

基于仿生算法的

Study on The Agricultural
Non-point Source Pollution Dynamic
Simulation Which Based on Bionic Algorithm

郭鸿鹏 著

农业非点源污染系统动态 模拟研究



境出版社

吉林大学 985 工程仿生平台资助出版

基于仿生算法的农业非点源污染 系统动态模拟研究

Study on the agricultural non-point source pollution dynamic
simulation which based on bionic algorithm

郭鸿鹏 著



中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

基于仿生算法的农业非点源污染系统动态模拟研究/
郭鸿鹏著. —北京: 中国环境出版社, 2013.7
ISBN 978-7-5111-1386-3

I. ①基… II. ①郭… III. ①农业污染源—非点源污
染源—污染控制—研究 IV. ①X501

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 054898 号

出 版 人 王新程
责任编辑 孔 锦 郭媛媛
助理编辑 李雅思
责任校对 尹 芳
封面设计 宋 瑞

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67187041 (学术著作图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2013 年 7 月第 1 版
印 次 2013 年 7 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 13.75
字 数 240 千字
定 价 48.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

序

近年来,在全球经济迅猛发展的同时,环境问题日益凸显并开始引人瞩目,环境污染可依污染源特点分为点源污染和非点源污染两大类。随着点源污染控制能力的提高,非点源污染的严重性逐渐显现,非点源污染的调控日益成为解决环境问题的关键,逐渐得到各国政府环境保护部门的高度重视。农业非点源污染作为主要的非点源污染,因其显著的随机性、广泛性、滞后性、模糊性以及潜伏性等特点一度被忽视,其污染扩散造成严重的后果,最直接、最显著的危害对象是水环境。

我国作为世界的人口大国、农业大国,长期粗放型的农业生产经营模式,较低的农业生产力水平、环保意识以及较差的环保技能,使得我国的农业非点源污染隐患较深,并逐渐显现。在过去的 50 多年中,中国粮食产量不断增加,其中重要的原因之一就是化肥、农药等农业投入品施用量增加。在一些地方,由于过量施用化肥造成土壤肥力持续下降,农民为维持农田生产能力,更加依赖于增施化肥,长此以往,形成恶性循环,导致农田土壤生态环境严重恶化。吉林省作为我国粮食主产区、重要的商品粮基地,仅农田化肥施用强度单项指标就远高于全国的平均水平,达到世界平均水平的 3 倍之多。为了实现农业可持续发展,实现社会主义新农村建设的基本目标,调控农业非点源污染、保护农业生态环境已成为迫在眉睫的工作任务。该研究正是在这一背景下展开的。

西方国家的非点源污染研究,多是因素分析以及污染物迁移转化机理等的模型研究,研究模型主要有:用于预测预报的 RUSLE、WEPP 和 EPIC 等模型,以及用于流域水文过程模拟的 CREAMS 和 ANSWERS 等模型,还有用于流域管理

措施评价的 AGNPS 等模型, 用于研究流域尺度污染迁移转化的 CREAM、CLEAMS、HSPF、SWMM 等模型。随着计算机技术的迅速发展, 以及与“3S”技术的结合应用, 数学运算、数据库、空间信息处理、可视化模拟、多维评价等相集合的超大型模型开始应用于非点源污染研究。我国对农业非点源污染的研究, 主要应用 AnnAGNPS 模型以及 SWAT 模型。而国内外基于仿生科学的农业非点源污染的研究及研究成果相对欠缺。鉴于此, 结合我在系统科学以及仿生科学方面的研究, 我建议作者开展“基于仿生算法的农业非点源污染系统动态模拟研究”, 将仿生学与系统科学结合起来对农业非点源污染进行动态模拟研究, 并以新立城水库为研究区进行实例系统动态模拟, 以吉林省为研究区对其农业非点源污染调控体系的建立提出政策建议。我建议作者从基于博弈论的农业非点源污染调控农户行为分析、基于仿生神经网络算法的农业非点源污染预测研究、基于 AnnAGNPS 模型的农业非点源污染系统动态模拟、基于系统动力学的新立城水库农业非点源污染系统动态模拟研究、吉林省农业非点源污染及调控现状调查与分析、吉林省农业非点源污染调控体系研究等方面进行科学深入的研究, 研究内容主要包括以下几个方面。

