

森林芬多精类成分及其生物活性的研究进展

孙丽娟, 柯 闲, 王俊俊, 陈 勇*

湖北大学生命科学学院 药物高通量筛选技术国家地方联合工程研究中心, 湖北省中药生物技术重点实验室, 湖北 武汉 430062

摘 要: 芬多精是森林植物的器官和组织在自然状态下释放的气态有机物, 主要是芳香性萜烯类物质, 包括单萜烯、倍半萜烯、双萜烯等, 其中以单萜烯和倍半萜烯的生物活性较强。芬多精不仅能保护植物免受细菌、真菌和寄生虫等的侵害, 对人类健康亦有广泛的积极作用, 是目前森林康养研究的核心因素。综述了不同树种、纯林芬多精类型、化学成分、含量及生物活性, 总结了有毒有害植物与花卉的毒性成分, 为深入开展植物芬多精基础研究, 合理利用芬多精构建森林康养基地提供了理论参考。

关键词: 森林康养; 芬多精; 萜烯类成分; 单萜烯; 倍半萜烯; 镇静催眠; 缓解精神障碍; 镇咳平喘

中图分类号: R282.710.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2021)22-7032-12

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2021.22.030

Research progress on constituents and biological activities of phytoncides from forest

SUN Li-juan, KE Xian, WANG Jun-jun, CHEN Yong

Hubei Key Laboratory of Traditional Chinese Medicine Biotechnology, National & Local Joint Engineering Research Center of High-throughput Drug Screening Technology, School of Life Sciences, Hubei University, Wuhan 430062, China

Abstract: Phytoncides are volatile chemicals released by the organs and tissues of forest plants in their natural state, including monoterpenes, sesquiterpenes, diterpenes, etc., among which monoterpenes and sesquiterpenes have stronger physiological effects. Phytoncides not only protects plants from forest pest and pathogens, such as bacteria, fungi, virus and parasites, but also has a wide range of positive effects on human health, so it has been regarded as one of the key factors of forest therapy. Types, chemical compositions, contents and biological activities of phytoncides from different tree species/pure forests were reviewed, and the toxic ingredients from the poisonous and harmful plants were summarized in this paper, and in order to provide a theoretical reference for in-depth basic research of phytoncides, and design and build of forest therapy base by rational use of plant phytoncide.

Key words: forest therapy; phytoncide; terpenes; monoterpenes; sesquiterpenes; sedative hypnotic; alleviation of mental disorder; anti-cough and anti-asthma

2019 年国家林业和草原局、民政部、卫生健康委员会、中医药管理局联合颁布了《关于促进森林康养产业发展的意见》(林改发[2019]20 号)。森林康养是指以优质的森林生态环境为基础, 以促进大众身心健康为目的, 利用丰富多彩的森林景观、优质富氧的森林环境、有机健康的森林食材与药材、深厚浓郁的森林养生文化, 融合现代医学、营养学、运动学等健康管理理念及传统医学养生文化, 开展的修身养性、健康养老、康复疗养、运动健身、休闲度假、认知体验等服务活动。

芬多精又称植物精气, 是森林植物的器官和组织在自然状态下释放的气态有机物, 主要是芳香性萜烯类物质, 包括单萜烯、倍半萜烯、双萜烯等, 其中以单萜烯和倍半萜烯的保健作用最大^[1]。芬多精是森林康养研究的核心因素之一, 其中以单萜烯和倍半萜烯类化合物的生物活性功效最显著。我国地域辽阔, 地形复杂, 气候类型多样, 植物种类丰富, 为人类健康提供了丰富的芬多精资源。

随着现代分析检测技术的飞速发展, 森林植物释放的成分逐渐被人们所知, 其生理保健作用亦引

收稿日期: 2021-07-29

基金项目: 世界中联森林康养研究专委会森林康养基地建设标准项目(神财采计[2020]247 号)

作者简介: 孙丽娟(1980—), 女, 副教授, 硕士生导师, 主要从事药理学和天然药物化学研究。Tel: (027)88668035 E-mail: lijiansun1212@163.com

*通信作者: 陈 勇(1966—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事临床前药理学研究。Tel: (027)88661236-8067 E-mail: cy101610@qq.com

起了人们的高度重视。本文总结了森林芬多精类成分及其生物活性的研究进展,为进一步开展芬多精的研究提供了有益参考。

1 森林芬多精类成分的组成与含量

1.1 不同树种/纯林的芬多精类型及其含量

森林植物种类繁多,不同植物芬多精的类型与含量各不相同,表 1 列出了常见树种芬多精的类型及其相对含量,可见不同树种中芬多精类成分主要以萜烯类为主^[1]。

不同树种的叶片和木材中芬多精类型主要为单萜烯和倍半萜烯,其相对含量见表 2。其中叶片含量最高的是云南松、臭冷杉和云南油杉,木材含量最高的是华北落叶松、云南油杉和臭冷杉^[2]。同时,不同纯林中芬多精类型主要为单萜烯和倍半萜烯,其相对含量之和见表 3,其中以刺楸林和柳杉林的含量最高。

1.2 不同树种的芬多精类成分及含量

不同树种中芬多精类成分复杂,李玲玉等^[3]、谢小洋等^[4]分别对常见树种进行检测,结果表明针叶树侧柏、云杉、雪松、马尾松排放的挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)中萜烯类的排放量最高,侧柏的主要挥发物成分为 α -蒎烯、4(10)-崖柏烯和 *D*-柠檬烯;云杉的主要挥发物成分有 α -蒎烯、 β -蒎烯、莰烯和 *D*-柠檬烯;雪松的主要挥发物成分为 α -蒎烯、 β -蒎烯和 3-乙基苯乙酮;马尾松排放的主要挥发物成分为 α -蒎烯、 β -蒎烯、香桉烯、异丁烷和正丁烷。阔叶树毛果杨、北美枫香排放的 VOCs 中异戊二烯的排放量最高,萜烯类排放量较低。毛果杨排放的萜烯类成分主要为为反式- β -罗勒烯;北美枫香排放的萜烯类成分主要为香桉烯和 β -蒎烯(表 4)。

表 1 常见树种中芬多精类型及其相对含量

Table 1 Relative content of phytoncide types in common tree species

树种	质量分数/%						总和
	萜烯类	醇类	酯类	醛类	酮类	烷类	
柳杉	72.72	2.51	5.96	3.06	5.18	9.85	98.83
马尾松	83.29	5.82	2.53	1.03	1.53	5.23	99.25
柏木	72.46	3.31	7.25	1.50	2.95	12.14	99.61
香樟	69.81	5.83	4.67	1.54	4.41	10.48	96.29
苦竹	34.61	5.13	11.86	4.95	2.13	37.76	99.44

表 2 不同树种的叶片和木材中芬多精的相对含量

Table 2 Relative content of phytoncides in the leaves and woods from different tree species

