

茫荡山自然保护区六种特色中蜂蜜的抑菌活性研究

陈卓^{1#} 李国柱^{1#} 陈法源¹ 雷嘉斌¹ 秦屿杨¹ Ritu Raj Poudyal² 王联德² 王荣玉³ 黄少康^{1, 4}

(1 福建农林大学蜂学与生物医药学院, 福州 350002; 2 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002; 3 南平市蜂业协会, 延平区 353000; 4 农业农村部(福建)蜜蜂生物学观测站, 福州 350002)

摘要: 以福建南平茫荡山国家级自然保护区的栲蜜、山乌柏蜜、华南桂蜜、食茱萸蜜、树参蜜和盐肤木蜜共六种特色中蜂蜜为研究对象, 以微量肉汤法测定了六种蜜对大肠杆菌、金黄葡萄球菌、摩氏摩根菌、粘质沙雷氏菌的抑菌活性。结果表明: 糖或蜜浓度高于40%时, 对四株细菌均有很强的抑制作用。华南桂蜜、树参蜜对摩氏摩根菌, 食茱萸蜜对金黄葡萄球菌的MIC为15%。30%栲蜜、华南桂蜜、树参蜜对大肠杆菌、摩氏摩根菌、粘质沙雷氏菌均有杀菌作用(MBC \geq 30%, CFU=0), 华南桂蜜和树参蜜对金黄葡萄球菌也有杀菌作用(MBC \geq 30%, CFU=1); 盐肤木蜜对大肠杆菌、金黄葡萄球菌、摩氏摩根菌的MBC \geq 30%(CFU \leq 4)。浓度20%~40%时, 六种蜂蜜的相对抑制率均优于糖; 当蜜浓度高于25%, 对四种细菌的生物膜形成有很强的抑制作用。本结果为中蜂特色蜜的开发与利用提供了有益参考。

关键词: 中蜂; 蜂蜜; 野生蜜源植物; 抑菌作用

Antibacterial Activity of Six Characteristic honeys from *Apis cerana cerana* in Mangdang Mountain Nature Reserve Against Four Bacterial Strains

Chen Zhuo^{1#} Li Guozhu^{1#} Chen Fayuan¹ Lei Jiabin¹ Qinyu Yang¹ Ritu Raj Poudyal² Wang Liande²
Wang Rongyu³ Huang Shaokang^{1, 4}

(1 College of Bee Science and Biomedicine, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002; 2 College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002; 3 Nanping Beekeeping Association, Yanping District 353000; 4 Ministry of Agriculture and Rural Affairs (Fujian) Bee Biology Observation Station, Fuzhou 350002)

Abstract: Six kinds of honey produced by *Apis cerana cerana* from Mangdang Mountain National Nature Reserve in Nanping, Fujian Province: *Castanopsis fargesii* honey(CF), *Sapium discolor* honey(SD), *Cinnamomum austrosinense* honey(CA), *Zanthoxylum ailanthoides* honey(ZA), *Dendropanax dentiger* honey(DD), *Rhus chinensis* honey(RC), were selected as research objects. Their antibacterial activities were determined against four strain bacteria: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Morganella morganii*, and *Serratia marcescens* by the microdilution broth method. The results show that, when concentrations >40%, both sugar and honey solutions strongly inhibited all four bacterial strains. The minimum inhibitory concentration (MIC) of both CA honey and DD honey against *M. morganii* was 15%, and the MIC of ZA honey against *S. aureus* was the same (15%). Thirty percent of CA honey, DD honey, and CA honey all showed bactericidal effects on *E. coli*, *M. morganii*, and *S. marcescens* (MBC \leq 30%, CFU=0), The MBCs for DD honey and CA honey against *S. aureus* were bigger than 30%(CFU=1). The MBCs of RC honey against *E. coli*, *S. aureus* and *M. morganii* were bigger than 30%(CFU \leq 4). Between 20%~40%, six types of honey outperformed the sugar solution in antibacterial efficacy. When the honey concentration was higher than 25%, it had a strong inhibitory effect on the biofilm formation of the four bacteria. This result provides a useful reference for the development and utilization of special honey of *Apis cerana cerana*.

Key words: *Apis cerana cerana*, honey, wild nectar plant, antibacterial effect

基金项目: 南平市科技局科技特派员创新创业大赛项目(N2023T002); 福建农林大学大学生创新创业训练计划项目(FAFUXMPC20240507002)

作者简介: 陈卓(2002.10-), 女, 学士, 蜂学方向; 李国柱(2002.9-), 男, 学士, 蜂学方向。#共同第一作者
通讯作者: 黄少康(1969.3-), 男, 教授, 主要研究蜜蜂科学, E-mail: skhuang@fafu.edu.cn

