

松树内含物与松墨天牛种群数量的关系

陈向阳^{1,2}, 林雪飞^{1,3}, 汪文俊^{1,4}, 邹运鼎^{1,*}, 丁玉洲¹, 巫厚长¹, 毕守东¹, 田方鑫¹

(1. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036; 2. 黄山学院, 黄山 245041;

3. 宿迁市城区农林局, 宿迁 223800; 4. 黄山市农业局 黄山 245000)

摘要:对不同林分松墨天牛种群密度进行解剖调查,黑松为 32.63 头/株,马尾松为 16.69 头/株,湿地松为 12.44 头/株,黑松与湿地松之间差异显著;对黑松、马尾松、湿地松枝条及韧皮部中蛋白质、可溶性糖、水分、N、P、K、S、Cl、Ca、Mg、Cu、Zn、Fe、Mn、16 种游离氨基酸和 16 种水解氨基酸进行测定,并与黑松、马尾松、湿地松上的松墨天牛种群数量(y)之间关系进行数学分析。蛋白质(x_1)、可溶性糖(x_2)与 y 的关系为 $y = -44.07 - 1.5601x_1 + 6.9355x_2$,复相关系数为 0.8374^{*};游离氨基酸与 y 的关系为 $y = 63.24 - 1.1775x_5 - 0.0680x_{11} + 0.1665x_{12} - 0.1257x_{15}$,复相关系数为 0.9999^{**}。 x_5 为甘氨酸、 x_{11} 为酪氨酸、 x_{12} 为苯丙氨酸、 x_{15} 为脯氨酸;水解氨基酸与 y 的关系为 $y = 37.59 - 0.1146x_{10} - 0.5741x_{11} + 0.0112x_{15} + 0.1468x_{16}$,复相关系数 R 为 0.9955^{**}, x_{11} 为酪氨酸、 x_{15} 为脯氨酸、 x_{16} 为精氨酸、 x_{10} 为亮氨酸;矿质元素与 y 的关系为 $y = -67.94 + 409.4696x_3 + 37.4746x_6 - 1004.4480x_7 + 4.2958x_8$,复相关系数 R 为 0.9826^{*}, x_3 为 K、 x_6 为 Ca、 x_7 为 Mg、 x_8 为 Cu。综合分析 14 种入选的内含物与 y 的关系为 $y = 19.94 + 0.0114x_2 + 0.0457x_4 - 0.5317x_5 + 62.5214x_9$,复相关系数 R 为 0.9966^{**}, x_2 为水解酪氨酸、 x_4 为水解脯氨酸、 x_5 为游离酪氨酸、 x_9 为 K,综合分析表明水解和游离的酪氨酸、水解脯氨酸和 K 的含量对松墨天牛种群有重要影响。

关键词:黑松; 马尾松; 湿地松; 枝条; 韧皮部; 内含物; 松墨天牛

The relationship between content of pine inclusion and the population amount of *Monochamus alternatus*

CHEN Xiangyang^{1,2}, LIN Xuefei^{1,3}, WANG Wenjun^{1,4}, ZOU Yunding^{1,*}, DING Yuzhou¹, WU Houzhang¹, BI Shoudong¹, TIAN Fangxin¹

1 College of Forestry and Gardening, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

2 Huangshan University, Huangshan 245041, China

3 Suqian Chengqu Bureau of Agriculture and Forestry Suqian 223800, China

4 Huangshan Bureau of Agriculture, Huangshan 245000, China

Abstract: In order to study the relation between the content of inclusion in different pines and the population amount of *Monochamus alternatus*, in the present work, the population density of *Monochamus alternatus* was anatomically investigated in different forest stands. The results showed that the densities of *Monochamus alternatus* in *P. thunbergii*, *P. massoniana* and *P. elliotii* were on average 32.63 heads, 16.9 heads and 12.44 heads per plant, respectively. Statistical analysis indicated that the population amount of *Monochamus alternatus* in *P. thunbergii* was significantly higher than those in *P. massoniana* and *P. elliotii*. In addition, the protein, soluble sugar, water, N, P, K, S, Cl, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, 16 kinds of free amino acids and 16 kinds of hydrolysis amino acids in branches and phloem were further measured in *P. thunbergii*, *P. elliotii*, and the relationships between these above contents and the population density of *Monochamus alternatus* were also analyzed. The results demonstrated that there was very significant correlation between protein(x_1), solublesugar(x_2) and the population density of *Monochamus alternatus* (y), and the correlation formula is $y = -44.07 - 1.5601x_1 + 6.9355x_2$ ($R = 0.8374^*$); whilst the correlation formula of free amino acid and population density of

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(30330500)

收稿日期:2009-04-03; 修订日期:2009-06-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yundingzou@tom.com

