

玫瑰黄链霉菌 Men-myc-93-63 活性代谢产物 roflamycoin 的光稳定性分析

刘亚南^{1,3} 韩 兴² 甄丹妹¹ 赤国彤¹ 李亚宁^{1*} 刘大群^{1,2*}

(1. 河北农业大学植物保护学院, 河北省农作物病虫害生物防治工程技术研究中心, 国家北方山区农业工程技术研究中心, 保定 071000; 2. 中国农业科学院研究生院, 北京 100081; 3. 河北德瑞化工有限责任公司, 石家庄 052160)

摘要: 为研究影响玫瑰黄链霉菌 *Streptomyces roseoflavus* Men-myc-93-63 活性代谢产物 roflamycoin 光不稳定的因素, 采用高效液相色谱仪测定了不同光照环境、光照强度、光照时间、溶剂、质量浓度等因素下 roflamycoin 的光分解率; 检测 8 种光稳定剂对 roflamycoin 光分解的抑制作用; 并通过抑菌圈法测定了光分解前后物质抑菌效果的变化。结果显示, 在 roflamycoin 的光分解过程中, 太阳光和日光灯是其敏感光源, 而紫外光并不能引起光分解; 光照强度越大、光照时间越长、质量浓度越低, 其光分解速率越快; 在甲醇、丙酮、*N,N*-二甲基甲酰胺、二甲基亚砷、四氢呋喃 5 种溶剂中的光分解速率无显著差异; roflamycoin 光分解过程最终可以达到一个稳定状态, 主要分解为 3 种物质, 并与 roflamycoin 具有相同的五烯大环内酯骨架; 8 种光稳定剂均未表现出抑制光分解的作用。roflamycoin 光照分解后对 12 种病原菌仍有抑制作用, 其中对番茄灰霉病菌、玉米穗腐病菌等 6 种病原菌的抑制活性显著增强, 抑菌圈直径增大 7.64%~21.91%, 对棉花黄萎病菌、苹果斑点落叶病菌等 4 种病原菌的抑制活性显著降低, 抑菌圈直径减小 10.03%~91.46%。推测 roflamycoin 的光分解产物仍具有抑菌活性。

关键词: 玫瑰黄链霉菌 Men-myc-93-63; roflamycoin; 光分解; 生物活性

Photolysis of the active metabolite roflamycoin produced by *Streptomyces roseoflavus* Men-myc-93-63

Liu Yanan^{1,3} Han Xing² Zhen Danmei¹ Chi Guotong¹ Li Yaning^{1*} Liu Daqun^{1,2*}

(1. Hebei Provincial Biological Control Center of Plant Diseases and Plant Pests, National Engineering Research Center for Agriculture in Northern Mountainous Areas, College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei Province, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. Hebei Derui Chemical Co. Ltd., Shijiazhuang 052160, Hebei Province, China)

Abstract: To determine the factors that affect the light instability of the active metabolite roflamycoin, the photolysis rate under different light sources, light intensities, illumination time, solvents and antibiotic concentrations were tested by high performance liquid chromatography (HPLC). The inhibition of photodegradation was performed by using eight kinds of light stabilizers such as UV absorbers, antioxidants and so on. The antifungal effect of the substances before and after photodegradation was detected by inhibition zone method. The results showed that it was sensitive under the sunlight and fluorescent light, while UV-light could not result in photolysis. The greater the illumination intensity, and the longer the illumination time, the lower the mass concentration, and the faster the photolysis rates. No significant

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201100), 河北省二期农业产业技术体系创新团队项目(HBCT2018060204), 中国农业科学院农科英才项目(2017-2018)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: yaning22@163.com, ldq@hebau.edu.cn

收稿日期: 2017-07-11

differences were found in the photolysis rates when roflamycoin was dissolved in methanol, acetone, *N,N*-dimethyl formamide, dimethyl sulfoxide or tetrahydrofuran. Finally it decomposed into three compounds with pentaene macrolide (same with roflamycoin) and the photolysis process reached a balance. The eight kinds of light stabilizers all showed no inhibition effects on photodegradation. The roflamycoin after photolysis could still provide effective inhibition against 12 kinds of plant pathogens, and significantly increased its inhibition activities by 7.64%–21.91% against six pathogens, including *Botrytis cinerea* and *Fusarium verticillioides*, while decreased its inhibition activities by 10.03%–21.91% against the other four pathogens, including *Verticillium dahliae* and *Alternaria brassicae*. The results indicated that the photolysis did not change the biological activity of roflamycoin.

