

姜黄素催化生姜提取物的光化学反应及抗菌活性研究*

黎晓菊¹, 张晓梅^{1△}, 度呈杰¹, 张科涛¹, 秦杰琛², 张冰¹, 黄之镔¹, 赵庆^{1△}

(1. 云南中医药大学, 云南 昆明 650500; 2. 昆明医科大学, 云南 昆明 650500)

摘要:目的 研究生姜提取物在姜黄素催化下的光化学反应,以及化学成分与抗菌活性的变化。方法 采用纸片扩散法,测试光照后的生姜提取液,加入姜黄素、未光照的生姜提取液,加姜黄素并经过光照的生姜提取液,对 23 种病原菌的抗菌活性。采用薄层色谱法与高效液相色谱法检测加入姜黄素的生姜提取液光照后化学成分的变化。结果 加入姜黄素的生姜提取液经光照处理后,对大多数菌株的抗菌活性明显增强,尤其对耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)及耻垢分枝杆菌的抗菌活性增强显著。薄层色谱和高效液相色谱显示加入姜黄素的生姜提取液在光照后,化学成分发生了明显变化。结论 在姜黄素的催化下,生姜的化学成分在光照时发生光化学反应,生成了抗菌活性更高的产物。

关键词: 生姜;姜黄素;光化学反应;抗菌活性

中图分类号: R285

文献标志码: A

文章编号: 1000-2723(2021)01-0024-06

DOI: 10.19288/j.cnki.issn.1000-2723.2021.01.003

Studies on Curcumin-catalyzed Photochemical Reaction of *Zingiber officinale* Extract and Its Antimicrobial Activity

LI Xiaoju¹, ZHANG Xiaomei¹, TUO Chengjie¹, ZHANG Ketao¹, QIN Jiechen²,
ZHANG Bing¹, HUANG Zhipu¹, ZHAO Qing¹

(1. Yunnan University of Medicine, Kunming 650500, China; 2. Kunming Medical University, Kunming 650500, China)

ABSTRACT: Objective Photochemical reaction of *Zingiber officinale* extract catalyzed by curcumin, and antimicrobial activities of the extracts before and after illumination were studied. Methods Disk diffusion test was applied to test the antimicrobial activities of the extract without curcumin after illumination, the extract containing curcumin after illumination, and that containing curcumin without illumination, against 23 kinds of microbial pathogens. TLC and HPLC were applied to detect the changes of the components in the *Zingiber officinale* extract after illumination, with or without curcumin. Results The antimicrobial activity of the illuminated extract containing curcumin increased significantly, especially the activities against MRSA and *Mycobacterium smegmatis* increased drastically. TLC and HPLC revealed that the components in *Zingiber officinale* extract containing curcumin changed significantly after illumination. Conclusion Under the catalysis of curcumin, some compounds in *Zingiber officinale* underwent photochemical reaction after illumination. As a result, products with much higher antimicrobial activity were generated.

KEY WORDS: *Zingiber officinale*; curcumin; photochemical reaction; antimicrobial activity

病原微生物耐药性一直是全世界关注的重大问题。随着抗生素的滥用和超级耐药菌的出现,细菌耐药性对人类的危害越来越严重,感染性疾病死亡率也越来越高^[1]。耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)是

一种最常见的耐药病原菌,是临床上非常棘手的治疗难题。患者一旦感染 MRSA,因其对目前临床常用的抗生素多具有耐药性,仅万古霉素等少数有效,死亡率较高。然而,临床已出现耐万古霉素或敏感性下降

收稿日期: 2020-12-18

* 基金项目: 国家自然科学基金(81460533, 21662048, 81060262); 云南省科技厅-云南中医学院应用基础研究联合专项基金[2017FF116(-011)]

第一作者简介: 黎晓菊(1996-),女,在读硕士研究生,研究方向:天然药物化学。

△通信作者: 赵庆, E-mail: qingzhaokm2008@126.com; 张晓梅, E-mail: meimeizhang.net@163.com

的菌株^[2-3]。所以,从天然产物及其衍生物中挖掘对 MRSA 安全有效的新型抗感染药物,是人类面临的紧迫任务。近年来,从传统药用植物中寻找新的抗菌成分,并对其抗菌机制进行研究已经成为医学界的研究热点。

