

类程月, 周晓琴, 王琪, 等. 松树精油成分分析及其生理功能的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(11): 398–405. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050240

LEI Chengyue, ZHOU Xiaoqin, WANG Qi, et al. Research Progress on Composition Analysis and Physiological Function of Essential Oils of Pines[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(11): 398–405. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050240

· 专题综述 ·

松树精油成分分析及其生理功能的研究进展

类程月¹, 周晓琴¹, 王琪¹, 郭亭好¹, 李德海^{1*}, 杨凯²

(1. 东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040;

2. 中粮营养健康研究院有限公司, 北京 102209)

摘要:近年来, 研究表明松树精油具有抑菌活性、抗氧化活性以及提神醒脑等生理功能, 而且安全性高, 是一种良好的天然防腐剂和抗氧化剂。但是松树种类繁多, 不同种松树及同种松树不同部位的精油含有的化学成分亦不相同, 其生理功能也存在显著差别。本文对不同品种、不同部位的松树精油成分、结构和性质进行了总结并归纳了松树精油的抑菌性、抗氧化性、降血糖活性、治疗癌症等功能的机理, 为松树资源的开发及松树精油在天然食品添加剂中的应用提供参考。

关键词: 松树, 植物精油, 化学成分, 生理功能, 开发利用

中图分类号: TS201

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)11-0398-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050240

本文网刊:



Research Progress on Composition Analysis and Physiological Function of Essential Oils of Pines

LEI Chengyue¹, ZHOU Xiaoqin¹, WANG Qi¹, GUO Tinghao¹, LI Dehai^{1*}, YANG Kai²

(1. College of Forestry, Northeast Forest University, Harbin 150040, China;

2. COFCO Nutrition and Health Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China)

Abstract: In recent years, studies have shown that pine essential oil which has antibacterial activity, antioxidant activity, refreshing and other physiological functions is a good natural preservative and antioxidant with high security. However, there are many kinds of pine, and the essential oils of different species and different parts of the same pines have different chemical compositions, and their physiological functions are also significantly different. This paper summarizes the chemical components, structure and nature of different varieties and parts of pine essential oil in detail, and summarizes the mechanism of physiological functions of pine essential oil such as antibacterial activity, antioxidant activity, hypoglycemic activity, anticancer activity and so on, in order to provide reference for the development of pine resources and the application of pine essential oil in natural food additives.

Key words: pine tree; plant essential oil; chemical composition; physiological function; development and utilization

松树(学名: *Pinus*)是松科、松属植物, 资源丰富。松树种类有八十余种, 主要分为马尾松、白皮松、罗汉松、大别山五针松、黑松、华山松、红松、樟子松等^[1]。松树松子可供食用或药用, 松树种鳞、松针、树皮可以制备精油。松树作为一种分布广泛, 储量丰富的资源目前已经得到国内外学者的重视, 从中

提炼出的精油^[2]就是一种极具价值的产品。其在保鲜剂、食品添加剂、医药、杀虫剂等领域有良好的应用前景^[3], 特别是在食品领域, 松树精油为新型天然添加剂和天然保鲜剂的开发提供了可能。

近年来, 松树精油的成分分析已经成为国内外学者研究的热点, 目前已对多种不同种类、不同部

收稿日期: 2021-05-28

基金项目: 东北林业大学校级大学生创新创业训练计划项目(DC2020023); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2572019BA04); 哈尔滨市科技局创新研究基金(2017RAQXJ091)。

作者简介: 类程月(2000-), 女, 本科, 研究方向: 食品加工及植物有效成分制备和利用, E-mail: 1372101402@qq.com。

* 通信作者: 李德海(1976-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品加工及植物有效成分制备和利用, E-mail: lidehainau@163.com。

位、不同季节的松树精油进行了提取及成分分析。研究表明,多种松树精油具有优越的抑菌性能和抗氧化性^[4],同时松树精油的一些特殊生理功能引起了国内外的广泛关注,其对多种疾病的治疗功能及其作用机理已成为研究热点。但与单种化合物的作用不同,松树精油具有复杂多变的成分,且其成分与作用间不呈现单一的关系,其作用效果不一且受多种因素的影响。目前缺少对不同松树精油成分、抑菌效果、抗氧化功能以及多样生理功能的总结和归纳。因此,本文从松树精油的成分、含量及其生理功能与机理等几方面进行总结及比较分析,并对其部分规律进行归纳。以期为松树精油复杂的功能作用与成分间的研究及未来开发绿色、安全的功能性食品提供参考,进一步扩大松树资源的利用。

1 松树精油的化学成分分析

近年来很多学者制备各种松科植物精油并对其成分进行检测分析。不同部位提取的松树精油富含不同化学成分,主要含有萜烯类、醛类、酯类、醇类等。

1.1 松树种鳞精油的化学成分分析

松树种鳞是松子的副产物,资源十分丰富但是利用率低,通过研究发现种鳞可以用来提取精油。通过盐析辅助水蒸气蒸馏法(Salt out-assisted steam distillation, SOSD)制备的偃松种鳞精油中萜烯类含量丰富^[5];红松松塔精油成分以萜类、脂类为主,萜类含量高达 66.25%,脂类占 18.94%^[6]。由表 1 可知偃松和红松松塔精油中都含有柠檬烯和蒎烯等物质,但是含量组成差距很大,偃松中的各种物质的含量远低于红松,如在红松中柠檬烯的含量为 22.67%,而在偃松中仅含 6.67%,偃松中含量最高的 α -松油醇含量仅为 9.91%。在不同种类松树相同部位的精油含量有着较大的差异。