Key words: *Streptomyces roseoflavus* Men-myc-93-63; roflamycoin; photolysis; biological activity

玫瑰黄链霉菌 *Streptomyces roseoflavus* Men-myc-93-63 是由刘大群教授从土壤中分离得到的 1 株链霉菌 (Liu, 1992), 该菌株及其代谢产物对马铃薯疮痂病菌 *Streptomyces scabies*、棉花黄萎病菌 *Verticillium dahliae* (冯龙等, 2014)、瓜类白粉病菌 *Erysiphe cucurbi-tacearum* (赤国彤等, 2011)、番茄灰霉病菌 *Botrytis cinerea* 及蔬菜根结线虫 (乔丹娜等, 2014) 等多种重要植物病原物具有较强的拮抗作用。通过对玫瑰黄链霉菌代谢产物中的抗菌活性代谢组分进行分离、提取和结构鉴定, 已获得 roflamycoin 和 Menmyco-A 两种活性组分 (李亚宁等, 2017), 均为多烯大环内酯类物质。其中主要的活性代谢产物 roflamycoin 于 1971 年被首次报道 (Schlegel & Thrum, 1971; Schlegel et al., 1981), 其化学结构及其合成方法在国外也有少量报道 (Rychnovskyr et al., 1997)。韩兴 (2016) 在室内通过菌丝生长速率法和抑菌圈法测定了该活性物质的抑菌谱, 发现其对镰孢属、链格孢属、丝核菌属、孢盘菌属、黑腐皮壳属、轮枝菌属等 9 个属的 17 种常见植物病原真菌均有较好的抑制作用。

生物农药在大自然环境中易受到光照、pH、氧化剂、温度等因素影响而很快丧失药效, 稳定性差, 其中光照往往是造成其不稳定的主要因素。Miskus & Andrews (1972) 研究发现菊酯类农药在光照波长 290~320 nm 下极易降解, 丧失活性, 并通过添加紫外屏蔽物以及抗氧化剂延长其稳定性; Schmitterer (1990) 发现印楝素在光照下发生分解, 对害虫的防治效果明显降低; 明飞平等 (2008) 在纳他霉素耐光性研究中发现纳他霉素在紫外光下照射 60 min 后, 其抑菌活性消失。因此, 研究生物农药在自然条件下的降解特性, 通过加入稳定剂或者修饰不稳定结构等手段来提高和改善其稳定性, 延长其田间实用效果是开发利用该生物农药的关键。

多烯大环内酯类化合物因其结构特点, 大多对光不稳定 (李宁等, 2008)。前期在 Men-myc-93-63 活性代谢产物制备过程中, 发现活性代谢产物 roflamycoin 在光下可分解, 但对其的光分解特性以及其它稳定性尚不了解。基于此, 本试验从光照环境、光照强度、光照时间、抗生素浓度、不同溶剂以及光分解抑制剂筛选等方面对 Men-myc-93-63 抑菌活性组分的光分解特性进行探究, 并对其光分解产物的活性进行验证, 以期发现影响 roflamycoin 光分解的因素, 为进一步改善其稳定性奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株: 玫瑰黄链霉菌 Men-myc-93-63、棉花黄萎病菌、棉花枯萎病菌 *Fusarium oxysporum*、小麦赤霉病菌 *F. graminearum*、小麦根腐病菌 *Bipolaris sorokiniana*、玉米穗腐病菌 *F. verticillioides*、番茄灰霉病菌 *Botrytis cinerea*、白菜黑斑病菌 *Alternaria oleracea*、梨黑斑病菌 *A. alternata*、苹果斑点落叶病菌 *A. brassicae*、苹果腐烂病菌 *Valsa ceratosperma*、马铃薯早疫病菌 *A. solani*、尖孢镰刀菌 *F. oxysporum* 均由河北农业大学植物保护学院植物病害生物防治实验室保存。

培养基: 马铃薯葡萄糖琼脂 (potato dextrose agar, PDA) 培养基: 马铃薯 200 g、葡萄糖 20 g、琼脂粉 18 g, 蒸馏水补足至 1 000 mL, 用于病原菌的培养和牛津杯法生物活性的测定。

试剂及仪器: roflamycoin 粗品, 由河北农业大学植物保护学院植物病害生物防治实验室制备保存。3 种紫外吸收剂 UV-531、UV-P、UV-326, 3 种抗氧化剂 1010、1076、DLTP 和 2 种光稳定剂 770、944, 共 8 种稳定剂, 均购于南京华立明化工有限公司; 其余试剂均为国产分析纯。Waters 600 泵高效液相色谱

谱仪、2996型PDA检测器,美国沃特斯公司。

1.2 方法

1.2.1 roflamycoin的检测方法

采用高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)分析方法对 roflamycoin 进行检测,检测条件为色谱柱:Kromasil 100A C₁₈ 5 μm, 250 mm×4.6 mm, 流动相乙腈:水=45:55, 流速为 1 mL/min, 柱温为 25℃, PDA 检测器, 检测波长 200~800 nm, 单波长取 363 nm。

