

$\pm 5 \text{ ngNm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ in summer maize field and 43 ± 21 and $6 \pm 1 \text{ ngNm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ in winter wheat field respectively. N_2O fluxes measured by micrometeorological method were higher than those measured by chamber method. It is suggested that N_2O could be released from crops. The possible way is that N_2O generated in the soil is conveyed to the atmosphere by the transpiration stream. The differences between N_2O fluxes measured by two methods were big in winter wheat field and small in summer maize field. It is implied that the amounts of N_2O released from winter wheat canopy were larger than those from maize canopy mainly because the roots of winter wheat grew deeper than maize roots did. Chamber method has been studied in the experiments. The results showed that the air temperature inside a 0.25 m^2 chamber on the surface in a crop field could be increased by 10°C at most during half hour closure period. The small change in soil temperature has little effect on N_2O production in the soil. N_2O fluxes released from plant may be neglected or underestimated in chamber based measurements. The boundary layer resistance inside the chamber is probably higher than that outside the chamber. It may result in small magnitudes of N_2O fluxes measured by chamber method.

Key words: nitrous oxide flux; aerodynamic technique; Bowen ratio/energy balance method; chamber method; winter wheat; summer maize; boundary layer resistance

官厅水库流域非点源污染研究进展

郝芳华, 孙 峰, 张建永

(北京师范大学 环境科学研究所, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875)

官厅水库位于北京市西北 100 km 左右的永定河上, 总库容量 41.6 亿 m^3 , 流域总面积为 46 768 km^2 , 是北京市重要的供水水源地之一。流域内有洋河、桑干河两大支流, 洋河主要由东洋河、西洋河、南洋河、洪塘河、清水河等支流汇合而成, 流经怀安、万全、宣化、怀来; 桑干河与主要支流壶流河在石匣里汇流, 流经阳原、蔚县、宣化、涿鹿、怀来。由于水库水体遭受污染日益严重, 1997 年退出饮用水源地体系。根据对官厅水库的水质监测结果分析, 目前水库水质已处于中营养向富营养过渡的阶段, 某些指标如氨氮等已达到或超过富营养化水平。官厅水库的污染主要是有机污染和富营养化, 尤其是磷污染近年来还有增加的趋势。通过两年多的研究, 对官厅水库流域非点源污染进行了定性分析和定量计算, 取得了一些重要的成果和进展。

官厅水库流域非点源污染研究的范围主要包括北京市延庆县妫水河流域、门头沟区境内的永定河流域、河北省张家口境内的洋河流域和桑干河流域, 总面积为

18 416.55 km^2 , 是官厅水库水质污染的主要影响区。

官厅水库流域非点源污染负荷计算采用 SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 模型及其扩展模块 AVSWAT; 借助 GIS 技术建立官厅水库流域非点源污染空间数据库, 分析、提取流域非点源污染模拟和评价所需的各种数据。SWAT 模型是美国农业部 (USDA) 农业研究局 (ARS) 开发的流域尺度模型, 可长期预测具有多种土壤类型、土地利用方式和农业管理措施的大面积复杂流域的土壤侵蚀和农业化学物质对流域水质的影响。SWAT 模型具有运算效率高的特点, 对于大面积流域或者多种管理决策进行模拟时不需要过多的时间和投入; SWAT 模型是一个以日为时间步长的连续模型, 可以进行长期模拟。本研究通过对 SWAT 模型修正和改进, 将其应用于官厅水库流域, 进而对官厅水库流域非点源污染负荷进行计算和分析。

1 官厅水库流域非点源污染模拟数据库的建立

官厅水库流域非点源污染模拟数据库主要包括空间图层数据库和属性数据库。

空间图层数据库的建立首先要统一地理坐标和投影, 为了适合 SWAT 模型的需要, 研究中选择了 ALBERS 等积圆

锥投影。因为官厅水库流域是东西向延伸的区域,而 ALBERS 投影非常适合东西向延伸的地形;另外 ALBERS 投影后的多边形不会发生扭曲,投影后的面积与地球表面的真实面积相等,这一特征对水文过程模拟来讲尤为重要,因为流域的许多特征需要用单位面积来表示。

