

驴奶对皮肤真菌和食源性细菌的抗菌活性

Mostafa Koutb^{1,2,*}, Manal Khider³, Esam H. Ali¹, Nemmat A. Hussein¹

1 埃及 阿苏特 阿苏特大学理学院植物学与微生物学系

2 沙特阿拉伯 麦加乌姆古拉大学应用科学学院生物系

3 埃及 法尤姆 法尤姆大学农学院乳业科学系

摘要: 根据驴奶与人类病原菌的相关性, 筛选出 3 株细菌和 3 株真菌, 研究了驴奶的抑菌活性。驴奶对皮肤真菌和食源性致病菌均有抗菌活性。对薄荷毛癣菌和红僵菌的抑菌活性最高, 致死浓度最低为 32 mg/ml。在食源性致病菌方面, 革兰氏阳性菌 (蜡样芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌) 对驴奶的敏感性高于革兰氏阴性菌 (大肠杆菌), 最低致死浓度分别为 32、64 和 128 mg/ml。经胃蛋白酶 (2 mg/ml) 消化后, 驴奶对蜡样芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌活性分别保持在 60% ~ 62% 左右, 说明驴奶中的脂肪酸抑菌效果最好。胃蛋白酶消化后对皮肤真菌和革兰氏阴性菌的抑菌活性不受影响。为了解释驴奶对皮肤真菌的抗真菌能力, 用气相色谱法分析了驴奶的脂肪酸。脂肪酸分析表明, 驴奶脂中主要成分为油酸 (25.4%)、棕榈酸 (23.75%)、亚麻酸 (20.04%)、花生酸 (3.58%) 和硬脂酸 (3.26%), 具有抗菌活性。最后, 在本研究结果的基础上, 考察了驴奶对金黄色葡萄球菌和皮肤真菌的抑菌活性, 特别是对引起急性或慢性炎性体癣的须发植物和红色毛癣菌的抑菌活性; 在化妆品和制药工业中, 可能被认为是一种具有新颖功能保护特性的有价值的天然产品。

关键词: 驴奶; 内生毛癣菌; 脂肪酸; 细菌; 皮肤真菌

Antimicrobial Activity of Donkey Milk against Dermatomycotic Fungi and Foodborne Bacteria

Mostafa Koutb^{1,2,*}, Manal Khider³, Esam H. Ali¹, Nemmat A. Hussein¹

1Department of Botany & Microbiology, Faculty of Science, Assiut University, Assiut, Egypt

2Department of Biology, Faculty of Applied Science, Umm Al-Qura University, Mecca, Saudi Arabia

3Department of Dairy Science, Faculty of Agriculture, Fayoum University, Fayoum, Egypt

Abstract: The antimicrobial activity of donkey milk was examined against 3 bacterial and 3 fungal strains selected on the basis of their relevance as human pathogens. All samples of donkey milk exhibited antimicrobial activity against dermatomycotic fungi and foodborne pathogen bacteria. The highest antimicrobial activity was recorded against *Trichophyton mentagrophytes* and *T. rubrum* with minimal lethal concentration of 32 mg/ml. In respect to foodborne pathogenic bacteria, Gram-positive bacteria (*Bacillus cereus* and *Staphylococcus aureus*) were more sensitive to donkey milk than Gram-negative bacteria (*E. coli*) with minimal lethal concentrations of 32, 64 and 128 mg/ml respectively. Donkey milk kept about 60 to 62% of its antimicrobial activity against *B. cereus* and *S. aureus* respectively, after digestion with pepsin (2 mg/ml), suggesting that the fatty acids of donkey milk has the highest antimicrobial effect. While the antimicrobial activity against dermatomycotic fungi and Gram-negative bacteria not affected after digestion with pepsin. To explain the antifungal capability of donkey milk against dermatomycotic fungi, fatty acids were analyzed by gas chromatography. Fatty acids analysis indicated that the major constituents in donkey milk lipid are oleic (25.4%), palmitic (23.75%), linolenic (20.04%), arachidic (3.58%) and stearic (3.26%), which have antimicrobial activity. Finally, on the basis of results obtained in the current study, the antimicrobial activity of donkey milk against *Staphylococcus aureus* and dermatomycotic fungi, specially *T. mentagrophytes* and *T. rubrum* which frequently cause acute or chronic inflammatory tinea corporis; may be considered as a valuable natural product with novel functional protection properties in cosmetics and pharmaceutical industries.