树种	单萜烯和倍半萜烯的质量分数之和/%		树种	单萜烯和倍半萜烯的质量分数之和/%	
	叶片	木材		叶片	木材
云南油杉	99.30	99.49	火炬松	94.52	98.22
臭冷杉	99.40	99.39	黄山松	94.15	98.62
柳杉	96.89	98.84	黑松	96.75	98.86
杉木	94.41	96.00	云南松	99.47	97.91
水杉	99.03	96.92	西藏柏木	96.25	94.06
台湾杉	96.90	94.99	侧柏	95.56	96.74
池杉	98.82	91.98	叉子圆柏	94.74	96.36
落羽杉	96.85	95.11	竹柏	98.80	99.11
南方红豆杉	95.79	94.57	深山含笑	97.91	94.47
长白鱼鳞松	97.40	98.97	火棘	94.78	97.75
华北落叶松	94.15	99.50	紫藤	95.49	94.13
西伯利亚落叶松	97.74	99.35	枫香	98.29	93.93
华山松	90.08	98.27	滇青冈	97.70	96.89
白皮松	96.71	98.44	榕树	91.62	97.91
湿地松	99.06	96.66	怪柳	92.32	96.60
马尾松	98.64	97.69			

表 3 不同纯林中萜多精的相对含量

Table 3 Relative content of phytoncides in different woods

纯林	单萜烯和倍半萜烯的质量分数之和/%	纯林	单萜烯和倍半萜烯的质量分数之和/%
刺楸林	90.45	山鸡椒林	70.70
柳杉林	90.41	深山含笑林	67.35
侧柏林	79.47	马尾松林	66.51
柑橘林	75.75	乐东拟单性	65.73
闽楠林	73.82	木兰林	
枫香林	73.37	圆柏林	65.26
日本扁柏林	73.22	白玉兰林	63.51
樟树林	72.49	九里香林	61.20
竹柏林	72.46	落叶松林	40.26
台湾杉林	72.01		

表 4 常见树种中的萜多精类成分

Table 4 Constituents of phytoncide in common tree species

树种	主要化学成分	萜烯类	其他
侧柏	α -蒎烯、4(10)- 崖柏烯、 <i>D</i> - 柠檬烯	三环烯、2-崖柏烯、 α -蒎烯、炭烯、4(10)- 崖柏烯、月桂烯、 α -水芹烯、3-萜烯、 <i>D</i> -柠檬烯、 γ -松油烯、萜品油烯	顺式-1-乙基-2-甲基环己烷、1,3,5-三甲环己烷、乙苯、1,3-二甲 基苯、反式-4-侧柏醇、邻-异丙基苯、1,3-二乙基苯、1,4-二乙基 苯、里那醇、壬醛、甘菊环、对-甲基异丙基-7-醇、3,4-二甲基苯 乙酮、3-乙基苯乙酮、9-己基十七烷
云杉	α -蒎烯、 β -蒎 烯、莰烯、 <i>D</i> -柠檬烯	三环烯、2-崖柏烯、 α -蒎烯、炭烯、 β - 蒎烯、 <i>D</i> -柠檬烯、大香叶烯	辛醛、乙苯、8,11-十八二炔酸甲酯、苯乙烯、(Z)-9-十八碳烯酸 己酯、反式-4-侧柏醇、1,3-二乙基苯、1,4-二乙基苯、甘菊环、 对-甲基异丙基-7-醇、3,4-二甲基苯乙酮、3-乙基苯乙酮
雪松	α -蒎烯、 β -蒎 烯、3-乙基 苯乙酮	三环烯、 α -蒎烯、2,6,6-三甲基-双环 [3,1,1]庚-2-烯、炭烯、 β -蒎烯、月 桂烯、 <i>D</i> -柠檬烯、 γ -松油烯、长叶 烯、 α -衣兰油烯	反式-1,2-环戊二醇、乙苯、8,11-十八二炔酸甲酯、1,2,4-三甲环 己烷、1,3-二甲基苯、9-十六烯酸、4-乙基苯甲酸、6-乙基-3-辛 酯、(Z)-9-十八碳烯酸己酯、1,3-二乙基苯、1,4-二乙基苯、2,5- 十八二炔酸甲酯、 α -环氧蒎烯、壬醛、异辛酸、(-)-4-萜品 醇、桃金娘烯醛、癸醛、2-炭烯-10-醛、对-甲基异丙基-7-醇、 3,4-二甲基苯乙酮、3-乙基苯乙酮、乙酸龙脑酯、8-十七烷烯、 3,5-二甲基苯乙炔、2,4,6-三甲基癸烷、2,6,10,15-四甲基十七烷
马尾松	α -蒎烯、 β -蒎 烯、香桉烯、 异丁烷、正 丁烷	环萜烯、2-龙脑烯、三环烯、 α -蒎 烯、 α -萜烯、炭烯、香桉烯、 β -蒎 烯、 α -水芹烯、3-萜烯、 α -松油烯、 伞花烃、柠檬烯、 γ -松油烯、 α -异 松油烯、 α -长叶蒎烯、广藿香烯、 长叶烯、石竹烯、反式- α -香柠檬 烯、葎草烯	异丁烷、正丁烷、异戊烷、正戊烷、环戊烷、正辛烷、正十一 烷、正十二烷、正十三烷、正十五烷、正十六烷、正十七烷、 异戊二烯、1-丁烯、2-甲基-2-丁烯、异戊二烯
北美枫香	异戊二烯	α -侧柏烯、 α -蒎烯、伞花烃、莰烯 β - 蒎烯、 β -月桂烯、 α -水芹烯、香桉 烯 α -松油烯、柠檬烯、 γ -松油烯、 α -异松油烯、顺式- β -罗勒烯、反式- β -罗勒烯、石竹烯、葎草烯、别香 橙烯、 β -愈创木烯、 γ -杜松烯、 δ -杜 松烯	异丁烷、正丁烷、异戊烷、正戊烷、环戊烷、环己烷、正壬烷、 2-甲基壬烷、3-甲基壬烷、正癸烷、正十一烷、正十二烷、正 十五烷、正十六烷、1-丁烯、2-甲基-2-丁烯、异戊二烯
毛果杨	异戊二烯	三环烯、 α -蒎烯、 β -蒎烯、3-萜烯、顺 式- β -罗勒烯、反式- β -罗勒烯、石竹 烯、香橙烯、葎草烯、 α -摩勒烯、 δ -杜松烯	异丁烷、正丁烷、异戊烷、正戊烷、2,2-二甲基丁烷、环戊烷、 正己烷、甲基环戊烷、环己烷、正庚烷、正辛烷、正十二烷、 正十四烷、4-甲基十四烷、正十五烷、正十六烷、正十七烷、 1-丁烯、2-甲基-2-丁烯、1-己烯

