

太湖流域浙江片区 非点源产排污核算方法

梁新强 著



科学出版社

国家水体污染控制与治理科技重大专项“太湖流域(浙江片区)
水环境管理技术集成及综合示范”课题(2012ZX07506-006) 资助出版

湖泊生态环境与治理 21

太湖流域浙江片区非点源 产排污核算方法

梁新强 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书从不同方面(农田、养殖场、农村生活、城镇暴雨径流、河道水生态)、多个尺度(小流域、大尺度流域)对农业非点源产排污、入河系数或负荷量、河道富营养化氮磷生态阈值等方面进行了核算。详细介绍了非点源产排污或入河系数核算方法的原理、优点、操作步骤、注意事项和适用范围的说明,以及具体示范实例。

本书可供从事环境、土壤、水文、生态、农业等领域的科研工作者和工程技术人员,特别是从事农业非点源污染防治的广大科技人员参考借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

湖泊生态环境与治理/中国环境科学研究院等编著. —北京:科学出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-03-046714-0

I. ①湖… II. ①中… III. ①湖泊-生态环境-环境管理-研究 IV. ①X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 302493 号

责任编辑:朱 丽 杨新政 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:铭轩堂

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 1 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2016 年 4 月第三次印刷 印张: 13 3/4 插页: 1

字数: 300 000

定价: 3200.00 元(全 24 册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《太湖流域浙江片区非点源产排污核算方法》编委会

主 编 梁新强

副主编 汪小泉

编 委 周柯锦 蒋彩萍 傅朝栋 朱思睿

徐丽贤 王知博 赵 越 苑俊丽

序

随着我国经济的快速发展,水体富营养化已成为我国重大的水环境问题之一。近年来,尽管国家大力治理淮河、海河、辽河、太湖、巢湖和滇池等流域水污染,针对不同地区的水体富营养化问题开展了加强“水源保护、水源涵养、控制氮磷排放”等一系列行动计划,但是水体富营养化问题仍然没有得到根治,这主要与非点源污染凸显密切相关。研究非点源污染物向水体的产排污系数是大多水环境治理的首要前提。然而,到目前为止还缺乏清晰的研究方法。

在国家水体污染控制与治理科技重大专项“太湖流域(浙江片区)水环境管理技术集成及综合示范”课题的资助下,参与本书撰写的科研人员对太湖流域浙江片区的水体非点源污染进行了持续、深入的研究。本书在把握国际农业非点源污染研究前沿的基础上,主要针对目前非点源污染研究领域的薄弱环节,通过实地调查、定点监测、数理统计及模型模拟相结合的方式,对研究区域农田、养殖场、农村生活、城镇暴雨径流、典型小流域、大尺度流域、河道水生态等非点源污染问题进行了研究,提出了相关产排污及入河系数或负荷量、河道富营养化氮磷生态阈值等方面的核算方法,为区域非点源污染控制提供了依据。

本书从各非点源污染核算的角度入手,内容涉及多个方面、多个尺度,既有各类非点源产排污及入河系数核算方法的原理、优点、操作步骤、注意事项和适用范围的说明,又有具体示范实例的介绍,数据翔实,图文并茂,可读性强;书中关于非点源污染核算的研究方法可为我国同类型区域相关研究提供借鉴。

梁新强

2015年3月

前 言

非点源污染是指在人们的生产和生活中,由于降雨的驱动作用,土壤泥沙颗粒、氮磷等营养物质、畜禽养殖粪便污水、农村生活污水垃圾等各种污染物质,通过地表径流、土壤侵蚀、农田排水等形式进入水环境所造成的污染。与点源污染相比,非点源污染由于其随机性强、成因复杂、潜伏周期长等特点,防治十分困难。近年来,随着点源污染逐渐得到治理,我国目前正处于污染构成快速转变时期。环境保护部发布的《2012 中国环境状况公报》显示,全国超过 30% 的河流水质不达标,其中非点源污染是无法忽视的主要原因。