1.2 松树松针精油的化学成分分析

松针也称松叶,是松树类植物的主要副产物之一,大部分松树精油都来自松针。偃松松针中主要含萜类^[7];红松中的主要成分是萜类,含量为 75.93%,其次是脂类 19.96%^[6];岗松松针在鲜叶和干叶提取精油的情况下有所不同^[15],鲜叶中含量最高的成分为 α -侧柏烯,而干叶中含量最高的成分是桉叶素。干叶是鲜叶存放一年所制得,干叶相比鲜叶有一部分成分含量降低,4-松油醇最为明显,从 10.04% 降低到 2.83%,而 β -蒎烯、对伞花烃、桉叶素、松油醇的含量有所增加,其中桉叶素相对质量分数从 5.66% 增加至 17.27%,增加最为明显;云南松中主要成分 α -蒎烯含量高达 64.23%^[8];马尾松中主要含有烯萜类物质^[9],雪松松针中主要含有烯萜类物质,含量最高的是月桂烯,其次是 α -蒎烯、 β -蒎烯、松油醇和石竹烯等^[11];樟子松中的主要成分是 δ -杜松烯、 α -杜松醇、 τ -依兰醇、 γ -杜松烯^[11],和以上几种松树松针的成分有明显差异;罗汉松中的主要成分是 α -石竹烯、 β -石竹烯、 α -蒎烯^[10]。

综上所述可以看出在松针精油中主要存在的化学成分为 α -蒎烯、 β -蒎烯和石竹烯等。 α -蒎烯在不同种松树中含量有一定的差异,云南松针叶精油中 α -蒎烯含量高达 64.23%,而其它精油中含量基本都在 20%,岗松干叶和樟子松中的 α -蒎烯含量较低不足 10%。

1.3 松树其他部位精油的化学成分分析

松树特有的松香气味成分遍布各个部位,有研究学者发现松树的皮、根、松枝和木材中均含有丰富的挥发性成分和功能性成分。红松的种壳中含有约 5.23% 的萜烯类成分,黄酮类高达 59.39%,其次是脂类含量较高,为 14.31%,松壳精油中主要的脂类是酞酸二乙酯,醇类含量为 10.98%,还含有少量烷烃类及其他成分^[6];马尾松、油松、巴山松中主要含有较高质量的 α -蒎烯,三种松树的特有成分分别是长叶烯、 γ -广藿香烯、2-13 酮^[12-14];马尾松中精油主要来源于树皮^[13],主要成分为月桂烯、3-蒎烯等;文福姬等^[14]研究松树枝中主要成分是 γ -萜品烯、 α -蒎烯等。

综上所述可知,松树精油是一种以萜烯类为主要成分具有强烈的芳香松脂气味的混合物。萜烯类物质是松树精油中的主要成分,其中,含量最多的成分一般是 α -蒎烯,含量较多的为 β -蒎烯、石竹烯等。油松树木精油的 α -蒎烯含量高达 87.38%,其它精油中其含量也基本在 20% 左右。特别的,樟子松、罗汉松松针精油中 α -蒎烯含量较少不足 10%。精油中的其他成分为脂类还有少量烷烃类。不同部位松树精油的主要成分不同且整体成分含量也有较大差距,如红松种鳞中主要成分是柠檬烯,松针中主要成分是 α -蒎烯,而松壳中主要成分是 4-羟基-4-甲基-2-戊酮且松壳中各成分的含量占比较高;偃松中针叶精油各成分含量高于种鳞精油中成分含量;马尾松树木精油中的 α -蒎烯含量远高于树皮中的含量。

对于产生以上差距的原因,有研究表明^[16-17],广泛存在于松科植物精油中的萜类含量不仅与部位有关,还受周围环境的影响^[18],比如土壤、水质、空气质量等。松树不同部位的组成和所含的营养成分不同,导致相应的精油成分存在差异。有研究发现,同一地区不同植物中提取的精油含有相似度极高的成分,可见环境对松树精油成分有所影响,所以不同种类的松树因为生长环境不同,即使是同一器官的精油成分也必然存在差异^[19]。

2 松树精油生理功能的研究

松树精油中含有丰富的萜烯类等活性成分,具有多种生理功能,已成为研究热点。下面通过对文献资料的总结主要介绍了松树精油的抑菌性、抗氧化性、降血糖作用、抗肿瘤作用等功能。

2.1 松树精油抑菌功能的研究

多数松树精油具有广泛的抑菌效果,在食品领域有作为抗菌添加剂替代品的潜力^[20]。研究表明,植物精油的抑菌机理是影响病菌的细胞壁、细胞膜功

表 1 松树不同部位精油的化学成分及其含量的分析
Table 1 Analysis of chemical constituents and contents of essential oils from different parts of pine

