

农业非点源污染的流域单元划分方法

张水龙^x, 庄季屏^y

(xu 中国环境管理干部学院, 河北 秦皇岛 wTlavA; yu 中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 xrvawB)

摘要 H 为了正确地认识不同尺度的农业非点源污染现象的特征, 寻找不同尺度之间的联系规律, 从流域的尺度效应、流域相似性以及流域的空间单元划分等方面进行了研究, 提出一套兼顾尺度效应的以等级系统为基础的流域单元划分方法, 同时以辽西下河套小流域为例, 进行了具体的应用, 进一步充实了农业非点源污染研究的方法论。

关键词 H 农业非点源污染; 流域; 尺度效应; 相似性; 流域单元划分

中图分类号 H zyx **文献标识码** HE **文章编号** Hrvaw—wyΓΔo yuaxpax —vaxA—wA

Ξ ∈ σ⁸φ³ρ τ³⁶ φ⁰³⁸⁸χ²υ δ ξ⁸σ⁶⁷φσρ β²χ⁸ 3τ υ³² —φ³χ²⁸ s³⁹⁶πσ φ³⁰⁰⁹⁸χ² τ⁶³¹ Ξυ⁶χ⁹⁰⁸⁹⁶σ

ηΦΞυΓ s φ⁹χ³²υ^x s ηΦβΞυΓ Ψ^μχ²υ^y

ox uΔ²⁰χ³²¹σ^{28ξ0} ∈ ξ²ξυσ¹σ²⁸ Π³⁰⁰συσ 3τ Πφ²ξ s xχ²φ⁹ξ²υρξ³ wTlavA Πφ²ξ Θ

yuX⁷⁸χ⁹⁸⁸ 3τ E¹⁴⁰χρ Σ³⁰³υ³ s Πφ²σ⁷σ Eπξρσ¹³ 3τ sπ⁸πσ s φσ²³ξ²υ xrvawB Πφ²ξ ρ

Eo⁷⁸⁶ξπ⁸ H υ³² —4³χ⁸ 7396πσ 430098χ² oυ φs ρ τ⁶³¹ ξυ⁶χ⁹⁰⁸⁹⁶σ φξ⁷ oσσ²⁰συξ⁰ρσρ ξ⁷ ξ π³¹⁴⁰χ⁸σ⁸σρ σ²⁰χ⁶³²¹σ^{28ξ0} 46300σ¹ u E²ρ 32σ 3τ χ⁷ σ⁷σ²⁸ξ⁰ πφ⁶ξπ⁸σ⁸χ⁸χ⁷ χ⁷⁴ξ⁸ξ⁰ φ⁶ξ⁰χ⁸χ⁸ u X³⁶ρσ⁶⁸³ ρσ¹π⁸χ⁰σ 8φσ πφ⁶ξ⁰ξπ

8σ⁸χ⁸χ⁷ ξ²ρ χ²φσ²⁸ 6σ⁶ξ⁸χ² s 6σ⁷⁴σπ⁸χ⁰σ³ ξ⁸ ρχ^τσ⁶σ²⁸ τπξ⁰σ⁷ s 8φσ 46σ⁷σ²⁸ 4ξ¹σ⁶ χ⁰⁰⁹⁷⁸⁶ξ⁸σρ 8φσ σττσπ⁷ s τ⁷χ¹χ

0ξ⁰χ⁸ ξ²ρ 74ξ⁸ξ⁰ 92χ⁸ ρ⁰χ⁷χ² ξ⁸ 1ξ⁸σ⁶⁷φσρ 0σ⁰σ⁰ s ξ²ρ ρσ⁰σ³⁴σρ ξ¹σ⁸φ³ρ τ³⁶ 40388χ²υ 1ξ⁸σ⁶⁷φσρ 92χ⁸ 1φ^τφ

χ^{0ξ⁷σρ 32 φ^{χ⁰ξ⁰πφ^{τξ⁰}} 7378σ¹ ξ²ρ 833ω ξπ³⁹²⁸ 3τ 8φσ τπξ⁰σ σττσπ⁷ u X⁸ξ^{ωξ²υ ε^{χ⁸φσ⁸ξ³}} 1ξ⁸σ⁶⁷φσρ ξ⁷ ξ}

133ρσ⁰ s χ⁸ φξ⁷ oσσ² χ²ρ^{χ⁸ξ⁸σρ 8φξ⁸} 8φσ 463πσρ⁹⁶σ π³⁹⁰ρ 786σ²υ⁸φσ² 8φσ 1σ⁸φ³ρ³⁰³υ³ 3τ 232 —4³χ²⁸ 7396πσ 430-