高岩^[5]通过检测北京市几种主要绿化树木释放的芬多精类成分和含量,发现树木 VOCS 的释放速率在 6、7 月份较高,春秋 2 季释放速率低,且 7 月份不同树种释放的芬多精的种类与含量各不相同,其中针叶树油松、白皮松和桧柏萜烯类的排放量较高,单萜烯的主要成分有 α -蒎烯、 β -蒎烯、苈烯、

柠檬烯、 γ -松油烯、对-孟-1,4(8)二烯、罗勒烯等,倍半萜烯的主要成分有 α -丁香烯、 β -丁香烯、法尼烯、大香叶烯等,且总单萜烯的含量高于倍半萜烯。阔叶树国槐、紫叶李和金银木主要释放异戊二烯、乙酸-3-己烯酯和 α -蒎烯、 β -蒎烯、苈烯、柠檬烯、罗勒烯(表 5)。

表 5 不同树种中芬多精的化学成分及含量

Table 5 Content and chemical compositions of phytoncide in different tree species

成分类型	化学成分	成分含量/(E ³ ·h ⁻¹ ·g ⁻¹)					
		油松	白皮松	桧柏	国槐	紫叶李	金银木
单萜烯	三环萜	37.40	139.48	349.61	—	—	—
	α -蒎烯	343.00	341.02	353.94	311.17	71.26	17.16
	β -蒎烯	599.51	476.56	503.94	205.19	188.08	319.27
	侧柏烯	—	—	484.25	—	—	—
	苈烯	589.68	406.25	198.43	217.43	22.05	32.20
	水芹烯	36.76	35.04	—	—	—	—
	月桂烯	—	—	351.08	—	—	—
	萆烯	—	101.76	—	—	—	—
	柠檬烯	594.59	500.00	503.94	257.14	430.64	29.72
	α -松油烯	16.70	4.92	98.00	—	—	—
	γ -松油烯	157.74	84.38	355.51	—	—	—
	对-孟-1,4(8)二烯	29.73	213.38	154.72	—	—	—
	罗勒烯	438.33	—	—	303.90	290.07	31.74
倍半萜烯	胡椒烯	62.00	—	—	—	—	—
	长叶烯	204.42	—	72.44	—	—	—
	α -丁香烯	196.56	332.42	53.94	—	—	—
	β -丁香烯	15.28	34.69	21.89	—	—	—
	雪松烯	—	167.19	—	—	—	—
	法尼烯	11.45	23.55	10.59	44.28	340.40	18.53
	大香叶烯	42.11	7.10	4.53	—	—	—
其他	乙酸-3-己烯酯	—	—	—	898.70	754.97	679.82
	异戊二烯	—	—	—	2 368.83	—	17.34

1.3 森林中有毒有害植物及有害成分限量

森林自然环境优美,负氧离子及芬多精丰富,对人类身心健康有良好促进作用,但有毒植物产生的负面影响也不能忽视^[6]。接触有毒植物的枝、叶、花、果、花粉、气味等,以及摄取其有毒化学成分,会危及健康甚至生命。因此,在规划森林康养基地的树种与花卉时,认识、了解与合理利用有毒观赏植物十分重要。表 6 列出了主要有毒植物种类。

植物中的有害物质分为外源性和内源性。外源性有害物质是指从所接触的土壤、水、大气等自然

环境中吸附或蓄积的有害物质,也可能是在加工、贮藏中造成的污染^[22]。内源性有害物质多指植物在生长发育过程中产生的有毒次生代谢成分。常见的内源性有害物质多为酚类、醛类和酮类化合物(表 7)^[10,23],应加大检测力度,完善内源性有害物质的相关限量标准。

2 森林芬多精类成分的生物活性

目前,关于森林芬多精类成分的生物活性有镇静催眠、缓解精神障碍、镇咳平喘、保护心血管系统、抗过敏、抗炎、镇痛、抗菌、抗氧化、延缓衰老、

表 6 有毒有害植物/花卉
Table 6 Toxic and harmful plants/flowers

类型	种名	属	科	有害部位	文献
有毒的植物/花卉	阔叶十大功劳 <i>Mahonia bealei</i> (Fort.) Carr.	十大功劳属	小檗科	全株	7-8
	皂荚 <i>Gleditsia sinensis</i> Lam.	皂荚属	豆科	果实	7
	花叶万年青 <i>Dieffenbachia picta</i> (Lodd.) Schott.	花叶万年青属	天南星科	全株	8
	水仙 <i>Narcissus tazetta</i> L. var. <i>chinensis</i> Roem.	水仙属	石蒜科	全草	8
	含羞草 <i>Mimosa pudica</i> Linn.	含羞草属	豆科	全株	8
	金钱松 <i>Pseudolarix amabilis</i> (Nelson) Rehd.	金钱松属	松科	树皮	9
	腊梅 <i>Chimonanthus praecox</i> (Linn.) Link	腊梅属	腊梅科	树皮、花	9
	一品红 <i>Euphorbia pulcherrima</i> Willd. et Kl.	大戟属	大戟科	汁液	9
	山玉兰 <i>Magnolia delavayi</i> Franch.	木兰属	木兰科	树皮	10
	节节草 <i>Equisetum ramosissimum</i> Desf.	木贼属	木贼科	全草	11
	八角枫 <i>Alangium chinense</i> (Lour.) Harms	八角枫属	八角枫科	全株	12
	刺桐 <i>Erythrina variegata</i> Linn.	刺桐属	豆科	茎皮	13
	黄杨 <i>Buxus sinica</i> (Rehd. et Wils.) Cheng	黄杨属	黄杨科	全株	14
	光棍树 <i>Euphorbia tirucalli</i> Linn.	大戟属	大戟科	汁液	15
	黄杜鹃 <i>Rhododendron molle</i> (Blume) G. Don	杜鹃属	杜鹃花科	花、叶、枝	16
	珊瑚豆 <i>Solanum pseudo-capsicum</i> L. var. <i>diflorum</i> (Vell.) Bitter	茄属	茄科	全株	17
剧/大毒植物/花卉	苦楝 <i>Melia azedarach</i> Linn.	楝属	楝科	果实	8
	夹竹桃 <i>Nerium indicum</i> Mill.	夹竹桃属	夹竹桃科	叶、皮、根	8
	石蒜 <i>Lycoris radiata</i> (L'Hér.) Herb.	石蒜属	石蒜科	全株	8
	马钱子 <i>Strychnos nux-vomica</i> Linn.	马钱属	马钱科	种子	8
	钩吻 <i>Gelsemium elegans</i> (Gardn. et Champ.) Benth.	钩吻属	马钱科	全株	11
	牛眼马钱 <i>Strychnos angustiflora</i> Benth.	马钱属	马钱科	种子、嫩叶、茎皮	11
	相思子 <i>Abrus precatorius</i> Linn.	相思子属	豆科	叶、根、种子	13
	海芋 <i>Alocasia macrorrhiza</i> (Linn.) Schott	海芋属	天南星科	全株	12
	虎刺梅 <i>Euphorbia milii</i> Des Moul.	大戟属	大戟科	乳汁	17
	霸王鞭 <i>Euphorbia royleana</i> Boiss.	大戟属	大戟科	乳汁	17
致敏植物	鱼腥草 <i>Houttuynia cordata</i> Thunb.	蕺菜属	三白草科	全草	7
	马鞭草 <i>Verbena officinalis</i> Linn.	马鞭草属	马鞭草科	全草	7-8
	夜香树 <i>Cestrum nocturnum</i> Linn.	夜香树属	茄科	花	7-8
	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i> Mill.	盐肤木属	漆树科	幼枝、叶	7,9
	银杏 <i>Ginkgo biloba</i> Linn.	银杏属	银杏科	种子	7,9
	月季 <i>Rosa chinensis</i> Jacq.	蔷薇属	蔷薇科	花	9,15
	一点红 <i>Emilia sonchifolia</i> (Linn.) DC.	一点红属	菊科	全草	7,13
	益母草 <i>Leonurus artemisia</i> (Laur.) S. Y. Hu F	益母草属	唇形科	全株	12
	天竺葵 <i>Pelargonium hortorum</i> Bailey	天竺葵属	牻牛儿苗科	叶、乳汁	13
致癌植物/花卉	苏铁 <i>Cycas revoluta</i> Thunb.	苏铁属	苏铁科	种子、茎顶髓心	7,14
	马兜铃 <i>Aristolochia debilis</i> Sieb. et Zucc.	马兜铃属	马兜铃科	根、茎、果实	7
	凤仙花 <i>Impatiens balsamina</i> Linn.	凤仙花属	凤仙花科	全草	7,14
	乌柏 <i>Sapium sebiferum</i> (Linn.) Roxb.	乌柏属	大戟科	叶、果	7,9