松树部位	松树种类	植物源的拉丁名称	主要化学成分	含量(%)	参考文献
种鳞	偃松	<i>Pinus pumila</i>	α -松油醇	9.91	[5]
			β -蒎烯	7.62	
			长叶烯	6.72	
			柠檬烯	6.67	
			西柏烯	6.51	
	红松	<i>Pinus koraiensis</i> Siebold et Zuccarini	α -石竹烯	5.96	[6]
			柠檬烯	22.67	
			蒎烯	22.18	
			5-甲基-2-(1-甲基乙烯基)-4-己烯-1-醇乙酸酯	14.13	
松针	偃松	<i>Pinus pumila</i>	α -蒎烯	24.70	[7]
			β -水芹烯	12.62	
			γ -依兰油烯	10.72	
	红松	<i>Pinus koraiensis</i> Siebold et Zuccarini	α -蒎烯	26.15	[6]
			左旋乙酸冰片酯	13.08	
			(+)-3- 蒎烯	11.57	
			β -石竹烯	8.76	
	云南松	<i>Pinus yunnanensis</i> Franch	α -蒎烯	64.23	[8]
			β -蒎烯	10.66	
			α -水芹烯	7.61	
			香橙烯	5.29	
			β -毕澄茄烯	3.45	
			樟脑萜	2.62	
	马尾松	<i>Pinus massoniana</i> Lamb	柠檬烯	2.27	[9]
			β -蒎烯	41.95	
			α -蒎烯	22.78	
			β -水芹烯	5.03	
	雪松	<i>Cedrus deodara</i> (Roxburgh) G. Don	石竹烯	4.09	[10]
			月桂烯	30.45	
			α -蒎烯	29.04	
			β -蒎烯	16.49	
其他部位	樟子松	<i>Pinus sylvestris</i> Linn. var. <i>mongolica</i> Litv	松油醇	9.29	[11]
			δ -杜松烯	18.55	
			α -杜松醇	10.23	
			τ -依兰醇	9.84	
	罗汉松	<i>Podocarpus macrophyllus</i>	γ -杜松烯	8.60	[10]
			γ -依兰油烯	7.48	
			α -蒎烯	7.33	
			α -石竹烯	15.34	
	松壳	<i>Pinus koraiensis</i> Siebold et Zuccarini	β -石竹烯	14.03	[6]
			α -蒎烯	9.32	
			4-羟基-4-甲基-2-戊酮	39.62	
	马尾松	<i>Pinus massoniana</i> Lamb	4,6,6-三甲基二环[3.1.1]庚-3-烯-2-酮	18.37	[12]
			酞酸二乙酯	12.99	
			α -蒎烯	49.60	
	油松	<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr	1,8-蒎二烯	3.14	[13]
			长叶烯	20.51	
			α -蒎烯	87.38	
树皮	巴山松	<i>Pinus henryi</i> Mast	1,8-蒎二烯	0.73	[14]
			γ -广藿香烯	3.43	
			α -蒎烯	78.10	
	马尾松	<i>Pinus massoniana</i> Lamb	3-蒎烯	2.85	[13]
			2-13酮	1.13	
			α -蒎烯	7.10	
	松枝	<i>Pinaceae</i>	月桂烯	24.60	[14]
			3-蒎烯	18.50	
			α -蒎烯	16.56	
	韩国松树	<i>Pinaceae</i>	γ -蒎品烯	24.21	[14]
			反-丁子香烯	8.09	

能^[21] 或损伤微生物的酶系统^[22-23] 且不同的松树精油有其独特的作用和优势^[24]。

影响松树精油抑菌活性的因素主要有松树品种、部位及化学成分含量等,由表 2 可知: a.品种相似的松树精油具有相似的抑菌活性,如 6 种杜松属植

物精油具有相似的抑菌活性^[26]; b.同一品种不同部位的松树精油抑菌性有显著差异,如波士尼亚松松针精油的抑菌性能要比波士尼亚松木材精油弱的多^[19,25]; c.不同松树最敏感的菌种不同,多数对金黄色葡萄球菌有抑制作用,四种松树精油对金黄色葡萄球菌的抑

表 2 松树精油抑菌功能的研究
Table 2 Study on the bacteriostatic function of pine essential oil

松树精油	抑菌功能				参考文献
	革兰氏阳性细菌	革兰氏阴性细菌	真菌	抑菌能力	
波士尼亚松(<i>Pinus heldreichii</i>)针叶精油	金黄色葡萄球菌	大肠杆菌		MIC值为2.20~2.45 mg/mL	[25]
杜松(<i>Juniperus rigida</i> Sieb. et Zucc.)	金黄色葡萄球菌、蜡状芽孢杆菌、产气荚膜梭菌		光滑念珠菌	最大抑菌圈直径33.7 mm(产气荚膜梭菌)	[26]
甘松(<i>Nardostachys chinensis</i> Bat.)	金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌	大肠杆菌	木霉、酿酒酵母	最大抑菌圈直径22.7 mm(酿酒酵母)	[27]
红松(<i>Pinus koraiensis</i> Siebold et Zuccarini)	金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌	大肠杆菌		最大抑菌圈直径15.20 mm(金黄色葡萄球菌)	[28]
樟子松(<i>Pinus sylvestris</i> Linn. var. <i>mongolica</i> Litv.)	索拉尼、腐烂假单胞菌、茄科、根癌农杆菌、枯草芽孢杆菌、黄茶、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌金黄色葡萄球菌994、铜绿假单胞菌、单核细胞增生李斯特菌、枯草芽孢杆菌6633、奇异假单胞菌、大肠杆菌K12、绿藻、粪链球菌、阴沟肠杆菌、沙雷氏菌、气单胞菌荧光假单胞菌、寻常变形杆菌、奇异变形杆菌、摩根氏菌	伤寒沙门氏菌、鼠伤寒沙门氏菌亚利桑那沙门氏菌、肠炎沙门氏菌、肺炎克雷伯菌、臭克雷伯氏菌、产酸克雷伯菌	尖孢镰刀菌、谷胶镰刀菌、拟南芥、丝核菌、纳瓦尔、链格孢菌、索氏芽孢杆菌尖孢镰刀菌、谷胶镰刀菌、丝核菌、链格孢菌	最大抑菌圈直径34.00 mm(金黄色葡萄球菌994)	[29]

菌能力从大到小为樟子松(34.00 mm)、杜松(27.7 mm)、甘松(15.9 mm)、红松(15.20 mm)^[26-29]; d.抑菌活性的差距与松树精油的成分有密切关系, α -蒎烯的含量代表了非常重要的抗菌能力,但在化学成分复杂的松树精油中,主要抗菌化合物含量高低并不一定能评判精油的抗菌潜力,在一定程度上,抑菌能力取决于主要抗菌化合物与次要化合物如柠檬烯的协同作用^[25]。

2.2 松树精油抗氧化功能研究

多数植物精油具有抗氧化功能,其中的酚类物质是抗氧化的主要活性成分,作用途径主要包括直接作用:清除自由基、与金属离子螯合和间接作用:抑制细胞膜脂质过氧化和调节氧化酶^[30]。

