

土地利用变化背景下未来水文水质变化趋势研究

刁琪圆

江苏省江都水利工程管理处, 江苏 扬州 225200

DOI:10.61369/UAID.2026010012

摘 要 : 本文先基利用 CA-Markov 模型预测 2025 年和 2030 年土地利用基础数据, 结合水文模型模拟出未来 2025 年和 2030 年的水文(径流)和水质(总氮、总磷、生化需氧量、氨氮)的变化趋势。结果表面: 未来该地区流量呈现出较为稳定态势, 污染物浓度总呈下降趋势。

关 键 词 : 径流; 水质; CA-Markov; 土地利用

Research on Future Trends of Hydrological and Water Quality Changes Under the Background of Land Use Change

Diao Qiyuan

Jiangdu Water Conservancy Project Management Office, Jiangsu, Yangzhou, Jiangsu 225200

Abstract : This paper first uses the CA-Markov model to predict the basic data of land use in 2025 and 2030, and combines the hydrological model to simulate the changing trends of hydrology (runoff) and water quality (total nitrogen, total phosphorus, biochemical oxygen demand, ammonia nitrogen) in 2025 and 2030. The results show that the flow in this area will remain relatively stable in the future, and the concentration of pollutants will generally show a downward trend.

Keywords : runoff; water quality; CA-Markov; land use

前言

土地是人类赖以生存的物质基础, 而自然界河流的径流量和流域内水质的变化是土地利用变化的珍贵的自然回馈与信息提示^[1]。Li 等^[2]曾基于四种景观指标, 使用 CA-Markov 模型对 2000 年和 2010 年中国北京市的景观格局进行了表征分析。河北省与辽宁省交界的青龙河流域目前存在着暴雨洪水问题——水文安全和水质安全问题。鉴于此, 本文开展对河北省青龙县有关土地利用和水文水质的预测研究, 为当地规划提供基础参考。

一、研究区域概况

青龙河流域位于中国北部, 地处河北省东和辽宁省西南部交界处(北纬 40° 6′ ~41° 10′, 东经 118° 41′ ~119° 38′)。青龙河流域面积 6340 km², 全长 246 km。以山地为主, 森林占了部分面积植被覆盖率 50%~60%。流域多年平均水面蒸发量 1089mm, 最大月蒸发量 239.6mm, 70%以上的降水量发生在汛期(7~8月)。流域下游是河北省秦皇岛市的水源, 农业面源污染、农村废水、废弃物污染、以及工业废水是青龙河和桃林口水库的主要污染源^[3]。

二、研究方法

(一) CA-Markov 模型

元胞自动机模型(CA)作为时空皆离散的动力学模型, 有着较

好的空间动态模拟特性, 而马尔可夫链是一种满足马尔可夫性质的随机过程。若随机过程 Y(t) 在时刻 (n+1) 状态的概率分布只与时刻 n 的状态有关, 而与 n 以前的状态无关, 那么随机过程 Y(t) 是一个马尔可夫链, 记条件概率 $P\{Y(n+1) = j / Y(n) = i\} = P_{ij}(n)$, $P_{ij}(n)$ 为在时刻 n 的一步转移概率。

(二) 水文模型

研究采用 HSPF 模型 (Hydrological Simulation Program-FORTRAN, 该模型是一种半分布式流域模型, 集成了多种水文水质模块和分析工具 [4]) 分析分析流域径流量与污染物情况, 其中水质部分包括点源与非点源污染。HSPF 模型根据土地利用特点, 土地类型包括前期土地、不透水土地和河段。该模型可以根据土地利用和气象条件, 连续模拟透水和不透水地表、土壤剖面、河流和混合水库的水文、水力和水质的变化过程。

三、结果与讨论

（一）预测结果分析

通过模型模拟预测的图3-1，可以反映青龙河流域2025-2030年的土地利用变化趋势。根据表3-1和表3-2，未来5年年青龙河流域的城市用地增速最剧烈，草地、农田均减少。2025年与2020年相比，农业用地增长极度缓慢，几乎不变，而草地面积大量减少，减少132km²，变化的面积占到2020年草地的9.79%；2025-2030年城市用地增速继续加快，达到22.32%。随着城市用地增加，部分面积转化成林地，农田和草地的发展空间再次被挤压。

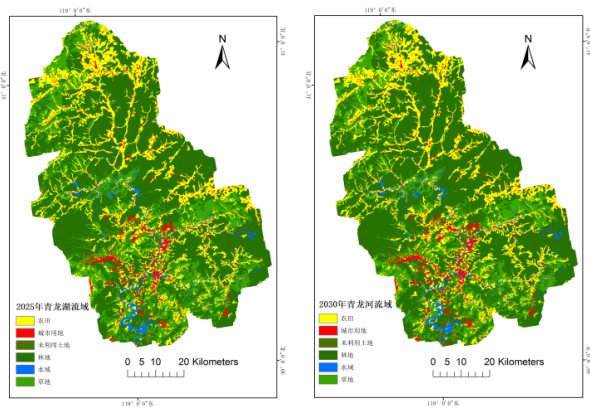


图3-1 2025年和2030年青龙河流域土地利用

表3-1 2020年和2025年土地利用状况

土地利用类型	农田	林地	草地	水域	城市用地
2020	1185.79	3221.77	1350.207	120.9924	238.5216
2025	1186.42	3330.425	1218.025	123.3531	259.0767
增长率	0.005	3.36%	-9.79%	1.95%	8.60%
变化幅度	0.62	108.655	-132.19	2.3607	20.55