第一, 运用博弈论的相关模型, 分别针对农户是否参与农业非点源污染调控措施的行为决策问题、农业非点源污染调控中涉及的公共物品的供给投资问题, 从农户与农户、农户与政府的角度展开了博弈分析, 并根据博弈结果对农业非点源污染调控的有效实施提供决策支持和科学建议。

第二, 使用仿生神经网络算法, 通过确定模型输入输出节点、统计整理数据、训练模型结构以及分析训练结果等步骤, 对农业源化学需氧量和氨氮排放量进行准确计算与预测, 探讨应用该方法进行测算的可行性, 如果该方法可行, 将应用于农业源减排规划和管理中。

第三, 运用 AnnAGNPS 模型, 通过对研究区非点源污染实地调查、确定输入参数、处理空间数据以及模型运算等步骤, 对新立城水库流域进行 AnnAGNPS 模型模拟。并对模型结果进行分析, 结合该区域的年内平均降雨量, 绘制总氮、总磷以及泥沙输出量的时间分布图, 根据分布图确定污染物负荷与降水量之间的关系, 为农业非点源污染调控体系研究提供依据。

第四,应用系统动力学动态模拟模型对新立城水库流域农业非点源污染控制政策的效率评价模型进行动态模拟。通过确定模型的时间和步长、确定模型参数以及模型检验等相关步骤,得到动态模拟结果,并对结果进行分析。分别对控制政策效应动态模拟结果、控制政策效率动态模拟结果进行分析,并基于此对农业非点源污染控制政策提出了相应的政策建议。

第五,在对吉林省农业非点源污染及调控现状进行实地调研基础上,找出吉林省农业非点源污染调控的难点,确立吉林省农业非点源污染调控的目标、思路,从工程技术措施、政策制度措施、非正式制度措施等方面分类分析、总结调控措施集,进而构建了吉林省农业非点源污染调控体系。

通过以上几方面的研究工作,对吉林省农业非点源污染有了一个仿生学角度的定位,这是前所未有的;仿生学作为一门“朝阳”科学,广泛地应用于各个研究领域,具有巨大的发展空间。因此,此项研究成果,不仅具有一定的开创性,而且具有广泛的实际应用价值。这项成果不仅可以作为农业资源环境研究领域同行的参考,也可以作为政府环保部门决策的建议。我与作者同样地专注于我国“三农”问题研究,可以说是志同道合;作者更专注于农业资源环境相关问题的研究,而我更专注于农业系统工程相关领域,也可以说是相辅相成。因此,我对这项研究成果给予高度关注。受作者委托,我代为写序,敬请广大学者、同行批评指正。



吉林大学生物与农业工程学院

院长 教授 博士生导师

2013年1月24日

前 言

近几十年来,在全球经济快速发展的同时,环境恶化的趋势凸显。我国作为世界的人口大国、农业大国,情况也不容乐观。我国用世界 7%的耕地和 6%的水资源支撑着全球 22%的人口。由于我国农业整体生产力水平不高,农业科技含量较低、农民环保意识较差,特别是长期以来粗放的农业生产方式,使得农业资源短缺、生态破坏和环境污染问题日益成为制约农业可持续发展的重要因素。环境污染依来源不同可分为点源和非点源(或称作面源)污染,随着点源污染控制能力的提高,非点源污染的严重性逐渐显现,其中,农业非点源污染占越来越大的比重。目前,我国的农业污染已占到全部污染的 1/3,并呈现出来源扩大、复合交叉和时空延伸等新特征,对农业环境格局的扰动和生态系统的损害日益加剧,总体态势非常严峻。