茫荡山国家级自然保护区位于福建南平市延平区西北部,面积117km²,最高海拔1363m,森林覆盖率达87.3%。区内蜜粉源资源丰富,有71科154属205种,约占总种类的13%;其中不少药用植物^[1,2]。如大戟科(Euphorbiaceae)的山乌柏(*Sapium discolor*),叶提取物具有镇痛抗炎作用等^[3]。樟科(Lauraceae)的华南桂(*Cinnamomum austrosinense*)内含肉桂醛、肉桂酸等多种挥发油成分,具有散寒止痛、温中健脾等药理作用^[4,5]。芸香科(Rutaceae)食茱萸(*Zanthoxylum ailanthoides*)不仅可作烹饪调味料^[6],据唐代医学家孙思邈的《千金食治》记载,果实有“止痛下气,除咳逆,去五脏中寒冷”等多种功效。五加科(Araliaceae)的树参(*Dendropanax dentiger*)是传统兽药,内含酚酸、苯丙素类化合物等抗炎成分^[7];漆树科(Anacardiaceae)的盐肤木(*Rhus chinensis*),其根的水煎剂可用于治疗冠心病、心绞痛等^[8]。

蜂蜜含有多种生物活性成分,具有广谱抗菌特性,对多种病原菌有很好的抗菌特性^[9],常用于食品防腐、局部外伤、软组织感染、口腔及消化道溃疡等的辅助治疗,在医疗健康领域有广泛的应用^[10,11]。保护区内村民有中蜂(*Apis cerana cerana*)养殖传统,每年9月盐肤木开花结束便可摇蜜采收。由于区内海拔高差大,蜜源植物分布也不一致,小气候又不同,且蜜蜂的平均飞行半径有限,若放蜂位置和饲养管理措施得当,可采收到不同的特色中蜂蜜。2024年4月至9月间,我们分别采收到以栲(*Castanopsis fargesii*)、山乌柏、华南桂、食茱萸、树参、盐肤木为主要花期的六种中蜂蜜,并对它们的抑菌性能开展研究,为特色中蜂蜜的开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试剂

栲、山乌柏、华南桂、食茱萸、树参、盐肤木花期采收的六种封盖蜜均由福建南平鑫巢中蜂养殖合作社提供,采收的蜂蜜于常温避光储存。LB培养基干粉(1%胰蛋白胨,0.5%酵母提取物,1%氯化钠;北京酷来搏科技有限公司);葡萄糖、果糖(国药集团化学试剂有限公司)。

1.1.2 细菌菌株

大肠杆菌(*Escherichia coli*) and 金黄葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)由本院徐晓兰老师惠赠。摩

氏摩根菌(*Morganella morganii*)和粘质沙雷氏菌(*Serratia marcescens*)为蜜蜂生理病理实验室分离保存。

1.2 主要仪器设备

生物显微镜(Leica DM500,德国徕卡显微系统公司),阿贝折射仪(WZS-1,上海光学仪器厂),分光光度计(BioSpectrometer basic,德国艾本德公司),多功能酶标仪(Varioskan TM LUX,赛默飞世尔科技有限公司),超净工作台(SW-CJ-1F,苏州净化设备有限公司),高速冷冻离心机(5430R,德国艾本德公司),恒温恒湿箱(HWS-150B,菲斯福仪器(河北)有限公司)等。

1.3 方法

1.3.1 六种中蜂蜜的孢粉学鉴定

参考Lin等^[12]方法对六种蜜中的花粉进行检测。先称取10 g液态蜂蜜溶于20 mL水中,1000 × g离心10 min,弃上清液后将沉淀重悬浮于水中,再次离心,弃上清;沉淀中加100 μL水重悬,制片于显微镜下400倍放大观察。根据事先采集的六种植物花粉形态,对蜜样中花粉进行计数,每次计数总量100~200粒,做3个重复;计算特征性单花粉粒的平均百分率,比例超过45%的蜜判定为该花粉同类植物蜜。

1.3.2 蜂蜜的含水量测定与稀释

蜂蜜的水分含量用阿贝折射仪测定。因采收的蜜均在蜜脾封盖后约一周内摇出,所测水分含量大于20%,故将蜂蜜分别倒入玻璃皿中,于37℃温箱内脱水,直至含水量低于20%。

由于蜜的粘度高,故按重量比进行稀释,配成100%~10%的十个梯度。以含41%果糖和32%葡萄糖的糖为对照。

1.3.3 六种中蜂蜜对四株细菌的抑菌作用比较

(1) 细菌的培养与稀释

大肠杆菌等四株细菌分别接入LB液体培养基于37℃培养16~24h后,用无菌水梯度稀释,测600nm的吸光值,选取OD值约0.01的菌液(约10⁶⁻⁷/ml),作为接种液。

(2) 六种中蜂蜜对四株细菌的最小抑菌浓度和最低杀菌浓度

根据Lin等^[12]方法。96孔细菌培养板中加入80 μL LB培养基,再加20 μL菌悬液,再加100 μL蜂蜜稀释液或糖。空白对照孔中加100 μL无菌水,阳性对照孔中加终浓度5 μg/ml的庆大霉素。所有孔做3重复。以

