

生态学与医学中的整合分析(Meta-analysis)

柳 江¹, 彭少麟^{1,2*}

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 中山大学生命科学院, 广州 510275)

摘要:整合分析是针对一系列独立研究结果进行定量综合分析的方法。自从 1976 年 Glass 在心理学研究中提出以来,该方法已经在许多学科特别是医学领域进行了广泛的应用。20 世纪 90 年代,整合分析被引入生态学研究,引起了生态学家和统计学家的广泛关注。在我国,该方法也于 1998 年被引入生态学。由于生态学研究自身的特点,整合分析在应用时出现了许多新问题,如不同研究类型的数据抽提与转换、效应值的构建、研究间相关性的估计、出版偏见的评估与修正等,为此以整合分析应用最活跃的医学领域进行对比和借鉴,分析该方法在两个研究领域应用的范围和特点,讨论影响其在生态学中应用的各种因素,并着重阐述和探讨其在生态学应用中存在的问题和发展前景。

关键词:整合分析;医学;生态学

Meta-analysis in ecology and medical science

LIU Jiang¹, PENG Shao-Lin^{1,2*} (1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510650, China; 2. Life Science College, Zhongshan University, Guangzhou, 510275, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2627~2634.

Abstract: Meta-analysis, a quantitative synthesis technique for synthesizing the findings of individual studies, was presented by Glass in 1976. It was widely used in medical science and was imported to ecology study at the beginning of 1990s. It was first introduced into Chinese ecology field in 1998. Due to the characteristics of ecology many new problems, such as data extraction, effect size construction, individual study correlativity, publication bias estimation and adjustment, and so on, appeared in its application, we compared this technique with that in medical science to use for reference and examined the application scope and features. The factors affecting use of this technique in ecology and the existing problems were deeply discussed and the application prospect was also predicted.

Key words: meta-analysis; medical science; ecology

文章编号: 1000-0933(2004)11-2627-08 中图分类号: Q143 文献标识码: A

在许多研究领域,都存在针对同一主题所开展的大量独立研究,从而也得到了大量不同的甚至相左的结论。在很多情况下,单个研究的结果往往不能从本质上说明问题,同时如何对待和利用这些有差异的结论,都需要一种合理有效的综合分析方法。传统的综合方法一般是将不同的研究结论列举出起,并融入了作者对研究动态的判断和把握,如投票计数法、叙述性综述等通常是定性的分析,带有明显的主观性,很多时候不能对所研究的问题提出实质性的解释,因此需要一种更为客观有效并且定量的综合分析手段。整合分析(meta-analysis)就是这样一种综合评价方法,它对具有共同研究目的相互独立的多个研究结果给予定量合并分析,剖析研究间的差异特征,从更高层面评价研究结果,从而得到更为精确和可靠的结论。该方法最早由 Glass 于 1976 年在研究心理疗法的有效性时命名,定义为分析的分析^[1],即针对来自于大量独立研究的结果进行整合,很快为心理学、教育学、社会决策学等学科所接受^[2~6]。从 20 世纪 80 年代起,整合分析在医学领域得到了迅猛发展,并且方法不断改进^[6~9],迄今为止,医学仍是整合分析应用的最为广泛的领域^[10~13]。20 世纪 90 年代后,整合分析作为一种新的分析方法和工具被引入生

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30270282);广东省基金优秀团队资助项目(003031)

收稿日期:2004-03-02;修订日期:2004-09-10

作者简介:柳 江(1973~),男,河北唐山人,博士生,主要从事植被生态学研究。E-mail: mlj@scib.ac.cn.

* 通信作者 Author for correspondence. E-mail: lsspsl@zsu.edu.cn

Foundation item: National Nature Science Foundation of China (No. 30270282); Group Project of Guangdong Provience (No. 003031)

Received date: 2004-03-02; **Accepted date:** 2004-09-10

Biography: LIU Jiang, Ph.D. candidate, mainly engaged in vegetation ecology.

态学的研究^[14~22],1996 年的美国生态学年会上,“生态学中的整合分析”被作为专题研讨,此后美国生态分析与综合中心专门组织讨论了整合分析在生态学上的应用情况^[22]。1999 年 Ecology 杂志组织发表了整合分析在生态学中应用的专题,以 7 篇论文系统地介绍了整合分析在生态学中的应用实例、前景及存在的问题。在国内,彭少麟等首次将整合分析引入生态学研究,介绍了整合分析的发展情况^[23,24],并利用该方法进行了捕食关系和植物对高浓度 CO₂ 响应的专题研究^[25,26],取得了良好的效果。方炜将整合分析与其他几种定量综合研究方法进行了比较,讨论了一系列影响整合分析在生态进化学研究中合理使用的因素,并对整合分析在生态进化学中应用的前景进行了展望^[27]。由于生态学研究的特点,整合分析在生态学中应用时产生了一些新的问题,本文从该方法在医学和生态学研究中的应用实践,对比分析其在两个研究领域的应用特点,并探讨其在生态学中的应用前景和存在的问题。