如表 3 可知,不同品种和地区的松树精油成分不同,其抗氧化能力也不同。由表可知,雪松精油、红松精油、甘松精油、樟子松精油等具有自由基清除能力,而 Ustun 等^[31]研究表明地中海松松针和嫩枝精油则具有较弱的清除自由基的能力,阿尔及利亚的 10 种地中海松精油则具有不同程度的较高的自由基清除能力及 β -胡萝卜素漂白能力。对其成分研究表明,成分以石竹烯氧化物为特征的地中海松精油在四项测试中显示出最高的抗氧化活性;成分以对伞花烃为特征的地中海松精油,通过四项测试显示出相对中等的抗氧化活性;成分以 α -蒎烯为特征的地中海松精油,在四项测试中显示出最低的抗氧化活性^[32]。

松树精油的抗氧化能力大小与精油浓度、松树部位及存在状态有关。松树精油浓度越高自由基清除率越高^[28]。在黑松、樟子松、地中海松嫩枝和针叶精油的抗氧化能力对比实验中,樟子松嫩枝精油具有最高的金属螯合活性(72.46%±3.72%)。松树精油乳液比松树精油具有更好的抗氧化性,雪松精油的两种乳液 ABTS、DPPH 自由基清除能力及铁还原能力

均大于纯雪松精油,这可能与乳剂的水溶性有关。且抗氧化性的强弱与乳化剂的种类有关,以吐温 80 和司盘 80 以 1:2 的比例复配的雪松精油乳剂的清除能力及还原能力均大于以辛烯基琥珀酸淀粉酸酐(OSA)改性的淀粉复配的雪松精油乳剂^[33]。松树精油的抗氧化性能极高,红松针叶精油对三种自由基(DPPH 自由基、ABTS 自由基、超氧阴离子(O^{2·-})自由基)的半数清除率均超过同质量浓度的 V_C^[28]。

2.3 松树精油降血糖活性研究

控制并降低血糖是治疗糖尿病的有效途径,据报道松科植物中含有多种挥发性成分,具有降低血糖的活性。研究表明松树精油对 α -淀粉酶有抑制活性且抑制活性随精油的浓度增加而增加,通过抑制 α -淀粉酶来降低血糖水平是抗糖尿病的一个重要治疗方法,因此这种有效的 α -淀粉酶抑制能力可提供治疗糖尿病的有效方法^[32]。而雪松松果精油、黑松锥油、油松精油也具有抑制 α -淀粉酶的活性,其中,当雪松松果精油浓度为 600 $\mu\text{g/mL}$ 时,抑制率达到 88.03%, IC₅₀ 值为(119.67±0.72) $\mu\text{g/mL}$; 当黑松锥油浓度在 500 $\mu\text{g/mL}$ 时,抑制率为 92.10%; 当油松精油浓度为 600.00 $\mu\text{g/mL}$ 时,抑制率达到 81.66%, IC₅₀ 值为(107.60±0.70) $\mu\text{g/mL}$ 。这种抑制活性与其中的活性化合物有关,通过分子对接法对以上松树精油抑制 α -淀粉酶有效成分的筛选表明长蒎烯、芳香树烯、长叶烯分别是以上精油中的主要活性成分,长叶烯通过范德华力、溶剂化力和静电力与 α -淀粉酶的催化残基相互作用而稳定在活性位点从而抑制 α -淀粉酶的活性。此外, α -古巴烯、 β -古巴烯、石竹烯和 γ -毕澄茄烯对 α -淀粉酶也具有潜在的抑制活性,这些活性化合物单独或协同作用可抑制 α -淀粉酶活性^[34-37]。

2.4 松树精油抗肿瘤功能研究

目前癌症化学疗法经常受到耐药性和部分危及

表 3 松树精油抗氧化功能的研究
Table 3 Study on antioxidation function of pine essential oil

植物精油	抗氧化效果	总还原能力(吸光值)	参考文献
雪松(<i>Cedrus deodara</i>)木精油	清除DPPH自由基、ABTS自由基	0.06(0.20 mg/mL)	[30]
红松(<i>Pinus koraiensis</i> Siebold et Zuccarini)松针精油	清除DPPH自由基、ABTS自由基、超氧阴离子(O ^{2·-})自由基	1.40(0.25 mg/mL)	[28]
甘松(<i>Nardostachys chinensis</i> Bat.)	清除DPPH自由基	0.49(0.5 mg/mL)	[27]
黑松(<i>Pinus nigra</i>)松针精油	清除DPPH自由基	0.15(0.25 mg/mL)	[31]
黑松(<i>Pinus nigra</i>)嫩枝精油		0.13(0.25 mg/mL)	
樟子松(<i>Pinus sylvestris</i>)松针精油	清除DPPH自由基	0.16(0.25 mg/mL)	[31]
樟子松(<i>Pinus sylvestris</i>)嫩枝精油		0.12(0.25 mg/mL)	
意大利石松(<i>Pinus pinea</i>)松针精油	清除DPPH自由基	0.15(0.25 mg/mL)	[31]
意大利石松(<i>Pinus pinea</i>)嫩枝精油		0.12(0.25 mg/mL)	
地中海松(<i>Pinus halepensis</i>)松针精油	与金属离子螯合、清除DPPH自由基、 β -胡萝卜素漂白	0.14(0.25 mg/mL)	[31-32]
地中海松(<i>Pinus halepensis</i>)嫩枝精油		0.15(0.25 mg/mL)	

