

树皮内含物对星天牛寄主选择的影响

徐丽丽, 解春霞*, 刘云鹏, 郑华英

(江苏省林业科学研究院, 南京 211153)

摘要: 为明确不同寄主树皮内含物与星天牛寄主选择的关系, 探寻星天牛寄主选择机制, 在室内水培环境下, 进行星天牛对 8 种寄主取食、栖息和产卵选择试验, 观察星天牛在各寄主上的取食面积、取食痕迹数量、栖息和产卵数量, 并对寄主树皮内含物含量进行测定。结果表明: 星天牛偏向于取食红枫、复叶槭和糖槭, 喜好在复叶槭、糖槭和苦楝上栖息、产卵, 极少在纳塔栎和垂柳上取食、栖息和产卵。相关性分析结果表明: 星天牛取食面积、栖息数量、产卵数量与寄主树皮内氨基酸总含量、氨基酸含量呈显著正相关, 与碳氮比呈显著负相关, 与可溶性总糖、可溶性蛋白、单宁、总酚含量无显著相关。星天牛取食痕迹数量与本次试验所测的寄主内含物含量无显著相关。寄主树皮的碳氮比、氨基酸含量是影响星天牛取食、栖息和产卵选择的重要因子, 适宜的碳氮比、较高的氨基酸含量是星天牛寄主选择的标准。

关键词: 星天牛; 寄主选择; 内含物; 碳氮比; 氨基酸

中图分类号: S763.38

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2023)05-0777-07

The influence of bark nutrients to host selection of *Anoplophora chinensis*

XU Lili, XIE Chunxia, LIU Yunpeng, ZHENG Huaying

(Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153)

Abstract: To investigate the influence of host plant nutrients in bark to host selection of *Anoplophora chinensis* (CLB), and host selection principle of CLB, 8 tree species (varieties) were selected which are often damaged by CLB to determine the feeding and habitat selection, oviposition preference of CLB, and the contents of inclusions in bark were also determined. The results were as follows: CLB tended to feed on *Acer negundo*, *A. saccharum* and *A. palmatum*, preferred inhabit and oviposit in *A. negundo*, *A. saccharum* and *M. azedarach*, seldom fed, inhabited and oviposited on *Q. nuttallii* and *S. babylonica*. Correlative analysis showed that the feeding area, inhabiting and oviposition number of CLB had significantly positive correlation with total amino acid content, amino acid content in bark, and significant negative correlation with carbon-nitrogen ratio, but uncorrelation to soluble saccharide, soluble protein, tannin and total phenolics content in bark. Feeding amount of CLB had no significant correlation to the bark nutrients we had determined. Carbon-nitrogen ratio and amino acid content were important factors affecting feeding, inhabiting and oviposition selection of CLB. Appropriate carbon-nitrogen ratio and high amino acid content is one of the standards of host selection of CLB.

Key words: *Anoplophora chinensis*; host selection; nutrient content; carbon-nitrogen ratio; amino acid

星天牛 (*Anoplophora chinensis*) 是天牛科沟胫天牛亚科 (Lamiinae) 星天牛属 (*Anoplophora*) 的林木钻蛀性害虫, 具有虫体隐蔽、为害期长、防治困难等特点^[1]。幼虫取食钻蛀树木木质部和韧皮部, 破坏植株输导组织, 导致树体养分供应受阻, 造成

树体衰弱, 严重时可导致全株死亡^[2]。星天牛现分布于中国、韩国、日本、越南、意大利、法国等国^[3-4], 寄主植物广泛, 可以危害包括杨属 (*Populus*)、柳属 (*Salix*)、山核桃属 (*Carya*)、楝属 (*Melia*)、栎属 (*Quercus*)、柑橘属 (*Citrus*)、槭属 (*Acer*)、桦木

收稿日期: 2022-09-26

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目 (CX (19) 1004) 和江苏省林业科学研究院自主科研项目 (BM2018022) 共同资助。

作者简介: 徐丽丽, 助理研究员。E-mail: jiangfeimeng@126.com

* 通信作者: 解春霞, 研究员。E-mail: xchx1996@aliyun.com

属 (*Betula*)、榛属 (*Corylus*) 等十几个属的树木^[5-6]。

糖类、蛋白质、氨基酸是昆虫生长发育和生命活动的所必需的营养物质。糖类是昆虫生长发育活动的能量来源,蛋白质是昆虫身体的基本组成成分,10种必需氨基酸更是昆虫生长发育和生命活动中必不可缺的,酚类、单宁等物质与植物的抗虫性相关^[7]。李继东研究发现毛白杨 (*Populus tomentosa*) 的抗虫性与总酚和单宁密切相关^[8],杨璐等认为多毛小蠹 (*Scolytus seulensis*) 对杏树 (*Armeniaca vulgaris*) 的危害程度与杏树韧皮部可溶性糖、多糖、可溶性蛋白均呈正相关关系^[9]。星天牛雌虫羽化后取食寄主幼嫩枝梢的树皮以补充营养,进食过程中会通过触角、下颚须和下唇须端部不断与树皮表面接触来对寄主营养状况进行获取、综合评价,不同的营养物质可以单一或协同对昆虫产生作用,从而影响昆虫的取食、产卵等行为^[10-11]。因此,寄主植物体内营养物质含量的差异对星天牛取食、产卵选择产生一定的影响。目前对于星天牛取食、产卵偏嗜性与寄主植物树皮内含物含量的相关性研究鲜有报道。本研究通过对星天牛在8种寄主上的取食、产卵选择与寄主树皮可溶性糖、可溶性蛋白、全碳、全氮、单宁、总酚和氨基酸含量进行相关性分析,明确不同寄主树皮内含物与星天牛取食、产卵选择的关系,探寻寄主抗性机理和抗性相关因子,为相关树种的引进、选育提供参考指标。