续表 6

类型	种名	属	科	有害部位	文献
致癌植物/	油桐 <i>Vernicia fordii</i> (Hemsl.) Airy Shaw	油桐属	大戟科	种子	9
花卉	红背桂 <i>Excoecaria cochinchinensis</i> Lour.	海漆属	大戟科	叶	9
	变叶木 <i>Codiaeum variegatum</i> (Linn.) Bl. var. <i>pictum</i> Muell. Arg.	变叶木属	大戟科	汁液	9
	石栗 <i>Aleurites moluccana</i> (Linn.) Willd	石栗属	大戟科	种子	13,15
	石菖蒲 <i>Acorus tatarinowii</i> Schott	菖蒲属	天南星科	全草	7,14
	槟榔 <i>Areca catechu</i> Linn.	槟榔属	棕榈科	果实	12
	曼陀罗 <i>Datura stramonium</i> Linn.	曼陀罗属	茄科	全株	7,13
	鸢尾 <i>Iris tectorum</i> Maxim.	鸢尾属	鸢尾科	全草	7-8
	结香 <i>Edgeworthia chrysantha</i> Lindl.	结香属	瑞香科	叶、花	9
	假连翘 <i>Duranta repens</i> Linn.	假连翘属	马鞭草科	全株	10
产生异味的	石楠 <i>Photinia serrulata</i> Lindl.	石楠属	蔷薇科	全株	9
植物/花卉	五色梅 <i>Lantana camara</i> Linn.	马缨丹属	马鞭草科	花、叶	10,18
	臭牡丹 <i>Clerodendrum bungei</i> Steud.	大青属	马鞭草科	根	9,19
	接骨木 <i>Sambucus williamsii</i> Hance	接骨木属	忍冬科	茎枝	15,20
	紫丁香 <i>Syringa oblata</i> Lindl.	丁香属	木犀科	花	15,21
	郁金香 <i>Tulipa gesneriana</i> Linn.	郁金香属	百合科	花	18,21

表 7 植物中有害成分

Table 7 Harmful components in plants

有害成分	植物来源	危害	最大摄入量/(mg·kg ⁻¹)
N-甲基邻氨基苯甲 酸甲酯	桔叶、芸香	刺激眼睛、呼吸系统和皮肤	0~0.2 (FAO/WHO, 1994)
大茴香醇	茴香、香荚兰	易产生过敏反应	1.0 (欧洲理事会)
丁香酚	丁香、丁香罗勒、月桂、肉桂	易产生过敏反应	0~2.5 (FAO/WHO, 1994)
异丁香酚	肉豆蔻、依兰	易产生过敏反应	5.0 (欧洲理事会)
芳樟醇	芳樟、伽罗木、玫瑰木、芫荽、香柠 檬、香紫苏	诱发情绪低沉、沮丧甚至是危及生命的呼吸 系统疾病	0~0.5 (FAO/WHO, 1994)
苯甲酸苄酯	晚香玉、香石竹	对眼睛、皮肤、黏膜和上呼吸道有刺激作用	0~5.0 (FAO/WHO, 1994)
香茅醇	香茅、水仙、玫瑰	有毒，具有刺激性	0~0.5 (FAO/WHO, 1994)
龙蒿脑	大茴香、小茴香、罗勒、月桂子	有毒，具有刺激性	
香叶醇	九里香、大蒜、月桂、芸香草、玫瑰	有毒，具有刺激性	0~5.0 (欧洲理事会)
香芹酮	香芹、莳萝籽、薄荷、茴芹	有毒，具有刺激性	0~1.0 (FAO/WHO, 1994)
苯甲醛	苦杏仁、藿香、风信子、依兰	对眼睛、呼吸道黏膜有一定的刺激作用	0~5.0 (FAO/WHO, 1994)
柠檬醛	山苍子、柠檬草、柠檬、丁香、罗勒	具有一定的毒性	0~0.5 (FAO/WHO, 1994)
肉桂醛	肉桂、桂皮、藿香、风信子、玫瑰	对眼睛、呼吸道有一定的刺激作用，肝毒性	
苯乙醛	风信子、水仙	对眼睛、皮肤有刺激作用	
丁香生物碱	夜来香	神经系统中毒	
莨菪碱、阿托品、东 莨菪碱	曼陀罗	神经系统中毒	
南天竹宁碱、南天 竹碱	南天竹	神经系统中毒	