生命的副作用的影响,因此,迫切需要具有改进功能的新型治疗方案。研究表明,一些天然的植物成分已用于癌症治疗^[38],且松树精油中含有的成分 α -蒎烯、 β -蒎烯已被证明可作为针对相同或不同肿瘤细胞系的良好抗增殖剂^[39],来自植物的天然产物已经成为开发新型抗癌剂的沃土。乔松(*Pinus wallichiana*)针叶精油有清除自由基的能力,并且通过体外抗增殖实验证实其对五种人类肿瘤细胞系(单核细胞(THP-1)、肺癌(A-549)、肝癌(HEP-1)、前列腺(PC-3)和卵巢癌(IGR-OV-1))有抗增殖活性,精油含量为100 $\mu\text{g/mL}$ 时对四种肿瘤细胞的生长抑制百分比分别为(96% $\pm$ 2.08%)、(92% $\pm$ 1.04%)、(62% $\pm$ 3.05%)、(59% $\pm$ 3.89%)、(83% $\pm$ 2.04%)。其中,有效成分为氧化石竹烯、 α -卡地诺、 α -萜草烯、 α -蒎烯、 β -蒎烯、 α -水芹烯和反式石竹烯^[40],红松松果精油能够抑制人胃癌细胞(MGC-803)的增殖和迁移。它可以阻止G2/M期的细胞周期、降低线粒体膜电位从而诱导细胞凋亡。其抑制机理与其对基因的调整以及调节HIPPO/YAP(Yes-associated protein)信号通路有关^[41]。此外,其纳米乳液也具有抗肿瘤功能,精油纳米乳液能提高精油的分散性和稳定性,降低其刺激性,提高其在体内的生物利用度。相似的,红松松果纳米乳液可通过下调YAP1/TEAD及其靶蛋白结缔组织生长因子(CTGF)、双调蛋白(AREG)和GLI2(GLI family zinc finger 2)的表达来调节HIPPO/YAP信号通路及其下游信号传导,从而抑制MGC-803细胞的增殖,精油纳米乳低剂量组、精油纳米乳高剂量组、精油治疗小鼠肿瘤相对增殖率分别为36.95%、30.23%、34.57%^[42]。以上研究表明,松树精油具有治疗癌症的前景,但也存在不足,如乔松针叶精油的毒性问题还未解决,需要进一步研究确认这种油在动物模型中的药理活性。

2.5 其他作用研究

据报道松树精油在医学上还具有预防治疗肝肾损害、阿兹海默症、外伤等多种疾病的前景。其中,樟子松精油可以通过降低葡萄糖、肌酸酐、脂质过氧化、胆固醇和蛋白质水平等增强酶抗氧化防御,从而

抑制阿司匹林诱导的肝肾损害^[43],同时,可以显著提高细胞活力,使超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性显著下降从而抑制阿司匹林诱导的小肠上皮细胞毒性^[44]。此外,樟子松精油还具有促智和神经保护活性,它能使急性淀粉样蛋白- β (1-42)毒性大鼠海马体中平衡氧化剂-抗氧化剂和乙酰胆碱酯酶作用受到影响,从而可以被认为是减轻急性淀粉样蛋白- β (1-42)毒性和神经元功能障碍的治疗工具^[45]。黑松、地中海松、波士尼亚松(*P. heldreichii* subsp. *leucodermis*)等松树精油也具有胆碱酯酶抑制活性。其中,地中海松针叶精油表现出较高的乙酰胆碱酯酶(AChE)(83.91% $\pm$ 3.95%)和丁酰胆碱酯酶(BChE)(80.62% $\pm$ 2.95%)抑制活性。其中, β -水芹烯等可能有协同作用,许多常见的基本成分中 α -蒎烯对AChE的抑制最活跃,反式石竹烯和松油烯-4-醇强烈抑制BChE。 α -蒎烯、 β -蒎烯和柠檬烯的比例可能是松树精油对AChE和BChE产生强烈抑制作用的主要因素^[31]。通过抑制两种胆碱酯酶AChE和BChE来恢复人乙酰胆碱的水平可以治疗阿尔茨海默病和其他类型痴呆症^[46]。在土耳其民间医学中,松类被用于治疗风湿性疼痛和外伤。对多个品种松树精油的伤口愈合活性评估表明,意大利石松(*Pinus pinea*)、叙利亚松(*Pinus halepensis*)、黎巴嫩雪松(*Cedrus libani*)等有明显的伤口愈合活性^[47-48]。其作用机理是精油起到抑制透明质酸酶、清除自由基、抗氧化、抗炎、抑菌等几方面的作用,从而加快创面愈合。研究认为,精油成分中的柠檬烯是伤口愈合过程中重要的单萜^[49],同时 α -蒎烯也是一种具有消炎作用的重要单萜,通过其抗炎作用能够加快伤口愈合^[50]。

除治疗疾病的功能外,实验证实松树精油对虫有一定的毒性^[51],目前,雪松精油已被用作杀虫剂和动物疾病的管理^[52]。研究表明雪松和马尾松针叶精油对白纹伊蚊和致倦库蚊成蚊有熏杀作用且雪松叶精油和马尾松叶精油比一摸香(*Zanthoxylum beecheyanum* var. *alatum*)叶、辽细辛(*Asarum heterotropoides* var. *mandshuricum*)精油对蚊虫的熏蒸活性更强^[19]。但有些松树精油对虫的毒性则很弱,波士尼亚松精油

对发育中的果蝇幼虫的毒性较低,而地中海松精油在浓度高达 3% 时未显示任何毒性迹象。这种毒性与种类和成分有很大关系。在果蝇模型中,果蝇的发育时间延迟和死亡率与精油中的萜烯含量呈正相关^[53]。多项研究^[54-57]表明化合物 α -蒎烯、 β -蒎烯、 α -水芹烯、 α -松油烯和 γ -松油烯等对蚊虫具有毒杀活性。

3 结语

不同来源松树精油含有的萜烯类成分相似,但含量因松树种类、部位以及制备方法的不同而具有显著差异。目前,松树精油大部分都是来源于松针叶精油,其中, α -蒎烯含量最多最广泛,几乎存在于每一种松树精油中。松树精油普遍具有良好的抑菌功能,其中,松树精油对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌抑制效果最好,而且多数松树精油通过清除自由基、螯合金属离子等途径起到抗氧化作用和很强的抗氧化功能。同时,松树精油还具有降血糖、抗肿瘤、治疗阿兹海默症、加速创面愈合及一定的杀虫作用,这些功能很大程度上受其成分的影响。目前,我国虽然拥有大量的松树资源且初步开展了对松树精油治疗疾病的方法和利用的研究^[58-60],但国内对松树精油的生理功能研究较少,尤其缺乏对其作用机理的研究。同时,许多松树精油被证实的功能还未开发出相应产品,未投入使用。针对以上问题,为扩大对松树利用,未来研究应致力于以下几方面。第一,松树还有很多疾病治疗功能未被证实,应加强对松树精油的生理功能研究,尤其是对其作用机理的研究。第二,应用其生理功能开发功能性产品。充分利用每种松树精油其特有作用和优势协调互补研发健康环保的功能性产品。第三,精油微乳也具有抗氧化、抗肿瘤的功能,可以进一步结合微乳技术、包埋技术、纳米乳液技术等提高精油稳定性的技术研究精油的活性,进一步扩大其应用。