1 材料与方法

1.1 供试天牛

供试所用的星天牛为试验当年6月新羽化的成虫,人工捕捉于江苏省南京市林业科学研究院,羽化树种为月季和紫薇,采集后每头天牛使用95杨一年生嫩枝分开饲养。

1.2 供试寄主

本次试验选取星天牛常见的8种寄主植物:复叶槭 (*Acer negundo*)、糖槭 (*A. saccharum*)、红枫 (*A. palmatum*)、苦楝 (*Melia azedarach*)、舒马栎 (*Quercus shumardii*)、纳塔栎 (*Q. nuttallii*)、柳叶栎 (*Q. phellos*)、垂柳 (*Salix babylonica*) 为供试材料。取食选择试验所用寄主植物于2019年7月采集自江苏省林业科学研究院。寄主植物营养物质含量测定所用的枝条于2020年7月采集,采集后立马剥取树皮置于干冰中,保存于-80℃冰箱中以备后续测定。其中垂柳、柳叶栎、舒马栎、纳塔栎、糖槭、红枫、苦楝采集自江苏省林业科学研究院内,复叶槭采集自江苏省徐州市丰县。产卵选择所用的枝条

于2021年6月采集,采集地点与寄主植物营养物质含量测定的枝条为同一采集地。

1.3 星天牛取食、产卵选择试验观察

取食选择试验:选取寄主植物1年生新鲜枝条各5根,插入水培容器中,随机排布于150 cm×150 cm×150 cm 养虫笼内,投放星天牛雌雄成虫各6头,共设5个重复。24 h后记录天牛栖息在不同寄主上的数量,并测量各枝条上天牛的取食面积,使用油纸拓取取食图像,扫描仪扫描图片后,使用 image J 进行面积测算,未取食枝条面积记为0。为消除3个重复中天牛取食量的差异,进行寄主相对被取食面积换算,某一寄主相对被取食面积=(某一寄主被取食面积/所有寄主被取食总面积)×100。

产卵选择试验:选取直径大于3 cm,长度接近50 cm的供试寄主新鲜枝条各5根,插于水培容器中,随机置于200 cm×200 cm×200 cm 的养虫笼内,放入星天牛雌成虫20头,雄成虫10头,每2天换水一次,并对基部进行适当修剪以保证枝条吸水能力。1个月后,所有枝条均未干枯,进行枝干解剖,记录卵、幼虫数量。

1.4 不同寄主树皮内含物含量测定

采用蒽酮法测定树皮可溶性总糖含量,使用考马斯亮蓝比色法测定树皮可溶性蛋白含量^[12]。采用福林酚比色法测定树皮总酚含量^[13],二甲基甲酰胺提取,分光光度计法测定植物单宁含量^[14]。采用硫酸-双氧水消解,凯氏法测定植物全氮含量^[15]。采用重铬酸钾氧化-外加加热法测定植物全碳含量^[16]。使用盐酸水解,塞卡姆氨基酸分析仪检测所提取样品中水解氨基酸含量^[17]。每一寄主设3个重复。

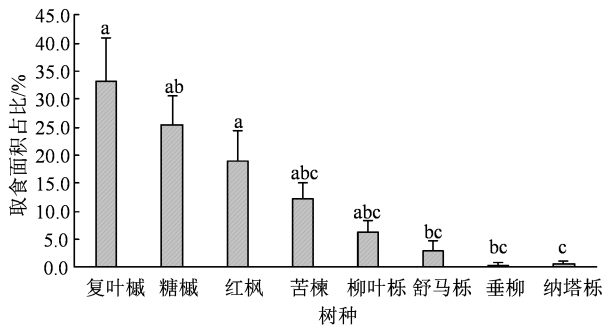
1.5 数据分析

使用 Microsoft Office Excel (微软公司,美国)进行数据的计算分析和柱状图制作;使用 Graphpad Prism 5 (Graphpad 公司,美国)软件进行数据的差异性分析、相关性分析。差异性分析使用单因素方差分析, Tukey's 多重比较,相关性分析使用 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 星天牛在不同寄主上的取食选择行为

星天牛在不同寄主上的相对取食面积如图1所示,星天牛相对取食面积在不同寄主间存在极显著差异 ($F_{(7, 32)}=9.205, P < 0.000 1$)。不同寄主的被取食面积排序:复叶槭>糖槭>红枫>苦楝>柳叶栎>舒马栎>垂柳>纳塔栎。



