

案例八 有害生物种群田间抽样调查技术及防治决策

——以入侵害虫刺槐叶瘿蚊越冬幼虫为例

高素红

【案例用途】:

本案例适用于资源利用与植物保护领域硕士学位研究生。植物有害生物的田间抽样调查技术是了解有害生物发生情况，判断其是否需要进行化学防治的实践技能，以减少化学药剂对生态环境的污染，既要避免造成经济损失，又要最大程度保证人体健康。它是资源利用与植物保护领域硕士研究生必须掌握的专业技能。本案例通过介绍外来入侵重要有害生物——刺槐叶瘿蚊越冬幼虫在林间的空间分布格局及其田间抽样调查技术，将相关专业知识融入其中，以期给同学们以启迪和思考，指导学生在未来有害生物综合防控实践中能够做到有理有据、有的放矢。

【教学内容】:

- (1) 植物有害生物的田间抽样调查技术及主要方法。
- (2) 植物有害生物田间抽样技术与防治方法选择之间的关系。
- (3) 介绍刺槐叶瘿蚊越冬幼虫的空间分布格局和抽样调查技术实践成果。比较几种抽样方法对害虫数量估值的可靠程度。

重点：植物有害生物的田间抽样调查技术及主要方法。

难点：植物有害生物田间抽样技术与防治策略及方法选择之间的关系。

【教学目标】:

知识目标：掌握植物有害生物的田间抽样调查技术及主要方法。了解抽样技术是建立在害虫分布型基础上的。

能力目标：通过学习本案例，学会开展植物有害生物种群密度监测和防治策略及方法选择相关实践工作；培养学生独立思考问题、解决问题的能力；培养学生语言表达能力、沟通能力、团结协作能力；掌握实践教学法的教学过程与方法。

情感目标：增加学生的专业学习兴趣，提高学习效果，培养创新思维。

【教学环境】:

多媒体教室。

【教学对象】:

资源利用与植物保护领域专业研究生一年级学生。

【教学计划】

- (1) 授课案例通过邮件于开课一周发给学生，提示学生课前阅读相关材料；
- (2) 课时分配（时间安排）：按照 2 节课 100 分钟的时间安排课程进程。

课堂内容讲解 40-50 分钟；各小组案例讨论及答疑共 30-40 分钟，总结 10 到 20 分钟。

【教学过程】:

主要分为：背景介绍——案例引入——问题设置——分组讨论——课堂讨论总结——课后作业布置——考核——教学效果评价，共 8 个步骤。

教师准备：充分备课，设计并把控好各个教学环节。

学生准备：提前预习，提前分组，每组 3-4 人。各组选取一种生产上危害严重的病害或虫害，熟悉其生物学特性，为制定该种病虫害的田间调查技术方案积累素材。

1 背景介绍

昆虫种群密度是研究种群动态的重要内容，它指导管理者做出符合“经济、社会、生态”效益的防控策略，选用合理、有效、切实可行的防治方法。田间抽样调查技术不仅能够明确有害生物种的种群密度，更能了解害虫种群在田间的分布状态，指导防治实践工作。在一切科研工作中，我们所期望知道的是总体而不是样本，但在试验中我们所能得到的大多是样本数据，而不是总体。实际工作中，在调查一种作物田内某一种害虫发生数量或危害时，不可能也不必要将整个所有害虫个体或受害植株逐一数清，可以通过取样调查方法，按取样的单位及调查的空间范围推算出一定空间内种群的相对密度。这种密度统计的可靠程度取决于样本的代表性，而样本的代表性又在很大程度上依赖于取样方法和取样数。一般是根据某种害虫在作物内当时的分布型，按照一定的取样方法，在调查对象的总体中，抽取一定数量的样本（抽样单位）。根据样本所可得的数据，即能比较准确地估计这种害虫总体的田间种群密度。因此，需要研究者通过大量的实地调查或参考他人经验，找出其中的规律，依调查对象的具体情况而定。