续表 7

有害成分	植物来源	危害	最大摄入量/(mg·kg ⁻¹)
四氢吡啶类生物碱	董棕	神经系统中毒	
洋蜡梅碱	蜡梅	器官损伤性中毒	
石榴皮碱	石榴	消化系统中毒	
水杨苷	垂柳	神经系统中毒	
杏仁苷	枇杷	呼吸系统中毒	
野樱苷	贴梗海棠	呼吸系统中毒	
常春藤皂苷	常春藤	呼吸系统中毒	
鹅掌柴皂苷	鹅掌柴	呼吸系统中毒	
山茶苷、山茶皂苷	山茶花	消化系统中毒	
女贞苷、紫丁香苷	女贞	消化系统中毒	
鸢尾苷	鸢尾	消化系统中毒	
苏铁苷、砷、胡芦巴碱	苏铁	器官损伤性中毒	
含氰苷	海芋、马蹄莲	皮肤、黏膜刺激性中毒	
草酸、草酸盐、溶血性皂苷	龙舌兰	刺激性中毒	
针状结晶草酸	龟背竹	刺激性中毒	
草酸盐	红花酢浆草	神经系统中毒	
硫脲酶、蕨毒素、原蕨苷	肾蕨	促癌	
银杏酚、白果酚	银杏	神经系统中毒	
苯酚、二元酚	榉栎	器官损伤性中毒	

抗病毒、降糖、调脂和抗肿瘤等。主流观点认为，芬多精一方面通过鼻通道中的毛细血管进入上体血液循环传入大脑，刺激中枢神经系统的下丘脑调节腺体分泌；另一方面通过刺激丘脑，以脑电活动传导方式接近控制人体情绪的大脑边缘系统。

2.1 镇静催眠

一些具有芳香气味的芬多精可以改善情绪、降低血压、镇静、促进睡眠^[24]。嗅闻侧柏挥发物后人体手指温度显著升高，血氧含量略有增加，平均心率、心电图 RR 间期值降低，说明人处在侧柏环境中感到舒爽、愉悦、情绪放松^[25]。芬多精能增加大脑中的 α 波，改善呼吸状态，抑制交感神经，达到稳定情绪、促进睡眠的效果^[26]。利用匹兹堡睡眠质量表研究西洋甘菊、薰衣草、罗勒、薄荷等植物的挥发性成分对睡眠的影响，发现在芳香植物区活动一定时间可以降低人前额叶脑活动、松弛精神、稳定情绪、促进睡眠、辅助降压^[2,27-28]。马尾松、柳杉等常见树种中富含的 α -蒎烯、3-蒎烯等单萜烯可通过延长抑制因子的衰减时间常数来增强 γ -氨基丁酸 A 型受体介导的突触反应，减少睡眠潜伏期^[29-30]。富含芬多精类成分的崖柏茶等亦具有改善睡眠的作用^[31]。

2.2 缓解精神障碍

目前我国精神类疾病患者超过 1 亿人，其中严重精神病患者超过 1600 万人^[32]。芳香植物产生的挥发性物质可通过人的鼻道嗅觉神经传达至大脑中枢，调节大脑功能，改善心率与精神状况，进而调节人的情绪^[33]。如乳香精油、薰衣草精油、迷迭香精油等具有显著的抗抑郁功效^[34]。芬多精类成分可通过增强单胺类神经递质来刺激人体，增强神经系统的敏锐性和兴奋性，改善抑郁症状^[35]。如在嗅闻针叶树木芬多精后，人的心率、收缩压和舒张压降低，情绪松弛，表明针叶树释放的萜烯类化合物能缓解紧张状态人群的情绪^[5]。森林疗法能明显缓解健康和亚健康人群的压力与抑郁、焦虑与愤怒情绪，消除轻度精神疾病^[36-37]。园艺疗法有益于改善精神病人的身体与精神状态^[38]。在维持抗精神病药物治疗的基础上，辅以园艺疗法的慢性精神分裂症患者的精神状态、生活自理能力和社会适应能力明显改善^[39]。

2.3 镇咳平喘

清新的空气以及树叶、树干散发的 VOCs 对支气管哮喘及灰尘吸入引起的肺部炎症、食道炎症、

肺结核等有明显疗效^[31]。芬多精通过呼吸道和皮肤表皮进入人体,能够促进人体增加免疫蛋白,调节植物神经平衡,具有止咳、平喘、祛痰等功效^[40]。紫苏烯和 β -蒎烯能够祛痰镇咳, p -伞花烃具有祛痰、止咳、平喘功效,松油烯和萜品烯也具有平喘的作用^[1]。芬多精通过肺泡上皮进入人体血液循环,作用于延髓两侧的咳嗽中枢,抑制咳嗽中枢向迷走神经和运动神经传播咳嗽冲动,发挥止咳作用;也可通过呼吸道黏膜进入平滑肌细胞内,增加细胞内磷酸腺苷含量,提高环磷酸腺苷与环磷酸鸟苷比值,减少胞内游离钙离子含量,降低肌肉收缩蛋白的兴奋性,从而使肌肉舒张、支气管口扩大,达到平喘作用。此外,芬多精对呼吸道还具有轻微刺激作用,使呼吸道纤毛上皮摆动加快,促进祛痰作用^[41]。

2.4 保护心血管系统

森林环境空气清新,富含氧气、负氧离子和芬多精,有助于调节大脑皮质功能失调,降低外周去甲肾上腺素水平,促进紊乱的神经系统特别是肾上腺系统和迷走胰岛素系统功能恢复,从而扩张血管、降低血压与心肌耗氧量,有效改善冠心病患者心绞痛、胸闷、心慌与心律失常等症状,减少发作次数^[42]。芬多精可通过嗅觉途径进入中枢神经系统,缓解高血压患者的精神与躯体(如骨骼肌与血管)紧张,稳定自律神经(交感及副交感神经)活动,降低血压^[34]。某些植物精油能调节血压、血糖和血脂水平,缩短凝血时间,对动脉粥样硬化等心血管疾病有一定防治作用。如蔷薇木属植物 *Aniba canellila* (Kunth) Mez 茎皮精油能松弛血管、降低血压;萝藦科植物 *Periploca laevigata* Ait. 根皮精油能有效抑制血管紧张素 I 转化酶活性而降血压;茴香精油及其主成分茴香脑可抑制血小板凝聚及舒张血管而发挥抗血栓作用^[43]。此外,以真薰衣草、香叶天竺葵、甜牛至、甜罗勒为主构建的植物闻香区,其自然香气含香茅醇、香叶醇、芳樟醇(香茅醇、芳樟醇最大摄入量为 0~0.5 mg/kg,香叶醇的最大摄入量为 0~5.0 mg/kg)、乙酸芳樟酯、丁香酚、1,8-桉叶油素、柠檬烯等 30 多种挥发性物质,高血压患者闻香后收缩压和舒张压之差显著高于闻香前^[44]。

2.5 抗过敏

植物精油可抑制组胺等引起的毛细血管通透性增加,从而抑制皮肤过敏引发的炎症反应^[45]。辛夷挥发油能显著抑制磷酸组胺、氯化乙酰胆碱引起的豚鼠离体回肠收缩,阻止大鼠肥大细胞脱颗粒^[46]。