土地利用类型用于确定非点源污染负荷是非常重要的,土地利用类型的编码是进行非点源模拟计算的根据。因此根据官厅水库流域土地利用类型原来的分类情况,为适合 SWAT 模型非点源模拟的需要,重新将土地利用类型划分为 8 类:耕地 (AGRL)、林地 (FRST)、园地 (ORCD)、草地 (PAST)、农村居民点 (RURL)、城镇用地 (URAN)、水域 (WATR) 和裸地 (BARE)。将研究区土地利用图层 Coverage 转化为 Grid 格式,其网胞大小为 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$,并在 Grid 模块中按照土地利用类型的重新分类编码进行赋值,最终得到适于 SWAT 模型进行非点源模拟的 Grid 图;对流域土壤类型图进行了同样的转换。

属性数据库主要包括流域土地利用属性数据表、土壤类型属性数据表、气象数据表、水库水量平衡表以及农业化肥、农药施用和管理措施情况表等。SWAT 模型中有关土地利用和植被覆盖的数据通过文件 crop.dat 进行存储和计算;土壤数据主要包括两大类:物理属性数据和化学属性数据,其中物理属性是必需的,化学属性可根据需要进行选择。土壤输入文件 sol 为土壤的各个层(根据研究需要,将官厅水库流域的土壤分为 4 层,模型最多允许将土壤分为 10 层)定义了模型模拟过程所需要的物理属性;.chm 文件为土壤的各个层定义了所需要的化学属性;.wgn 文件是模型气象数据文件,主要包括流域的日降雨量、最高最低气温、太阳辐射、风速和相对湿度等,这些数据可以是统计数据,也可以通过 SWAT 模型的天气模拟程序(weather generator)生成。

为了确定官厅水库流域入水口和亚流域出水口,准确地划分亚流域,通过 DEM 生成了流域水系图;根据流域行政

区划图生成了流域内降水量、气象测站以及温度测站的空间分布图。

2 官厅水库流域非点源污染模拟

根据官厅水库流域面积、地貌特征、输入数据的详细程度等将研究区划分为 32 个亚流域;亚流域勾绘完成后,根据每个亚流域内土壤、土地利用、管理措施等情况将亚流域划分为多个水文响应单元(HRUs)。每一个水文响应单元在亚流域内具有唯一的土地利用、土壤属性和管理措施的特征,因此模型假定其在亚流域内有唯一的水文行为,本研究将官厅水库流域共分 131 个水文响应单元;最后经模型运算得到模拟结果。

3 官厅水库流域非点源污染负荷计算结果与分析

研究计算结果包括官厅水库流域 1997—1999 年分县区、分流域非点源污染负荷表(有机氮、硝态氮、有机磷、可溶性磷、泥沙吸附磷、泥沙流失量)以及各非点源污染负荷空间分布图。官厅水库流域非点源污染年均负荷总量分别为:有机氮 1 917.15 万 kgN、硝态氮 83.83 万 kgN、有机磷 234.22 万 kgP、可溶性磷 2.69 万 kgP、泥沙吸附磷 49.22 万 kgP、泥沙流失量 352.09 万 t。由计算结果可以看出,洋河流域的各项非点源污染负荷(可溶性磷除外)均大于桑干河流域和妫水河流域,究其原因主要是因为洋河流域人口密度较大,农业活动相对比较活跃,化肥使用量大,地表径流冲刷使大量化肥农药流失;洋河流域非点源污染负荷较大的另一个原因是因为洋河流域上游万全县和怀安县内有较大面积的裸地,水土流失较为严重,而且洋河流域有较多的污染企业对非点源污染负荷也有一定的贡献。

另外本研究根据设定的不同水文年(丰水年,平水年和枯水年)的降水量,对官厅水库流域典型水文年的非点源污染负荷进行了模拟,结果表明流域非点源污染负荷与降水量成正相关,随着降水量的增大,污染负荷也随之增加。