太湖流域浙江片区作为中国商品粮基地,自古以来便是富庶的“鱼米之乡”。气候、土壤、地形、农耕方式等自然和人为因素的综合,使得化肥过量施用、畜禽养殖污染等问题普遍存在。鉴于此,本书撰写组所在科研团队在国家水体污染控制与治理科技重大专项“太湖流域(浙江片区)水环境管理技术集成及综合示范”课题(2012ZX07506-006)的资助下,对太湖流域浙江片区非点源污染的核算方法及具体应用进行了研究。全书共七章:

第 1 章为平原区稻田非点源产排污系数核算方法。在摸清化肥施入稻田后田面水中氮磷动态变化规律的基础上,与降雨-产流模型进行耦合,计算降雨过程中的稻田氮磷流失负荷;同时利用“3S”技术,模拟空间尺度下稻田产区非点源产排污动态变化特征。

第 2 章为规模化养殖场产排污系数核算方法。针对规模化养猪场不同生猪种类、不同清粪方法、不同污水处理方式,进行养猪场产排污的影响因素分析,监测得到养猪场产排污系数,以及养殖场污水排放口下游污染物沿程削减规律。

第 3 章为农村生活污水产排污系数核算方法。按照高、中、低三个不同经济收入水平和有无污水处理设施,对典型农户进行生活污水水质水量定位监测,并核算分析农村生活产排污系数及入河迁移转化规律。

第 4 章为城镇非点源产排污系数核算方法。确定汇水单元范围,划分屋面、道路、草地等不同类型下垫面,通过降雨期水量水质同步观测,得到降雨径流的污染负荷,并结合调查区域有效土地利用面积,计算出城镇暴雨径流造成的非点源产排污系数。

第 5 章为小流域非点源污染负荷核算方法。将研究区域的监测分为非降雨期

和降雨期监测,综合考虑降雨历时和强度,根据污染物质的加权平均浓度和监测径流量值,计算典型小流域单位面积由降雨冲刷形成的污染负荷增量。

第6章为大尺度流域非点源产排污模型核算方法。在GIS支持下,运用SWAT分布式模型对区域尺度非点源污染进行研究,识别氮磷污染负荷的空间分布,从宏观上辨识非点源污染的关键源区,为区域非点源污染控制提供科学依据。

第7章为河道富营养化氮磷生态阈值核算方法。通过实际布点采样测定水体及底泥中氮磷和叶绿素含量,建立适合研究区域的水体氮磷和叶绿素数学关系;基于国际水体叶绿素限值,计算氮磷阈值,为水体富营养化管理提供支持。

本书内容是浙江大学环境保护研究所非点源污染研究组以及浙江省环境监测中心等单位长期工作的积累,是国家水体污染控制与治理科技重大专项“太湖流域(浙江片区)水环境管理技术集成及综合示范”课题的主要成果之一,其中一些核算方法和学术观点,对发展我国非点源污染控制有一定的推动作用,也可为非点源污染定量化研究提供一定的科学依据。

由于水平有限,书中难免有错误和疏漏之处,敬请专家、学者和有关部门同志批评指正。

著 者

2015年3月

目 录

序

前言

第 1 章 平原区稻田非点源产排污系数核算方法	1
1.1 引言	1
1.2 核算方法原理与优点	2
1.2.1 核算方法原理	2
1.2.2 核算方法优点	4
1.3 核算方法要求	5
1.3.1 试验点布设原则	5
1.3.2 基础资料要求	5
1.4 系统或硬件要求	5
1.4.1 操作系统要求	5
1.4.2 硬件要求	6
1.4.3 所需软件	6
1.5 施肥情况调查方法	6
1.5.1 调查点位确定	6
1.5.2 施肥情况记录	6
1.6 稻田田面水氮磷动态变化规律测算方法	7
1.7 稻田氮磷降雨径流流失负荷估算模型构建	7
1.7.1 输入文件准备	7
1.7.2 单次稻田氮磷降雨径流流失负荷估算	11
1.7.3 多次稻田氮磷降雨径流流失负荷估算	12
1.8 适用范围与注意事项	12
1.8.1 适用范围	12
1.8.2 注意事项	13
1.9 产排污系数现有报道	13
1.10 平原区稻田非点源产排污系数核算实例	15
1.10.1 杭嘉湖平原简介	15
1.10.2 杭嘉湖平原施肥情况调查	17
1.10.3 氮磷动态变化规律研究	20

