

黄淮海平原浅层地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量的空间变异与分布特征

李保国¹, 白由路¹, 胡克林¹, 黄元仿¹, 陈德立²

(1. 中国农业大学资源环境学院, 北京 100094;

2. 澳大利亚墨尔本大学, 维多利亚 3052, 澳大利亚)

[摘要] 通过 GPS 定位取样分析和 GIS 处理, 研究了黄淮海平原浅层地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量的空间变异和分布特征。结果表明, 黄淮海平原浅层地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量在 35~50 km 的取样密度下, 没有半方差结构, 各取样点之间变异性较大; 黄淮海平原有 10% 的面积浅层地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量超过 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 主要分布在天津至济南一线和淮河流域的新蔡、阜阳和蚌埠一带。徐州至连云港一带的苏北地区及山东的潍坊地区, 浅层地下水中的 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量一般在 $10 \sim 20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间, 约占黄淮海平原总面积的 11.5%。浅层地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 的含量与地下水埋深密切相关, $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量超过 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的地下水埋深一般在 3 m 以上, 地下水埋深在 10 m 以下时, 其中的 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量均不超过 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。这表明, 目前通过土壤 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 的淋失对该区地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量影响深度一般不超过 10 m。此项研究结果对于黄淮海平原持续发展, 制定优化的高效水肥管理措施和方案有一定指导意义。

[关键词] 黄淮海平原; 地下水; $\text{NO}_3 - \text{N}$; 空间分布

氮是生命要素, 是农作物高产的主要限制因素, 却又是日益增长的环境污染因子^[1]。全世界每年约有 $8\,000 \times 10^4 \text{ t}$ 氮素进入土壤, 大量研究表明, 化学氮肥的利用率仅为 30%~40%。农田生态系统中加入的肥料氮 ($\text{NO}_3 - \text{N}$ 等) 通过径流及淋失进入水体, 不仅污染饮用水, 而且也引起河、湖富营养化, 如太湖地区 50% 的饮用水样中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 浓度超标, 38% 的井水水样浓度超标^[2]。硝态氮在地表水和地下水中的迅速增加, 不断地扩大着对饮水水源的危害面。饮水中硝态氮的浓度升高, 超过一定的限度, 直接威胁着人体健康。20 世纪 40 年代就报导了饮水中的 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 可以引起婴儿高铁血红蛋白症^[3]; 饮水中硝酸盐还有致癌的危险, 恶性肿瘤的流行病学调查表明: 胃癌与环境中

硝酸盐水平及从饮水和蔬菜中硝酸盐摄入量成正相关^[4~6]。为此许多学者都致力于地下水及环境中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 的研究^[7~9]。

黄淮海平原是我国农业资源的富集带及全国农产品的主产区, 经济地位十分显著; 近年来, 随着该地区中低产田得到改良和农业生产水平的提高, 氮肥施用量加大, 北方高产地区每公顷年施用量达 500 kg 纯氮, 局部地区地下水特别是浅层地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 的污染状况更为严峻^[10], 本文通过 GPS 定位取样和利用 GIS 进行数据处理, 研究了整个黄淮海平原地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 的含量与分布, 旨在为该区生态环境保护、水分养分资源高效利用和保证人民生活质量提供依据。

[收稿日期] 2000-09-08; 修回日期: 2000-10-16

[基金项目] 国家“九五”科技攻关资助项目 (96-004-01-14-2)

[作者简介] 李保国 (1964-), 男, 山西襄汾人, 中国农业大学教授, 博士生导师

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

本研究采用 GPS 定位技术，以石元春等 (1985) 编纂的《黄淮海平原农业图集》^[11] 为基础，对黄淮海平原进行定点取样，样点分布见图 1。设取样点 139 个，采样时间为 1998 年 4 月至 1998 年 6 月底。取样点大多为远离村庄和河流、渠道的农田灌溉用井，用井绳标记地下水水面与地面的距离，用刻度尺测量水位。同时取浅层水样盛于塑料瓶中并加入微生物活性抑制剂，带回室内在冰箱中保存，水样 NO₃-N 含量用紫外分光光度法测定^[12]，结果以含 N 量表示。