姜属(*Zingiber*)为姜科植物,我国有 14 种,多分布于西南部至东南部。姜属植物大多以根茎入药,具芳香或辛辣味^[4]。生姜(*Zingiber officinale* Roscoe)是姜科姜属植物,各地均产,至今已 3000 年的栽培历史,是传统的药食同源植物。生姜性温,味辛,归肺、脾、胃经,具有解表散寒、温中止呕、温肺止咳等功效^[5-7]。药理研究表明,生姜具有抗炎、抗菌、抗肿瘤、抗氧化、促进消化、改善血液循环、健胃止痛等功能^[8-10]。生姜的化学成分主要包括黄酮类、姜辣素类、二苯基庚烷类、挥发油等^[11-12]。已有研究表明,生姜提取物和精油具有较好的抗菌活性^[13-15]。生姜的乙醇提取物能通过抑制铜绿假单胞菌的生物膜形成而抑制其生长^[16]。生姜中的[10]-姜辣素和[12]-姜辣素对 3 种与口腔牙周炎有关的厌氧菌有较强的抗菌活性^[17]。此外,姜属植物阳荷的挥发油对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、白色念珠菌、粪肠球菌和铜绿假单胞菌均有较强的抑菌活性^[18]。姜属植物 *Zingiber neesianum* 对肠球菌、鲁西毛霉具有抑菌活性^[15]。

课题组前期研究发现,药材姜黄和紫色姜提取液经光照后,其化学成分可能在姜黄素的催化下发生了光化学反应,生成了新的产物,同时抗菌活性明显增强^[19]。这提示其它姜科植物的化学成分在姜黄素的催化下,有可能发生光化学反应,并得到抗菌活性增强的产物。为探究其它姜科植物是否也会在姜黄素的催化下发生光化学反应,本研究拟对生姜提取物进行光照前后的化合物检测及抗菌活性测试。前期通过薄层色谱分析生姜的化学成分,未检测到姜黄素,因此在本实验中创新性地加入姜黄素,并检测光照前后的生姜提取物成分及抗菌活性变化。

1 材料与方法

1.1 药材与药品 市售的云南罗平生姜经云南中医药大学马伟光教授鉴定。生姜洗净、切成薄片,晾干,粉碎后备用。姜黄素购买于阿拉丁试剂公司。

1.2 仪器与试剂 打粉机、研钵、超声波清洗器(上海科导超声仪器有限公司);FA2004 电子天平(上海

舜宇恒平科学仪器有限公司);OSB-2100 旋转蒸发仪(上海爱朗仪器有限公司);ES-315 高压蒸汽灭菌锅(TOMY 公司);恒温培养箱、电热恒温鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司);SW-CJ-2FD 洁净工作台(AIRTECH 公司);LED 灯(功率 100 W,口径 8.5 cm,波长 410~780 nm)。Agilent 1260 高效液相色谱仪(安捷伦科技有限公司);色谱柱(Agilent TC-C18 (250 mm×4.6 mm,5 μm));光二极管阵列检测器(DAD)。培养基配料等常用试剂、耗材均购自雅云生物科技有限公司。有机溶剂:丙酮、乙酸乙酯、石油醚等均为分析纯。

1.3 指示菌 革兰氏阳性菌:金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus* ATCC 29213),枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis* ATCC 6633),肺炎链球菌(*Streptococcus pneumoniae*),耻垢分枝杆菌(*Mycobacterium smegmatis*1037),粪肠球菌(*Enterococcus faecalis* ATCC-29212),耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA):1450,1505,2024,1957,1591,28299,I-20,I-67,28300。革兰氏阴性菌:大肠杆菌(*Escherichia coli* ATCC 25922),鲍曼不动杆菌(*Acinetobacter baumannii* ATCC 19606),克雷伯氏菌(*Klebsiella pneumoniae* ATCC 13883)。真菌:白色念珠球菌(*Candida albicans*),白色念珠球菌耐药菌(*Drug-resistant Candida albicans*):23[#]、63[#]、1730[#]、1725[#]、1732[#]。以上供试菌株均由课题组前期研究保存。