不同小写字母表示经 Tukey's 多重比较, 平均值间差异达显著水平($P < 0.05$)。下同。

图 1 星天牛在不同寄主上的相对取食面积

Figure 1 Relative feeding area of CLB in different hosts

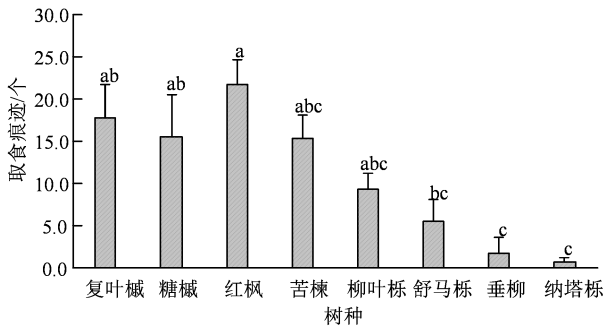


图 2 星天牛对不同寄主的取食痕迹数量

Figure 2 Feeding amount of CLB in different hosts

星天牛在不同寄主上的取食痕迹数量如图 2 所示, 星天牛取食痕迹数量在不同寄主间存在极显著差异 ($F_{(7, 32)}=6.959, P < 0.0001$)。不同寄主的取食痕迹数量排序: 红枫>复叶槭>糖槭>苦楝>柳叶栎>舒马栎>垂柳>纳塔栎。

2.2 星天牛在不同寄主上的栖息选择行为

星天牛在不同寄主上的栖息数量如图 3 所示, 星天牛栖息数量在不同寄主间存在极显著差异 ($F_{(7, 32)}=4.463, P=0.001$)。不同寄主的栖息数量排

序: 复叶槭>糖槭>苦楝>红枫>柳叶栎>纳塔栎>垂柳>舒马栎。

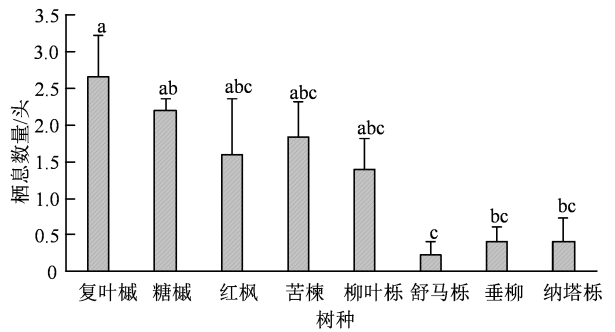


图 3 星天牛在不同寄主的栖息情况

Figure 3 Inhabit amount of CLB in different hosts

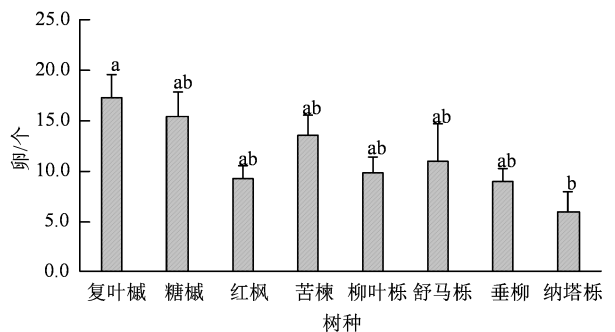


图 4 星天牛对不同寄主的产卵选择情况

Figure 4 Egg amount of CLB oviposit in different hosts

2.3 星天牛在不同寄主上的产卵选择行为

星天牛在不同寄主上的产卵选择情况如图 4 所示, 星天牛产卵数量在不同寄主间存在显著差异 ($F_{(7, 32)}=2.921, P=0.018$)。星天牛对不同树种产卵选择情况在复叶槭显著大于纳塔栎 ($M_D=11.20, P=0.019$), 其他各树种之间无显著差异。不同寄主的产卵选择排序: 复叶槭>糖槭>苦楝>舒马栎>柳叶栎>红枫>垂柳>纳塔栎。

表 1 不同寄主树皮内营养物质的含量

Table 1 Nutrient contents in bark of different hosts

项目	可溶性总糖/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	可溶性蛋白/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	总氨基酸/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	单宁/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	总酚/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	全碳/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	全氮/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	碳氮比
复叶槭	13.00±1.02 ^{ab}	1.56±0.05 ^a	18.53±1.08 ^a	2.68±0.03 ^c	4.00±0.30 ^c	384.87±9.71 ^b	14.05±0.06 ^a	27.38±1.04 ^c
糖槭	9.94±0.49 ^b	0.94±0.02 ^c	12.60±0.87 ^b	45.73±2.17 ^a	26.13±2.17 ^{ab}	415.67±12.84 ^{ab}	11.32±0.33 ^b	36.77±1.59 ^b
红枫	10.33±0.87 ^b	1.20±0.66 ^{abc}	9.71±0.46 ^{bc}	2.64±0.39 ^c	5.95±0.99 ^c	435.57±4.04 ^{7a}	5.98±0.06 ^d	72.86±0.29 ^{ab}
苦楝	15.80±0.53 ^{ab}	1.39±0.20 ^{ab}	12.87±1.68 ^b	4.55±0.88 ^c	4.85±1.68 ^c	418.33±4.10 ^{ab}	14.84±0.24 ^a	28.21±0.74 ^b
柳叶栎	16.43±1.96 ^a	0.95±0.04 ^c	7.18±0.08 ^c	32.86±4.44 ^{ab}	35.01±6.17 ^a	432.90±9.63 ^a	4.28±0.26 ^c	101.20±2.46 ^a
舒马栎	13.23±1.13 ^{ab}	1.01±0.06 ^{bc}	7.56±0.34 ^c	9.67±1.15 ^c	19.57±1.29 ^{abc}	425.50±4.25 ^{ab}	4.03±0.14 ^c	106.06±4.54 ^a
垂柳	8.94±0.62 ^b	0.99±0.06 ^{bc}	8.55±0.16 ^c	10.99±1.53 ^c	12.36±1.80 ^{bc}	421.33±8.32 ^{ab}	7.26±0.21 ^c	58.10±1.45 ^{ab}
纳塔栎	13.30±2.02 ^{ab}	0.82±0.09 ^c	6.58±0.36 ^c	18.30±7.44 ^{bc}	30.98±7.87 ^a	424.10±11.52 ^{ab}	4.24±0.06 ^e	100.22±3.51 ^a

