

448-452

第19卷第4期  
1999年7月生态学 报  
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 19, No. 4  
July, 1999

## 捕食关系的 Meta 分析

郑凤英, 彭少麟

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

Q458-122.2

**摘要:**应用 Meta 分析方法, 探讨捕食者与被捕食者种群数量的关系。结果表明, 捕食效应随地带性而变化, 热带效应值最大, 亚热带、温带和寒带也有效应, 亚热带最小。按分类划分成两个级别时, 脊椎动物级别属于大效应, 而无脊椎动物级别为小效应, 级别间差异不显著。按所在生态系统划分级别分析, 陆生生态系统级别为中效应, 淡水生态系统为小效应。总体上表明捕食者导致被捕食者种群数量的降低, 但不同标准划分的级别里几个级别的效应大小有差别。通过本例研究, 表明 Meta 分析可有效地应用于大尺度的生态学问题分析。

**关键词:** Meta 分析; 捕食者; 被捕食者; 种群数量

## The Meta Analysis on the relationships between predator and prey

ZHENG Feng-Ying, PENG Shao-Lin (South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510650, China)

**Abstract:** The relationships between the predator and prey's population number were studied with Meta Analysis Method. The results showed as follows. The change of predacious effect varied with the zonal change. The effect in tropics was the biggest, in subtropical zone it was lowest and in temperate zone and frigid zone the medial. The effect in vertebrate classes was bigger than that in invertebrate classes. The effect in terrestrial ecosystems was bigger than that in freshwater ecosystems. In general the predator made decrease of prey's population number, and there were various effect values in different classes.

**Key words:** Meta analysis; predator; prey; population number

文章编号: 1000-0933(1999)04-0448-05 中图分类号: Q141 文献标识码: A

Meta 分析(Meta-analysis)是一种对多个独立实验结果进行定量综合的统计方法<sup>[1]</sup>。Meta 分析从根本上改变了人们对众多独立试验结果进行综合的思路, 其思想起源于本世纪30年代<sup>[2-4]</sup>, Rosenthal 在1963年开创性地把其应用于教育心理学<sup>[5]</sup>, 70年代渗透于医学领域, 并在1976年由 Glass 命名为术语 Meta-analysis<sup>[6]</sup>。80年代 Hedges 和 Olkin 对 Meta 分析进行总结和发展<sup>[7]</sup>。直到90年代此方法才被应用于生态学领域<sup>[8-11]</sup>。虽然目前对 Meta 分析的应用还有很大的争论, 但作为一种对大量实验结果进行定量综合的统计方法, Meta 分析具有严密的统计学基础, 可以较客观地进行定性、定量的综合分析, 可提高统计性能, 兼容相互矛盾的实验和统计结论, 获得综合性的分析结论, 故 Meta 分析是一种分析的再分析。它的应用前景还是很广阔的。为此, 1997年和1998年在美国生态学年会学术交流中, 被单独列为一个主题。

Meta 分析在我国生态学上的应用尚未见报道, 彭少麟等首次撰文介绍了整体方法及在生态学上的一些应用实例<sup>[12]</sup>。本文尝试用 Meta 分析方法对捕食关系进行实例研究。

捕食是生物种间关系的一个重要类型。在生态学和生物进化学理论中占有重要地位, 捕食关系影响着捕食者与被捕食者的种群密度、种群结构等, 同时也是群落构成中的一个重要作用力。对二者种群间相互关系的野外实验研究从本世纪初就已开始, 其中, 捕食者对被捕食者种群数量的影响一直是研究的热点。

**基金项目:** 国家自然科学基金重大项目(编号: 39899370), 广东省基金(编号: 980952), 中国科学院重大项目(编号: KZ951-B1-110)资助。

全部运算在美国纽约州立大学 Gurevitch 教授赠送的 Meta 分析专用软件包上进行, 特此致谢!

