

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2018.03.018

横坑切梢小蠹寄主云南松针叶及树皮的挥发性成分

徐颖凯¹,冯先慧²,王红伟³,杨伟³,杨桦^{3*}

(1. 四川省环科源科技有限公司,四川成都 610041; 2. 江油市彰明林业站,四川江油 621700;

3. 四川农业大学林学院四川省林业生态工程省级重点实验室,四川成都 611130)

摘要:揭示横坑切梢小蠹对寄主云南松的选择机制,为筛选对横坑切梢小蠹具有生物活性的植物源引诱剂,实现对该虫的生态控制提供理论指导。采用萃取蒸馏结合气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术,分析了云南松针叶和树皮中的挥发性成分。云南松针叶挥发性成分主要包括7类35种,分别是24种萜烯类、5种醇类、2种酮类、1种醚类、1种酚类、1种酯类和1种烷烃类;云南松树皮挥发性成分主要包括7类34种,分别是22种萜烯类、5种醇类、2种酮类、2种烷烃类、1种醚类、1种酚类和1种酯类。

关键词:云南松松针;云南松树皮;气相色谱-质谱联用;挥发性成分

中图分类号:S763.38

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2018)03-0088-05

Volatile Components in Needles and Bark of *Pinus yunnanensis*, the Host Plant of *Tomicus minor*

XU Ying-kai¹ FENG Xiao-hui² WANG Hong-wei³ YANG Wei³ YANG Hua^{3*}

(1. Sichuan Huankeyuan Technology Co. Ltd, Chengdu 610041, China; 2. Zhangming forestry station of Jiangyou City,

Jiangyou 621700, China; 3. Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering of Sichuan Province,

College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: The volatile components were determined in bark and needles of *Pinus yunnanensis*, the host plant of *Tomicus minor* to explore the selection mechanism of *T. minor* on host plants and provide references for screening effective attractants of the plant origin and ecological control of *T. minor*. Extractive distillation combined with gas chromatograph-mass spectrometry (GC-MS) was selected to determine volatile components in needles and bark of *P. yunnanensis*. The needles contained 35 volatile components from 7 groups, including 24 terpenes, 5 alcohols, 2 ketones, 1 ether, 1 phenol, 1 ester and 1 alkane. The bark contained 34 volatile components from 7 groups, including 22 terpenes, 5 alcohols, 2 ketones, 1 ether, 1 phenol, 1 ester and 2 alkanes.

Key words: Needles of *Pinus yunnanensis*, Bark of *Pinus yunnanensis*, GC-MS, Volatile components

植物挥发物是由植物表面或叶中积累的贮存位点所释放的挥发性物质,属于植物次生性化学物质,由一些相对分子量在100~200的烃类、醇类、酮类、含氮化合物、有机酸和有机硫等有机化学物质组成的混合物,并以一定的比例构成了该种植物特定的

化学指纹图谱^[1~4]。化学指纹图谱对引导昆虫产卵、刺激昆虫取食、诱导昆虫交配和繁殖及昆虫趋向性等行为都有调控作用^[5~8]。例如, Schoonhoven等^[9]在研究马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* 对马铃薯 *Solanum tuberosum* 叶片气味的定向选择行为

收稿日期:2018-03-15

作者简介:徐颖凯(1983-),男,四川康定人,工程师,研究生,主要从事生态环境、环境影响分析研究, e-mail:792274989@qq.com。

*通讯作者:杨桦(1982-),男,四川眉山人,博士,主要从事生态研究, e-mail:yanghua151017@163.com。

中发现,只要有马铃薯叶片气味存在,马铃薯甲虫就会产生寄主定向行为;小菜蛾 *Plutella xylostella* 可以利用十字花科植物所释放的挥发物芥子油而准确地找到寄主植物并进行取食、产卵^[10];胡萝卜花中有 5 种成分对棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 取食有很强烈的引诱作用^[11];美洲棉铃虫 *H. zea* 的寄主棉花、番茄等作物所散发的一些挥发性物质,可以明显地诱导已交配雌蛾产生定向行为,并刺激雌蛾产卵^[12]。