Keywords: Donkey milk; *Trichophyton mentagrophytes*; Fatty acids, Bacteria; Dermatomycotic fungi

1. 引言

牛奶是一种复杂的介质, 含有多种营养物质、矿物

质、维生素以及其他具有功能性或生物活性的分子。驴奶被认为有助于治疗人类免疫相关疾病; 发现驴奶的特

性可以追溯到古代,当时医生建议用它来治疗几种疾病,因为它具有治疗和美容的优点;古埃及女王克利奥帕特拉用驴奶洗澡,以保持皮肤的美丽和年轻,并用于肥皂和润肤霜的制造。此外,希波克拉底(公元前460-370年)还将驴奶用于多种用途,如肝病、传染病、发烧、水肿、鼻出血、中毒和伤口。头癣的常见病原体为精神毛癣菌(*Trichophyton mentagrophytes*)和红色毛癣菌,而念珠菌属常被分离为导管相关性血流感染的病原体。在过去的几年里,由于驴奶与人奶非常相似,而且具有低酪蛋白含量和高比例必需氨基酸的独特功能特性,人们对驴奶产生了极大的兴趣。正因为如此,最近它被认为是婴儿配方奶粉的一个很好的替代品,因为它的营养成分,特别是蛋白质,与人奶非常相似^[1,3]。驴奶含有大量的抗菌因子,尤其是乳蛋白,在牛奶保护中起着重要作用。驴奶中的酶,尤其是溶菌酶,具有一些独特的特性,如杀菌性能,这使得驴奶不同于其他哺乳动物奶^[3,4]。驴奶对霍乱沙门氏菌和志贺氏痢疾杆菌^[5]的抑菌活性已有报道。

牛奶中的一种防御因子是游离脂肪酸,它可以保护牛奶免受不同微生物的感染。脂肪酸的抑菌活性与链长和不饱和度有关。长链饱和脂肪酸对许多细菌表现出抑制活性,包括耐甲氧西林金黄色葡萄球菌^[8]。例如,油酸和亚油酸被报道为有效的抗菌^[9]。然而,牛奶和乳制品是饱和脂肪酸的重要来源;驴奶似乎比牛奶含有更低的饱和脂肪酸和更多的必需脂肪酸。驴奶脂肪酸的作用和重要性与驴奶的营养和额外营养特性^[10]有关。本研究旨在(1)评价部分埃及驴奶样品对皮肤真菌和部分食源性致病菌的抑菌活性;(2)确定驴奶对被测病原微生物的最低致死浓度;(3)检测与驴奶抑菌活性相对应的主要成分。

2. 材料与方法

2.1. 收集奶类样本

从埃及的El-Minia省和法尤姆省收集了不同奶类动物的个别牛奶样本。这些牛奶类型是:水牛,驴,骆驼,牛,山羊和绵羊。牛奶样品在挤奶后立即收集在消毒瓶中,并在冰盒中冷藏至4℃,然后在-80℃保存直到使用。

2.2. 化学成分

水分、蛋白质、脂肪、乳糖、灰分和总氮(宏凯氏定氮法)按AOAC^[11]测定。使用pH计(Kent EIL 7020)^[12]测量pH值。

2.3. 驴奶的气相色谱分析

为评价驴奶脂肪酸含量,采用了3种分析方法:DB-蜡,DB-23和HP-88方法^[13]。将冷冻干牛奶样品(100毫克)溶解在10毫升己烷中,然后加入100μl氢氧化钾(2.0 N)。离心后,清上清转入2.0 ml自动采样瓶。分析在安捷伦6890 GC(巴西利卡塔-意大利大学)中进行。

2.4. 目标微生物

选用3株白念珠菌DSM 2361、内生毛癣菌AUMC

5505、红T.AUMC 5488真菌和3株蜡样芽孢杆菌ATCC14579、金黄色葡萄球菌ATCC 8095、大肠杆菌ATCC 25922细菌对驴乳样品进行抑菌活性研究。细菌和念珠菌菌株来自埃及法尤姆法尤姆大学农学院农业微生物系,而其他真菌菌株来自埃及阿苏特大学真菌学中心(AUMC)。在营养琼脂斜面上培养细菌。而真菌则在4℃的马铃薯葡萄糖琼脂斜面上进行培养。

