

落叶松八齿小蠹坑道在落叶松立木上的垂直分布特征^{*}

袁 菲^{1 2} 骆有庆^{1 **} 石 娟¹ Kari Heliövaara³

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点试验室 北京 100083;

2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所 森林保护学国家林业局重点实验室 北京 100091;

3. 赫尔辛基大学应用生物学学院, 芬兰 FIN-00014)

摘 要 应用多个聚集度指标和 Iwao, Taylor 等的回归分析法对落叶松八齿小蠹 *Ips subelongatus* Motschulsky 坑道的垂直分布型进行了研究。结果表明: 落叶松八齿小蠹坑道数量与落叶松树干不同高度变化成线性关系, 拟合的直线方程为 $y = -10.867x + 92.884$; 落叶松八齿小蠹坑道基本属于均匀分布; 坑道的分布与落叶松立木阴面和阳面关系不大。最后确定了不同落叶松八齿小蠹坑道密度下的最适抽样数。

关键词 落叶松八齿小蠹坑道, 垂直分布, 聚集度指标, 回归分析法

Gallery vertical distribution pattern of *Ips subelongatus* in standing larch

YUAN Fei^{1 2} LUO You-Qing^{1 **} SHI Juan¹ Kari Heliövaara³

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University,

Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Forest Protection of State Forestry Administration,

Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

3. Department of Applied Biology, University of Helsinki, Helsinki FIN-00014, Finland)

Abstract The vertical distribution pattern of *Ips subelongatus* Motschulsky galleries was examined using the aggregation indices of Iwao and Taylor. The results indicate that the number of *I. subelongatus* galleries has a linear relationship with different heights of larch trunks; the relationship being described by the equation $y = -10.867x + 92.884$. Galleries of *I. subelongatus* have a uniform spatial distribution with no difference in abundance between sunny and shaded sides of the tree. The optimum sampling number was determined for different gallery densities.

Key words *Ips subelongatus*, gallery, distribution pattern, aggregation index, regression

昆虫分布型是昆虫的个体或个体群在其生存空间中的散布形式, 是种群的重要属性之一。通过对害虫空间分布型的研究, 不仅可以揭示害虫种群的空间结构以及种群下的结构状况, 还可以准确掌握害虫种群数量动态变化规律, 从而为害虫的综合治理决策提供科学依据(丁岩钦, 1980; 季长龙和高纯, 2002; 徐汝梅, 2005)。

落叶松(*Larix* spp.) 是我国东北方的主要造

林树种。落叶松八齿小蠹 *Ips subelongatus* Motschulsky 主要侵害落叶松衰弱木、倒木, 种群数量大时也侵害健康木, 由于该虫在韧皮部造成大量坑道, 破坏木材疏导组织, 并造成严重的工艺损害, 逐渐引起木材枯死, 在经济上造成严重损失(殷蕙芬等, 1984; 萧刚柔, 1992)。2002 年位于大兴安岭的阿尔山林区落叶松毛虫 *Dendrolimus superans* Bulter 危害严重后, 大量次期性害虫落叶

* 资助项目: 北京林业大学中芬合作项目 Biodiversity and Forest Pests Problem in Northeast China (BIOPROC 1114201)、公益性行业(林业)科研专项(200904029)、中央高校基本科研业务费专项资金资助(TD2010-4)。

** 通讯作者, E-mail: youqingluo@126.com

收稿日期: 2010-10-28, 接受日期: 2010-12-02

松八齿小蠹、云杉大黑天牛 *Monochamus urusovi* Fisher、云杉小黑天牛 *Monochamus sutor* Linnaeus 以及白带长角天牛 *Acanthocinus carinulatus* Gebler 快速侵入,在这些主要的钻蛀性害虫中,落叶松八齿小蠹对寄主兴安落叶松 *Larix gmelinii* Rupr. 的危害程度最大(Yuan *et al.* 2008)。国内外对落叶松八齿小蠹雄虫的空间分布以及扩散蔓延规律进行了一些研究(张庆贺等,1989),但对其坑道在立木上的垂直分布等还没有过报道。作为落叶松八齿小蠹种群系统控制研究的重要基础,作者对落叶松八齿小蠹坑道数量在落叶松主干上的垂直变化规律,落叶松八齿小蠹坑道的空间分布规律以及最适抽样数进行了研究。