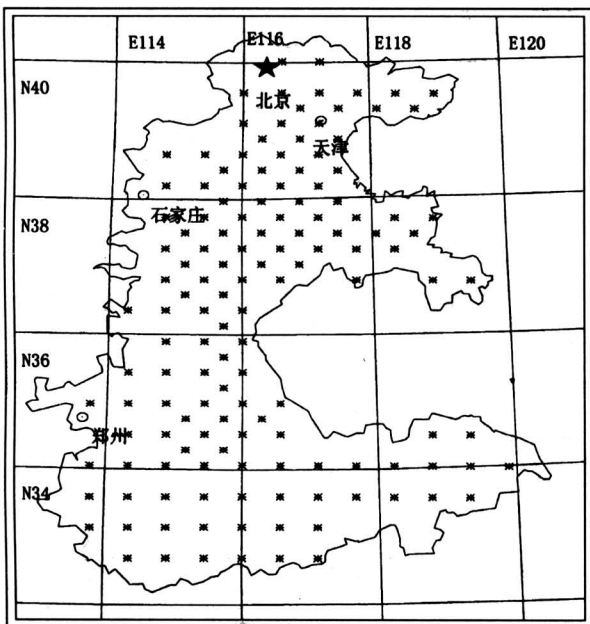


图 1 黄淮海平原浅层地下水中 NO₃-N 采样点分布示意图

Fig.1 Sampling diagram of shallow groundwater wells in Huang-Huai-Hai Plain

1.2 数据处理

本文的数据分析采用地统计学的方法^[13]，然后应用 IDRISI-GIS 软件进行有关图幅的处理和相关资料的统计。在研究中，所有图件均采用经/纬度坐标投影，插值密度设置为 0.015 度。

2 结果分析

2.1 黄淮海平原浅层地下水中 NO₃-N 的空间变异特征

2.1.1 黄淮海平原浅层地下水中 NO₃-N 的数量特征 通过对黄淮海平原 139 个采样点浅层地下水中 NO₃-N 的含量分析，统计结果示于表 1，结果表明：浅层地下水中 NO₃-N 含量低于世界卫生组织规定的饮用水水质标准 (小于 10 mg·L⁻¹) 的样点占总样点的 83.5%，低于我国规定的生活饮用水标准 (GB5749-85) (小于 20 mg·L⁻¹)^[14] 样点占 92.8%。而 NO₃-N 含量高于 100 mg·L⁻¹ 样点数有 3 个，仅占总样点数的 2.2%。从其统计量 (表 2) 来看，黄淮海平原地下水中的 NO₃-N 含量变异性较大，变异系数为 278.7%，其最大值和最小值更是差异悬殊，表明各地区之间的变异很大。

表 1 黄淮海平原地下水中不同 NO₃-N 含量范围的次数分布

Table 1 Frequency distribution of different range of nitrate N concentration of shallow groundwater in Huang-Huai-Hai Plain

NO ₃ -N 含量范围/mg·L ⁻¹	样点数/个	比例/%
0~5	78	56.12
5~10	38	27.34
10~20	13	9.35
20~100	7	5.04
>100	3	2.16

表 2 黄淮海平原地下水中 NO₃-N 含量的统计量

Table 2 Statistical results of nitrate N concentration of shallow groundwater in Huang-Huai-Hai Plain

样点数	平均/ mg·L ⁻¹	方差	标准差	变异系 数/%	最小值 /mg·L ⁻¹	最大值/ mg·L ⁻¹
139	11.57	1032.73	32.25	278.7	0.0	256.5

2.1.1 黄淮海平原浅层地下水中 NO₃-N 的空间变异 通过对黄淮海平原浅层地下水中 NO₃-N 含量的地统计学分析，结果表明：地下水中的 NO₃-N 含量在 35~50 km 间距的采样密度下，其结构方差表现不明显。即各点之间均不存在相互依赖关系，表明地下水中的 NO₃-N 含量受随机因素影响较大，而基本上不受大范围的地域因素影响，这可能是由于城市污水排放对地表水的影响进

