

土壤含水量与氮化合物迁移转化的相关性分析

姜翠玲 夏自强 崔广柏

(河海大学水资源环境学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 :在蒸渗仪内进行的灌溉实验结果表明 ,土壤含水量的变化是影响溶液中有机质和氮化合物迁移转化的主要因素 .降雨和灌溉以后 ,随土壤含水量的上升 ,微生物活性增强 ,有机物分解和成氮作用速度加快 ,COD 和 NH_4^+ -N 浓度随之增加 , NH_4^+ -N 离子浓度的提高加速硝化作用的进行 ,但土壤含水量的增加也同时加速了 NO_3^- 离子的淋溶和反硝化作用 ,因此 ,土壤含水量与 NO_3^- -N 浓度之间没有很好的相关性 .

关键词 :污水灌溉 ;土壤含水量 ;氮化合物

中图分类号 :X53 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2003)03-0241-05

污水灌溉在我国干旱和半干旱地区已经非常普遍 ,是利用和净化污水的一种经济而且有效的方式^[1] .但在长期污灌地区 ,地下水污染和地表水的富营养化现象成了突出的问题 .污水灌溉的风险有两个 :一是污水中的污染物(如有机质、 NH_4^+ 和 NO_3^- 离子)经灌溉进入土壤 ,再随径流和下渗进入地表水和地下水 ,引起水体质量的恶化 .二是污灌导致土壤理化性质发生变化 ,如引起土壤含水量和氧气含量的变化 ,从而引起土壤中有机质、氮、磷等化合物迁移转化速度的变化 .和第一个因素相比 ,第二个因素更为重要 ,因为土壤中积累的有机质、氮和磷的量通常比污水带来的营养物质的量更加丰富 .

大多数人关心氮化合物在土壤基质中的迁移和转化过程 .但溶解在土壤溶液中的氮化合物更为活跃和复杂 ,任何土壤条件的变化都会通过吸附、解吸和离子交换作用改变溶液中氮化合物的含量 ,因此 ,溶解态氮含量变化与环境条件的改变有更密切的联系 .有很多因素影响氮的转化 ,如温度、 O_2 和土壤含水量等^[2~5] ,其中最重要的就是土壤含水量 ,因为它直接影响有机质和氮化合物的浓度 ,影响 NO_3^- 离子的淋溶 ,影响有机质的矿化作用(通过影响微生物的生长繁殖和代谢活性) ;并通过改变土壤孔隙中 O_2 的含量 ,影响了硝化和反硝化作用的速度 .在分析 NH_4^+ 和 NO_3^- 离子迁移转化的很多模型中 ,土壤含水量或水通量都被当作模拟的主要参数^[3,6,7] .土壤溶液中氮化合物在水平和垂直方向上的不稳定性和土壤含水量的变化有直接联系 .本文目的是评价土壤含水量对溶解的 COD、 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 的作用 .

1 材料和方法

污灌实验在徐州汉王实验基地($34^{\circ}11'N$, $117^{\circ}07'E$)的一对地下水位都为 3.5 m 深的蒸渗仪内进行 ,蒸渗仪于 1986 年埋设于农田中 ,面积 1 m^2 ,分别标记为 1# 和 2# ,内填充均质亚沙土——一种淮北平原的典型土壤 ,底部铺一层碎石 .

灌溉实验的前一年 ,在蒸渗仪深度为 20 cm , 60 cm ,120 cm ,180 cm ,240 cm 和 310 cm 的土层内分别安装了土壤溶液抽吸管 ,抽吸管直接与地下室的真空泵相连 ,用于抽取不同深度的土壤水溶液 .灌溉实验在每年的 8 月至 10 月 ,从 1995 ~ 1998 连续进行了 3 年 .灌溉用污水取自奎河 ,其

表 1 灌溉用污水的主要成分及浓度

Table 1 Main pollutants and their concentrations in irrigation wastewater $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

参数	COD	NH_4^+ -N	NO_2^- -N	NO_3^- -N
浓度	56.0	6.00	0.004	0.68

收稿日期 2002-10-09
基金项目 国家自然科学基金资助项目(50109001)
作者简介 姜翠玲(1966—) ,女 ,山东青岛人 ,副教授 ,博士研究生 ,主要从事生态环境研究 .