横坑切梢小蠹属于鞘翅目 Coleoptera,小蠹科 Scolytidae,切梢小蠹属 *Tomicus*,是一种重要的林木蛀干害虫,主要危害云南松 *Pinus yunnanensis*、马尾松 *P. massoniana*、油松 *P. tabulaeformis* 等松属类植物。横坑切梢小蠹国外主要分布在日本、俄罗斯、法国、丹麦等国家,在我国分布于河南、四川、陕西、江西、云南等地^[13]。由于该虫隐蔽性强、世代重叠严重,造成其虫情调查和监测难度较大,常造成松树的成片枯死,给林业生产和生态环境建设造成了巨大损失。横坑切梢小蠹成虫羽化后,飞到临近云南松树冠,蛀食嫩梢补充营养,到成虫性发育成熟后便会陆续从枝梢转移到树干进行交配产卵。而且小蠹类害虫是通过化学信息素进行寄主的搜寻、定位和种群的信息交流。因此,采用萃取蒸馏结合气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术,分析鉴定横坑切梢小蠹补充营养部位和产卵部位挥发性成分,比较其差异,为高效利用信息素对该类害虫的种群监测提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

于 2012 年 7 月中旬在四川省甘孜州泸定县二郎山云南松林,采取云南松健康、无霉变和无开口裂缝,且新鲜的韧皮部,以及当年生健康枝梢。在离地面约 2 m 的树干上,割下其韧皮部,同时采取每株树上直径为 0.5 cm ~ 1.5 cm 的云南松枝梢,并迅速分别放入采样袋里密封后,放入加有冰袋的医用冷藏箱中。将枝梢带回室内及时处理并提取挥发物,进行后续挥发物的提取。

1.2 仪器设备

Agilent 7890A-5975C 气相色谱-质谱(GC-MS)联用仪,配有 HP-5MS 弹性石英毛细管柱(30 m × 0.25 mm, 0.25 μm),美国安捷伦公司;旋转蒸发器(PRA-202C),中国普渡科技公司。

1.3 方法

1.3.1 云南松挥发物

提取将采集的云南松针叶与树皮分别洗净,剪成 1 cm 长的小段,分别称取 600 g 材料放入水蒸气蒸馏装置内,加入 1 200 mL 去离子水,连续蒸馏 4 h,馏出液用无水乙醚萃取,加入无水硫酸钠脱水,低温浓缩下除去乙醚,得到具有浓郁芳香气味的淡黄色透明油状物,在 -80℃ 超低温冰箱里保存备用。

1.3.2 成分分析与鉴定

挥发性成分的检测条件参照蒋丽等^[14]。对提取的挥发物利用重蒸正己烷进行稀释 1 000 倍后进行分析,气相色谱条件:使用 30 cm × 0.25 mm × 25 μm 厚涂层的 HP-5MS 石英毛细管色谱柱,流速 1.2 mL · min⁻¹,初始温度 70℃,保留 1 min;以 10℃ · min⁻¹ 的速度由 70℃ 升至 100℃,保持 1 min;再以 10、5、10、3、20℃ · min⁻¹ 的速度分别升到 122℃、141℃、160℃、190℃、250℃;250℃ 保持 2 min。进样量 1 μL,分流比为 20:1,载气为高纯氦气(He),流速为 24 mL · min⁻¹。

质谱条件:电子轰击源(EI),电子轰击电压 70 eV,进样口温度 250℃,离子源温度 200℃,扫描速度 0.4 s,扫描范围 m/z 40 ~ 450,灯丝电流 150 μA。对所得通过计算机数据库进行检索对照,确定化学组分。

1.4 数据分析

将检测的未知化合物(挥发性成分)与 NIST. 11 library 进行匹配,对匹配度大于 800(最大值为 1 000)的鉴定结果予以确认,并以峰面积归一化法确定各化合物的相对含量。用 Origin 绘图软件对获得的总离子流图进行优化。