而影响到了浅层地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 的含量。同时, 由于各地的生产水平不同, 施肥水平各异, $\text{NO}_3 - \text{N}$ 的淋失作用也会使地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 的含量有所差异, 特别是在地下水位较浅的地区表现更为明显。这样使得浅层地下水 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量在一定范围内差异表现不出地统计学上的半方差结构。

2.2 黄淮海平原浅层地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量的空间分布

采用距离平方的倒数加权平均法来进行空间插值, 然后在 GIS 上进行处理, 得到了黄淮海平原地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量的空间分布图 (图 2), 通

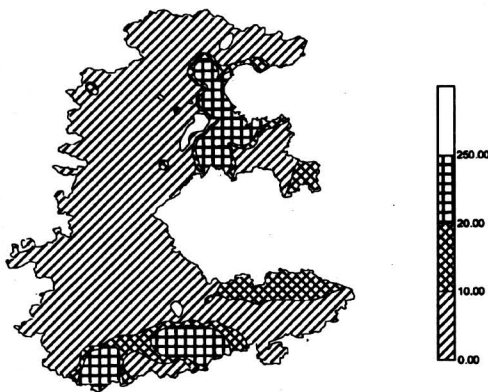


图 2 黄淮海平原浅层地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量分布图

Fig.2 The distribution map of nitrate N concentration of shallow groundwater in Huang-Huai-Hai Plain

过 GIS 分析, 可得到黄淮海平原地下水中不同 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量的面积与比列 (表 3)。结果表明,

表 3 黄淮海平原浅层地下水中不同 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量的面积估测表

Table 3 Area of different nitrate N concentration in shallow groundwater level in Huang-Huai-Hai plain

$\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量范围/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	浅层地下水	
	面积/ km^2	比例/%
0~5	164 081	52.81
5~10	76 754	24.71
10~20	35 862	11.54
20~100	29 571	9.52
>100	4 411	1.42

黄淮海平原地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量较高的区域主要分布在天津至济南一线和淮河流域的新蔡、阜阳和蚌埠一带。这些地区浅层地下水中的 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量大部分超过了 $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 其面积约占整个黄淮海平原的 10%, 约合 $3.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。也就是说在黄淮海平原淮河流域、黄河、海河滨海平原和运河以东冲积平原区浅层地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 的含量普遍超过我国规定的生活饮用水标准。在这些地区的边缘和徐州至连云港一带的苏北地区及山东的潍坊地区, 浅层地下水中的 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量一般在 $10 \sim 20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间, 面积约 $3.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

此次取样调查时, 整个黄淮海平原浅层地下水的埋深范围为 $0.5 \sim 30 \text{ m}$, 平均为 5.85 m 。通过对黄淮海平原浅层地下水埋深与地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$

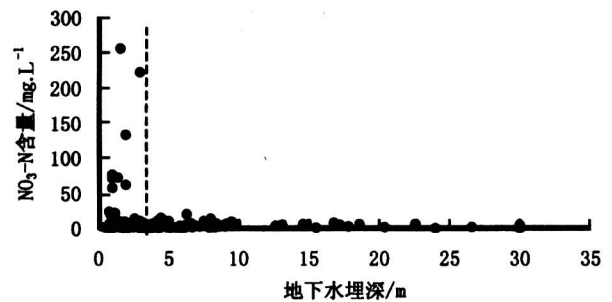


图 3 地下埋深与地下水中硝态氮含量的关系

Fig.3 The relationship between groundwater level and nitrate concentration of groundwater