2.5. 驴奶中溶菌酶的酶解研究

为提高溶菌酶组分的抑菌活性,对驴奶进行了两步水解。最初,驴奶用盐酸酸化至pH值3.5,然后用2mg/ml胃蛋白酶(Sigma)在37℃下孵育2h。用0.5M碳酸钠(NaHCO₃)溶液调节pH至8.0停止酶促反应,75℃加热5 min,冷却后4℃保存,用琼脂纸片扩散法测定抑菌活性。作为对照实验,在不添加胃蛋白酶的情况下,对溶菌酶溶液(2 mg/ mL)进行上述处理。

2.6. 抗菌活性试验

采用琼脂孔扩散法^{[15]、[16]}评价不同乳型对真菌和细菌的抑菌活性。对于每一种细菌或真菌菌株,将消毒后的穆勒辛顿和马铃薯葡萄糖琼脂培养基倒入消毒后的培养皿中,在室温(25℃)下凝固,然后从新鲜的细菌或真菌培养菌株中拭子。使用无菌软木钻(8毫米)在琼脂板中心挖孔,并装入250μl牛奶样品(通过冻干浓缩至50倍,悬浮在无菌水中,然后在测试前进行巴氏消毒)。分别在37℃和30℃孵育带有致病菌或白色念珠菌的培养皿24h。其他致病真菌在30℃下孵育48-72 h。通过测量每个孔周围的清区直径(CZD)以毫米为单位来确定抑菌活性。使用不含测试化合物的蒸馏水作为对照。分别以四环素(30μg)、氯霉素(30μg)、氟康唑(100μg/mL)、霉菌素(制霉菌素BP, 100μg/mL)等抗生素作为抗菌和抗真菌试验的对照。所有实验步骤均重复三次。

2.7. 测定最低致死浓度(MLC)

按^{[17]、[18]}稀释法测定驴奶的MLC。对于致病菌或白色念珠菌,分别将两倍浓度的驴奶(8,16,32,64,128,256和512mg/mL)移液到分别含有4ml LB或马铃薯葡萄糖肉汤培养基的管中。每个试管接种0.4 mL(0.5 麦克法兰培养基)含有1x10⁶个细胞/mL的标准细菌测试物种悬液。对于真菌,将真菌菌株接种在液体培养基中,在30℃下孵育约48小时。随后,用无菌烧结玻璃G2薄层过滤培养物,去除菌丝碎片。用血细胞计在显微镜下测定每种真菌孢子的滴度。用含有孢子的悬浮液接种PDA培养基。两倍浓度的驴奶被移入含有4毫升PD肉汤的管中。每管接种1x10⁶个孢子/mL。

所有接种管均在适当的温度和时间下培养每一株被测微生物。孵育期结束后,每管取0.1 mL在LB琼脂或PDA平板上传代培养,每种微生物在合适的温度和时间下孵育。活菌计数低于原接种量0.1% (1x10⁶个细胞/mL)的最小驴奶浓度被认为是MLC。

3. 结果与讨论

3.1. 牛奶样品的化学成分及抗菌活性

表 1 中的数据显示了与本实验中使用的不同牛奶类型相比, 驴奶的总成分。在本研究中, 根据驴奶与人类病原体的相关性, 研究了驴奶对 3 种细菌和 3 种真菌菌株的抗菌活性。用琼脂扩散法对不同牛奶样品的抑菌活性进行了检测, 结果表明, 只有驴奶能抑制大多数被测微生物的生长。不同的驴奶样品对真菌和细菌表现出不同程度的抗菌活性 (表 2 和图 1)。包括红毛癣在内的皮肤真菌是嗜人真菌, 经常引起急性或慢性炎性体癣, 这是一种浅表真菌感染 (皮菌病), 发生在手臂和腿部, 特别是无毛皮肤上。表 2 和图 1 显示, 不同的驴奶样品对所测试的皮肤真菌具有显著的抗真菌潜力。驴奶对皮肤真菌包括须发毛癣菌 (范围 17 ~ 25 mm) 和红色毛癣菌 (范围 15 ~ 20 mm) 的抑菌活性最高, 最低致死浓度为 32 mg/ml。另一方面, 食源性致病菌对驴奶样品的敏感性存在差异, 革兰氏阳性菌对驴奶样品的敏感性高于革兰氏阴性菌。驴奶对蜡样芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌活性分别为 15 ~ 23 和 17 ~ 20 mm, 最低致死浓度