鉴于我国的国情和粮食安全保障的巨大压力,在过去的 50 多年中,中国粮食产量不断增加,其中重要的原因之一就是化肥、农药等农业投入品施用量增加。在一些地方,由于过量施用化肥造成土壤肥力持续下降,农民为维持农田生产能力,更加依赖于增施化肥,长此以往,形成恶性循环,导致农田土壤生态环境严重恶化。至 2005 年,我国受不同程度污染的耕地面积已近 2 000 万 hm^2 , 10%以上的耕地受化肥、农药污染,程度较重的已有 133 万 hm^2 。

从总量上看,我国耕种着全球 7%的耕地,但却消耗了占全世界近 1/3 的氮肥,化肥施用量居全球第一。从强度上看,2005 年全国农作物播种总面积为 15 548.72

万 hm^2 , 化肥施用量为 4 636.8 万 t, 合计化肥施用强度为 2 982 t/万 hm^2 , 同期的世界平均化肥施用强度为 1 000 t/万 hm^2 (数据来源: 中国农业信息网, FAO 统计数据), 相比之下, 我国化肥施用强度是世界平均水平的近 3 倍。由于氮肥施用过量, 我国氮肥平均利用率仅为 35%, 大约相当于发达国家的 1/2, 过量的营养物质流失到环境中, 引发了严重的非点源污染问题: 污染地下水; 使湖泊、池塘、河流和浅海水域生态系统富营养化; 施用的氮肥中约有一半挥发, 以 N_2O 气体形式散失到空气中, 加剧温室效应。过量的氮肥形成了“从地下到空中”的立体污染。事实上, 我国不仅是世界上最大的化肥施用国, 也是最大的农药施用国。农药同样存在过度施用问题, 目前我国农药的过量施用在水稻生产中达 40%, 在棉花生产中超过了 50%。许多被禁止的农药依然在使用, 不仅对环境造成损害, 也造成食品中的有害残留。

作为东北粮食主产区的吉林省, 人均粮食占有量居全国第一, 也同样面临严重的农业非点源污染问题。2005 年, 吉林省农作物播种总面积为 49 541 万 hm^2 , 化肥施用量为 159.1 万 t, 合计化肥施用强度为 32.115 t/万 hm^2 , 高于全国平均水平, 且是世界平均水平的 3 倍之多。过量施肥是农业非点源污染的主要来源, 在我国农业非点源污染严重的情况下, 吉林省是有过之而无不及。吉林省主要江河干流水体多数都在三类以下。在 2001 年, 吉林省玉米生产成本中化肥的比例已占 2/3, 随着近年化肥施用量的逐年增加, 化肥成本在农业生产总成本中的比重更为可观。因此, 减少化肥施用, 不仅能减少非点源污染, 还可以大大降低成本, 提高经济效益。

纵观世界各国, 从发达国家到发展中国家无一例外都十分关注农业非点源污染问题, 对引起农业非点源污染的社会、经济根源进行研究, 查找体制上的原因, 逐步完善农业环境保护法规, 制定一系列保护农业环境、实现农业可持续发展的政策是当前的热点问题。温家宝总理在 2006 年 4 月于北京召开的第六次全国环境

保护大会上指出：“做好新形势下的环保工作，要加快实现三个转变：一是从重经济增长轻环境保护转变为保护环境与经济增长并重，在保护环境中求发展；二是从环境保护滞后于经济发展转变为环境保护和经济发展同步；三是从主要用行政办法保护环境转变为综合运用法律、经济、技术和必要的行政办法解决环境问题。”《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》中也明确规定：“按照谁开发谁保护、谁受益谁补偿的原则，建立生态补偿机制”。这一纲要精神也为农业非点源污染这一典型且热点的环境问题的解决方案提供了指导。此外，在可持续发展农业的评价指标体系中，面向决策的农业环境指标已经包含了农业养分使用指标、农业杀虫剂使用、农业利用指标等。其中包括了对化肥施用量、残留量、水体的考察。可见，农业环境对于农业可持续发展有着举足轻重的作用，因此，研究农业非点源污染的调控机制在现阶段不但具有必要性，更具有紧迫性。