含量的关系分析 (图 3), 不难看出, 地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量较高的样点, 都分布在地下水埋深较浅的地区。统计结果表明, 地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量高于 $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的样点, 其地下水埋深小于 3 m 。当地下水埋深在 10 m 以下时, 地下水中的 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量均不超过 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。地下水埋深在 $3 \sim 10 \text{ m}$ 之间时, 地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量变化在 $0 \sim 20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间。由此表明, 地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量, 根据其成因可分为两部分: 一部分受地学因素的影响, 另一部分受当地 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 淋失强度的影响。通过对黄淮海平原地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量的分析, 其受地学因素影响的背景值应在 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下, 淋失强度受地下水埋深的制约, 目前的影响深度一般在 10 m 以内, 当地下水埋深超过 10 m 时, 地表的 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 淋失对地下水中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量的影响不大, 这与其它研究结果基本一致^[7]。

在现阶段黄淮海平原约77.5%的农业地区地下水中 NO_3-N 含量低于 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

3 结论与讨论

3.1 结论

通过对黄淮海平原浅层地下水中 NO_3-N 含量的分析研究,可得到以下结论:

(1)黄淮海平原浅层地下水中 NO_3-N 含量在35~50 km的取样密度下,没有半方差结构,在本次取样尺度下,整个黄淮海平原各取样点之间变异呈随机性分布。

(2)黄淮海平原有10%的面积浅层地下水中 NO_3-N 含量超过 $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,主要分布在天津至济南一线和淮河流域的新蔡、阜阳和蚌埠一带;徐州至连云港一带的苏北地区及山东的潍坊地区,浅层地下水中的 NO_3-N 含量一般在 $10\sim 20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,约占黄淮海平原总面积的11.5%。

(3)浅层地下水中 NO_3-N 的含量与地下水埋深密切相关, NO_3-N 含量超过 $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的地下水埋深一般小于3 m,地下水埋深在10 m以下时,其中的 NO_3-N 含量均不超过 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。表明现阶段地表 NO_3-N 的淋失对地下水中 NO_3-N 含量影响深度一般不超过10 m。

3.2 问题讨论

文章仅是对整个黄淮海平原大尺度而言的,针对不同的地区,特别是范围较小时,其变化情况还应进一步探讨。由于 NO_3-N 的淋失与氮肥施用量、降雨量和灌溉用水量有密切关系^[15], NO_3-N 的淋失量和地下水埋深的动态决定了浅层地下水 NO_3-N 的含量,所以,如不采取有效的水肥管理措施,极大地提高水肥资源的利用效率,随着农业生产水平的提高,在黄淮海平原地下水埋深较浅的农区浅层地下水中 NO_3-N 含量还有可能进一步增加,其超标影响的区域范围会进一步扩大。需要指出的是,即使是在现阶段黄河、海河广大浅层地下水 NO_3-N 含量未超标的冲积平原地区,由于小城镇迅速发展和蔬菜地种植面积的扩大,局部 NO_3-N 含量已经超标^[16]。因此,浅层地下水受到 NO_3-N 污染对此地区生态环境和人类健康所

造成的影响必须引起足够的重视。

参考文献

- [1] 朱兆良.农田中氮肥的损失与对策[J].土壤与环境,2000,9(1):1~6
- [2] 赵其国.现代土壤学与农业持续发展[J].土壤学报,1996,33(1):1~11
- [3] 王英林.林县姚村公社饮水中硝酸盐与亚硝酸盐含量测定[J].中华肿瘤杂志,1979(1):201~204
- [4] Cuello C L. Gastric cancer in Colombia, 1. Cancer risk and suspect environmental agents[J].J Natl Cancer Inst.1976,57:1015~1020
- [5] Haenzel W. Stomach cancer in Japan [J].J Natl Cancer Inst, 1976,56:265~274
- [6] Fraser P. Nitrate and human cancer: A review of the evidence [J]. Intern J Epidemiology,1979, 9(3):3~11
- [7] Spalding R F. Exer M E. Occurrence of nitrate in groundwater—a review [J].J Environ Qual, 1993,22:392~402
- [8] Owens L B. Groundwater nitrate levels under fertilized grass and grass-legume pastures [J].J Environ Qual, 1994,23:752~758
- [9] 高拯民,张福珠.环境中氮素循环与氮污染研究现状与展望[J].环境科学丛刊,1983,4(4):7~12
- [10] 张维理,田哲旭,张宁.我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J].作物营养与肥料学报,1995,1(2):80~87
- [11] 石元春.黄淮海平原农业图集[M].北京:北京农业大学出版社,1985,1~15
- [12] 中华人民共和国标准(GB8538-1995),饮用天然矿泉水检验方法[S].中国标准出版社,1996,101
- [13] Vieira S R, Halfield J L. Geostatistical theory and application to variability of some agronomic properties [J]. Hilgardia, 1983,51(3):1~75
- [14] 中华人民共和国标准(GB5749-85),生活饮用水环境质量标准[S].中国标准出版社,1988
- [15] 陈子明,袁锋明,姚造华.北京潮土 NO_3-N 在土体中的移动特点及其淋失动态[J].植物营养与肥料学报,1995,1(2):71~79
- [16] 李保国,胡克林,黄元仿.区域浅层地下水硝酸盐含量评价的指示克立格法[J].水利学报,2001,(2):1~7

