

淡水养殖污染负荷估算方法刍议

辛玉婷¹ 陈 卫² 孙 敏² 林 涛²

(1.江苏省环境科学研究院,江苏 南京 210036;2.河海大学环境科学与工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 综述了淡水养殖污染负荷估算的方法:化学分析法、竹内俊郎法及其同类方法、物料平衡法、湖泊和水库的箱式模型法。分析了淡水养殖污染负荷估算模型的应用,提出对估算污染负荷量应在分类别、分阶段、分区域估算基础上进行综合评估。建议探索复杂生态环境下淡水养殖污染负荷综合估算法,研究药品投入、底泥的沉积和释放等因素的影响,以增强其适用性和实用价值。正确估算水产养殖的氮磷污染负荷,对取得水产养殖收益和保护水环境有指导意义。

关键词 淡水养殖;污染负荷;模型

中图分类号:X52 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2007)06-0019-04

Calculation methods for pollution load of freshwater aquiculture

XIN Yu-ting¹, CHEN Wei², SUN Min², LIN Tao²

(1. Jiangsu Academy of Environmental Science, Nanjing 210036, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract The pollution load calculation models of freshwater aquiculture were reviewed, including chemical analysis method, material balance method, box model for lakes and reservoirs, etc. The application of pollution load calculation models of freshwater aquiculture was analyzed systematically and it was presented that the calculation of pollution load should be evaluated synthetically based on different classification, periods and regions. It is suggested that a calculation method for the complex ecological environment should be proposed and the effects of some factors be analyzed, such as the dosage of medicines, sedimentation and desorption of bed sediments and so on, which can enhance the applicability and practicability of the calculation method. The accurate calculation of the N, P pollution load of aquiculture has instructional meaning for protecting both of the aquiculture and the aquatic environment.

Key words freshwater aquiculture; pollution load; model

近十几年来,淡水养殖业发展迅速,养殖面积和生产规模不断扩大,养殖类型和养殖方法变化较大,即由传统的粗放型养殖向现代精养型养殖转变。传统的粗放型养殖模式主要是采用低密度放养,人工投放动植物天然饵料,不投药,从而不产生污染;而现今普遍采用的精养型养殖则采用高密度放养,投入人工精饲料,病害日趋严重导致药物滥用,同时鱼类进食后留下的残饵以及排泄物的量也随之增大,外源(饲料)输入增多,溶解态和悬浮态物质输出增加,致使系统内部物质循环受阻,养殖水体生态环境

发生变化。如果养殖密度过大或养殖方式不合理,将会造成“水体污染—养殖生物病害发生—药物增加—产品质量下降—抑制养殖业发展”的恶性循环。处理好水产养殖与水污染防治的关系,对水环境保护与经济可持续发展非常重要。

将淡水养殖系统视为具有生态、经济、社会综合效益的人工生态系统来研究始于20世纪80年代。主要是从生态学观点出发,研究其系统结构、功能、及其能量交换和物质循环规律等。一直以来,在淡水养殖与水环境相互作用关系上,较重视环境对养

殖的影响,而对淡水养殖对环境的影响关注不足,养殖与水环境不相协调的问题日益突出。本文拟系统分析淡水养殖污染负荷估算方法,探讨其适用条件和应用中的问题,为正确估算水产养殖产生的氮磷污染负荷和研究养殖对淡水生态系统结构及功能的影响提供借鉴。

1 淡水养殖污染负荷估算模型分析

在淡水养殖过程中,为追求高产,往往投放过量的饵料,大量营养成分进入水体,主要呈溶解态和非溶解态。前者使水体中氮(N)、磷(P)环境因子含量增加,后者表现为养殖区底泥沉积。水体营养物总浓度的增加,使得养殖水体中N、P的各种存在形态和转化发生很大改变^[1-2]。在自然状况下,N、P的物质循环主要受生物活动、化学过程和物理因子的影响^[3-4],但在养殖水环境中,人为因素使得自然循环的某些环节发生变化,即构成新的N、P循环^[5-6]。因此对淡水养殖污染负荷估算几乎都是针对N、P负荷量进行计算的。