2 结果与分析

云南松针叶的挥发性成分的总离子图见图 1。通过 GC-MS 分析鉴定出 35 种化学物质,鉴定出来的化合物占提取的挥发物组分色谱峰面积的 87.47%(表 1)。在所鉴定的化合物中,萜烯类物质 24 种,共占峰面积的 81.05%;醇类物质 5 种,共占峰面积的 3.84%;酮类物质两种,共占峰面积的 1.18%;醚类、酚类和酯类物质各 1 种,分别占峰面积的 0.03%、0.51% 和 0.72%;萘占峰面积的 0.14%。云南松针叶提取的挥发性成分中峰面积较高的有:萘澄茄油烯(42.29%),β-石竹烯(13.64%),β-水芹烯(5.26%),β-蒎烯(4.99%),

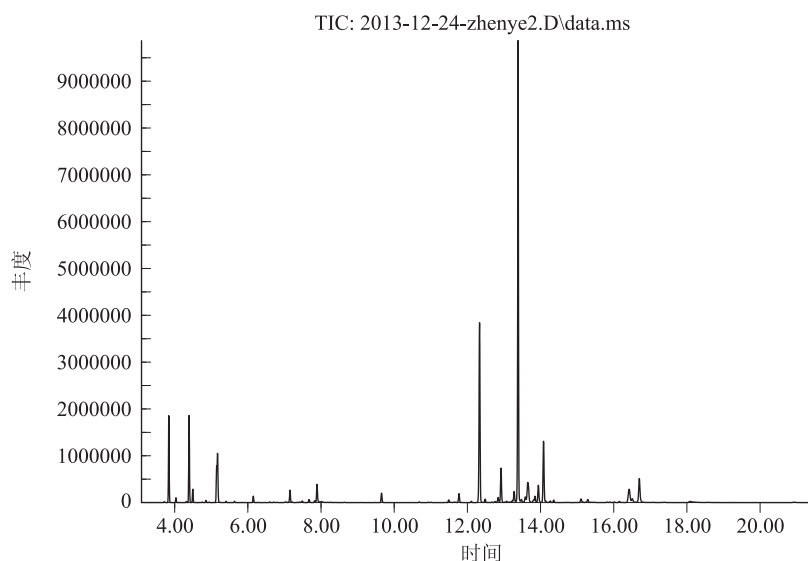


图1 云南松针叶提取物 GC-MS 总离子图

Fig 1 The GC-MS total ion chromatogram of extracts from needles of *P. yunnanensis*

表 1

云南松针叶挥发性成分

Tab. 1

The volatile compositions from needles of *P. yunnanensis*

序号 No.	保留时间 Retention time /min	化合物 Compound	相对分子质量 Relative molecular mass	分子式 Molecular formula	相对含量 Relative content (%)	相似度 Similarity (%)
1	3.716	三环烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.06	91
2	3.842	(+)- α -蒎烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	4.78	96
3	4.037	蒎烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.27	97
4	4.323	桉烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.06	91
5	4.397	β -蒎烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	4.99	94
6	4.855	3-蒎烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.13	97
7	5.17	β -水芹烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	5.26	94
8	5.404	罗勒烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.09	97
9	5.639	γ -松油烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.08	86
10	6.148	异松油烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.42	96
11	7.149	樟脑	152.23	C ₁₀ H ₁₆ O	0.85	98
12	7.487	龙脑	154.25	C ₁₀ H ₁₈ O	0.14	90
13	7.67	4-萜烯醇	154.25	C ₁₀ H ₁₈ O	0.24	95
14	7.825	萘	128.17	C ₁₀ H ₈	0.14	95
15	7.888	α -松油醇	154.25	C ₁₀ H ₁₈ O	1.35	90
16	8.631	2-异丙基-5-甲基茴香醚	164.24	C ₁₁ H ₁₆ O	0.03	87
17	9.65	乙酸冰片酯	196.29	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	0.72	99
18	10.932	(-)- α -萜澄茄油烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.03	90
19	11.761	β -榄香烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.69	91
20	12.099	长叶烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.1	99
21	12.322	β -石竹烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	13.64	99
22	12.66	(+)-香橙烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.04	99
23	12.746	吉马烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.1	97
24	12.831	(E)- β -金合欢烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.42	95
25	12.911	α -石竹烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	2.62	97
26	13.386	萜澄茄油烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	42.29	94
27	13.478	大茴香基丙酮	178.23	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	0.33	95
28	13.655	α -衣兰油烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	2.62	89
29	13.81	δ -杜松烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.18	93
30	13.85	2,6-二叔丁基对甲酚	220.35	C ₁₅ H ₂₄ O	0.51	98
31	13.941	γ -杜松烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	1.48	96
32	14.359	α -杜松烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.2	97
33	16.419	T-杜松醇	204.35	C ₁₅ H ₂₄	1.89	98
34	16.505	α -蒎烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.5	97
35	18.073	金合欢醇	222.37	C ₁₅ H ₂₆ O	0.22	90

