应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2021, 58(1): 132−141. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2021.014

油茶蓝翅天牛为害与寄主油茶内营养物质和次生物质含量的关系*

黄 欣[1**] 李小珍[1] 姚志文[2] 肖 斌[3] 徐凡舒[1] 王广利[1***]

（1. 江西农业大学农学院，南昌 330045；2. 江西农业工程职业学院，宜春 331200；
3. 江西省林业有害生物防治检疫局，南昌 330038）

摘 要 【**目的**】揭示油茶蓝翅天牛 *Chreonoma atritarsis* Pic.发生与寄主枝条营养物质及次生物质含量之间的相互关系，为蓝翅天牛在油茶林中的发生监测预警提供基础依据。【**方法**】采用五点法对蓝翅天牛在油茶幼龄林和壮龄林中的为害情况进行了调查；采用烘干称重法、蒽酮比色法、3,5-二硝基水杨酸法（DNS 法）和考马斯亮蓝 G-250 等方法分别测定不同林龄内的油茶枝条含水量，枝条可溶性总糖、还原糖、可溶性蛋白等主要营养物质的含量，以及总酚、缩合单宁和黄酮等次生物质的含量，并进一步分析为害情况与各物质含量间的相关性。【**结果**】林间调查结果表明，油茶蓝翅天牛能够为害幼龄油茶林，且在幼龄林中喜为害枝高≤50 cm、直径>1 cm 枝条，尤以直径 1-2 cm 枝条受害最重；壮龄油茶林中在枝高>50 cm 枝条、直径>1 cm 的枝条上为害较重，尤以直径>2 cm 枝条受害最重。室内研究结果揭示了油茶枝条营养物质及次生物质含量由高到低依次为可溶性总糖、还原糖、总酚、缩合单宁、可溶性蛋白和黄酮。其中，枝条韧皮部和木质部中各物质的含量存在显著差异。油茶蓝翅天牛在幼龄林内的选择为害行为和油茶枝条的还原糖与可溶性总糖之比呈显著负相关，和可溶性蛋白含量呈显著正相关；在壮龄油茶林内选择为害行为与枝条的总酚、缩合单宁含量呈显著负相关。【**结论**】油茶蓝翅天牛对油茶枝条的为害选择与枝条内的可溶性蛋白含量存在显著正相关关系，与还原糖与可溶性总糖含量之比、总酚含量及缩合单宁含量存在显著负相关关系。因此在林间栽培油茶植株过程中应加强对相应树龄及直径枝条植株上蓝翅天牛发生的监测预警。

关键词 油茶；蓝翅天牛；营养物质；次生物质；相关性

Interrelation between *Chreonoma atritarsis* Pic. and the nutrient content and secondary metabolites of the host plant *Camellia oleifera*

HUANG Xin[1**] LI Xiao-Zhen[1] YAO Zhi-Wen[2]
XIAO Bin[3] XU Fan-Shu[1] WANG Guang-Li[1***]

(1. College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Jiangxi Agricultual Engineering College, Yichun 331200, China; 3. Jiangxi Forest Pest Control and Quarantine Bureau, Nanchang 330038, China)

Abstract **[Objectives]** To determine the correlation between the occurrence of *Chreonoma atritarsis* and the nutrient and secondary metabolite content of its host plant, the oil tree, *Camellia oleifera*. **[Methods]** The five-point method was used to investigate *C. atritarsis* damage to young and adult oil trees. The water content and the total soluble sugar, reducing sugar, soluble protein, and the main secondary metabolites; i.e. total phenols, condensed tannins and flavonoids, among branches of different ages were quantified by oven drying, anthronecolorimetry, the 3,5-dinitrosaliculic acid method (DNS colorimetry), and staining with Coomassie brilliant blue G250. The correlation between the amount of damage and the content of each

*资助项目 Supported projects：江西省科技计划项目（20132BBF60036）；江西省教育厅科技计划项目（60359;GJJ190201）；江西农业大学研究生创新专项（NDYC2018-S008）

**第一作者 First author，E-mail：shnhuang@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：wgl_2002@126.com

收稿日期 Received：2019-07-24；接受日期 Accepted：2019-09-09

substance was then analysed statistically. **[Results]** Forest survey results indicate that most *C. atritarsis* damage to young oil tea trees was on branches at a height of ≤50 cm and a diameter of >1 cm, especially those with a diameter of 1-2 cm. In adult trees, branches at a height of > 50 cm and a diameter of >1cm sustained more damage, especially those with a diameter of >2 cm. The results of laboratory studies revealed that the most abundant nutrient and secondary metabolite contents of oil tea trees were, in descending order; soluble total sugar, reducing sugar, total phenols, condensed tannins, soluble protein and flavonoids. Among these, there was a significant difference in the content of each substance in the phloem and xylem of branches. The damage inflicted by *C. atritarsis* on young trees was negatively correlated with the ratio of reducing sugar to soluble total sugar, and positively correlated with soluble protein content. In adult trees, damage was negatively correlated with total phenols and condensed tannin content. **[Conclusion]** There was a significant, positive correlation between the amount of *C. atritarsis* damage and soluble protein content in oil tree branches, and a significant, negative correlation between the amount of *C. atritarsis* damage and the ratio of reducing sugar to soluble total sugar, total phenols and condensed tannin content. Monitoring for *C. atritarsis* should take into consideration both tree age and branch diameter. These results facilitate more effective monitoring, and obtaining early warning of outbreaks, of *C. atritarsis*.