为了获得较稳定的试验结果,在光稳定性研究中选取可控、可测量的日光灯作为主要光源。以主峰 roflamycoin 为研究对象,通过对该峰的分解率进行比较,来确定光照条件对 roflamycoin 分解的影响。分解率计算公式为光分解率=($R_0 - R_t$)/ $R_0 \times 100\%$, 式中 R_0 表示未光照处理的 roflamycoin 的峰面积, R_t 表示光照处理后 roflamycoin 的峰面积。

1.2.2 不同因素条件下的光照处理

光照时间:分别取 5 mL 配制好的 1 mg/mL 的 roflamycoin 甲醇溶液加到 5 个石英具塞试管中,放置于实验室窗外在太阳光(上午 9:00—10:00)下照射,于照射处理 15 min、30 min、1 h、24 h、72 h 后取 1 mL 样品,以黑暗处理作对照。

光源种类:分别取 5 mL 配制好的 1 mg/mL 的 roflamycoin 甲醇溶液加到 3 个石英具塞试管中,置于 4 000 lx 日光灯、24 W 紫外灯、太阳光(上午 9:00—10:00)3 种光照环境下进行照射处理,于照射处理 5、15、30、60 min 后取样 1 mL,以黑暗处理作对照。

光照强度:分别取 5 mL 配制好的 1 mg/mL 的 roflamycoin 甲醇溶液加到 5 个石英具塞试管中,置于 4 000、6 000、8 000、10 000 lx 共 4 个光照强度下,进行照射处理,于照射处理 5、15、30、60 min 后取样 1 mL,以黑暗处理为对照。

不同浓度:分别取 5 mL 配制好的 4、2、1、0.5 mg/mL roflamycoin 甲醇溶液加到石英试管中,置于实验室光照培养箱中,光照强度为 4 000 lx,分别于照射处理 5、15、30、60 min 后取样 1 mL。

不同溶剂:根据 roflamycoin 溶解特性,选取甲醇、丙酮、二甲基亚砜(*N,N*-dimethyl formamide, DMSO)、*N,N*-二甲基甲酰胺(dimethyl sulfoxide, DMF)和四氢呋喃溶剂进行研究,分别配制成 0.5 mg/mL 的溶液,加到石英具塞试管中,置于实验室光照培养箱中,光照强度为 4 000 lx,分别于照射处理 5、15、30、60 min 后取样 1 mL。

按照 1.2.1 方法计算上述不同处理后 roflamycoin 的分解率。每个处理均重复 3 次。

1.2.3 不同光稳定剂对 roflamycoin 光分解抑制作用

分别配制浓度为 10 mg/mL 的紫外吸收剂 UV-531、UV-P、UV-326, 抗氧化剂 1010、1076、DLTP 以及光稳定剂 770、944 的 8 种光稳定剂标准溶液,于 4℃ 下在棕色试剂瓶中保存备用。吸取 4 mL 浓度为 5 mg/mL 的标准溶液,分别加入 8 种不同光稳定剂标准溶液 1 mL,然后置于 8 000 lx 日光灯下照射处理,分别于照射处理 5、15、30、60 min 后取样 1 mL,采用 1.2.1 方法进行检测分析。

1.2.4 光照对 roflamycoin 活性的影响

配制浓度为 10 mg/mL 的 roflamycoin 甲醇溶液,在光照培养箱中以 10 000 lx 光照强度照射 12 h, HPLC 检测光照变化。以番茄灰霉病菌等 12 种植物病原菌为指示菌,采用牛津杯法检测光照对 roflamycoin 活性的影响,待 PDA 培养基凝固后,将浓度为 1×10^7 个/mL 病原菌菌悬液均匀涂布于培养基上,再将牛津杯轻轻放置于培养基上,牛津杯中定量加入 100 μL roflamycoin 甲醇溶液,每个病原菌重复 3 次,放置于 28℃ 培养箱中培养 3~5 d 后观察结果,测量抑菌圈的大小,通过比较光照前后 roflamycoin 抑菌圈的大小,确定其抑菌活性的变化(余之蕴等, 2016)。

1.3 数据分析

试验数据采用 SPSS 21.0 软件进行统计分析,应用 Duncan 氏新复极差法进行多样本间差异显著性检验,应用双侧 *t* 测验法进行两样本差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同因素对 roflamycoin 光稳定性的影响

2.1.1 光照时间

roflamycoin 随光照时间变化的 HPLC 谱图结果显示,其中 0 min 谱图中保留时间为 13 min 的峰即为代谢活性物质主要化合物 roflamycoin。在不同光照时间条件下,该峰可明显分裂为 3 个峰,即在保留时间为 11 min 和 15 min 左右会出现 2 个峰,随光照时间增加,在其它位置还会出现新的小峰,一段时间之后,最终该峰与新产生的 2 个峰物质含量会达到一个较稳定的平衡状态。同时观察光谱图分析发现 HPLC 谱图中各个峰的吸收光谱与 roflamycoin 均相同,在 363 nm 左右有最大吸收峰,在 260 nm 处有微弱的次级吸收峰(图 1)。