1 医学与生态学中关于 Meta-analysis 的命名

“Meta”一词源自希腊语,是一个构词前缀,具有“在上的”、“在之后”、“较高的”、“超过的”等意义,通常与许多学科名词一起构成合成词,如心理玄学(metapsychology)、元语言学(metalinguistics)等。医学和生态学中对 meta-analysis 一词的译法有所不同,在医学领域内,该词的译名多种多样,如赵宁等根据构词形式将其译为“元分析”^[28~30];贺石林根据 meta 的“在之后”的意思将其称为“汇后分析”^[31],左力等称之为“荟萃分析”^[32];美国医学会杂志 JAMA 中文版中均将其译为“汇总分析”,其他的译名还有“二度分析”、“二次分析”、“超分析”、“共分析”、“再分析”、“后设分析”等等,也有的直译为“meta 分析”或音译为“梅塔分析”。在生态学领域,彭少麟等最早将该方法引入时,曾采用过“meta 分析”、“媒太分析”等译法^[23],后来为了更明确地表达该方法的意义,引用了一些台湾学者的译法,即“整合分析”,郑凤英等也一直延用这一名称^[25,33]。

2 整合分析的应用

自从 Glass 1976 年提出了 meta-analysis 以来,该方法在心理学、社会学、教育学、经济学等诸多领域得到了广泛应用^[2,34~41]。但从 20 世纪 80 年代起,该方法在医学领域获得了充分地应用和发展^[10~13]。

2.1 整合分析在医学上的应用

医学上对某一种特定疾病治疗的临床试验积累了大量的研究结果,由于这些试验是由不同研究者在不同时间阶段内实施的,其结果不可避免地存在差异。传统的记述性综述所传达的信息和观点与综述者本人的专业背景有十分直接的联系,有时并非紧密依赖于单个研究中所包含的潜在的真正的证据,而整合分析正好适合于解决一些多个数据来源但有矛盾或难达成一致的问题,因此将其作为一种新的分析方法引入医学研究领域是必然的选择,特别是集合一些低统计力的不同研究结果进行重新分析,可以得到有说服力的结果。国外从 80 年代起就将整合分析应用于医学研究。在我国,赵宁首先将这一方法引入医学研究领域,并对其在医学中的应用范围和方法进行了详细的阐述与比较^[28~30],徐勇勇对医学中整合分析常见的资料类型和统计方法进行了介绍^[42]。

2.1.1 分析干预的效应 干预的效应即某一药物或疗法的疗效和副作用,如关于采用 Statins(胆碱脂酶辅酶 A 还原酶抑制剂)疗法是否会增加患癌症的风险一直存在争论,Bjerre 等检索了 Medline 数据库 1966 至 1999 年关于 Statins 单一疗法的大量随机临床试验,通过整合分析,发现 5 年期的 Statins 疗法与引发癌症的风险之间没有紧密关联,就 Statins 疗法是否会引发癌症的问题作出了回答^[43]。

国内,郭新峰等对清开灵注射液治疗急性中风的效果进行了整合^[44],其研究中采用比例比(OR)作为效应值,以 15 个单独临床研究结果作为分析素材,利用 Revmetan 软件估计了效应值和置信区间,初步认为清开灵对治疗急性中风有较确切的疗效。

2.1.2 验证经验理论 一个广为大众所接受的观点是:维生素 E 与 β 胡萝卜素等抗氧化维生素,可降低心血管疾病的致病率或致死率,但未得到确切证实。英国 Vivekananthan 等人综合了 7 项维生素 E 和 8 项 β 胡萝卜素的大型长期临床试验,包含了与维生素 E 有关的 81 788 位患者及与 β 胡萝卜素有关的 138 113 位患者的资料,针对这一问题进行了一项整合分析,研究结果指出:维生素 E 对于心血管疾病($p=0.86$)或脑血管疾病($p=0.31$)的致死率,都没有显著的降低效应;而 β 胡萝卜素对于心血管疾病的致死率,反而有轻微的促进作用($p=0.003$)^[45]。因此,这些抗氧化维生素,对于降低心血管疾病的致死率,其实并无助益。

2.1.3 指导研究的发展方向 基于对医疗可靠性的要求,大量临床试验结果必然要通过客观的数量化的系统分析进行综合,整合分析基于对以往研究结果的合并,在增加结论可信度的同时,对未来的研究具有一定的指导作用和预见性。一个经典的例证是 Lau 等利用累积整合分析研究了利用链激酶药物治疗心肌梗塞的效果^[46],通过对 1959 至 1988 年报道的 33 例研究数据分析后证明了这种疗法的有效性,而这一结论实际上应该在专家们开始提倡推广应用这种疗法之前 13a 就得出了。因此,整合分析可以指导研究的发展方向,缩短重要结论获得的时间。

3 整合分析在生态学中的应用

20 世纪 90 年代以后,由于实验生态学的迅猛发展,产生了大量独立的研究结果,整合分析同样被引入生态学的研究。

3.1 对重要的生态学现象进行解释

物种竞争是种群和群落中普遍存在的一种现象,Connell^[47,48]和Schoener^[49]的综述表明竞争在自然中频繁发生,但无法说明竞争在多大程度上影响有机体。为此,Gurevitch 等对竞争现象进行了广泛的整合分析,通过将收集到的研究进行分组比较,对多种生态因子的进行评估,结果表明竞争会对动植物的生物量积累造成了强烈的影响和显著的压力^[14],并给出了定量统计信息。

营养元素与浮游植物的生长之间的关系也长期存在争议,Dowing 等综合分析了海洋营养元素的生物测定实验,利用整合分析探讨了由于某些特定营养元素的增加而导致的浮游植物单位生长率的变化^[50],结果表明,虽然在不同海域由于氮、磷和铁变化导致的营养元素对浮游植物生长的限制性各不相同,但是磷的增加通常对浮游植物的生长影响很小,而氮或铁的增加则影响显著;氮元素的限制性在海岸带、氮污染的水域以及温和环境条件下表现得最为强烈,而磷和铁的限制性在开放的外海、未污染的水域及热带生态系统中表现得最为明显。

