

羟基酪醇抑菌活性及抑菌稳定性研究

罗思源, 杨秋瑜, 李敏, 谭程月, 蒋雪莲, 贾利平, 杜彦霖, 丁春邦*

四川农业大学生命科学学院, 雅安, 625014

摘要:本研究探究了羟基酪醇对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、铜绿假单胞杆菌和枯草芽孢杆菌等四种供试菌的抑菌活性及抑菌稳定性。采用试管半倍稀释法确定 MIC 和 MBC, 并探讨羟基酪醇对供试菌的生长和细胞膜完整性的影响以及在不同介质下的抑菌稳定性。结果表明, 羟基酪醇对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、铜绿假单胞杆菌和枯草芽孢杆菌的 MIC 分别为 0.625, 0.625, 1.250, 2.500 mg/mL, MBC 分别为 1.250, 1.250, 2.500, 5.000 mg/mL。与对照组相比, 四种供试菌核酸和可溶性蛋白泄漏显著, 细胞膜的完整性被破坏。在不同 NaCl 浓度下, 羟基酪醇对枯草芽孢杆菌的抑菌活性稳定; 在 1.0% 和 2.0% NaCl 浓度下, 羟基酪醇对大肠杆菌和铜绿假单胞杆菌的抑菌活性稳定; 在 2.0% NaCl 介质下低浓度的羟基酪醇对金黄色葡萄球菌的抑菌活性稳定, 在 0.5%, 1.5% 和 2.0% NaCl 介质下高浓度的羟基酪醇对金黄色葡萄球菌的抑菌活性稳定。在蔗糖介质中, 羟基酪醇对四种供试菌的抑菌活性均不稳定。因此, 羟基酪醇可以作为一种新型的防腐剂。

关键词:羟基酪醇; 抑菌活性; 抑菌稳定性

中图分类号: R914; Q949.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2019)5-0843-08

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2019.5.017

Antibacterial activity and stability of hydroxytyrosol

LUO Si-yuan, YANG Qiu-yu, LI Min, TAN Cheng-yue,
JIANG Xue-lian, JIA Li-ping, DU Yan-lin, DING Chun-bang*

College of Life Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China

Abstract: This study was to investigate the antibacterial activity and stability of hydroxytyrosol on *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis*. MIC and MBC of hydroxytyrosol on four bacteria were determined by the method of tube dilution. Besides, the effects of hydroxytyrosol on the growth and membrane integrity of four bacteria were estimated. In addition, the antimicrobial stability of hydroxytyrosol was evaluated under NaCl and sucrose media. The results showed that hydroxytyrosol demonstrated a great antibacterial activity. The MIC for *E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa* and *B. subtilis* was 0.625, 0.625, 1.250 and 2.500 mg/mL, respectively. The MBC was 1.250, 1.250, 2.500 and 5.000 mg/mL, respectively. Compared with blank control, nucleic acid and soluble protein of four bacteria had leaked significantly when the culture medium was added with hydroxytyrosol. So the bacteriostasis mechanism of hydroxytyrosol might be through destroying the cell membrane integrity. Under different concentrations of NaCl, the antibacterial activity of hydroxytyrosol on *B. subtilis* was still stable. Under 1.0% and 2.0% NaCl medium, antibacterial activities of hydroxytyrosol on *E. coli* and *P. aeruginosa* were stable. Under 2.0% NaCl medium, the antibacterial activity was stable with lower concentration of hydroxytyrosol on *S. aureus*. While under 0.5, 1.5 and 2.0% NaCl medium the antibacterial activity was stable with high concentration of hydroxytyrosol. Under sucrose medium, antibacterial activities on the four bacteria were unstable. Therefore, hydroxytyrosol can be used as a novel preservative.

Key words: hydroxytyrosol; antibacterial activity; antibacterial stability

羟基酪醇(hydroxytyrosol), 化学名为 3,4-二羟

基苯乙醇, 化学式为 $C_8H_{10}O_3$, 属于酚类化合物, 广泛存在于橄榄科橄榄属植物的枝叶和果实中。在油橄榄叶和橄榄油中, 少量的羟基酪醇以游离形式存在, 而大部分与葡萄糖和橄榄酸相结合而形成橄榄