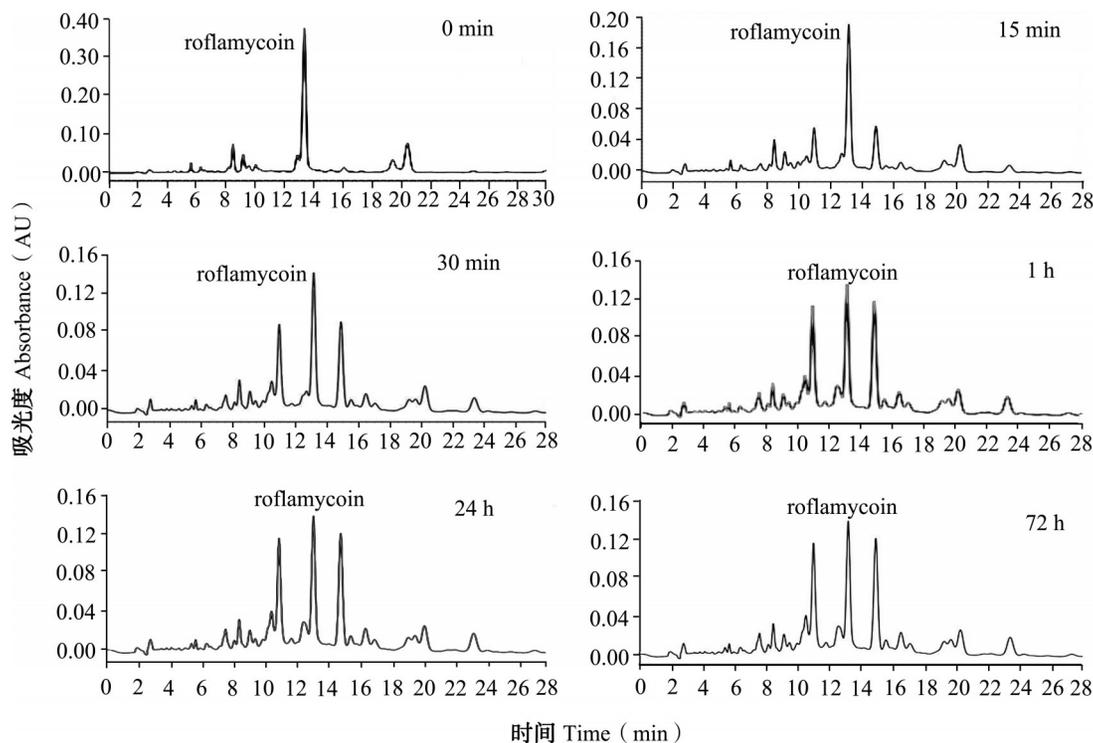


图 1 不同光照时间下 roflamycoin 的高效液相色谱图

Fig. 1 HPLC chromatograms of roflamycoin under different lighting durations

2.1.2 光源

不同光源照射下 roflamycoin 分解率变化结果显示,在黑暗、紫外光以及室内自然光条件下 roflamycoin 分解率无明显变化;而在日光灯和太阳光照射下,分解率随着照射时间的增加而增加,对 roflamycoin 分解影响最大。roflamycoin 在太阳光下照射 5 min 时分解率达到了 70.87%,在日光灯下照射 15 min 时分解率也达到 59.42%,说明太阳光或日光灯是导致 roflamycoin 光分解的主要因素(图 2-A)。

2.1.3 光照强度

不同光照强度下 roflamycoin 的分解率变化的结果显示,随着光照强度增强,roflamycoin 的分解速率逐渐加快。在光照处理 5 min 时,光照强度 4 000、6 000、8 000 和 10 000 lx 处理下的分解率分别达到了 25.87%、35.63%、55.29%、65.05%(图 2-B)。

2.1.4 浓度

不同浓度 roflamycoin 的分解率变化结果显示,0.5、1、2、4 mg/mL 的 roflamycoin 溶液,光照 15 min 后分解率分别为 57.45%、36.12%、26.01%、18.34%;光照 30 min 后分解率分别为 70.80%、46.52%、32.52%、29.68%。说明随着 roflamycoin 浓度增加,其分解速率逐渐减慢(图 2-C)。

2.1.5 溶剂

不同溶剂对 roflamycoin 稳定性影响的结果显

示,甲醇、丙酮、DMSO、DMF、四氢呋喃 5 种溶剂在同一光照条件下,光照 15 min 后,分解率分别为 55.45%、59.45%、52.45%、51.45%、57.45%;光照 30 min 后,分解率为 71.80%、70.80%、67.80%、68.80%、73.80%;相同时间内,不同溶剂的分解率均无显著差异(图 2-D)。