1.10.4	杭嘉湖地区稻田降雨径流流失负荷估算系统构建	25
第2章	规模化养殖场产排污系数核算方法	38
2.1	引言	38
2.2	核算方法原理与优点	39
2.3	核算方法要求	40
2.3.1	对基础资料的要求	40
2.3.2	对仪器与设备要求	40
2.4	畜禽产污监测操作规程	40
2.4.1	基础资料收集	40
2.4.2	采样点布设	40
2.4.3	采样与分析	41
2.4.4	数据处理	41
2.5	畜禽排污监测操作步骤	42
2.5.1	采样点布设	42
2.5.2	采样与分析	42
2.5.3	数据处理	42
2.6	畜禽入河监测操作步骤	42
2.6.1	采样点布设	42
2.6.2	采样与分析	43
2.6.3	数据处理	43
2.7	适用范围与注意事项	43
2.7.1	适用范围	43
2.7.2	注意事项	43
2.8	养猪场产排污系数现有报道	43
2.9	示范实例	45
2.9.1	研究区域概况	45
2.9.2	采样方法	46
2.9.3	产污系数	47
2.9.4	排污系数	49
2.9.5	入河系数	50
第3章	农村生活污水产排污系数核算方法	53
3.1	引言	53
3.2	核算方法原理与优点	53
3.3	核算方法要求	54
3.3.1	采样点位选取	54

3.3.2	采样操作	55
3.3.3	实验分析	55
3.3.4	系数核算	55
3.4	硬件设施	55
3.5	操作方法	56
3.5.1	统计调查	56
3.5.2	监测方法	56
3.5.3	监测步骤	56
3.5.4	系数核算	57
3.6	适用范围与注意事项	57
3.7	产排污系数统计	58
3.8	示范实例	58
3.8.1	研究区域概况	58
3.8.2	污水监测情况	59
3.8.3	产污系数	59
3.8.4	排污系数	59
3.8.5	入河系数	60
第4章	城镇非点源产排污系数核算方法	63
4.1	引言	63
4.2	核算方法原理与优点	64
4.3	核算方法要求	65
4.3.1	采样点位选取	65
4.3.2	采样操作	66
4.3.3	实验分析	66
4.3.4	污染负荷及系数核算	66
4.4	硬件设置	66
4.5	操作方法	67
4.5.1	城镇非点源污染资料收集	67
4.5.2	下垫面调查	67
4.5.3	采样技术	68
4.5.4	分析方法	68
4.6	适用范围及注意事项	69
4.7	城镇非点源产污系数表	69
4.8	示范实例	72
4.8.1	研究区域概况	72

4.8.2	现场监测方案	72
4.8.3	水质监测结果与分析	73
4.8.4	产排污系数核算	76
第5章	小流域非点源污染负荷核算方法	78
5.1	引言	78
5.2	核算方法原理与优点	78
5.3	核算方法要求	79
5.3.1	对基础资料的要求	79
5.3.2	监测时间及频次要求	79
5.4	硬件设置	79
5.5	操作方法	79
5.5.1	采样点布设	79
5.5.2	采样操作	80
5.5.3	数据处理	80
5.6	适用范围与注意事项	82
5.7	示范实例	82
5.7.1	研究区域概况	82
5.7.2	水质监测点布设	83
5.7.3	降雨及流量变化特征	83
5.7.4	小流域监测结果分析	84
5.7.5	小结	89
第6章	大尺度流域非点源产排污模型核算方法	91
6.1	引言	91
6.2	模型基本原理与优点	92
6.2.1	基本原理	92
6.2.2	SWAT 模型优点	96
6.3	系统或硬件设置	96
6.4	操作方法	97
6.4.1	ArcSWAT 文件内容引言	97
6.4.2	新建 SWAT 工程	98
6.5	示范实例	110
6.5.1	SAWT 模型在山区的实例应用	110
6.5.2	SWAT 模型在平原区的实例应用	130
6.5.3	小结	143
6.6	SWAT 模型应用注意事项	143