主要污染成分为 COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (表 1). 每次灌溉时间持续大约 3~5 h, 灌溉污水量为 150~180 kg. 污灌以后的第 1 d 2 d 3 d 5 d 7 d 11 d 16 d 19 d 24 d 31 d 41 d 52 d 和 60 d, 分别抽取不同土层的水溶液, 分析 pH 值及 COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的浓度. 地下水样直接在地下室通过塑料管接取. 灌溉以前和灌溉两个月以后, 用 5 cm 直径的土钻分别取 0~5, 5~20, 20~40, 40~60 cm 层次的土壤样品, 分析有机质、全氮(TN)、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量.

对污水及土壤水溶液样品分析时, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 用纳氏试剂比色法, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 用酚二磺酸比色法, COD 用重铬酸钾法(去除氯化物的干扰); pH 值用电位法.

土壤样品分析方法: TN 用硫酸消解, 半微量开氏法测定, pH 值用 0.01 M CaCl_2 浸提, 电位法测定; 有机质用重铬酸钾容量法测定, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 用 10% NaCl 浸提, 蒸馏法测定, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 用蒸馏水提取, 酚二磺酸比色法测定.

土壤含水量用中子仪测定, 降雨量和土壤温度资料取自实验基地的气象站. 基地年平均降水量为 750 mm, 降雨主要发生在每年的 6~9 月.

2 结果和讨论

2.1 有机质和氮化合物在土壤基质中的变化

有机质和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 是灌溉污水中的主要成分, 两项参数的浓度分别为 56.0 mg/L 和 6.0 mg/L, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度很低, 仅为 0.68 mg/L. 尽管灌溉增加了土壤中有有机质和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的量, 但两个月以后, 60 cm 以上的土壤基质中, 有机质和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的含量与灌溉前相比分别减少了 6.1% 和 46.3%, 而 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量增加了 50.1%, 这是土壤中发生矿化和硝化作用的结果.

2.2 有机质和氮化合物在土壤溶液中的变化

土壤溶液中 COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度的时空变化与在土壤基质中的变化趋势并不一致. 从理论上讲, COD 含量的变化取决于有机质降解的速度; NH_4^+ 离子浓度的变化受成氨作用和硝化作用的影响; $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量的变化取决于硝化和反硝化速度及降雨造成的淋溶作用. 所有这些过程都受到土壤环境条件的影响如: 温度、土壤含水量和 O_2 ^[7~9]. 实际上土壤空隙中 O_2 的变化与土壤含水量有直接关系, 因此, 灌溉以后氮的转化速度实际上主要取决于两种因素——温度和土壤含水量.

a. 温度. 从 8 月到 10 月, 基地土壤的月平均温度下降. 表层土壤的温度: 8 月份为 29.8℃, 9 月份为 24.0℃, 10 月份为 16.5℃. 温度下降减弱了微生物的代谢活性, 不利于氮的转化, 矿化、硝化和反硝化的速度都将降低^[7~10].

b. 土壤含水量. 土壤含水量受灌溉和降雨的影响. 两个蒸渗仪的污水灌溉量为 150~180 kg, 8 月下旬到 10 月下旬的降雨量为 174 mm. 土壤含水量对氮化合物含量的影响比温度的影响更加复杂, 因为降雨是难以预测和突发性的, 会引起土壤含水量的陡然上升. 土壤维持较高的含水量(50%~60%)对有机质的矿化作用、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 离子的淋溶和反硝化作用等都是有利的^[10,11]. 在实验阶段, 从 8 月下旬到 9 月中旬降雨非常频繁(如图 1 所示), 土壤体积含水量从灌溉后的 37% 上升到 50%~60% (20 cm 的表层除外), 并在以后的一个半月内基本上保持在这一水平(图 2). 这对氮化合物的转化起到了举足轻重的作用.