Monochamus alternatus is $y = 63.24 - 1.1775x_5 - 0.0680x_{11} + 0.1665x_{12} - 0.1257x_{15}$ ($R=0.9999^{**}$), here x_5 , x_{11} , x_{12} and x_{15} denoted as glycine, tyrosine, phenylalanine and proline, respectively; the correlation formula of hydrolysis amino acids and population density of *Monochamus alternatus* is $y = 37.59 - 0.1146x_{10} - 0.5741x_{11} + 0.0112x_{15} + 0.1468x_{16}$ ($R=0.9955^{**}$), here x_{10} , x_{11} , x_{15} and x_{16} are defined as tyrosine, proline, arginine and leucine, respectively; and the correlation formula of mineral elements and population density of *Monochamus alternatus* is $y = -67.94 + 409.4696x_3 + 37.4746x_6 - 1004.4480x_7 + 4.2958x_8$ ($R = 0.9826^*$), where x_3 , x_6 , x_7 and x_8 are token as K, Ca, Mg and Cu, respectively. Based on these above results, the relationship between the 14 kinds of selected contents and population density of *Monochamus alternatus* was further analyzed, finding the correlation formula is $y = 19.94 + 0.0114x_2 + 0.0457x_4 - 0.5317x_5 + 62.5214x_9$ ($R=0.9966^{**}$), here x_2 , x_4 , x_5 and x_9 stand for hydrolysis tyrosine, hydrolysis proline, free tyrosine and K, respectively. These above analysis have indicated that the four kinds of factors, i. e. the hydrolysis and free tyrosine, hydrolysis proline and K content, have very significant impact on the population density of *Monochamus alternatus*.

Key Words: *P. thunbergi*; *P. massoniana*; *P. elliotii*, branches; phloem; inclusion; *Monochamus alternatus*

松墨天牛 (*Monochamus alternatus*) 是我国南方松林的主要蛀干害虫, 在我国分布于西藏以东、河北以南, 东至台湾、南至广东, 国外分布于日本、朝鲜、越南、老挝等国, 除了本身危害松树外, 还传播松树毁灭性病害——松材线虫病, 是影响林业生产和旅游业的主要因子^[1-6]。影响松墨天牛种群数量的因子有许多, 其中寄主植物就是一个重要因子, 松树的生长势与松墨天牛种群数量有直接关系, 不同松树上松墨天牛的种群数量差异明显^[8-9]。对植食性昆虫而言, 寄主植物是其赖以生存的物质基础和隐蔽所, 其中寄主植物内含物种类和含量的多寡对昆虫生长发育均有重要影响^[10-11], 松针中的可溶性糖、精氨酸、异亮氨酸、萜烯类物质和矿物质含量与马尾松毛虫 (*Dendrolimus punctatus*) 的死亡率有关^[12], 取食被害后其氨基酸含量减少, 单宁和总酚含量增加的松针, 马尾松毛虫发育历期延长、体重减轻、生殖力下降、死亡率增加^[13]。青杨脊虎天牛 (*Xylotrechus rusticus*) 的危害株率与杨树韧皮部氨基酸含量无关, 与木质部的氨基酸含量呈正相关^[14]。松墨天牛成虫补充营养时需取食松枝树皮, 取食松枝树皮面积由大到小是马尾松 > 湿地松 > 黑松^[15]; 表明该虫对 3 种松树的嗜食性不同, 主要原因可能是内含物种类和含量不同。本文对马尾松、湿地松、黑松的松枝和韧皮部中可溶性糖、氨基酸、矿物质等内含物进行测定, 分析与松墨天牛种群数量之间的关系, 以期防治松墨天牛进行抗虫育种和合理营林提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验样地的选择及取样方法

2004 年 6 月在安徽省宣城市敬亭山国家森林公园的马尾松、黑松、湿地松的纯林及 3 种树种的混交林中, 设置样树诱木, 作为诱木的 3 种松树纯林和混交林面积各为 1.2 hm², 纯林中每种树为 0.4 hm², 样树诱木的行株距均为 20 m。其诱木处理方法为: 在诱木基部距离地面 30 cm 用柴刀按“品”字形各砍 3 个刀口, 刀口与树干呈 30 度夹角, 入木深度 1 cm, 用广东省林业科学研究院森林保护研究所研制的 PA-28 松墨天牛诱木剂原药液, 与水按 1:3 比例稀释, 使用专用的稀释药塑料瓶进行施药, 至药液不流出刀口为止。

1.2 调查方法

2005 年 5 月 25—29 日和 11 月 20 日在 3 种树种纯林和混交林样地中每种分别选择砍伐 8 株和 5 株诱木进行解剖, 逐株解剖调查记载松墨天牛的侵入孔数、幼虫数、蛹数、成虫数和羽化孔数。

1.3 松树内含物测定内容和测定方法

(1) 2005 年 5 月在安徽省宣城市敬亭山国家森林公园中的纯林中随机选取马尾松、黑松、湿地松松枝和韧皮部 3 kg, 进行预处理, 采用相应的方法测定其内含物。测定项目为可溶性糖含量、含水量、蛋白质含量, N、P、K、Cl、Ca、Mg、Cu、Zn、Fe、Mn 的含量以及 16 种水解氨基酸和游离氨基酸的含量。

(2) 可溶性糖的测定用蒽酮比色法, 全磷用钒钼黄比色法测定, 全钾的测定用火焰光度计法测定, Ca、Mg、Mn、Cu、Zn、Fe 总量用原子吸收分光光度法测定, Cl 用硝酸银滴定法测定^[16]。

(3) 水解氨基酸的测定 将采集的 3 种松树松枝及韧皮部鲜样放入真空干燥箱 55℃ 烘干 2h, 取出粉碎, 过 60 目分样筛, 再烘干, 之后储存在干燥中备用。称取 0.2 烘干至恒重的试样, 用 5cm × 5cm 的称量纸紧密包裹, 放入洁净的消化管底部, 再向该试管中加入 20mL 配制好的 6N HCL 溶液, 静置 10min, 充入氮气密封。将密封好的消化管置于 105℃ 烘箱内, 消化水解 24h, 水解后取出试管, 冷却至室温, 然后定容至 100mL, 再从中取出 1mL 放入离心管于减压干燥箱中 5h 取出, 离心 (10000r/min) 15min, 取上清液 50μl 于进样管中进行上机检测, 采用日立 835-50 型氨基酸自动分析仪分别测定水解氨基酸, 离子交换柱 4.0 × 150mm, 交换树脂 No2619, 柱温 53℃, 泵 I 流速 0.225mL/min. 泵 II 流速 0.275mL/min, 茚三酮泵压 15—30kg/cm², 氮气压力 0.28kg/cm², 柠檬盐缓冲液 pH 为 1 2 3 4, 分析时间 72min。