1 研究方法

1.1 调查方法

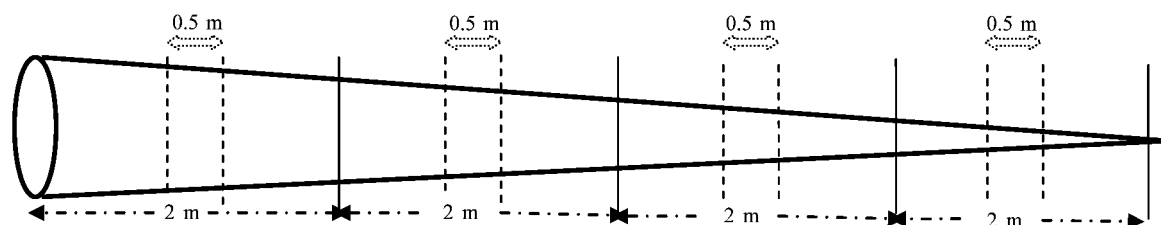


图1 落叶松伐倒木每2 m段的中间部位截取0.5 m长的木段

Fig.1 Subsections are made every 2 m in length, then 0.5 m in each one

每0.5 m长木段中,阴面和阳面分别用记号笔划出长0.5 m、宽3 cm的长条(根据伐木的周长前2 m段8个,依次7个、6个、5个、4个、3个、2个),每棵树共70个长条(图2)。

1.1.3 统计坑道数量 统计0.5 m长木段上每个长条中的落叶松八齿小蠹坑道数量。统计过程中,有部分坑道同时位于2个长条内,此时2个长条都要加上此坑道。

1.2 统计方法

1.2.1 聚集度指标法(徐汝梅,2005;丁岩钦,1980;舒金平和潘涌智,2003;赵娜等,2007)

(1) 扩散系数 C 公式: $C = S^2 / m$

式中: S^2 为样本方差; m 为样本平均值。

当 $C > 1$ 时,为聚集分布;当 $C = 1$ 时,为随机分布;当 $C < 1$ 时,为均匀分布。

(2) 负二项分布的 K 值 公式: $K = m^2 / (S^2 -$

1.1.1 选取解析木 落叶松八齿小蠹坑道在落叶松立木上大多为向上1条、向下2条的复纵坑,也有少数的单纵坑与星状坑(于诚铭等,1984)。根据其在阿尔山的生活史,6月初坑道初步形成,6月下旬坑道几乎布满整个韧皮部,为了便于统计坑道的数量,作者于6月初在阿尔山林区61林班随机选取了落叶松八齿小蠹危害典型的立木8根,分别从树干基部砍伐8根立木,林龄18,胸径26~31 cm,树高7.7~9.3 m。

1.1.2 立木解析 落叶松八齿小蠹危害典型的8根伐倒木去掉枝条,主干部分均按2 m段进行划分,在每2 m段的中间部位截取0.5 m长的木段(图1),未达到2 m段的木段截取本身长度中间部位的0.5 m长木段,剥皮后按照年轮的疏密程度将韧皮部分为阴面和阳面,向阳一面年轮疏,向阴则密。