苦苷。在酸性或者碱性环境下,橄榄苦苷易降解产生羟基酪醇^[1]。羟基酪醇具有多种生物活性,Wani等^[2]发现羟基酪醇可以显著地清除体外自由基,并且能够保护细胞,具有预防心脑血管疾病的作用^[3,4]。羟基酪醇结合形成的橄榄苦苷被证实具有一定的抑菌活性,吴遵秋等人发现橄榄苦苷对大肠杆菌的最小抑菌浓度为0.025 mg/mL^[5]。也有研究指出多酚类化合物也表现出较强的抑菌活性,从香菜、茶树花和女贞等植物中提取出的多酚类化合物均表现出显著的抑菌作用^[6-8]。刘静等人发现紫甘蓝多酚对醋酸菌的抑菌作用较强,而对大肠杆菌的抑制作用较弱^[9]。但关于羟基酪醇抑菌的报道较少。

因此,本研究采用试管半倍稀释法来测定羟基酪醇对大肠杆菌(*Escherichia coli*)、铜绿假单胞菌(*Pseudomonas aeruginosa*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)和枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)共四种供试菌的最小抑菌浓度和最小杀菌浓度,探究了羟基酪醇对四种供试菌生长情况和细胞膜完整性的影响,并探讨了其在盐和蔗糖两种介质中抑菌活性的稳定性。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

羟基酪醇购于陕西米尔康生物科技有限公司,纯度为70%。

大肠杆菌(*Escherichia coli*)、铜绿假单胞菌(*Pseudomonas aeruginosa*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)和枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)为四川农业大学植物学实验室保存。

牛血清白蛋白和考马斯亮蓝G-250(北京博奥拓达科技有限公司);蛋白胨和酵母提取物(英国OXOID公司);琼脂粉、磷酸氢二钾和磷酸二氢钠等(成都市科龙化工试剂厂),所有试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

BT-124S型电子天平(德国Sartorius公司),RM-220实验室超纯水机(四川沃特尔科技发展有限公司),YYQ-SG41-280高压蒸汽灭菌锅(上海华线医用核子仪器有限公司),SW-CJ-2FD超净工作台(上海齐欣科学仪器有限公司),Spectra Max M2酶标仪(美国Molecular Devices公司),DNP-9082电热恒温培养箱(上海三发科学仪器有限公司),THZ-

100恒温培养床(上海一恒科学仪器有限公司),高速冷冻离心机(美国赛默飞世尔科技公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 最小抑菌浓度(MIC)和最小杀菌浓度(MBC)测定

采用试管半倍稀释法^[10]测定羟基酪醇的MIC。羟基酪醇溶解于LB液体培养基,配制为10 mg/mL的母液。根据试管半倍稀释法稀释成相应浓度,向每管中加入50 μL菌浓度为10⁶ CFU/mL的菌悬液,另取两个试管分别作为阴性对照和空白对照。放于37 °C恒温摇床上,震荡(180 rpm)24 h,对比阴性对照和空白对照管,观察浑浊程度,第一个不出现浑浊现象的试管所对应的浓度即为最小抑菌浓度(MIC)。从所有不浑浊的试管中吸取100 μL液体均匀涂布于LB固体培养基上,37 °C培养箱中继续培养24 h,菌落数小于5个的平板所对应的浓度即为最小杀菌浓度(MBC)。

1.3.2 生长曲线测定

根据Liu等^[11]的方法测定四种供试菌的生长曲线。将四种供试菌调整浓度为2.5 × 10⁶ CFU/mL,分别取1.6 mL菌液于试管中,加入用LB液体溶解的羟基酪醇,使其终浓度为0、0.5、1倍MIC。置于37 °C恒温摇床中,200 rpm震荡培养,每间隔1 h吸取菌液于600 nm处测定吸光值,连续测定12 h。以吸光值为纵坐标,时间为横坐标,绘制四种供试菌的生长曲线。

1.3.3 细胞膜完整性检测

1.3.3.1 核酸泄漏测定

根据Lv等^[12]方法测定核酸泄露情况。四种供试菌用0.1 M PBS(pH=7.4)清洗2遍后调整浓度为2 × 10⁸ CFU/mL,取菌液0.5 mL于试管中,加入用PBS(pH=7.4)溶解的羟基酪醇,使其终浓度为0、0.5、1 MIC。放于37 °C恒温摇床上,250 rpm震荡4 h,12 000 rpm离心5 min,取上清液在260 nm处测定吸光值。

1.3.3.2 可溶性蛋白泄漏测定

标准曲线制作:配置牛血清蛋白标准溶液,按照Liu等^[13]方法配置考马斯亮蓝G-250显色液,取无菌试管,加入0.1 mL标准蛋白溶液和0.5 mL显色液,震荡混匀后加入1 mL蒸馏水,混匀,静置2 min,595 nm处测定吸光值,以蛋白质含量为横坐标,吸