2.2 不同光稳定剂对 roflamycoin 光分解抑制作用

经 HPLC 检测,不同光稳定剂对 roflamycoin 光分解抑制效果的结果显示,所选取的 8 种光稳定剂(紫外吸收剂、抗氧化剂和光稳定剂)对 roflamycoin 的光解均未表现出抑制或延迟的作用(表 1)。

2.3 光照对 roflamycoin 活性的影响

HPLC 检测结果显示,主峰 roflamycoin 的分解率为 75.7%。根据抑菌圈直径的变化可以看出,roflamycoin 光照分解后,对不同病原菌抑制活性的变化存在差异。其中对番茄灰霉病菌、玉米穗腐病菌、梨黑斑病菌、白菜黑斑病菌、尖孢镰刀菌、小麦赤霉病菌在光照后抑制活性显著增强,抑菌圈直径增大 7.64%~21.91%;而对棉花黄萎病菌、苹果斑点落叶病菌、马铃薯早疫病菌、苹果腐烂病菌在光照后抑制活性则显著降低,抑菌圈直径减小 9.11%~47.77%;对小麦根腐病菌和棉花枯萎病菌,光照前后抑制活性无显著差异(表 2)。

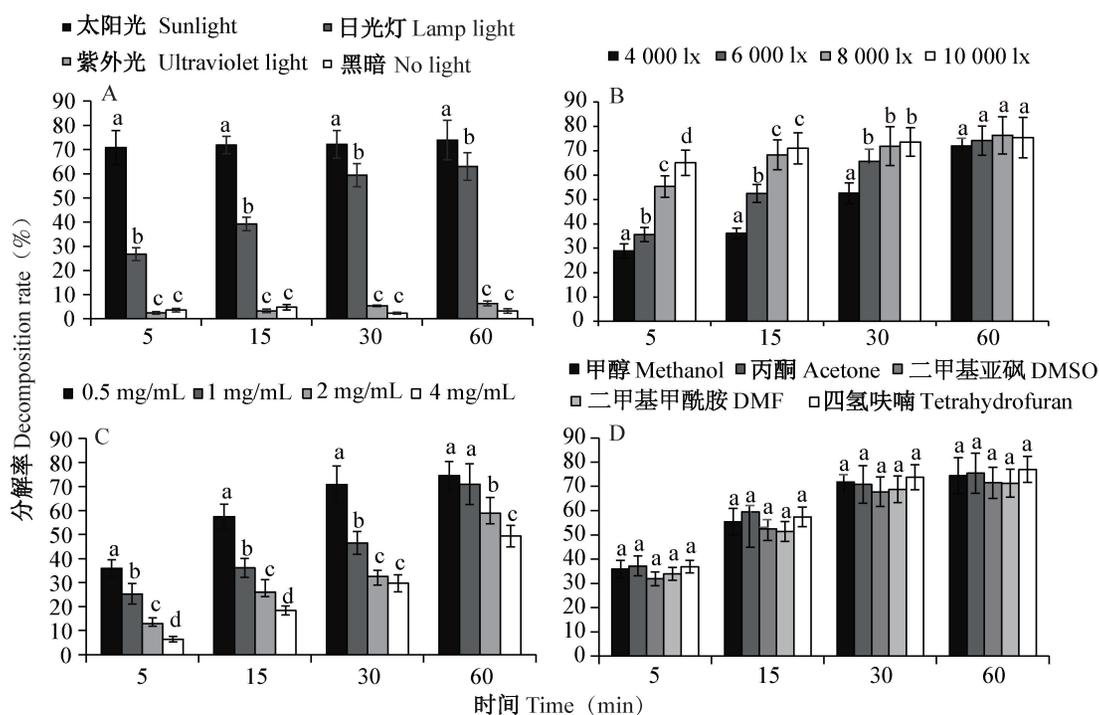


图2 不同光源(A)、不同光照强度(B)、不同浓度(C)以及不同溶剂(D)下 roflamycoin 的分解率变化图

Fig. 2 The decomposition rates of roflamycoin under different light sources (A), different light intensities (B), different concentrations (C) and different solvents (D)

图中数据为平均数±标准差。不同字母表示同时间点不同处理间经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters on the bars indicate significant difference in different treatments at each time point at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

表1 8种光稳定剂对 roflamycoin 光解的抑制效果

Table 1 The inhibitory effects of eight light stabilizers against roflamycoin photolysis