刺槐叶瘿蚊 *Obolodiplosis robiniae* (Haldemann) 是其寄主树种刺槐 *Robinia pseudoacacia* L. 的原产地害虫^[1]，近年来已传播到世界许多国家和地区。国内作为一种新入侵害虫已在河北、辽宁、山东、北京等地相继出现，并对刺槐造成了严重危害^[2]。据路常宽等^[3]对刺槐叶瘿蚊在中国的危险性评估结果，其最宜适生区($EI \geq 15$)包括华北、华中、华南及云南大部；适生区($5 \leq EI < 15$)包括辽宁和河北大部、山西及陕西南部、四川、甘肃东南部；半适生区($0 < EI < 5$)包括黑龙江、吉林、四川大部及西藏、甘肃、宁夏部分地区。并预测其在中国的风险值为 2.26，属于高度危险生物。一旦该虫发生成灾，必将对我国大面积栽植的刺槐林的生态、经济以及社会效益的发挥造成重大威胁。因此必须提高警惕，加强检疫，防止其扩散蔓延，并开展防治研究。秦皇岛市昌黎县黄金海岸刺槐防护林地郁闭度 90% 以上，属刺槐叶瘿蚊适生区^[3]，发生严重。由于该虫虫体较小，不易观测，造成其测报与防治仍未系统化，因此探讨刺槐叶瘿蚊的空间分布格局及林间取样调查方法显得尤为重要，其中对越冬虫口密度的调查是摸清越冬虫口基数及越冬死亡率，确定防治指标和策略的基础和关键。本案例详细介绍了团队就刺槐叶瘿蚊越冬幼虫的空间分布型及林间调查抽样技术的研究过程及研究成果，以期会同

学们学习相关知识提供借鉴，指导学生开展同类实践研究工作。

2 引入案例

2.1 研究方法

2.1.1 调查方法 采用等距行宽法取样。在标准地内每隔五行刺槐选取一行，每行隔 10 株于林间地面取一 20*20*10cm 土壤样方。每行取 10 个样方，共取 20 行。土样经孔径 0.5mm 筛过滤，直至无沙或仅存少量沙土，装入塑料袋内，带回室内计数刺槐叶瘿蚊越冬幼虫数量。

2.1.2 空间分布型分析 采用聚集指标判断法:分别利用扩散系数 C，Dabid & moore (1954)扩散指标 I, Lloyd M.(1967)平均拥挤度 $m^*/\bar{x}$ ，Cassis(1962)Ca 指标，Iwao S.(1971~1972) m^*-x 回归法等判断分析刺槐叶瘿蚊越冬幼虫的空间分布型^[4]。利用 blackith(1961)提出的聚集均数 (λ) 分析害虫的聚集原因: $\lambda=\bar{x}^2/K \times r$ 。并采用 Iwao 方法计算其理论抽样数: $n=t^2/D^2[(\alpha+1)/\bar{x} + \beta-1]$ ^[4, 5]。

2.1.3 不同抽样技术比较 参照件均祥等(1996)对小麦吸浆虫的研究方法^[5]。根据调查统计资料，将林间调查 200 个样方的越冬幼虫数量绘制成平面标准地方位图，方位图的位置与实际调查每行和每个样方的位置相一致，然后采用 z 字法、平行线法、棋盘式、大五点法及对角线法 5 种抽样方法进行模拟抽样，每种方法分别抽取 5、10、15 个样方。将所得越冬幼虫虫口密度与总体对照比较求出变异系数 $c_v=s/\bar{x}$ 、标准差 s、标准误 s_x 、绝对误差和相对误差等参数，判定最佳抽样方法。

2.1.4 取样深度 于试验林地随机取 20*20*xcn 样方 10 组，分别统计 0~3cm, 3~6cm, 6~9cm, 9~12cm, 12~15cm, 15~20cm 土层上刺槐叶瘿蚊越冬幼虫的数量。经对数转换稳定方差后进行方差分析，确定最适取样深度。

2.1.5 检虫方法 随机抽取 20*20*10cm 样方 20 个，分 2 组，每 10 个样方为一组，分别采用过筛手检法和过筛水漂法计数样方内幼虫数量，同时记录计数每个样方所用的时间。

2.1.5.1 过筛手检法 国内外对土中结茧幼虫的调查通常采用过筛法^[6]。将取好的土样经孔径 0.5mm 筛过滤，直至无沙或仅存少量沙土，装入塑料袋内，带回室内计数刺槐叶瘿蚊越冬幼虫数量。