(+)- α -蒎烯(4.78%), α -石竹烯(2.62%), α -衣兰油烯(2.62%),T-杜松醇(1.89%), γ -杜松烯(1.48%), α -松油醇(1.35%)。

云南松树皮挥发物成分的总离子图见图2。通过GC-MS分析鉴定出34种化学物质,鉴定出来的化合物占提取的挥发物组分色谱峰面积的97.98%(表2)。在所鉴定的化合物中,萜烯类物质22种,共占峰面积的92.24%;醇类物质5种,共占峰面积

的3.22%;酮类和苯类物质各有两种,分别占峰面积的0.22%和0.29%;醚类、酚类和酯类物质各1种,分别占峰面积的0.29%、0.71%、和1.01%。云南松树皮提取的挥发性成分中峰面积较高的有: β -蒎烯(27.68%), β -石竹烯(17.56%), β -水芹烯(17.18%),(+)- α -蒎烯(12.72%),2-侧柏烯(7.05%),长叶烯(4.52%), α -石竹烯(2.7%), α -松油醇(1.79%),乙酸冰片酯(1.01%)。

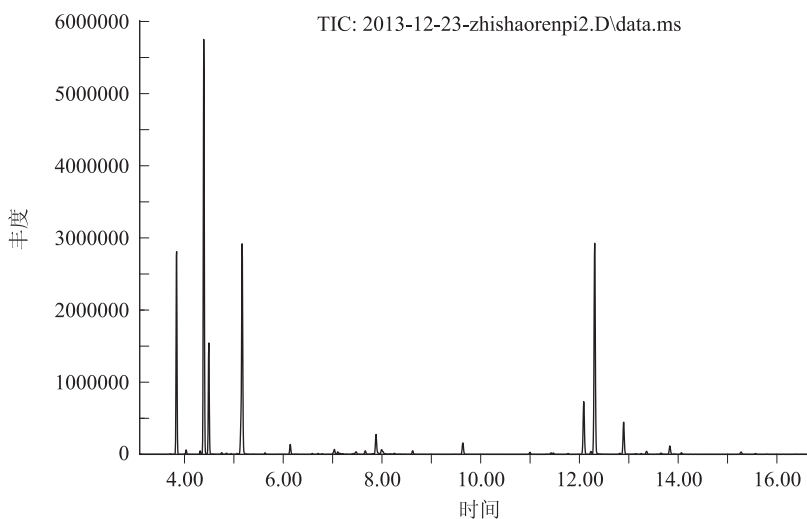


图1 云南松树皮提取物GC-MS总离子图

Fig.2 The GC-MS total ion chromatogram of extracts from bark of *P. yunnanensis*

表2

云南松树皮挥发性成分

Tab.2

The volatile compositions from bark of *P. yunnanensis*

序号 No.	保留时间 Retention time /min	化合物 Compound	相对分子质量 Relative molecular mass	分子式 Molecular formula	相对含量 Relative content (%)	相似度 Similarity (%)
1	3.716	三环烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.05	87
2	3.842	(+)- α -蒎烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	12.72	96
3	4.037	蒎烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.28	97
4	4.323	桉烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.23	91
5	4.397	β -蒎烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	27.68	94
6	4.495	2-侧柏烯	202.34	C ₁₅ H ₂₂	7.05	86
7	4.758	α -水芹烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.13	87
8	4.855	3-萘烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.09	93
9	5.072	间-异丙基甲苯	134.22	C ₁₀ H ₁₄	0.07	87
10	5.175	β -水芹烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	17.18	91
11	5.639	γ -松油烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.11	90
12	6.148	异松油烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.75	96
13	6.595	小茴香醇	154.25	C ₁₀ H ₁₈ O	0.07	86
14	7.155	樟脑	152.23	C ₁₀ H ₁₆ O	0.13	89
15	7.481	右旋龙脑	154.25	C ₁₀ H ₁₈ O	0.33	86
16	7.67	4-萜烯醇	154.25	C ₁₀ H ₁₈ O	0.33	96
17	7.888	α -松油醇	154.25	C ₁₀ H ₁₈ O	1.79	86
18	8.002	桃金娘烯醇	152.23	C ₁₀ H ₁₆ O	0.7	93
19	8.26	马鞭草烯酮	150.22	C ₁₀ H ₁₄ O	0.09	95
