(Z-1、Z-3、Z-12~Z-14)对 1 种或 2 种植物的个别生长指标具有显著的不良作用。

表 7 14 种供试化合物对糜子和油菜发芽及幼苗生长的安全性(100 μg/mL)
Table 7 Safety of 14 tested compounds (100 μg/mL) on plant seed germination and seedling growth of *Panicum miliaceum* L. and *Brassica campestris* L.

化合物 Compound	发芽率 (PM/BC) Germination rate	根长(PM/BC) Root length	茎长(PM/BC) Stem length	质量(PM/BC) Weight		相对含水量 (PM/BC) Relative water content
				总鲜质量 Gross fresh weight	总干质量 Gross dry weight	
Z-1	o/o	o/+	o/—	o/o	+/o	—/o
Z-2	+/o	o/o	+/o	+/+	+/o	o/o
Z-3	o/o	o/+	o/—	—/+	o/o	o/o
Z-4	+/o	+/o	o/o	+/+	+/o	o/o
Z-5	o/+	o/o	o/o	+/o	+/o	o/o
Z-6	o/o	o/o	+/o	+/+	+/o	o/o
Z-7	o/o	o/o	o/o	+/+	+/o	o/o
Z-8	o/+	+/o	o/o	+/+	+/o	o/o
Z-9	+/o	+/o	+/o	+/o	+/o	o/o
Z-10	+/+	+/o	+/o	+/+	+/o	o/o
Z-11	o/o	o/o	o/o	+/+	+/o	o/o
Z-12	o/—	o/o	—/o	o/o	o/o	o/o
Z-13	o/o	o/o	—/o	+/+	o/o	o/o
Z-14	o/—	o/o	—/o	+/—	+/o	o/—

注:PM 和 BC 分别代表糜子和油菜;+、—和 o 分别表示显著提高、显著抑制和无显著影响。
Note:PM and BC represent *P. miliaceum* L. and *B. campestris* L., respectively. +, — and o mean improvement, inhibition and no significant effect, respectively.

3 结论与讨论

本研究评价了 14 种溴化 2-芳基 6,7-亚甲二氧基-3,4-二氢异喹啉盐类化合物对单子叶植物糜子和双子叶植物油菜发芽、幼苗生长的影响和安全性,结果表明用其(100 μg/mL)浸种时,绝大部分化合物对植物的发芽、根生长、茎生长、幼苗质量及相对含水量等无显著影响,当其使用质量浓度≤100 μg/mL 时,多数化合物对植物的生长是安全的,而且有些化合物对植物的生长还具有一定的促进作用。

供试化合物是一类天然抗菌化合物 QBAs 的简单类似物。与 QBAs 相比,该类化合物对植物病原菌的抑制活性更强、抗菌谱更广^[18],对多数植物病原菌的 EC₅₀<20 μg/mL^[19-21]。一般而言,植物抗菌剂实际使用的质量浓度多为其 EC₅₀ 值的 2~3 倍,据此推断,供试化合物作为植物抗菌剂的实际使用质量浓度应<60 μg/mL。结合本研究的结果,笔者认为,在药效和安全性 2 个方面供试化合物均具有良好的开发前景。

2-芳基-3,4-二氢异喹啉盐是另一类与 2-芳基-6,7-亚甲二氧基-3,4-二氢异喹啉盐结构高度类似但不相同的抗菌化合物,二者的差异仅在于后者较前

者多了一个 6,7-亚甲二氧基。张冰玉等^[22]报道了 8 个 2-芳基-3,4-二氢异喹啉盐对植物种子萌发及幼苗生长的影响,并证明当浸种质量浓度为 100 μg/mL 时,其中 7 个化合物对植物是安全无害的,这与本研究的结果基本一致。此外,向 N-苯环上引入不同取代基一般不会导致 2-苯基-3,4-二氢异喹啉盐类对植物生长的明显危害。本研究的结果则进一步证明,在分子中存在 6,7-亚甲二氧基时,向 N-苯环的不同位置引入不同的取代基一般也不会引起分子对植物生长的明显危害。或者说,向 2-芳基-3,4-二氢异喹啉分子中引入 6,7-亚甲二氧基对植物生长是安全的。

农用抗菌剂的使用一般有叶面喷施、灌根和浸种 3 种方式。3 种方式所采用的药物质量浓度可以相同,也可以不同。通常,叶面喷施和浸种质量浓度较小,灌根质量浓度较大。虽然本研究的结果证明,用供试化合物浸种不会影响植物种子的发芽和幼苗生长,但尚不能说明其叶面喷施和灌根不会影响植物的生长发育,这有待进一步深入研究。