1.4 培养基 病原细菌培养基 LB:胰蛋白胨 10 g,酵母提取物 5 g,氯化钠 10 g,琼脂 15 g,水 1 L,pH 7.2~7.6。真菌培养基沙保氏培养基:蛋白胨 10 g,葡萄糖 40 g,琼脂 15 g,水 1 L,pH 6.0。

1.5 实验方法

1.5.1 样品处理 取姜黄素 2 份(各 1.5 mg)于 1 mL 试样瓶中,分别加入 300 μL 丙酮溶解(编号分别为 Cur1、Cur2),加盖密封。将 Cur2 精密称重并记录重量,用 LED 灯光照 4 h 后再次称重,用丙酮补重至原来的重量。Cur1 放置暗处贮存。

取生姜干燥粉末 30 g 置于棕色瓶中,加入 180 mL 丙酮置于暗处浸泡 12 h,超声 30 min,过滤,滤渣加 90 mL 丙酮超声 10 min,过滤,合并 2 次滤液,避光浓缩得浸膏。精密称取 3 份浸膏,每份 0.300 g,第 1 份浸膏用 60 mL 丙酮溶解,盛于 250 mL 锥形瓶,用

LED 灯光照 4 h, 浓缩, 编号为 ZO1。第 2 份浸膏中加入 15.0 mg 姜黄素, 加入 60 mL 丙酮溶解, 避光浓缩, 编号为 ZO2, 置于暗处保存。第 3 份浸膏中加入 15.0 mg 姜黄素, 加入 60 mL 丙酮溶解, 盛于 250 mL 锥形瓶, 用 LED 灯光照 4 h, 浓缩, 编号为 ZO3。

另取生姜干燥粉末 10 g 置于棕色瓶中, 加入 60 mL 丙酮置于暗处浸泡 12 h, 超声 30 min, 过滤, 滤渣加 30 mL 丙酮超声 10 min, 过滤, 合并 2 次滤液, 避光浓缩得浸膏。精密称取 2 份浸膏, 每份 0.150 g。在第 1 份浸膏中加入 7.5 mg 姜黄素, 加入 20 mL 丙酮溶解, 浓缩, 用甲醇溶解, 定容于 25 mL 棕色容量瓶中, 编号为 ZO2a, 置于暗处保存。第 2 份浸膏中加入 7.5 mg 姜黄素, 加入 20 mL 丙酮溶解, 盛于 150 mL 锥形瓶, 用 LED 灯光照 4 h, 浓缩, 用甲醇溶解, 定容于 25 mL 棕色容量瓶中, 编号为 ZO3a。

1.5.2 抗菌活性测试 病原菌接种至液体 LB 培养基, 37 ℃、200 r/min 黑暗培养 12 h; 白色念珠菌及其耐药菌接种至液体沙保氏培养基, 28 ℃、200 r/min 黑暗培养 24 h。用液体培养基将各菌液分别稀释至 $1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^7$ cfu/mL 备用。采用抗菌纸片扩散法^[20], 对 1.5.1 的 5 个样品 (Cur1、Cur2、ZO1、ZO2、ZO3) 进行抗菌活性测试。

将稀释后的指示菌菌液均匀涂布在固体培养基上, 称取 1.5.1 中的 ZO1、ZO2、ZO3 各 90 mg, 分别加入 900 μ L 丙酮溶解至质量浓度为 100 μ g/ μ L, 分别取 10 μ L 溶液于直径 5 mm 的圆形滤纸片上, 直至滤纸片将提取液完全吸收后贴于接种好指示菌的固体培养基上, 每份提取液平行做 3 组。以 10 μ L 丙酮做空白对照, 以抗生素做阳性对照 (革兰氏阳性菌以苄基青霉素为阳性对照, 革兰氏阴性菌以卡那霉素为阳性对照, 真菌以氟康唑为阳性对照; 每个滤纸片上的抗生素质量为 50 μ g)。真菌在 28 ℃ 下培养, 其余病原细菌于 37 ℃ 培养, 恒温培养 12 h 后测量抑菌圈直径。