分别为 32 和 64 mg/ml。大肠杆菌的抑菌圈值最小 (13 ~ 15 mm), 致死浓度最小为 128 mg/ml (表 2)。值得一提的是, 驴奶经胃蛋白酶 (2 mg/ml) 消化后, 其抑菌活性显著降低 (38 ~ 40%), 但对蜡样芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌活性分别保持在 60% ~ 62% 左右。这表明驴奶中的脂肪酸具有主要的抗菌作用 (图 2)。类似的结果也有报道, 脂肪酸的单甘油酯对金黄色葡萄球菌^[19]具有最有效的抗菌活性。研究表明, 驴原乳和消化乳对两种致病菌有不同的抑制作用; 大肠埃希菌和单核增生李斯特菌^[20]。驴奶中溶菌酶浓度可达 4000 mg/l, 而牛^[21]中仅检出微量溶菌酶。溶菌酶是一种众所周知的抗菌蛋白。它通过切断细菌细胞壁 n-乙酰胞壁酸 (NAM) 和 n-乙酰葡萄糖胺 (NAG) 肽聚糖之间的 β -1,4 连接, 催化细菌细胞壁的水解, 并作为一种非特异性先天免疫分子抵抗细菌病原体^[22]的入侵。溶菌酶的体外抑菌活性主要针对某些革兰氏阳性细菌, 如金黄色葡萄球菌、黄体微球菌、嗜热硬脂芽孢杆菌、酪丁酸^[23], 对革兰氏阴性细菌^[24]的抑菌活性较低。

Milk types	Moisture%	Fat%	Protein %	Lactose %	Ash %	pH
Cow	87.97	3.6	3.7	4.3	0.65	6.60
Buffalo	83.52	6.6	4.5	4.8	0.79	6.60
Goat	85.80	3.9	4.0	4.7	0.80	6.60
Sheep	81.80	7.2	5.6	4.6	0.82	6.60
Donkey	90.35	0.80	1.7	6.4	0.37	6.98

表 1. 不同类型牛奶的总成分。

Animal milk tested (Average of 10 samples tested)	Pathogen Fungal strains tested						Bacterial strains tested					
	<i>C. albicans</i>		<i>T. mentagrophytes</i>		<i>T. rubrum</i>		<i>B. cereus</i>		<i>S. aureus</i>		<i>E. coli</i>	
	DSM 2361		AUMC 5505		AUMC 5488		ATCC 6633		ATCC 8095		ATCC 25922	
	CZD	MLC	CZD	MLC	CZD	MLC	CZD	MLC	CZD	MLC	CZD	MLC
Donkey (sample 4)	-	-	23	32	20	32	19	32	17	64	15	128
Donkey (sample 5)	-	-	19	32	20	32	20	32	18	64	14	128
Mixture of Donkey milk samples (untreated)	-	-	21	32	19	32	20	32	18	64	14	128
Mixture of Donkey milk samples (treated by pepsin)	-	-	21	32	19	32	12	32	11	64	13	128
Cow (10 mg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Buffalo (10 mg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sheep (10 mg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Antibiotics												
Mycosat (nystatin BP, 100 μ g/mL)	22	nd	40	nd	37	nd	-	nd	-	nd	-	nd
Flucoral (fluconazole, 100 μ g/mL)	27	nd	38	nd	34	nd	-	nd	-	nd	-	nd
Tetracycline (30 μ g)	-	nd	-	nd	-	nd	26	nd	32	nd	34	nd
Chloramphenicol 30 μ g)	-	nd	-	nd	-	nd	33	nd	28	nd	21	nd