6.7 现有模型氮磷流失负荷统计	144
第7章 河道富营养化氮磷生态阈值核算方法	146
7.1 引言	146
7.2 核算方法原理与优点	146
7.2.1 核算方法原理	146
7.2.2 核算方法优点	147
7.3 核算方法要求	148
7.3.1 采样点位选取	148
7.3.2 采样时间	149
7.3.3 采样操作	149
7.3.4 实验分析	149
7.3.5 阈值测算	149
7.4 硬件设置	149
7.5 操作方法	150
7.5.1 样品采集处理及检测	150
7.5.2 实验室检测指标及其方法	150
7.5.3 数据统计和 SOM 分析	151
7.5.4 阈值计算数学模型	151
7.6 适用范围及注意事项	152
7.7 示范实例	152
7.7.1 研究方法	152
7.7.2 水体富营养化及其叶绿素 a 评价	154
7.7.3 西苕溪水系营养盐及叶绿素 a 含量时空变化规律	155
7.7.4 叶绿素 a 含量与氮磷营养盐及非营养因子的关系	156
7.7.5 水体理化因子对叶绿素以及底泥磷释放的影响	161
7.7.6 西苕流域氮磷生态阈值	162
附表 各章文献统计情况	166
附表1 文献报道的稻田氮素流失情况	166
附表2 文献报道的畜禽养殖产排污情况	177
附表3 文献报道的农村生活产排污情况	189
附表4 文献报道的城镇非点源产污情况	191
附表5 文献报道的大尺度流域非点源产污情况	194
参考文献	195
彩图	

第 1 章 平原区稻田非点源产排污系数核算方法

1.1 引言

农田氮磷流失是非点源污染的最主要组成部分,重视农业非点源污染是国际大趋势。美国等发达国家农业污染占非点源污染总量的 60%以上,成为河流污染的第一污染源(Gunes,2008)。环境保护部公布的《2012 中国环境状况公报》显示,全国超过 30%的河流和超过 50%的地下水不达标(中华人民共和国环境保护部,2014),而其中农业面源污染是罪魁祸首之一。在我国农业经济发展中,人多地少的矛盾导致农业生产对化肥施用的依赖性极强。化肥农用品的过量施用导致大量的氮、磷营养物质随着暴雨径流或农事排水进入周边水体,造成水体富营养化(仓恒瑾等,2005)。中国科学院朱兆良院士认为:“在未来几年里,工业和城市生活污水对水质污染的影响将逐渐减小,如果不采取有效措施,由作物种植和畜禽养殖业导致的面源污染,对水质和空气污染的贡献率将日益凸显。”因此,控制农业非点源污染对我国的流域污染治理具有极其重要的意义。

目前,有较多的学者对稻田产区的农业非点源污染负荷进行了估算,主要方法有输出系数法、现场监测法和模型算法三种。

(1) 输出系数法通常采用根据地区某种土地利用类型所占的面积及其对应的单位流失系数来估算污染负荷。该方法简便易行,但由于其流失系数通常为单一的经验数值,因而仅用于粗略估算。

(2) 现场监测法通常在研究区域内选择具有代表性的典型小区,同步监测降雨径流的水量 and 水质,以小区单位污染负荷为基础来估算整个流域的非点源负荷量。这种方法针对特定的小区具有较高的准确性,但由于非点源污染存在时空差异性,因而将其应用于大尺度流域的负荷估算准确性不佳(田平,2006)。