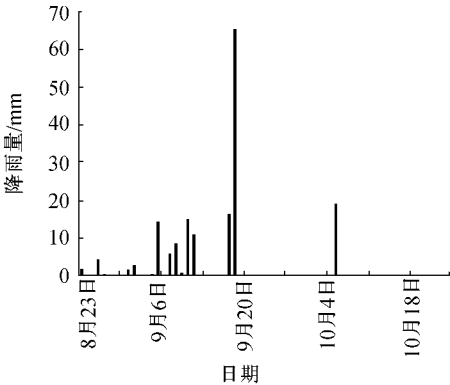


图 1 8 月到 10 月的每日平均降雨量

Fig.1 Daily precipitation from August to October

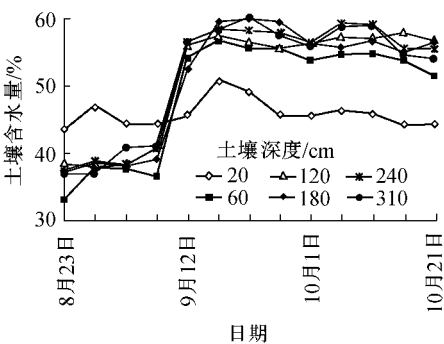


图 2 从 8 月到 10 月土壤含水量的变化

Fig.2 Variation of soil moisture from August to October

2.2.1 在水平方向上,土壤含水量变化对氮转化的影响

土壤溶液中 COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量的变化在开始 3 d 内主要受污水灌溉的影响(图 3、4),污灌水中有机质的含量为 56 mg/L,灌溉 24 h 以后,各土层抽取的土壤溶液及地下水中的有机质含量都增加.到第 2 天,整个蒸渗仪中的有机质含量快速下降,而 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的浓度在灌溉后的第 2 天上升.这说明在 8 月份的高温、高湿度条件下,污灌后矿化作用和硝化作用在土壤中迅速发生^[12].

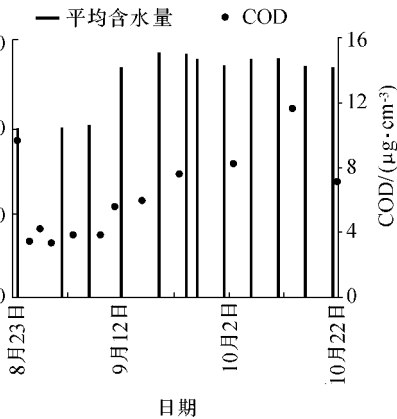


图 3 蒸渗仪中土壤平均含水量及 COD 浓度随时间的分布

Fig.3 Temporal distribution of average soil moisture and COD concentration in lysimeter over all soil profiles

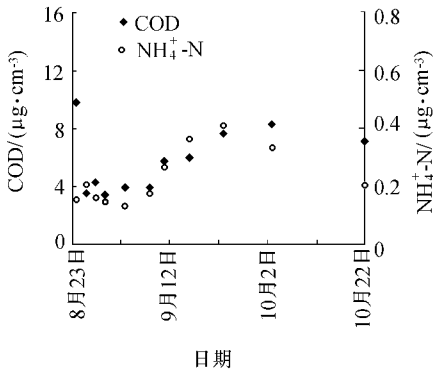


图 4 蒸渗仪中 COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 平均浓度随时间的分布

Fig.4 Temporal distribution of average concentration of COD and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in lysimeter over all soil profiles

污灌后的第 3 天出现降雨,9 月份以后,降雨量和降雨强度增加,土壤含水量从 37% 迅速上升到 50% ~ 60%.以通常的观点,当降雨发生时,随土壤含水量的增加,土壤中 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的浓度由于稀释将下降.然而,实际上溶液中的 COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度的变化与土壤含水量的变化却有很好的正相关关系,见图 3.

降雨造成土壤含水量在整个剖面上的提高,COD 和 NH_4^+ 浓度随之上升.引起 COD 浓度变化的主要原因是微生物的活动.土壤含水量的提高将加速微生物对有机质的分解,直到含水量达到 60% 时出现最大的矿化速率^[7~12].