Animal milk tested (Average of 10 samples tested)	Pathogen Fungal strains tested						Bacterial strains tested					
	<i>C. albicans</i>		<i>T. mentagrophytes</i>		<i>T. rubrum</i>		<i>B. cereus</i>		<i>S. aureus</i>		<i>E. coli</i>	
	DSM 2361		AUMC 5505		AUMC 5488		ATCC 6633		ATCC 8095		ATCC 25922	
	CZD	MLC	CZD	MLC	CZD	MLC	CZD	MLC	CZD	MLC	CZD	MLC
Donkey (sample 1)	-	-	22	32	20	32	18	32	18	64	15	128
Donkey (sample 2)	-	-	17	32	19	32	20	32	19	64	13	128
Donkey (sample 3)	-	-	25	32	24	32	23	32	20	64	15	128

a 每个值代表三个副本的平均值。

b 抑制区直径 (mm) 测量为以含有样品的琼脂孔为中心的透明区域, nd; 不确定

表 2. 乳汁样品对一些皮肤真菌、真菌和细菌的体外抑菌活性以透明区直径 (CZD, mm) 和最小致死浓度 (MLC, mg/mL) a、b 表示

Fatty acid	Common name	Structural Formula	Percentage
C4:0	Butyric acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	1.829
C6:0	Caproic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	1.068
C8:0	Caprylic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	1.608
C10:0	Capric acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	3.000
C11:0	Undecylic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	0.440
C12:0	Lauric acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	2.248
C13:0	Tridecyllic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	0.310
C14:0	Myristic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	2.669
C15:0	Pentadecylic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}\text{COOH}$	0.421
C16:0	Palmitic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	23.753
C16:1	Palmitoleic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	2.242
C17:0	Margaric acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{COOH}$	0.459
C17:1	Heptadecenoic acid (cis-10)	$\text{C}_{17}\text{H}_{32}\text{O}_2$	0.763
C18:0	Stearic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	3.259
C18:1t	elaidic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	0.819
C18:1c	oleic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	25.395
C18:2ω6	Linolenic Acid	$\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$	20.040
C20:0	Arachidic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	3.581
C20:2	eicosadienoic acid	$\text{C}_{20}\text{H}_{36}\text{O}_2$	0.852
C20:3	Dihomo-γ-linolenic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$	0.307
C20:4	Arachidonic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$	0.616
C22:2	Docosadienoic acid	$\text{C}_{22}\text{H}_{40}\text{O}_2$	0.423
C24:0	Lignoceric acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	0.330

表 3. 驴奶的脂肪酸概况。

3.2. 驴奶脂肪酸分析

采用安捷伦 6890 GC 质谱法测定驴奶脂肪酸含量 (表 3)。最终的 GC/MS 结果表明, 23 种化合物 FAME 标准混合物在 60 m x 0.25 mm ID, 0.15 μm 上分离。主要饱和脂肪酸 (表 3) 为棕榈酸 (C16:0)、花生酸 (C20:0)、硬脂酸 (C18:0)、癩酸 (C10:0)、肉豆蔻酸 (C14:0)、月桂酸 (C12:0), 分别为 23.75、3.58、3.26、3.0、2.67 和 2.25%。主要不饱和脂肪酸为油酸 (C18:1c)、亚麻酸 (C18:2 ω 6) 和棕榈油酸 (C16:1), 分别占 25.4%、20.04 和 2.24。发现棕榈酸和棕榈油酸分别占^[25]的 26.3% 和 2.25%。^[26]中棕榈酸占 18.33 ~ 22.37%。

驴奶的化学成分表明, 驴奶的脂质部分具有较高的亚油酸含量 (平均总脂肪酸 8.15 g · 100 g⁻¹) 和亚麻酸含量 (平均总脂肪酸 6.32 g · 100 g⁻¹)。必需脂肪酸 (亚油酸和亚麻酸) 是驴奶中多不饱和脂肪酸类中最具代表性的成分, 其价值高于人奶和其他动物物种的奶。因此, 驴奶可以被认为是一种人体营养的功能性食品, 它在婴儿营养和成人饮食方面的潜在利用, 特别是老年人^{[26]、[36]}。