注: 营养物质的含量值为平均值±标准差。不同小写字母表示经 Tukey's 多重比较, 平均值间差异达显著水平($P < 0.05$), 下同。

表 2 不同寄主树皮内氨基酸的含量

Table 2 Amino acid contents in bark of different hosts

(mg·g⁻¹)

项目	天冬氨酸 Asp	苏氨酸 Thr	丝氨酸 Ser	谷氨酸 Glu	甘氨酸 Gly	丙氨酸 Ala	半胱氨酸 Cys	缬氨酸 Val	蛋氨酸 Met
复叶槭	2.87±0.17 ^a	0.93±0.06 ^a	1.30±0.07 ^a	2.23±0.10 ^a	1.01±0.06 ^a	1.17±0.05 ^a	0.55±0.03 ^a	1.04±0.10 ^a	0.13±0.02 ^a
糖槭	1.48±0.12 ^b	0.61±0.04 ^b	0.74±0.03 ^b	1.66±0.10 ^{ab}	0.73±0.04 ^b	0.82±0.05 ^b	0.38±0.05 ^{ab}	0.56±0.10 ^b	0.14±0.04 ^a
红枫	1.25±0.09 ^{bc}	0.55±0.02 ^{bc}	0.70±0.02 ^{bc}	1.28±0.05 ^b	0.57±0.03 ^{bc}	0.70±0.03 ^{bc}	0.25±0.00 ^{bc}	0.47±0.03 ^b	0.04±0.01 ^b
苦楝	2.04±0.27 ^b	0.59±0.08 ^{bc}	0.82±0.12 ^b	1.76±0.35 ^{ab}	0.66±0.12 ^{bc}	0.78±0.09 ^b	0.36±0.08 ^b	0.53±0.09 ^b	0.02±0.01 ^b
柳叶栎	0.79±0.02 ^{cd}	0.36±0.01 ^c	0.45±0.02 ^c	0.92±0.02 ^b	0.38±0.01 ^c	0.51±0.01 ^c	0.18±0.00 ^c	0.35±0.02 ^b	0.02±0.00 ^b
舒马栎	0.88±0.09 ^{cd}	0.40±0.02 ^c	0.47±0.03 ^c	0.96±0.07 ^b	0.41±0.02 ^c	0.55±0.03 ^c	0.15±0.01 ^c	0.36±0.01 ^b	0.01±0.00 ^b
垂柳	1.03±0.03 ^{bcd}	0.43±0.01 ^{bc}	0.56±0.00 ^{bc}	1.06±0.03 ^b	0.49±0.01 ^{bc}	0.61±0.02 ^{bc}	0.24±0.00 ^{bc}	0.44±0.03 ^b	0.02±0.00 ^b
纳塔栎	0.78±0.02 ^d	0.34±0.01 ^d	0.41±0.01 ^c	0.86±0.03 ^b	0.36±0.01 ^c	0.48±0.01 ^c	0.17±0.01 ^c	0.31±0.04 ^b	0.01±0.00 ^b
异亮氨酸 Ile	0.71±0.04 ^a	1.25±0.05 ^a	0.46±0.04 ^a	0.89±0.07 ^a	0.49±0.04 ^a	1.48±0.06 ^a	0.79±0.07 ^{ab}	1.23±0.07 ^a	0.97±0.15 ^{ab}
亮氨酸 Leu	0.57±0.05 ^{ab}	0.86±0.06 ^b	0.27±0.03 ^a	0.55±0.04 ^b	0.35±0.03 ^b	1.00±0.11 ^b	0.93±0.10 ^{ab}	0.63±0.02 ^b	0.77±0.04 ^b
酪氨酸 Tyr	0.46±0.03 ^{bc}	0.76±0.036 ^{bc}	0.14±0.01 ^b	0.46±0.02 ^{bc}	0.22±0.02 ^c	0.90±0.04 ^{cd}	0.35±0.04 ^b	0.52±0.00 ^b	0.49±0.01 ^b
苯丙氨酸 Phe	0.48±0.06 ^b	0.83±0.09 ^b	0.35±0.08 ^a	0.50±0.09 ^{bc}	0.25±0.04 ^{bc}	0.97±0.12 ^{bc}	1.16±0.17 ^a	0.53±0.00 ^b	0.47±0.05 ^b
组氨酸 His	0.37±0.02 ^c	0.63±0.02 ^{bc}	0.12±0.01 ^b	0.34±0.01 ^c	0.25±0.01 ^c	0.64±0.02 ^c	0.36±0.03 ^b	0.52±0.00 ^b	0.49±0.01 ^b
赖氨酸 Lys	0.42±0.02 ^{bc}	0.71±0.05 ^{bc}	0.11±0.00 ^b	0.37±0.02 ^{bc}	0.27±0.01 ^{bc}	0.71±0.03 ^{bc}	0.26±0.01 ^b	0.52±0.00 ^b	0.49±0.01 ^b
精氨酸 Arg	0.43±0.02 ^{bc}	0.70±0.03 ^{bc}	0.14±0.01 ^b	0.44±0.01 ^{bc}	0.17±0.01 ^c	0.72±0.03 ^{bc}	0.57±0.06 ^b	0.49±0.01 ^b	0.47±0.05 ^b
脯氨酸 Pro	0.33±0.04 ^c	0.57±0.05 ^c	0.10±0.01 ^b	0.31±0.02 ^c	0.21±0.03 ^c	0.59±0.06 ^c	0.30±0.01 ^b	0.47±0.05 ^b	