(4) 游离氨基酸的测定 马尾松、黑松、湿地松松枝及韧皮部鲜样剪碎, 四分法取样 1g, 加 10mL 4% 磺基水杨酸于研钵中研磨, 取出放入离心管中离心 (10000r/min) 15min, 取上清液 50μL 于进样管中进行上机检测, 方法同水解氨基酸的测定。

(5) 含水量的测定 称取鲜样重, 在 55℃ 下真空干燥 2h 或常压 60℃ 18h 后, 再称重, 计算含水量, 蛋白质的测定用凯氏定氮法。

1.4 数学分析方法

对松树植株内含物与松墨天牛种群数量的关系用逐步回归分析方法和通径分析方法分析, 用 DPS 统计软件计算。

2 结果分析

2.1 不同种类松树上松墨天牛数量差异

将 2005 年 5 月和 11 月 2 次抽样解剖的松墨天牛数量列于表 1, 用 t 检验法分析纯林和混交林两种林分同一种松树上松墨天牛的数量差异。2005 年 5 月 25 日解剖的两种林分之间的黑松、马尾松、湿地松的 t 值依次为 1.4837、0.7834 和 0.3716; $df=14$ 时, $t_{0.05}=2.15$, t 值均小于 $t_{0.05}$, 表明两种林分同一种松树上松墨天牛数量之间差异不显著。2005 年 11 月 20 日解剖的两种林分之间的黑松、马尾松、湿地松的 t 值依次为 0.5900、1.2118 和 1.1310; $df=8$ 时, $t_{0.05}=2.31$; t 值均小于 $t_{0.05}$, 和 5 月 25 日结论一致。

鉴于上述理由, 将两种林分中同一树种的松墨天牛合并计算, 分析不同树种上松墨天牛数量之间的差异。2005 年 5 月 25 日解剖的黑松与马尾松及湿地松松墨天牛数量之间的 t 值为 3.6101 和 4.0212。黑松与湿地松之间 t 值为 4.0212, 马尾松与湿地松之间 t 值为 0.9724, $df=30$ 时, $t_{0.05}=2.04$, $t_{0.01}=2.75$, 可看出黑松与马尾松和湿地松上松墨天牛数量之间差异均极显著, 马尾松与湿地松之间差异不显著。2005 年 11 月 20 日解剖的黑松与马尾松及湿地松松墨天牛数量之间的 t 值分别为 1.0199 和 4.4291, 马尾松与湿地松之间 t 值为 2.0211, $df=18$ 时, $t_{0.01}=2.88$, $t_{0.05}=2.10$, $t_{0.10}=1.73$, 说明黑松与湿地松之间差异极显著, 马尾松与湿地松之间差异较显著, 黑松与马尾松之间差异不显著。

2.2 不同松树的枝条和韧皮部中游离氨基酸含量与松墨天牛种群数量之间的关系

不同松树的松枝和韧皮部中游离氨基酸含量列于表 2, 与松墨天牛种群关系进行逐步回归分析, 回归模型为 $y = 63.24 - 1.775x_5 + 0.0680x_{11} + 0.1665x_{12} - 0.1257x_{15}$ 复相关系数 R 为 0.9999**, 其决定系数为 $RR = 0.9997$, 剩余通经系数 $Pe = 0.01712$ 。入选的 4 种氨基酸与松墨天牛种群关系密切, 依次是甘氨酸(x_5)、酪氨酸(x_{11})、苯丙氨酸(x_{12})和脯氨酸(x_{15})。将 4 种氨基酸与松墨天牛关系的通径分析结果列于表 3。同 y 的偏相关系数绝对值均接近 1, 从通经系数可看出, 对松墨天牛数量的直接作用绝对值最大的是甘氨酸(x_5), 通径系数为 -1.8768; 其次是酪氨酸(x_{11}), 通径系数为 1.8107; 第三是脯氨酸(x_{15}), 通径系数为 -1.2472。间接作用大的是甘氨酸和酪氨酸的共同作用, 其次是酪氨酸与脯氨酸。

表 1 不同林分不同松树松墨天牛种群数量/(头/株)

Table 1 The population quantities of *Monochamus alternatus* of different pines in different forest stand (head/plant)

树种 Tree species	树号 Number of trees								Σ	$\bar{x}$	纯林和混交林合 并平均 Pure forest and mixed forest
	1	2	3	4	5	6	7	8			
纯林 Pure forest											
黑松 <i>P. thunbergii</i> lamb	47	37	22	34	27	41	78	20	306	38.25	32.63
马尾松 <i>P. massoniana</i>	16	20	12	7	6	36	36	11	144	18.00	16.19
湿地松 <i>P. elliotii</i>	5	43	23	0	16	7	15	0	109	13.63	12.44
混交林 Mixed forest											
2005 年 5 月											
黑松 <i>P. thunbergii</i> lamb	35	21	42	35	25	29	16	13	216	27.00	
马尾松 <i>P. massoniana</i>	22	15	11	8	8	20	14	17	115	14.38	
湿地松 <i>P. elliotii</i>	4	21	8	6	10	34	7	0	90	11.25	
纯林 <i>Pure forest</i>											
2005 年 11 月											
黑松 <i>P. thunbergii</i> lamb	36	62	45	60	44				247	49.40	46.8
马尾松 <i>P. massoniana</i>	65	82	28	17	41				233	46.60	38.8
湿地松 <i>P. elliotii</i>	36	33	35	15	19				105	21.00	24.3
混交林 Mixed forest											
黑松 <i>P. thunbergii</i> lamb	62	53	27	52	27				221	44.20	
马尾松 <i>P. massoniana</i>	16	23	39	37	40				155	31.00	
湿地松 <i>P. elliotii</i>	28	28	15	9	25				138	27.60	