1.1 化学分析法

化学分析法^[7]根据比较封闭的池塘养殖的营养物负荷结果来类推网箱或围网养殖,营养物负荷可以直接测定,也可通过营养物的平衡方程来间接推算,其平衡方程为

$$L = N_{in} - N_{out} \quad (1)$$

式中: L 为营养物负荷; N_{in} 为输入饲料中的营养物数量; N_{out} 为输出鱼体中的营养物数量。

张玉珍等^[8]以小流域水产养殖为例,用化学分析法对排出鱼塘的养殖污水进行水质分析和N、P含量的估算。

$$L_{N,P} = Q(C_{out} - C_{int}) \quad (2)$$

式中: $L_{N,P}$ 为污染物排放负荷量; Q 为排出鱼塘的水量; C_{out} 、 C_{int} 分别为出水和进水的污染物浓度。

化学分析法是估算污染负荷的基础方法,分析监测的数据可应用于多种负荷估算模型中,一般作为辅助方法应用。其测得的TN和TP浓度只包含了可溶态和悬浮态N、P污染物,没有考虑底泥中营养含量,计算的污染负荷量往往偏小。

1.2 竹内俊郎法及其同类方法

竹内俊郎法以养殖过程中物质输入输出平衡方程间接推算其污染负荷,原理是“所投喂的营养成分,扣除积蓄在养殖物体中的量,剩余的就是环境负荷量”,即

$$N \text{ 负荷量: } L_N = (Cf_N - b_N) \times 10^3 \quad (3)$$

$$P \text{ 负荷量: } L_P = (Cf_P - b_P) \times 10^3 \quad (4)$$

式中: C 为增肉系数; f_N 、 f_P 分别为饵料中N、P的质量分数,%; b_N 、 b_P 分别为生物体内N、P的质量分数,%。

以竹内俊郎法为原型,又发展了多种类似的污染负荷计算方法。黄小平等^[9]在研究上川岛公湾海域环境对其网箱养殖容量的限制程度时,提出了网箱养鱼N、P污染负荷量 L_N 、 L_P 的估算模型:

$$L_N = Ef_N - Yb_N \quad (5)$$

$$L_P = Ef_P - Yb_P \quad (6)$$

式中: E 为相应产鱼量所需投饵量(产鱼量和投饵量之比为1:2); Y 为产鱼量; f_N 为30.87%, f_P 为0.70% 鱼体内(湿重)蛋白质中 b_N 约16%, b_P 约0.58%。

Md.Shahidul Islam的营养负荷模型^[10]以饵料系数(ϵ_{FCR} 值)为基础来确定网箱养殖对水环境的负荷。通常,对于定量的养殖生物体, ϵ_{FCR} 值越高就意味着需要饵料更多,即高 ϵ_{FCR} 值与高营养负荷是密切联系的。营养负荷值与其相应的 ϵ_{FCR} 值存在显著的线性关系:

$$\Delta L = (\epsilon_{FCR} E) - B_{N,P} \quad (7)$$

式中: ΔL 为收获生物体所流失的营养负荷量; $B_{N,P}$ 为生物体中营养物含量。

ϵ_{FCR} 值是最易导致误差的参数之一。加上种群的差异,其误差是因没有考虑自然水体中本体营养物所致。假如 ϵ_{FCR} 值计算是正确的,而饲料和生物体中营养物质的含量信息又充足,则对预测营养负荷量很有用。但是,由于围网、网箱养殖中未食饲料很难直接测定,养殖体消化率的确定也有一定难度,同时,对养殖水体水质的影响除了饲料以外,还有底泥的释放以及动力的输送等,所以,竹内俊郎法计算结果可能与实际结果有较大出入。若投饵料方式比较单一,则用竹内俊郎法较为方便实用。

1.3 物料平衡法

物料平衡法根据食物用量、生物量和营养物在生物体内的总氮含量来计算污染负荷。该方法认为食物是养殖系统内直接产生废物的唯一来源,因而通过投喂食物的总量与被生物体所利用部分的差值来计算总的废物量,并且可以通过一系列的物质平衡关系式计算废物排放量^[8]。