光值为纵坐标绘制标准曲线。

样品可溶性蛋白测定^[14]:取离心后的上清液0.1 mL,加入0.5 mL显色液,震荡混匀后加入1 mL蒸馏水,混匀,静置2 min,595 nm处测定吸光值,根据标准曲线计算可溶性蛋白含量。

1.3.4 抑菌稳定性测定

1.3.4.1 盐浓度对抑菌稳定性的影响

羟基酪醇用LB液体培养基溶解,并加入不同浓度的NaCl,取1.6 mL样液和1.6 mL菌液,使菌终浓度为 1×10^6 CFU/mL,羟基酪醇的终浓度为0.5 MIC 和 1 MIC, NaCl的终浓度为0.5%、1.0%、1.5% 和 2.0%,放于恒温摇床(37 °C)中200 rpm 震荡12 h,每隔1 h 在无菌环境中吸取样液在600 nm处测定吸光值,以吸光值为纵坐标,时间为横坐标绘制曲线图。

1.3.4.2 蔗糖浓度对抑菌稳定性的影响

用LB液体培养基溶解羟基酪醇,并加入不同浓度的蔗糖($C_{12}H_{22}O_{11}$),取1.6 mL样液和1.6 mL菌液,使菌终浓度为 1×10^6 CFU/mL,羟基酪醇的终浓度为0.5 MIC 和 1 MIC, $C_{12}H_{22}O_{11}$ 的终浓度为0.05%、0.10%、0.15% 和 0.20%,放于恒温摇床(37 °C)中200 rpm 震荡12 h,每隔1 h 在无菌环境中吸取样液在600 nm处测定吸光值,以吸光值为纵

坐标,时间为横坐标绘制曲线图。

1.4 数据处理

采用GraphPad prism 6.0对数据进行统计分析并制图,所有实验均重复三次,结果以平均值±标准误差(Mean ± SD)表示。

2 结果与分析

2.1 最小抑菌浓度(MIC)和最小杀菌浓度(MBC)

从表1中可以看出,羟基酪醇对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制效果最好, MIC 均为 0.625 mg/mL, MBC 均为 1.250 mg/mL; 对铜绿假单胞杆菌的抑制效果次之, MIC 为 1.250 mg/mL, MBC 为 2.500 mg/mL; 而对枯草芽孢杆菌的抑制效果相对较弱, MIC 为 2.500 mg/mL, MBC 为 5.000 mg/mL。

羟基酪醇属于多酚类化合物,多酚化合物具有较强的抑菌活性。李应洪等^[15]发现樟树叶多酚对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的MIC相同,为1.250 mg/mL,王明华等^[16,17]也发现玉米须多酚对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌有一定的抑制作用,申凯等^[18]发现菱茎多酚对大肠杆菌的MIC为6.250 mg/mL。相比之下,本研究中羟基酪醇对四种供试菌的MIC 小于其他的研究结果。因此本研究结果表明,羟基酪醇的抑菌活性强于总多酚的抑菌活性。

表1 羟基酪醇对四种供试菌的MIC和MBC测定结果

Table 1 The MIC and MBC results of hydroxytyrosol on four test-supplied strains

质量浓度 Mass concentration (mg/mL)	最小抑菌浓度、最小杀菌浓度 Minimum inhibitory concentration (MIC)、minimum bactericidal concentration (MBC)			
	大肠杆菌 <i>E. coli</i>	金黄色葡萄球菌 <i>S. aureus</i>	铜绿假单胞杆菌 <i>P. aeruginosa</i>	枯草芽孢杆菌 <i>B. subtilis</i>
0.156	+	+	+	+
0.313	+	+	+	+
0.625	-(MIC)	-(MIC)	+	+
1.250	-(MBC)	-(MBC)	-(MIC)	+
2.500	-	-	-(MBC)	-(MIC)
5.000	-	-	-	-(MBC)

注:“+”表示长菌,“-”表示无菌生长。

Note: “+” means bacteria grows, “-” means no bacteria grows.