Key words *Camellia oleifera* Abel; *Chreonoma atritarsis* Pic.; nutriment; secondary metabolites; correlation

油茶 *Camellia oleifera* Abel 是我国特有的纯天然高级木本油料树种，茶油不饱和脂肪酸、油酸和维生素含量居各类食用油之首，是国际粮农组织首推的卫生保健植物食用油（庄瑞林，2008）。据统计，我国 2016 年共种植油茶 4.27×10^6 hm^2，茶籽产量 216.4 万吨，2017 年种植面积增加至4.37×10^6 hm^2（中国产业信息网，2018）。病虫害在一定程度上造成了油茶产量损失（朱峰等，2018），而油茶林病虫害综合防控技术相对滞后的问题日渐突显，尤其是对生物防控途径的基础研究严重不足。植食性昆虫的适应力与植物营养状况密切相关，植物释放的次生物质可抵御植食性昆虫的为害（Oroño *et al.*，2018）。在害虫综合治理中可将次生物质作为一种重要的生物防控因子（Sosa and Tonn，2008）。因此，开展油茶林主要害虫的发生与植物营养、次生物质之间的相互关系的研究，对油茶林主要害虫的生物防控和预警具有重要的现实意义。

油茶蓝翅天牛 *Chreonoma atritarsis* Pic.属鞘翅目（Coleoptera）天牛科（Cerambycidae），是油茶上的一种重要蛀干害虫，是影响油茶植株正常生长发育、导致油茶产量下降的重要原因之一，在江西省内局部地区为害严重。油茶蓝翅天牛成虫一方面以取食叶片为害，另一方面是在枝干产卵危害，产卵痕为 U 字形或山字形，幼虫孵化后先在皮下环食一圈再深入蛀食枝干木质部。被害枝条呈环节状肿胀，养分运输受阻（诸瑞龙等，1982）。发生量大时，严重衰弱树势，影响油茶品质及产量（王邵军和彭九生，2011）。早在 20 世纪 80 年代，有研究表明油茶蓝翅天牛为害特性与油茶枝条直径及树龄有关，喜在直径 1-2 cm 的枝条上产卵，且在油茶树龄相对较高的林分中为害严重（王跃连，1983；曾家丽等，1984）。目前，在油茶幼龄林中是否也能够迅速扩散尚未有研究报道。近年来全国油茶新造林面积在不断增加，大面积的油茶幼龄林以及当前的纯林结构使油茶幼龄林或新造林面临着蓝翅天牛的严重威胁。为明确油茶蓝翅天牛在油茶幼龄林中的为害与扩散是否具有重大潜力，本研究开展了林间调查工作，并从植物营养与次生物质含量上分析蓝翅天牛为害与寄主之间的相互关系，以期为油茶幼龄林及新造林内油茶蓝翅天牛的发生与防控提供监测预警的参考。

1　材料与方法

1.1　材料

供试材料：均为普通油茶品种 *C. oleifera* 健康枝条，于 2018 年 6 月初采自江西省永丰县（N26°44′49.37″，E115°35′26.27″）立地条件相同、种植品种相同、相距 500 m 的成年期油茶林（树龄 20-40 年，壮龄林）与幼年期油茶林（树龄 10 年以下，幼龄林）（庄瑞林，2008），采集后立即冷冻保存，用于室内测定枝条主要营养

物质及次生物质的含量。

试剂：AR 葡萄糖、AR 无水乙醇、AR 甲醇、西陇科学股份有限公司；AR 浓硫酸、AR 盐酸，西陇化工股份有限公司；AR 蒽酮，上海战云化工有限公司；AR 乙酸乙酯、AR 结晶氯化铝，天津市恒兴化学试剂制造有限公司；DNS 试剂、牛血清蛋白、考马斯亮蓝 G-250、福林酚试剂，北京索莱宝科技有限公司；AR 磷酸，天津市大茂化学试剂厂；99%没食子酸、95%儿茶素、99%香草醛、95%芦丁，上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

仪器：JA1003N 电子天平，上海精密科学仪器有限公司；T6 新世纪紫外可见分光光度计，北京普析通用仪器有限责任公司；HH-4 数显恒温水浴锅，上海浦东物理光学仪器厂；DHG-9243BS-Ⅲ电热恒温鼓风干燥箱，上海新苗医疗器械制造有限公司；多功能粉碎机 800A，永康市红太阳机电有限公司；GL21R 高速冷冻离心机，上海知正离心机有限公司；RE-3000 旋转蒸发器，上海亚荣生化仪器厂；SHB-3 循环水多用真空泵，郑州杜甫仪器厂。

1.2 方法

1.2.1 油茶蓝翅天牛在不同直径和离地高度油茶枝条上的发生情况调查 调查分为壮龄林和幼龄林 2 种类型。壮龄林面积 5.33 hm^2，均分成两个条件相同的小区；幼龄林面积 6.67 hm^2，均分成 3 个条件相同的小区。采用五点法分别对各小区内油茶蓝翅天牛为害油茶枝条的情况进行随机调查，记录枝条上是否有为害，包括产卵痕和取食痕及其个数。产卵痕以山字形或 U 字形刻槽为准，取食痕以枝条出现环节状肿大，或有天牛钻蛀孔，或钻蛀孔有蛀屑排出为准。壮龄林共调查 40 株，幼龄林共调查 60 株。分别记录各调查株：（1）枝条离地高度 50 cm、50 cm（2）枝条直径（径长）≤1 cm、1-2 cm、≥2 cm 下的为害痕个数。统计分析不同离地高度和不同枝条直径上蓝翅天牛为害程度之间的差异性。

1.2.2 油茶枝条主要营养物质和次生物质含量的测定及相关性分析

样品制备：在幼龄林和壮龄林中采集高度 50 cm 以上枝条作为样品。将采回的各样品分成≤1 cm、1-2 cm、≥2 cm 3 个直径段组，每一直径段组再分离成韧皮部和木质部两组样品，置于 80 ℃烘箱烘干至恒重。取出后称重，经高速粉碎机粉碎，过 60 目筛，分装于相同规格 6 号自封袋中，干燥、阴凉处保存备用。