(下转第55页)

Outline of Strip Rolling Technological Control Theory

Zhang Jinzhi

(*Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081, China*)

[**Abstract**] Classical rolling theory, which is based on the law of the lowest resistance, the condition of constant volume and the condition of equal flow per second, has formed a fairly integrated rolling applied technology science system by means of experiment and deduction. This system reflects only the static law of rolling process, so it is necessary to control dynamic rolling process by drawing high and new technology such as cybernetics, information theory and computer science into the system. During the history of rolling theory, classical rolling theory based on mechanics took the lead before the establishment of spring equation, after that the rolling process control theory based on mechanics and cybernetics took precedence. In this paper, the concept of technological control theory is put forward. A new theory system, which is based on fundamental rolling technology control theory, is set up. Its main content included: the tension theory system in continuous rolling, which reflects the negative feedback effect of tension, is set up; disturbance survey problem is settled in gauge control process; shape theory system, which resembles gauge control theory, by defining dual parameter, is established.

[**Key words**] continuous rolling process control; tension in continuous rolling; gauge control; shape stiffness; spring equation for rolling mill; comprehensive equal reserves for load distribution

(Cont. from p. 45)

Spatial Variability and Distribution of Nitrate Content of Shallow Groundwater in Huang-Huai-Hai Plain

Li Baoguo¹, Bai Youlu¹, Hu Kelin¹, Huang Yuanfang¹, Chen Deli²

(*1. Department of Soil and Water Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China*)

(*2. Institute of Land and food Resources, Melbourne University, Parkville Victoria 3052, Australia*)

[**Abstract**] The spatial variability and distribution of $\text{NO}_3 - \text{N}$ in shallow groundwater in Huang-Huai-Hai Plain were studied by means of GPS and GIS technology. The results indicated that it did not show a spatial structure at the sampling density of 35~50 km in shallow groundwater. The spatial variability of $\text{NO}_3 - \text{N}$ content belonged to high intensity. The area of $\text{NO}_3 - \text{N}$ concentration over $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ was about 10% of the whole Huang-Huai-Hai Plain, and was mainly distributed in the zone from Tianjin to Jinan and Xincui, Fuyang and Bengbu in the Huaihe River Basin. The area of $\text{NO}_3 - \text{N}$ content in the range of $10 - 20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ was distributed in the region from Xuzhou to Lianyungang in Jiangsu Province and Weifang, in Shandong Province, which was about 11.5% of the Huang-Huai-Hai Plain. The $\text{NO}_3 - \text{N}$ concentration in the shallow groundwater was related to the groundwater depth. The $\text{NO}_3 - \text{N}$ concentration was usually over $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ when the groundwater level was less 3 m, while the $\text{NO}_3 - \text{N}$ content was less $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ when the groundwater level was over 10 m. It implied that the affecting depth of the nitrate leaching on the groundwater was less than 10 m. These results were beneficial to making decision for increasing water and fertilizer utilization efficiency and to the sustaining agricultural development in Huang-Huai-Hai Plain.

[**Key words**] Huang-Huai-Hai Plain; groundwater; nitrate; spatial distribution