分别取 1.5.1 中的 Cur1、Cur2 溶液 10 μ L 于直径 5 mm 的圆形滤纸片上, 直至滤纸片溶液完全吸收后贴于接种好指示菌的固体培养基上, 每份溶液平行做 3 组, 按照 2.2.1 的方法进行抗菌活性测试。

1.5.3 TLC 检测加入姜黄素的生姜提取液光照前后化学成分变化 将 1.5.1 中的样品 ZO2、ZO3 各取 2

mg, 溶于 0.5 mL 丙酮, 用毛细管分别吸取上述溶液各 5 μ L, 在硅胶 GF254 板上点样后, 以石油醚: 乙酸乙酯 (5:1) 展开, 分别以过氧化物显色剂^[21]及 10% 硫酸-乙醇显色, 拍照记录薄层色谱结果。

1.5.4 HPLC 检测加入姜黄素的生姜提取液光照前后化学成分变化 将 1.5.1 中的样品 ZO2a 与 ZO3a 用高效液相色谱分析。流动相乙腈 (A)-水 (B), 梯度洗脱 (0~30 min, 35%~70% A; 30~50 min, 70%~90% A; 50~60 min, 90% A)。体积流量 1 mL/min, 柱温 30 ℃, 进样量 5 μ L。

2 结果

2.1 抗菌活性测试结果 采用纸片扩散法, 对未经光照的姜黄素溶液 Cur1 和经过光照的姜黄素溶液 Cur2 进行抗菌活性测试, 采用 23 种病原菌菌株。测试结果表明: 无论是否经过光照, 姜黄素试样对所测试的 23 株病原菌均未显示抑菌活性, 结果见表 1。

采用纸片扩散法, 对未加入姜黄素、经过光照的生姜提取物 ZO1, 加入姜黄素未经光照的生姜提取物 ZO2, 加入姜黄素并经光照的生姜提取物 ZO3, 进行抗菌活性测试, 采用 23 种病原菌菌株。测试结果见表 1 和图 1。测试结果表明: (1) ZO1、ZO2、ZO3 对所测试的 23 种病原菌具有广谱抗菌活性。ZO1、ZO2 对多数菌株的抗菌活性较弱 (抑菌圈 < 10 mm), 仅对 MR-SA2024、耻垢分枝杆菌 1037 的活性较强 (抑菌圈 > 10 mm)。ZO3 对金黄色葡萄球菌、9 个 MRSA、耻垢分枝杆菌的抑制活性较强 (抑菌圈 > 10 mm), 对其它菌株的抑制活性较弱 (抑菌圈 < 10 mm)。 (2) ZO3 对 9 种耐甲氧西林金黄色葡萄球菌 (MRSA1450、1505、2024、1957、28299、28300、1591、I-20、I-67) 的抑制活性远高于 ZO1、ZO2。ZO3 对金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213) 的抑制活性也明显高于 ZO1、ZO2。 (3) ZO3 对耻垢分枝杆菌 (*Mycobacterium smegmatis* 1037) 的抑制活性远高于 ZO1、ZO2; ZO3 对枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis* ATCC 6633) 的抑制活性略高于 ZO1、ZO2; 对肺炎链球菌 (*Streptococcus pneumoniae*) 和粪肠球菌 (*Enterococcus faecalis* ATCC-29212) 的抑制活性与 ZO1、ZO2 相当。 (4) ZO1、ZO2、ZO3 对 3 种革兰氏阴性菌 (大肠杆菌、鲍曼不动杆菌、克雷伯氏菌) 有较弱的抑制活性。 (5) ZO1、ZO2 对 3 种白色念珠菌耐药菌无抑制活性, 对 2 种白色念珠菌