样品物质含量测定：含水量测定采用烘干称重法（乔富廉，2002）；可溶性总糖测定采用蒽酮比色法（张友杰，1977）；还原糖测定参照周志军等（2013）采用 3,5-二硝基水杨酸法（DNS 法）；可溶性蛋白测定采用考马斯亮蓝 G-250 法（董树刚和吴以平，2006；王艾平和周丽明，2014）；总酚含量测定采用 Folin-Ciocalteu 法（中华全国供销合作总社杭州茶叶研究院，2008；蔡文国等，2013）；缩合单宁含量测定采用香草醛-硫酸法（单虹丽等，2012）；黄酮含量测定采用三氯化铝分光光度法（Barreira *et al.*，2008；淦永鉴等，2015）。分别测定各组样品韧皮部、木质部的物质含量，测量重复 3 次。

枝条物质含量与油茶蓝翅天牛危害的相关性分析参考陈建明（陈建明等，2005）耐虫性的研究方法。

1.3 数据处理

利用 Excel 2010、SPSS16.0 软件进行数据处理与分析，通过单因素 ANOVA 和 Duncan’s 进行数据分析与多重比较；采用 GraphPad Prism 5 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 油茶蓝翅天牛在林间对不同直径和离地高度枝条的为害选择

通过林间调查发现，油茶蓝翅天牛对油茶幼龄林造成为害，且对幼龄油茶不同直径和离地高度的枝条具有的选择性（图 1）。在幼龄油茶林中，枝高≤50 cm 枝条上的蓝翅天牛单株平均为害痕数为 6.43 个，枝高>50 cm 枝条上的单株平均为害痕数为 4.52 个，二者之间无显著差异（P=0.087），说明在幼龄林中枝高对蓝翅天牛的为害选择无显著影响；壮龄油茶林内，蓝翅天牛

在枝高≤50 cm 的枝条上单株平均为害痕数为 1.35 个，显著低于在枝高>50 cm 枝条上的单株平均为害痕数 8.38 个（P=0.000），表明蓝翅天牛偏好为害壮龄林中枝高>50 cm 的枝条。

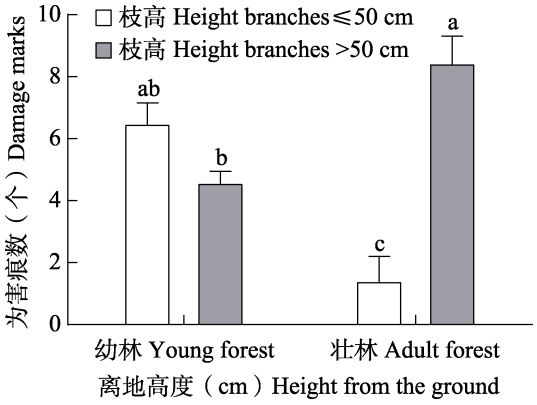

图 1　不同枝高枝条上的为害痕数

Fig. 1　The quantity of damage marks in different height branches

图中数据为平均值±标准误，柱上标有不同小写字母表示多重比较在 P<0.05 水平差异显著。下图同。
Data are mean±SE. Histograms with different lower letters indicate significant difference at the 0.05 level by multiple comparison. The same below.

在幼龄油茶林中，蓝翅天牛喜欢选择直径在 1-2 cm 的枝条上为害，单株平均被害痕数达 6.48 个，而对于直径≤1 cm 和≥2 cm 的枝条为害相对较轻，单株平均被害痕数分别为 0.38 个和 3.65 个；在壮龄油茶林中，蓝翅天牛则喜欢在直径≥2 cm 的枝条上为害，其单株平均为害痕数为 4.95 个，而在≤1 cm 和 1-2 cm 枝条上的为害相对较弱，单株平均为害痕数分别为 0.23 个和 4.50 个。综合分析，在幼龄油茶林内，蓝翅天牛偏好为害直径 1-2 cm 的枝条；在壮龄油茶林内，偏好为害直径 1-2 cm 和≥2 cm 的枝条（图 2）。

2.2　油茶不同直径枝条及主要营养物质含量的差异

2.2.1　含水量　在幼龄油茶林中，直径≤1 cm、1-2 cm 和≥2 cm 的油茶枝条韧皮部含水量分别达 50.61%、55.34%和 56.75%，其中以直径≥2 cm 的油茶枝条含水量较高；直径≤1 cm、1-2 cm 和≥2 cm 的油茶枝条木质部的含水量分别为 39.02%、43.10%和 39.33%，其中以直径 1-2 cm 的枝条含水量较高（表 1）。在壮龄油茶林中，直径 1-2 cm 的枝条韧皮部和木质部的含水量均较其他直径枝条高，分别达 60.36%和 40.44%。综合分析，直径 1-2 cm 的枝条在幼龄和壮龄油茶林内均表现出了较高的含水量，其中韧皮部的含水量均显著高于木质部的含水量。

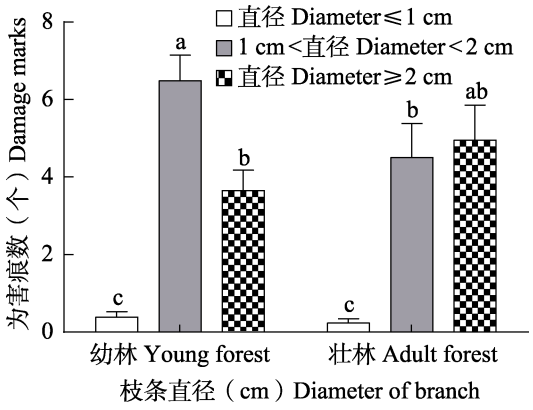

图 2　不同直径枝条上的为害痕数

Fig. 2　The quantity of damage marks in different diameter branches

2.2.2　可溶性总糖　在幼龄油茶林中，可溶性总糖含量在直径≤1 cm、1-2 cm 和≥2cm 枝条韧皮部中的含量分别为 55.77、90.20 和 45.45 mg/g，其中以 1-2 cm 直径组韧皮部的含量较高；油茶枝条木质部的可溶性总糖含量在 3 个直径段中的含量分别为 193.68、60.07 和 30.00 mg/g，其中以直径≤1 cm 枝条的木质部含量显著较高（表 1）。在壮龄油茶林中，测得油茶枝条韧皮部的可溶性总糖含量最高的枝条为直径≤1 cm 的枝条，平均值达 149.54 mg/g，木质部的可溶性总糖含量最高的枝条为 1-2 cm 枝条，平均值达 77.36 mg/g。综合分析，直径≤1 cm 的油茶枝条的可溶性总糖含量在幼龄油茶林和壮龄油茶林的枝条中含量均较高，但幼龄油茶中韧皮部的可溶性总糖含量显著低于木质部，壮龄油茶中韧皮部的可溶性总糖含量显著高于木质部。