3.2 对生态学传统理论进行检验

David Lack 的假设表明:动物一窝产仔数量倾向于一个最佳数量,以保证后代最高的存活数。但人工饲养的鸟类在这方面变动很大,一些研究表明,鸟类有能力养育超额的后代,而另一些研究结果则不然。叙述性综述只能说明因为这些结果不同,无法得出一条普遍的结论。VanderWerf 利用整合分析对实验结果进行了标准化,得出了与 David 的假设不同的结论,即一般来说,鸟类有能力养育超额的后代,并且进一步的研究揭示出鸟类优化其产卵数量的时间可能超过 1 年,而且晚成性雏鸟比孤生性雏鸟需要更多的亲本关怀^[51]。

Hyatt 等就Janzen-Connell 假设进行了整合分析验证。该假设认为热带森林物种多样性的维持是通过以母株为中心的扩散格局与依赖于距离和密度的繁殖体存活率之间的严密的相互作用,并由该假设而得的种子和幼苗的成活率会随着与母体距离的增加而提高的预测^[52]。这一假设引起很多生态学家的兴趣,进行了大量种群和群落学实验,但结果各异。Hyatt 等利用比例比(OR)作为效应值,对热带和温带不同生境和不同生活型的物种是否遵循这一假设的研究进行了整合分析,发现在总体上远离母体植株并不能提高繁殖体的存活率,生境、气候带和生活型对此也无显著影响,仅研究对象为幼苗时才表现出一定的正效应。

3.3 在全球变化大尺度生态学研究中有很高的应用价值

Curtis 及其研究组 1996 年在研究植物对全球变化的响应时,利用整合分析综合分析了 1994 年以来发表及某些未发表的有关林木对大气 CO₂ 浓度升高的响应方面的论文,对 41 个种类进行了分组,分析其叶气体交换变化,首次运用整合分析对植物对大气 CO₂ 浓度升高的响应作出认定^[18],此后 Curtis 等再次运用整合分析,并增加了效应指标,对木本植物的生物量、构形及生理指标在大气 CO₂ 浓度升高条件下的变化进行了综合分析^[19];Leanne 等对大气 CO₂ 浓度升高条件下共 79 种作物和野生植物的繁殖特性变化进行了整合分析,表明 CO₂ 浓度增加会导致所有研究的种类在开花、结实及种子产量上的增加,但作物的增量比野生种更大,同时会显著降低大多数非豆科种类种子中的氮含量,而对豆科种类种子氮含量影响不大^[53];Guo 和 Gifford 对 74 篇关于土地利用类型对土壤碳储量影响的报道进行了综合,表明从牧场转变为种植园时,土壤碳储量会下降 10%,从天然森林转变为种植园时会下降 13%,从天然森林转变为耕地时会下降 42%,从牧场转变为耕地时会下降 59%,而反向转变时土壤碳储量都会有不同程度的增加^[54];近期有关整合分析在全球变化中的应用体现在 Nature 的两篇研究报告中,一是 Camillet 和 Gary^[55]探讨了气候变化对自然生态系统的全球性的影响,其中利用整合方法分析了 99 个物种区系分布的变化和 172 个物种的物候的改变,表明物种分布平均每 10a 向两极移动 6.1km,物候变化平均每 10a 提早 2.3d;二是 Terry 等对关于全球变暖的包括 1 473 个物种在内的 143 个研究进行了整合^[56],表明有 81% 的物种表现出的变化与温度高度相关。在高海拔地区尤其深受影响,因为这些地区温度上升得比低海拔地区明显,并估计春天每 10a 提早 5d 到来。

目前国内生态学中整合分析的应用还十分有限,彭少麟等 1998 年首次将整合分析引入国内生态学研究,介绍了整合分析的概念、发展状况及其在生态学上的应用前景,郑凤英,彭少麟^[25,26],利用整合分析探讨了捕食者与被捕食者的种群数量关系,揭示了不同地域和不同物种的捕食效应大小,并研究了植物对高浓度 CO₂ 的响应,探讨了不同环境因素与高浓度 CO₂ 复合作用对 24 个生理生态指标的影响,分析了不同实验方法、不同植物类型以及不同作用时间情况下对这些指标变化影响的差异,并给出了其在倍增 CO₂ 浓度时的变化率,对全球变化条件下植物生态系统的响应进行了相应的推测。

3.4 整合分析在应用生态学上的其他价值

整合分析在生态学中还有很多潜在的应用价值^[57]。如控制农业害虫的一种方法是作物多样化,这可能导致害虫种群密度下降。关于作物多样化对种群密度的影响的研究结论不同,一些研究表明,作物多样化确实使害虫的种群密度减小,而另一些研究却没有发现这种效应。Tonhasca 和 Byren 利用整合分析评价作物多样化作为害虫控制的一种手段,揭示出作物多样化使害虫种群密度下降的数据,有助于减少作物损失,同时指出仅依赖于这一单一措施作用是很微弱的,需再借助于一些其他措施^[58]。