2.1.5.2 过筛水漂法 过筛方法与上同。带回室内后将含有越冬幼虫及腐殖质、沙土等杂物的混合物倒入盛有水的瓷盆中，搅拌使越冬幼虫、虫茧及沙土沉底，枯叶腐殖质漂浮在水层上面。将漂起的枯叶捞出，再将盆底物质经孔径 0.5mm 网袋过滤，将剩余物晾干后计数刺槐叶瘿蚊幼虫数量。

2.2 刺槐叶瘿蚊越冬幼虫空间分布型分析

2.2.1 聚集度指标测定与分析 利用 5 种聚集度指标判定刺槐叶瘿蚊越冬幼虫的空间分布型（表 1）。

表 1 刺槐叶瘿蚊越冬幼虫空间分布聚集度指标

标准地	平均密度 $\bar{x}$	方差 S2	拥挤度 M*	I 指标	M*/M 指标	Ca 指标	扩散系数 C	K 指标	λ
1	22.935	542.329	45.581	22.647	1.987	0.987	23.647	1.013	15.848

2	23.047	456.807	41.868	18.821	1.817	0.817	19.821	1.225	17.873
3	35.409	1157.596	67.101	31.692	1.895	0.895	32.692	1.117	25.202
4	16.372	256.668	31.049	14.677	1.896	0.896	15.677	1.115	11.637

从表 1 可以看出, 各标准地 5 种聚集度指标: 扩散系数 C 均 >1 ; Cassie C_A 均 >0 ; Dabid & moore I 均 >0 ; Lloyd M^*/m 均 >1 ; k 值均 >0 , 可判定刺槐叶瘿蚊越冬幼虫的空间分布型为聚集分布。同时 M^* 亦均大于 0, 说明存在个体群。

进一步采用 Taylor(1961)幂法则, $\lg s^2 = \lg a + b \lg \bar{x}$ 测定得:

$$\lg s^2 = 0.04027 + 1.95137 \lg \bar{x} \quad R = 0.9929^{**}$$

式中 $\lg a > 0$, $b > 1$, 同样表明刺槐叶瘿蚊越冬幼虫在林间呈聚集分布, 而且聚集程度随着密度的增大而增加。

根据 Iwao(1971~1972) M^*-M 回归分析法 $m^* = \alpha + \beta M$ 测定得:

$$M^* = 0.1957 + 1.8905M \quad R = 0.9944^{**}$$

式中: $\alpha > 0$, 表明刺槐叶瘿蚊越冬幼虫个体间相互吸引, 以个体群形式存在。 $\beta > 1$, 说明基本成分的空间分布图式为聚集分布。同时由于 $\alpha > 0$, $\beta > 1$, 揭示了刺槐叶瘿蚊越冬幼虫的种群空间分布呈一般负二项分布。

2.2.2 聚集原因分析 从表 1 中可以看出, 各标准地刺槐叶瘿蚊越冬幼虫的 λ 值均大于 2, 说明引起其聚集的原因与刺槐叶瘿蚊自身的行为习性有关或是由刺槐叶瘿蚊本身与环境的异质性共同作用所造成。

2.3 刺槐叶瘿蚊越冬幼虫田间抽样技术研究

2.3.1 几种抽样方法的比较 以林间调查 200 个样方所得数据代表总体, 求得不同抽样方法的平均密度 $\bar{x}$, 标准差 s , 标准误 s_x , 变异系数 c_v , 绝对误差和相对误差, 并进行 t 检验, 比较各种抽样方法的抽样效果。

表 2 刺槐叶瘿蚊越冬幼虫调查几种抽样方法比较

抽样方法	样方数量	平均密度 $\bar{x}$ (头/样方)	标准差 s	标准误 s_x	变异系数 c_v	t 值	绝对误差	相对误差
对照	200	24.62	25.3391	1.7917	1.03			
	5	40.20	23.2745	10.4087	0.58	3.3476	15.5829	0.6330
对角线法	10	29.90	20.3767	6.4437	0.68	2.5926	5.2829	0.2146
	15	24.85	26.3884	6.8135	1.06	0.1324	0.2329	0.0095
	5	11.40	10.8305	4.8435	0.95	-6.1018	13.2717	0.5369
平行线法	10	24.00	19.8158	6.2663	0.83	-0.3114	0.6171	0.0251
	15	17.75	12.5315	3.2356	0.70	-8.2198	6.8671	0.2790
Z 字法	5	22.40	21.6056	9.6623	0.96	-0.5131	2.2171	0.0901