表 2 不同松树的部位游离氨基酸含量 (mg/10kg)

Table 2 Contents of free amino acids of different positions in different pines

品种 Varieties	ASP x_1	THR x_2	SER x_3	GLU x_4	GLY x_5	ALA x_6	VAL x_7	MET x_8	ILE x_9
A1	44.55	240.48	152.05	282.76	62.93	297.3	50.45	18.92	15.93
B1	59.42	194.51	75.82	89.20	24.82	172.07	48.40	13.89	34.82
C1	32.04	70.27	104.17	40.22	53.29	45.76	21.71	23.53	19.74
A2	35.96	169.65	54.81	164.61	18.78	99.26	0	54.82	0
B2	301.93	1253.30	203.87	627.58	30.55	261.56	0	53.09	75.73
C2	134.44	212.07	147.13	364.93	37.86	137.33	0	57.18	0
品种 Varieties	LEU x_{10}	TYR x_{11}	PHE x_{12}	LYS x_{13}	HIS x_{14}	PRO x_{15}	ARG x_{16}	Y(头/株) No./plant	
A1	32.20	750.15	16.57	54.78	24.13	81.43	0	32.63	
B1	0	51.69	73.78	120.04	28.79	265.17	0	16.19	
C1	18.96	22.28	79.89	41.82	11.64	22.55	0	12.44	
A2	44.00	45.50	0	72.71	0	60.58	188.78	32.63	
B2	179.87	106.52	83.63	229.28	56.26	258.76	1822.77	16.19	
C2	56.23	51.06	0	90.08	24.99	77.30	255.07	12.44	

* A1、B1、C1 为黑松、马尾松、湿地松松枝;A2、B2、C2 为黑松、马尾松、湿地松剥皮部;Y 松墨天牛; x_1 :天冬氨酸; x_2 :苏氨酸; x_3 :丝氨酸; x_4 :谷氨酸; x_5 :甘氨酸; x_6 :丙氨酸; x_7 :缬氨酸; x_8 :蛋氨酸; x_9 :异亮氨酸; x_{10} :亮氨酸; x_{11} :酪氨酸; x_{12} :苯丙氨酸; x_{13} :赖氨酸; x_{14} :组氨酸; x_{15} :脯氨酸; x_{16} :精氨酸

植食性昆虫在营养上所需要的有 10 种必需氨基酸,即精氨酸、组氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、丙氨酸、苏氨酸、色氨酸和缬氨酸,自然界没有仅含昆虫所必须的 10 种氨基酸的食物,昆虫组织中的蛋白质组成需有非必需氨基酸,昆虫可以从必需氨基酸通过转氨作用,由葡萄糖等合成这些非必需氨基酸。如果食物中仅含有必需氨基酸,已失去氨基的分子积累会引起不能适应的代谢压力,使昆虫生长发育受阻。本试验测定的氨基酸中,对松墨天牛种群有重要作用的为 4 种非必需氨基酸,表明昆虫要求食物中的各种氨基酸

都是按适当比例存在的。

表 3 松墨天牛种群与主要游离氨基酸途径分析

Table 3 Path analysis of population quantity of *Monochamus alternatus* and main free amino acids

主要成分 Main indexes	同 y 的偏相关性 Correlation with y	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect			
			x_5	x_{11}	x_{12}	x_{15}
x_5	-0.9997	-1.8786	-	1.2405	0.0054	0.5861
x_{11}	0.9998	1.8107	-1.2858	-	-0.1806	0.1777
x_{12}	0.9985	0.6362	-0.0158	-0.5139	-	-0.6874
x_{15}	-0.9996	-1.2472	0.8820	-0.2579	0.3506	-

2.3 不同松树的松枝、韧皮部中水解氨基酸含量与松墨天牛种群数量之间的关系

不同松树的松枝和韧皮部中水解氨基酸含量列于表 4,与松墨天牛种群关系进行逐步回归分析,其回归模型为 $y = 37.59 - 0.1146x_{10} - 0.5741x_{11} + 0.0112x_{15} + 0.1468x_{16}$,复相关系数 R 为 0.9955^{**}。对入选的 4 种水解氨基酸与松墨天牛的关系进行途径分析,结果列于表 5。酪氨酸(x_{11})、脯氨酸(x_{15})、精氨酸(x_{16})和亮氨酸(x_{10})同 y 的偏相关系数的绝对值都接近 1。

表 4 不同松树的不同部位的水解氨基酸含量/(mg/100g)

Table 4 Contents of hydrolyzable amino acids in different positions in different pines