2.2.3　还原糖　油茶不同直径枝条的还原糖含量结果显示，幼龄油茶林直径≤1 cm、1-2 cm 和≥2 cm 的枝条韧皮部还原糖含量分别为 19.98、19.48 和 15.64 mg/g，以直径≤1 cm 的枝条韧皮部还原糖含量较高（表 1）；木质部的还原糖含

表 1　油茶枝条主要营养物质及次生物质含量

Table 1　Content of major nutrition and secondary metabolites among branches of *Camellia oleifera*

不同枝条直径 Φ（cm）Branch diameter			含水量（%）Water content	可溶性总糖（$mg·g^{-1}$）Soluble total sugar	还原糖（$mg·g^{-1}$）Reducing sugar	还原糖与可溶性总糖含量之比 The ratio of reducing sugar to soluble total sugar	可溶性蛋白（$mg·g^{-1}$）Soluble protein	总酚（$mg·g^{-1}$）Total phenols	缩合单宁（$mg·g^{-1}$）Condensed tannin	黄酮（$mg·g^{-1}$）Flavonoids
幼林 Young forest	韧皮部 Phloem	Φ≤1	50.61±0.83c	55.77±9.06c	19.98±0.32b	0.38±0.06a	4.24±0.02a	6.61±0.10a	2.18±0.55b	2.03±0.01b
		Φ∈ (1-2)	55.34±0.25b	90.20±4.88bc	19.48±0.31b	0.22±0.02abcd	4.31±0.01a	5.12±0.12c	2.05±0.310b	2.20±0.03a
		Φ≥2	56.75±0.88b	45.45±6.78c	15.64±0.13c	0.36±0.04a	3.91±0.03b	4.34±0.08ef	5.06±1.03a	1.78±0.02c
	木质部 Xylem	Φ≤1	39.02±2.34e	193.68±60.04a	14.67±0.28cd	0.10±0.10cd	1.25±0.02h	4.63±0.08de	3.12±1.48ab	0.45±0.00fg
		Φ∈(1-2)	43.10±1.69d	60.07±60.07c	12.77±0.21d	0.23±0.04abcd	1.70±0.16f	5.65±0.31b	3.25±0.65ab	0.48±0.01f
		Φ≥2	39.33±0.22e	30.00±13.72c	7.20±0.20e	0.34±0.12ab	1.46±0.02g	5.60±0.07b	2.52±0.79ab	0.35±0.00h
壮林 Adult forest	韧皮部 Phloem	Φ≤1	54.48±1.76b	149.54±43.90ab	23.76±1.77a	0.18±0.03bcd	3.43±0.02d	4.89±0.15cd	3.25±0.70ab	1.57±0.02d
		Φ∈(1-2)	60.36±0.15a	93.88±5.64bc	25.58±1.56a	0.27±0.02abc	3.24±0.05e	4.53±0.16def	2.78±0.18ab	1.24±0.01e
		Φ≧2	54.93±0.99b	96.86±14.17bc	21.36±0.27b	0.23±0.04abcd	3.67±0.013c	4.86±0.19cd	1.85±0.12b	1.81±0.02c
	木质部 Xylem	Φ≤1	35.64±0.25f	29.94±6.85c	5.45±0.22e	0.21±0.05abcd	1.40±0.02g	4.71±0.07cde	3.05±1.43ab	0.41±0.00g
		Φ∈(1-2)	40.44±0.08de	77.36±37.90bc	5.24±0.10e	0.11±0.05cd	1.63±0.01f	4.07±0.19f	3.32±0.89ab	0.36±0.01h
		Φ≥2	39.35±0.22e	44.88±12.30c	3.08±0.04f	0.08±0.03d	1.55±0.02fg	4.52±0.11def	3.45±0.72ab	0.36±0.01h

表中数据为平均值±标准误，同列数据后标有不同字母表示 Duncan's 多重比较在 $P<0.05$ 水平差异显著。

Data are mean±SE, and followed by different letters in the same column are significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's multiple range test.

量在直径≤1 cm、1-2 cm 和≥2 cm 的枝条中分别为 14.678、12.77 和 7.20 mg/g，也以直径≤1 cm 的枝条木质部还原糖含量较高。在壮龄油茶林中，枝条的韧皮部还原糖含量以 1-2 cm 直径组的最高，为 25.58 mg/g，木质部还原糖含量以≤1 cm 直径组的枝条含量较高，为 5.45 mg/g。综合分析，幼龄林中直径≤1 cm 枝条还原糖含量较高，壮龄林中 1-2 cm 直径枝条还原糖含量较高，且这两个含量较高的直径组中，韧皮部的还原糖含量均显著高于木质部的还原糖含量。

2.2.4　还原糖与可溶性总糖之比　枝条的还原糖与可溶性总糖含量之比结果显示（表 1），油茶幼龄林中，韧皮部还原糖与可溶性总糖含量比值以直径≤1 cm 枝条最高，为 0.38，而在木质部中则以直径≥2cm 枝条最高，为 0.34。油茶壮龄林中，韧皮部的还原糖与可溶性总糖含量之比值以 1-2 cm 直径组枝条最高，为 0.27，而在木质部中则以≤1 cm 直径组枝条最高，为 0.21。综合分析，还原糖与可溶性总糖含量之比值较高的枝条分别是油茶幼龄林直径≥2 cm 的枝条和壮龄林中直径为 1-2 cm 的枝条，且在比值较高的两个直径段中，韧皮部的比值均高于木质部的比值。