	10	27.60	18.2890	5.7835	0.66	1.6310	2.9829	0.1212
	15	22.87	20.3043	5.2425	0.89	-1.2932	1.7471	0.0711
	5	39.80	29.9867	13.4105	0.75	2.5316	15.1829	0.6168
棋盘式	10	32.20	17.0281	5.3848	0.53	4.4532	7.5829	0.3080
	15	21.80	18.9330	4.8885	0.87	-2.2319	2.8171	0.1144
	5	11.80	8.7864	3.9294	0.74	-3.2619	12.8171	0.5207
大五点式	10	27.50	33.7252	10.6650	1.23	2.5785	2.8829	0.1171
	15	30.60	33.5555	8.6640	1.10	3.5319	5.9829	0.2430

经 t 检验, 对角线 15 样方、平行线 10 样方及 z 字形 5、10、15 样方所得幼虫虫口密度与对照在 $P=95\%$ 的水平上无显著差异(表 2), 故可采用。从越冬幼虫虫口密度看, 对角线法 15 样方 (24.85 头/样方) 与总体对照 (24.61 头/样方) 最为接近, 其次为平行线法 10 样方 (24.0 头/样方)。其中以对角线 15 样方取样时绝对误差和相对误差最小, 为最适抽样方法。

2.3.2 取样深度测定 对于大多数在土壤中越冬的昆虫来说, 其垂直分布并非匀质, 而是与其习性息息相关。了解昆虫在土壤中的越冬深度, 对研究其生态特性, 制定相应的控制策略有指导意义。对不同土层刺槐叶瘿蚊越冬幼虫的分布状况进行调查, 确定其主要的越冬场所, 进而确定取样的最适深度。

表 3 不同土层刺槐叶瘿蚊越冬幼虫虫量比较

取样深度 (cm)	越冬幼虫数量 (头/样方)
0 ~ 3cm	2.824±0.654 a A
0 ~ 6cm	2.999±0.589 a A
0 ~ 9cm	3.059±0.610 a A
0~ 12cm	3.083±0.613 a A
0~ 15cm	3.083±0.613 a A
0~ 20cm	3.083±0.613 a A

从表 3 可以看出, 0~3cm 与 0~6cm, 0~9cm 及 0~12cm 土层刺槐叶瘿蚊越冬幼虫虫量差异均不显著。而 10cm 以下土层中基本无越冬幼虫分布。表明, 在对刺槐叶瘿蚊越冬幼虫进行调查统计时, 取 3cm 以上土层即可。

2.3.3 理论抽样数的确定 由 Iwao 回归分析得刺槐叶瘿蚊越冬幼虫的平均拥挤度 m^* 与平均密度 $\bar{x}$ 存在极显著的相关关系 ($R=0.9944$, $R_{0.01,2}=0.9900$), 相关关系式为 $m^*=0.1957+1.8905\bar{x}$ 。所以, 根据 $n=t^2/D^2[(\alpha+1)/\bar{x}+\beta-1]$ 建立理论抽样量模型: $n=t^2/D^2(1.1957/\bar{x}+0.8905)$ 。一般田间调查 $t=1$, 当控制抽样误差为 0.15 时, 本试验调查的 4 块标准地的理论抽样量分别为 42, 42, 41, 43 个样方。

2.4 检虫方法

采用过筛手检法与过筛水漂法分别检虫 (图 1), 以确定较佳的检虫方法。对两种方法分别检出的越

冬幼虫数量及所需时间进行方差分析（表4）。

表4 两种检虫方法检出虫量与所用时间比较

检虫方法	检出虫量（头/样方）	计数时间（min）
过筛手检法	3.114±0.425 a A	35.3±22.603 a A
过筛水漂法	3.047±0.413 a A	6.8±3.155 b B