表1 六种中蜂特色蜜的单花粉比例及含水量

蜜种	栲蜜	山乌柏蜜	华南桂蜜	食茱萸蜜	树参蜜	盐肤木蜜	
单花粉含量 (%)	78.7 ± 3.4	61.2 ± 1.8	80.8 ± 4.2	86.0 ± 16.7	67.9 ± 28.3	66.6 ± 4.9	
含水量 (%)	脱水前	22.6	22.4	24.0	22.2	22.0	22.4
	脱水后	19.6	19.2	18.2	18.8	19.8	19.8

上步骤均无菌操作。培养板用石蜡膜封边，放入37℃培养24 h。取出，肉眼观察，将清澈的最低浓度孔定义为最低抑菌浓度（Minimum inhibitory concentration, MIC）。

对比同浓度对照糖孔（浊）与蜂蜜孔（清）差异，选择30%浓度孔，每孔吸取10 μL，涂布在LB固体平板上，做3个重复，37℃培养24h，记录平板上菌落数（CFU），计算均值。无细菌生长的记MBC（Minimum bactericidal concentration, MBC）为“≤30%”，1~4个菌落记MBC为“≅30%”，超过5个菌落记MBC为“>30%”。

由于培养孔中的蜂蜜及糖终浓度均为加入浓度的一半，因此下文均以终浓度表述。

（3）六种蜂蜜对四株细菌的相对抑制率

依上述方法将蜂蜜与菌混合培养24 h，取培养板放入酶标仪中测600nm的吸光值，再换算出相对抑制率（见1.4）。

1.3.4 六种蜂蜜对四株细菌生物膜的抑制

参考Camplin等^[13]的结晶紫染色法，测定蜂蜜对细菌生物膜形成的抑制作用。具体为：96孔板孔中加入约10⁸/mL的菌液10 μL，再加90 μL LB培养基，其余步骤与1.3.3（2）中相同。

培养24 h后，将孔中200 μL培养液吸出，用200 μL PBS冲洗两次，加入200 μL 0.25%结晶紫染液，静置10 min使生物膜充分染色，吸出染液，用200 μL PBS冲洗两次，加入200 μL 7%冰醋酸溶液，静置2 min后，测OD₆₀₀。

1.4 数据处理

因不同蜂蜜的颜色有差异，为消除蜜底色的影响，先测定各浓度蜂蜜的本底吸光值OD_{本底}，再将培养24 h后的吸光值减去本底吸光值进行校正，即：校正OD=OD_{24h}-OD_{本底}。校正后，再计算对细菌的相对抑制率（i）。计算公式为：

$$\text{相对抑制率 (i)} = \frac{\text{OD}_{\text{对照}} - \text{OD}_{\text{试验}}}{\text{OD}_{\text{对照}}} \times 100\%$$

计算所得的相对抑制率，经平方根反正弦转换后，用WPS Excel的T检验分别对蜜与糖进行差异显著

性比较，并作图。

2 结果与分析

2.1 六种中蜂蜜的孢粉学鉴定与含水量测定

六种中蜂蜜经镜检，结果单种花粉比例均在45%以上（表1），可判定为对应的蜜种。六种蜂蜜初始含水量在22.2~24.0%之间，经37℃脱水2~12 h后，含水量均低于20%（见表1）。

2.1.1 六种中蜂蜜对四株细菌的最低抑菌浓度和最低杀菌浓度

将六种蜂蜜（0~100%）等体积与细菌共培养24 h后，结果表明（见表2），糖对大肠杆菌的MIC为45%，而栲蜜、树参蜜的MIC仅为25%，食茱萸蜜、盐肤木蜜、华南桂蜜为30%，山乌柏蜜为35%，均优于糖。说明高浓度糖具有很强的抑菌作用，而蜂蜜的MIC更低，即非糖成分有抑菌作用。平板培养结果表明，栲蜜、华南桂蜜、树参蜜的MBC ≤ 30%（CFU=0），说明30%的这三种蜜对大肠杆菌均有杀菌作用。

对于金黄葡萄球菌，食茱萸蜜抑制效果最优，MIC为15%，而山乌柏蜜、盐肤木蜜的为20%，栲蜜、华南桂蜜、树参蜜的为25%。30%的华南桂蜜、树参蜜、盐肤木蜜的杀菌作用（CFU<4）优于其他三种蜜（CFU=15~88）。食茱萸对金黄葡萄球菌有较低的MIC，但MBC的效果却不如华南桂蜜和树参蜜；这可能与蜂蜜的抑菌机制和杀菌机制不同有关。蜂蜜的抑菌作用与高糖度的渗透压等多种因素有关，而杀菌作用与细菌细胞膜破坏导致的死亡有关。