098χ² τ⁶³¹ ξυ⁶χ⁹⁰⁸⁹⁶σ u

Ωσ¹³⁶ρ⁷ H²³² —4³χ²⁸ 430098χ² Θ¹ξ⁸σ⁶⁷φσρ Θ⁷πξ⁰σ σττσπ⁷; Θ⁷χ¹χ⁸ξ⁰χ⁸ Θ¹ξ⁸σ⁶⁷φσρ 92χ⁸ ρ⁰χ⁷χ²

农业非点源污染作为继工业污染之后的又一重要环境污染方式日益受到关注。一般认为非点源污染具有以下z个基本特征, 即发生上具有随机性; 排放的污染物及排放途径具有不确定性; 污染负荷的时空差异性大。其研究范围可以小到实验室内的模拟, 大到全球范围的土壤圈层, 错综复杂的内容以及以数量级变化的尺度范围, 给农业非点源污染研究带来许多困难。目前大多数研究多集中于流域范围。一般来讲, 流域的范围也相当广泛, 可以从xω^{1y}左右到上万ω^{1y}, 这就使得相邻尺度间的联系变得模糊不清, 难以寻找相同的规律。

x 流域的尺度效应及相似性

xw 流域尺度效应

在不同的空间尺度上, 事物发展过程的表现是不同的, 这种由于尺度变换而引起的不同的特征和现

象, 就叫做尺度效应。尺度效应广泛存在于自然界中, 如各种水文现象、地学现象、生态学现象等。

流域农业非点源污染也存在着这种尺度效应。在小尺度流域下, 降雨径流引起的非点源污染负荷的非线性非常明显, 随着尺度的增加, 在大尺度流域下则可作均匀非线性或线性处理。出现这样的结果, 是因为我们对不同尺度研究时考虑的变量不同。对小尺度来讲, 常常是由一些小尺度变量来支配, 如流域内微地貌、土壤、植被、降雨以及与之相联系的土地资源的配置、人类活动的方式、区域土壤水文过程、土壤侵蚀、农业化学物质投放量等等。对大尺度来讲, 则是大尺度变量如流域的地形结构、河网特征、地质演化等的变化起重要作用。在天然流域中, 各种尺度变量的变化共存。在不同尺度的流域内不同尺度的变量起主导作用, 从而使得同一种现象和过程在不同的尺度下, 表现出不同的特征。

xuy 流域相似性分析

和自然界的许多现象一样, 在流域这个自然综合

体中也有相似现象存在着。如水文相似、地貌相似、形成过程的相似等。这里,我们讨论的主要是流域形态结构方面的相似。对一个多重尺度的套合结构的天然流域来讲,在形态结构方面存在着“自相似现象”,而且表现出一定的规律。对大流域而言有许多小流域,每个小流域又有各自的子流域,这种分枝现象直观上说是一种典型的自相似性,可以运用分形几何学的方法进行研究。运用豪斯道夫维数 $D = \frac{\ln N}{\ln r}$ 的基本定义,结合 $D = 1 + \frac{\ln L}{\ln R}$ 河系定律,得到 $D = 1 + \frac{\ln L}{\ln R}$ 河网分维的计算公式:

$$D = 1 + \frac{\ln L}{\ln R}$$

考虑到 $L \propto R^D$ 则有 $D = 1 + \frac{\ln L}{\ln R}$

其中, L 表示河流分枝比, R 表示河流长度比。

通过对大量水系的分析,发现河网的典型分维值在 $1.5-2.0$ 之间,平均值为 1.7 。在天然大流域中,分维数呈现有规律的变化,维持在一个稳定的常数值左右。这表明,首先,分维数具有尺度不变性,流域自相似性是流域固有的本质特征。其二,分维数的变化范围说明流域的复杂性。这为我们选择研究对象的尺度提供了基础。