表3-2 2020年和2030年土地利用状况

土地利用类型	农田	林地	草地	水域	城市用地
2020	1185.79	3221.77	1350.207	120.9924	238.5216
2030	1178.04	3399.452	1123.664	124.3791	291.7584
增长率	-0.65%	5.52%	-16.78%	2.80%	22.32%
变化幅度	-7.75	177.68	-226.54	3.39	53.24

（二）未来水文水质预测

根据图3-2，青龙河流域的流量在未来呈现出较为稳定态势。与2018年相比，2025年和2030年该流域的径流量增长缓慢。2025年最高日径流量为664m³/s，2030年日最高径流量658m³/s，变化幅度为0.9%，减少不到1%。从流域总流量的角度分析，2025年的总径流为303百万立方米，2030年预测出是298百万立方米，降低了1.6%，尽管2030年比2025年的日最大径流量和总流量都有所下降，但是相较于2018年的值相比不相上下或者略微上浮。

由于树冠、植被、落叶层及腐殖质均能起到截留和吸收水分的作用，森林一定程度地增长，能够有效截留一部分降雨量。又因为拥有森林的土壤蓄水能力比无森林地区更强，所以无论是旱季还是雨季，流域的径流量都能维持在稳定数值以上，保证了当

地具有较为稳定的水资源基础，会沿着稳定量水资源的方向继续发展。预计如果2025年和2030年气象条件稳定，未来青龙河流域会水土丰沛，资源丰富，生态宜居。

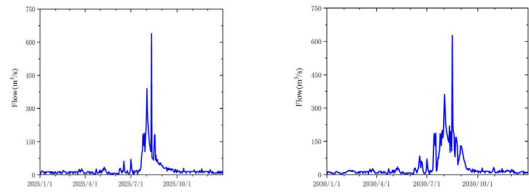


图3-2 预测 2025年2030年年径流曲线

根据图3-4、3-5、3-6和3-7，几乎所有的污染物成分都在下降，青龙河流域的水质明显进一步好转。研究从污染物浓度和整体水平分析了未来青龙河流域的水质变化和走向，污染物NH³-N的峰值从2018年的0.42变为2025年的0.35，再降到2030年0.32，一再降低；总磷TP的最大浓度也从0.19降0.1再降到0.17；总氮TP和NH³-N这两项指标的不断降低释放出一个信号，即青龙河流域的一部分水质因子向着更好更低的发展趋势。而剩下的两个指标TN和BOD在2030年与2025年的日峰值变化不明显。虽然相比较于TP和NH³-N，另外两种污染成分没有显著变化，但是总体变化趋势更加缓和，不再剧烈，以TN为例，除8月左右的其余年内时间浓度峰值2030年都明显小于2025年，大部分浓度的峰值与其他年份的同期峰值相比更小。虽然四种污染物在浓度峰值的两个角度证实了水质处于好转状态，但是污染物的年内最低值在悄然上升，尽管各自升高幅度极小。根据从河北省青龙县满族自治县政府发布内容来看，流域内的产业正在向新能源清洁能源方向转变，河流污染物减少是必然的，同时新建的产业无论如何势必会带来一定程度一定浓度的污染。这也能解释了流域内污染物的状态在峰值上有所下降，但是下降又不是完全彻底的原因。

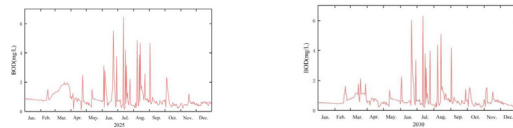


图3-3 2025年和2030年BOD预测浓度

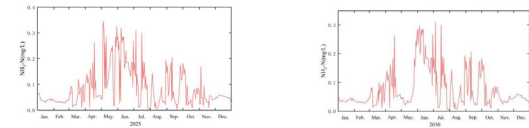


图3-4 2025年和2030年NH3-N预测浓度

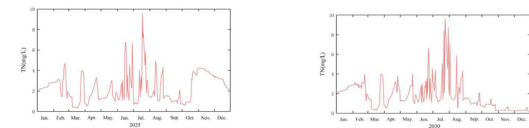


图3-5 2025年和2030年TN预测浓度

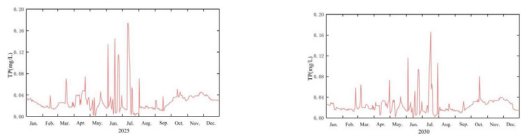


图3-6 2025年和2030年 TP 预测浓度

四、结论

(1)预计到2025年和2030年，城市用地占比增幅最大，草地

面积占比降幅最大，水域的增长较小，农田呈现出先增加后降低的趋势；

(2)2025年和2030年该流域的径流量增长缓慢，流量在未来呈现出较为稳定态势；

(3)总氮和氨氮呈现下降趋势，而 TN 和 BOD 的总体变化趋势更加缓和，不再剧烈，且大部分浓度的峰值与其他年份的同期峰值相比更小。

参考文献

[1] 邓伟志, 李叔君. 土地的生态价值与制度安排——论人与土地的和谐共处 [J]. 社会科学战线, 2008(04): 225-229.

[2] Li H, Peng J, Yanxu L, et al. Urbanization impact on landscape patterns in Beijing City, China: A spatial heterogeneity perspective[J]. Ecological Indicators, 2017, 82: 50-60.

[3] 田元, 方彦舒, 赵子岳, 等. 河北青龙河基本生态水量确定与保障浅析 [J]. 河北水利, 2021(09): 8-9.

[4] Nasr A, Bruen M, Jordan P, et al. A comparison of SWAT, HSPF and SHETRAN/GOPC for modelling phosphorus export from three catchments in Ireland[J]. Water Research, 2007, 41(5): 1065-1073.