$m)$

当 $K < 0$ 时,为均匀分布; $K > 0$ 时,为聚集分布;当 $K = 0$ 与趋近于无穷(一般在8以上),为随机分布。

(3) 扩散型指数 I_δ 公式: $I_\delta = n \frac{\sum f_x^2 - N}{N(N-1)}$

式中: n 为抽样数; N 为总虫口数; x 为抽样单元中的虫体数; f 为频数。

当 $I_\delta = 1$ 时,为随机分布;当 $I_\delta > 1$ 时,为聚集分布;当 $I_\delta < 1$ 时,为均匀分布。

(4) 平均拥挤度指标公式: $m^* = m + S^2 / m - 1$

(5) m^* / m 指数

当 $m^* / m > 1$ 时,为聚集分布;当 $m^* / m = 1$ 时,为随机分布;当 $m^* / m < 1$ 时,为均匀分布。

(6) CA 值法 公式: $CA = (S^2 - m) / m^2$

当 $CA > 0$ 时,为聚集分布; $CA = 0$ 时,为随

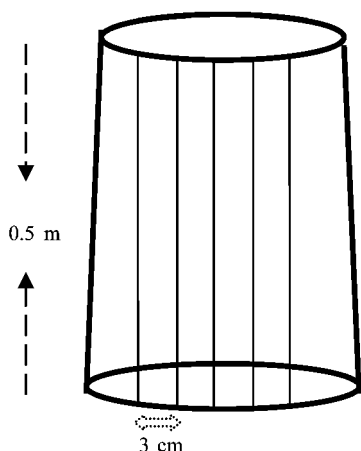


图 2 0.5 m 长木段中划出长 0.5 m、宽 3 cm 的长条

Fig. 2 0.5 m length and 3 cm width longstrips in each 0.5 m subsection

机分布; $CA < 0$ 时, 为均匀分布。

1.2.2 回归分析法 (丁岩钦, 1980; 舒金平和潘涌智, 2003; 徐汝梅, 2005; 赵娜等, 2007)

(1) Iwao 的 $m^* - m$ 回归分析法 回归模型:

$$m^* = \alpha + \beta m$$

式中: α 、 β 为参数; m^* 为平均拥挤度; m 为平均数。

Iwao 认为当回归模型呈线性相关时, α 、 β 就能揭示昆虫种群分布型的特征, 而且有特定的生物学意义。 α 说明分布的基本成分按大小分布的平均拥挤度, 当 $\alpha = 0$ 时, 分布的基本成分是单个个体; 当 $\alpha > 0$ 时, 分布的基本成分是种群, 种群个体间相互吸引; 当 $\alpha < 0$ 时, 分布的基本成分仍是种群, 但种群个体间相互排斥。 β 表明基本成分的空间分布型。 α 、 β 的不同组合能表达不同的空间分布型信息: 当 $\alpha = 0$ $\beta = 1$ 时, 为随机分布; 当 $\alpha > 0$ $\beta = 1$ 时, 为聚集分布; 当 $\alpha = 0$ $\beta > 1$ 时, 为聚集分布; 当 $\alpha > 0$ $\beta > 1$ 时, 为聚集分布; 当 $\alpha = 0$ $\beta < 1$ 时, 为均匀分布; 当 $\alpha < 0$ $\beta = 1$ 时, 为均匀分布。 其中当 $\alpha > 0$ $\beta = 1$ 时的组合型为核心分布; 当 $\alpha = 0$ $\beta > 1$ 时的组合型为负二项分布; 当 $\alpha > 0$ $\beta > 1$ 时的组合型为一般的聚集分布。

(2) Taylor 幂法则 回归模型: $\lg S^2 = \lg a + b \lg m$

式中: S^2 为样本方差; m 为平均数; a 、 b 为引入的参数。

当此方程为线性相关时, a 与 b 的不同组合型就表示了昆虫不同的空间分布型。 $\lg a = 0$ $b = 1$ 时, 种群在一切密度下呈随机分布; $\lg a > 0$ $b = 1$ 时, 种群在一切密度下均是聚集的, 其聚集强度不因种群密度而变化; $\lg a > 0$ $b > 1$ 时, 种群在一切密度下均是聚集的, 且具密度依赖性; $\lg a < 0$ $b < 1$ 时, 密度越高, 种群分布的越均匀。

1.3 最适抽样数量的确定

抽样单元数量是一个抽样方案的主要内容, 一个合适的抽样数量不仅能节约人力物力, 而且能提高调查数据的精度。 根据 Iwao 的 $m^* - m$ 直线回归式 $m^* = \alpha + \beta m$ 可以确定理论抽样数量的公式为: $N = \frac{t^2}{D^2} \left(\frac{\alpha + 1}{m} + \beta - 1 \right)$ (苟阳, 1998; 王厚振, 1999; 孔繁玲, 2002)。 式中 α β 为聚集参数, $t = 1.96$ (保证可靠概率 95% 条件下的正态离差值); D 为允许误差, m 为平均虫口密度。