2.2 羟基酪醇对细菌生长曲线的影响

从图1中可以看出羟基酪醇对四种供试菌的生长均有一定的抑制效果,且随着浓度的增大抑制效果越明显。在12 h内,大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞杆菌快速繁殖,成对数生长。加入1

MIC 的羟基酪醇很明显抑制了细菌的生长,而低浓度的羟基酪醇对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的生长无显著抑制作用,对铜绿假单胞杆菌的生长有一定的抑制作用。枯草芽孢杆菌在7小时后开始成对数生长,而0.5 MIC 和 1 MIC 的羟基酪醇均在对数期

抑制该菌的生长。结果表明羟基酪醇抑制细菌生长

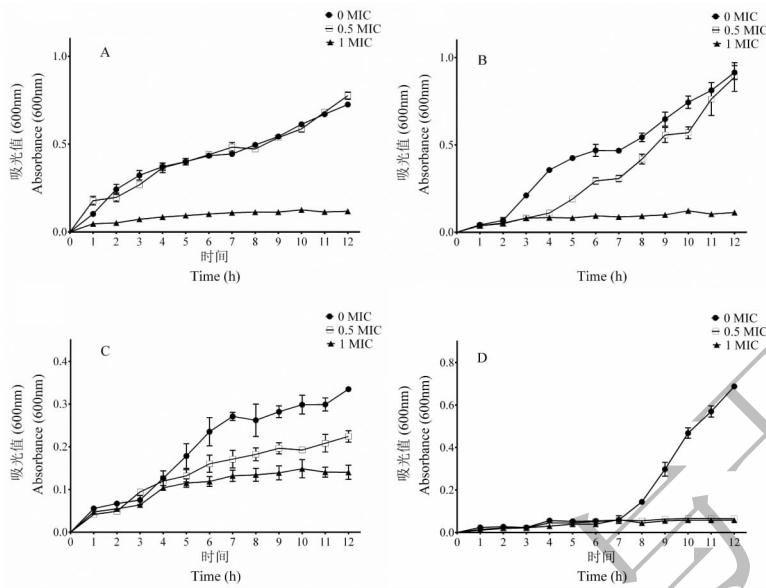


图 1 羟基酪醇对四种菌生长状况的影响

Fig. 1 The effect of hydroxytyrosol on the four test-supplied strains' growth

注:(A)大肠杆菌;(B)金黄色葡萄球菌;(C)铜绿假单胞杆菌;(D)枯草芽孢杆菌

Note: (A) *E. coli*; (B) *S. aureus*; (C) *P. aeruginosa*; (D) *B. subtilis*

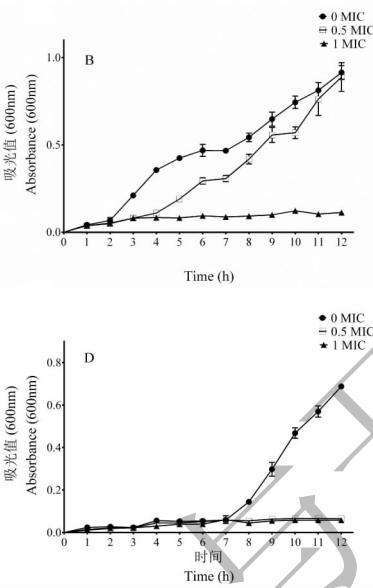
2.3 羟基酪醇对细菌细胞膜完整性的影响

细胞膜作为防止胞外物质进入细胞的一个重要屏障,保障了细胞内相对稳定的状态,且能选择和调节物质进出细胞,维持整个细胞内各个生理反应的正常进行。当细胞膜的通透性发生改变时,细胞内的一些对细胞生存必不可少的内容物如核酸、蛋白质等发生泄露,细胞的生存能力逐渐减弱,进而导致细胞的死亡^[14]。

从图 2 中可以看到,与对照组相比,低浓度的羟基酪醇对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞杆菌的核酸泄露无显著影响($P > 0.05$),而高浓度却显著提高这三种菌核酸泄漏量($P < 0.001$)。由图 1 也可以看出低浓度的羟基酪醇对这三种菌的生长抑制并不明显,而高浓度却显著抑制菌的生长。在低浓度下,羟基酪醇就能够显著提高枯草芽孢杆菌的核酸泄露量($P < 0.05$),这与图 1 中低浓度的羟基酪醇就能显著抑制枯草芽孢杆菌的生长相符合。

从图 3 可以看出高浓度的羟基酪醇明显的促进四种供试菌可溶性蛋白的泄漏,在低浓度下仅枯草芽孢杆菌的可溶性蛋白泄漏与对照组有显著差异($P < 0.05$)。从图 2 可以看出,低浓度的羟基酪醇仅显著导致枯草芽孢杆菌体内核酸的泄露,因此,图 3 的结果与图 2 的结果相符合。菌体内可溶性蛋白