实际上,流域研究中常采取的做法是,忽略小尺度变量的影响,研究大尺度流域的规律及特征,或者仅针对某一小尺度流域进行深入的研究,也有根据流域相似性特点,对大尺度流域作粗略地划分进行研究。这些研究的共同特点是缺乏不同尺度之间的联系,小尺度研究结果不宜推广到大尺度,大尺度研究缺乏小尺度研究的基础。要建立不同尺度研究的联系,寻找尺度影响的规律,对流域进行正确的空间单元划分是研究的基础。

y 农业环境研究中空间单元划分研究的现状

y w 农业非点源污染管理中的空间单元划分

在农业面源宏观分区研究中,陈育峰, $xZZAp$, 通过适当的分区指标体系,采用层次化(分类)因子分析—聚类分析的组合物模型,进行了自然生态类型、地表水体同化能力和农业面源管理类型三个层次上的分区;然后在这三个层次的基础上进行综合,运用 TII 方法完成农业面源管理综合区划。区划中的各个空间单元,体现了非点源污染的空间差异,有利于进行宏观管理,但不利于对流域的模拟计算。

y w 农业非点源污染数学模拟中的空间单元划分

流域农业非点源污染的数学模型可分为集中型

和分散型两类,如图 x , 其建模思想的根本差异就在于对流域空间特征的处理上。表 x 李怀恩, $xZZIp$ 列举了国外几个常见的农业流域非点源污染的数学模型。在这些模型中对流域空间特征的处理可分为两类,分散型以方形网格进行单元划分,集中型则不作细分,作统一或均一处理,而且这些模型只适用于较小的流域面积,不宜推广;采用网格法划分单元不仅破坏了流域中实际的产、汇流和产、汇污过程,而且增大了收集整理模型输入资料的工作量。

图 x 几种流域农业非点源污染的空间单元划分方法

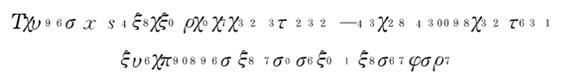


表 x 国外几个常见的农业流域非点源污染的数学模型

模型名称	Π	ξ	ρ	σ	τ
模型类型	分散	集中	分散	集中	集中
单元划分	方形网格	方形网格	方形网格	方形网格	方形网格

近年来,国内不少学者对农业非点源污染数学模型进行了研究,表 y 列举了一些具有代表性的数学模型,这些模型多以集中型为主,不易揭示非点源污染在流域内的空间分异规律。单元坡面模型是对流域进

表 y 国内代表性的几个流域非点源污染模型

模型名称	夏青	陈西平	王昕皓	李怀恩
模型类型	集中	集中	分散	集中
单元划分	单元坡面	单元坡面	单元坡面	单元坡面

三级河流的为 $\tau_{ox \leq p}$, 通过二级河流汇入三级河流的为 $\tau_{ox \geq p} \circ \tau_{ox \leq p}$ 和 $\tau_{ox \geq p}$ 值最大, 对主河流污染威胁最大 $\tau_{ox \geq p}$ 值次之, $\tau_{ox \leq p}$ 对主河流威胁最小, 因为它距流域出口断面最远, 污染物不易到达流域出口, 从天然空间位置上不具备这种潜力。当然, 各个单元对流域农业非点源污染总负荷的贡献还决定于各单元的实际产污能力, 与各单元中的土地利用, 土壤性质, 水文状况等条件有关。

第二, 不同单元的自然条件和自然资源不同, 导致了土地利用情况的差异, 因而农业非点源污染的现象和过程也不同。但是各个单元都是一个完整的天然汇水区域, 这种天然的完整性保证了不同单元之间的可比性。有研究表明 $\rho \delta \eta \omega \xi^2 P \Pi s \Psi \xi \pi \omega \sigma^3 \rho \delta s x ZEA_p$, 河流水质是流域内土地利用的函数。因此考虑各单元土地利用的综合情况, 就可以进行各单元产污能力的比较。此外, 对单个单元的研究, 有利于揭示农业非点源污染发生的过程和机制。

第三, 这种流域单元的划分有助于我们的计算, 由于它尽可能地考虑了单元内各种自然要素的天然整体性, 又包含了影响农业非点源污染的多种变量, 因而便于设计分布式参数的非点源污染计算模型。此外, 还有利于与 ΥX 等相结合, 使计算结果更精确。

最后, 有利于我们从流域的角度进行农业非点源污染的控制和管理。从管理者的角度出发, 便于辨认关键区, 实行总量控制, 实现流域水土资源的优化管理。对土地经营者来说, 便于直接指导其生产活动。根据各单元的实际情况, 合理安排农业生产布局, 采取最佳管理措施。此外, 由于在这种流域单元的划分中, 特别注意了小尺度变量, 因而可以利用某些微景观来消除农业非点源污染的影响和危害, 如河岸带植被生态系统, 小溪流, 小池塘等。