对于摩氏摩根菌，华南桂蜜和树参蜜的抑制效果最优，MIC为15%；栲蜜、山乌柏蜜、盐肤木蜜次之，食茱萸蜜位居第三。栲蜜、华南桂蜜和树参蜜的MBC ≤ 30%（CFU=0），食茱萸蜜、盐肤木蜜的MBC ≅ 30%（CFU=2），而山乌柏蜜MBC>30%（CFU=81）。

对于粘质沙雷氏菌，栲蜜、食茱萸蜜和树参蜜的MIC均为25%，山乌柏蜜、华南桂蜜和盐肤木蜜的为30%。华南桂蜜与树参蜜的MBC均为 ≤ 30%（CFU=0），其余四种蜜的MBC>30%

表2 六种中蜂蜜对四株细菌的最低抑菌浓度和最低杀菌浓度

细菌	抑菌活性	栲蜜	山乌柏蜜	华南桂蜜	食茱萸蜜	树参蜜	盐肤木蜜	糖
大肠杆菌	MIC	25%	35%	30%	30%	25%	30%	45%
	MBC (CFU)	≤30%(0)	>30(>1000)	≤30%(0)	>30%(365)	≤30%(0)	≤30%(1)	>30%(405)
金黄葡萄球菌	MIC	25%	20%	25%	15%	25%	20%	35%
	MBC(CFU)	>30%(15)	>30%(88)	≤30%(1)	>30%(28)	≤30%(1)	≤30%(4)	--
摩氏摩根菌	MIC	20%	20%	15%	25%	15%	20%	35%
	MBC(CFU)	≤30%(0)	>30%(81)	≤30%(0)	≤30%(2)	≤30%(0)	≤30%(2)	>30%(85)
粘质沙雷氏菌	MIC	25%	30%	30%	25%	25%	30%	40%
	MBC(CFU)	>30%(12)	>30%(576)	≤30%(0)	>30%(95)	≤30%(0)	>30%(575)	>30(>1000)

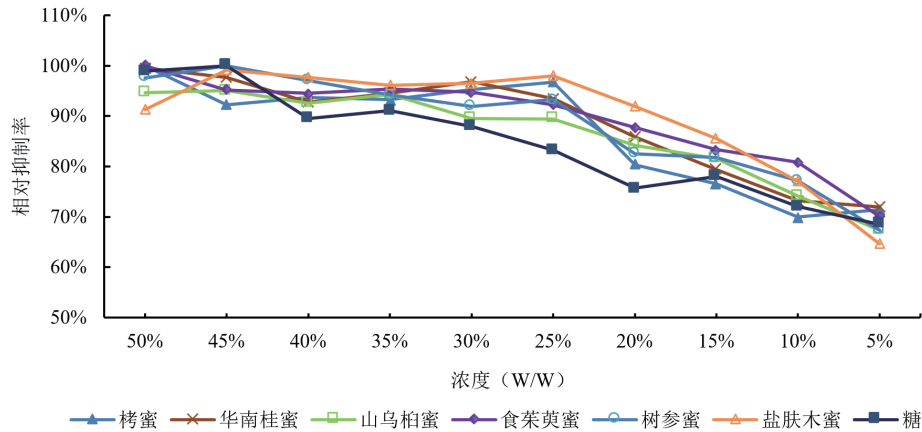


图1 六种蜂蜜对大肠杆菌的相对抑制率

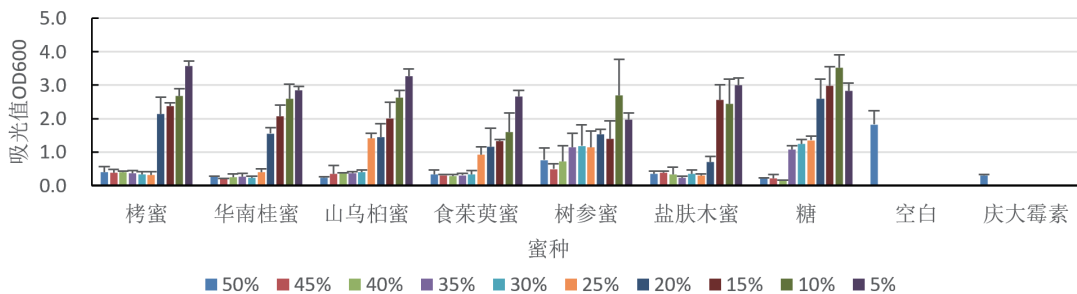


图2 六种中蜂蜜对大肠杆菌生物膜抑制效果比较

(CFU=12~576)。

总之，40%的糖与蜜的抑菌作用相近，但浓度20%~40%，蜜的抑菌效果均优于糖水，说明蜂蜜的其他因素也起重要的抑菌作用。而且，华南桂蜜、食茱萸蜜、食茱萸蜜、树参蜜的MIC可低至15%，30%的蜜对多株细菌有杀菌作用。同时也说明不同蜜种对不同细菌的抑制效果不同，可以针对特定细菌开发杀菌效果最优的特色蜜种。