主要是在对数生长期起抑制作用。



和核酸的大量泄露往往是由于细胞屏障—细胞膜受损而导致的。黄诗琪等^[19]发现经客家黄酒多酚处理后,大肠杆菌和金黄色葡萄球菌细胞膜完整性被破坏,体内蛋白质泄露显著。钱丽红等^[20]也发现茶多酚会破坏金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞菌的细胞膜完整性,导致胞内内容物大量泄露。从图 2 和图 3 可以看出经羟基酪醇处理后,细菌体内的核酸和可溶性蛋白质大量外泄,表明羟基酪醇主要是通过破坏细菌细胞膜的完整性来抑制细菌生长。

2.4 盐浓度对抑菌稳定性的影响

在食品添加剂中常常加入一定浓度的盐,高浓度的盐引起高渗透压,抑制细菌的生长。大肠杆菌在 0~3.0% 的 NaCl 浓度中可以正常生长,在 0~5.0% NaCl 浓度下枯草芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌能够正常生长,对于大多数微生物而言,0~2.0% NaCl 浓度是其最适宜生长的环境^[21]。因此,本实验探究在 0.5%~2.0% 的 NaCl 浓度下,羟基酪醇对四种供试菌的抑制作用是否有影响。

从图 4 可以看出,在含有 1.0% NaCl 的培养基中,低、高浓度的羟基酪醇对大肠杆菌的抑菌活性稳定(图 4 A、图 4 B);低浓度的羟基酪醇在 2.0% NaCl 浓度下对金黄色葡萄球菌的抑菌活性稳定(图 4 C),但在 1.0% NaCl 介质中,经高浓度羟基酪醇

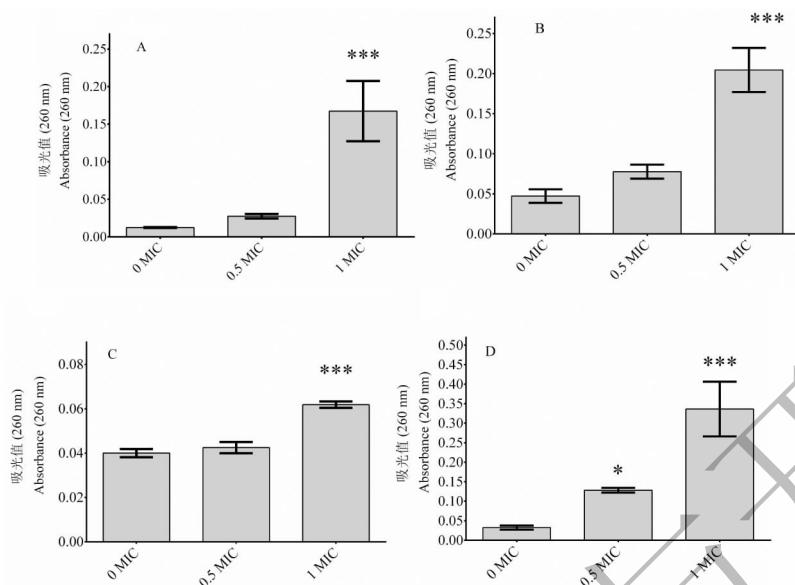


图 2 四种供试菌核酸泄露情况

Fig. 2 The effect of hydroxytyrosol on the four test-supplied strains' growth

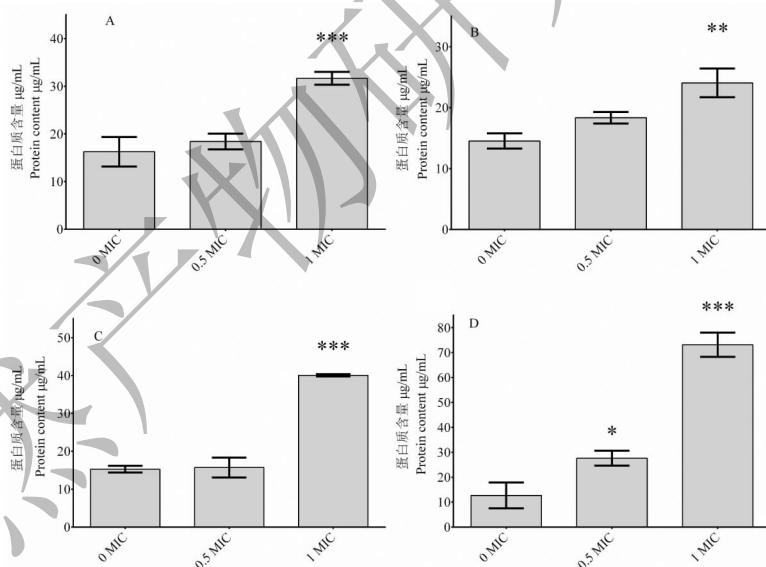
注:(A)大肠杆菌;(B)金黄色葡萄球菌;(C)铜绿假单胞杆菌;(D)枯草芽孢杆菌;* 表示 $P < 0.05$;*** 表示 $P < 0.001$ 。Note: (A) *E. coli*; (B) *S. aureus*; (C) *P. aeruginosa*; (D) *B. subtilis*. “*” means $P < 0.05$; “***” means $P < 0.001$.