从表4可以看出，过筛手检法与过筛水漂法检出的刺槐叶瘿蚊越冬幼虫数量差异不显著，而两种检虫方法所用时间达到极显著差异。水漂法检数样方内越冬幼虫数量的时间显著低于手检法所用时间。因此综合分析认为，利用过筛水漂法计数样方中刺槐叶瘿蚊越冬幼虫的数量更为省时高效。



图1 刺槐叶瘿蚊越冬幼虫检出方法（A）过筛手检法（B）过筛水漂法

本案例采用研究昆虫种群空间分布格局的经典方法，判定刺槐叶瘿蚊越冬幼虫林间分布格局为聚集分布；分布的基本成分是个体群，其聚集程度随着种群密度的升高而增加；引起其聚集的原因与刺槐叶瘿蚊自身的行为习性有关或由其本身与环境的异质性共同作用所造成。这可能与刺槐叶瘿蚊在刺槐上分布的聚集行为有关，而引起在刺槐上聚集分布的原因主要与其自身的产卵习性有关^[3]。

刺槐叶瘿蚊越冬幼虫大量抽样调查不仅耗费人力物力，调查内容过多、过细，也会造成其统计分析难度加大，难以进行有效地实际应用，从而影响其预测预报的准确性。本案例对刺槐叶瘿蚊越冬幼虫的抽样技术进行了探讨，明确调查方法以对角线调查15样方为最佳。并依据Lwao回归建立了理论抽样数量模型： $n=t^2/D^2(1.1957/\bar{x}+0.8905)$ 。调查发现刺槐叶瘿蚊老熟幼虫多在0~3cm表土层中越冬。分析认为表土层上覆盖有大量落叶，并含有丰富腐殖质，从而提高了表土层地温，温差变小，成为越冬幼虫的聚集地^[7]。同时可能与其在土壤中的行为习性有关。因此取样时建议取3cm以上土层即可。

刺槐叶瘿蚊以末代老熟幼虫在土中越冬，且虫体较小，样方中又含有大量的刺槐落叶及其他腐殖质等，增大了对其统计计数的难度，影响了调查进程。调查过程中发现刺槐叶瘿蚊末代老熟幼虫多有结茧越冬的习性，且比重比水大。据此，本案例在总结前人工作和自己实践中，尝试了一种新的检虫方法——水漂法，即将土样放入盛有水的瓷盆中，样本中的枯叶与腐殖质会漂浮到水面上，而幼虫与虫茧则沉入底部，彻底与枯叶及腐殖质分离，将漂浮的枯叶腐殖质去掉后，使用孔径0.5mm纱网滤去沙土，很容易

就可对越冬幼虫进行计数。在基于各样方调查幼虫数量无明显差异的前提下，采用此法检虫时所用时间明显少于过筛手检法，达到了省时省力的效果。

本案例主要研究成果如下：刺槐叶瘿蚊越冬幼虫在林间呈聚集分布；其聚集的原因与刺槐叶瘿蚊自身的行为习性有关或由刺槐叶瘿蚊本身与环境的异质性共同作用所造成。通过室内模拟“z”字型、平行线、棋盘式、大五点、对角线 5 种抽样方法估计林间刺槐叶瘿蚊越冬幼虫虫口密度，确定对角线法调查 15 样方为最佳抽样方法。对土壤不同深度土层中越冬幼虫数量调查，明确最适取样深度为 3cm。同时利用 Iwao 回归建立了理论抽样数量模型： $n=t^2/D^2(1.1957/\bar{x}+0.8905)$ 。利用过筛手检和过筛水漂两种方法检数土中幼虫，对检出刺槐叶瘿蚊越冬幼虫虫量及检虫时间进行了对比分析，证明过筛水漂法检虫较为可取。

3 问题设置

本案例设立问题时，主要考虑以下因素：①紧扣教学的目的。提出的问题要符合案例的主体，能够揭示案例所要的本质内容，符合案例的目的性和针对性；②提出的问题能引起学生的讨论兴趣，符合学生认知水平，问题应有问有答，给人思考和启发；③问题要具体，便于学生有言可发、切中要害；④变化提问的角度，训练学生的发散思维。