2.4 不同寄主树皮内营养物质含量测定结果

2.4.1 可溶性蛋白质、可溶性总糖含量 8种寄主树皮中可溶性总糖和可溶性蛋白的含量(表1)在各寄主之间存在极显著差异($F_{(7,16)}=4.96$, $P=0.004$; $F_{(7,16)}=43.50$, $P<0.0001$)。柳叶栎中可溶性总糖的含量显著高于糖槭、红枫和垂柳,栎类可溶性总糖含量相对较高,含量排序为:柳叶栎>苦楝>纳塔栎>舒马栎>复叶槭>红枫>糖槭>垂柳。可溶性蛋白含量排序:复叶槭>苦楝>红枫>舒马栎>垂柳>柳叶栎>糖槭>纳塔栎。

2.4.2 全碳、全氮含量和碳氮比 8种寄主树皮中全碳、全氮的含量和碳氮比(表1)在各寄主之间存在极显著差异($F_{(7,16)}=3.24$, $P=0.025$; $F_{(7,16)}=662.00$, $P<0.0001$; $F_{(7,16)}=202.40$, $P<0.0001$)。全碳含量排序:红枫>柳叶栎>舒马栎>纳塔栎>垂柳>苦楝>糖槭>复叶槭;全氮含量排序:苦楝>复叶槭>糖槭>垂柳>红枫>柳叶栎>纳塔栎>舒马栎;碳氮比排序:舒马栎>柳叶栎>纳塔栎>红枫>垂柳>糖槭>苦楝>复叶槭。

2.4.3 单宁和总酚含量 8种寄主树皮中单宁和总酚的含量(表1)在各寄主之间存在极显著差异($F_{(7,16)}=23.35$, $P<0.0001$; $F_{(7,16)}=10.77$, $P<0.0001$)。8种寄主植物树皮中单宁的含量排序:糖槭>柳叶栎>纳塔栎>垂柳>舒马栎>苦楝>复叶槭>红枫;总酚的含量排序:柳叶栎>纳塔栎>糖槭>舒马栎>垂柳>红枫>苦楝>复叶槭。

2.4.4 氨基酸种类和含量 8种寄主植物树皮中的氨基酸总含量(表2)存在极显著差异($F_{(7,16)}=9.72$, $P<0.0001$)。在8种寄主植物中共检测到17种氨基酸如表2所示,各氨基酸在8种寄主中的含量均存在极显著差异。检测到9种为昆虫必需氨基酸,分别为苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、赖氨酸和精氨酸。

8种寄主植物树皮中总氨基酸含量的排序:复叶槭>苦楝>糖槭>红枫>垂柳>舒马栎>柳叶栎>纳塔栎;苏氨酸的含量:复叶槭>糖槭>苦楝>红枫>舒马栎>垂柳>纳塔栎;缬氨酸在复叶槭中的含量显著大于其他7种寄主植物,其他7种寄主之间无显著差异;蛋氨酸在复叶槭和糖槭中的含量无显著差异,均显著大于其他6种寄主植物,其他6种寄主之间无显著差异;异亮氨酸含量:复叶槭>糖槭>红枫>苦楝>舒马栎>垂柳>纳塔栎;亮氨酸含量:复叶槭>糖槭>红枫>苦楝>舒马栎>垂柳>纳塔栎;苯丙氨酸含量:复叶槭>糖槭>苦楝>红枫>舒马栎>垂柳>纳塔栎;赖氨酸含量:复叶槭>糖槭>苦楝>红枫>舒马栎>垂柳>纳塔栎;组氨酸含量:复叶槭>糖槭>舒马栎>苦楝>垂柳>红枫>纳塔栎;精氨酸含量:苦楝>糖槭>复叶槭>垂柳>红枫>纳塔栎>舒马栎。

2.5 寄主植物树皮内含物含量与星天牛取食、栖息、产卵选择的相关性

星天牛不同寄主植物树皮内含物含量与天牛寄主选择行为相关系数如表3、表4所示。星天牛取

食痕迹数量与本次试验所测的寄主内含物含量无显著相关。星天牛取食面积与 8 种寄主上的天冬氨酸 ($r=0.809$, $P=0.022$)、酪氨酸 ($r=0.790$, $P=0.035$) 含量呈显著正相关; 星天牛取食面积与 8 种寄主上的氨基酸总含量 ($r=0.885$, $P=0.005$)、苏氨酸 ($r=0.913$, $P=0.002$)、丝氨酸 ($r=0.872$, $P=0.006$)、谷氨酸 ($r=0.881$, $P=0.007$)、甘氨酸 ($r=0.923$, $P<0.001$)、丙氨酸 ($r=0.907$, $P=0.002$)、半胱氨酸 ($r=0.875$, $P=0.005$)、缬氨酸 ($r=0.856$, $P=0.007$)、