Funge-Smith^[11]以及Paez-Osuna^[12]分别对精养虾池的N收支做了细致的估算,在Funge-Smith的模式中,N的收支为

$$\begin{aligned} & \text{饵料}(78\%) + \text{底泥释放}(16\%) + \text{肥料}(1.8\%) \\ & + \text{换水输入}(4\%) + \text{降雨}(0.15\%) + \text{地面流入}(0.03\%) + \text{放养幼虾}(0.02\%) = \text{底泥沉积}(24\%) + \end{aligned}$$

换水输出(17%) + 成虾收获(18%) + 收获排水(10%) + 渗析(1%) + 去氮作用和氨挥发(30%)

在 Paez 的模式中, 氮的收支为

饵料(55.8%) + 换水输入(24.6%) + 肥料(19.4%) + 放养幼虾(小于 0.1%) + 其他 = 底泥沉积(未知) + 换水输出(11.2%) + 成虾收获(22.6%) + 氨挥发(65.7%) + 浮游生物同化(0.4%)

Teichert^[13]对 Honduras 半精养虾池进行模拟实验, 得出在该虾池中, μN 的主要输入是引入水(63%) 和饵料(36%), 主要输出是交换排水损失(72%) 和成虾收获(14%), 约有 7% 的输入 N 被虾池中其他生物所固定或吸收。对于虾池来说, 不同的养殖地点和养殖方式其 P 的输入与输出各项大小是不同的, 有时甚至大相径庭, Martin^[14-15]在研究不同养殖密度下虾池中的物质平衡方程中也证明了这一点。

舒廷飞^[7]借助网箱养殖物质平衡方程和实地监测实验数据, 建立了哑铃湾网箱养殖污染负荷数学模型, 并在模型中首次考虑了底泥累积污染影响。某单个网箱养殖对周围水环境造成的污染负荷可简单表示为:

$$P(x, t) = Q(x) + C(x, t) \quad (8)$$

式中: $P(x, t)$ 为污染负荷; $Q(x)$ 为恒定污染源, 是养殖规模(产量) x 的函数; $C(x, t)$ 为可变污染源, 是养殖规模(产量) x 和养殖时间 t 的函数。其中, 恒定污染源是“饵料 + 幼鱼 - 成鱼收获 - 底泥沉积”, 这部分是养殖规模函数, 在规模一定的情况下, 随着养殖年限增加而基本不变, 可变污染源是“底泥释放”, 这一部分是随着养殖年限的增加和底泥富集而不断增加的, 既是养殖规模 x 的函数, 也是养殖时间 t 的函数。

该模型不仅考虑了养殖污染和养殖规模的关系, 而且通过养殖的底泥累积污染计算, 考虑了养殖污染和养殖时间的关系, 不仅计算方便, 而且相对比较科学合理。但此模型是针对海水网箱养殖提出的, 对于淡水养殖来说, 养殖模式并非如海水养殖那样高度一致, 另外淡水环境也没有潮汐作用, 即使有水流的流动和冲击, 水流在网箱内的停留时间还是比较长。若将此模型运用到淡水养殖污染计算中, 就必须考虑不同养殖模式下的网箱污染负荷, 以及网箱底泥中营养物质的沉积量。

1.4 湖泊、水库的箱式模型法

文献[16]中提到 R. T. Vollenweider 的模型, 该模型把湖泊、水库作为一个均匀混合水体, 从宏观上研究湖泊、水库中营养平衡的输入与产出的关系, 提出的湖泊、水库的完全混合箱式模型为

$$V \frac{dC_p}{dt} = W + q + Q(C_{p_{in}} - C_p) +$$

$$K_s V C_p + K_r A_s \quad (9)$$

式中: V 为水体积; W 为水网养投饵造成的总磷输入总量; q 为随降水和地表径流进入水体的总磷负荷; Q 为流出水体的流量; C_p 为总磷浓度; $C_{p_{in}}$ 为进入水体的总磷浓度; K_s 为总磷的沉淀速度常数; K_r 为底泥中总磷释放速率; t 为时间; A_s 为总磷沉淀面积。