4 整合分析在医学和生态学中的应用特点

4.1 研究类型及数量

整合分析所纳入的研究类型是一个十分重要的问题,因为它是整合分析的第一步骤,直接影响到整合的效果及结论的可靠性。这里的研究类型主要区分为随机试验、非随机试验、观察性报告等。在医学领域中,最理想的研究类型是那些被称为随机对照试验(Random Controlled Test, RCT)的研究, RCT 是国际公认的前瞻性、多中心、大样本、随机化、双盲对照研究,它也是临床诊断试验效果评价的“金标准”^[59]。RCT 在临床医学中开展得十分广泛。当然,很多时候 RTC 并不总是能够得到,这种情况在生态学研究中的表现的更为明显,因为很多试验的安排并不是随机的,而是遵循预先安排的某些规则或某些主观意愿,因此其结果可能会受到非随机因素的左右,相对于 RTC 而言,这些结果容易产生偏差,在纳入整合分析时,应该对这类研究的质量进行评估,并且对分析结果的解释也应该谨慎。在整合分析所要求的研究数量上,并没有直接定量的标准,而是根据分析的目的以及需要进行评价的指标,如临床医学的整合分析所纳入的研究可以从三五个到上百个,而对实验生态学研究的整合因考虑到研究独立性问题,通常要多一些,如郑风英等在分析植物对高浓度 CO₂ 的响应时筛选了 141 个研究^[26]。整合所需要的研究应该是紧密地与所要分析的命题相匹配,分析者以精确的全面的搜索策略进行收集,最理想的是收集到所有与之相关的研究,包括发表的与未发表的。然而由于种种因素的限制,这种全集是很难得到的,但是通过现代信息共享和交换渠道,只要搜索策略得当,通常状况下能够保证所收集的研究集合与理想全集十分接近。值得注意的是并非所有收集到的研究都可以用于整合分析,一方面需要制定严格的分析进行二次筛选,另一方面还要对各研究本身的质量进行统计学评估,因此实际上最终纳入整合分析的研究数量与所收集的研究数可能有较大差异,但是这是保证整合结论可靠性的必要步骤和评价整合效果的依据。

4.2 效应值的应用

效应值是整合分析的关键问题之一,它是一系列度量效应程度大小的指标的统称。效应值估计常被用于研究计划设计、判定研究结果的显著性以及对比不同研究结果^[60]。

整合分析要求所有的独立研究以同一尺度进行数据抽提,利用一个“效应值”来测度被纳入分析的每一个研究结果,作为单个研究对于总体的效应贡献,不同于显著性检验,这些效应值指标是独立于样本数的。目前常用的几种效应值已有报道^[27,61],这里介绍它们的一些特点。

最经典的效应值是 Glass' Δ ^[1], Glass' Δ 实际上基于一个潜在的假设,即实验组和对照组有相同的方差。但当实验组和对照组的方差不同时,仅用对照组的标准差对两组间均值的差异进行标准化,显然是不妥的,因此, Hedges' g 对 Glass 的效应值进行了改进^[62],提出用混合方差 S 代替对照组方差 S_r , 得到效应值 g 。 g 虽然克服了 Glass 效应值的缺陷,但当样本数较少时,会出现偏差,为此 Hedges 又进行了改进^[6],增加了一个校正系数 J , 构建成为一个新的指数 Hedges' d 。此后 Hedges 又构建了一个应用范围更广的效应值,即反应比 $\ln R$ ^[63], 该效应值的特点在于仅要求提供实验组和对照组的均值统计量,因此对于那些未报道原始样本数和标准差的研究而言,也有可能被纳入分析,在一定程度上能够扩大信息量,降低了分析难度。针对某些对比实验,其结果可以用 2×2 联列表来描述^[27], 则比例比 (OR) 可以作为这类研究整合时的效应值, 用来估计实验组中事件发生的几率与对照组中同样事件发生的几率的比值^[64~66]。

在生态学研究,由于研究的复杂性高和时间跨度长等原因,大规模 RTC 研究实例不多,同时在统计信息的报道上没有严格的标准,缺乏标准差等统计量,使得许多研究不能为整合分析所利用,在效应值的选择上也受到限制。因此,在生态学问题的整合分析中,采用回避这类信息的反应比 $\ln R$ 作为效应值就变得十分有效和方便^[61]。而在医学研究中,比率比 (OR) 则是应用最为广泛的一个效应值,因为临床试验的观察结果可以直接转化为整合分析的效应值。当然,这些效应值也逐渐被生态学研究借鉴,如 Hyatt 等以 OR 为效应值,对 Janzen-Connell 关于种子及幼苗成活率与其到母树的距离成负相关的假设进行了检验,结果表明该假设难以成立^[52]。

5 整合分析在生态学应用中面临的几个问题

整合分析在生态学应用中面临的许多问题,如效应值选择、出版偏见、整合结果的解释等,在其他研究领域的应用中同样也会出现,但生态学中的情况会变得更加复杂一些,目前还处于探索阶段。

5.1 效应值的改进

由于生态关系的复杂性和研究结果的变异性,需要针对特定的命题选择或构建合适的效应值。这已经成为整合分析在生态学的发展的一个要求。但是这方面的探索还十分有限,只是一些统计学家作过一些理论的探讨。Kromrey 和 Hogarty 提出了两个效应值 (gamma 和 trimmed-d) 估计的计算机程序,采用了几种均值稳健估计的方法^[67]。其中均值调整有几种方式:调整均值法是计算去掉最大 k 个和最小 k 个值后的平均值, k 可以指定为 1, 2, 3 或自定值,这是变量中心位置的一种稳健估计;调整均值百分法指定去掉最大和最小的百分之多少再计算均值;截尾均值法是把最大的 k 个值替换成由大到小第 $k+1$ 个值,把最小的 k 个值替换成由小到第 $k+1$ 个值,然后计算的均值。这两个效应指标不会破坏总体正态和方差同质的假设。由于其稳健的特性,