白芷挥发油能明显抑制大鼠同种被动皮肤过敏反应,阻止大鼠颅骨骨膜肥大细胞脱颗粒,降低组胺致小鼠毛细血管通透性增高^[47]。紫苏油中含有的脂肪酸类抗过敏物质能显著抑制血小板活化因子和白三烯的产生^[48]。此外,嫩杉尖内服、外涂对蜂毒过敏效果明显^[49],饮崖柏茶能明显改善高蛋白过敏性皮炎的瘙痒症状^[31]。

2.6 抗炎、镇痛和抗菌

松树、杉树等释放的一种萜烯类物质通过呼吸进入人体肺部后,能加快呼吸器的纤毛运动,有效杀灭百日咳、结核等病菌^[34]。柳杉、杉木、水杉、池杉等杉科植物芬多精对葡萄球菌、绿脓杆菌、变形杆菌等有较强抑制效果^[50]。桉木芬多精具有杀灭黄色葡萄球菌和大肠杆菌的作用,桦树、柞木、椴树、杉木及柏科和松科植物芬多精能杀死白喉、肺结核和霍乱等病原菌^[51]。通过水蒸气蒸馏法从红松松果中提取的芬多精精油明显抑制了胃组织中幽门螺杆菌的生长和促炎细胞因子肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α) 与白细胞介素-1 β (interleukin-1 β , IL-1 β) 的表达,其活性成分可能是 α -蒎烯^[52]。在百日咳患者身旁散置芬多精植物,空气中的细菌数量锐减,在混有结核菌或大肠杆菌的水滴旁放置芬多精植物,能快速杀灭这些细菌^[31]。将芬多精包裹在纳米纤维中,可持续释放 14 d,对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抑菌率在 99%以上^[53]。

植物精油可通过抑制炎症细胞及炎症因子释放、降低毛细血管通透性发挥抗炎作用^[45]。辛夷挥发油通过影响 IL-12、 γ 干扰素水平调节外周血组胺水平,减轻实验性变应性鼻炎大鼠的炎症反应^[54]。白芷挥发油中的倍半萜、环十五烷酮等可能是其重要的抗炎镇痛活性物质,且 κ 阿片受体(κ opioid receptor, κ OR)和 Toll 样受体 2 (Toll-like receptor 2, TLR2) 是其潜在的作用靶点^[55]。芳樟醇(最大摄入量为 0~0.5 mg/kg)通过抑制促炎症因子一氧化氮、TNF- α 和 IL-1 β 的生成,以及钝化神经系统的超敏反应,发挥消炎镇痛作用^[43]。通过香薰或按摩等方式使芬多精进入体内,可降低产妇分娩时的焦虑情绪及疼痛反应^[34]。

2.7 抗氧化、延缓衰老

许多植物精油可通过提升超氧化物歧化酶等抗氧化酶活性,延缓皮肤衰老^[45]。白芷挥发油在体内外均表现出较强的抗氧化活性,能有效清除活性氧自由基和羟基自由基^[56]。薰衣草精油可通过减少紫

紫外线辐射损伤、增强皮肤抗氧化能力及成纤维细胞活力、抑制细胞凋亡蛋白表达等途径,延缓皮肤的光老化^[57]。芳香植物的抗氧化成分多为酚酸类物质,苯环上的酚羟基是其抗氧化活性基团,在清除烷氧自由基过程中主要通过脱氢反应生成比较稳定的苯氧自由基来终止链式反应。如百里香酚和香芹酚就是百里香挥发物的主要抗氧化成分^[23]。Fujimori 等^[58]研究了 4 种不同芬多精对正常人皮肤成纤维细胞的保护作用,发现它们对紫外光照射诱导的 I 型胶原减少和基质金属蛋白酶-1 增生均有抑制作用。Abe 等^[59]研究了自然界广泛分布的芬多精对自由基的清除活性,发现具有较强抗氧化作用的芬多精主要为雪松醇、侧柏酮、 α -松油醇、2-(2-甲氧基乙氧基)乙醇等。

2.8 抗病毒

植物精油具有亲脂性,对包膜病毒的抑制作用强于无包膜病毒。但它可能只与吸附前的包膜病毒发生相互作用,对吸附后的包膜病毒则无效^[60]。植物精油不仅能有效杀灭空气中的细菌与包膜病毒,还能通过嗅细胞对精油分子的抓取,在鼻腔内形成细菌和病毒无法穿透的隔离层,或直接附着在病毒表面,与病毒竞争细胞膜上的受体,阻止病毒进入细胞内复制,因此对呼吸道传染病病毒有较好的防治效果^[61],对疱疹病毒和肝炎病毒也有一定抗性^[43]。由 3 种芳香植物 *Coridothymus capitatus* L., *Origanum dictamnus* L. 和 *Salvia fruticosa* Mill 组成的植物精油主要含香芹酚(53%)、桉树脑(13%)、 β -石竹烯(3%)、*p*-伞花烃(1.32%)、 γ -萜品烯(1.17%)、冰片(1.68%)和 α -萜品醇(1.06%),对甲型/H1N1 流感病毒株、乙型流感和人鼻病毒 14 具有显著抗性^[62]。百里香精油体外对人腺病毒有一定抑制作用,麝香草酚是其有效成分之一^[63]。

2.9 降糖和调脂

桃金娘精油通过增强糖酵解、增加糖原生成和减少糖原分解而降低血糖,甚至导致低血糖症,其降血糖作用主要与肠对葡萄糖吸收的减少有关,而与胰岛素效应无关^[43]。许多芳香中药精油对代谢综合征有明显改善作用^[64],如肉桂精油及丁香酚可改善糖尿病血糖水平^[65-66],姜黄及当归精油可明显改善高脂血症^[67-68]。森林环境对糖尿病患者的血糖水平有明显影响,糖尿病患者“森林浴”后的血糖值显著降低,推测除了森林运动降低了血糖水平外,芬多精也与血糖水平下降有关^[34,64]。

2.10 抗肿瘤

NK 细胞是天然免疫系统中一类十分重要的淋巴细胞,除具有抗感染和抗肿瘤免疫功能外,还参与机体的免疫调节和移植排斥反应。NK 细胞可产生多种趋化因子,参与白细胞趋化和炎症反应。无论在血液循环或组织中,它均可通过穿孔素依赖机制参与控制肿瘤转移和抑制转移肿瘤的生长,但也存在穿孔素非依赖机制。芬多精可以活化 NK 细胞,增强人体免疫力,明显抑制癌细胞的生长^[32],这与芬多精诱导末梢血 NK 细胞增殖,以及 NK 细胞内抗癌蛋白表达有关^[64]。芬多精的有效成分主要是丁香酚、香叶醇(最大摄入量为 0~5.0 mg/kg)、香芹酚、百里香酚、 β -蒎烯、长叶烯、异戊二烯、 α -蒎烯、 β -蒎烯、龙脑等,对人体子宫内膜癌、口鼻咽癌、肺癌、结肠癌、胃癌和白血病等肿瘤细胞增殖均有一定抑制作用^[43]。研究表明 α -蒎烯不仅能激活细胞外信号调节蛋白激酶(extracellular signal-regulated kinase, ERK)和蛋白激酶 B(protein kinase B, PKB/Akt)磷酸化信号通路活化 NK 细胞,诱导穿孔素释放并附着在癌细胞膜上,打开其表面孔,促进颗粒酶 B 蛋白扩散并诱导细胞凋亡;还可增强小鼠脾脏 NK 细胞毒性,抑制 BALB 小鼠 CT-26 结肠癌移植瘤的生长^[65]。薰衣草精油主要含芳樟醇(最大摄入量为 0~0.5 mg/kg)、乙酸芳樟酯等,具有抑制人肝癌 HepG2 细胞增殖和诱导细胞凋亡的作用^[34]。森林浴能增加癌症患者 NK 细胞的活性和数量,以及细胞内抗癌蛋白的表达水平,且这种作用可至少持续到森林浴后 7 d^[66-68]。