2 结果与分析

2.1 落叶松八齿小蠹坑道在落叶松立木阴、阳面的分布

实验选取的受落叶松八齿小蠹危害典型的落叶松立木平均树高为 15.3 m, 而落叶松八齿小蠹危害从树干基部到 14 m。 从图 3 可以看到, 落叶松立木上 0 ~ 2 m 段中 0.5 m 木段上阴面落叶松八齿小蠹坑道平均数 82.75 个; 阳面为 82 个; 2 ~ 4 m 段中 0.5 m 木段上阴面落叶松八齿小蠹坑道平均数 71.88 个, 阳面为 70.88 个; 4 ~ 6 m 段中 0.5 m 木段上阴面落叶松八齿小蠹坑道平均数 59.63 个, 阳面为 60.38 个, 剩下的 6 ~ 8 m, 8 ~ 10 m, 10 ~ 12 m 以及 12 ~ 14 m 中 0.5 m 木段上阴面和阳面的落叶松八齿小蠹坑道平均数都趋于相同, 也就是说, 落叶松八齿小蠹坑道的分布与落叶松立木阴面和阳面关系不大 ($P > 0.05$)。

2.2 落叶松八齿小蠹坑道数量在落叶松主干上的垂直变化规律

计算 8 棵树每 2 m 段中 0.5 m 木段上落叶松八齿小蠹坑道数量的平均数, 由图 4 可以看到, 落叶松八齿小蠹坑道数量与落叶松树干不同高度变化成线性关系, 拟合的直线方程为 $y = -10.867x$

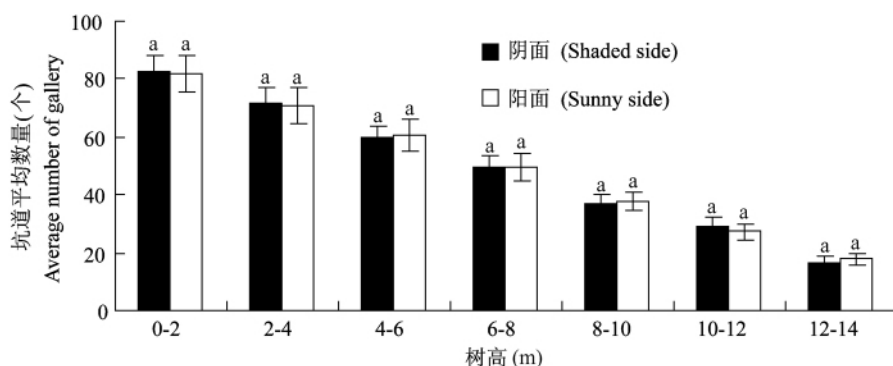


图3 落叶松立木每 2 m 段中 0.5 m 木段上阴面、阳面落叶松八齿小蠹坑道的平均数

Fig.3 Average number of *Ips subelongatus* gallery in sunny sides and shaded sides in each subsection

相同小写字母表示在 0.05 水平差异不显著。

Bars with the same letters indicate no significant difference at 0.05 level.