收稿日期: 1998-12-05; 修订日期: 1999-03-20

许多学者对不同环境下的若干对捕食者与被捕食者关系作了研究,结果很不一致。Sih, *et al* 曾用“数表法”对野外实验中捕食关系的重要性进行过评价<sup>[13]</sup>,但结论的准确性尚有争议。本文尝试用 Meta 分析方法对这一关系进行统计学评价,以期揭示捕食者对被捕食者种群数量的效应强度及其在不同级别的重要性。

## 1 Meta 分析所采用的统计学方法

### 1.1 研究数据的选取

由于 Meta 分析是对已发表物的结果进行统计再分析,所以首要任务是收集反映本主题的各个独立实验的结果。研究实验的选择应注意以下几点:所选论文必须在同一主题下;选择论文不应带有主观性;所选论文研究结果相互间应具有独立性;所选论文对实验结果的测量指标尽可能一致。

### 1.2 有关概念的定义

(1) 研究 Meta 分析中被选取的每一个独立实验。同一论文中有可能被选取一个或多个研究。

(2) 效应 研究因素对实验对象的影响。

(3) 对照组和实验组 在 Meta 分析中,往往要对研究中不同操作的两组实验结果进行比较,分析者必须确定其中的一组为对照组,另一组为实验组,且确定标准在所有研究中应该一致。如 Gurevitch 在分析生物竞争的影响时,将在竞争者自然密度下的实验组定为对照组,而把竞争者密度高于或低于自然密度的实验组定为实验组<sup>[4]</sup>。在本文中,将无捕食者的实验组定为对照组,有捕食者的实验组定为实验组。

(4) 组别 进行 Meta 分析时按照一定的标准将所有研究划分类别。

### 1.3 Meta 分析所需原文献数据

Meta 分析不需要原文献的原始数据,只需它的最终统计结果,即实验组和对照组的样本总量  $N_e, N_c$ , 均值  $X_e, X_c$  以及标准差  $S_e, S_c$ 。对于以图形式发表的数据,可以通过数字化仪与计算机相连使图数值化。

### 1.4 Meta 分析所需的变量指标

目前已开发出多种 Meta 分析方法,按难易程度,大致可分为3类:第1类为简单方法,基于  $p$  值、 $t$  值等,信息量小,较为简单而适用于无中间数据、资料有限的情形。第2类主要包括固定效应模型、随机效应模型、混合效应模型、贝叶斯模型等。第3类为多元统计方法,主要是考虑其它协变量的回归方程<sup>[1]</sup>。但应用于生态学的只有两种,即固定效应模型和混合效应模型。同所有统计方法一样,Meta 分析也首先需要构造一个变量,所不同的是,用于 Meta 分析的变量反映的是一个实验结果的效应大小。目前常用的变量为无偏效应值( $d$ ),其计算公式为: $d = [X_e - X_c] / S_e$ ,其中,  $S_e$  为对照组和实验组的共有离差,  $J$  为一项对取样本大小误差的校正。Hedges 提出另一变量反应比( $\ln RR$ ),但目前应用较少<sup>[14]</sup>。

### 1.5 Meta 分析的具体计算

固定效应模型和混合效应模型的具体计算过程见参考文献<sup>[12]</sup>。

## 2 捕食关系的 Meta 分析

### 2.1 文献及其研究数据的收集

根据上文所提的收集文献原则,对

表1 Meta 分析中56个研究数据来源

Table 1 Sources of data of 56 studies used in the Meta-analysis

发表物	Publishes	研究号	级别	来源
Ecology	Vol. No	No. of studies	Class	Source
1989	70(2)	1,2	N. F. T.	Table 2
1997	78(6)	3,4	V. F. S.	Fig. 3
1995	76(6)	5,6	N. F. T.	Table 2,3
1995	76(6)	7~10	N. F. T.	Table 3
1995	76(5)	11,12	V. F. Tr.	P <sub>1466</sub> 32-35行
1994	75(5)	13,14	N. F. T.	Table 2
1990	71(6)	15,16	N. F. T.	Table 2
1985	66(4)	17~24	N. F. Fr.	Table 2
1987	68(2)	25	N. Te. S.	Table 9
1981	62(1)	26~28	N. F. S.	Table 1
1994	75(1)	29	N. Te. S.	Fig. 4
1982	63(2)	30,31	V. F. T.	Fig. 2
1982	63(6)	32~35	N. Te. Tr.	Table 1
1988	69(3)	36,37	N. F. S.	Table 1
1988	69(6)	38~43	N. Te. S.	Fig. 2,3
1984	65(2)	44~49	N. F. S.	Fig. 2
1996	77(2)	50~52	N. Te. S.	Fig. 2
1992	73(5)	53~56	N. F. T.	Fig. 4

注: V=Vertebrate. N=Invertebrate. F=Freshwater ecosystem. Te=Terrestrial ecosystem. T=Temperate zone. Tr.=tropical zone. S.=Subtropical zone. Fr.=Frigid zone