图 3 四种供试菌可溶性蛋白泄露情况

Fig. 3 The soluble protein leakage of the four test-supplied strains' growth

注:(A)大肠杆菌;(B)金黄色葡萄球菌;(C)铜绿假单胞杆菌;(D)枯草芽孢杆菌;* 表示 $P < 0.05$;*** 表示 $P < 0.001$ 。Note: (A) *E. coli*; (B) *S. aureus*; (C) *P. aeruginosa*; (D) *B. subtilis*. “*” means $P < 0.05$; “***” means $P < 0.001$.

处理后,细菌的生长和对照组无差异(图 4 D),因此抑菌稳定性被破坏。由图 4 E、图 4 F 可以看出,在 2.0% NaCl 介质下,经低浓度和高浓度的羟基酪醇处理后,细菌的生长与对照相比更弱,因此在此盐浓

度下,低、高浓度的羟基酪醇对铜绿假单胞杆菌的抑菌活性稳定;而在不同浓度的 NaCl 下,低、高浓度的羟基酪醇对枯草芽孢杆菌的抑菌活性均未受到改变,仍对枯草芽孢杆菌的生长有显著抑制作用。因

此在 NaCl 介质中, 羟基酪醇对枯草芽孢杆菌的抑菌

活性均稳定。

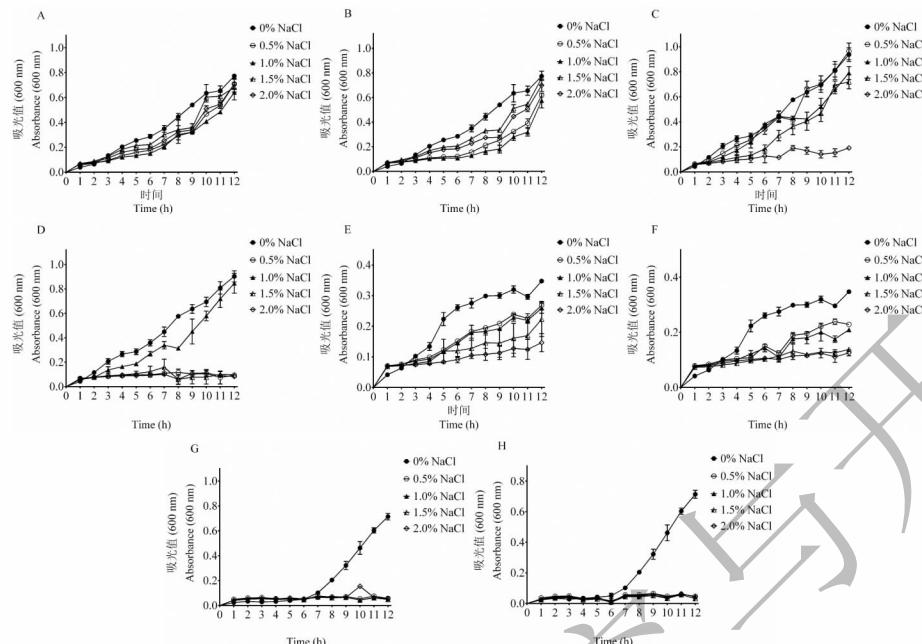


图 4 不同 NaCl 浓度下四种供试菌的生长情况

Fig. 4 The effect of different concentration NaCl on the four test-supplied strains' growth.

注:大肠杆菌(A)0.5 MIC;(B)1 MIC;金黄色葡萄球菌(C)0.5 MIC;(D)1 MIC;铜绿假单胞杆菌(E)0.5 MIC;(F)1 MIC;枯草芽孢杆菌(G)0.5 MIC;(H)1 MIC。

Note: *E. coli* (A) 0.5 MIC; (B) 1 MIC; *S. aureus* (C) 0.5 MIC; (D) 1 MIC; *P. aeruginosa* (E) 0.5 MIC; (F) 1 MIC; *B. subtilis* (G) 0.5 MIC; (H) 1 MIC.