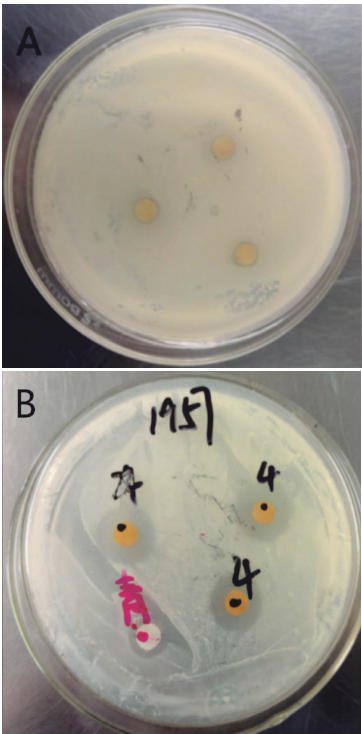
耐药菌仅有微弱的抑制活性；而 ZO3 对上述 5 种菌株的其中 4 种,抑制活性均明显高于 ZO1、ZO2。

综上,生姜提取液加入姜黄素并经光照后,不仅对 23 株病原菌都有抑菌活性,而且对多数病原菌的抑菌活性显著提高,特别是对 MRSA 的抑制活性都显著增强。与课题组前期研究中的姜黄、紫色姜相比^[19],加入姜黄素并经光照的生姜提取液抗菌活性比前二者更强(特别是对 MRSA),对革兰氏阳性菌的抗菌谱更广。

表 1 各个测试样品的抑菌圈直径

微生物菌株	抑菌圈直径/mm					
	阳性对照	ZO1	ZO2	ZO3	Cur1	Cur2
金黄色葡萄球菌	39.6	8.6	9.1	11.2	-	-
枯草芽孢杆菌	30.3	8.3	8.3	9.9	-	-
肺炎链球菌	10.4	8.6	8.6	8.5	-	-
粪肠球菌	13.3	7.2	8.1	8.6	-	-
MRSA 1450	40.1	9.3	9.3	15.4	-	-
MRSA 1505	18.9	8.5	9.8	18.6	-	-
MRSA 2024	30.7	16.0	19.8	27.3	-	-
MRSA 1957	9.7	7.1	7.3	13.3	-	-
MRSA 1591	40.4	9.6	7.9	15.1	-	-
MRSA 28299	12.0	7.8	7.2	10.6	-	-
MRSA I-20	14.2	7.0	9.0	17.6	-	-
MRSA I-67	39.5	9.3	9.3	15.2	-	-
MRSA 28300	27.5	7.2	-	12.8	-	-
耻垢分枝杆菌 1037	10.0	10.2	10.1	17.4	-	-
大肠杆菌	19.4	7.6	7.2	7.3	-	-
鲍曼不动杆菌	14.6	7.3	7.6	7.2	-	-
克雷伯氏菌	17.8	7.5	7.6	8.3	-	-
白色念珠球菌	10.4	7.0	9.1	8.8	-	-
23 [#]	11.0	-	-	8.4	-	-
63 [#]	8.2	7.3	-	9.3	-	-
1730 [#]	7.2	-	-	7.4	-	-
1725 [#]	20.5	7.0	-	8.7	-	-
1732 [#]	20.3	-	-	9.0	-	-

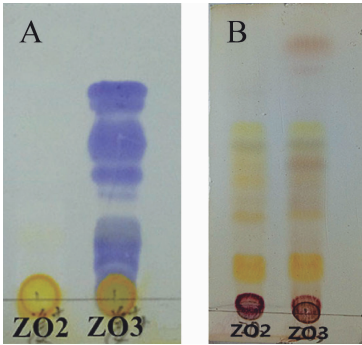
注:ZO1 是经过光照的生姜提取物,ZO2 是+姜黄素+未光照的生姜提取物,ZO3 是+姜黄素+光照的生姜提取物;Cur1 是未经光照的姜黄素溶液,Cur2 是经过光照的姜黄素溶液。表中抑菌圈直径为 3 次实验的平均值;“-”表示无抑菌圈。革兰氏阳性菌以苋基青霉素为阳性对照,革兰氏阴性菌以卡那霉素为阳性对照,真菌以氟康唑为阳性对照。