A 小结

流域农业非点源污染是一种复杂的环境污染方式。空间差异性是其基本特征之一。对流域农业非点源污染进行正确的空间单元划分, 是研究的关键。对此, 本文进行了以下几个方面的探讨:

oxp 本文在系统阐述流域尺度效应和相似性的基

础上, 指出合理的空间单元划分方法, 是揭示流域农业非点源污染在不同尺度内表现规律的基础。

oyp 通过对不同的非点源污染空间单元划分方法的对比, 指出正确的进行单元划分必须遵循流域自身固有的特征规律。

ozp 通过对流域的重新认识, 结合流域农业非点源污染现象的特点, 提出兼顾尺度效应的以等级系统为基础的流域单元划分方法, 从而将不同尺度范围的农业环境现象有机地联系在一起。

oAp 流域单元划分方法, 不仅适合于微观机理研究, 便于计算和模拟, 而且适合于宏观的规划管理, 进一步充实了农业非点源污染研究的方法论, 因而有良好的推广应用前景。

oBp 空间差异及尺度问题是环境、生态、地学等学科研究的基础问题之一。本文仅以流域为例, 从流域的空间单元划分方面作了一些初步的探讨, 以后尚需在尺度影响的内在规律、不同尺度之间各种要素的有机联系等方面进行深入的研究。

参考文献

θxk 戴志 $O\xi^{00\sigma^2} \phi s \rho^{3773} \rho u \phi^2 s \varphi \sigma T^6 \xi \pi^6 \xi^3 P \chi^1 \sigma^2 \gamma \chi^2 \rho^3 \tau s \sigma^6 \sigma \xi^1$
 $\rho s \gamma^3 \omega \theta \Psi u \delta \xi^8 \sigma^6 \rho \sigma^3 \rho^6 \pi \rho \sigma \sigma^2 \rho \varphi s x Z E Z s y B p A p H x B - \Delta x u$
 θyk 承继成 s 江美球 u 流域地貌数学模型 $\epsilon \kappa u$ 北京: 科学出版社 $s x Z E \Gamma u$
 θzk 谢平 s 梁瑞驹 u 扩散模拟型流域地貌汇流模型 Ψu 地理学报 $s x Z \Delta s B y o A p H x \Gamma - z y z u$
 θAk 戴 $\eta \omega \xi^2 P \Pi s \Psi \xi \pi \omega \sigma^3 \rho \delta u \rho^3 \rho^2 - \gamma \xi^8 \delta \xi^8 \sigma^6 \kappa^9 \xi^0 \xi^3 \Pi^2 s \rho^6 \chi^0 \rho^8 \chi^2 \tau^7 \tau^3 \rho^1 \delta \xi^2 \rho \beta^7 \sigma \theta \Psi u \Psi^2 \rho \chi^6 \rho^2 \rho^1 \sigma^2 s s^3 \sigma^1 s x Z E z - x Z E A s x z o y p u$
 θBk 陈育峰 u 环境地学分析方法及应用 $\epsilon \kappa u$ 北京: 中国环境科学出版社 $s x Z Z \Delta u$
 θTk 李怀恩 s 沈晋 u 非点源污染数学模型 $\epsilon \kappa u$ 西安: 西北工业大学出版社 $s x Z Z \Gamma u$
 θEk 夏青, 等 u 计算非点源污染负荷的流域模型 Ψu 中国环境科学 $s x Z E s B p A p H z - z \tau u u$
 θZk 陈西平 u 计算降雨及农田径流污染负荷的三峡库区模型 Ψu 中国环境科学 $s x Z Z y s x y o x p H A E - B y u$
 $\theta x \omega k$ 王昕皓 u 非点源污染负荷计算的单元坡面模型 $\theta \Psi u$ 中国环境科学 $s x Z E s B B p H y - \Gamma \Delta u$
 $\theta x \omega k$ $\rho^3 \circ \rho^3 \rho^2 \gamma \Pi \varphi \sigma^7 \sigma^6 \gamma u \rho \xi^2 \rho \circ \rho^3 \omega^3 \tau \rho^3 \rho^2 \rho^3 \chi^2 s \phi^3 \rho^9 s \chi^2 H s^3 \rho^6 \pi \sigma^7 \xi^2 \rho \epsilon \xi^2 \xi \rho \sigma^1 \sigma^2 s \omega \xi^2 \rho^3 \tau^7 \rho^6 \xi^2 \rho \rho \sigma \xi^2 \rho^3 \rho \Pi^1 4 \xi^2 s s x Z E x u$