有机氮经矿化作用产生 $\text{NH}_4^+\text{-N}$.因此, NH_4^+ 的变化直接取决于有机质的浓度.灌溉 3 d 以后, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 COD 浓度的变化有非常好的相关性(图 4).在 1# 与 2# 蒸渗仪内,两项参数的相关系数 r^2 分别为 0.82 和 0.90.但 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和土壤含水量、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的相关性很差. NO_3^- 来自于 NH_4^+ 离子的硝化作用,其含量受 NH_4^+ 离子的影响,但 NO_3^- 的浓度也同时受到淋溶和反硝化作用的影响^[13,14].降雨促进了 NO_3^- 离子的下渗和淋溶^[15],同时由于湿度增加,土壤空隙中的氧气含量降低,加速了反硝化作用的进行.降雨后 NO_3^- 离子的变化趋势几乎与 NH_4^+ 离子的变化趋势相反.

2.2.2 在垂直方向上,土壤含水量变化对氮转化的影响

在整个土壤剖面上,发现了土壤含水量对 COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度变化的相似作用结果.土壤基质中营养成分分析表明,因植物有机残体的分解,有机质和有机氮在表层含量最高,随深度增加含量降低^[8,16].氮随深度的变化也有类似情况^[17],但土壤溶液中的 COD 和 NH_4^+ 离子的最高浓度却出现在深层.在地下水水位为 3.5 m 的两个蒸渗仪中,两个月内平均含水量随深度增加而增加(图 2),COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度的变化趋势与土壤含水量有很好的正相关性.这意味着随土壤含水量的增加,有机质更容易发生分解,有机质的矿化作用导致 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度的提高.因此 COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度之间存在着很好的相关关系(1# 蒸渗仪 $r^2 = 0.86$,2# 蒸渗仪 $r^2 = 0.60$),如图 5 所示.

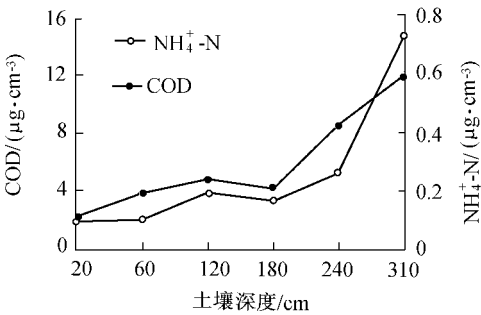


图 5 蒸渗仪中 COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 平均浓度在空间上的分布

Fig.5 Spatial distribution of average concentration of COD and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in lysimeter

土壤含水量与 NO_3^- -N 浓度之间, NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 浓度之间在垂直方向上的相关性差(1[#] 蒸渗仪 $r^2 = 0.028$ 2[#] 蒸渗仪 $r^2 = 0.036$).

3 结 论

矿化作用和硝化作用是土壤中 NH_4^+ 和 NO_3^- 离子的主要来源,灌溉后,有机质立即发生矿化作用.作为一个生物过程,有机质的分解速度取决于微生物群体的数量,土壤含水量的上升将促进微生物群体的生长和繁育,加快有机质的分解和成氮作用,提高可溶性有机物的含量.因此 COD 浓度的变化与土壤含水量之间有正相关关系, NH_4^+ -N 浓度的时空变化与 COD 之间有一致性.虽然土壤基质对有机质和 NH_4^+ 离子的吸附能力较强,但当土壤湿度长时间维持 50% ~ 60% 的条件下, NH_4^+ -N 仍可释放到土壤溶液中并下渗进入浅层地下水.在实验期间,蒸渗仪地下水中的 NH_4^+ -N 浓度曾多次出现大于 2.0 mg/L 的现象,在奎河两岸污灌区 7.5 m 深的浅层水井中, NH_4^+ -N 平均浓度为 1.44 mg/L.在降雨强度大、历时长,土壤含水量高的情况下, NH_4^+ -N 引起地下水污染的现象应引起人们的关注.土壤含水量的提高,加速了硝化作用,但同时也促进了 NO_3^- 离子的淋溶和反硝化作用, NO_3^- -N 的浓度与土壤含水量、 NH_4^+ -N 浓度之间没有好的相关性,其浓度变化是硝化、淋溶和反硝化共同作用的综合结果.