20	8.632	2-异丙基-5-甲基茴香醚	164.24	C ₁₁ H ₁₆ O	0.29	91
21	9.65	乙酸冰片酯	196.29	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	1.01	98
22	11.012	(+)- α -长叶蒎烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.18	93

续表 2

序号 No.	保留时间 Retention time /min	化合物 Compound	相对分子质量 Relative molecular mass	分子式 Molecular formula	相对含量 Relative content (%)	相似度 Similarity(%)
23	11.441	(+)-环长叶烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.14	94
24	11.487	α-蒎烯	136.24	C ₁₀ H ₁₆	0.13	93
25	11.784	(+)-苜蓿烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.09	99
26	12.099	长叶烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	4.52	99
27	12.248	2-叔丁基-1,4-二甲氧基苯	194.27	C ₁₂ H ₁₈ O ₂	0.22	93
28	12.322	β-石竹烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	17.56	99
29	12.831	(E)-β-金合欢烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.1	93
30	12.912	α-石竹烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	2.7	96
31	13.375	萜澄茄油烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.3	95
32	13.673	α-衣兰油烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.11	91
33	13.85	2,6-二叔丁基对甲酚	220.35	C ₁₅ H ₂₄ O	0.71	98
34	14.085	δ-杜松烯	204.35	C ₁₅ H ₂₄	0.14	93

由表 3 可见,云南松针叶和树皮共有 22 种挥发性成分,其中萜烯类占了 18 种,醇类 1 种,酯类 1 种,酚类 1 种。综上,云南松针叶挥发性成分相对含量中有 88.58% 与云南松树皮相同;云南松树皮挥发性成分相对含量中有 81.88% 与针叶相同。

表 3 云南松针叶和树皮的相同挥发性成分

Tab. 3 Identical volatile components in *P. yunnanensis* bark and needles

化合物 Compound	物质种类 Substance species	相对含量(%) Relative content	
		针叶 needles	树皮 bark
三环烯	萜烯类	0.05	0.06
(+)-α-蒎烯	萜烯类	12.72	4.78
玟烯	萜烯类	0.28	0.27
桉烯	萜烯类	0.23	0.06
β-蒎烯	萜烯类	27.68	4.99
3-苜蓿烯	萜烯类	0.09	0.13
β-水芹烯	萜烯类	17.18	5.26
γ-松油烯	萜烯类	0.11	0.08
异松油烯	萜烯类	0.75	0.42
樟脑	萜烯类	0.13	0.85
α-松油醇	醇类	1.79	1.35
2-异丙基-5-甲基茴香醚	醚类	0.29	0.03
乙酸冰片酯	酯类	1.01	0.72
α-蒎烯	萜烯类	0.13	0.50
长叶烯	萜烯类	4.52	0.10
β-石竹烯	萜烯类	17.56	13.64
(E)-β-金合欢烯	萜烯类	0.10	0.42
α-石竹烯	萜烯类	2.70	2.62
萜澄茄油烯	萜烯类	0.30	42.29
α-衣兰油烯	萜烯类	0.11	2.62
2,6-二叔丁基对甲酚	酚类	0.71	0.51
δ-杜松烯	萜烯类	0.14	0.18