比传统的效应值如Cohen's d 或者 Hedges' g 更多地被采纳。同时Kromrey 等还介绍了如何用这些效应指标对组间同质性进行稳健排列检验。

5.2 出版偏见

出版偏见也称为发表偏倚、选择性报道,是任何综述性研究都会遇到的问题,它是指由于研究者、审阅者及出版者在选择论文发表时对研究结果的方向与强度的判断所产生的偏差,使那些具有统计学上显著性意义的结果的研究比没有显著性意义的结果的研究更容易或更快地获得发表。这种选择性或者称为偏见使得出版的过程不再是一个随机的事件,从而使得某些研究的发表受到限制。

对出版偏见进行评估是整合分析的一项重要内容,也是整合分析区别于传统的叙述性综述的显著特点,虽然它一直被认为是批判整合分析的一个基点,但整合分析本身已经发展出一系列测度的方法。如权重直方图法是一种简单的检查数据基本分布形式的方法,它以每一个区间的直方体高度来表示这一区间内所有的效应值的权重之和,Rosenberg 等指出,如果原始数据为正态分布,直方图可以检测出版偏见,如果存在出版偏见,那么直方图就会表现出在零效应值附近处下凹^[68]。Light 和 Pillemer 提出的漏斗图法也是一种有效的展示数据分布形式和研究出版偏见的方法^[5],它以效应值对样本含量作散点图,如果没有出版偏见,根据取样理论,当样本含量较小时所测效应值围绕真值的变异就大,当逐渐增大样本含量时,效应值变异就会降低,同时效应值是独立于样本含量的,对于一个特定的样本含量,因随机取样误差,独立研究的效应值应该围绕平均效应值呈现正态分布,因此最终的散点图形似一个在小样本端开口大而在大样本端开口小的漏斗。但该方法在文献中样本含量较小时是无法适用的。Duval 和 Tweedie 基于对称假设,描述了一种简单的漏斗图的调整与充实非参数运算法则来衡量出版偏见的影晌程度^[69,70],这种方法更容易操作,在效应值未知时可以采取迭代方式,在说明研究报道缺失问题比漏斗图更为清晰。其他方法还有如 Begg 秩相关检验法^[71], Egger 等回归检验法等^[72]。所有这些方法都是试图通过定量的手段来力求使这种偏差最小化。

5.3 研究的相关性

另一个典型的问题就是研究的独立性。整合分析要求所综合的研究之间相互独立,但实际上这一点很难实现,这种非独立性可能会导致对平均效应标准误的低估,从而使对效应值的显著性检验也变得不准确。通常这种非独立性一方面来源于原始研究的设计,另一方面来自整合分析的综合过程,前者在生态学的小尺度研究中表现的比较明显,这需要研究者通过改进实验设计来避免,不属于整合分析所能调控的范围,而后者主要表现为效应值之间的相关性,如在分析中将一个实验的某一指标多次重复测量作为多次独立实验,或者将实际上为同一实验过程的不同子结果作为独立的研究纳入,这种由于研究内的取样误差造成了相应的效应值之间互不独立,可以通过统计手段进行调整,如采用只提供一个效应值的方法来消除,但这是以放弃大量的研究信息为代价的,因此在实际应用中很少采用。通常分析者会对整个整合过程做出一个敏感性分析,来讨论整合结果具有多大程度的可靠性^[15],但这些方法的应用还处于探索阶段。

5.4 在其他类型研究中的应用

整合分析目前多用于实验生态学的研究中,然而这并非说明整合分析不能用于非实验类型的研究和观察性研究,在社会学和经济学研究中有很多类似实例^[39~41]。对于这类研究一般存在一个数据抽提过程,即研究中提供的原始数据往往并不能直接应用于整合分析,而是要经过一些转换和统计上的处理,同时效应值通常也要作相应的调整,因此对这类研究应用整合分析时应当在数据的提取方法、效应度量指标的改进以及对所得结果的谨慎解释等方面需要特别注意。由于生态学研究涉及到更为复杂的相关性问题,对数据的处理和转换的方法需要进行可靠性评估以保证其合理性与真实性,无论是数据抽提方法和数据评估方法都还不成熟,因此整合分析在生态学中的此类应用尚处于探索之中。

6 讨论

现代整合分析过程起始于心理学、医学和行为科学,它以一种定量的方法对研究集合进行综合与分析,在这些学科中已经有了许多成功地应用,并且目前仍然被作为一种优良的定量分析手段,处于不断地发展进步之中。整合分析被引入生态学研究后,虽然引发了生态学家和统计学家的广泛争论,但其十多年应用实践已经逐渐被生态学家和统计家所接受。

整合分析是一种严密的、系统的分析方法,而不是简单的综合和推测。更多情况下整合分析可以称之为—项观察性研究。对于整合分析来说,如何把握和分析来自各个方面的变异,是综合分析中需要考虑的重点问题。其质量和有效性的保证必须通过严格地把握设计和实施过程,包括全面收集文献,对原始文献的质量进行评价,制订严格的纳入和排除标准,进行一致性检验,选用合适的统计方法等作为保证整合分析质量的措施。并通过采取不同的评判标准、不同的权重方式、不同的剔除组合方法,进行敏感性分析^[73]。