+ 92.884, 即从树干基部到 14 m 落叶松八齿小蠹坑道数量由多到少成比例的减少。这与落叶松主

干直径由大变小有一定的关系, 韧皮部表面积减少了, 坑道占用的有效面积也随之减少。

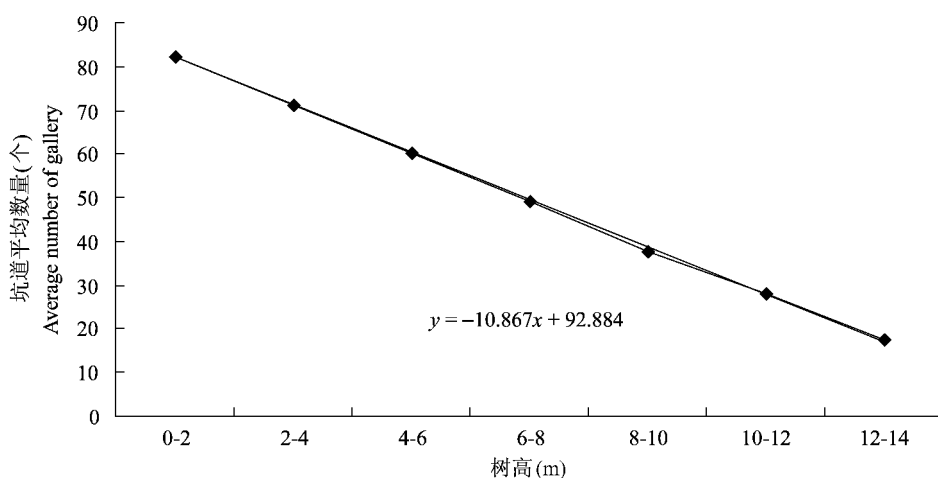


图4 落叶松八齿小蠹坑道数量与落叶松树干不同高度变化的关系

Fig.4 Relationship between the number of *Ips subelongatus* gallery and different height of larch trunk

2.3 落叶松八齿小蠹坑道在落叶松立木上的垂直空间分布型测定

2.3.1 聚集度指标法 根据各聚集指标值的含义, 由表 1 各聚集度指标值可知, 落叶松八齿小蠹坑道在落叶松立木上的垂直空间分布型为均匀分布。

2.3.2 Iwao 的 m^* - m 回归分析法 通过图 4 的数据进行计算所得回归模型: $m^* = -0.5310 + 0.9934m$, 相关系数 $r = 0.9985$ 。计算回归方程中 $\alpha < 0$, 说明落叶松八齿小蠹各坑道之间相互排斥 $\beta < 1$, 坑道分布型属均匀分布(图 5)。实

际上 $\beta = 0.9934$, 趋近于 1, 落叶松八齿小蠹坑道分布趋近于随机分布。

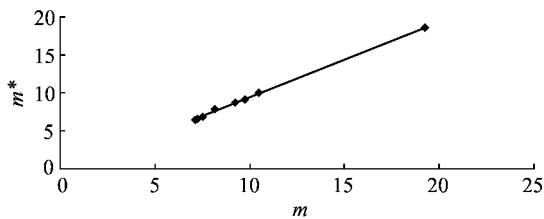
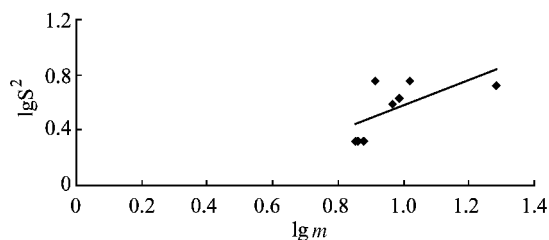
2.3.3 Taylor 幂法则分析法 通过图 6 的数据进行计算所得回归模型: $\lg S^2 = -0.3416 + 0.9208 \lg m$, 相关系数 $r = 0.4165$ 。计算回归方程中 $\lg a < 0$ $b < 1$, 说明落叶松八齿小蠹坑道密度越高, 分布就越均匀。

Taylor 幂法则指出, 在自然种群中, 多数为非随机分布, 样本均值 m 与方差 S^2 之间是不独立的, 方差常随均值的增加而增加。即方差的对数值与均值的对数值存在回归关系: $\lg S^2 = \lg a +$

表 1 落叶松八齿小蠹坑道相关聚集度指标统计表

Table 1 Statistical table with the corresponding aggregation indexes of *Ips subelongatus* gallery

样号 Sample number	m	S^2	C	K	CA	I_δ	m^*	m^*/m	分布型 Distribution pattern
1	10.4857	5.6784	0.5415	-22.8714	-0.0437	0.9576	10.0273	0.9563	均匀
2	9.7286	4.2835	0.4403	-17.3818	-0.0575	0.9439	9.1689	0.9425	均匀
3	7.5429	2.0767	0.2753	-10.4085	-0.0961	0.9056	6.8182	0.9039	均匀
4	7.1143	2.1012	0.2953	-10.0962	-0.0990	0.9028	6.4096	0.9010	均匀
5	7.2429	2.0696	0.2857	-10.1404	-0.0986	0.9032	6.5286	0.9014	均匀
6	8.1714	5.7420	0.7027	-27.4848	-0.0364	0.9672	7.8741	0.9636	均匀
7	19.2714	5.3120	0.2756	-26.6048	-0.0376	0.9631	18.5471	0.9624	均匀
8	9.2429	3.8696	0.4187	-15.8992	-0.0629	0.9386	8.6615	0.9371	均匀