(3) 模型算法是近年来随着“3S”技术的不断成熟而发展起来的。“3S”技术在非点源模型研究中的应用使得地面信息数据的数量和质量都大大地提高,从而增强了非点源污染模型的应用性,同时也推动了大尺度流域非点源模型的快速发展。同时,地理信息系统(GIS)分层处理数据的功能方便了非点源污染的模拟、预测和管理决策,利用 GIS 工具可以做出各影响因子以及非点源污染可能性的空间分布图,并根据实际需要改变各数据层的内容和数据层叠加方式以输出不同的图像,从而对不同条件下的污染状况进行识别和管理(Niraula et al.,2013)。

模型算法可分为机理性模型和非机理性模型两大类。机理性模型的典型代表是 SWAT、AnnAGNPS 等一系列成熟软件,其本质均为利用“3S”技术为平台,在数字高程模型(DEM)及土地利用图等数据基础上将流域划分若干个集水单元,并根据各种动力学方程和经验公式来模拟污染物的迁移转化(张秋玲,2010),模拟复杂的非点源产排污机理,但建立模型对各种数据完整性要求很高,而国内环境监测体系不够完善,数据共享存在困难。非点源产排污机理相当复杂,过程太细会使模型的输入增加,操作运行成本上升(Yang Y et al., 2013)。因此目前,诸如 SCS 水文模型和通用土壤流失方程(USLE)这样的统计模型仍然被广泛应用(田平, 2006)。建立一个由主要影响因素主导的半机理性计算方法,并结合“3S”技术以反映其时空变化,可能是农业面源污染负荷估算的最实际办法。

1.2 核算方法原理与优点

1.2.1 核算方法原理

稻田产排污与旱地差异较大,主要表现在其产排污机理的特殊性上。由于水稻在耕作期间大部分时间处于淹水状态,且其周边均有修缮较好的田埂包围,除常规农事排水和降雨溢流外,污染物基本不会排放进入外界环境中。且降雨时,雨滴通常不会直接冲击土壤表面,因此其土壤的侵蚀较小,污染物的主要流失形态为水溶态及悬浮态。稻田氮素的流失途径主要有 3 种:①通过淋失进入地下水体;②通过地表径流或排水的方式进入地表水体;③以侧渗形式进入毗邻沟渠。朱兆良院士的研究报告曾指出,稻田中氮肥在施用当季的淋失损失很低,主要可能的流失途径是地表径流流失。另外,有研究表明(李慧,2008),径流流失也是磷素最主要的流失途径。因此,对稻田产区的产排污负荷主要是针对径流流失的污染物负荷量进行估算。

本书的研究中将稻田产排污视为一个“蓄满产流”模型,流失负荷计算公式采用我国科学家晏维金等提出的三状态降雨-径流模型,当降雨量造成的水位升高超过田埂高度时,田面水中的污染物通过径流的方式进入环境(图 1-1)。

在降雨 R_2 情况下,水稻田由临界状态达到径流状态,这时降雨和径流同时发生。假定降雨和水稻田水均匀混合,径流水中氮磷浓度计算如下:

$$C_{2i} = (C_{R_i} \Delta H + C_{0i} H_0) / (H_0 + \Delta H)$$

因此,水稻田瞬间磷氮径流流失量为:

$$\Delta Q_i = A \times \Delta H \times C_{2i} = A \times \Delta H \times (C_{R_i} \Delta H + C_{0i} H_0) / (H_0 + \Delta H)$$

式中, Q_i 为稻田污染物流失量(g); A 为稻田面积(m^2)。其累积磷氮径流流失量为:

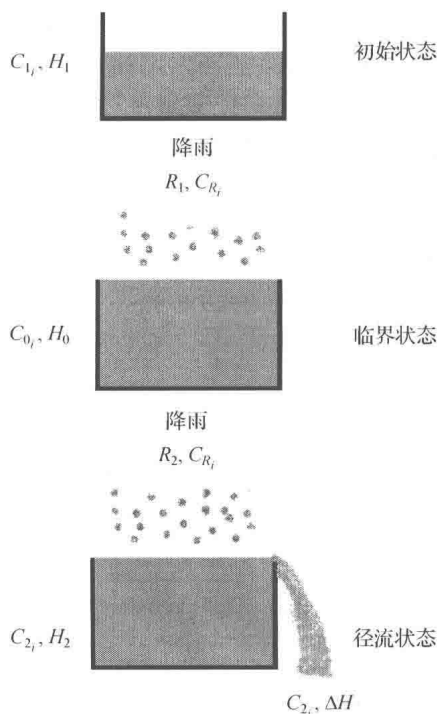


图 1-1 稻田三状态降雨-径流产流过程

C_{1_i} 为降雨前稻田田面水中污染物浓度(mg/L); C_{R_i} 为雨水中的污染物浓度(mg/L); C_{0_i} 为临界状态时稻田田面水中污染物浓度(mg/L); C_{2_i} 为径流状态时稻田田面水中污染物瞬时浓度(mg/L); R_1 为使田面水达到临界状态时的降雨量(m); R_2 为达到临界状态后的持续降雨水深(m); H_1 为降雨前稻田田面水高度(m); ΔH 为整场降雨产生的稻田径流水深(m); H_0 为稻田表面到田埂排水口高度(m); H_2 为整场降雨水深(m)

$$Q_i = \sum \Delta Q_i = A \int_0^{R_2} C_{2_i} \times dH$$

通过求积分可得单场降雨下,稻田流失负荷计算公式为:

$$Q_i = A [C_{R_i} R_2 + H_1 (C_{1_i} - C_{R_i}) (1 - e^{-R_2/H_0})]$$

稻田磷氮流失量由水稻田面积、水稻田持水量、施肥量、降雨量及排水堰等因素决定。一般,施肥可以显著地提高田面水中 N、P 等营养物质的浓度,其峰值与施肥量呈显著的正相关,该峰值大小与土壤类型也密切相关(周全来等,2006;张志剑等,2001);当田面水中 N、P 浓度达到峰值后,便逐渐衰减,其浓度随时间呈指数型的动态变化。因此,通过监测不同施肥水平及不同土壤类型下的田面水 N、P 浓度变化,并进行拟合,可用于模拟计算稻田流失负荷。

如果把降水、蒸发、田面水管理、田面水氮浓度变化、径流、径流流失等因素作为一个系统,分别以前一日的各参数和气象信息作为输入项,得到后一日的各参数,用于模型计算,便可以建立连续的负荷模拟计算模型。该模型的估算示意图如

图 1-2 所示,水量平衡和物料平衡方程如下:

水量平衡:第二天田面水初始量=第一天田面水初始量+第一天灌溉水量+第一天降雨量-第一天径流水深-第一天蒸发量;

物料平衡:第二天田面水 N(P)浓度=(第一天田面水 N(P)浓度× 第一天田面水余量+降雨中 N(P)浓度× 降雨量-径流流失 N(P)总量)/第二天田面水初始量。