虽然整合分析在生态学中应用的优缺点并存,但 Bender 等对生境缺失与种群衰退中斑块效应进行整合分析后,认为整合分析特别适用于生态学现象的研究^[74],因为大多数情况下时间,精力,资金等必须投入单个的研究,大尺度的研究常常不太容易实现,而整合分析允许将这些单独的信息积累起来并当作统计上的重复和实现。在这一点上,整合分析具有无可替代的

优越性。

关于整合分析在生态学中应用的争论来自于未知的生态过程复杂性、多抽样设计的变化范围以及效应值估计的应用标准等方面^[21]。这些方面与生态学研究的自身特点有十分密切的联系,这是整合分析方法应用于生态学研究的难点,也是其方法改进和发展的契机,一些有益的探索工作已经开始。

整合分析在生态学中应用的时间并不长,但已经产生了很大的反响,越来越多的生态学者开始参与到这一方法的应用和改进中。总体而言,整合分析在生态学中应用得还很很不完善,甚至存在被错用和滥用的风险^[27]。由于生态现象的复杂性,将其他领域的整合分析方法和技术直接应用生态学研究必然会遇到许多新的问题,如果这些问题不加以重视和解决,整合分析的结论也必然会产生偏差,不但失去整合的意义,甚至扰乱、阻碍或误导研究的发展方向。

医学是整合分析方法发展和应用最为活跃最为成熟的领域,整合分析的应用实例极其普遍,数量众多。由于生态学研究与医学中存在许多相类似的地方,因此整合研究方法和思路有很多值得生态学研究借鉴之处。这种借鉴是生态学中整合分析发展的必然要求,同时另一方面,该方法在两个学科间的交叉应用又将为其自身的发展创造契机。

References:

- [1] Glass G V. Primary, secondary and meta-analysis. *Educational Researcher*, 1976, **5**(10): 3~8.
- [2] Glass G V, Barry M and Smith M L. *Meta-analysis in Social Research*. Sage Publications, Beverly Hills, California, 1981.
- [3] Hunter J E, Schmidt F L and Jackson G B. *Meta-analysis: Cumulating research findings across studies*. Sage, Beverly Hills, CA, 1982.
- [4] Rosenthal R. *Meta-analytic procedures for social research*. Beverly Hills, CA: Sage Publications, 1984.
- [5] Light R J and Pillemer D B. *Summing up: The science of reviewing research*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1984.
- [6] Hedges L V and Olkin I. *Statistical Methods for Meta-analysis*. Academic Press, New York, 1985.
- [7] DerSimonian R and Laird N. Meta-analysis in clinical trials. *Controlled Clinic Trials*, 1986, **7**: 177.
- [8] Jeniel M. *Meta-analysis Medicine*. Evaluation et synthiethese de I information clinique et epidemiologique. St. Hyacinthe. Quebec. Canada: Edisem, 1987.
- [9] Wachter K W and Straf M L. *The future of meta-analysis*. Russell Sage Foundation. New York, 1990.
- [10] Whitehead A. A prospectively planned cumulative meta-analysis applied to a series of concurrent clinical trials. *Statistics in Medicine*, 1997, **16**: 2901~2913.
- [11] Whitehead J. A unified theory for sequential clinical trials. *Statistics in Medicine*, 1999, **18**: 2271~2286.
- [12] Whitehead A. *Meta-analysis of Controlled Clinical Trials*. Chichester: Wiley, 2002.
- [13] Hahn S, Williamson PR, Hutton JL, *et al.* Assessing the potential for bias in meta-analysis due to selective reporting of subgroup analyses within studies. *Statistics in Medicine*, 2000, **19**: 3325~3336.
- [14] Gurevitch J, Morrow LL, Wallace A, *et al.* A meta-analysis of field experiments on competition. *American Naturalist*, 1992, **140**: 539~572.
- [15] Gurevitch J and Hedges L V. Statistical issues in ecological meta-analyses. *Ecology*, 1999, **80**(4): 1142~1149.
- [16] Gurevitch J, Morrison J A and Hedges LV. The interaction between competition and predation: a meta-analysis of field experiments. *American Naturalist*, 2000, **155**: 435~453.
- [17] Gurevitch J, Curtis P S and Jones M H. Meta-analysis in ecology. *Advances in Ecological Research*, 2001, **32**: 199~247.
- [18] Curtis P S. A meta-analysis of leaf gas exchange and nitrogen in trees grown under elevated carbon dioxide. *Plant, Cell and Environment*, 1996, **19**: 127~137.
- [19] Curtis P S. and Wang X Z. A meta-analysis of elevated CO₂ effects on woody plant mass, form, and physiology. *Oecologia*, 1998, **113**: 299~313.
- [20] Brett M T. Meta-analysis in ecology. *Bulletin Ecological Society of America*, 1997, **78**: 92~94.
- [21] Englund G, Sarnelle O and Cooper S D. The importance of data selection criteria: meta-analyses of stream predation experiments. *Ecology*, 1999, **80**(4): 1132~1141.
- [22] Osenberg C W, Sarnelle O, Cooper S D, *et al.* Resolving ecological questions through meta-analysis: goals, metrics and models. *Ecology*, 1999, **80**(4): 1105~1117.
- [23] Peng S L and Tang X Y. Meta analysis and its application in ecology. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, **17**(5): 74~79.
- [24] Peng S L and Zheng F Y. Meta-analysis: A great revolution in review. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, **18**(6): 65~70.
- [25] Zheng F Y and Peng S L. The meta analysis on the relationships between predator and prey. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(4): 448~452.
- [26] Zheng F Y and Peng S L. Meta-analysis of the response of plant ecophysiological variables to double atmospheric CO₂ concentrations.