[参考文献]
[1] Vrba J, Dolezel P, Vicar J, et al. Cytotoxic activity of sanguina-

- rine and dihydrosanguinarine in human promyelocytic leukemia HL-60 cells [J]. *Toxicol in Vitro*, 2009, 23: 580-588.
- [2] Jang B C, Park J G, Song D K, et al. Sanguinarine induces apoptosis in A549 human lung cancer cells primarily via cellular glutathione depletion [J]. *Toxicol in Vitro*, 2009, 23: 281-287.
- [3] Ahsan H, Reagan-Shaw S, Breur J, et al. Sanguinarine induces apoptosis of human pancreatic carcinoma AsPC-1 and BxPC3 cells via modulations in Bcl-2 family proteins [J]. *Cancer Lett*, 2007, 249: 198-208.
- [4] Meng F Y, Zuo G Y, Hao X Y, et al. Antifungal activity of the benzo[c]phenanthridine alkaloids from *Chelidonium majus* Linn against resistant clinical yeast isolates [J]. *J Ethnopharmacol*, 2009, 125: 494-496.
- [5] Zuo G Y, Meng F Y, Hao X Y, et al. Antibacterial alkaloids from *Chelidonium majus* Linn (Papaveraceae) against clinical isolates of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* [J]. *J Pharm Pharm Sci*, 2008, 11: 90-94.
- [6] Mahajan V M, Sharma A, Rattan A. Antimycotic activity of berberine sulphate; An alkaloid from an Indian medicinal herb [J]. *Sabouraudia*, 1982, 20: 79-81.
- [7] Iwasa K, Kamigauchi M, Ueki M, et al. Antibacterial activity and structure-activity relationships of berberine analogs [J]. *Eur J Med Chem*, 1996, 31: 469-478.
- [8] Pitea M, Margineanu C. Correlations between chemical structure and antibacterial activity of berberine [J]. *Clujul Med*, 1972, 45: 465-469.
- [9] Miao F, Yang X J, Zhou L, et al. Structural modification of sanguinarine and chelerythrine and their antibacterial activity [J]. *Natural Product Research*, 2011, 25(9): 863-875.
- [10] Yang X J, Miao F, Yao Y, et al. *In vitro* antifungal activity of sanguinarine and chelerythrine derivatives against phytopathogenic fungi [J]. *Molecules*, 2012, 17: 13026-13035.
- [11] Lenfeld J, Kroutil M, Marsálek E, et al. Antiinflammatory activity of quaternary benzophenanthridine alkaloids from *Chelidonium majus* [J]. *Planta Med*, 1981, 43: 161-165.
- [12] Tsai I L, Wun M F, Teng C M, et al. Anti-platelet aggregation constituents from formosan *Toddalia asiatica* [J]. *Phytochemistry*, 1998, 48: 1377-1382.
- [13] Miao F, Yang X J, Ma Y N, et al. Structural modification of sanguinarine and chelerythrine and their *in vitro* acaricidal activity against *Psoroptes cuniculi* [J]. *Chem Pharm Bull*, 2012, 60: 1508-1513.
- [14] Yao J, Li X, Shen J, et al. Isolation of bioactive components from *Chelidonium majus* L. with activity against *Trichodina* sp. [J]. *Aquaculture*, 2011, 318: 235-238.
- [15] Wang G X, Zhou Z, Jiang D X, et al. *In vivo* anthelmintic activity of five alkaloids from *Macleaya microcarpa* (Maxim) Fedde against *Dactylogyrus intermedius* in *Carassius auratus* [J]. *Vet Parasitol*, 2010, 171: 305-313.
- [16] Nyangulu J M, Hargreaves S L, Sharples S L, et al. Antimalarial benzo[c]phenanthridines [J]. *Bioorg Med Chem Lett*, 2005, 15: 2007-2010.
- [17] Yang X J, Yao Y, Qin Y Y, et al. Synthesis and *in vitro* antifungal activities of new 2-aryl-6, 7-methylenedioxy-3, 4-dihydroisoquinolin-2-ium bromides [J]. *Chem Pharm Bull*, 2013, 61(7): 731-739.
- [18] Hou Z, Yang R, Zhang C, et al. 2-(substitutedphenyl)-3, 4-dihydroisoquinolin-2-iums as novel antifungal lead compounds: Biological evaluation and structure-activity relationships [J]. *Molecules*, 2013, 18: 10413-10424.
- [19] Ma Y N, Yang X J, Pan L, et al. Synthesis of 2-aryl-3, 4-dihydroisoquinolin-2-ium bromides and their *in vitro* acaricidal activity against *Psoroptes cuniculi* [J]. *Chem Pharm Bull*, 2013, 61(2): 204-211.
- [20] 窦花妮, 郑响红, 徐小燕, 等. 新型芳氧乙酰胺类化合物的合成与除草活性 [J]. *农药*, 2009, 48(10): 720-723.
- Dou H N, Zheng Y H, Xu X Y, et al. Synthesis and herbicidal activities of new aryloxyacetamide compounds [J]. *Agrochemicals*, 2009, 48(10): 720-723. (in Chinese)
- [21] 陆涛, 汪雨潇. 吡唑并嘧啶衍生物的合成及其生物活性研究 [J]. *江西师范大学学报: 自然科学版*, 2011, 35(1): 10-14.
- Lu T, Wang Y X. The study on synthesis and biological activity of pyrazolopyrimidine derivatives [J]. *Journal of Jiangxi Normal University: Nat Sci Ed*, 2011, 35(1): 10-14. (in Chinese)
- [22] 张冰玉, 郑作略, 苗芳, 等. 2-芳基-3, 4-二氢异喹啉类抗菌物质对植物种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2014, 42(3): 169-174.
- Zhang B Y, Zheng Z L, Miao F, et al. Effects of 2-aryl-3, 4-dihydroisoquinolin-2-iums on seed germination and seedling growth [J]. *Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed*, 2014, 42(3): 169-174. (in Chinese)