2.2.5　可溶性蛋白　油茶幼龄林中，可溶性蛋白含量在直径为≤1 cm、1-2 cm 和≥2 cm 枝条韧皮部中的含量分别为 4.24、4.31 和 3.91 mg/g，其中以直径 1-2 cm 的枝条含量较高（表 1）；木质部的可溶性蛋白含量在 3 个直径组中分别为 1.25、1.70 和 1.46 mg/g，其中直径 1-2 cm 的枝条可溶性蛋白含量较高。油茶壮龄林中，枝条韧皮部的可溶性蛋白以直径≥2 cm 的含量最高，达 3.67 mg/g，木质部以直径 1-2 cm 的枝条含量较高，达 1.63 mg/g。综合分析，可溶性蛋白含量较高的枝条分别是幼龄林中的直径 1-2 cm 的枝条和壮龄林中直径≥2 cm 的枝条。两个含量较高的直径组中，韧皮部的可溶性蛋白含量均显著高于木质部的可溶性蛋白含量。

2.3　油茶不同直径枝条的主要次生物质含量

2.3.1　总酚　油茶幼龄林内，直径≤1 cm、1-2 cm 和≥2 cm 枝条的韧皮部总酚含量分别为 6.61、5.12 和 4.34 mg/g，其中直径≤1 cm 的枝条总酚含量最高（表 1）；木质部的总酚含量在上述 3 种直径组中分别为 4.63 、5.65 和 5.60 mg/g，其中 1-2 cm 直径组的枝条总酚含量最高。油茶壮龄林中，韧皮部和的木质部的总酚含量均以直径≤1 cm 的枝条含量最高，分别为 4.89 mg/g 和 4.71 mg/g。通过比较分析，总酚含量相对较高的枝条分别是幼龄林中直径≤1 cm 和壮龄林中直径≤1 cm 枝条，且总酚含量较为均匀。在总酚含量较高的两个直径段中，韧皮部的总酚含量均较木质部的总酚含量更高。

2.3.2　缩合单宁　油茶幼龄林内，枝条韧皮部的缩合单宁含量在直径≤1 cm、1-2 cm 和≥2 cm 的枝条中分别为 2.18、2.05 和 5.06 mg/g，其中直径≥2 cm 的枝条含量较高；木质部缩合单宁含量在上述 3 个直径组中分别为 3.12、3.25 和 2.52 mg/g，以直径 1-2 cm 的枝条含量较高（表 1）。油茶壮龄林中，韧皮部缩合单宁以直径≤1 cm 的枝条含量高，为 3.25 mg/g，木质部以直径≥2 cm 的枝条含量高，为 3.45 mg/g。总体分析，缩合单宁含量高的枝条分别是幼龄林中直径≥2 cm 的枝条和壮龄林中的直径≤1 cm 的枝条。缩合单宁在不同直径枝条内、韧皮部及木质部之间分布均匀，无显著差异。

2.3.3　黄酮　油茶枝条黄酮含量的测定结果显示，在油茶幼龄林内，直径≤1 cm、1-2 cm 和≥2 cm 枝条的韧皮部黄酮含量分别为 2.03、2.20 和 1.78 mg/g，以直径 1-2 cm 的枝条黄酮含量高；木质部的黄酮含量分别为 0.45、0.48 和 0.35 mg/g，以直径 1-2 cm 的枝条黄酮含量高（表 1），且直径 1-2 cm 的枝条韧皮部黄酮含量显著高于木质部。在壮龄林中，韧皮部的黄酮含量以直径≥2 cm 的枝条最高，达 1.81 mg/g，木质部则以直径≤1 cm 的枝条含量高，达 0.41 mg/g。综合分析可知，幼龄林中直径 1-2 cm 的枝条和壮龄林中的直径≥2 cm 的枝条黄酮总含量更高。且在黄酮含量较高的两个直径组中，韧皮部的黄酮含量均显著高于木质部的黄酮含量。

2.4　油茶枝条主要营养物质及次生物质与蓝翅天牛为害的相关性

通过对油茶枝条主要营养物质及次生物质

含量进行测定，并与蓝翅天牛林间为害痕数进行了相关性分析（表 2），结果显示：（1）幼龄油茶林内，直径≤1 cm、1-2 cm 枝条还原糖与可溶性总糖之比与蓝翅天牛为害痕数间的相关系数分别为 - 1.000 和 - 0.999，表明蓝翅天牛对这一直径组的幼龄枝条的为害，与幼龄枝条内还原糖与可溶性总糖的比值呈显著负相关，但与枝条内其他物质的含量无显著相关性；直径≥2 cm 枝条的可溶性蛋白含量与蓝翅天牛为害痕数间的相关系数为 0.999，说明蓝翅天牛为害选择与直径≥2 cm 幼龄枝条可溶性蛋白含量呈显著正相关，但与这一直径组的枝条其他物质含量无显著相关性。（2）壮龄油茶林内，直径≤1 cm 枝条的总酚含量与蓝翅天牛为害痕数间的相关系数为–1.000，表明蓝翅天牛选择为害直径≤1 cm 枝条与该直径枝条内的总酚含量呈极显著负相关，与其他物质的含量则无显著相关性；直径 1-2 cm 壮龄枝条内各物质的含量与蓝翅天牛为害痕数之间均无显著相关性；直径≥2 cm 枝条的缩合单宁含量与蓝翅天牛为害痕数的相关系数为 - 0.998，即蓝翅天牛选择为害直径≥2 cm 的枝条与该直径壮龄枝条内的缩合单宁含量呈极显著负相关，但与其他物质的含量则无显著相关性。

表 2　不同直径枝条内物质的含量与为害痕数相关性系数

Table 2　Correlation coefficient between components and damage marks in different diameter branch