品种 Varieties	ASP x_1	THR x_2	SER x_3	GLU x_4	GLY x_5	ALA x_6	VAL x_7	MET x_8	ILE x_9
A1	111.12	60.73	68.26	149.56	48.31	43.58	64.11	14.45	111.62
B1	75.36	39.29	45.65	136.69	37.08	46.92	43.40	12.93	44.70
C1	164.40	87.21	98.44	250.40	63.74	76.57	65.08	9.19	75.36
A2	120.17	56.20	81.55	192.76	59.44	58.71	68.53	38.88	44.76
B2	212.09	92.29	165.38	370.34	130.70	126.84	0	44.26	71.38
C2	130.44	57.00	82.98	210.56	62.22	63.99	0	44.65	51.13
品种 Varieties	LEU x_{10}	TYR x_{11}	PHE x_{12}	LYS x_{13}	HIS x_{14}	PRO x_{15}	ARG x_{16}	Y 头/株 No./plant	
A1	0	20.75	11.06	67.23	12.44	624.99	0	32.63	
B1	0	41.44	9.00	84.94	8.94	67.09	0	16.19	
C1	0	41.88	64.66	153.51	28.40	42.15	0	12.44	
A2	106.03	0	50.50	84.08	29.83	103.54	68.21	32.63	
B2	166.63	49.77	89.42	176.97	58.46	158.87	166.86	16.19	
C2	104.85	38.38	59.93	107.66	41.87	135.96	50.34	12.44	

* A1、B1、C1 为黑松、马尾松、湿地松松枝;A2、B2、C2 为黑松、马尾松、湿地松韧皮部;Y 松墨天牛; x_1 :天冬氨酸; x_2 :苏氨酸; x_3 :丝氨酸; x_4 :谷氨酸; x_5 :甘氨酸; x_6 :丙氨酸; x_7 :缬氨酸; x_8 :蛋氨酸; x_9 :异亮氨酸; x_{10} :亮氨酸; x_{11} :酪氨酸; x_{12} :苯丙氨酸; x_{13} :赖氨酸; x_{14} :组氨酸; x_{15} :脯氨酸; x_{16} :精氨酸

表 5 松墨天牛种群与主要水解氨基酸途径分析

Table 5 Path analysis of population quantity of *Monochamus alternatus* and main hydrolyzable amino acids

主要成分 Main indexes	同 y 的偏相关性 Correlation with y	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect			
			x_{11}	x_{15}	x_{16}	x_{10}
x_{11}	-0.9932	-0.9878	-	-0.0645	0.1630	-0.0260
x_{15}	0.9051	0.2290	0.2780	-	-0.1694	0.1922
x_{16}	0.9375	0.8986	-0.1791	-0.0432	-	-0.7312
x_{10}	-0.9180	-0.7761	-0.0331	-0.0567	0.8466	-

从途径系数可看出,对松墨天牛数量的直接作用绝对值最大的是酪氨酸(x_{11}),途径系数为 -0.9897,其次是精氨酸(x_{16}),途径系数为 0.8986,第三是亮氨酸(x_{10}),途径系数为 -0.7761,间接作用最大的是精氨酸和亮氨酸共同作用。可看出,不论游离状态和水解状态的酪氨酸和脯氨酸都与松墨天牛种群数量关系密切。

从测定结果看出,松枝中没有精氨酸,氨基酸是昆虫生长发育不可缺少的生物活性物质,它参与蛋白质合成、缓冲调节血液渗透压,参与能量代谢和脂肪合成,其含量过低或各种氨基酸的相对比例不均衡,都会影响生物的正常生长和发育。从表 2 和表 4 可看出松枝中氨基酸总含量,黑松明显高于其它两种松树,黑松上松墨天牛数量也高于其它两种松树。

2.4 矿质元素与松墨天牛种群数量的关系

将 3 种松树的松枝及韧皮部中矿质元素含量列于表 6,与松墨天牛种群(y)进行逐步回归分析. 回归方程为: $y = -67.94 + 409.4696x_3 + 37.4746x_6 - 1004.4480x_7 + 4.2958x_8$,复相关系数为 0.9826*。将入选的 4 个因子与松墨天牛的关系进行通径分析,结果列于表 7. 铜和钾同 y 的偏相关系数绝对值大。从通径系数可看出,对松墨天牛数量直接作用绝对值最大的是铜(x_8),通径系数为 1.7275,其次为钾(x_3),通径系数为 1.7243,第三为镁(x_7),通径系数为 -1.5020。间接作用最大的为镁和钾的共同作用。所有的昆虫在食物中都需要一定份量的钾和镁,微量元素铜是酶反应的辅因素,表明 3 种矿质元素对松墨天牛种群数量影响最大。

表 6 不同松树不同部位中矿质元素含量

Table 6 Contents of mineral elements of different positions in different pines

品种 Varieties	N/% x_1	P/% x_2	K/% x_3	S/% x_4	Cl/% x_5	Ca/% x_6	Mg/% x_7	Cu /(mg/kg) x_8	Zn /(mg/kg) x_9	Mn /(mg/kg) x_{10}	Fe /(mg/kg) x_{11}	y /(头/株) No./plant
A1	0.58	0.03	0.19	0.05	1.35	0.45	0.09	21.60	43.70	269.00	433.00	32.63
B1	0.37	0.02	0.11	0.04	1.29	0.25	0.05	17.20	87.60	130.00	176.00	16.19
C1	0.43	0.01	0.23	0.05	2.13	0.31	0.07	10.20	34.70	173.00	209.00	12.44
A2	3.45	0.51	0.15	0.64	0.70	0.22	0.05	19.66	19.30	95.63	200.10	32.63
B2	2.62	0.35	0.14	0.42	0.43	0.68	0.07	17.37	15.48	63.35	171.80	16.19
C2	3.23	0.44	0.14	0.54	0.56	0.36	0.06	17.65	33.34	100.20	216.20	12.44

x_1 :总氮; x_2 :磷; x_3 :钾; x_4 :硫; x_5 :氯; x_6 :钙; x_7 :镁; x_8 :铜; x_9 :锌; x_{10} :锰; x_{11} :铁