目 录

1	农业非点源污染概述.....	1
1.1	农业非点源污染概述.....	1
1.2	基于农业工程技术的农业非点源污染防治技术体系.....	6
1.3	农业非点源污染防治技术国内外研究现状及进展.....	11
1.4	仿生算法在农业非点源污染系统模拟中的应用.....	18
1.5	农业非点源污染系统模拟模型研究.....	21
1.6	农业非点源污染管理政策研究.....	24
1.7	农业非点源污染非正式制度约束研究.....	26
1.8	农业非点源污染综合防治研究.....	26
2	农业非点源污染调控的理论分析.....	28
2.1	农业非点源污染的外部性特征解读.....	28
2.2	农业非点源污染调控的产权理论分析.....	34
2.3	基于公共物品供给理论的农业非点源污染调控分析.....	43
2.4	农业非点源污染调控中的交易费用问题.....	56
2.5	基于行为经济学理论的农业非点源污染调控分析.....	60
2.6	小结.....	65
3	基于博弈论的农业非点源污染调控农户行为分析.....	66
3.1	农户参与农业非点源污染调控措施的行为决策分析.....	67
3.2	农业非点源污染调控相关公共物品供给投资的博弈分析.....	69
3.3	博弈分析对农业非点源污染调控提出的政策建议.....	76
3.4	小结.....	77
4	基于仿生神经网络算法的农业非点源污染预测研究.....	78
4.1	仿生神经网络算法数学模型.....	79
4.2	基于仿生 BP 神经网络模型算法的农业源氨氮排放量预测.....	80

4.3	基于仿生 BP 神经网络模型的农业源化学需氧量 (COD) 的预测研究	84
4.4	小结	86
5	基于 AnnAGNPS 模型的农业非点源污染系统动态模拟	87
5.1	农业非点源污染形成机理	87
5.2	研究区概况	89
5.3	库区非点源污染调查	92
5.4	AnnAGNPS 模型	93
5.5	AnnAGNPS 模型空间数据的处理	101
5.6	AnnAGNPS 模型输入参数的确定	107
5.7	模拟结果输出	110
5.8	研究区农业非点源污染负荷分析	111
5.9	小结	113
6	新立城水库农业非点源污染系统动态模拟研究	115
6.1	系统动力学的理论与方法	115
6.2	农业非点源污染系统动力学模型的设计	121
6.3	系统动力学模型动态模拟分析基础	140
6.4	模型动态模拟结果及其分析	142
6.5	基于动态模拟结果的政策建议	147
6.6	小结	149
7	吉林省农业非点源污染及调控现状调查与分析	150
7.1	农业非点源污染现状	150
7.2	农业生产条件——导致农业非点源污染的客观因素	151
7.3	农民行为及影响因素——导致农业非点源污染的主观因素	152
7.4	政府相关部门对农业非点源污染的调控情况	155
7.5	吉林省农业非点源污染调控的难点及首要工作	156
7.6	小结	157
8	吉林省农业非点源污染调控体系	158
8.1	调控目标	158
8.2	调控思路	160

8.3 调控措施集	162
8.4 小结	177
9 结论与展望	178
9.1 结论	178
9.2 展望	184
参考文献	186
附录 1 农业非点源污染相关情况调查问卷（农户）	196
附录 2 吉林省农业非点源污染调控情况调查问卷（政府）	203
后 记	205