文献[17]中提到 Snodgrass 的模型, 该模型提出湖泊、水库的分层箱式模型

$$\text{上层: } V_e \frac{dC_{p_e}}{dt} = W_e + q + W_{in} -$$

$$Q C_{p_e} + K_{th} V_h (C_{p_h} - C_{p_e}) - K_s V_e C_{p_e} \quad (10)$$

$$\text{下层: } V_h \frac{dC_{p_h}}{dt} = W_h + K_{th} A_{th} (C_{p_e} -$$

$$C_{p_h}) + K_s V_h (C_{p_e} - C_{p_h}) + K_r A_s \quad (11)$$

$$K_{th} = 0.15 H$$

式中: V_e 、 V_h 分别为上、下层水体积; C_{p_e} 、 C_{p_h} 分别为上、下层水总磷浓度; W_e 、 W_h 分别为上、下层水网养投饵造成的总磷输入总量; W_{in} 为水库引水和生活污水进入水体的总磷负荷; K_{th} 为温跃层竖向扩散系数; H 为平均水深; A_{th} 为温跃层面积。

姜世中^[18]依据湖泊、水库的箱式模型理论, 分别用分层箱式模型和完全混合箱式模型来描述三岔湖水库夏季水质分层状况和冬季水质状况, 建立了简阳三岔湖水库网箱养鱼 TP 模型和溶解氧模型。并利用这一模型对不同网养面积下三岔湖水库 TP 和溶解氧浓度进行了模拟实验。结果计算出了水库的污染负荷与网养面积。

湖泊、水库箱式模型法是数学模型与水动力学相结合的方法。由于涉及水体的动力学特性, 使得模型较为复杂, 而其输出结果是否可靠往往还取决于所选参数值的准确与否, 许多参数值(如水体的 TP 浓度、网养投饵造成的 TP 输入总量、随降水和地表径流进入水体的 TP 负荷、温跃层竖向扩散系数、TP 的沉淀速度常数等)经常与实际值有较大的偏差, 所以运用此模型的关键在于参数的正确率定, 使之尽量与实际相符, 否则会导致整个输出结果失败。

1.5 网箱污染负荷率计算法

网箱养鱼污染负荷率是指生产 1 kg(或 t)鱼产生的某元素的污染负荷。其理论计算值等于饵料中含有的某元素量减去鱼体中该元素含量。梁荫^[19]运用此法计算了黑龙江水库网箱养鱼污染负荷量。以 P 为例, 网箱养鱼磷负荷量 L_p 等于污染负荷率 C_{food} 乘以水库网箱养鱼净产量 W 。

a. 水库网箱养鱼磷负荷量 L_p

$$L_p = Y(C_f P_f - P_b) \quad (12)$$

式中: C_f 为饵料系数; P_f 为每吨饵料中磷的质量;

P_b 为每吨净产鲤鱼中磷的质量。

b. 网箱养鱼磷负荷沉积量 P_s 。式(14)中描述的磷污染负荷值,它不可能都溶解在水里,而是包括溶解态和固体态的磷污染负荷, P_s 指的就是沉积在水里的 P 负荷。

$$P_s = L_p R_{\text{fish}} = P_f YR_{\text{fish}} \quad (13)$$

式中: R_{fish} 为网箱养鱼磷负荷沉积系数。

此方法考虑的因子较多,尤其考虑了底泥的污染贡献,且公式较简单,计算方便,故应用比较广泛。但是,因参数较多,有些参数往往很难与实际相一致,如饵料系数、网箱养鱼磷负荷沉积量 P_s 等,致使误差较大,计算结果有偏差。

2 讨论与建议

2.1 讨论

张玉珍等^[8]运用竹内俊郎法、化学分析法和物料平衡法对福建省九龙江五小川流域水产养殖的 N、P 污染负荷进行估算,结果发现,N、P 污染负荷估算值大小次序为:竹内俊郎法>物料平衡法>化学分析法。分析其主要原因:竹内俊郎法是从较保守的角度来考虑污染负荷,故结果偏大;化学分析法只包含 N、P 污染物的可溶态和悬浮态两者浓度之和,而没有考虑底泥中 N、P 含量,故结果偏小;物料平衡法遵循输入鱼塘的 TN、TP 量为投入中各种物质 TN、TP 量与鱼体内 N、P 含量之和,比较符合实际。

a. 对于养殖投饵方式单一的养殖区,采用竹内俊郎法更为方便实用。FCR 值、种群的差异、自然水体中本体营养物等,都在不同程度上影响了竹内俊郎法计算营养负荷量的准确性。同时,养殖水体中未食饲料以及养殖体消化率的确定也有一定难度。