3 结语与展望

森林是大自然赐予人类的宝贵财富。目前森林康养在我国尚处起步阶段,人们对茫茫森林从不甚了解到盲目推崇再到理性保护与利用经历了漫长过程。芬多精是专业化、功能化森林康养产业发展必须研究的核心因素之一,但目前对森林芬多精的研究还很粗浅,存在以下几个问题:一是对其化学成分认识有限,对芬多精类成分的分析主要集中在常见树种,对草本与藤本植物的研究甚少,对有害/致敏等成分的研究更需加大力度;二是对其生物活性的认识有限,虽然芬多精的生物活性研究涉及范围广,但基本停留在动物和细胞水平,疗效确证与作用机制研究较单薄。

不同区域的森林康养基地,其生物多样性不同,释放的芬多精类成分种类与含量亦不相同。目前我

国林业与草原局正在制定未来 5 年国家森林康养发展规划。有计划、有步骤地开展森林康养核心区森林资源,尤其是芬多精化学成分与生物活性的研究十分关键。阐明芬多精类成分的种类与生物活性,完善森林植物及花卉中有害物质的限量标准,对科学制定森林康养基地林分林相改造计划,合理利用藤本、草本植物增强基地康养功能,促进森林康养基地专业化、差异化发展具有极其重要指导作用。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 林静,简毅,骆宗诗,等. 5 种康养植物芬多精成分及含量研究 [J]. 四川林业科技, 2018, 39(6): 13-19.
- [2] 吴章文. 植物的精气 [J]. 森林与人类, 2015(9): 178-181.
- [3] 李玲玉, Guenther A B, 顾达萨, 等. 典型树种挥发性有机物(VOCs)排放成分谱及排放特征 [J]. 中国环境科学, 2019, 39(12): 4966-4973.
- [4] 谢小洋, 冯永忠, 王得祥, 等. 5 种园林树木挥发性成分分析 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2016, 44(7): 146-153.
- [5] 高岩. 北京市绿化树木挥发性有机物释放动态及其对人体健康的影响 [D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [6] Collonnier C, Fock I, Kashyap V, et al. Applications of biotechnology in eggplant [J]. *Plant Cell Tissue Organ Cult*, 2001, 65(2): 91-107.
- [7] 王思元. 基于森林康养理念的森林步道规划研究: 以龙峪湾国家森林公园为例 [D]. 福州: 福建农林大学, 2020.
- [8] 王昌腾. 丽水市园林绿化中有毒观赏植物调查初报 [J]. 现代园艺, 2017(13): 33-34.
- [9] 叶水英. 景德镇市区木本有毒观赏植物资源调查及毒性分析 [J]. 江西科学, 2016, 34(5): 589-592.
- [10] 熊桂华, 段晓梅, 翟丽丽, 等. 昆明市主城区医院有毒观赏植物的调查 [J]. 贵州农业科学, 2009, 37(4): 17-19.
- [11] 郭芳, 李海涛, 李婷婷, 等. 西双版纳野生有毒植物资源调查研究 [J]. 西北植物学报, 2019, 39(11): 2082-2087.
- [12] 王亚荣, 刘德兵, 徐诗涛, 等. 海南大学儋州校区有毒种子植物调查 [J]. 热带农业科学, 2016, 36(11): 99-105.
- [13] 龙林, 于旭东, 蔡泽坪, 等. 海南儋州宝岛新村有毒植物调查 [J]. 农业科学研究, 2019, 40(2): 83-92.
- [14] 傅葱球, 范明香. 浙江省遂昌县城区有毒观赏植物资源调查 [J]. 现代农业科技, 2014(4): 163-164.
- [15] 李锴, 宋扬, 郑春波, 等. 园林植物中的有害植物 [J]. 内蒙古林业调查设计, 2014, 37(6): 72-74.
- [16] 王松岳. 优雅华贵黄杜鹃 [J]. 中国花卉盆景, 2005(5): 13.
- [17] 对人体有害的植物及花卉 [J]. 山东国土资源, 2007, 23(5): 60.
- [18] 利用花卉植物净化室内环境四忌 [J]. 绿色科技, 2011(9): 98.
- [19] 桂炳中, 薛雷, 宋萌. 华北地区臭牡丹栽培 [J]. 中国花卉园艺, 2019(16): 49.
- [20] 蔡银章. 天台县华顶林场野生有毒观赏植物资源调查分析 [J]. 现代农业科技, 2014(5): 209, 211.
- [21] 鲁豫. 室内莫养有毒花 [J]. 河南林业, 1997(6): 50.
- [22] 匡莹, 杨美华. 酒类中外源性有害残留物及其检测方法研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(18): 9854-9856.
- [23] 苗青, 赵祥升, 杨美华, 等. 芳香植物化学成分与有害物质研究进展 [J]. 中草药, 2013, 44(8): 1062-1068.
- [24] 洪蓉, 金幼菊. 日本芳香生理心理学研究进展 [J]. 世界林业研究, 2001, 14(3): 61-66.
- [25] 王艳英, 王成, 蒋继宏, 等. 侧柏、香樟枝叶挥发物对人体生理的影响 [J]. 城市环境与城市生态, 2010, 23(3): 30-32.
- [26] 王忠贵. 森林康养对人体健康促进作用浅析 [J]. 现代园艺, 2020, 43(1): 106-109.
- [27] 吴凌峰. 芳香植物的自然香气对园林中散步游客的健康保健作用研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
- [28] 南海龙, 王小平, 陈峻崎, 等. 日本森林疗法及启示 [J]. 世界林业研究, 2013, 26(3): 74-78.
- [29] Woo J, Yang H, Yoon M, et al. 3-Carene, a phytoncide from pine tree has a sleep-enhancing effect by targeting the GABAA-benzodiazepine receptors [J]. *Exp Neurol*, 2019, 28(5): 593-601.
- [30] Woo J, Lee C J. Sleep-enhancing effects of phytoncide via behavioral, electrophysiological, and molecular modeling approaches [J]. *Exp Neurol*, 2020, 29(2): 120-129.
- [31] 吴章文, 吴楚材, 陈奕洪, 等. 8 种柏科植物的精气成分及其生理功效分析 [J]. 中南林业科技大学学报, 2010,