项目 Item	幼龄林 Young forest			壮龄林 Adult forest		
	≤1 cm (d≤1)	1-2 cm (1<d<2)	≥2 cm (d≥2)	≤1 cm (d≤1)	1-2 cm (1<d<2)	≥2 cm (d≥2)
含水量 Water content	- 0.386	0.181	- 0.728	- 0.119	0.868	- 0.994
可溶性总糖 Soluble total sugar	0.952	0.992	0.312	0.599	- 0.445	0.513
还原糖 Reducing sugar	0.297	- 0.499	0.532	0.601	0.756	- 0.939
还原糖/可溶性总糖 Reducing sugar/soluble total sugar ratio	- 1.000*	- 0.999*	- 0.518	0.866	0.986	- 0.453
可溶性蛋白 Soluble protein	0.799	- 0.139	0.999*	- 0.964	- 0.199	- 0.803
总酚 Total phenolics	- 0.303	- 0.705	0.911	- 1.000**	0.250	0.678
缩合单宁 Condensed tannins	0.676	0.979	- 0.962	0.248	0.808	- 0.998*
黄酮 Flavonoid	0.111	- 0.540	0.453	0.537	0.487	0.794

*和**分别表示经 *F* 检验差异达显著和极显著水平。

* and ** indicate significant and extremely significant difference by *F* test, respectively.

3　讨论

植食性昆虫的取食与产卵等行为与寄主植物的形态、化学挥发物、代谢物质及营养物质等密切相关（Müller and Hilker，2000；Matsuki and Floyd，2011）。本研究调查发现，油茶蓝翅天牛能够对幼龄油茶林造成为害，并在幼龄林内偏好为害枝高≤50 cm、径长> 1 cm 的枝条，尤以 1-2 cm 直径的枝条受害最重，而壮龄油茶林中枝高> 50 cm、直径>2 cm 的枝条同样受害较重，这与前人研究结果一致（王跃连，1983；曾家丽等，1984；王邵军和彭九生，2011）。油茶林内直径≤1 cm 的枝条受蓝翅天牛为害最轻，推测是由于该直径枝条多为新生嫩枝，糖和蛋白含量虽高，但含水量低，易引起植物体内氮含量的变化（Reese and Beck，1978；康乐，1995），天牛幼虫不喜取食（杨雪彦等，1995；Barbehenn *et al.*，2013），且直径≤1 cm 枝条的防御性化合物总酚、单宁、黄酮含量较高，故受害更轻（曾家丽等，1984）。天牛喜将卵产在枝条树皮以下，与枝条内部组织结构及物质含量有关（张风娟等，2006）。本研究中，油茶枝条直径为 1-2 cm、≥2 cm 枝条林间受蓝翅天牛为害更重，推测是由于这两个直径段的枝条水分充足、主要营养物质含量高和

单宁、黄酮类次生代谢物含量降低，为其成虫产卵及幼虫生长发育提供了良好的生存环境（Waldbauer，1968；Hwang *et al.*，2008）。

本实验测得油茶枝条的物质含量中，含水量最高，其他依次为可溶性总糖、还原糖、总酚、缩合单宁、可溶性蛋白和黄酮。其中，枝条韧皮部的含水量、可溶性总糖、还原糖、可溶性蛋白、总酚及黄酮含量均高于或显著高于木质部的含量，仅缩合单宁含量在韧皮部和木质部之间无显著差异，这与桑天牛 *Apriona germari*（李继东等，2007）、光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis*（刘辉芳等，2009；周志军等，2013）、青杨脊虎天牛 *Xylotrechus rusticus*（张玉宝等，2006）寄主植物体内物质的研究结果相符。天牛属于补充营养型昆虫，成虫羽化后必须补充营养方能达到性成熟，而后进行求偶、交尾和产卵等行为。因此，天牛对寄主植物的选择首先是取食选择，对寄主营养物质的要求较高；其次是成虫补充营养后的产卵选择，木质部中较低含量的酚酸、黄酮及缩合单宁类物质则有利于天牛幼虫的生长发育并顺利完成世代生活史，这也是昆虫寄主选择时的一种生存策略。油茶蓝翅天牛对幼龄油茶枝条的为害率与枝条内的可溶性蛋白含量呈显著正相关，和还原糖与可溶性总糖含量之比呈显著负相关，表明寄主营养物质含量影响着油茶蓝翅天牛的寄主选择行为。其它昆虫如栎黄枯叶蛾 *Trabala vishnou gigantina*（温冬梅等，2016）、金银花尺蠖 *Heterolocha jinyinhuaphaga*（向玉勇等，2016）、西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*（曹宇等，2011）等在寄主选择过程中也表现出相似趋向。油茶蓝翅天牛对壮龄油茶林的危害率与油茶枝条的总酚、缩合单宁含量呈显著负相关，这与光肩星天牛 *A. glabripennis* 和星天牛 *Anoplophora chinensis* 的为害机制相似（周志军等，2012；林秀琴等，2014）。综合分析，油茶蓝翅天牛对油茶枝条的为害选择与枝条内的可溶性蛋白、还原糖与可溶性总糖含量之比、总酚及缩合单宁的含量密切相关。本文从营养物质及次生物质上分析了油茶蓝翅天牛的寄主选择机制，指出了幼龄油茶林也是蓝翅天牛的适生寄主，这一结论为目前大面积推广的油茶纯林中的蓝翅天牛监测预警提供了有力依据。同时，也将对油茶抗蓝翅天牛品种的筛选提供新的思路。

参考文献 (References)

Barbehenn RV, Niewiadomski J, Kochmanski J, 2013. Importance of protein quality versus quantity in alternative host plants for a leaf-feeding insect. *Oecologia*, 173(1): 1–12.

Barreira JCM, Ferreira ICFR, Oliveira MBPP, Pereira JA, 2008. Antioxidant activities of the extracts from chestnut flower, leaf, skins and fruit. *Food Chemistry*, 107(3): 1106–1113.