参考文献:

- [1] ANTONOPOULOS V. Simulation of water and nitrogen dynamics in soils during wastewater applications by using a finite-element model [J]. Water Resources Management, 1993, 7(2): 237—251.
- [2] LANCE J C. Fate of nitrogen in sewage effluent applied to soil [J]. J Irrig Drain Div, ASCE, 1975, 101(3): 131—144.
- [3] SELIM, H M, ISKANDAR I K. Modeling nitrogen transport and transformations in soils: 1 Theoretical considerations [J]. Soil Science, 1981, 131(4): 233—241.
- [4] LOTSE E G, JABRO J D, SIMMONS K E, et al. Simulation of nitrogen dynamics and leaching from arable soil [J]. J. Contaminant Hydro, 1992, 10(5): 183—196.
- [5] TANAKA S, FUNAKAWA S, KAEWKHONGKA T. N mineralization process of the surface soils under shifting cultivation in Northern Thailand [J]. Soil Sci Plant Nutr, 1998, 44(4): 539—549.
- [6] TILLOTSON W R, WAGENET R J. Simulation of fertilizer nitrogen under cropped situation [J]. Soil Science, 1982, 133(3): 133—143.
- [7] HUTSON J L, WAGENET R J. Simulating nitrogen dynamics in soils using a deterministic model [J]. Soil Use Manage, 1991, 7(2): 74—78.
- [8] SORENSEN J N. Effect of catch crops on the content of soil mineral nitrogen before and after winter leaching [J]. Z Pflanzenernähr Bodenk, 1991, 155(1): 61—66.
- [9] GABRIELLE B, KENGNI L. Analysis and field-evaluation of the CERES models' soil components: nitrogen transfer and transformations [J]. Soil Sci Soc Am J, 1996, 60(6): 142—149.
- [10] MARTINEZ J, GUIRAUD G. A lysimeter study of the effects of a ryegrass catch crop, during a winter wheat maize rotation, on nitrate leaching and on the following crop [J]. Journal of Soil Science, 1990(5): 415—416.
- [11] TRIPATHI B P, LADHA J K, TIMSINA J, et al. Nitrogen dynamics and balance in intensified rainfed lowland rice-based cropping system [J]. Soil Sci Soc Am J, 1997, 61(2): 812—821.
- [12] FRISSEL M J, VAN VEEN J A. Simulation model for nitrogen immobilization and mineralization [A]. In: ISKANDAR I K. Modeling Wastewater Renovation by Land Disposal [C]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1981. 359—381.
- [13] ROSSI N, CIAVATTA C, ANTISARI L V. Seasonal pattern of nitrate losses from cultivated soil with subsurface drainage [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1991, 60(8): 1—10.
- [14] SHRESTHA R K, LADHA J K. Nitrate in groundwater and integration of nitrogen-catch crop in rice-sweet pepper cropping system [J]. Soil Sci Soc Am J, 1998, 62(6): 1610—1619.
- [15] BOWEN W T, JONES J W, CARKY R J, et al. Evaluation of the nitrogen submodel of CERES-Maize following legume green manure incorporation [J]. Agron J, 1993, 85(1): 153—159.
- [16] TONER C V, SPARKS D L, CARSKI T H. Anion exchange chemistry of Middle Atlantic soils: charge properties and nitrate retention kinetics [J]. Soil Sci Soc Am J, 1989, 53(4): 1061—1067.

[17] JIANG Cui-ling ,XIA Zi-qiang ,LIU Ling. Migration and transformation of nitrogen compounds in soil[A]. In ‘ZHANG Jia-bao ,ROTH Kurt ,CAO Zhi-hong æt al æds. Transport of Contaminants in Vadose Zone and Prevention of Groundwater Pollution[C]. Nanjing ‘Southeast University Press ,1999. 149—156.