1

农业非点源污染概述

1.1 农业非点源污染概述

1.1.1 农业非点源污染的来源

农业非点源污染，又称农业面源污染，这是相对于点源污染而言的，指在农业生产和生活过程中产生的、未经合理处置的化肥、农药、禽畜粪便等污染源使大气圈、土壤圈、水圈中的污染物浓度升高，有害物质浓度增加，即对水体、土壤及农业生态系统造成的污染。农业非点源污染概念的具体说法不一，但不同定义的基本内涵是一致的，即在不确定的时间、不确定的地点，污染物通过蒸发、地表径流、沉积等方式汇入受纳水体、土壤所造成的污染。农业非点源污染的成因有水土流失、农药化肥的过量使用、土地利用方式的不合理等自然的和人为的原因。其污染源分散、污染物来自大面积、大范围，时空上无法定点监测。具体来说，吉林省新立城水库流域的农业非点源污染主要是由在农业生产、生活中产生的污染物质在大面积降水和径流冲刷作用下，随地面径流或经土壤、地下水系统淋滤、循环进入地表水体所造成的污染。它包括暴雨径流、大气干湿沉降及底泥释放等诸多方面，其中暴雨径流是伴随水文循环初期过程而发生的一种污染面最大、随机性最强的污染来源。

农业非点源污染的形成机理是我们进行农业非点源污染研究的基础。从本质上来说，农业非点源污染是污染物从土壤圈向水圈、大气圈的转移扩散过程。因此，农业非点源污染迁移机理包括两个方面：一是污染物在土壤圈中的扩散；二是污染物在外界条件（降水、灌溉等）下从土壤向水体扩散的过程。具体来说，农业非点源污染的形成及迁移过程是由于对农业生产中投施的化学物质处置不当和随意排放，使其扩散到土壤圈层，在土壤中的污染物受到降水、灌溉等地表径

流的作用，土壤进而迁移到水圈，同时受挥发作用影响，一部分污染物从土壤圈挥发到大气中。其迁移过程包括降雨径流、土壤侵蚀、土壤溶质渗漏和土表溶质溶出等几个相互联系、相互作用的环节。水环境的农业非点源污染是指由排放的污染物进入水体形成的水体污染。其中包括大气干沉降、大气湿沉降、降雨径流、污染物随径流流失过程和生物污染等诸多方面。

1.1.2 农业非点源污染的特点

农业非点源污染的特点主要体现在以下几个方面。

(1) 随机性

从非点源污染的起源和形成过程分析，非点源污染与区域降水过程密切相关。此外，非点源污染的形成与土壤结构、农作物类型、气候、地质地貌等因素密切相关。由于降水的随机性和其他影响因子的不确定性，非点源污染的形成也具有较大的不确定性。

(2) 广泛性

随着世界经济的发展，人工生产的许多为自然环境无法降解、消化的化学物质逐年增多，在地球表层分布广泛，随径流进入水体的污染物也随处可见，其对生态环境的影响更是深远而广泛。

(3) 滞后性

农田中农药和化肥施用造成的污染，在很大程度上与降雨和径流立即发生密切相关，同时也与农药和化肥的施用量有关。研究表明，化肥施用后，若遇到降雨，造成的农业非点源污染十分严重。而且，农药和化肥在农田存在的时间长短会影响非点源污染形成的滞后性的大小。通常情况下，农药、化肥的施用所造成的农业非点源污染是长期的。

(4) 模糊性

影响农业非点源污染的因子复杂多样。由于缺乏明确固定的污染源，在判断污染物来源时难度较大。例如不同的农药、化肥施用量在生长季节、农作物类型、施用方式、土壤性质和降水条件不同时，所导致的农药和养分的流失将会有巨大的差异，而不同因子之间又相互作用，因而，非点源污染的形成机理具有显著的模糊性。

(5) 潜伏性

以农药、化肥施用为例，使用后，若无降水或灌溉，形成的非点源污染较弱。因此，非点源污染通常直接起因于降水和灌溉的时间。地面上散落的垃圾以及其他附着于建筑物表面的污染物均是潜在的非点源污染源。