针对本案例可以提出以下问题（参考）：

（1）有害生物种群密度的概念？

（2）决定使用一种取样方法时应从哪些方面来考虑？

（3）害虫空间分布格局与抽样调查方法之间的关系？试分析比较案例中几种抽样方法对害虫数量估值的可靠程度。

4 分组讨论

3~4 人一组进行讨论。讨论时每组要针对以上 3 个问题均进行讨论。尤其要就害虫空间分布格局与抽样调查方法之间的关系问题展开多学科、多视角的讨论。教师要深入到每一组倾听学生的看法，鼓励引导所有学生参与讨论。讨论结束后，每组要针对每一个问题有具体的解答或方案。

学有余力的小组可以课前讨论，选取一种生产上危害严重的病害或虫害，熟悉其生物学特性，为制定该种病虫害的田间调查技术方案积累素材。可设计一套抽样调查方案，进行课堂展示讨论。

5 课堂讨论总结

教师在每小组答疑后，针对案例中的关键点、讨论中存在的长处、不足进行总结。对不足之处可以设置课后作业，引导学生在这些方面作更多思考和探讨。

6 布置课后作业（知识迁移）

将本案例的相关专业知识应用到其他农作物上重要病虫害的田间调查上，设计出切实可行的调查方案。

7 考核方式

以组为单位，由小组中的一位成员通过 PPT 方式阐述，小组全体成员参加方案的答疑，每小组时间控制在 10 分钟以内，讨论修改后以组为单位提交该种病害或虫害的田间抽样调查方案。

【效果评价】:

通过问卷调查，针对本案例的运用教学效果、对学生能力培养、教学目标达成度等方面进行评价。

1. 您对本次案例教学知识目标达成度的评价
 - A. 完全实现
 - B. 较好实现
 - C. 基本实现
 - D. 较差
 - E. 很差
2. 您对本次案例教学能力目标达成度的评价
 - A. 完全实现
 - B. 较好实现
 - C. 基本实现
 - D. 较差
 - E. 很差
3. 您对本次案例教学情感目标达成度的评价
 - A. 完全实现
 - B. 较好实现
 - C. 基本实现
 - D. 较差
 - E. 很差
4. 您对本次案例教学内容选择适宜度的评价
 - A. 非常适宜
 - B. 较适宜
 - C. 一般
 - D. 较差
 - E. 很差
5. 对本次案例教学课后作业与考核方式的评价
 - A. 非常合适
 - B. 较适宜
 - C. 一般

- D. 较差
 - E. 很差
6. 您课前做了哪些预习?
- A. 查阅参考文献
 - B. 查阅相关图书
 - C. 观看视频资料
 - D. 其它途径
7. 您认为以下哪种教学方式更适合研究生授课?
- A. 传统课堂教学
 - B. 课堂案例教学
 - C. 实验或实践教学
 - D. 观看与教学内容相关的视频
8. 您对本教学案例的评价
- A. 非常满意
 - B. 满意
 - C. 一般
 - D. 较差
 - E. 很差
9. 您对本案例及本次案例教学的建议:

参考文献:

- [1] Duso C., Fontana P., Tirello P. Spread of the gall midge *Obolodiplosis robiniae* injurious to black locust in Italy and Europe[J]. *Informatore Fitopatologico*, 2005, **55**:30~33.
- [2] 杨忠岐,乔秀荣,卜文俊,等.我国新发现一种重要外来入侵害虫——刺槐叶瘿蚊[J]. *昆虫学报*, 2006, **49**(6):1050-1053.
- [3] 张东风,路常宽,王晓勤,等.刺槐叶瘿蚊在中国的危险性评估[J]. *生态学报*, 2009, **29**(4):2155-2161.
- [4] 赵飞,李捷,贺润平,等.矮化密植枣园枣瘿蚊第一代幼虫空间分布型及抽样技术[J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2006, **(4)**:361-363.
- [5] 仵均祥,袁锋,许向莉,等.麦红吸浆虫越冬幼虫分布格局与抽样技术再研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2001, **19**(3):13-19.
- [6] 仵均祥,李长青,成卫宁,等.一种改进的小麦吸浆虫淘土调查方法及其效果[J]. *昆虫知识*, 2005, **42**(1):93-96.
- [7] 路常宽,张东风,赵春明,等.刺槐叶瘿蚊发育起点温度和有效积温[J]. *昆虫知识*, 2009, **46**(4):613-615.