注:A.ZO1 对 MRSA-1957 的抑菌活性;B.ZO3 对 MRSA-1957 的抑菌活性。

图 1 ZO1、ZO3 对 MRSA-1957 抑菌圈对比

2.2 薄层色谱检测加入姜黄素的生姜提取物光照后的化学成分变化 通过薄层色谱法对加入姜黄素未经光照的提取物 ZO2 与加入姜黄素并经光照的提取物 ZO3 进行检测。结果表明,未经光照的 ZO2 检测不到过氧化物,而经过光照的 ZO3 可检测到多个过氧化物(图 2A)。此外,采用 10%硫酸-乙醇显色剂时,ZO2 与 ZO3 也有明显不同(图 2B)。由此可见,姜黄素在光照下催化生姜化学成分发生光化学反应,产生一系列氧化产物。

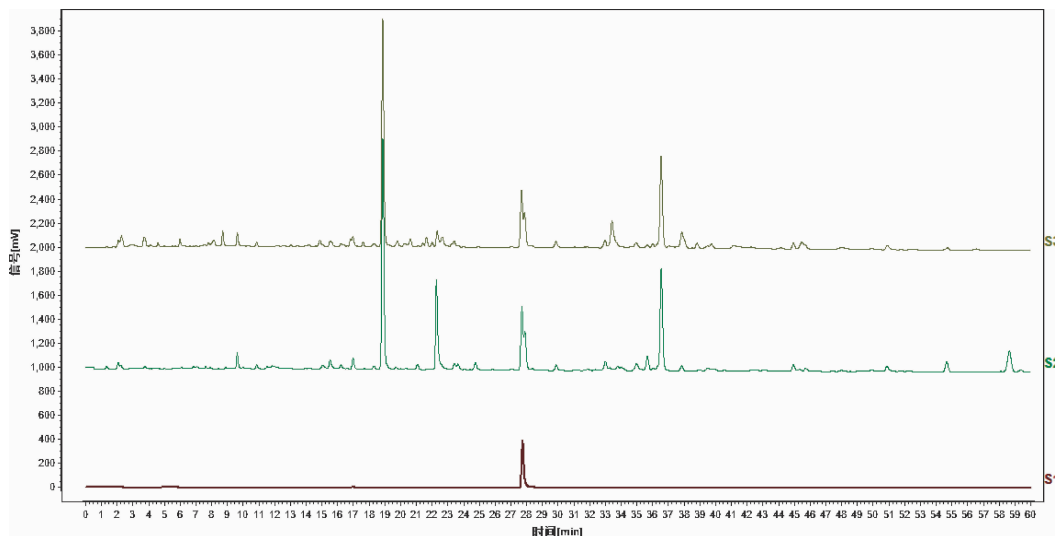


注:A.ZO2、ZO3 过氧化物显色剂显色;B.ZO2、ZO3 10%硫酸-乙醇显色。

图 2 加入姜黄素的生姜提取物光照前后的薄层色谱图

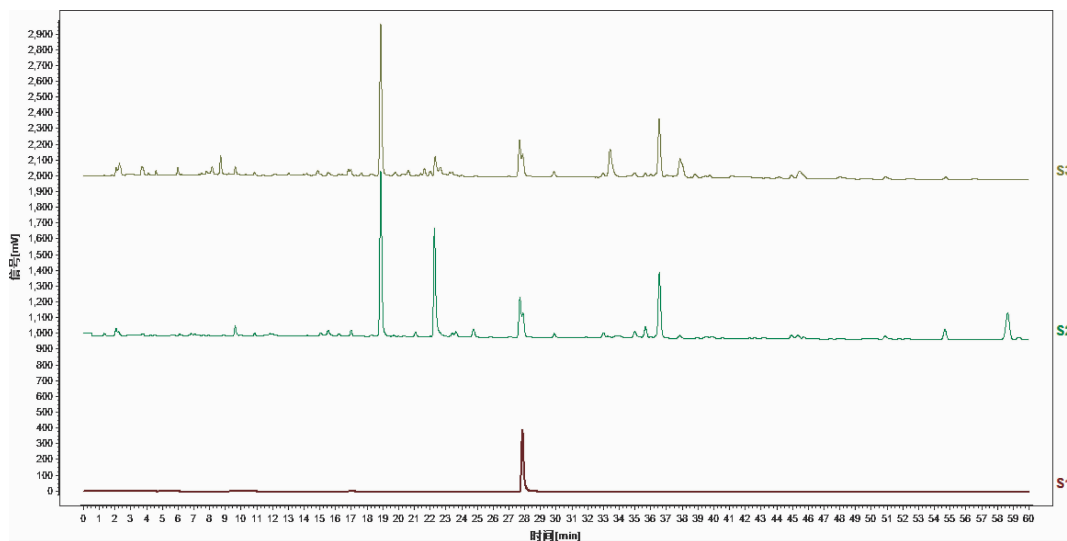
2.3 高效液相色谱法检测加入姜黄素的生姜提取物光照后的化学成分变化 用高效液相色谱法对加入姜黄素未经光照的生姜提取物 Z02a, 与加入姜黄素

并经光照的生姜提取物 Z03a 进行检测(在 205nm 与 254nm 的检测结果见图 3、图 4)。根据色谱图分析,在光照前后,化学成分发生了明显的变化,说明可能发



注:S1:姜黄素;S2:Z02a;S3:Z03a。

图 3 加入姜黄素的生姜提取物光照前后的高效液相色谱图(检测波长 205nm)



注:S1:姜黄素;S2:Z02a;S3:Z03a。

图 4 加入姜黄素的生姜提取物光照前后的高效液相色谱图(检测波长 254nm)

生了光化学反应。

3 讨论