2.5 蔗糖浓度对抑菌稳定性的影响

在食品中常常加入一定浓度的糖来调节风味, 在一定程度上, 这类糖成了细菌生长的碳源。在食品中常常加入一些抑菌物质来实现防腐效果, 而抑菌物质的抑菌效果又受到介质如 pH、盐和糖等的影响^[22], 因此为了探究蔗糖介质对羟基酪醇抑菌稳定性影响, 本实验将羟基酪醇处于不同浓度的蔗糖介质下, 通过供试菌的生长曲线来探究其抑菌稳定性。

从图 5 可以看出在低、高浓度羟基酪醇下, 加入不同浓度的 $C_{12}H_{22}O_{11}$, 实验组中细菌的生长均超过对照组, 所以羟基酪醇对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞杆菌的抑菌活性遭到破坏。加入不同浓度的 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 会减弱羟基酪醇对枯草芽孢杆菌的抑制效果。加入低浓度的 $C_{12}H_{22}O_{11}$, 高浓度的羟基酪醇仍然对枯草芽孢杆菌有明显的抑制作用; 但加入高浓度的 $C_{12}H_{22}O_{11}$ (0.20%) 会破坏羟基酪醇对枯草芽孢杆菌的抑菌效果。

高浓度的糖会抑制细菌生长, 而本实验中, 采用的蔗糖浓度为 0.05% ~ 0.20% 之间, 相对而言属于低浓度, 不会对细菌的生长有抑制作用。在此浓度下实验

结果表明羟基酪醇的抑菌稳定性被破坏, 可能是由于羟基酪醇破坏了细胞膜的结构, 而及时补充碳源, 让细菌快速合成所被破坏掉的成分, 这样就破坏了羟基酪醇的抑菌能力。因此羟基酪醇不适合用于作为低糖浓度下的防腐剂。相关原因需要进一步研究探讨。

3 结论

大多数多酚类化合物具有抑菌活性, 茶多酚^[20]、黄酒多酚^[19]、玉米须多酚^[17]等。在抑菌活性研究中, 多以多酚提取物为主要研究对象进行研究, 而少有文献对组成多酚的单体进行单独抑菌活性研究。李应洪等^[15]发现樟树叶多酚对大肠杆菌的 MIC 为 1.250 mg/mL, 而本研究中羟基酪醇对大肠杆菌的 MIC 为 0.625 mg/mL; 申凯等^[18]发现菱茎多酚对金黄色葡萄球菌的 MIC 为 6.250 mg/mL, 而羟基酪醇对金黄色葡萄球菌的 MIC 为 0.625 mg/mL; 张添菊等人^[23]发现蓝莓叶多酚对枯草芽孢杆菌的 MIC 为 9.300 mg/mL, 而羟基酪醇对枯草芽孢杆菌的 MIC 为 2.500 mg/mL。因此可以得出羟基酪醇的抑菌活性比多酚提取物的抑菌活性较强, 可以作为一种新型的防腐剂。