参考文献

- [1] 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, 1978: 204. [Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences. Flora of China [M]. Beijing: Science Press, 1978: 204.]
- [2] PHAKAWAT T, SOOTTAWAT B. Essential oils: Extraction, bioactivities, and their uses for food preservation [J]. *Journal of Food Science*, 2014, 79(7): 1231-1249.
- [3] 阿贝乐, 赵国惠. 欧洲赤松精油与经络理论的结合运用 [J]. *国际中医中药杂志*, 2012(3): 229-231. [A B L, ZHAO G H. Application of essential oil of *Pinus densiflora* in combination with Meridian theory [J]. *International Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2012(3): 229-231.]
- [4] 暴晓凯, 李迎宾, 张治萍, 等. 岗松精油对植物病原菌的抑制效果研究 [A]. 中国植物病理学会. 中国植物病理学会 2018 年学术年会论文集 [C]. 中国植物病理学会: 中国植物病理学会, 2018: 1. [BAO X K, LI Y B, ZHANG Z P, et al. Inhibitory effect of *Pinus thunbergii* essential oil on plant pathogens [A]. Chinese Society of Plant Pathology. Proceedings of 2018 annual meeting of Chinese Society of Plant Pathology [C]. Chinese Society for Plant Pathology: Chinese Society for Plant Pathology, 2018: 1.]
- [5] 赵楠楠, 朱晓冉, 王琪, 等. 不同提取方式对偃松松塔精油抑菌活性的影响及其成分分析 [J]. 吉林农业大学学报, 2020, 42(6): 623-632. [ZHAO N N, ZHU X R, WANG Q, et al. Effects of different extraction methods on antimicrobial activity and its chemical components of pinecone essential oil from *Pinus pumila* [J]. *Journal of Jilin Agricultural*, 2020, 42(6): 623-632.]
- [6] 王雪薇, 李德海. 红松不同部位精油的成分分析及抑菌活性 [J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(2): 153-161, 170. [WANG X W, LI D H. Phytochemical composition and antibacterial activity of the essential oils from different parts of Korean pine [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2021, 41(2): 153-161, 170.]
- [7] 金琦, 郭幼庭, 石冬琰, 等. 偃松针叶精油化学组成的研究 [J]. 林产化学与工业, 1994(4): 19-21, 32. [JIN Q, GUO Y T, SHI D Y, et al. Study on chemical composition of essential oil from *Pinus pumila* needles [J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 1994(4): 19-21, 32.]
- [8] 李晓娇, 李悦, 董锦, 等. 云南松针精油的提取及抗氧化活性研究 [J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(7): 27-35. [LI X J, LI Y, DONG J, et al. Optimization of extraction process and antioxidant activity of essential oil from needles of *Pinus yunnanensis* [J]. *China Food Additives*, 2020, 31(7): 27-35.]
- [9] 扶巧梅, 彭映辉, 熊国红, 等. 两种松科植物精油对蚊虫的熏杀活性及其化学成分分析 [J]. 中国生物防治学报, 2013, 29(3): 370-375. [FU Q M, PENG Y H, XIONG G H, et al. Chemical composition and fumigation activity of essential oils from leaves of two species of Pinaceae against mosquitoes [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2013, 29(3): 370-375.]
- [10] 方欣, 张棋彬, 朱振宝, 等. 水蒸气蒸馏罗汉松精油工艺及有效成份分析 [J]. 广州化工, 2015, 43(2): 85-87, 150. [FANG X, ZHANG Q B, ZHU Z B, et al. Analysis of steam distillation technology and effective ingredients for essential oil from *Podocarpus* [J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2015, 43(2): 85-87, 150.]
- [11] 薄采颖, 郑光耀, 宋强. 马尾松、樟子松、臭冷杉针叶精油的化学成分比较研究 [J]. 林产化学与工业, 2010, 30(6): 45-50. [BO C Y, ZHENG G Y, SONG Q. Comparative study on chemical components of essential oils from *Pinus massoniana*, *P. sylvestris* var. *mongolica* and *Abies nephrolepis* needles [J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2010, 30(6): 45-50.]
- [12] 曲式曾, 张付舜, 孙宏义, 等. 几种松树木材和针叶精油成分及巴山松的分类问题 [J]. 西北林学院学报, 1990(2): 1-9. [QU S Z, ZHANG F S, SUN H Y. The constituents of essential oils in the wood and needles of several pine species and the classification of *Pinus massoniana* [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 1990(2): 1-9.]
- [13] ANNA L, MAIGORZATA L, KAROLINA M. Comparison of chemical composition of the essential oils from different botanical organs of *Pinus mugo* growing in Poland [J]. *Chemistry & Biodiversity*, 2019, 16(10): e1900397.
- [14] 文福姬, 俞庆善. 松树精油的化学成分及抗菌活性研究 [J].