1980年以后的 Ecology 进行搜索,共获得18篇有关野外实验中捕食者对被捕食者影响的论文<sup>[15-32]</sup>,共有独立研究56个,其中测量指标为种群数量(种群密度和种群多度)。定无捕食者的实验组为对照组,有捕食者为实验组。全部收集的文献情况列于表1。

## 2.2 分析计算

整理各研究的统计数据(样本大小、均值、标准差(大多数研究仅提供标准误,要换算成标准差)。在 MetaWin 软件包上进行计算<sup>[13]</sup>,第一步先假设所有研究享有共同的  $d$  值进行分析,如果其级别内异质性经  $\chi^2$  检验显著,则说明假设不正确,此时按研究所在气候带将56个研究划分为4个级别:寒带、温带、亚热带及热带;按生境划分为2个级别:淡水生和陆生;按被捕食动物的分类划分为2个级别:脊椎动物和无脊椎动物,再进行分析。所有分析都包括固定效应模型和混合效应模型两种分析方法。

## 2.3 结果及讨论

通过 Meta 分析软件包的计算,全部结果列于表2~5。

表2 56个研究的 Meta 分析结果

Table 2 The outcome of Meta-analysis in 56 studies

研究数 Number of studies	效应值 $d$ effect size		95%置信区间 95%CI		同质性 $Q_{wi}$ 自由度, $\chi^2$ 检验的 $p$ 值 Homogeneity ( $df, p$ -value of Chi-Square test)
	固定效应 Fixed-model	混合效应 Mixed-model	固定效应 Fixed-model	混合效应 Mixed-model	
56	-0.3853	-0.4539	(-0.5245, -0.2454)	(-0.6454, -0.2765)	81.8565 (55, 0.010)

表3 不同气候带级别的 Meta 分析结果

Table 3 The outcome of Meta-analysis in climate classes

级别 Class	研究数 Studies	效应值 $d$ Effect size		95%置信区间 95%CI		同质性 $Q_{wi}$ (自由度, $\chi^2$ 检验的 $p$ 值) Homogeneity ( $df, p$ -value of Chi-Square test)
		固定效应 Fixed model	混合效应 Mixed model	固定效应 Fixed model	混合效应 Mixed model	
寒带 <sup>①</sup>	8	-0.2514	-0.2518	(-0.6154, -0.1125)	(-0.6673, 0.1638)	6.1099(7, 0.5269)
温带 <sup>②</sup>	18	-0.5704	-0.5786	(-0.8705, -0.2703)	(-0.9144, -0.2427)	21.8265(17, 0.1914)
亚热带 <sup>③</sup>	24	-0.2138	-0.2782	(-0.4037, -0.0233)	(-0.5238, 0.0325)	35.3121(23, 0.0484)
热带 <sup>④</sup>	6	-1.0800	-1.0916	(-1.5123, -0.6477)	(-1.5880, -0.5952)	3.5721(5, 0.6125)
$d^* + = -0.3854$ (95%CI: -0.5245, -0.2464)				$d^* + = -0.4428$ (95%CI: -0.6112, -0.2745)		
$Qb = 15.0358$ ( $\chi^2$ -test; $df = 3, p = 0.0017$ )				$Qb^* = 9.7279$ ( $\chi^2$ -test; $df = 3, p = 0.0210$ )		
$Qw = 66.8206$						
$Q_{total} = 81.8564$						

①: Frigid zone; ②: Temperate zone; ③: Subtropical zone; ④: Tropical zone

$d$  值的正负意义由分析者在计算中决定,分析中,定义正值为由于捕食者的存在导致被捕食者种群数量的增加,负值代表由于捕食者的存在引起被捕食者种群数量的降低。表2为假设所有研究享有共同效应值时的 Meta 分析结果,从表中可看出不论是固定效应模型还是混合效应模型,  $d$  值均较小,根据 Cohen 的常规解释,0.2是小效应,0.5是中效应,0.8是大效应,即在56个研究中,捕食者可以降低被捕食者的种群数量,但影响较小。因为研究间同质性  $Q_{wi} = 81.8565$  且  $P = 0.010$ ,所以上面的假设不正确,即至少有一个研究有不同的效应值,所以应进一步地分析。

表3为据气候带划分成4个级别时的 Meta 分析结果,从表中可知,热带这一级别里的效应值最大,为-1.0800(固定效应)和-1.0916(混合效应)。温带为中效应,寒带和亚热带级别为小效应。从检验可知,寒带和热带级别的同质性很高,温带、亚热带异质性也不显著。4个级别间的固定效应模型异质性显著  $Qb = 15.0358$  ( $df = 3, P = 0.0017$ ),混合效应模型的结果趋势与固定效应模型相同,仅在数值上较高。