图 5 落叶松八齿小蠹坑道的 $m^* - m$ 回归图Fig. 5 $m^* - m$ regression figure of
Ips subelongatus gallery图 6 落叶松八齿小蠹坑道的 $\lg S^2 - \lg m$ 回归图Fig. 6 $\lg S^2 - \lg m$ regression figure of
Ips subelongatus gallery

$b \lg m$ 。图 6 回归方程中相关系数 $r=0.4165$, 说明实际上 $\lg S^2$ 与 $\lg m$ 相关程度不高, 即 Taylor 模型偏离度最大, 拟合效果较差。分析原因可以发现, $\lg S^2 = -0.3416 + 0.9208 \lg m$, $\lg a = -0.3416$, 趋近于 0, $b=0.9208$, 趋近于 1, 坑道分布实际上趋近于随机分布。

2.4 落叶松八齿小蠹在落叶松立木上的种群分布密度

对坑道内落叶松八齿小蠹的种群密度进行调

查, 发现每个成熟的坑道内平均繁育 21 个后代, 而在每长 0.5 m、宽 3 cm 的长条内平均有 8 个落叶松八齿小蠹的成熟坑道, 因此可以得出其平均虫口密度为 1 120 头/1 000 cm^2 。即当落叶松八齿小蠹的平均虫口密度达到 1 120 头/1 000 cm^2 时, 落叶松八齿小蠹的坑道在落叶松立木上呈均匀分布。

2.5 最适抽样数量的确定结果

在实际抽样调查中, 既要求较高的精度, 又要求较小的工作量, 即能使理论抽样数量在很大程度上代表总体的最适抽样数量, 以便在进行虫口数量调查时节省人力, 降低费用。根据最适理论抽样数量公式, 建立 95% 的概率保证 ($t=1.96$), 不同虫口密度水平下的最适理论抽样数量的计算公式为: $N = [3.8416(0.469/m + 0.0066)]/D^2$, 由此可以求出当 D 取 0.1、0.2 时不同密度水平下的理论抽样数量(表 2)。

从表 2 可以看出, (1) 在允许误差一致的情况下, 如允许误差为 0.1, 当落叶松八齿小蠹坑道密度为 1 个/长条时, 最适抽样数为 182.71 个; 坑道密度为 5 个/长条时, 最适抽样数为 38.57 个; 坑道密度为 10 个/长条时, 最适抽样数为 20.55 个。这说明当允许误差一致时, 坑道的最适抽样数随着密度的增大而下降, 且下降的幅度逐渐缩小。(2) 在允许落叶松八齿小蠹坑道密度一致的情况下, 如坑道密度为 5 个/长条, 当允许误差为 0.1 时, 最适抽样数为 38.57 个; 当允许误差为 0.2 时, 最适抽样数为 9.64 个, 可见当坑道密度一致时, 坑道的最适抽样数随允许误差的增大而下降。

表 2 不同落叶松八齿小蠹坑道密度下的理论抽样数量

Table 2 Theoretical sampling number in different density of *Ips subelongatus* gallery

允许误差 Permissible variation	落叶松八齿小蠹坑道密度(个/长条) Gallery density of <i>I. subelongatus</i> (number/longstrip)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25
0.1	182.71	92.62	62.59	47.58	38.57	32.56	28.27	25.06	22.55	20.55	14.55	11.54	9.74
0.2	45.68	23.16	15.65	11.89	9.64	8.14	7.07	6.26	5.64	5.14	3.64	2.89	2.44