蛋氨酸 ($r=0.901$, $P=0.005$)、异亮氨酸 ($r=0.909$, $P<0.001$)、亮氨酸 ($r=0.874$, $P=0.005$)、苯丙氨酸 ($r=0.871$, $P=0.003$)、组氨酸 ($r=0.842$, $P=0.026$)、赖氨酸 ($r=0.915$, $P=0.002$)、脯氨酸 ($r=0.936$, $P=0.035$) 含量呈极显著正相关; 与碳氮比 ($r=-0.707$, $P=0.0498$) 呈显著负相关; 与可溶性总糖、可溶性蛋白、全碳、全氮、单宁、总酚和精氨酸含量无显著相关。

表 3 星天牛不同寄主植物树皮内含物含量与天牛寄主选择行为相关系数

Table 3 Correlation coefficient between the nutrient contents in bark of different host plants and the host selection behavior of CLB

项目	可溶性总糖	可溶性蛋白	总氨基酸	全碳	全氮	碳氮比 C/N	总酚	单宁
相对取食面积	-0.153	0.672	0.885**	-0.657	0.693	-0.707*	-0.471	0.076
取食痕迹数量	-0.039	0.698	0.653	-0.234	0.538	-0.553	-0.552	-0.045
栖息数量	0.089	0.680	0.855**	-0.577	0.770*	-0.748*	-0.395	0.161
产卵数量	0.033	0.652	0.896**	-0.754*	0.830*	-0.774*	0.033	0.652

注: *, **分别为 0.05 及 0.01 水平上的显著性差异。下同。

表 4 星天牛不同寄主植物树皮氨基酸含量与天牛寄主选择行为相关系数

Table 4 Correlation coefficient between the amino acid contents in bark of different host plants and the host selection behavior of CLB

氨基酸种类	相对取食面积	取食痕迹数量	栖息数量	产卵数量
天冬氨酸 Asp	0.809*	0.616	0.857*	0.838**
苏氨酸 Thr	0.913**	0.694	0.868**	0.858**
丝氨酸 Ser	0.872**	0.668	0.852*	0.829*
谷氨酸 Glu	0.881**	0.692	0.895**	0.901**
甘氨酸 Gly	0.923**	0.683	0.882**	0.884**
丙氨酸 Ala	0.907**	0.663	0.864**	0.875**
半胱氨酸 Cys	0.875**	0.616	0.883**	0.873**
缬氨酸 Val	0.856**	0.578	0.806*	0.819*
蛋氨酸 Met	0.901**	0.573	0.773*	0.810*
异亮氨酸 Ile	0.909**	0.643	0.806*	0.917**
亮氨酸 Leu	0.874**	0.621	0.800*	0.880**
酪氨酸 Tyr	0.790*	0.569	0.846*	0.890**
苯丙氨酸 Phe	0.871**	0.596	0.813*	0.844**
组氨酸 His	0.842**	0.505	0.752*	0.867**
赖氨酸 Lys	0.915**	0.699	0.858**	0.869**
精氨酸 Arg	0.528	0.423	0.646	0.737*
脯氨酸 Pro	0.936**	0.654	0.889**	0.922**

星天牛产卵数量与 8 种寄主上的总氨基酸含量 ($r=0.897$, $P=0.003$)、天冬氨酸 ($r=0.838$, $P=0.009$)、苏氨酸 ($r=0.858$, $P=0.006$)、谷氨酸 ($r=0.921$, $P=0.002$)、甘氨酸 ($r=0.884$, $P=0.004$)、丙氨酸 ($r=0.875$, $P=0.004$)、半胱氨酸 ($r=0.873$, $P=0.004$)、异亮氨酸 ($r=0.917$, $P=0.001$)、亮氨酸 ($r=0.880$, $P=0.004$)、酪氨酸 ($r=0.890$, $P=0.003$)、苯丙氨酸 ($r=0.844$, $P=0.008$)、组氨酸 ($r=0.867$, $P=0.005$)、赖氨酸 ($r=0.869$, $P=0.005$)、脯氨酸 ($r=0.922$, $P=0.001$) 含量呈极显著正相关, 与丝氨酸 ($r=0.829$,

$P=0.011$)、缬氨酸 ($r=0.819$, $P=0.013$)、蛋氨酸 ($r=0.810$, $P=0.015$)、精氨酸 ($r=0.737$, $P=0.037$)、全氮 ($r=0.830$, $P=0.11$) 含量呈显著正相关, 与全碳 ($r=-0.754$, $P=0.031$) 含量、碳氮比 ($r=-0.774$, $P=0.024$) 呈显著负相关; 与可溶性总糖、可溶性蛋白、单宁和总酚含量无显著相关。

星天牛在不同寄主上的栖息数量与 8 种寄主的总氨基酸含量 ($r=0.855$, $P=0.007$)、苏氨酸 ($r=0.843$, $P=0.009$)、谷氨酸 ($r=0.875$, $P=0.004$)、甘氨酸 ($r=0.865$, $P=0.006$)、丙氨酸 ($r=0.841$, $P=0.009$)、

半胱氨酸 ($r=0.861$, $P=0.006$)、赖氨酸 ($r=0.842$, $P=0.009$)、脯氨酸 ($r=0.884$, $P=0.004$) 含量呈极显著正相关, 与天冬氨酸 ($r=0.838$, $P=0.016$)、丝氨酸 ($r=0.824$, $P=0.012$)、缬氨酸 ($r=0.780$, $P=0.022$)、蛋氨酸 ($r=0.798$, $P=0.018$)、异亮氨酸 ($r=0.812$, $P=0.014$)、亮氨酸 ($r=0.791$, $P=0.019$)、酪氨酸 ($r=0.829$, $P=0.011$)、苯丙氨酸 ($r=0.788$, $P=0.020$)、组氨酸 ($r=0.758$, $P=0.029$)、全氮 ($r=0.770$, $P=0.11$) 含量呈显著正相关, 与碳氮比 ($r=-0.748$, $P=0.025$) 呈显著负相关; 与可溶性总糖、可溶性蛋白、全碳、单宁和总酚含量无显著相关。