名称 Name	分子式 Molecular formula	种类 Category	特性 Peculiarity	抑制作用 Inhibiting effect
UV-531	$C_{21}H_{26}O_3$	紫外吸收剂 Ultraviolet absorbent	吸收240~340 nm的紫外光 Ultraviolet absorption at 240–340 nm	无 None
UV-P	$C_{13}H_{11}N_3O$	紫外吸收剂 Ultraviolet absorbent	吸收290~400 nm的紫外光 Ultraviolet absorption at 290–400 nm	无 None
UV-326	$C_{17}H_{18}N_3OCl$	紫外吸收剂 Ultraviolet absorbent	吸收270~380 nm的紫外光 Ultraviolet absorption at 270–380 nm	无 None
1010	$C_{73}H_{108}O_{12}$	抗氧化剂 Antioxidant	抗氧化作用 Antioxidant ability	无 None
1076	$C_{35}H_{62}O_3$	抗氧化剂 Antioxidant	抗氧化作用 Antioxidant ability	无 None
DLTP	$C_{30}H_{58}O_4S$	抗氧化剂 Antioxidant	硫酯类辅助抗氧化剂 Thioester-assisted antioxidant	无 None
770	$C_{28}H_{52}O_4N_2$	光稳定剂 Light stabilizer	稳定性 Stability	无 None
944	聚合物 Polymer	光稳定剂 Light stabilizer	聚合型高分子量受阻胺类 Polymeric high-molecular weight hindered amines	无 None

表2 roflamycoin 光照前后对 12 种植物病原真菌的抑制效果

Table 2 The inhibitory effects of roflamycoin before and after illumination against 12 fungal pathogens

病原真菌 Fungal pathogen	抑菌圈直径 Diameter of inhibition zone (mm)		变化量 Variation (%)
	光解前 Before photolysis	光解后 After photolysis	
番茄灰霉病菌 <i>Botrytis cinerea</i>	21.60±1.33 a	23.25±1.40 b	7.64
小麦根腐病菌 <i>Bipolaris sorokiniana</i>	19.87±1.03 a	20.17±0.58 a	1.51
玉米穗腐病菌 <i>Fusarium verticillioides</i>	13.37±1.02 a	15.87±1.01 b	19.32
梨黑斑病菌 <i>Alternaria alternata</i>	13.62±0.89 a	15.12±0.74 b	11.18
棉花枯萎病菌 <i>Fusarium oxysporum</i>	13.88±1.12 a	14.30±0.65 a	3.03
白菜黑斑病菌 <i>Alternaria oleracea</i>	11.43±0.92 a	12.63±0.94 b	10.79
尖孢镰刀菌 <i>Fusarium oxysporum</i>	14.73±0.86 a	16.57±0.96 b	12.72
小麦赤霉病菌 <i>Fusarium graminearum</i>	13.63±1.00 a	16.58±0.94 b	21.91
棉花黄萎病菌 <i>Verticillium dahliae</i>	12.40±0.81 a	11.27±1.24 b	-9.11
马铃薯早疫病菌 <i>Alternaria solani</i>	16.65±0.79 a	8.67±0.59 b	-47.77
苹果腐烂病菌 <i>Valsa ceratosperma</i>	23.85±1.26 a	17.07±0.98 b	-28.28
苹果斑点落叶病菌 <i>Alternaria brassicae</i>	19.92±0.61 a	16.73±0.90 b	-15.93

表中数据为平均数±标准差。同行不同字母表示经 *t* 测验法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$ level by *t* test.

3 讨论

除虫菊脂、阿维菌素、纳他霉素、苦参碱等许多生物源农药均具有光不稳定性特点,大量研究报道,导致这些生物活性物质光分解的主要因素为紫外光。如吴传万等(2005;2006)在苦豆子总碱和阿维菌素的光分解研究中发现,紫外光造成其光解的机理可能由于当空气中的氧气受到紫外光等的能量和代谢激发时处于高能态,具有非常强的氧化性质,活性氧分子再经得失电子形成活性氧自由基,造成连锁反应,从而引起氧化降解。而本试验结果显示,引起玫瑰黄链霉菌 Men-myc-93-63 所产生的 roflamycoin 不稳定的因素为太阳光,而在紫外光照射下几乎不发生分解。另外,紫外吸收剂 UV-531、UV-P、UV-326 等光稳定剂几乎涵盖了全部紫外波长(200~400 nm),但均未表现出抑制或延迟分解的作用,表明该类抗生素的分解不是由紫外光引起的。推测该类抗生素的分解是太阳光中存在的非紫外光造成的,并不是由高能态激发引起的,后期还需研究不同波长的可见光对 roflamycoin 的影响,进一步确定其敏感光源。

杨会荣等(2009)、贾娜等(2011)和张传琪等(2011)分别对阿维菌素、2,4-D 丁酯以及烯啶虫胺在溶剂中的光分解进行了研究,其结果均表明初始质量浓度对这些物质的光分解速率有一定影响,随着溶液中物质初始质量浓度增加,光分解速率会减小。本试验也获得类似研究结果,即在 roflamycoin 浓度对其稳定性影响的研究结果也表明,roflamycoin 质量浓