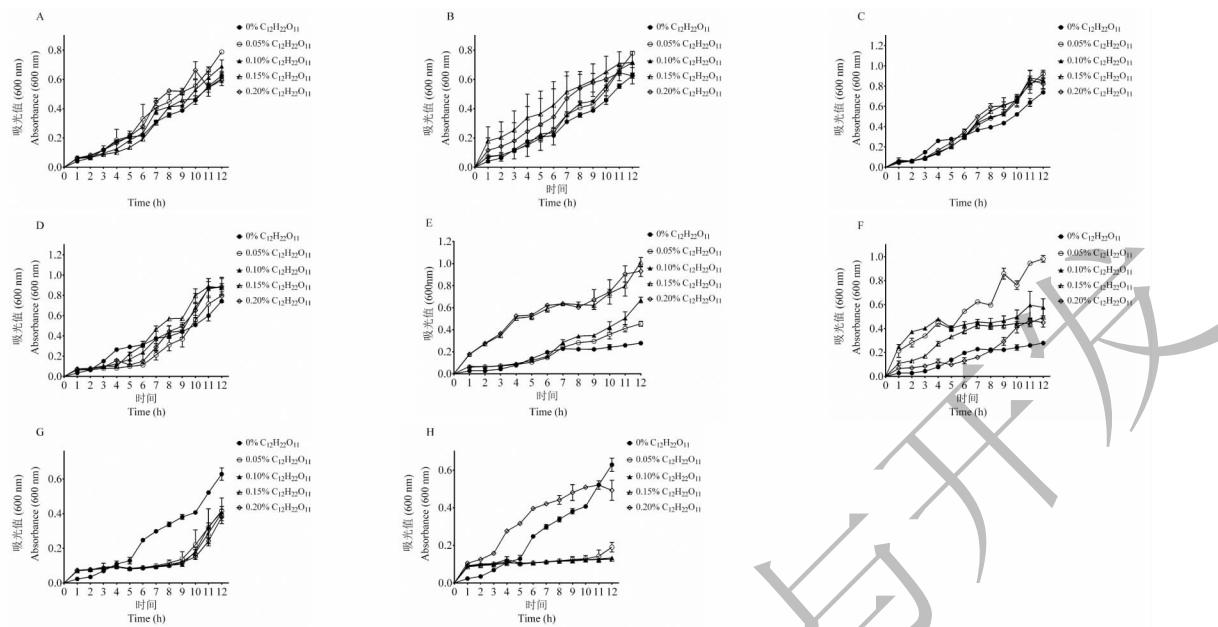


图 5 不同 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 浓度下四种供试菌的生长情况

Fig. 5 The effect of different concentration $C_{12}H_{22}O_{11}$ on the four test-supplied strains' growth

注:大肠杆菌(A)0.5 MIC;(B)1 MIC;金黄色葡萄球菌(C)0.5 MIC;(D)1 MIC;

铜绿假单胞杆菌(E)0.5 MIC;(F)1 MIC;枯草芽孢杆菌(G)0.5 MIC;(H)1 MIC。

Note: *E. coli* (A) 0.5 MIC; (B) 1 MIC; *S. aureus* (C) 0.5 MIC; (D) 1 MIC; *P. aeruginosa* (E) 0.5 MIC; (F) 1 MIC; *B. subtilis* (G) 0.5 MIC; (H) 1 MIC.

本实验结果表明,羟基酪醇具有较强的抑菌效果,对四种供试菌大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、铜绿假单胞杆菌和枯草芽孢杆菌的 MIC 分别为 0.625、0.625、1.250、2.500 mg/mL, MBC 分别为 1.250、1.250、2.500、5.000 mg/mL。羟基酪醇主要在细菌对数生长期抑制其生长。经羟基酪醇处理后,菌体泄漏大量核酸和可溶性蛋白,初步推测羟基酪醇抑菌的机理可能是破坏细菌细胞膜的整体性。羟基酪醇在 1.0% NaCl 介质中抑制大肠杆菌的抑菌活性稳定;低浓度的羟基酪醇在 2.0% NaCl 下对金黄色葡萄球菌的抑菌活性稳定,高浓度的羟基酪醇在 0.5%、1.5% 和 2.0% NaCl 下抑菌活性稳定;2.0% NaCl 浓度下,羟基酪醇对铜绿假单胞杆菌抑菌活性稳定;在不同盐浓度下羟基酪醇对枯草芽孢杆菌的抑菌活性均稳定。而在不同糖溶液中,羟基酪醇对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞杆菌的抑制效果被破坏,对枯草芽孢杆菌的抑制效果减弱,因此羟基酪醇在糖介质中抑菌活性不稳定。

参考文献

1 Zhao YX, Bu WW, Liu CJ, et al. Study on extraction pro-

cessing optimization of hydrotyrosol from olive leaves and their antioxidant activities [J]. Food Ind(食品工业), 2017, 38(4):8-13.

- 2 Wani TA, Masoodi FA, Gani A, et al. Olive oil and its principal bioactive compound: Hydroxytyrosol-A review of the recent literature [J]. Trends Food Sci Tech, 2018, 56: 184-188.
- 3 Fortes C, Garcíavilas JA, Quesada AR, et al. Evaluation of the anti-angiogenic potential of hydroxytyrosol and tyrosol, two bio-active phenolic compounds of extra virgin olive oil, in endothelial cell cultures [J]. Food Chem, 2012, 134: 134-140.
- 4 Dellagli M, Maschi O, Galli GV, et al. Inhibition of platelet aggregation by olive oil phenols via cAMP-phosphodiesterase [J]. Brit J Nutr, 2008, 99: 945-951.
- 5 Wu ZQ, Jiang YJ, Su GC, et al. Antioxidant and antimicrobial activities of oleuropein *in vitro* [J]. Food Sci(食品科学), 2014, 35(21):94-99.
- 6 Niu ZH, Gao Y, Zhou LL, et al. The Antibacterial activity of 3 kinds of tea polyphenols extracts and effect on pathogenic cell membrane permeability [J/OL]. Sci Tech Food Ind(食品工业科技), 2018. (下转第 894 页)