姜黄素溶液无论是否经过光照,对 23 株病原菌株均未显示抗菌活性。因此在后续的实验中,抗菌活性的产生可归因于生姜中的化学成分及光照后的光化学反应产物,而不是姜黄素。Z01 组与 Z03 组虽然二者都经过光照,但前者未加入姜黄素,后者加入了

姜黄素。Z02 组与 Z03 组虽然二者都加入了姜黄素,但前者未经过光照,后者经过光照处理。Z03 组的大多数菌株的抗菌活性显著高于 Z01 和 Z02 组,由此可见:加入姜黄素和光照,对抗菌活性的改变起到了至关重要的作用,这 2 个因素缺一不可。加入姜黄素并经光照的 Z03 组,对多数革兰氏阳性菌的抗菌活性有显著提高,特别是对一系列耐甲氧西林金黄色葡萄

球菌(MRSA)以及耻垢分枝杆菌的抗菌活性的提高幅度很大;对3种革兰氏阴性菌的抑制活性影响较小;对多数白色念珠菌耐药菌的抑制活性有少许提高。

ZO2组与ZO3组的薄层色谱与高效液相色谱均有较为明显的差别,这表明姜黄素可催化生姜的一些化学成分发生光化学反应。

耐药菌的出现和蔓延是全球关注的重大问题,特别是耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA),已成为医院感染和社区感染的一种最常见病原菌,严重危害人们的身体健康。将姜黄素加入生姜提取液中,使其催化生姜化学成分发生光化学反应,这尚属课题组的首创。且生姜提取物经过光化学反应后,显示了较强的抗菌活性,特别是对耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)的抗菌活性有极大提高。下一步,我们将采用HPLC-MS初步判断光化学反应产生的化学成分的类型,再通过活性追踪寻找有价值的活性化合物。此研究工作将为抗MRSA的天然药物研究与开发提供新的途径。

参考文献:

- [1] 刘昌孝. 全球关注: 重视抗生素发展与耐药风险的对策[J]. 中国抗生素杂志, 2019, 44(1): 1-8.
- [2] CONG Y G, YANG S J, RAO X C. Vancomycin resistant *Staphylococcus aureus* infections: A review of case up-dating and clinical features[J]. J Adv Res, 2019, 21: 169-176.
- [3] 岳阳, 董玉莹, 于芝颖. 抗甲氧西林耐药金黄色葡萄球菌和耐万古霉素肠球菌药物的临床研究进展[J]. 中国新药杂志, 2010, 19(13): 1131-1136.
- [4] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 139.
- [5] 刘丹, 张程慧, 安容慧, 等. 生姜主要生物活性成分提取及应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(20): 391-395.
- [6] 张青, 李静, 刘佳, 等. 生姜挥发油研究进展[J]. 中国调味品, 2019, 44(1): 186-190.
- [7] 张文森, 崔娜, 野津, 等. 生姜多糖提取分离及含量测定研究进展[J]. 化学工程师, 2020, 34(8): 54-56.
- [8] 吴嘉澜, 王笑园, 王坤立, 等. 生姜营养价值及药理作用研究进展[J]. 食品工业, 2019, 40(2): 237-240.
- [9] 王小飞, 吴国泰, 牛亭惠, 等. 生姜的化学、药理及应用[J]. 中国果菜, 2016, 36(6): 23-26.
- [10] 叶刚飒, 余书洪, 杨卫芳, 等. 生姜的有效成分与药理作用研究进展[J]. 浙江树人大学学报(自然科学版), 2011, 11(3): 24-27.
- [11] 赵文竹, 张瑞雪, 于志鹏, 等. 生姜的化学成分及生物活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(11): 383-389.
- [12] 何文珊, 严玉霞, 郭宝江. 生姜的化学成分及生物活性研究概况[J]. 中药材, 2001, 24(5): 376-379.
- [13] 张晶琳, MARTHA K M G G, 班兆军, 等. 生姜精油抗菌性能及在食品中的应用研究进展[J]. 食品工业, 2020, 41(1): 273-276.
- [14] 陈燕, 周希贵, 李淑燕, 等. 生姜油树脂的抗菌性研究[J]. 食品与发酵工业, 2001, 27(4): 30-34.
- [15] ASWATI NAIR R, GANAPATHY G, HARSHITHA K. Polyphenolic characteristics, antimicrobial and antioxidant activity of *Zingiber neesatum* (Graham) Ramamoorthy rhizomes and identification of volatile metabolites by GC-MS analysis[J]. Nat Prod Res, 2019, 2019: 1-5.
- [16] CHAKOTIYA A S, TANWAR A, NARULA A, et al. *Zingiber officinale*: Its antibacterial activity on *Pseudomonas aeruginosa* and mode of action evaluated by flow cytometry[J]. Microb Pathog, 2017, 107: 254-260.
- [17] PARK M, BAE J, LEE D S. Antibacterial activity of [10]-gingerol and [12]-gingerol isolated from ginger rhizome against periodontal bacteria[J]. Phytother Res, 2008, 22(11): 1446-1449.
- [18] TIAN M Y, LIU T T, WU X G, et al. Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and anticancer activities of the essential oil from the rhizomes of *Zingiber striolatum* Diels[J]. Nat Prod Res, 2020, 34(18): 2621-2625.
- [19] 黎晓菊, 虞呈杰, 周明曦, 等. 姜黄与紫色姜提取物光照处理后的抗菌活性研究[J]. 云南中医学院学报, 2020, 43(5): 6-10.
- [20] 钟楚楚, 赵晋彤, 范宇, 等. 超声提取夏枯草总黄酮及抗菌活性研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2019, 35(6): 651-653.
- [21] RUECKER G, NEUGEBAUER M, KIEFER A. TLC analysis of plant peroxides with modifications of the Huber and Frohke reagent[J]. Pharmazie, 1995, 50(9): 601-603.