Acta Botanica Sinica, 2001, **43**(11): 1101~1109.

- [27] Fang W. Meta analysis: A new method for synthesizing the findings of Ecology and Evolution science. Edited by Wu J G. *et al. Lectures in modern Ecology II. From basic science to environmental issues*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 2002. 83~94.
- [28] Zhao N and Yu S Z. Meta-analysis: A new method of quantitative synthesis. *Chinese chronic disease prophylaxis and treatment*, 1993, **1** (6): 277~281.
- [29] Zhao N and Yu S Z. Meta-analysis I. Method and application of meta-analysis. *Journal of Shanxi College of Medicine*, 1995, **26** (3): 203~205.
- [30] Zhao N and Yu S Z. Meta-analysis II. Concept and Content, *Journal of Shanxi college of medicine*, 1995, **26** (4): 295~297.
- [31] He S L. Meta-analysis. *Human medical science*, 1999, **15**(2): 112~114.
- [32] Zuo L, Wan M, Wan H Y. Meta-analysis and its clinical effect. *Chinese Journal of Nephrology*, 1999, **10**(15): 326~328.
- [33] Zhen F Y and Peng S H. Introduction to several quantitative review methods. *Ecological Science*, 2001, **20**(4): 73~77.
- [34] Willett J B and June J M. A Meta-analysis of Instructional Systems Applied in Science Teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 1983, **20**: 405~417.
- [35] Bangert Drowns, R L. Review of developments in meta-analytic methods. *Psychological Bulletin*, 1986, **99**: 388~399.
- [36] Kulik J A, and Kulik C C. Meta-analysis in education. *International Journal of Educational Research*, 1989, **13**, 221~340.
- [37] Hedges L V. Meta-analysis. *Journal of Educational Statistics*, 1992, **17**: 279~296.
- [38] Baaijens S R, Nijkamp P and Van Montfort K. Explanatory meta-analysis for the comparison and transfer of regional tourist income multipliers. *Regional Studies*, 1998, **32**(9): 839~849.
- [39] Oltmer K, Nijkamp P and Florax R, *et al.* A Meta-analysis of Environmental Impacts of Agri~Environmental Policies in the European Union. Tinbergen Institute Discussion Papers 00~083/3 / Tinbergen Institute, 2000.
- [40] Kremers H, Nijkamp P and Rietveld P. A Meta-analysis of Price Elasticities of Transport Demand in a General Equilibrium Framework. Tinbergen Institute Discussion Papers 00~060/3, Tinbergen Institute.
- [41] Nijkamp P and Poot J. Meta-analysis of the impact fiscal policies on long-run growths. Tinbergen Institute Discussion Papers TI 2002~028/3, Tinbergen, 2000.
- [42] Xu Y Y. The common datum types and study methods of meta-analysis. *Chinese Journal of Preventive Medicine*, 1994, **28**(5): 303~305.
- [43] Lise M, Bjerre M and LeLorier J. Do Statins Cause Cancer? A Meta-analysis of Large Randomized Clinical Trials. *American Journal of Medicine*, 2001, **110**: 716~723.
- [44] Guo X F and Lai X L. Meta-analysis of Qingkailing injection for treating acute stroke. *Journal of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine*, 2000, **17**(1): 9~14.
- [45] Deepak P V, Marc S P, Shelly K S, *et al.* Use of antioxidant vitamins for the prevention of cardiovascular disease; meta-analysis of randomized trials. *Lancet*, 2003, **361**: 2017~23.
- [46] Lau J, Antman F M, Jimenez S J, *et al.* Cumulative meta-analysis of therapeutic trials for myocardial infarction. *New England Journal of Medicine*, 1992, **327**: 348~354.
- [47] Connell J H, Tracey J G and Webb L J. Compensatory recruitment, growth, and mortality as factors maintaining rain-forest tree diversity. *Ecological Monographs*, 1984, **54**: 141~164.
- [48] Connell J H. On the prevalence and relative importance of interspecific competition: evidence from field experiments. *American Naturalist*, 1983, **122**: 661~696.
- [49] Schoener T W. Field Experiments on Interspecific Competition. *American Naturalist*, 1983, **122**: 240~285.
- [50] Downing J A, Osenberg C W and Sarnelle O. Meta-analysis of marine nutrient-enrichment experiments: variation in the magnitude of nutrient limitation. *Ecology*, 1999, **80**(4): 1157~1167.
- [51] VanderWerf E. Lack's clutch size hypothesis: an examination of the evidence using meta-analysis. *Ecology*, 1992, **73**: 1699~1705.
- [52] Hyatt L A, Rosenberg M S, Howard T G, *et al.* The distance dependence prediction of the Janzen-Connell hypothesis: A meta-analysis. *Oikos*, 2003, **103**(3): 590~602.
- [53] Leanne M J, Wang X Z and Curtis P S. Plant reproduction under elevated CO₂ conditions: a meta-analysis of reports on 79 crop and wild species. *New Phytologist*, 2002, **156**: 1, 9~26.
- [54] Guo L B and Gifford R M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Glob. Change Biol.*, 2002, **8**: 345~360.
- [55] Camillet P and Gary Y. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 2003, **421**: 37~42.
- [56] Terry 万方数据 T Price, Kimberly R Hall, *et al.* Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 2003, **421**: 57~60.