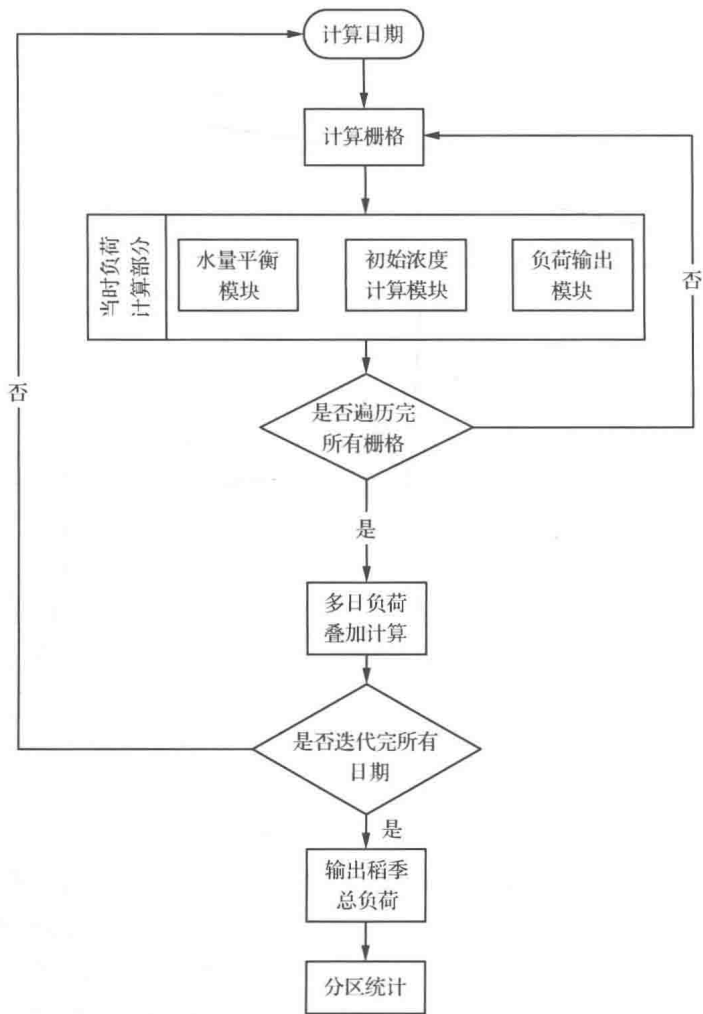


图 1-2 平原区稻田产排污模型估算示意图

1.2.2 核算方法优点

该方法通过对化肥施入稻田后田面水中污染物的迁移转化进行研究,得出其动态变化规律,并将该规律与降雨-产流模型进行耦合,用于计算降雨过程中的稻

田氮磷流失负荷;同时利用“3S”技术,将该模型应用于流域范围内,可以模拟不同尺度下的稻田产区非点源产排污动态变化规律。与传统的单一输出系数法相比,该方法更能反映出非点源产排污系数的时空变化;另外,与机理性模型相比,本方法所需基础资料和参数相对较少,模型构建较容易,运行效率较高。

1.3 核算方法要求

1.3.1 试验点布设原则

(1) 试验点布设首先考虑土壤类型,应对照该地区土壤类型分布数据,选取该地区占比较大(10%以上)的土种作为试验土壤;当条件不足时,应按照土壤亚类分别选取该亚类下占比最大的土种作为试验土壤。

(2) 所选试验点田块近5年的常规农事操作和耕作制度应在该地区具有代表性。

(3) 试验点四周应有较大面积的试验保护区,周边自然环境应较为稳定,尽量防止恶劣环境或人为影响对试验的干扰。

(4) 当研究区域范围较大时,同一土壤类型的试验点应设置平行点,扩大样本量,以保证试验结果代表性。

(5) 本试验一般以大田监测进行,当试验条件不足时可以采集原状土壤样品进行实验室模拟。

1.3.2 基础资料要求

该方法所需的基础资料及格式、精度如下:

(1) 降雨量数据:具有至少3个气象站点的日降雨量数据;

(2) 土地利用图:研究区域最新的土地利用图,格网精度1 km以内,Shapefile 或 GRID 格式;

(3) 土壤图:研究区域10年内土壤图,格网精度1 km以内,Shapefile 或 GRID 格式;

(4) 行政区划图:研究区域最新县级行政区划图,Shapefile 或 GRID 格式。

1.4 系统或硬件要求

1.4.1 操作系统要求

计算机需配备下列操作系统之一:

- Windows 7 旗舰版、企业版、专业版和家庭高级版(32 位和 64 位);