3 讨论

云南松针叶和树皮挥发性成分在组成和含量上

差别很大。在针叶和树皮挥发性成分中,(+)-α-蒎烯相对含量分别为 12.72% 和 4.78%,β-蒎烯为 27.68% 和 4.99%,β-水芹烯为 17.18% 和 5.26%,异松油烯为 0.75% 和 0.42%,长叶烯为 4.52% 和 0.1%,β-石竹烯为 17.56% 和 13.64%,(E)-β-金合欢烯为 0.1% 和 0.42%,萜澄茄油烯为 0.3% 和 42.29%。树皮中桃金娘烯醇含量为 0.7%,马鞭草烯酮含量为 0.09%,而松针中则没检测到这两种物质。殷彩霞等^[15]利用石油醚浸泡昆明地区云南松的枝梢韧皮部和松针发现,α-蒎烯在二者提取物种的相对含量分别为 47.13% 和 9.14%,β-蒎烯含量为 10.93% 和 1.79%;β-水芹烯为 21.97%,而松针中则未检测到。杨燕等^[16]对贵州地区的云南松松针进行水蒸气蒸馏提取分析发现,α-蒎烯相对含量为 4.141%、β-蒎烯为 0.856%、异松油烯为 0.402%、β-萜澄茄烯为 0.489%、α-松油醇为 0.715%、大根香叶烯 D 为 15.045%、十六酰胺为 16.581% 和 β-石竹烯为 4.473%。伍苏然等^[17]利用采用顶空吸附法收集的云南松健康松和衰弱松针叶自然挥发性物质主要成分为 α-蒎烯(73.43% 和 21.24%)、β-蒎烯(13.28% 和 28.54%)、柠檬烯(4.58% 和 23.01%),并推测 α-蒎烯与 β-蒎烯的相对比例的变化是云南松树势衰弱程度变化的一个重要信号。

本研究中在云南松树皮挥发性成分中检测到了马鞭烯酮和桃金娘烯醇,而在其他研究中这两种物质则是在小蠹虫的后肠提取物中才被检测到的^[18],是不是对横坑切梢小蠹后肠提取物进行分析,也可以发现这些物质,是否为横坑切梢小蠹的性信息素,还需进一步研究。(下转第 115 页)

- sin. (西北植物学报),1999,19(2):337~342(in Chinese).
- [12] FANF J Y(方精云),WANG R P(王襄平),SHEN Z H(沈泽昊),et al. Methods and protocols for plant community inventory [J]. Chinese Biodiversity(生物多样性),2009,17(6):533~538(in Chinese).
- [13] WANG F(王飞),GUO X(郭星),CHEN G P(陈国鹏),et al. The niche of shrub populations located in the dry river valley of Bailong river in Gansu[J]. Shanxi Forest Science and Technology(陕西林业科技),2015,(4):1~7(in Chinese).
- [14] HUANG Q L(黄清麟),ZHANG CH(张超),ZHANG X H(张晓红). Study on structural characteristics of shrub communities in Tibet [J]. Journal of Mountain Science(山地学报),2010,28(5):566~570(in Chinese).
- [15] Cantón Y, Del Barrio G, Solé-Benet A, Lázaro R. Topographic controls on the spatial distribution of ground cover in the Tabernas badlands of SE Spain[J]. Catena, 2004, 55:341~365.
- [16] Hara K, Fujihara M, Oono K. Vegetation structure in relation to micro-land form in an evergreen broad-leaved forest on Amami Ohshima Island, South-West Japan [J]. Ecological Research, 1996,11:325~337.
- [17] Dai N, Yoshihiko H, Yukira M. Influence of micro-landforms on forest structure, tree death and recruitment in a Japanese temperate mixed forest [J]. Ecological research, 2003, 18(5):533~547.
- [18] 简敏菲,游海,朱笃,等. 江西九连山森林群落灌木层的物种组成与多样性分析[J]. 江西师范大学学报:自然科学版,2008,32(4):494~499.
- [19] GUAN W B(关文彬),YE M M(冶民生),MA K M(马克明),et al. Vegetation Classification and the Main Types of Vegetation of the Dry Valley of Minjiang River[J]. Journal of Mountain Science(山地学报),2004,22(6):679~686(in Chinese).