2.2 六种中蜂蜜对四株细菌的相对抑制效果

2.2.1 六种中蜂蜜对大肠杆菌的相对抑制效果

六种中蜂蜜对大肠杆菌的相对抑制结果表明（图

1），随着蜜或糖浓度的降低（50%~5%），抑制效果逐渐下降。当蜜或糖浓度高于45%时，糖和树参蜜的相对平均抑制率近100%。当浓度低到10%~40%时，蜜的相对抑制效果均优于糖。其中，食茱萸与盐肤木蜜在连续7个稀释度下都比糖的抑制效果显著好（ $p < 0.05$ ），树参也有6个稀释度显著优于糖（ $p < 0.05$ ），栲蜜和山乌柏蜜有2个稀释度显著优于糖（ $p < 0.05$ ）。但当蜜浓度低至5%时，与糖无显著差别（ $p > 0.05$ ）。综合来说，大肠杆菌对蜜或糖浓度的耐受力较低，即使是5%以上的浓度也有明显的抑制作用；其中盐肤木蜜、食茱萸蜜、树参蜜对大肠杆菌

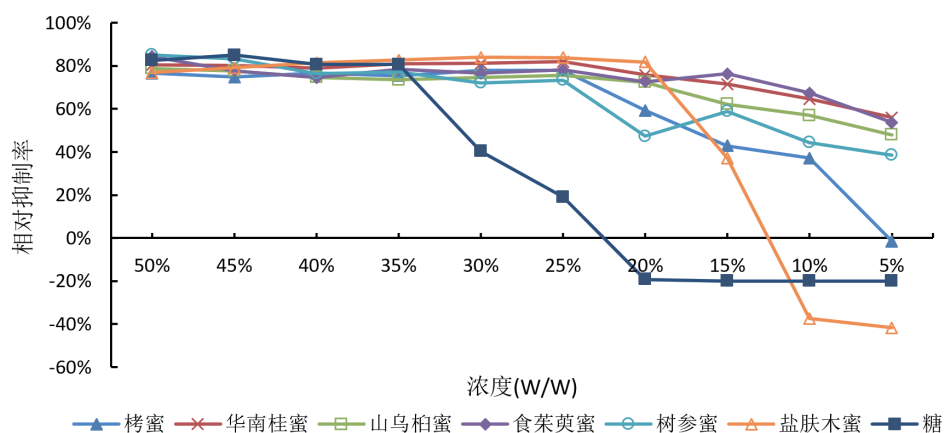


图3 六种中蜂蜜对金黄色葡萄球菌的相对抑制率

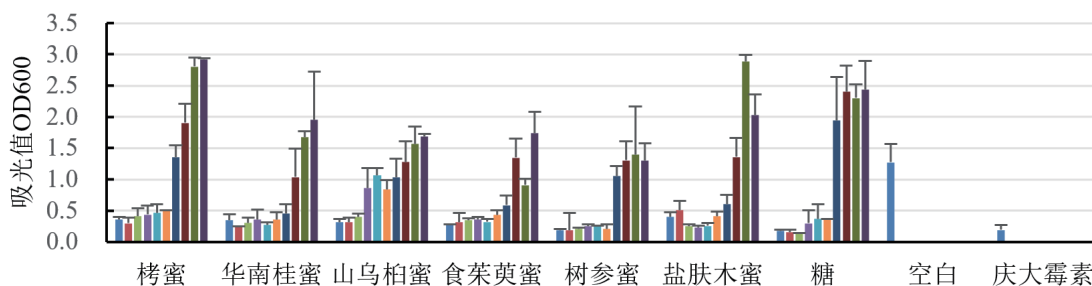


图4 六种中蜂蜜对金黄色葡萄球菌生物膜的抑制效果比较

的相对抑制效果较优。

对大肠杆菌生物膜形成的抑制结果表明，40%~50%浓度的糖或蜜对生物膜形成均较好的抑制（图2）；当浓度降到25%~35%时，糖的抑制作用减弱，而栲树蜜、华南桂蜜、盐肤木蜜的抑制作用仍然较为明显，浓度低于20%便失去抑制作用；10%以下则促进生物膜形成（图2）。

2.2.2 六种中蜂蜜对金黄色葡萄球菌的相对抑制效果

在浓度35%~50%时，糖与蜜对金黄色葡萄球菌的相对抑菌率约80%（图3）。当浓度在20%~35%，糖浆的抑制率迅速下降，而蜜仍保持在80%左右。低于20%时，仅盐肤木蜜和栲蜜的抑菌率下降较快，其余四种蜜均优于糖的抑菌表现。低于10%的盐肤木蜜则促进细菌的生长。

对金黄色葡萄球菌生物膜的抑制结果表明（图4），当蜜或糖浓度达25%以上时，能较好抑制生物膜形成。20%时，仅华南桂蜜、食茱萸蜜、盐肤木蜜的抑制作用比较明显，其余三种蜜抑制作用微弱，而糖为促进作用；5%~10%的栲蜜和盐肤木蜜也对生物膜形成有促进作用。