度越小,其在溶液中的分解速率越快,这可能与光解自由基反应机理有关,即易光解物质在太阳光照射下形成高能量的氧化态自由基,进一步引发光降解,在光能一定的条件下,高浓度使单位分子接受到的有效光能减少,发生光降解的概率降低,从而使光解速率减慢(贾娜等,2011),但尚待进一步研究证实。

研究表明,多烯大环内酯类抗生素根据其双键数目的不同,可分为四烯、五烯、六烯和七烯大环内酯,每类都具有特征性紫外吸收(张慧和李文利,2013;万中义,2014),本研究发现虽然 roflamycoin 光解产物比较复杂,但都显示出典型的氧五烯大环内酯的紫外吸收,推测光照未改变 roflamycoin 的多烯结构,致使其特定的紫外吸收没有发生改变。相关研究也表明,多烯大环内酯类抗生素主要通过共轭多烯结构与真菌细胞膜重要组成成分麦角甾醇相结合而影响细胞膜的通透性,进而导致细胞死亡(Kruijff & Demel, 1974; Ellis, 2002; Gray et al., 2012)。大部分生物农药光分解后,其生物活性会降低或者消失,但本研究中的 roflamycoin 光分解后仍具有一定的抑菌活性。因此,推测光分解产物也为五烯大环内酯抗生素,同样具有抑菌活性。这一光分解特性可使其在农业生产中具有非常广阔的应用前景。对光分解产物进行分离、纯化、结构鉴定等还需深入研究,验证其是否为五烯大环内酯抗生素。

参 考 文 献 (References)