表 7 松墨天牛种群与主要矿质元素含量通径分析

Table 7 Path analysis of population quantity of *Monochamus alternatus* and main mineral elements

主要成分 Main indexe	同 y 的偏相关性 Correlation with y	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect			
			x_3	x_6	x_7	x_8
x_3	0.9426	1.7243	—	0.0018	-0.8327	-0.8548
x_6	0.7962	0.6535	0.0048	—	-1.0413	0.2560
x_7	-0.8980	-1.5020	0.9560	0.4531	—	0.2781
x_8	0.9745	1.7275	-0.8532	0.0969	-0.2418	—

2.5 水溶性糖、蛋白质、含水率与松墨天牛种群的关系

将不同松树的不同部位的蛋白质、水溶性糖和水的含量列于表 8,与松墨天牛数量之间进行逐步回归分析,得出 $y = -44.07 - 1.5601x_1 + 6.9355x_2$,相关系数 R 为 0.8374*,决定系数 RR 为 0.7013。

表 8 不同松树的不同部位蛋白质、水溶性糖、水的含量

Table 8 Contents of protein, water-solubility sugar and moisture of different positions in different pines

品种 Varieties	A1	B1	C1	A2	B2	C2
蛋白质(x_1) protein/%	3.65	2.33	2.69	21.53	16.36	20.16
水溶性糖(x_2) water-solubility sugar/%	11.5	9.50	9.00	15.80	11.50	13.50
含水量(x_3) moisture/%	0.49	0.24	0.54	0.32	0.23	0.41
y (头/株)	32.63	16.19	12.44	32.63	16.19	12.44

将蛋白质(x_1)和可溶性糖(x_2)与松墨天牛的关系进行通径分析,结果列于表 9。

表 9 蛋白质、可溶性糖与松墨天牛种群的途径

Table 9 Path analysis of protein, water-solubility and population quantity of *Monochamus alternatus*

主要成分 Main indexe	同 y 的偏相关 Correlation with y	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect	
			x_1	x_2
x_1	-0.8658	-1.4917	-	1.5961
x_2	0.9049	1.8324	-1.2994	-

可看出可溶性糖对松墨天牛数量直接作用最大,糖类是各种植食性昆虫都需要的,为昆虫活动时提供能量,且可通过转氨作用,合成新的氨基酸和蛋白质,同时又是助食因子。

2.6 入选的 14 个因子与松墨天牛种群数量的关系

对入选的游离的甘氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、脯氨酸和水解的酪氨酸、脯氨酸、精氨酸、亮氨酸以及 K、Ca、Mg、Cu、蛋白质、水溶性糖等 14 个因子与松墨天牛数量之间进行逐步回归分析得出: $y = 19.94 + 0.0114x_2 + 0.0457x_4 - 0.5371x_5 + 62.5214x_9$,复相关系数 R 为 0.9966^{**}。对入选的 4 个因素与松墨天牛之间关系作用进行途径分析,结果列于表 10,游离酪氨酸(x_2)、游离脯氨酸(x_4)及水解酪氨酸(x_5)与 y 的偏回归系数的绝对值近于 1;从途径系数可看出,对松墨天牛数量直接作用绝对值最大的是水解酪氨酸(x_5),途径系数为 -1.0292,其次是游离脯氨酸(x_4),途径系数为 0.5052,第三为游离酪氨酸(x_2),途径系数为 0.3395。间接作用最大的为水解酪氨酸(x_5)与游离脯氨酸(x_4)的共同作用,其次是游离脯氨酸(x_4)和钾(x_9)的共同作用。对入选的 14 个因子的数学分析表明,水解酪氨酸对松墨天牛种群数量作用最大,其次是游离脯氨酸和酪氨酸。钾和游离脯氨酸的间接共同作用对松墨天牛种群数量影响也很大。植物对昆虫的营养效应与昆虫对基本营养成分的需要,营养成分的含量、比例和相互关系(基础营养学)以及昆虫对食物的利用和转化有关,本文是研究其中内容的一部分。

表 10 入选的内含物与松墨天牛种群(y)的途径分析

Table 10 Path analysis of selected inclusion content and population density of *Monochamus alternatus* (y)

主要成分 Main indexe	同 y 的偏相关性 Correlation with y	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect			
			x_2	x_4	x_5	x_9
x_2	0.9615	0.3395	-	-0.0720	0.2750	0.0757
x_4	0.9449	0.5052	-0.0484	-	-0.5200	-0.1878
x_5	-0.9925	-1.0292	-0.0907	0.2553	-	-0.0098
x_9	0.8577	0.2636	0.0976	-0.3604	0.0382	-

* x_5 为水解酪氨酸、 x_2 为游离酪氨酸、 x_4 为游离脯氨酸、 x_9 为钾

3 结论与讨论

(1)2005 年 5 月份和 11 月份解剖的黑松、马尾松、湿地松上的松墨天牛种群数量,黑松与湿地松之间差异极显著,黑松与马尾松之间 5 月份的解剖结果差异极显著,11 月份的解剖结果差异不显著,马尾松与湿地松之间差异不显著。不同林分同一种松树松墨天牛数量之间差异不显著。