Correlation between soil moisture and transport and transformation of nitrogen compounds

JIANG Cui-ling , XIA Zi-qiang , CUI Guang-bo

(College of Water Resources and Environment , Hohai Univ . , Nanjing 210098 , China)

Abstract :Experiments of wastewater irrigation in lysimeters show that the soil misture is a main factor affecting the transport and transformation of N compounds . The increase of soil moisture caused by rainfall and irrigation inspires the activities of microorganism and accelerates the decomposition of organic matters ,prompting ammonification and raising the concentrations of COD and NH₄⁺ -N . Even though the increase of NH₄⁺ -N accelerates the process of nitrification ,the rise of soil moisture speeds up leaching and denitrification of NO₃⁻ simultaneously ,therefore ,no good correlation exists between the soil moisture and the concentration of NO₃⁻ -N .

Key words :wastewater irrigation ; soil moisture ; N compounds

·书评·

《中国暴雨》

暴雨研究对于我国的水利水电建设和防洪减灾工作而言 ,是一项不可或缺的科学基础 .分析研究暴雨时空分布的资料信息 ,掌握雨情变动和发展规律 ,预测未来可能出现的暴雨情势 ,是规划、设计、管理各种水利水电工程和防洪减灾措施的依据 .建国后的半个世纪 ,随着我国水利建设的发展 ,有关主管部门投入大量人力和财力资源从事暴雨的研究 ,积累了海量的观测信息 ,以及一大批极其宝贵的研究成果 .我国地域辽阔 ,气候和自然条件复杂 ,形成暴雨特性(暴雨量极值、统计特征、时面深关系、时面雨型、暴雨日数、季节变化等) 的多样性 ,在世界各国中是极为罕见的 ,因此我国对暴雨研究的深度和广度也居世界的前列 .

王家祁先生自 1955 年开始 ,数十年如一日 ,锲而不舍地潜心从事暴雨研究 .从一站一次暴雨观测数据的核算 ,到全省全国暴雨特征的汇总和拼图 ,事无巨细他都极端的认真负责 .我国水利水电部门的所有有关暴雨的研究成果 ,几乎无一例外地都饱含王先生的心血 .王家祁先生的暴雨研究基础扎实 ,广泛地吸取气象和地理学科的研究成果 ,而且非常注意国际科研动态 ,造诣很深 ,先后发表很多学术水平高、内容有创见、居学科领先地位的论文 ,受到国内外专家和同行的关注 .改革开放后 ,王家祁先生一如既往以中国暴雨研究为己任 ,他精心整理了毕生的研究心得和成果 ,将全部精力投入《中国暴雨》的编写 .

《中国暴雨》中首先是深入浅出地介绍了暴雨的基础知识、我国雨洪特性及设计暴雨的基本概念 .其核心部分是对我国暴雨特性进行全面系统的研究 ,由于多数是属于对实际资料统计分析归纳得出的经验规律 ,因此书中详尽地说明了研究的资料基础和分析方法 ,特别是作者严肃认真地根据时间和空间尺度分别进行分析 ,力求得出符合实际的科学规律 .这些特点在国内外有关文献中都是绝无仅有的 ,达到国际领先的水平 .王家祁先生考虑到今后暴雨研究的持续进行 ,他不遗余力地收集和整理了我国 300 多次大暴雨的基本资料 ,编辑成册列为附录 ,为后人提供重要的基础资料和分析线索 .

《中国暴雨》的出版 ,不仅使王家祁先生毕生潜心研究的成果得以面世 ,也使我国一大批暴雨研究的宝贵资料和成果得到抢救 ,对于广大的水利水电科技人员 ,是一件非常令人欣慰的事 .在编辑、版面设计、图表编排、插图的准确度和清晰度、装帧的美感等方面 ,在国内出版的科技图书中也都是很难见到的 .

淮海大学教授 朱元生