Chi GT, Li YN, Meng QF, Feng LN, Zhang T, Liu DQ. 2011. Efficacy

- test of Men-myc-93-63 biological preparation on powdery mildew of cucurbits and melon. *Hunan Agricultural Sciences*, (23): 89–91 (in Chinese) [赤国彤, 李亚宁, 孟庆芳, 冯丽娜, 张汀, 刘大群. 2011. Men-myc-93-63 生物制剂防治瓜类白粉病药效试验. 2011. 湖南农业科学, (23): 89–91]
- Ellis D. 2002. Amphotericin B: spectrum and resistance. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 49(S1):7–10
- Feng L, Wei JY, Chen YH, Li YN, Zhang T, Liu DQ, Chi GT. 2014. Development of nutrient tablets of *Streptomyces roseoflavus* Men-myc-93-63 and its application. *Chinese Journal Agricultural University of Hebei*, 37(5): 77–81, 88 (in Chinese) [冯龙, 魏娇洋, 陈英化, 李亚宁, 张汀, 刘大群, 赤国彤. 2014. 玫瑰黄链霉菌 Men-myc-93-63 营养型片剂的研制及应用. 河北农业大学学报, 37(5): 77–81, 88]
- Gray KC, Palacios DS, Dailey I, Endo MM, Uno BE, Wilcock BC, Burke MD. 2012. Amphotericin primarily kills yeast by simply binding ergosterol. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(7): 2234–2239
- Han X. 2016. Studies on the antibiotics of *Streptomyces roseoflavus* Men-myc-93-63 and the optimization of its fermentation medium. Master Thesis. Baoding: Hebei Agricultural University (in Chinese) [韩兴. 2016. 玫瑰黄链霉菌 Men-myc-93-63 抗菌物质的研究及其发酵培养基的优化. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学]
- Jia N, Shi HY, Wang MH. 2011. Hydrolysis and photolysis of 2,4-D butylate. *Journal of Agro-Environment Science*, 30(6): 1082–1086 (in Chinese) [贾娜, 施海燕, 王鸣华. 2011. 2,4-D 丁酯的水解与光解特性研究. 农业环境科学学报, 30(6): 1082–1086]
- Kruijff B, Demel RA. 1974. Polyene antibiotic-sterol interactions in membranes of *Acholeplasma laidlawii* cells and lecithin liposomes. III. Molecular structure of the polyene antibiotic-cholesterol complexes. *Biochimica et Biophysica Acta- Biomembranes*, 339(1): 57–70
- Li N, Li W, Sha Y, He JY, Jiang QH, Li X. 2008. Structural analysis of polyene macrolide antibiotics—lucensomycin. *Chinese Journal of Magnetic Resonance*, 25(4): 514–522 (in Chinese) [李宁, 李文, 沙沂, 何建勇, 姜其华, 李锐. 2008. 多烯大环内酯类抗生素——鲁丝霉素的分子结构解析. 波谱学杂志, 25(4): 514–522]
- Li YN, Liu DQ, Chi GT, Han X, Meng QF. 2017. The structure and preparation of two active metabolites produced by *Streptomyces roseoflavus*: CN 201710091330.X. 2007-06-30 (in Chinese) [李亚宁, 刘大群, 赤国彤, 韩兴, 孟庆芳. 2017. 玫瑰黄链霉菌两种活性代谢产物的结构及其制备: CN 201710091330.X. 2007-06-30]
- Liu DQ. 1992. Biological control of *Streptomyces scabies* and other plant pathogens. Ph. D Thesis. USA: The University of Minnesota
- Ming FP, Huang LT, Liang SW, Xia FG. 2014. Study on the light and heat resistance of natamycin. *China Food Additives*, (5): 106–107 (in Chinese) [明飞平, 黄乐天, 梁淑娃, 夏枫耿. 2008. 纳他霉素的耐光和耐热性初步研究. 中国食品添加剂, (5): 106–107]
- Miskus RP, Andrews TL. 1972. Stabilization of thin films of pyrethrins and allethrin. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 20: 313–315
- Qiao DN, Zhang YJ, Li HY, Shen FY, Li ZZ, Liu DQ, Li YN. 2014. Control efficacy of *Streptomyces roseoflavus* on root-knot nematode and its influence on soil microbiota. *China Vegetables*, (9): 30–36 (in Chinese) [乔丹娜, 张艳杰, 李华义, 沈凤英, 李珍珍, 刘大群, 李亚宁. 2014. 玫瑰黄链霉菌对根结线虫的防效及对土壤微生物区系的影响. 中国蔬菜, (9): 30–36]
- Rychnovskyr SD, Khire UR, Yang G. 1997. Total synthesis of the polyene macrolide roflamycoin. *Journal of the American Chemical Society*, 119(8): 2058–2059
- Schlegel R, Thrum H. 1971. A new polyene antibiotic, flavomycoin structural investigations. *Journal of Antibiotics*, 24(6): 360–367
- Schlegel R, Thrum H, Zielinski J, Borowski E. 1981. The structure of roflamycoin, a new polyene macrolide antifungal antibiotic. *The Journal of Antibiotics*, 34(1): 122–123
- Schmutterer H. 1990. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. *Annual Review of Entomology*, 35: 271–297
- She ZY, Huang BY, Liu HQ, Lin YW, Luo XR, Huang LL. 2016. Antibacterial activity of foods additives against five strains of probiotics by oxford plate assay system. *Food Industry*, 37(1): 171–174 (in Chinese) [余之蕴, 黄宝莹, 刘海卿, 林耀文, 罗湘蓉, 黄玲玲. 2016. 牛津杯法测定食品添加剂对五种益生菌的抑菌活力. 食品工业, 37(1): 171–174]
- Wan ZY. 2014. Biopesticide activities screening, structure identification and evaluation on development prospects of new agriculture antibiotics. Ph. D Thesis. Wuhan: Wuhan University (in Chinese) [万中文. 2014. 新型农用抗生素的筛选、鉴定及开发前景评价. 博士学位论文. 武汉: 武汉大学]
- Wu CW, Du XF, Wang WZ, Tian XJ. 2005. Study on the photolysis and the photolysis inhibition of matrine and total alkaloids in *Sophora alopecuroides*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 7(4): 343–348 (in Chinese) [吴传万, 杜小凤, 王伟中, 田兴军. 2005. 苦参碱和苦豆子总碱光分解及光分解抑制的研究. 农药学报, 7(4): 343–348]
- Wu CW, Du XF, Wang WZ, Tian XJ. 2006. Photolysis of abamectin and screening the photostabilizers. *Agrochemicals*, 45(12): 828–830, 833 (in Chinese) [吴传万, 杜小凤, 王伟中, 田兴军. 2006. 阿维菌素光分解及其光稳定剂的筛选. 农药, 45(12): 828–830, 833]
- Yang HR, Li XD, Luo SM, Hua RM. 2009. Photochemical degradation of avermectin in aqueous solution. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 37(26): 12686–12688 (in Chinese) [杨会荣, 李学德, 罗水明, 花日茂. 2009. 阿维菌素在水溶液中的光化学降解. 安徽农业科学, 37(26): 12686–12688]
- Zhang CQ, Hu J, Wang MH. 2011. Hydrolysis and photolysis behavior of nitenpyram. *Ecology and Environmental Sciences*, 20(11): 1735–1738 (in Chinese) [张传琪, 胡静, 王鸣华. 2011. 啉啉虫胺的水解与光解行为研究. 生态环境学报, 20(11): 1735–1738]
- Zhang H, Li WL. 2013. Biosynthesis and combinatorial biosynthesis of polyene macrolides antibiotics. *Chinese Journal of Marine Drugs*, 32(5): 77–85 (in Chinese) [张慧, 李文利. 2013. 多烯大环内酯类抗生素生物合成和组合生物合成. 中国海洋药物, 32(5): 77–85]

(责任编辑:王璇)