3 讨论

张庆贺等(1989)报道落叶松八齿小蠹雄虫的空间分布属聚集分布,扩散蔓延的规律为聚集型扩散,其聚集强度随林木衰弱程度、虫口密度的不同而变化。当有虫株率100%,平均虫口密度超过7个侵入孔/1 000 cm²时趋于均匀分布。本实验中当落叶松八齿小蠹的平均虫口密度达到1 120头/1 000 cm²时,落叶松八齿小蠹的坑道基本属于均匀分布,与前者研究相吻合。在本实验中的落叶松立木主干上,落叶松八齿小蠹坑道大致属于均匀分布,这说明实际上,从树干基部到14 m的每个米段中,每个长0.5 m、宽3 cm长条里的坑道数量是大致相等的。而之所以树干上部总的坑道数量少于树干下部,是因为树干上部表面积变小,即坑道占用的有效面积减少导致了树干上部坑道数量的减少。可以假设,如果树干从基部起没有由大变小,那么树干上部的坑道数量与树干基部应该大致相等。所以说,在本试验中,落叶松八齿小蠹坑道数量多少与树皮厚度关系不大。而本次试验所选取的虫害木来自干旱引起的树势衰弱后,大量落叶松八齿小蠹进入危害的落叶松立木。坑道数量与树皮厚度关系不大,但坑道数量不能代表落叶松八齿小蠹的虫口数量。因为在落叶松立木树干上,树干基部与上部韧皮部的营养物质也就是小蠹的取食环境是存在差异的,这就造成子代小蠹的存活率不一样,即同样的坑道数量繁育出的子代小蠹数量肯定不一样。所以可以说坑道数量与树皮厚度关系不大,却不能说落叶松八齿小蠹虫口数量与树皮厚度关系不大。

落叶松八齿小蠹坑道数量与树皮厚度关系不大,探讨其原因,可能由于干旱引起落叶松树势衰弱,树干缺水,新鲜韧皮部和水分成为小蠹入侵的首要条件。因此,在大量入侵的时候,只要有新鲜韧皮部和充足水分的地方,小蠹都会蛀坑道繁殖,

此时树皮厚度对子代发育的影响已经成为次要因素。

致谢: 本文在研究过程中得到内蒙古阿尔山林业局森林病虫害防治检疫站韩勇师、陈超、虞宏斌等的大力支持和帮助,特此致谢!

参考文献(References)

丁岩钦,1980. 昆虫种群数学生态学原理与方法. 北京: 科学出版社. 1—417.

苟阳,吴猛耐,徐学勤,邱明生,1998. 黑角直缘跳甲幼虫空间分布型及抽样技术的研究. 昆虫知识,35(1): 23—25.

季长龙,高纯,2002. 栗山天牛幼虫期空间分布型的研究. 辽宁林业科技,(1): 9—14.

孔繁玲,2002. 田间试验与统计方法. 北京: 中央广播电视大学出版社. 1—283.

舒金平,潘涌智,2003. 华山松球果螟幼虫空间分布型研究. 西南林学院学报,23(2): 71—75.

王厚振,1999. 棉铃虫预测预报与综合治理. 北京: 中国农业出版社. 1—630.

萧刚柔主编,1992. 中国森林昆虫. 北京: 中国林业出版社. 1—628.

徐汝梅,2005. 昆虫种群生态学. 北京: 科学出版社. 1—386.

殷蕙芬,黄复生,李兆麟,1984. 中国经济昆虫志. 北京: 科学出版社. 133—134.

于诚铭,郭树平,程德江,1984. 人工林内落叶松八齿小蠹发生规律的研究. 东北林学院学报,12(2): 27—39.

Yuan F, Luo YQ, Shi J, Heliövaara K, Qi GX, Li XJ, Han YS, Chen C, 2008. Invasive sequence and ecological niche of main insect borers of *Larix gmelinii* forest in the A' er Shan, Inner Mongolia. *For. Stu. Chin.*, 10(1): 9—13.

张庆贺,刘纂芳,初冬,1989. 落叶松八齿小蠹雄虫空间分布型及群居危害机理. 东北林业大学学报,17((6): 51—57.

赵娜,刘荣堂,贾力,张晓宇,2007. 云南草坪中东方蜚蛄的空间分布型. 昆虫知识,44(4): 513—516.