2.2.3 六种蜂蜜对摩氏摩根菌的相对抑菌效果

对摩氏摩根菌的试验结果表明（图5），当浓度

高于35%时，蜜与糖的抑制效果均较好。15%~35%的糖对该菌抑制效果迅速下降，与金黄色葡萄球菌相似，而树参蜜和华南桂蜜仍分别保持82.1%和76.6%的平均相对抑制率，优于其他四种蜜。当蜜浓度低于10%，除山乌柏外的五种蜜均逐渐出现促进细菌生长的作用。

生物膜抑制试验结果表明（图6），绝大多数的蜜或糖在浓度20%以上时，对摩氏摩根菌的生物膜形成均有明显抑制。蜜浓度低于15%后，对摩氏摩根菌生物膜形成抑制作用明显减弱。

2.2.4 六种成熟蜜对粘质沙雷氏菌的抑菌效果

六种蜂蜜对粘质沙雷氏菌的抑制结果表明（图7），糖浓度高于40%，抑菌效果好；低于40%，抑菌效果迅速下降，低于20%则无抑菌能力。而30%的蜂蜜，最低相对抑制率均保持在81%以上；且20%的树参蜂蜜的相对抑制率为67.7%，在所有蜜中最高；15%~20%的蜜虽然抑菌能力不断下降，但仍高于糖水。

以上结果表明，蜂蜜的抑菌性能明显优于糖。糖仅在浓度高于40%时，与蜂蜜的抑制性能相当，此时的抑菌作用主要与糖的高渗透压有关。浓度20%~40%，蜂蜜的抑菌性能优于糖，说明非高糖成分承担了主要的抑菌作用；浓度低于20%后，六种蜂