脂肪酸广泛存在于天然脂肪和膳食油中, 已知它们具有抗菌和抗真菌的特性。据报道, 无香茶脂脂肪酸甲酯提取物对枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、肺炎克雷伯菌、白色念珠菌、克鲁塞菌、热带球菌具有抗菌和抗真菌活性。该提取物含有丰富的棕榈酸、luric 酸, 还含有肉豆蔻酸、硬脂酸、十五烷酸、十七烷酸和少量花生酸^[28]。

研究了脂肪酸对 12 株引起口腔病原菌的抗菌作用, 发现 ω-3 PUSFAs 和 ω-6 PUSFAs 对其中 11 株表现出抗菌作用。驴乳脂中游离脂肪酸含量 9.5%, 而奶牛、绵羊、山羊和人乳脂中游离脂肪酸含量较低 (0.7-1.5%)^{[30]、[31]}。与反刍动物相比, 驴乳脂中多不饱和脂肪酸 (PUFA) 的比例较高, 饱和脂肪酸 (SFA) 和单不饱和脂肪酸 (MUFA) 的比例较低。以绝对值计算, 驴奶平均含 1.69 g/l 多 PUFA、5.46 g/l SFA 和 1.96 g/l MUFA, 而人奶分别为 5.78 g/l、15.2 g/l 和 16.9 g/l, 牛奶^[25]为 1.31 g/l、25.8 g/l 和 9.2 g/l。马奶和驴奶的脂肪酸主要是不饱和脂肪酸或短链脂肪酸, 从营养的角度来看, 这很有趣。马奶和驴奶中亚油酸 (n 6 C18: 2) 和亚麻酸 (n-3 C18: 3) 的含量也比牛奶高 (分别是牛奶的 5 倍和 224 倍)。亚麻酸、亚油酸和油酸表现出的抗真菌活性可能在控制植物重要病原菌^[33]中发挥作用。

结果表明, 月桂酸 C12 是对革兰氏阳性菌^[34]抑制作用最强的饱和脂肪酸。

虽然溶菌酶因其浓度高而被指定为驴奶中的主要抗菌剂, 但已经在驴奶中确定的一些脂肪酸可能对整体抗菌^[35]很重要。长链多不饱和脂肪酸由于其抗菌效力和抗炎特性, 作为治疗革兰氏阳性感染的潜在新外用法正引起人们的关注。研究发现, 长链多不饱和脂肪酸^{[36]、[37]}在 15-30 分钟内杀死了金黄色葡萄球菌细胞。此外, 与长链单甘油酯^[38]相比, 在牛奶和婴儿配方奶粉中添加 8-12 碳的脂肪酸和单甘油酯具有更强的抗病毒和抗菌作

用。此外, 驴奶中检测到的脂肪酸中亚油酸、月桂酸和油酸对单核增生李斯特菌和金黄色葡萄球菌^[39]具有抗菌活性。

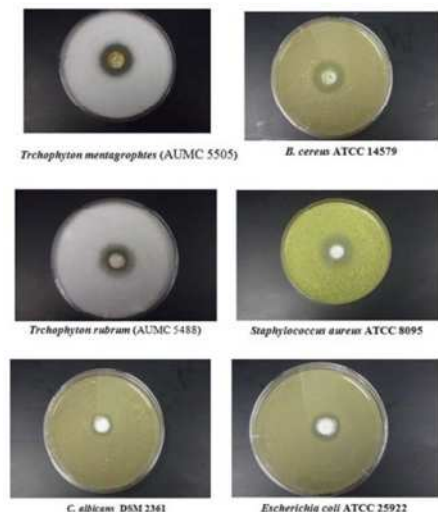


图 1. 驴奶对一些皮肤真菌和食源性细菌的抑菌活性

4. 结论

最后, 在本研究结果的基础上, 考察了驴奶对经常引起急性或慢性炎性体癣的金黄色葡萄球菌和红毛菌的抗菌活性; 在化妆品和制药工业中, 可能被认为是一种具有新颖功能特性的有价值的天然产品。