(6) 研究和控制难度大

非点源污染来源的复杂性、机理的模糊性和形成的潜伏性，为非点源污染的研究和控制增加了难度。

与点源污染相比，农业非点源污染形成过程较为复杂，其主要特点有污染发生时间不确定、污染的治理滞后、污染分布空间广泛、污染界定模糊、潜伏时间长，信息获取难度大，危害规模大，控制难度大等。农业非点源污染与点源污染之间的比较见表 1-1。

表 1-1 地表水环境非点源污染与点源污染的主要特征比较

非点源污染	点源污染
1 具有高度动力学特征，且有随机性、间歇性、变化范围常超过几个数量级	1 较稳定的水流和水质
2 最严重的影响是在暴雨中或之后，即洪水时期	2 枯季低水期影响最严重（特别是夏季中的枯水期）
3 人水口一般不能测量，不能在发生之处进行监测，真正的源头难以或无法追踪	3 人水口能测量，以离散方式测量，其影响可以直接评价
4 受雨量、雨强、降雨时间、降雨水质等水文参数影响，历时一般有限	4 与流域气候、水文关系不大，历时一般较长
5 受流域下垫面特征影响	5 与流域下垫面特征基本无关
6 几乎所有的水体受非点源污染的影响	6 一定范围的河段受到影响
7 污染物以扩散方式排放，时断时续	7 污染物以连续方式排放
8 污染物种类几乎包括所有的污染物	8 污染物种类不如非点源广泛
9 污染发生在广阔的土地上，发生地表径流的地区，即为产生非点源污染的地区	9 在连续使用的小单元土地上不断发生
10 污染物的迁移转化很复杂，与人类的活动有直接关系	10 污染物的迁移相对简单

1.1.3 农业非点源污染的定义

根据农业非点源污染的成因和特点，本书概括了农业非点源污染的概念。所谓农业非点源污染，即在农业生产过程中，因施肥、施药、畜禽粪便处理等农业生产活动而给水体、土壤等造成的具有分散性、随机性、隐蔽性、不易监测、难以量化等特征的污染。

1.1.4 农业非点源污染的危害

农业非点源污染最直接、最显著的危害对象是水环境。从世界范围来看，点

源污染得到全面控制之后,湖泊的水质达标率低于江河、海域的达标率约为 30%,江河的水质达标率约为 38%。农业非点源污染已经成为污染水环境的主要原因之一。据联合国教科文组织 1998 年公布的相关数据显示,近 20 年来世界饮用水源减少了 50%,在美国 60%的水体污染起源于非点源污染。近年来,在我国农药和化肥施用量增加、环境污染尤其是水环境污染已经成为研究中亟待探讨和解决的问题,农业非点源污染问题越发突出。农业非点源对水环境的污染主要为以下两个方面。

(1) 污染水质

20 世纪初,大量的工业废水和生活污水排放进水体,湖泊、水库、河流的水质下降,水体富营养化问题开始凸显。水体富营养化是水体生态系统整体失衡的一种污染现象。造成水体富营养化的原因有两方面:一是城市生活污水、工厂废水、废物未经处理直接排放进湖泊、水库等水体内造成大量氮、磷、碳等营养元素富集,使得蓝藻、绿藻等大量异常繁殖,消耗水体养分,不但污染水质,而且造成水生生物因缺氧死亡。二是由于农业非点源污染造成的水土流失、化肥、农药等非点源输入,造成农田附近的湖泊、水库或海湾等封闭性或半封闭性的水体营养化。据有关调查显示,我国河流氮、磷等有机污染物含量呈逐年上升趋势,有 48%的地面水源和 76%的地下饮用水源受到污染并将危及人类健康。为了治理水体污染,人们将目标放在控制营养物质来源上,特别是点源污染,其中主要是工业生产和日常生活污水中所含有的氮、磷等元素。有关部门已经制定了一系列措施有效降低了城市污水和重污染企业污水排放中的氮磷等元素的含量,但水质状况并没有得到明显改善。调查结果表明农田的氮磷营养负荷大多数都高于城镇。此时,人们开始认识到农业非点源污染对水体富营养化的作用。我国农业生产发展走的是一条高投入高产出的道路,这样的模式会造成土壤中氮、磷养分盈余,盈余的氮、磷元素随降雨进入水体,造成水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量增高,成为水体富营养化最主要的污染源之一。