- 林业实用技术, 2009(10): 3-5. [WEN F J, YU Q S. Study on the chemical constituents and antibacterial activity of pine essential oil[J]. Forest Science and Technology, 2009(10): 3-5.]
- [15] 李军集, 陈卫国, 黎小谊, 等. 不同处理方式岗松干叶与鲜叶挥发油品质及提取效率分析[J]. 香料香精化妆品, 2020(6): 7-11. [LI J J, CHEN W G, LI X Y, et al. Analysis on the quality and extraction efficiency of volatile oils obtained from dried and fresh *Baeckea frutescens* leaves by different treatments[J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2020(6): 7-11.]
- [16] MOORE P, HANOVER J W. Variation in yield of Blue Spruce monoterpenes associated with crown position and frequency of resin canals[J]. Forest Science, 1987, 33(4): 1081-1088.
- [17] JUDZENTIENE A, STIKLIENE A, KUPCINSKIENE E. Changes in the essential oil composition in the needles of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) under anthropogenic stress[J]. The Scientific World Journal, 2007, 7: 141-150.
- [18] KIMERA F, SEWILAM H, FOUAD W M, et al. Sustainable production of *Origanum syriacum* L. using fish effluents improved plant growth, yield, and essential oil composition[J]. Heliyon, 2021, 7(3): e06423-e06423.
- [19] ZORICA S, BORIS J, SNEŽANA Č, et al. Essential oils of *Pinus halepensis* and *P. heldreichii*: Chemical composition, antimicrobial and insect larvicidal activity[J]. Industrial Crops & Products, 2019, 140(C): 111702-111702.
- [20] GHADA K, SABRINE S, FRANCK M, et al. Composition, antibacterial and antioxidant activities of *Pimpinella saxifraga* essential oil and application to cheese preservation as coating additive[J]. Food Chemistry, 2019, 288(5): 47-56.
- [21] MOREIRA M R, PONCE A G, DEL V, et al. Inhibitory parameters of essential oils to reduce a food borne pathogen[J]. LWT-Food Science and Technology, 2005, 38(5): 565-570.
- [22] CARSON C F, MEE B J, RILEY T V. Mechanism of action of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil on *Staphylococcus aureus* determined by time-kill, lysis, leakage, and salt tolerance assays and electron microscopy[J]. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 2002, 46(6): 1914-1920.
- [23] LAMBERT R J, SKANDAMIS P N, COOTE P J, et al. A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol[J]. Journal of Applied Microbiology, 2001, 91(3): 453-462.
- [24] 杨琴, 郭爱明, 张国栋, 等. 植物精油在食品保藏中的应用探究[J]. 食品安全导刊, 2018(3): 33. [YANG Q, GUO A M, ZHANG G D, et al. Application of plant essential oil in food preservation[J]. China Food Safety Magazine, 2018(3): 33.]
- [25] GRAIKOU K, GORTZI O, MANTANIS G, et al. Chemical composition and biological activity of the essential oil from the wood of *Pinus heldreichii* Christ. var. *leucodermis*[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2012, 70(5): 615-620.
- [26] ZHELJAZKOV D, KACANIOVA M, DINCHEVA I, et al. Essential oil composition, antioxidant and antimicrobial activity of the galbuli of six juniper species[J]. Industrial Crops & Products, 2018, 124(5): 449-458.
- [27] 卢靖, 张丽珠, 王秀萍, 等. 甘松精油抑菌活性及抗氧化活性研究[J]. 食品工业, 2014, 35(4): 91-94. [LU J, ZHANG L Z, WANG X P, et al. Study on antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil of *Nardostachys chinensis*[J]. Food Industry, 2014, 35(4): 91-94.]
- [28] 樊梓鸾, 张艳东, 张华, 等. 红松松针精油抗氧化和抑菌活性研究[J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(8): 98-103. [FAN Z L, ZHANG Y D, ZHANG H, et al. Antioxidant and antibacterial activity of essential oil from *Pinus koraiensis* needles[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2017, 39(8): 98-103.]
- [29] NASREDDINE E O, GUAOUAOU F E, NAOUAL E M, et al. Phytochemical and biological activities of *Pinus halepensis* Mill. and their ethnomedicinal use[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2021, 268(5): 1-30.
- [30] HUANG K, LIU R, ZHANG Y, et al. Characteristics of two cedarwood essential oil emulsions and their antioxidant and antibacterial activities[J]. Food Chem, 2021, 346(prepublish): 128970.
- [31] USTUN O, SEZER S F, KURKCUOGLU F, et al. Investigation on chemical composition, anticholinesterase and antioxidant activities of extracts and essential oils of Turkish *Pinus* species and pycnogenol[J]. Ind Crop Prod, 2012, 38(5): 115-123.
- [32] DJERRAD Z, KADIK L, DJOUAHRI A. Chemical variability and antioxidant activities among *Pinus halepensis* Mill. essential oils provenances, depending on geographic variation and environmental conditions[J]. Ind Crop Prod, 2015, 74(5): 440-445.
- [33] 温朋飞, 彭艳. 植物精油抗氧化作用机制研究进展[J]. 饲料工业, 2017, 38(2): 40-45. [WEN P F, PENG Y. Research advances on antioxidant mechanism of plant essential oil[J]. Feed Industry, 2017, 38(2): 40-45.]
- [34] ALI H, HOUGHTON P J, SOUMYANATH A. alpha-Amylase inhibitory activity of some Malaysian plants used to treat diabetes; with particular reference to *Phyllanthus amarus*[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2006, 107(3): 449-455.
- [35] XU F, GU D, WANG M, et al. Screening of the potential alpha-amylase inhibitor in essential oil from *Cedrus deodara* cones[J]. Industrial Crops and Products, 2017, 103: 251-256.
- [36] YANG Y, MENG J, LIU C, et al. GC-MS profiling, bioactivities and in silico theoretical explanation of cone oil from *Pinus thunbergii* Parl[J]. Industrial Crops & Products, 2019, 141(C): 111765.
- [37] YANG J, GU D, WANG M, et al. In silico-assisted identification of alpha-amylase inhibitor from the needle oil of *Pinus tabulaeformis* Carr.[J]. Industrial Crops and Products, 2018, 111: 360-363.
- [38] THOMAS E, FU Y J, ZU Y Z, et al. Molecular target-guided tumor therapy with natural products derived from traditional Chinese medicine[J]. Current Medicinal Chemistry, 2007, 14(19): 2024-2032.
- [39] RAMOS R D S, RODRIGUES A B L, FARIAS A L F, et al. Chemical composition and in vitro antioxidant, cytotoxic, antimicrobial, and larvicidal activities of the essential oil of *Mentha piperita* L. (Lamiaceae)[J]. The Scientific World Journal, 2017, 2017(4927214): 1-8.
- [40] MOHD Y D, WAJAHT A, SOFI M, et al. Chromatographic analysis, anti-proliferative and radical scavenging activity of *Pinus*