Cai WG, Wu W, Dai S, Zhang PW, Zou J, 2013. Total phenlo and favonoid contents and antioxidant activity of *Houttuynia cordata* Thunb. *Food Science*, 34(7): 42–46. [蔡文国, 吴卫, 代沙, 张平武, 邹建, 2013. 不同种质鱼腥草总酚、黄酮含量及其抗氧化活性. 食品科学, 34(7): 42–46.]

Cao Y, Zhi JR, Kong YX, 2011. Relationships between fertility of *Frankliniella occidentalis* and nutrient contents in host foliage. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 524–529. [曹宇, 郅军锐, 孔译贤, 2011. 西花蓟马繁殖力与寄主营养物质的关系. 应用昆虫学报, 48(3): 524–529.]

Chen JM, Yu XP, Cheng JA, 2005. Study methods of plant tolerance to insect pests. *Chinese Bulletin of Botany*, 22(04): 449–455. [陈建明, 俞晓平, 程家安, 2005. 植物耐虫性的研究方法. 植物学报, 22(4): 449–455.]

Dong SG, Wu YP, 2006. Plant Physiology Experiment Technique. Qingdao: China Ocean University Press. 128. [董树刚, 吴以平, 2006. 植物生理学实验技术. 青岛: 中国海洋大学出版社. 128.]

Gan YJ, Li X, Yang LL, Ding CB, Zeng XY, Zhang HY, Chen ZY, Du XG, 2015. In vitro antioxidant and antiproliferative activities of the different extractsfrom shell of *Camellia oleifera* Abel. *Science and Technology of Food Industry*, 36(8): 171–174. [淦永鉴, 李旭, 杨莉琳, 丁春邦, 曾宪垠, 张怀渝, 陈志渝, 杜小刚, 2015. 油茶籽壳提取物抗氧化及抗癌活性研究. 食品工业科技, 36(8): 171–174.]

Hangzhou Tea Research Institute, China Coop, 2008. Determination of total polyphenols and catechins content in tea: GB/T 8313-2008. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China; Standardization Administration of the People's Republic of China. 12. [中华全国供销合作总社杭州茶叶研究院, 2008. 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法: GB/T 8313-2008. 12.]

Hwang SY, Liu CH, Shen TC, 2008. Effects of plant nutrient availability and host plant species on the performance of two

Pieris butterflies (Lepidoptera: Pieridae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 36(7): 505–513.

Kang L, 1995. The chemical defenses of plants to phytophagous insects. *Chinese Bulletin of Botany*, 12(4): 22–27. [康乐, 1995. 植物对昆虫的化学防御. 植物学报, 12(4): 22–27.]

Liu HF, Zhang H, Liu Y, 2009. Correlation analysis between the chemical composition of willow and damage of *Anoplophora glabripennis*. *Forest Pest and Disease*, 28(5): 19–21. [刘辉芳, 张寰, 刘英, 2009. 柳树化学成分与光肩星天牛危害相关分析. 中国森林病虫, 28(5): 19–21.]

Li JD, Sang YQ, Bi HT, Wang LZ, Feng JC, 2007. Study on the relationship between bark inclusion of 4 tree specieswith the resistance to *Apriona germari* (Hope). *Henan Science*, 25(4): 578–581. [李继东, 桑玉强, 毕会涛, 王林忠, 冯建灿, 2007. 4 树种树皮有机物质含量与对桑天牛抗性关系的研究. 河南科学, 25(4): 578–581.]

Lin XQ, Huang JS, Cai SP, Ke YZ, Zeng LQ, He XY, Chen SL, Wu HZ, Li XM, 2014. Correlation of inclusions contents of different *Casuarina* spp. strains andresistibility to *Anoplophora chinensis*. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 34(5): 37–41. [林秀琴, 黄金水, 蔡守平, 柯玉铸, 曾丽琼, 何学友, 陈顺立, 吴惠忠, 李秀明, 2014. 木麻黄内含物含量与对星天牛抗性关系的研究. 中南林业科技大学学报, 34(5): 37–41.]

Matsuki M, Floyd RB, 2011. Role of volatile and non-volatile plant secondary metabolites in host tree selection by christmasbeetles. *Journal of Chemical Ecology*, 37(3): 286–300.

Müller C, Hilker M, 2000. The effect of a green leaf volatile on host plant finding by larvae of a herbivorous insect. *Naturwissenschaften*, 87(5): 216–219.

Oroño L, Aluja M, Ovruski S, Rull J, Interdonato R, Prado FE, Hilal M, 2018. Dynamics of soluble sugars and secondary metabolites in fruit of Juglansaustralis attacked by *Anastrepha fraterculus* and *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Arthropod-Plant Interactions*, 13(3): 411–421.

Qiao FL, 2002. Plant Physiology Experiment Analysis Determination Technology. China Agricultural Science and Technology Press. 217. [乔富廉, 2002. 植物生理学实验分析测定技术. 北京: 中国农业科学技术出版社. 217.]

Reese JC, Beck SD, 1978. Interrelationships of nutritional indices and dietary moisture in the black cutworm (Agrotisipsilon) digestive efficiency. *Journal of Insect Physiology*, 24(6): 473–479.

Shan HL, Qin Y, Du X, Liu DN, 2012. Evaluation of chromogenic reaction ability of hydrochloric acid (sulfuric acid) -vanillin by the colorimetry for determining tea catechins aggregates. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 32(3): 71–76. [单虹丽, 卿钰, 杜晓, 刘东娜, 2012. 茶叶儿茶素总量比色测定的盐酸(硫酸)香草醛显色反应能力评价. 林产化学与工业, 32(3): 71–76.]

Sosa ME, Tonn CE, 2008. Plant secondary metabolites from Argentinean semiarid lands: Bioactivity against insects. *Phytochemistry Reviews*, 7(1): 3–24.

Statistical review of the production and sales volume, 2018. Planting area and market size of *Camellia oleifera* industries in China in 2017-2018. http://www.chyxx.com/industry/201808/666570.html. [中国产业信息网, 2018. 2017-2018 年中国油茶籽和茶油行业产销量、种植面积及市场规模情况统计回顾. http://www.chyxx.com/industry/201808/666570.html.]