(2) 损害人类健康

一方面,农药和化肥中携带的有毒、有害物质如多氯联苯等随降雨形成的地表径流进入受纳水体被水生生物吸收后,会在其体内转化,这些水生生物经过食物链进入人体,将引起人体中毒等不良后果,严重威胁人类健康。另一方面,水体尤其是地下水硝酸盐增加,对人类健康造成极大损害。世界粮农组织的统计结果表明,我国农业集约化地区的氮肥利用率不到一半,没有被农作物吸收的氮肥经自然环境的转化使地下水硝态氮、硝酸盐的比率明显上升。硝酸盐摄入人体后可经过化学作用还原成亚硝酸盐,亚硝酸盐是一种有毒物质,它直接可使人类中毒甚至致死。相关研究表明,癌症发病率与水源水的污染程度呈正比。受污染的

水还会传播肠道疾病，如伤寒、痢疾等。饮水中硝态氮和亚硝态盐的毒性试验结果见表 1-2。

表 1-2 饮水中硝酸盐、亚硝酸盐的毒性

动物名称	浓度/ (mg/L)	水中硝态氮影响	浓度/ (mg/L)	水中亚硝态氮影响
羊	120*	死亡	—	—
小羊	660	—	—	—
	1 000	16%血红蛋白变成高铁血红蛋白	—	—
犬	22~34	0.5%~56%血红蛋白变成高铁血红蛋白	—	—
	45~79	0.8%~75%血红蛋白变成高铁血红蛋白	—	—
猪	300	—	100	无
鼠	—	—	1	生长抑制生命缩短

注：* 饲料中含有硝酸盐。

1.1.5 农业非点源污染现状

20 世纪 70 年代以来，发达国家的污染控制经验表明，随着对工业废水和城市生活污水等点源污染的有效控制，非点源污染尤其是农业生产和生活引起的农业非点源污染，已经成为水环境污染最重要的来源。目前，农业非点源污染问题在全世界仍十分严峻：美国的非点源污染占污染总量的 2/3，其中农业非点源污染的贡献率为 75%左右。氮、磷营养元素是主要的农业非点源污染物质。美国环保局在提交国会的报告中指出，大量的农田养分流失是造成内陆湖泊富营养化的主要原因。在进入地表水体的污染物中，46%的泥沙、47%的总磷、52%的总氮均来自于农业径流污染。在丹麦 270 条河流中 94%的氮负荷、52%的磷负荷来自于非点源污染；荷兰来自于农业非点源污染的总氮、总磷分别占水环境污染总量的 60%和 40%。据统计，到 2020 年，OECD 国家农业总用水量将增长 15%，从农业入河的氮和 BOD 将至少增加 25%。目前，全球受农业污染源影响的陆地面积达 30%~50%，在全球不同程度退化的 12 亿 hm^2 耕地中，约 12%源于农业非点源污染。

世界银行的报道指出，中国地下水有将近 50%被农业非点源污染。据专家估算，目前中国水体氮磷污染物中来自工业、生活污水和农业非点源污染的大约各占 1/3；中国地表水的非点源污染也占很大比重，湖泊的氮磷 50%以上来自于农业非点源污染，如太湖，农业非点源氮量占入湖总氮量的 77%，磷占 33.4%。引起太湖水体富营养化的氮、磷营养中，来自农业非点源污染的分别占 38.5%、