- wallichina* essential oil growing in high altitude areas of Kashmir, India[J]. *Phytomedicine*, 2012, 19(13): 1228–1233.
- [41] ZHANG Y D, XIN C, QIU J, et al. Essential oil from *Pinus koraiensis* pinecones inhibits gastric cancer cells via the HIPPO/YAP signaling pathway[J]. *Molecules*, 2019, 24(21): 3851.
- [42] ZHANG Y D, XIN C, QIU J, et al. Antitumor activity of nanoemulsion based on essential oil of *Pinus koraiensis* pinecones in MGC-803 tumor-bearing nude mice[J]. *Arab J Chem*, 2020, 13(11): 8226–8238.
- [43] HAFSIA B, NOURA S, ETAYA A, et al. Protective effects of *Pinus halepensis* L. essential oil on aspirin-induced acute liver and kidney damage in female Wistar albino rats[J]. *Journal of Oleo Science*, 2016, 65(8): 701–712.
- [44] BOUZENNA H, HFAIEDH N, BOUAZIZ M, et al. Cytoprotective effects of essential oil of *Pinus halepensis* L. against aspirin-induced toxicity in IEC-6 cells[J]. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 2017, 123(5): 364–370.
- [45] POSTU P A, SADIKI F Z, IDRISSE M E, et al. *Pinus halepensis* essential oil attenuates the toxic Alzheimer's amyloid beta (1-42)-induced memory impairment and oxidative stress in the rat hippocampus[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2019, 112 (108673): 1–8.
- [46] MARCO B, FEDERICA M, ROSA T, et al. Acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase inhibitory activity of *Pinus* species essential oils and their constituents[J]. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 2010, 25(5): 622–628.
- [47] IBRAHIM T, ESRA K A, IPEK S, et al. Wound repair and anti-inflammatory potential of essential oils from cones of Pinaceae: Preclinical experimental research in animal models[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2011, 137(3): 1215–1220.
- [48] IBRAHIM T, ESRA K A, HAKKI T, et al. Research on the antioxidant, wound healing, and anti-inflammatory activities and the phytochemical composition of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait)[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2018, 211(5): 235–246.
- [49] IBRAHIM T, HARZEMSAH H, AYBEN K, et al. Yields and constituents of essential oil from cones of *Pinaceae* spp. natively grown in Turkey[J]. *Molecules*, 2010, 15(8): 5797–5860.
- [50] IPEK S, IBRAHIM T, OSMAN U, et al. Appraisal on the wound healing and anti-inflammatory activities of the essential oils obtained from the cones and needles of *Pinus* species by *in vivo* and *in vitro* experimental models[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2012, 139(2): 533–540.
- [51] ISLAM D B, MASARRAT Y, MOHAMMAD A, et al. A comparative toxic effect of *Cedrus deodara* oil on larval protein contents and its behavioral effect on larvae of mealworm beetle (*Tenebrio molitor*) (Coleoptera: Tenebrionidae)[J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2019, 26(2): 281–285.
- [52] AMRENDRA K C, SHAMIM A, AVIJIT M. *Cedrus deodara* (Roxb.) Loud.: A review on its ethnobotany, phytochemical and pharmacological profile[J]. *Pharmacognosy Journal*, 2011, 23(3): 12–17.
- [53] CHENG S S, CHUA M T, CHANG E H, et al. Variations in insecticidal activity and chemical compositions of leaf essential oils from *Cryptomeria japonica* at different ages[J]. *Bioresource Technology*, 2009.
- [54] ANTONIOS M, DIMITRIOS P, ATHANASIOS K, et al. Citrus essential oils and four enantiomeric pinenes against *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae)[J]. *Parasitology Research*, 2009, 105: 769–773.
- [55] BATISH D R, SINGH H P, KOHLI R K, et al. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide[J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256(12): 2166–2174.
- [56] JAENSON T, PLSSON K, BORG-KARLSON A, et al. Evaluation of extracts and oils of mosquito (Diptera: Culicidae) repellent plants from Sweden and Guinea-Bissau[J]. *Journal of Medical Entomology*, 2006, 43(1): 113–119.
- [57] ALEJANDRO L, SUSANA L, EDUARDO Z, et al. Sensitivity of *Aedes aegypti* adults (Diptera: Culicidae) to the vapors of Eucalyptus essential oils[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(23): 6083–6087.
- [58] 张文衡, 陈虎彪. 甘松属植物化学和药理学研究进展[J]. 中国野生植物资源, 1999, 4(3): 13–16. [ZHANG W H, CHEN H B. Research progress on chemistry and pharmacology of *Pinus*[J]. Chinese Wild Plant Resources, 1999, 4(3): 13–16.]
- [59] 杜桂芝, 李春生, 赵全成, 等. 松精油化学成分的研究[J]. 中草药, 1989, 20(5): 24. [DU G Z, LI C S, ZHAO Q C, et al. Chemical constituents of essential oil from *Pinus tabulaeformis*[J]. Chinese Medicinal Herb, 1989, 20(5): 24.]
- [60] ZENG M, LI S, ZHANG J, et al. Analysis of volatile constituents in pine needles *Pinus tabulaeformis* Carr.[J]. Shanxi Teach Univ, 2004, 18: 91–94.