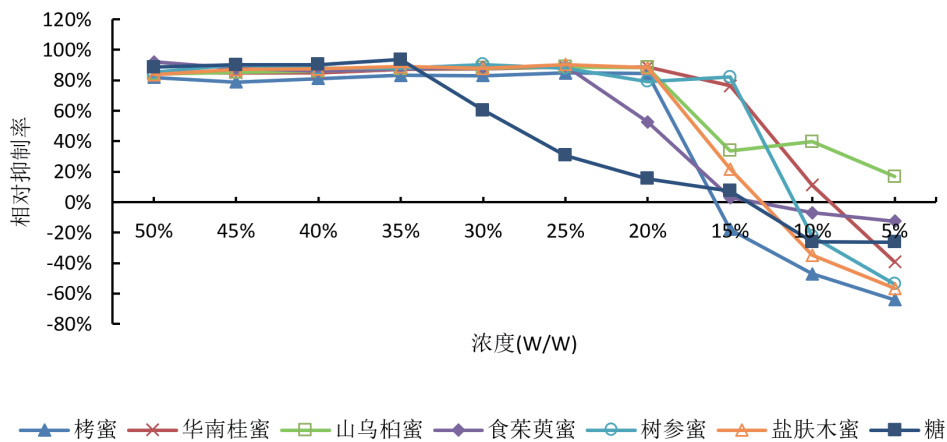


图5 六种中蜂蜜对摩氏摩根菌的相对抑制率

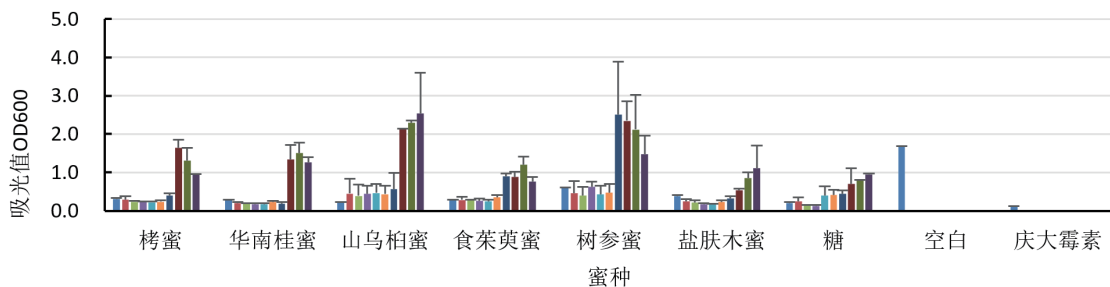


图6 六种中蜂蜜对摩氏摩根菌生物膜的抑制效果比较

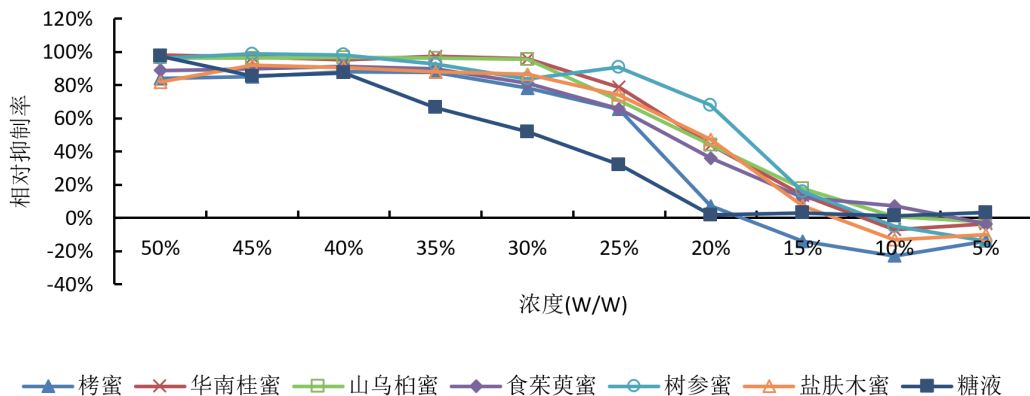


图7 六种中蜂蜜对粘质沙雷氏菌的相对抑制率

蜜对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制效果仍强于糖。不同蜜源的蜂蜜对于不同的菌株，抑制效果也有所差异。例如，25%的六种蜜对大肠杆菌、摩氏摩根菌的相对抑制率分别在89.4%~98.0%、84.8~90.4%，而对金黄色葡萄球菌和粘质沙雷氏菌的相对抑制率分别在73.4%~83.9%、65.4%~90.7%，即六种蜜对大肠杆菌和摩氏摩根菌的抑制效果要强于金黄色葡萄球菌和粘质沙雷氏菌。

25%以上浓度的六种蜂蜜对三株菌生物膜的形成都有较强的抑制作用，但对不同菌的效果仍有差别。如，对于大肠杆菌的生物膜形成，25%的栲蜜、华南桂蜜、盐肤木蜜的抑制作用要强于25%的糖，而对于

金黄色葡萄球菌和摩氏摩根菌的生物膜，25%的栲蜜、华南桂蜜等尽管也有抑制作用，但与同浓度糖效果相当，并无明显优势。由于生物膜形成的机制复杂，具体原因仍有待研究。测定粘质沙雷氏菌生物膜时，由于操作误差，导致部分测试孔染液残留或冲洗过度导致数据误差过大，因此剔除。

3 讨论

蜂蜜的果糖和葡萄糖占总糖的66%~78%^[14]，高糖是抑菌的重要因素。研究表明，35%的果糖、葡萄糖对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌有很强的抑制作用^[15]。本试验表明，浓度大于40%的糖或蜜对四株细菌均有很强抑制作用，且20%~35%蜜的抑菌能力明显

高于糖。

除糖的高渗作用外，蜂蜜稀释过程中产生的羟自由基也是重要抑/杀菌因素。因为蜂蜜稀释后，其中的葡萄糖氧化酶催化葡萄糖产生过氧化氢，分解出高活性的羟自由基（·OH），破坏了细菌的细胞结构和功能^[16]。例如，浓度40%的一款荷兰蜂蜜RS在24 h内累积产生 3.476 ± 0.25 mmol/L的过氧化氢，稀释5倍和10倍的RS蜜24 h分别可杀死大肠杆菌和耐甲氧西林金黄葡萄球菌^[16]；蜂蜜的胶体结构及非酶促生成的过氧化氢也是羟自由基的来源之一^[17]。

蜂蜜中含有超过200种化合物，其中种类丰富的酚酸类、黄酮类物质具有抑菌、消炎、抗氧化等功能。Lin等^[12]研究发现，玄参蜜的抑菌性能与葡萄糖氧化酶含量、过氧化氢含量关系不大，而与多酚含量相关，且它对大肠杆菌细胞壁的破坏性强于革兰氏阳性菌。盐肤木蜜中也含有多酚酸，其中对香豆酸的含量最高，达 $329.67\text{--}545.67$ $\mu\text{g}/100\text{g}$ ^[18]，而对香豆酸通过静电作用与革兰氏阴性菌外膜的脂多糖结合，螯合 Mg^{2+} 等二价阳离子，破坏外膜完整性；对香豆酸还能够导致质膜屏障失效，内容物外泄；并且还能与细菌DNA结合，导致细胞功能丧失^[19]。Yu等^[19]研究表明，栲蜜中的芹菜素、槲皮素等黄酮类物质通过抑制化脓性链球菌（*Streptococcus pyogenes*）的两种抗氧化酶—谷胱甘肽过氧化物酶与酪氨酰tRNA合成酶的活性，造成菌体内氧化应激，达到抑菌的效果。

本试验除采收了常见的山乌柏蜜、盐肤木蜜外，还首次采收了华南桂蜜、食茱萸蜜等，并首次就六种中蜂蜜对摩氏摩根菌和粘质沙雷氏菌等潜势病原体进行了抑菌效果测定，结果也证明，六种中蜂蜜对不同细菌有不同的抑制能力。由于气候、土壤、蜜源种类和分布等的差异，不同种蜂蜜的成分存在差异，抑菌性能也有差异^[21]。近年来，我国学者对栲蜜、山乌柏蜜、盐肤木蜜、树参蜜等多种中蜂蜜的成分开展了细致研究^[22-24]，进一步针对性地对人或经济动物特定病原菌开展研究，将为特色蜜的医疗保健应用提供更广阔的空间，对推动山区中蜂养殖业的发展，山区生态环境保护 and 乡村振兴也有重要意义。