确认

作者要感谢罗莎娜·保利诺博士和哈泽姆·埃尔沙菲博士(意大利巴斯利卡塔大学)通过 GC 质谱分析驴奶脂肪酸组成的帮助。

参考文献

- [1] Tafaro A, Magrone T, Jirillo F, Martemucci G, D'Alessandro AG, Amati L, Jirillo E. Immunological properties of donkey's milk: its potential use in the prevention of atherosclerosis. *Curr Pharm Des* 2007;13:3711-3717.
- [2] Weitzman I, Summerbell RC. The Dermatophytes. *Clinical Microbiology Reviews* 1995;8(2):240-259.
- [3] Vincenzetti S, Polidori P, Mariani P, Cammertoni N, Fantuz F, Vita A. Donkey's milk protein fractions characterization. *Food Chemistry* 2008;106:640-649.
- [4] Saric LC, Saric BM, Mandic AI, Torbica AM, Tomi LM, Cvetkovi DD. Antibacterial properties of Domestic Balkan donkeys' milk. *International Dairy J* 2012;25:142-146.
- [5] Zhang XY, Zhao L, Jiang L, Dong ML, Ren FZ. The antimicrobial activity of donkey milk and its microflora changes during storage. *Food Control* 2008;19:1191-1195.
- [6] Benkerroum N, Mekkaoui M, Bennani N, Hidane K. Antimicrobial activity of camel's milk against pathogenic

strains of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes*. *International Journal of Dairy Technology* 2004;57:39-43.

[7] Benkendorff K, Davis AR, Rogers CN, Bremner JB. Free fatty acids and sterols in the benthic spawn of aquatic mollusks and their associated antimicrobial properties. *J Exp Marine Biol Ecol* 2005;316:29-44.

[8] Farrington M, Brenwald N, Haines D. Resistance to desiccation and skin fatty acids in outbreak strains of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *J Med Microbiol* 1992;36:56-60.

[9] Zheng CJ, Yoo JS, Lee TG. Fatty acid synthesis is a target for antibacterial activity of unsaturated fatty acids. *FEBS Lett* 2005;579:5157-5162.

[10] Chiofalo B, Salimei E, Chiofalo L. Acidi grassi nel latte d.asina: proprietà bionutrizionali ed extranutrizionali. *Large Animal Review* 2003;6:21-26.

[11] AOAC. Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis*. 17th ed. Washington, DC, USA 2000.

[12] Kosikowski FV. *Cheese and Fermented Milk Foods*. (2nd ed.), F.V. Kosikowski and Associates, Brooktondale, New York, USA, 1982; pp. 329-333.

[13] David F, Sandra P, Vickers AK. Column selection for the analysis of fatty acid methyl esters. *Agilent Technologies* August 30, 5989- 3760EN 2005.

[14] Thammasirak S, Pukcothanung Y, Preecharram S, Daduang S, Patramanon R, Fukamizo T, Araki T. Antimicrobial peptides derived from goose egg white lysozyme. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C* 2010;15:84-91.

[15] Torres A, Garedew A, Schmolz E, Lamprecht I. Calorimetric investigation of the antimicrobial action and insight into the chemical properties of "angelita" honey- a product of the stingless bee *Tetragonisca angustula* from Colombia. *Thermochim Acta* 2004;415:107-113.

[16] Elbanna K, Attalla K, Elbadry M, Abdeltawab A, GamalEldin H, Ramadan M. Impact of floral sources and processing on the antimicrobial activities of different unifloral honeys. *Asian Pacific J of Tropical Disease* 2014;4(3):194-200.

[17] Jobran ELR, Finegold SM. *Diagonative Microbiology*. 9th ed. part 2 pp: 168-188. Mosby Saint Louis, USA 1994.

[18] Assiri A, Elbanna K, Al-Thubiani A, Ramadan M. Coldpressed oregano (*Origanum vulgare*) oil: a rich source of bioactive lipids with novel antioxidant and antimicrobial properties. *Eur Food Res Technol* 2016;242:1013-1023.

[19] Zhang H, Zhang L, Pengl L, Dong X, Wu D, Wu

VC, Feng F. Quantitative structure-activity relationships of antimicrobial fatty acids and derivatives against *Staphylococcus aureus*. *J Zhejiang Univ-Sci B (Biomed & Biotechnol)* 2012;13(2):83-93.

[20] Tidona F, Sekse C, Criscione A, Jacobsen M, Bordonaro S, Marletta D, Vegarud GE. Antimicrobial effect of donkeys' milk digested in vitro with human gastrointestinal enzymes. *International Dairy J* 2011;21:158-165.