表4为按分类划分成两个级别时的 Meta 分析结果。脊椎动物级别里的  $d$  值为0.8335(固定效应,)即属于大效应,其  $Q_{wi}$  值经  $\chi^2$  检验,  $P = 0.0928 > 0.05$ ,故不显著,说明异质性较高。而无脊椎动物级别为小效

应,级别间异质性较显著。表5是将56个研究按所在生态系统划分级别的分析结果,陆生生态系统级别的  $d$  值大,级别内异质性不显著;淡水生态系统为小效应,级别内异质性大且较显著;级别间差异不显著。

表4 不同分类带级别的 Meta 分析结果

Table 4 The outcome of Meta-analysis in taxa classes

级别 Class	研究数 Studies	效应值 $d$ Effect size		95% 置信区间 95% CI		同质性 $Q_{\text{tax}}$ (自由度, $\chi^2$ 检验的 $p$ 值) Homogeneity (df $p$ -value of Chi-Square test) 固定效应 Fixed model
		固定效应 Fixed model	混合效应 Mixed model	固定效应 Fixed model	混合效应 Mixed model	
		脊椎动物 <sup>①</sup>	6	-0.8335	-0.9288	
无脊椎动物 <sup>②</sup>	50	-0.3427	-0.4062	(-0.4882-0.1971)	(-0.5952-0.2171)	58.6100(49, 0.03358)

$d_{-+} = -0.3854$  (95% CI: -0.5245, -0.2464)  
 $Q_b = 5.8082$  ( $\chi^2$ -test;  $df=1, p=0.0510$ )  
 $Q_w = 78.0482$   
 $Q_{\text{total}} = 81.8564$

$d^{*}_{-+} = -0.4562$  (95% CI: -0.6360, -0.2765)  
 $Q_b^* = 2.8128$  ( $\chi^2$ -test;  $df=1, p=0.0935$ )

①Vertebrate; ②Invertebrate

表5 不同生态系统级别的 Meta 分析结果

Table 5 The outcome of Meta-analysis in ecosystem classes

级别 Class	研究数 Studies	效应值 $d$ Effect size		95% 置信区间 95% CI		同质性 $Q_{\text{eco}}$ (自由度, $\chi^2$ 检验的 $p$ 值) Homogeneity (df $p$ -value of Chi-Square Test) 固定效应 Fixed model
		固定效应 Fixed model	混合效应 Mixed model	固定效应 Fixed model	混合效应 Mixed model	
		陆生 Terrestrial	15	-0.5825	-0.5989	
淡水生 Freshwater	41	-0.3091	-0.3934	(-0.4729, -0.1454)	(-0.6114, -0.1754)	57.4056(40, 0.0366)

$d_{++} = -0.3854$  (95% CI: -0.5245, -0.2464)  
 $Q_b = 2.9889$  ( $\chi^2$ -test;  $df=1, p=0.0838$ )  
 $Q_w = 78.8675$   
 $Q_{\text{total}} = 81.8564$

$d^{*}_{++} = -0.4574$  (95% CI: -0.6409, -0.2765)  
 $Q_b^* = 1.6300$  ( $\chi^2$ -test;  $df=1, p=0.3025$ )

综上所述,在56个研究的总效应较小,且表明捕食者导致被捕食者种群数量的降低;但按不同标准的环境和本身特有属性分类别进行有统计学意义的定量总结。固定效应模型和混合效应模型的分析结果趋势相同,只是混合效应模型计算结果大小稍有变化。

参考文献:

[1] 赵宁,俞顺章. Meta-analysis(元分析)I. Meta-analysis 基本概念与内容. 山西医学院学报. 1995, 26(3): 203~205.

[2] Tippett L H. *The method of statistics*. Williams & Norgate, London, 1931.

[3] Pearson K. On a method of determining whether a sample of size  $n$  supposed to have been drawn from a parent population having a known probability integral has probably been drawn at random. *Biometrika*, 1933, 25: 379~410.

[4] Fisher R A. *Statistical methods for research workers*. Fourth ed. Oliver & Boyd, London, 1932.

[5] Rosenthal R. On the social psychology of the psychological experiment; the experimenter's hypothesis as unintended determinant of experimental results. *American Scientist*, 1963, 51: 268~283.