3 讨论与结论

星天牛在不同寄主的取食面积复叶槭>糖槭>红枫>苦楝>柳叶栎>舒马栎>垂柳>纳塔栎; 取食痕迹数量红枫>复叶槭>糖槭>苦楝>柳叶栎>舒马栎>垂柳>纳塔栎; 对不同树种产卵选择情况复叶槭>糖槭>苦楝>舒马栎>柳叶栎>红枫>垂柳>纳塔栎。星天牛最喜取食寄主为槭属植物, 其次为苦楝, 最喜产卵树种为复叶槭, 星天牛的取食选择与产卵选择对树种的偏好存在差异。以往研究认为, 钻蛀性害虫喜好危害复叶槭、糖槭等槭属树种, 其次为垂柳, 再次为红枫、柳叶栎、纳塔栎等, 较少危害苦楝和舒马栎^[4-5]。野外调查中发现除星天牛外, 相关树种存在木蠹蛾、透翅蛾、光肩星天牛、云斑天牛等其他蛀干害虫混合危害的现象, 多种害虫的混合危害会对寄主选择的结果造成影响, 因此与本次室内星天牛的寄主选择试验结果存在差异。进行树种引进或林相改造时在槭属树种的选择上要充分考虑潜在的星天牛为害并做好相关的防治规划。

寄主植物中总氨基酸、天冬氨酸、酪氨酸、组氨酸、脯氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、半胱氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸含量越高, 碳氮比越低星天牛越喜取食和选择栖息、产卵。因此推断, 碳氮比、氨基酸含量是影响星天牛取食、栖息和产卵选择的重要因子。相似的结果在其他昆虫上也有报道, 普遍认为昆虫的取食与寄主碳氮比呈显著负相关, 过高的碳氮比会影响昆虫生长发育^[18-20]。昆虫对氨基酸含量高的寄主具有更高的取食和产卵选择趋势^[21-23]。香梨优斑螟幼虫的研究发现, 其寄主选择与单一的可溶性糖、可溶性蛋白、总糖和单宁含量均无显著相关^[18]。同一树种的抗虫性受不同品种(系)、生长环境、生长情况等影响, 其内含物糖类、

单宁、酚酸、氨基酸等的含量也存在差异^[24-26], 在采样时要注意样品品种(系)、生长环境、生长情况的统一性以减少同一品种植株之间本身的差异。

大量研究表明寄主植物的被取食面积与寄主的可溶性糖含量呈正相关, 可溶性糖是量昆虫生长发育的能量来源, 可以促进昆虫助食剂^[9, 20, 27-28]; 但也有研究发现糖类在不同昆虫取食中会产生抑制作用, 因为昆虫仅可吸收利用单糖, 且糖类中的五碳糖会抑制昆虫的生长发育, 对昆虫产生毒性^[29-31]。本次研究中星天牛取食、产卵行为与寄主树皮中可溶性糖的含量无显著相关, 可能与糖类物质的既可抑制又可促进昆虫取食有关, 不同昆虫对可溶性糖含量的最适区间不同, 超过或低于最适区间都可能抑制昆虫的取食危害选择。

以往部分研究与本次研究结果类似, 寄主的单宁含量与昆虫的危害程度无显著相关, 认为单宁不是影响昆虫寄主选择的关键因子^[9, 32]。但普遍研究认为寄主中单宁、酚类物质含量与寄主抗性呈正相关^[19, 33-34]。还有研究者发现昆虫取食、产卵与寄主可溶性蛋白含量呈显著正相关, 与本次研究中的结果有所差异^[23, 35]。由此可知, 不同昆虫在进行选择栖息、产卵、取食过程中与寄主内含物相关的关键性影响因子不同。

昆虫的寄主选择是复杂的过程, 对各类信息进行收集评价, 各物质之间相互影响^[18]。碳氮比、氨基酸含量是影响星天牛取食和产卵选择的重要因子, 但星天牛的寄主选择还与寄主颜色、树皮厚度、寄主挥发物、树皮粗糙程度、皮孔大小、寄主硬度等密切相关。因此, 在本次研究的基础上, 应进一步研究其他可能影响寄主选择的因素, 并深入探讨寄主抗性机理和抗性相关因子。

参考文献:

- [1] 陈世骧, 谢蕴贞, 邓国藩. 中国经济昆虫志: 第一册·鞘翅目·天牛科[M]. 北京: 科学出版社, 1959: 74-75.
- [2] 魏建荣, 赵文霞, 张永安. 星天牛研究进展[J]. 植物检疫, 2011, 25(5): 81-85.
- [3] 殷玉生. 欧盟对星天牛的检疫法规[J]. 中国检验检疫, 2006(3): 41.
- [4] HÉRARD F, CIAMPITTI M, MASPERO M, et al. *Anoplophora* species in Europe: infestations and management processes[J]. EPPO Bull, 2006, 36(3): 470-474.
- [5] PEVERIERI G S, BERTINI G, FURLAN P, et al. *Anoplophora chinensis* (Forster) (Coleoptera Cerambycidae) in the outbreak site in Rome (Italy): experiences in dating exit holes[J]. Redia, 2012, XCV: 89-92.
- [6] HAACK R A, HÉRARD F, SUN J H, et al. Managing in-