(2)松树枝条和韧皮部中蛋白质(x_1)、可溶性糖(x_2)与松墨天牛数量(y)之间关系为 $y = -44.0709 - 1.5601x_1 + 6.9355x_2$,复相关系数 R 为 0.8374^{*},途经分析结果可溶性糖直接作用大于蛋白质。

(3)游离氨基酸含量与松墨天牛数量(y)之间的关系为

$y = 63.24 - 1.1775x_5 - 0.0680x_{11} + 0.1665x_{12} - 0.1257x_{15}$,复相关系数 R 为 0.9999^{**},对松墨天牛数量直接作用由大到小依次为甘氨酸(x_5)、酪氨酸(x_{11})、脯氨酸(x_{15})和苯丙氨酸(x_{12})。

(4)水解氨基酸含量与松墨天牛数量(y)之间的关系为

$y = 37.59 - 0.1146x_{10} - 0.5741x_{11} + 0.0112x_{15} + 0.1468x_{16}$,复相关系数 R 为 0.9955^{**},对 y 直接作用由大到小依次为酪氨酸(x_{11})、精氨酸(x_{16})、亮氨酸(x_{10})和脯氨酸(x_{15})。

(5)矿质元素含量与松墨天牛数量(y)之间的关系为

$y = -67.94 + 409.4696x_3 + 37.4746x_6 - 1004.4480x_7 + 4.2958x_8$, 复相关系数 R 为 0.9826*, 对 y 的直接作用由大到小依次为铜(x_8)、钾(x_3)、镁(x_7)和钙(x_6)。

(6) 上述入选的 14 种内含物与 y 的关系为

$y = 19.94 + 0.0114x_2 + 0.0457x_4 - 0.5371x_5 + 62.5214x_9$, 复相关系数 R 为 0.9966**, 对 y 的直接作用由大到小依次为水解的酪氨酸(x_5)、游离脯氨酸(x_4)、游离酪氨酸(x_2)和钾(x_9)。

昆虫与植物的关系, 昆虫从寄主植物中获取必要的营养, 缺少某种营养可能对昆虫生长发育不利; Singh^[17] 总结了很多研究结果得出, 缺少氮、磷、钾对蚜虫和红蜘蛛的生长不利, 其中以缺少氮的影响最大, 而缺少磷和钾对叶组织内的总氮物质和碳水化合物含量有间接影响; 叶组织中可溶性糖和氨基酸的种类和分量决定植物对昆虫的抗性。碳水化合物无论是种类或份量上在植物体均占优势; 其中糖类是各种植食性昆虫都需要的, 它们非但为昆虫在活动时提供能量, 而且也是主要的助食因素, 对糖的利用在不同昆虫种类中差异较大。

蛋白质是植食性昆虫的重要营养物质, 对细胞的分裂、代谢等生命过程起着重要的控制作用。蛋白质的含量与昆虫对寄主植物的嗜食程度有关, 从表 8 可看出, 黑松中不管是枝条还是韧皮部中的蛋白质含量均高于马尾松和湿地松的含量, 从表 6 也可看出黑松不管是枝条还是韧皮部的总氮含量均高于马尾松和湿地松。从表 8 也可看出, 可溶性糖含量也是同样高于马尾松和湿地松。House^[18] 报道, 咀嚼式口器害虫需要食物中的钙、铜、铁、镁、锰、磷、钾、钠、硫、锌等矿质元素, 主要是需要一定分量的钾、磷酸盐和镁。从表 6 可看出, 黑松枝条和韧皮部的磷含量均高于马尾松和湿地松。综上所述, 可能由于黑松枝条和韧皮部富含了松墨天牛需要的上述各种营养, 因此其松墨天牛种群数量显著高于湿地松。

植物的内含物种类复杂, 包括生物化学反应的催化物质、参与植物有机体制造过程的物质、供应能量的物质和次生物质四大类别, 这些物质都与植食性昆虫的生长、发育和活动行为有直接或间接关系。Kessler 等^[19] 报道在自然条件下植物-害虫-天敌之间的关系, 研究结果表明植物通过释放引诱天敌的挥发物质可以达到对相关害虫的有效控制。大量研究结果表明以昆虫与寄主植物的关系为依据, 以降低农林作物虫害为目标, 研究害虫的种群动态或农业生态系统的结构和变化可创立害虫治理的有效方法^[10]。本文只是从松树内含物中的营养物质与松墨天牛种群关系进行研究, 为了有效控制松墨天牛, 应进一步从松树-松墨天牛-天敌三者关系进行深入探讨。

References:

- [1] Xiao G R, Forest insects of China. Beijing: Chinese Forest Press, 1992.
- [2] Lin S K, Chen L G, Zhang S Y. The fluctuation index of *Monochamus alternatus* population. Forest Pest and Disease, 2001, (5): 14-16.
- [3] Chen S L, Wang L P, Huang J C, Yu P W, Cheng B. Study on the Vertical Distribution of *Monochamus alternatus* Hope Larvae on *Pinus massoniana*. Journal of Fujian College of Forestry, 2001, (4): 297-299.
- [4] Zhou C M, Xiao L Y, Lu G, Cai D Y. The population dynamics of *Monochamus alternatus* in dead tree stump. Forest Pest and Disease, 2000, (1): 14-16.
- [5] Futai K, Shirakawa S, Nakai I. The suitability of Korean pine (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) and Japanese Red Pine (*P. densiflora* Sieb. et Zucc.) as a host of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae). Appl Ent Zool, 1994, 29(2): 167-177.
- [6] Taniwaki T, Okitsu M, Kishi Y. Diurnal emergence of *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) from pine logs. Journal of the Japanese Forestry Society, 2004, 89(2): 158-163.
- [7] Ding Y Z, Lü C H, Han B, Pu H P, Wu M L. Relationship between growth potential of population density of *Monochamus alternatus* and pathogenicity of *Bursaphelenchus xylophilus* Chinese. Journal of Applied Ecology, 2001, 12(3): 351-354.
- [8] Chen X Y, Zou Y D, Ding Y Z, Bi S D, Wu H Z, Li Z Z, Lin X F, Wang W J, Tian F X. Trends of the population quantities of *Monochamus alternatus* and *Dastereus helophorodes* and parasitical ratio of *Beauveria bassiana* on different varieties of pine. Journal of Anhui Agricultural University, 2006 33(2): 200-203.
- [9] Chen X Y, Zou Y D, Ding Y Z, Wu H Z, Li Z Z, Lin X F, Wang W J, Tian F X. Three-dimensional spatial distribution patterns of *Monochamus alternatus* and its natural enemy *Dastarcus helophorodes*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(8): 1547-1550.