b. 在养殖区相对封闭时宜采用物料平衡法。养殖系统与外部环境的物质交换的方式与数量会直接影响到计算结果,若外部环境与养殖区物质交换方式复杂,或很难确定其种类和数量,就可能导致物料的不平衡。

c. 历史资料(包括养殖年限、生态环境状况等)和监测数据较齐全的养殖区可以考虑用箱式模型法或污染负荷率法。湖泊、水库箱式模型法由于涉及水体的动力学特性使得模型较为复杂,其输出结果是否可靠往往取决于所选参数值的准确与否,而污染负荷率法考虑的因子较多,尤其考虑了底泥的污染贡献,且公式较简单,计算方便。但是,这两种方法需要的参数较多,有些参数的率定较难把握,若基础数据资料不全,很容易导致计算结果有较大的偏差。

2.2 建议

随着淡水养殖业的快速发展,养殖类型和养殖

方法变化较大,外源(饲料)输入增多,溶解态和悬浮态物质输出增加,致使养殖水体生态环境系统内部物质循环受阻,变化复杂。对于淡水养殖区域来说,其输入、输出除了投饵、收获、换水等简单过程外,还必须考虑到药品和幼苗的投入、底泥的沉积和释放等过程。因此,有必要探索复杂生态环境下淡水养殖污染联用估算法的可行性。

a. 前述模型是把养殖池整个养殖过程视为一个静态的整体,从整个养殖阶段来讨论养殖水体中氮的损失。而在养殖过程中,动态地控制和掌握水环境中氮的含量,可以及时地调整和改善养殖水体生态结构,提高养殖产量和保护水环境^[20]。

b. 对估算污染负荷量应分类别、分阶段、分区域进行估测,再综合评估,有利于更加全面和科学地进行污染负荷估算。

c. 研究淡水养殖污染负荷综合估算法,即探讨前述估算模型联用的估算方法。化学分析法-物料平衡法联用,互相弥补各自方法的不足,使实际监测数据与理论物料平衡达到统一。化学分析法-竹内俊郎法联用,可以及时修正竹内俊郎法中各参数的准确度,以提高估算的准确性。物料平衡法-污染负荷率法-化学分析法联用,不但可以估算出整个养殖过程的污染负荷量,也可以得到中间过程的负荷量,以提高模型的实用价值。

d. 估算污染负荷还必须考虑投饵量、投饵类别、套养模式、投种量、投种类别、水草面积和成品收获量、底泥等因素的影响。

参考文献:

- [1] HARGEAVES J A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds[J]. Aquaculture, 1998, 166(8):181-212.
- [2] HERBERT R A. Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems[J]. FEMS Microbiology Reviews, 1999, 23(4):563-590.
- [3] COOPER L H N. The nitrogen cycle in the sea[J]. J Mar Biol Ass, 1977, 22(7):183-204.
- [4] ACOSTA-NASSAR M V, MORELL J M, CORREDOR J E. The nitrogen budget of a tropical semi-intensive freshwater fish culture pond[J]. J World Aqua Soc, 1994, 25(2):261-270.
- [5] BOYD C E. Water quality in ponds for aquaculture[M]. AL USA, Alabama Agricultural Station, Auburn University, 1990.
- [6] KROM M D, EREZ J, PORTER C B. Phytoplankton nutrient uptake dynamics in earthen marine fishponds under winter and summer conditions[J]. Aquaculture, 1989, 76(4):237-253.

(下转第 74 页)

4.4.2 增强政府监管职责的可操作性

a. 价格监管。建议在制定的《苏州市水务特许经营管理办法》中,对水务企业运营管理成本核定方法及水务行业收益率做出明确的规定。水务行业收益率水平由价格部门会同苏州市市政公用事业主管部门以及水行政主管部门依据社会平均利润水平、银行利率和物价指数等因素提出方案,报市政府确定。价格主管部门应当建立定期审价制度,每年应对收益率水平进行考核,必要时予以调整。苏州市水行政主管部门应建立成本资料数据库,对产品或者服务价格进行有效的监督管理。

b. 服务质量监督。公用事业特许经营的主要目的之一是提高运营管理效率,而效率的提高必须建立在保证产品和服务质量的基础上。就苏州水务运营管理而言,政府对被授权的水务企业的服务质量监督是最为重要的一个方面。因此,在制定的《苏州市水务特许经营管理办法》中必须建立水务行业服务质量评价考核标准,对考核标准应包含的主要指标加以立法列举,并规定具体的考核程序等。

c. 协议执行情况监督。建议在制定的《苏州市水务特许经营管理办法》中,对中期评估专家的资质要求、中期评估程序和方式以及中期评估结果的处理做出详尽的规定,以保障评估结果的科学与公正。