Waldbauer GP, 1968. The consumption and utilization of food by insects. *Advances in Insect Physiology*, 5(C): 229–288.

Wang SJ, Peng JS, 2011. Biological characteristics and ecological control techniques of *Chreonoma atritarsis* Pic. *Practical Forestry Technology*, (6): 41–43. [王邵军, 彭九生, 2011. 江西油茶蓝翅天牛生物学特征及其生态控制技术. 林业科技通讯, (6): 41–43.]

Wang AP, Zhou LM, 2014. Determination of protein content in *Camellia oleifera*seed polysaccharides by Coomassie brilliant blue method. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 43(3): 150–153. [王艾平, 周丽明, 2014. 考马斯亮蓝法测定茶籽多糖中蛋白质含量条件的优化. 河南农业科学, 43(3): 150–153.]

Wang YL, 1983. Relationship between density,canopy density and occurrence quantity of stem borer in *Camellia oleifera*. *Central South Forest Inventory and Planning*, (2): 28–32. [王跃连, 1983. 密度、郁闭度与油茶蛀干害虫发生数量的关系. 中南林业调查规划, (2): 28–32.]

Wen DM, Liu YH, Ren LL, Lu PF, Luo YQ, 2016. The effect of host plant species on the development of *Trabala vishnou gigantina* Yang (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(1): 157–163. [温冬梅, 刘永华, 任利利, 陆鹏飞, 骆有庆, 2016. 栎黄枯叶蛾生长发育与几种寄主内含物的关系. 应用昆虫学报, 53(1): 157–163.]

Xiang YY, Chen Y, Yin PF, 2016. Feeding preference of honeysuckle geometrid *Heterolocha jinyinhuaphaga* Chu to different varieties of honeysuckle. *Journal of Plant Protection*, 43(5): 745–751. [向玉勇, 陈洋, 殷培峰, 2016. 金银花尺蠖对金银花不同品种的取食选择. 植物保护学报, 43(5): 745–751.]

Yang XY, Zhou JX, Wang FG, Cui M, 1995. A study on the feeding

habits of the larvae of two species of longicorn (*Anoplophora*) to different tree species. *Journal of Northwest Forestry College*, 10(2): 1–6. [杨雪彦, 周嘉熹, 王福贵, 崔敏, 1995. 两种星天牛幼虫对不同树种的食性研究. 西北林学院学报, 10(2): 1–6.]

Zeng JL, Deng BL, Shi ZG, 1984. A preliminary study on oviposition susceptibility of *Chreonoma atritarsis* to branch state of *Camellia oleifera*. *Economic Frest Researches*, 2(1): 73–79. [曾家丽, 邓白罗, 石卓功, 1984. 油茶枝条状态对油茶蓝翅天牛产卵易感性的初步研究. 经济林研究, 2(1): 73–79.]

Zhang YB, Li JG, An K, Yan SC, Chi DF, 2006. Relationship between reducing sugar content in different poplar strains anddamage of *Xylotrechus rusticus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Journal of Northeast Forestry University*, 34(2): 35–37. [张玉宝, 李金国, 安堃, 严善春, 迟德富, 2006. 不同杨树品系还原糖含量与青杨脊虎天牛危害的关系. 东北林业大学学报, 34(2): 35–37.]

Zhang FJ, Chen FX, Xu DS, Huo ZM, 2006. The relationship between the structure and the insect resistance (summary). *Journal of Hebei Normal University of Science & Technology*, 20(2): 73–78. [张风娟, 陈凤新, 徐东生, 霍志梅, 2006. 植物组织结构与抗虫性的关系(综述). 河北科技师范学院学报, 20(2): 73–78.]

Zhang YJ, 1977. Determination of glucose, fructose, sucrose and starch in fruits and vegetables by anthrone spectrophotometry. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 5(3): 5–9. [张友杰, 1977. 以蒽酮分光光度法测定果蔬中的葡萄糖、果糖、蔗糖和淀粉. 分析化学, 5(3): 5–9.]

Zhou ZJ, Wang HM, Guo SP, 2012. Relationship between phenolic acid content of willows poplar and damage of *Anoplophora glabripennis*. *Forest By-Product and Speciality in China*, (6): 15–17. [周志军, 王洪梅, 郭树平, 2012. 柳树总酚含量与光肩星天牛危害的关系. 中国林副特产, (6): 15–17.]

Zhou ZJ, Zhang B, Wang HM, Li HX, Guo SP, 2013. Relationship between reducing sugar content of willows poplar and damage of *Anoplophora glabripennis*. *Forest By-Product and Speciality in China*, (1): 19–22. [周志军, 张斌, 王洪梅, 李海霞, 郭树平, 2013. 柳树还原糖含量与光肩星天牛危害的关系. 中国林副特产, (1): 19–22.]

Zhu F, Zeng TW, Peng WW, Deng XY, 2018. Main diseases and pests of *Camellia oleifera* in northern Jiangxi area and its control measures. *Modern Agricultural Science and Technology*, (2): 129–131. [朱峰, 曾天武, 彭巍巍, 邓晓媛, 2018. 赣北地区油茶主要病虫害及其防治措施. 现代农业科技, (2): 129–131.]

Zhu RL, Jin DS, Xu LH, 1982. *Camellia oleifera*stem borer-*Bacchisa atritarsis* (Pic.). *Jiangxi Plant Protection*, (3): 38. [诸瑞龙, 金德胜, 徐凌浩, 1982. 油菜枝干害虫——红颈蓝翅天牛. 江西植保, (3): 38.]

Zhuang RL, 2008. Chinese *Camellia oleifera* (2nd edition). Beijing: China Forestry Publishing House. 1–15. [庄瑞林, 2008. 中国油茶(第 2 版). 北京: 中国林业出版社. 1–15.]