(上接第 92 页)

参考文献:

- [1] Pichersky E, Gershenzon J. The formation and function of plant volatiles: Perfumes for pollinator attraction and defense [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2002, 5(3):237~243.
- [2] Hsiao T H. Feeding behavior [C]//Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology. Oxford: Pergamon Press, 1985.
- [3] Schneider D. Plant recognition by insects: A challenge for neuroethological research [M]. Dordrecht: Dr W Junk Publisher, 1987.
- [4] Visser JH. Host odor perception in phytophagous insects [J]. Annual Review of Entomology, 1986, 31:121~144.
- [5] 杜家纬. 植物-昆虫间的化学通讯及其行为控制 [J]. 植物生理学报, 2001, 27(3):193~200.
- [6] 王红伟, 杨伟, 杨桦, 等. 横坑切梢小蠹对植物挥发物的电生理和行为反应 [J]. 生态学杂志, 2014, 33(5):1260~1266.
- [7] 钦俊德, 王琛柱. 论昆虫与植物的相互作用和进化的关系 [J]. 昆虫学报, 2001, 44(3):360~365.
- [8] 卓志航, 杨伟, 徐丹萍, 等. 云斑天牛寄主核桃树皮及树叶的挥发性成分 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(5):205~214.
- [9] Schoonhoven L M, Jermy T, Van Loon J J A. Insect plant biology: From Physiology to Evolution [M]. London: Chapman and Hall, 1998, 136~138, 144.
- [10] Verkerk R H J, Wright D J. Multitrophic interactions and management of the diamondback moth: a review [J]. Bulletin of Entomological Research, 1996, 86(3):205~216.
- [11] 丁建红, 郭予元, 吴才宏. 胡萝卜挥发油中棉铃虫信息化合物的分离、鉴定及行为测定 [J]. 昆虫学报. 1997, 40(增刊):73~77.
- [12] Mitchell E R, Tignle P C, Heath R R. Ovipositional response of three *Heliothis* species (Lepidoptera: Noctuidae) to allelochemicals from cultivated and wild host plants [J]. Journal of Chemical Ecology, 1990, 16(6):1817~1827.
- [13] 殷蕙芬, 黄复生, 李兆麟. 中国经济昆虫志 [M]. 第二十九册, 小蠹科. 北京: 科学出版社. 1984: 54~55, 142~144.
- [14] 蒋丽, 王雪莹, 杨洲, 等. 自然发酵与接种发酵泡菜香气成分分析 [J]. 食品科学, 2011, 32(22):276~279.
- [15] 殷彩霞, 高竹林, 吕军, 等. 纵坑切梢小蠹对云南松枝梢提取物趋性测试 [J]. 昆虫知识, 2002, 39(5):384~386.
- [16] 杨燕, 杨茂发, 杨再华, 等. 云南松松针的挥发性化学成分 [J]. 林业科学, 2009, 45(5):173~177.
- [17] 伍苏然, 周平阳, 李正跃, 等. 云南松健康松与衰弱松针叶挥发物化学成分比较 [J]. 天然产物研究与开发, 2010, 22(6):1048~1052.
- [18] 闫争亮, 泽桑梓, 马惠芬, 等. 健康和受虫害云南松及云南切梢小蠹后肠挥发性物质的分析与比较 [J]. 西部林业科学, 2009, 38(4):70~73.