4.5 完善特许经营外部监督制度

在制定的《苏州市水务特许经营管理办法》中应针对社会公众监督制度做出具体规定,使之具备可操作性。①明确监督程序。对公示期间、公众建议权的具体实现方式、听证会的召开程序、公众意见效力等做出细致规定;②设立公用事业监督委员会。为使公众监督落到实处,建议成立苏州市水务特许经营监督委员会,由该委员会负责收集公众、特许经营者的意见,提出立法、监管等建议,代表公众对公用事业特许经营进行监督,作为公众个人监督权实施的一种有效补充。

参考文献：

[1]周晓花.城市水务基础设施投融资机制浅析[J].水利发展研究,2004(1):20-21.
[2]陈蓁蓁.市政公用事业特许经营制度的主要内容[J].城市燃气,2004(6):24-25.
[3]史际春,肖竹.公用事业民营化及其相关法律问题研究[J].北京大学学报:哲学社会科学版,2004,41(4):79-86.
[4]周玉华.我国推行特许权经营存在的问题与法律对策[J].法学,1999(2):39-40.
[5]张悦.谈城市水业改革与管理[J].中国建设信息,2005(13):20-23.

(收稿日期 2006-04-07 编辑 舒建)

(上接第 22 页)

[7]舒廷飞,温琰茂,周劲风,等.哑铃湾网箱养殖环境容量研究Ⅰ:网箱养殖污染负荷分析计算[J].海洋环境科学,2005(2):21-23.
[8]张玉珍,洪华生,陈能汪,等.水产养殖氮磷污染负荷估算初探[J].厦门大学学报:自然科学版,2003,142(2):223-227.
[9]黄小平,温伟英.上川岛公湾海域环境对其网箱养殖容量限制的研究[J].热带海洋,1998,17(4):58-64.
[10]MD SHAHIDUL I. Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem:review and analysis towards model development[J]. Marine Pollution Bulletin,2005,50:48-61.
[11]FUNGE-SMITH S J, BRIGGS M R P. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds:implications for sustainability[J]. Aquaculture,1998,164(8):117-133.
[12]PAEZ-OSUNA F, GUERRRO S R, RUIZ A C. Discharge of nutrients from shrimp farming to coastal waters of the Gulf of California[J]. Marine Pollution Bulletin,1999,38(7):585-592.
[13]TEICHERT D R, MARTINEZ D, RAMIREZ E. Partial nutrient

budgets for semi-intensive shrimp farms in Honduras[J]. Aquaculture,2000,190(1):139-154.
[14]MARTIN M, VERAN Y, GUELORGET O, et al. Shrimp rearing:stocking density, growth, impact on sediment, waste output and their relationships studied through the nutrition budget in rearing ponds[J]. Aquaculture,1998,164(8):135-149.
[15]LEFEBVRE S, BACHER C, MEURET A, et al. Modeling approach of nitrogen and phosphorus exchanges at the sediment-water interface of an intensive fishpond system[J]. Aquaculture,2001,195(9):279-297.
[16]程声通,陈毓龄.环境系统分析[M].北京:高等教育出版社,1998:54-104.
[17]傅国伟.河流水质数学模型及其模拟计算[M].北京:中国环境科学出版社,1987:211-269.
[18]姜世中.网箱养鱼对简阳三岔湖水库总磷浓度和溶解氧影响的模型研究[J].环境科学进展,1998(3):37-42.
[19]梁荫,施为光.黑龙江水库网箱养鱼容量的探讨[J].重庆环境科学,1997(12):43-47.
[20]舒廷飞,温琰茂,汤叶涛.养殖水环境中氮的循环与平衡[J].水产科学,2003(3):30-34.

(收稿日期 2006-06-30 编辑 徐娟)