- 30(10): 1-9.
- [32] 吴兴杰. 森林康养新业态的商业模式 [J]. 商业文化, 2015(31): 9-25.
- [33] 曹佩佩. 基于近自然理念的森林康养基地设计策略研究: 以惠州市象头山森林康养基地为例 [D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [34] 文野, 潘洋刘, 晏琪, 等. 森林挥发物保健功能研究进展 [J]. 世界林业研究, 2017, 30(6): 19-23.
- [35] 李春媛. 城郊森林公园游憩与游人身心健康关系的研究: 以福州国家森林公园为例 [D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [36] 刘拓, 何铭涛. 发展森林康养产业是实行供给侧结构性改革的必然结果 [J]. 林业经济, 2017, 39(2): 39-42.
- [37] Stier-Jarmer M, Throner V, Kirschneck M, *et al.* The psychological and physical effects of forests on human health: A systematic review of systematic reviews and meta-analyses [J]. *Int J Environ Res Public Heal*, 2021, 18(4): 1770.
- [38] 李树华, 张文秀. 园艺疗法科学研究进展 [J]. 中国园林, 2009, 25(8): 19-23.
- [39] 班瑞益. 园艺疗法辅助治疗慢性精神分裂症病人效果观察 [J]. 护理学杂志, 2001, 16(9): 518-520.
- [40] 石亚星. 北京地区森林静息与景观设施匹配性的研究 [D]. 北京: 北方工业大学, 2018.
- [41] 吴楚材, 郑群明. 植物精气研究 [J]. 中国城市林业, 2005, 3(4): 61-63.
- [42] 柏方敏. 森林康养对人体健康的促进作用 [J]. 林业与生态, 2018(1): 17-19.
- [43] 陈建烟, 李永裕, 吴少华. 植物精油生物活性作用机理研究进展 [J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(9): 1312-1318.
- [44] 高翔, 姚雷. 特定芳香植物组合对降压保健功能的初步研究 [J]. 中国园林, 2011, 27(4): 37-38.
- [45] 钟钰, 郑琴, 胡鹏翼, 等. 芳香疗法与植物精油在皮肤护理领域的研究进展 [J]. 江西中医药大学学报, 2020, 32(5): 116-120.
- [46] 李小莉, 张永忠. 辛夷挥发油的抗过敏实验研究 [J]. 中国医院药学杂志, 2002, 22(9): 520-521.
- [47] 杜红光, 谢黛. 白芷挥发油抗过敏的实验研究 [J]. 海峡药学, 2008, 20(11): 24-26.
- [48] 王永奇, 王威, 梁文波, 等. 紫苏油抗过敏·炎症的研究 [J]. 中草药, 2001, 32(1): 85-87.
- [49] 周正科. 杉树的药用 [J]. 中国民族民间医药杂志, 1999, 8(5): 272.
- [50] 王燕玲. 基于森林气候疗法理念的福州市金鸡山公园步道规划研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2016.
- [51] 徐珊珊. 森林康养小镇规划研究 [D]. 中国林业科学研究院, 2018.
- [52] Kim S E, Memon A, Kim B Y, *et al.* Gastroprotective effect of phytoncide extract from *Pinus koraiensis* pinecone in *Helicobacter pylori* infection [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 9547.
- [53] Shin J, Lee S. Encapsulation of phytoncide in nanofibers by emulsion electrospinning and their antimicrobial assessment [J]. *Fibers Polym*, 2018, 19(3): 627-634.
- [54] 王永慧, 叶方, 张秀华. 辛夷药理作用和临床应用研究进展 [J]. 中国医药导报, 2012, 9(16): 12-14.
- [55] 汤建, 赵康琦, 张腾腾, 等. 白芷挥发油抗炎镇痛活性成分的虚拟筛选 [J]. 中医药信息, 2021, 38(2): 35-39.
- [56] 任星宇, 罗敏, 邓才富, 等. 白芷挥发油提取方法及药理作用的研究进展 [J]. 中国药房, 2017, 28(29): 4167-4170.
- [57] 靳明慧, 赵起. 薰衣草精油对皮肤光老化作用机制研究进展 [J]. 西南医科大学学报, 2017, 40(1): 94-96.
- [58] Fujimori H, Hisama M, Shibayama H, *et al.* Protecting effect of phytoncide solution, on normal human dermal fibroblasts against reactive oxygen species [J]. *J Oleo Sci*, 2009, 58(8): 429-436.
- [59] Abe T, Hisama M, Tanimoto S, *et al.* Antioxidant effects and antimicrobial activities of phytoncide [J]. *Biocontrol Sci*, 2008, 13(1): 23-27.
- [60] 黄月红, 程红柳, 卢静, 等. 植物精油抗病毒研究概况 [J]. 上海农业科技, 2020(4): 24-26.
- [61] 如刚. 新冠疫情之下 怎样才能多一重保护 [J]. 绿色中国, 2020(5): 64-69.
- [62] Tseliou M, Pirintsos S A, Lionis C, *et al.* Antiviral effect of an essential oil combination derived from three aromatic plants (*Coridothymus capitatus* (L.) Rchb. f., *Origanum dictamnus* L. and *Salvia fruticosa* Mill.) against viruses causing infections of the upper respiratory tract [J]. *J Herb Med*, 2019, 17/18: 100288.
- [63] 罗彩霞. 几种植物精油体外抗病毒活性的研究 [D].

兰州: 兰州交通大学, 2015.

- [64] 杨欢, 陈志权, 范金虎. 森林医学发展历程和前景及其对疾病的预防作用 [J]. 世界林业研究, 2019, 32(4): 29-33.
- [65] Jo H, Cha B, Kim H, *et al.* A-pinene enhances the anticancer activity of natural killer cells via ERK/AKT pathway [J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(2): 656.
- [66] Li Q, Morimoto K, Nakadai A, *et al.* Forest bathing enhances human natural killer activity and expression of anti-cancer proteins [J]. *Int J Immunopathol Pharmacol*, 2007, 20(2 Suppl 2): 3-8.
- [67] Li Q, Morimoto K, Kobayashi M, *et al.* A forest bathing trip increases human natural killer activity and expression of anti-cancer proteins in female subjects [J]. *J Biol Reg Homeost Ag*, 2008, 22(1): 45-55.
- [68] Li Q, Kobayashi M, Inagaki H, *et al.* A day trip to a forest park increases human natural killer activity and the expression of anti-cancer proteins in male subjects [J]. *J Biol Regul Homeost Agents*, 2010, 24(2): 157-165.

[责任编辑 崔艳丽]