- [57] Arnqvist G, and Wooster D. Meta-analysis: synthesizing research findings in ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution*, 1995, **10**: 236~240.
- [58] Tonhasca A and Byrne D N. The effects of crop diversification on herbivorous insects; a meta-analysis approach. *Ecological Entomology*, 1994, **19**: 239~244.
- [59] Wan J L. An important part of Evidence Based Medicine: The study on diagnostic results. *Guide for clinic testing information*, 2000, **5**.
- [60] Fern E F and Monroe K B. Effect size estimates: Issues and problems in interpretation. *Journal of Consumer Research*, 1996, **23**: 89~105.
- [61] Zheng F Y and Peng S L. Introduction to commonly used effect sizes in meta-analysis. *Ecological Science*, 2001, **20**(2): 81~84.
- [62] Hedges L V. Distribution theory for Glass's estimator of effect size and related estimators. *Journal of Educational Statistics*, 1981, **6**: 107~128.
- [63] Hedge L V, Gurevitch J, and Curtis P S. The meta-analysis of response ratios in experimental ecology. *Ecology*, 1999, **80**(4):1150~1156.
- [64] Berlin J A, Laird N M, Sacks H S, *et al.* A comparison of statistical methods for combining event rates from clinical trials. *Statistics in Medicine*, 1989, **8**:141~151.
- [65] Sokal R R and Rohlf F J. *Biometry*. 3rd ed. Freeman, San Francisco, 1995.
- [66] Normand SLT. Meta-analysis: Formulating, evaluating, combining, and reporting. *Statistics in Medicine*. 1999, **18**: 321~359.
- [67] Kromrey J D and Hogarty K Y. Traditional and robust effect size estimates: an empirical comparison in meta-analytic tests of homogeneity. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, Montreals, 1999.
- [68] Rosenberg M S, Adams D C and Gurevitch J. MetaWin: Statistical software for meta-analysis. Version 2.0. Sunderland: Sinaure, 2000.
- [69] Duval S J and Tweedie R L. A non-parametric 'trim and fill' method of assessing publication bias in meta-analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 95, 2000, **449**:89~98.
- [70] Duval S J and Tweedie R L. Trim and Fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics*, 2000, **56**, 455~463.
- [71] Begg C B and Mazumdar M. Operating characteristics of a rank correlation test for publication bias. *Biometrics*, 1994, **50**:1088~1101.
- [72] Egger M, Smith G D, Schneider M, *et al.* Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *British Medical Journal*, 1997, **315**: 629~634.
- [73] Lin Y and Li L M. Disputations on meta-analysis in medical science. *Chinese Journal of Epidemiology*, 1999, **20**(1): 53~54.
- [74] Bender D J, Contreras T A and Fahrig L. Habitat loss and population decline: a meta-analysis of the patch size effect. *Ecology*, 1998, **79**: 517~533.

参考文献:

- [23] 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**(5):74~79.
- [24] 彭少麟,郑凤英. Meta 分析:综述中的一次大革命. 生态学杂志, 1999, **18**(6):65~70.
- [25] 郑凤英,彭少麟. 捕食关系的 Meta 分析. 生态学报, 1999, **19**(4):448~452.
- [26] 郑凤英,彭少麟. 植物生理生态指标对大气 CO₂ 浓度倍增响应的整合分析. 植物学报, 2001, **43**(11):1101~1109.
- [27] 方炜. 整合分析法——生态与进化生物学中数据综合分析的新方法. 邬建国,等. 现代生态生态学讲座(二)基础研究与环境问. 北京:中国科学技术出版社, 2002. 83~94.
- [28] 赵宁,俞顺章. Meta-analysis: 一种新的定量综合方法. 中国慢性病预防与控制, 1993, **1**(6):277~281.
- [29] 赵宁,俞顺章. Meta-analysis(元分析) I. META-ANALYSIS 方法与应用. 山西医学院学报, 1995, **26**(3):203~205.
- [30] 赵宁,俞顺章. Meta-analysis(元分析) II. META-ANALYSIS 基本概念与内容. 山西医学院学报, 1995, **26**(4): 295~297.
- [31] 贺石林. 汇后分析(Meta-analysis). 湖南医学, 1998, **15**(2):112~114.
- [32] 左力,王梅,王海燕. 中华肾脏病杂志. 荟萃分析(meta-analysis)及其临床作用, 1999, **15**(5):326~328.
- [33] 郑凤英,彭少麟. 几种数量综述方法的介绍和比较. 生态科学, 2001, **20**(4):73~77.
- [42] 徐勇勇. Meta 分析常见资料类型及统计分析方法. 中华预防医学杂志, 1994, **28**(5):303~305.
- [44] 郭新峰,赖世隆. 清开灵注射液治疗急性中风的 Meta 分析. 广州中医药大学学报, 2000, **17**(1):9~14.
- [59] 王金良. 循证检验医学的一项重要内容——诊断试验的结局研究. 临床检验信息导报, 2001, **5**.
- [61] 郑凤英,彭少麟. Meta 分析中几种常用效应值的介绍. 生态科学, 2001, **20**(2):81~84.
- [73] 林杨,李立明. 关于 Meta-分析在医学领域的争鸣. 中华流行病学杂志, 1999, **20**(1):53~54.