参考文献

- [1] 董喜明. 南平茫荡山自然保护区药用植物资源研究[J]. 安徽农学通报, 2011,17(18): 146-148.
- [2] 郭家新. 福建茫荡山自然保护区蜜源植物资源及保护利用初探[J]. 山东林业科技, 2015.6: 53-58.
- [3] 黄斌学, 黄增琼, 许小林, 等. 乌柏叶提取物镇痛抗炎作用的

实验研究[J]. 中成药, 2004(06): 48-51.

- [4] 邵莉, 刘塔斯, 龚力民, 等. 华南桂挥发性成分研究[J]. 中药材, 2019(10):4.
- [5] 陈寿仁. 樟科药用植物药理研究及开发[J]. 中国中医药信息杂志, 1996,3(2):3.
- [6] 王兰. 食茱萸——早期川菜三香之一[J]. 四川旅游学院学报, 2006(1):18-19.
- [7] 刘敏, 余乐, 范蕾, 等. 基于谱效关系的畚药树参茎抑制人滑膜关节炎成纤维细胞异常增殖的药效物质研究[J]. 中国中医药科技, 2023,30(3):465-470.
- [8] 赵军, 崔承彬, 蔡兵, 等. 国产盐肤木属植物的研究进展[J]. 解放军药学学报, 2006,22(1):48-51.
- [9] Mandal MD, Mandal S. Honey: Its medicinal property and antibacterial activity[J]. Asian Pac. J. Trop. Biomed, 2011, 1(2):154-160.
- [10] 汪思凡, 曹振辉, 潘洪彬, 等. 蜂蜜化学成分及其主要生物学功能研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(1): 176-181.
- [11] 袁文芹, 玄红专, 王凯. 蜂蜜中抗菌活性物质及其抑菌作用机理研究进展[J]. 食品工业科技, 2023,44(4):438-446.
- [12] Lin T, Huang L, Cheng N, et al. The in vitro and in vivo antibacterial activities of uniflorous honey from a medicinal plant, *Scrophularia ningpoensis* Hemsl., and characterization of its chemical profile with UPLC-MS/MS[J]. J Ethnopharmacol. 2022, 296:115499.
- [13] Camplin AL, Maddocks SE. Manuka honey treatment of biofilms of *Pseudomonas aeruginosa* results in the emergence of isolates with increased honey resistance[J]. Ann Clin Microbiol Antimicrob. 2014,13:19.
- [14] 江慧枝, 江武军, 李震, 等. 优质山乌柏蜂蜜生产及其成分分析[J]. 江西农业大学学报, 2023,45(06):1473-1485.
- [15] Mizzi L, Maniscalco D, Gaspari S, et al. Assessing the individual microbial inhibitory capacity of different sugars against pathogens commonly found in food systems[J]. Lett Appl Microbiol. 2020, 71(3):251-258.
- [16] Kwakman PHS, te Velde AA, de Boer L, et al. Two major medicinal honeys have different mechanisms of bactericidal activity[J]. PLoS ONE. 2011, 6(3): e17709.
- [17] Brudzynski K. A current perspective on hydrogen peroxide production in honey. A review. Food Chem. 2020,332:127229.
- [18] 刘明艳. 栲木蜜和盐肤木蜜的理化性质、化学组成、抗氧化和抗菌活性研究[D]. 南昌大学, 2023.
- [19] Lou, Z., Wang, H., Rao, S., Sun, et al. p-Coumaric acid kills bacteria through dual damage mechanisms[J]. Food Control, 2012,25:550-554.
- [20] Yu W, Sun F, Xu R, et al. Chemical composition and anti-inflammatory activities of *Castanopsis* honey[J]. Food & Function, 2023, 14(1): 250-261.
- [21] Hussain MB, Kamel YM, Ullah Z, et al. In vitro evaluation of methicillin-resistant and methicillin-sensitive *Staphylococcus aureus* susceptibility to Saudi honeys[J]. BMC Complement Altern Med. 2019,19(1):185.
- [22] Wang LF, Ning FJ, Liu T, et al. Physicochemical properties, chemical composition, and antioxidant activity of *Dendropanax dentiger* honey[J]. LWT, 2021,147:11693.
- [23] 罗丽林, 杨广明, 刘曼, 等. 息烽县盐肤木中蜂蜜的品质分析[J]. 山地农业生物学报, 2020(2):64-68.
- [24] 杨雪, 史早, 周姝芯, 等. 重庆市不同产地五倍子蜂蜜挥发性成分差异分析[J]. 食品与发酵工业, 2025,51(8):249-258. 