[21] Guo HY, Pang K, Zhang XY, Zhao L, Chen SW, Dong ML. Composition, physiochemical properties, nitrogen fraction distribution, and amino acid profile of donkey milk. *J of Dairy Science* 2007;90:1635-1643.

[22] Jollès P, Jollès J. What's new in lysozyme research? Always a model system, today as yesterday. *Mol Cell Biochem* 1984;63(2):165-189.

[23] Cunningham L, Bowles NE, Archard LC. Persistent virus infection of muscle in postviral fatigue syndrome. *Br Med Bull* 1991;47:852-871.

[24] Banks JG, Board RG, Sparks NH. Natural antimicrobial systems and their potential in food preservation of the future. *Biotechnol Appl Biochem* 1986;8:103-147.

[25] Gastaldi D, Bertino E, Monti G, Baro C, Fabris C, Lezo A. Donkey's milk detailed lipid composition. *Frontiers in Bioscience* 2010;E2:537-546.

[26] Martemucci G, D'Alessandro AG. Fat content, energy value and fatty acid profile of donkey milk during lactation and implications for human nutrition. *Lipids in Health and Disease* 2012;11(113):1-14.

[27] Chiofalo B, Azzara V, Venticinque L, Piccolo D, Chiofalo L. Variations of fatty acids in Ragusana ass.s milk during lactation. 55th Annual Meeting of the EAAP, September 5th-9th, 2004, Bled, Slovenia. 2004;Session:H4.16.

[28] Agoramoorthy G, Chandrasekaran M, Venkatesalu V, Hsu M.J. Antibacterial and antifungal activities of fatty acids methyl esters of the Blind-your-eye Mangrove from India. *Brazilian J of Microbiol* 2007;38:739-742.

[29] Choi JS, Park NH, Hwang SY, Sohn JK, Kwak

I, Cho KK, Choi IS. The antibacterial activity of various saturated and unsaturated fatty acids against several oral pathogens. *J of Environmental Biology* 2013;34:673-676.

[30] Park SE, Yoo HS, Jin CY. Induction of apoptosis and inhibition of telomerase activity in human lung carcinoma cells by the water extract of *Cordyceps militaris*. *Food Chem Toxicol* 2009;47(7):1667-1675.

[31] Uniacke-Lowe T. Studies on equine milk and comparative studies on equine and bovine milk systems. PhD thesis. Cork: University College Cork 2011.

[32] Salamon RV, Salamon Sz, Csapó-Kiss ZS, Csapó J. Composition of mare's colostrums and milk. I. Fat content, fatty acid composition and vitamin contents. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria* 2009;2:119-131.

[33] Walters D, Raynor L, Mitchell A, Walker R, Walker K. Antifungal activities of four fatty acids against plant pathogenic fungi. *Mycopathol* 2004;157(1):87-90.

[34] Kabara JJ, Swieczkowski DM, Conley AJ, Truant JP. Fatty Acids and Derivatives as Antimicrobial Agents. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 1972;2(1):23-28.

[35] Salimei E, Fantuz F. Equid milk for human consumption. *International Dairy J* 2012;24:130-142.

[36] Desbois AP, Lawlor KC. Antibacterial Activity of long-chain polyunsaturated fatty acids against *Propionibacterium acnes* and *Staphylococcus aureus*. *Mar Drugs* 2013;11(11):4544-4557.

[37] Andrew P, Desbois AP, Lawlor KC. Antibacterial Activity of Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids against *Propionibacterium acnes* and *Staphylococcus aureus*. *Mar. Drugs* 2013;11:4544-4557.

[38] Isaacs CE, Litou RE, Thormar H. Antimicrobial activity of lipids added to human milk, infant formula, and bovine milk. *J Nutr Chem* 1995;6:362-366.

[39] Saric LC, Saric BM, Kravic SZ, Plavšić DV, Milovanović ILJ, Gubić JM, Nedeljković NM. Antibacterial activity of Domestic Balkan donkey milk toward *Listeria monocytogenes* and *staphylococcus aureus*. *Food and Feed Research* 2014;41(1):47-54.