- vasive populations of Asian longhorned beetle and citrus longhorned beetle: a worldwide perspective[J]. *Annu Rev Entomol*, 2010, 55(1): 521-546.
- [7] 萧刚柔. 中国森林昆虫[M]. 2版(增订本). 北京:中国林业出版社, 1992: 454-455.
- [8] 李继东. 毛白杨无性系对桑天牛抗性相关生理指标研究[D]. 郑州:河南农业大学, 2003.
- [9] 杨璐, 朱晓锋, 朱苗苗, 等. 杏树营养物质含量与多毛小蠹危害关系的分析[J]. *环境昆虫学报*, 2015, 37(2): 320-327.
- [10] YASUI H. Chemical communication in mate location and recognition in the white-spotted longicorn beetle, *Anoplophora malasiaca* (Coleoptera: Cerambycidae)[J]. *Appl Entomol Zool*, 2009, 44(2): 183-194.
- [11] 李会平, 黄大庄, 张宏玉. 不同杨树营养物质含量及对光肩星天牛抗性关系研究[C]// 李典谟. 昆虫学研究动态: 中国昆虫学会第八次全国代表大会暨 2007 年学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [12] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [13] 李静, 聂继云, 李海飞, 等. Folin-酚法测定水果及其制品中总多酚含量的条件[J]. *果树学报*, 2008, 25(1): 126-131.
- [14] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 高粱 单宁含量的测定: GB/T 15686-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [15] 中华人民共和国农业部. 植物中氮、磷、钾的测定: NY/T 2017—2011[S]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [16] 吴航, 王顺霞, 卜海燕, 等. 青藏高原 53 种菊科植物种子中碳、氮、磷含量与种子大小和海拔的关系[J]. *西北植物学报*, 2014, 34(8): 1635-1641.
- [17] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [18] 马姝岑, 侯世星, 吴芳, 等. 树皮内含物对香梨优斑螟寄主选择的影响[J]. *西北农业学报*, 2014, 23(3): 186-192.
- [19] 侯世星, 王鸿斌, 李国宏, 等. 油松毛虫产卵、取食偏嗜行为及油松针叶内含物测定[J]. *林业科学研究*, 2018, 31(2): 126-132.
- [20] 王紫薇, 徐华潮, 汪云珍, 等. 树皮内含物对光肩星天牛取食与刻槽产卵量的影响[J]. *环境昆虫学报*, 2016, 38(5): 942-949.
- [21] 陈顺立, 吴晖, 邓招娣, 等. 马尾松不同家系营养物质含量与松突圆蚧抗性的关系[J]. *林业科学*, 2010, 46(2): 87-94.
- [22] 孙守慧, 李威, 金鑫, 等. 杨树单宁对青杨天牛的抗性[J]. *东北林业大学学报*, 2009, 37(5): 102-104.
- [23] 陈向阳, 林雪飞, 汪文俊, 等. 松树内含物与松墨天牛种群数量的关系[J]. *生态学报*, 2010, 30(13): 3553-3561.
- [24] 佟丽丽. 不同树龄及纯种杂种家系的落叶松抗虫相关物质的差异[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
- [25] 曹川健, 时新宁, 刘永军. 杨树品种对光肩星天牛抗性多指标综合排序的研究[J]. *内蒙古林业科技*, 2005, 31(4): 17-20.
- [26] 孙萍. 黑龙江省不同杨树品种(系)抗虫机理与青杨天牛危害的关系[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008.
- [27] 王蕤, 巨关升, 秦锡祥. 毛白杨树皮内含物对光肩星天牛抗性的探讨[J]. *林业科学*, 1995, 31(2): 185-188.
- [28] 李继东, 桑玉强, 毕会涛, 等. 4 树种树皮有机物质含量与对桑天牛抗性关系的研究[J]. *河南科学*, 2007, 25(4): 578-581.
- [29] 裴元慧, 孔锋, 韩国华, 等. 昆虫取食行为研究进展[J]. *山东林业科技*, 2007, 37(6): 97-101.
- [30] 钦俊德. 昆虫与植物的关系: 论昆虫与植物的相互作用及其演化[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [31] 林秀琴, 黄金水, 蔡守平, 等. 木麻黄内含物含量与对星天牛抗性关系的研究[J]. *中南林业科技大学学报*, 2014, 34(5): 37-41.
- [32] 朱苗苗, 杨璐, 朱晓峰, 等. 杏树次生代谢物质含量与小蠹虫危害的关系[J]. *西北农业学报*, 2014, 23(7): 155-159.
- [33] 周志军, 王洪梅, 郭树平. 柳树总酚含量与光肩星天牛危害的关系[J]. *中国林副特产*, 2012, 121(6): 15-17.
- [34] 李会平, 王志刚, 杨敏生, 等. 杨树单宁与酚类物质种类及含量与光肩星天牛危害之间关系的研究[J]. *河北农业大学学报*, 2003, 26(1): 36-39.
- [35] 曹宇, 郅军锐, 孔译贤. 西花蓟马繁殖力与寄主营养物质的关系[J]. *应用昆虫学报*, 2011, 48(3): 524-529.