- [10] Qin J D. The relationship between insect and plant. Beijing: Science Press, 1987.
- [11] Zou Y D, Wang H F. Agro-Forest Insect ecology. Hefei Anhui Science and Technology Press, 1989: 113-157.
- [12] Zou Y D, Cheng F J, Zha G J. Effect of the chemical components of pine needle on the existence and growth of pine cuterpittars *Dendrolimus punctatus*. Scientia Silvae Sinicae, 1990, 26(2): 142-148.
- [13] Ge F, Li D M, Qiu Y X, Wang G H. Studies on the changes of some chemicals in damaged pine neddles and their effects on population parameters of pine caterpillar. Acta Entomologica Sinica, 1997, 40(4): 337-342.
- [14] Yan S C, Li J G, Wen A T, Cheng H, Xu W, Zhang Y B. Association between the damage of *Xylotrechus rusticus* (Coleoptera: Cerambycidae) and the compositions and contents of amino acids in different poplar strains. Acta Entomologica Sinica, 2006, 49(1): 93-99.
- [15] Xu F Y, Xi K, Yang B J, Ge M H, Sun Y C. Studies on the emergence, replenishing feeding methods of adults of *Monochamus alternatus* in the area of Nan jing and its control. Forest Research, 1994, 7(2): 215-219.
- [16] Zhang X Z, Chen F Y, Wang R F. The experimental Technology of Plant Physiology. shen yang, liao ning. Science and Technology Press, 1993.
- [17] Singh P. Host-plant nutrition and composition: Effects on agricultural pests. Inform. Bull. No. 6, Canada Dept. Agr, 1970.
- [18] House H L. Effects of different proportions of nutrients on insects. Ent. exp. appl., 1968, 12: 651-669.
- [19] Kessler A, Baldwin I T. Defensive function of herbivoreinduced plant volatile emissions in nature. Science, 2001, 291: 2141-2144.

参考文献:

- [1] 萧刚柔. 中国森林昆虫(第二版). 北京: 中国林业出版社, 1992: 483-485.
- [2] 林世奎, 陈立根, 张世渊. 松墨天牛种群消长趋势指数研究. 中国森林病虫, 2001, (5): 14-16.
- [3] 陈顺立, 王玲萍, 黄金聪, 余培旺, 程保. 松墨天牛幼虫在马尾松树上垂直分布的研究. 福建林学院学报, 2001, (4): 297-299.
- [4] 周成枚, 肖灵亚, 陆高, 蔡道尧. 松褐天牛在病死木伐桩中种群动态的研究. 森林病虫通讯, 2000, (1): 14-16.
- [7] 丁玉州, 吕传海, 韩斌, 濮厚平, 吴木林. 树木生长势与松墨天牛种群密度及松材线虫病发病程度的关系. 应用生态学报, 2001, 12(3): 351-354.
- [8] 陈向阳, 邹运鼎, 丁玉洲, 毕守东, 巫厚长, 李增智, 林雪飞, 汪文俊. 不同松树上松墨天牛和花绒坚甲种群及白僵菌自然寄生率动态. 安徽农业大学学报, 2006, 32(2): 200-203.
- [9] 陈向阳, 邹运鼎, 丁玉洲, 巫厚长, 李增智, 林雪飞, 汪文俊, 田方鑫. 松墨天牛及其天敌花绒坚甲种群的三维空间分布格局. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1544-1546.
- [10] 钦俊德. 昆虫与植物的关系. 北京: 科学出版社, 1987: 133-49.
- [11] 邹运鼎, 王弘法. 农林昆虫生态学. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1998.
- [12] 邹运鼎, 程扶玖, 查光济. 松针内含物与马尾松毛虫生存发育的关系. 林业科学, 1990, 26(2): 142-148.
- [13] 戈峰, 李典谟, 邱业先, 王国红. 松树受害后一些化合物含量变化及其对马尾松毛虫种群参数的影响. 昆虫学报, 1997 40(4): 337-342.
- [14] 严善春, 李金国, 温爱亭, 程红, 徐伟, 张玉宝. 青杨脊虎天牛的危害与杨树氨基酸组成和食量的相关性. 昆虫学报, 2006, 49(1): 93-99.
- [15] 徐福元, 席客, 杨宝君, 葛明宏, 孙永春. 南京地区松墨天牛成虫发生、补充营养和防治. 林业科学研究, 1994, 7(2): 215-219.
- [16] 张宪政, 陈凤玉, 王荣富. 植物生理学实验技术. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993.