[6] Glass G V. Primary, secondary, and Meta-analysis of research. *Education Research*, 1976, 6(5): 3~8.

[7] Hedges L V & Olkin I. *Statistical Methods for Meta-analysis*. Academic Press, New York, 1985.

[8] Gurevitch J, Morrow L L, Wallace A, et al. A Meta-analysis of field experiments on competition. *American Naturalist*, 1992, 140: 539~572.

[9] Arnqvist G & Wooster D C. Meta-analysis: Synthesizing research finding in ecology and evolution. *Trends in E-*

- ecology and Evolution*, 1995, **10**:236~240.
- [10] Curtis P. A Meta-analysis of leaf gas exchange and nitrogen in trees grown under elevated carbon dioxide. *Plant, Cell and Environment*, 1996, **19**: 127~137.
- [11] Tomhasca A & Byrne D N. The effect of crop diversification on herbivorous insects: A Meta-analysis approach. *Ecological Entomology*, 1994, **19**:239~244.
- [12] 彭少麟,唐小焱. Meta 分析及其在生态学上的应用. *生态学杂志*, 1998, **17**(6):74~79.
- [13] Sih A, Crowley P, Mcpeck M, Petranka J & Strohmeier K. Predation, competition and prey communities: a review of field experiments. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1985, **16**: 269~311.
- [14] Rosenberg M S, Adams D C and Gurevitch J. MetaWin: Statistical Software for Meta-analysis with Resampling Tests. Version 1.0. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 1997.
- [15] Nicholas J G. Ant community structure effects of predatory ant lions. *Ecology*, 1996, **77**(2):630~638.
- [16] Diehl S. Fish predation and benthic community structure: the role of omnivory and habitat complexity. *Ecology*, 1992, **73**(5):1646~1661.
- [17] Thorp J H & Bergey E A. Field experiments on responses of a freshwater, benthic macroinvertebrate community to vertebrate predators. *Ecology*, 1981, **62**(1):365~375.
- [18] Hershey A E. Effects of predatory sculpin on the chironomid communities in an arctic lake. *Ecology*, 1985, **66**(4):1131~1138.
- [19] Hurd L E & Eisenberg R M. Arthropod community responses to manipulation of a bitrophic predator guild. *Ecology*, 1990, **71**(6):2107~2114.
- [20] Werner E E & Mcpeck M E. Direct and indirect effects of predators on two anuran species along an environmental gradient. *Ecology*, 1994, **75**(5):1368~1382.
- [21] Fraser D F, Gilliam J F & Yip-Hou T. Predation as an agent of population fragmentation in a tropical watershed. *Ecology*, 1995, **76**(5):1461~1472.
- [22] Diehl S & Eklov P. Effect of piscivore-mediated habitat use on resources, diet, and growth of perch. *Ecology*, 1995, **76**(6):1712~1726.
- [23] Diehl S. Direct and indirect effects of omnivory in a littoral lake community. *Ecology*, 1995, **76**(6):1727~1740.
- [24] Crowder L B, Squires D D & Rice A A. Nonadditive effects of terrestrial and aquatic predators on juvenile estuarine fish. *Ecology*, 1997, **78**(6):1796~1804.
- [25] Gillinsky E. The role of fish predation and spatial heterogeneity in determining benthic community structure. *Ecology*, 1984, **65**(2):455~468.
- [26] Risch S J & Carroll C R. Effect of a keystone predaceous ant, *solenopsis geminata*, on arthropods in a tropical agroecosystem. *Ecology*, 1982, **63**(6):1979~1983.
- [27] Buskirk J V. Interaction effects of dragonfly predation in experimental pond communities. *Ecology*, 1988, **69**(3):857~867.
- [28] Kneib R T. Testing for indirect effects of predation in an intertidal soft-bottom community. *Ecology*, 1988, **69**(6):1795~1805.
- [29] Spiller D A & Schoener T W. Effects of top and intermediate predators in a terrestrial food web. *Ecology*, 1994, **75**(1):182~196.
- [30] Polis G A & McCormick S J. Intraguild predation and competition among scorpions. *Ecology*, 1987, **68**(2):332~343.
- [31] Fraser D F & Cerri R D. Experimental evaluation of predator-prey relationships in a patchy environment: consequences for habitat-use patterns in minnows. *Ecology*, 1982, **63**(1):307~313.
- [32] Gilliam J F, Fraser D F & Sabat A M. Strong effects of foraging minnows in a stream benthic invertebrate community. *Ecology*, 1989, **70**(2):445~452.