

陕西秦岭北麓猕猴桃主产区水质动态变化研究

王时茂, 曲婷, 胡皓翔, 徐肖阳, 高晶波, 陈竹君, 周建斌

引用本文:

王时茂, 曲婷, 胡皓翔, 等. 陕西秦岭北麓猕猴桃主产区水质动态变化研究[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(12): 2853–2859.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0726>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

淳沱河冲洪积扇地下水硝酸盐含量的空间分布特征及影响因素

刘琰, 乔肖翠, 江秋枫, 昌盛, 朱媛媛, 王山军, 郑丙辉

农业环境科学学报. 2016, 35(5): 947–954 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016.05.019>

降雨和施肥对秦岭北麓俞家河水质的影响

郭泽慧, 刘洋, 黄懿梅, 晏江涛, 腾飞, 王永斌

农业环境科学学报. 2017, 36(1): 158–166 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016-0893>

猕猴桃园氮素投入特点及硝态氮累积和迁移特性研究

高晶波, 路永莉, 陈竹君, 周建斌

农业环境科学学报. 2016(2): 322–328 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016.02.016>

密云水库上游流域地下水中氮素污染特征及影响因素

鲁垠涛, 冷佩芳, 秦蔚, 常天奇, 刘芳, 姚宏

农业环境科学学报. 2016, 35(1): 148–156 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016.01.020>

洪湖养殖区水环境中微生物的耐药性及其群落功能多样性研究

关川, 童蕾, 秦丽婷, 刘慧

农业环境科学学报. 2018, 37(8): 1748–1757 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-1460>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王时茂, 曲婷, 胡皓翔, 等. 陕西秦岭北麓猕猴桃主产区水质动态变化研究[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(12): 2853–2859.

WANG Shi-mao, QU Ting, HU Hao-xiang, et al. Dynamic water quality changes in a kiwifruit production area of the northern Qinling Mountains[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(12): 2853–2859.



开放科学 OSID

陕西秦岭北麓猕猴桃主产区水质动态变化研究

王时茂^{1,2}, 曲婷^{1,2}, 胡皓翔^{1,2}, 徐肖阳^{1,2}, 高晶波^{1,2}, 陈竹君^{1,2}, 周建斌^{1,2*}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 农业农村部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为探究陕西秦岭北麓地区集约化猕猴桃生产对地表水及地下水水质的影响,在每月中旬定点监测了2019年度眉县主产区不同土地利用方式(居民区、果园区和自然植被区)下24个地下水(潜水和深水各12个)及8个地表水硝酸盐含量、电导率(EC)及盐基离子含量等。结果表明:自然植被区地表水硝酸盐含量变化平稳,未发现硝酸盐超标现象;而猕猴桃集中产区地下水及地表水硝酸盐超标严重,地表水超标率 $>10\text{ mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)]为31.82%,潜水位地下水超标率 $>10\text{ mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)]为93.27%,深水位地下水超标率 $>10\text{ mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,GB/T 14848—2017)为57.41%。地下水及地表水硝酸盐含量变化与眉县施肥时期变化趋势基本一致,峰值主要出现在6月及11月施肥时期;9月潜水位地下水硝酸盐有明显下降,这与9月长时间的高降雨量有关。猕猴桃集中区地表水及地下水EC、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及 Cl^{-} 等离子含量相比居民区与自然植被区也显著增加,其中水体EC与 NO_3^{-} 、 Cl^{-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 等离子含量间呈显著的正相关关系。研究表明,秦岭北麓猕猴桃产业的发展显著增加了地表水的硝酸盐含量,导致当地水质恶化。

关键词:种植模式;秦岭北麓;猕猴桃;水质;硝酸盐;水化学因子

中图分类号:X52 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2020)12-2853-07 doi:10.11654/jaes.2020-0726

Dynamic water quality changes in a kiwifruit production area of the northern Qinling Mountains

WANG Shi-mao^{1,2}, QU Ting^{1,2}, HU Hao-xiang^{1,2}, XU Xiao-yang^{1,2}, GAO Jing-bo^{1,2}, CHEN Zhu-jun^{1,2}, ZHOU Jian-bin^{1,2*}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Northwest Key Laboratory of Plant Nutrition and Agricultural Environment, Ministry of Agriculture and Rural Areas, Yangling 712100, China)

Abstract: To explore the effects of intensive kiwifruit production on the quality of surface- and groundwater in the northern piedmont of the Qinling Mountains, Shaanxi, a total of 32 samples [8 from surface water and 24 from well water (12 from shallow well at depth 2~18 m and 12 from deep well at depth $>100\text{ m}$)] were collected from different land use types, such as orchards, residential areas, and natural vegetation areas, during different months. The measured water quality indices included electrical conductivity (EC) and potassium (K^{+}), sodium (Na^{+}), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), chlorine (Cl^{-}), and sulfate (SO_4^{2-}) contents. The results showed that changes to surface water nitrate content were slower in natural vegetation areas and did not exceed the standard limit. However, groundwater and surface water nitrate contents considerably exceeded the standard in kiwifruit production areas, as around 31.82% of surface water samples $>10\text{ mg N}\cdot\text{L}^{-1}$, quality standard for surface water (GB 3838—2002)], 93.27% of groundwater samples, and 57.41% of deep groundwater samples exceeded their respective standard limits $>10\text{ mg N}\cdot\text{L}^{-1}$, quality for ground water (GB/T 14848—2017)]. The changes in groundwater and surface water nitrate contents were essentially consistent with the changes in fertilization practices, and nitrate content generally peaked

收稿日期:2020-06-28 录用日期:2020-09-03

作者简介:王时茂(1996—),男,河南焦作人,硕士研究生,主要从事秦岭北麓猕猴桃产区氮素盈余状况及效应方面的研究。

E-mail:shimaow0840@163.com

*通信作者:周建斌 E-mail:jbzhou@nwsuaf.edu.cn

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0200106);国家自然科学基金项目(41671295)

Project supported: The National Key R&D Program of China(2017YFD0200106); The National Natural Science Foundation of China(41671295)

during the fertilization periods in June and November. The shallow groundwater nitrate content significantly declined in September, which was consistent with the long-term high rainfall observed in September. The surface water and groundwater EC, Ca^{2+} , Mg^{2+} , and Cl^- contents were also significantly increased in kiwifruit production areas. In addition, there were significant positive correlations between EC and NO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , and Na^+ contents. The issue of excessive groundwater nitrate in the main kiwifruit production area in the northern foothills of the Qinling Mountains, Shaanxi is severe, and effective measures should be implemented to solve this problem.

Keywords: land use; Qinling Mountains; kiwifruit; water quality; nitrate; water chemical factors

20世纪60年代末和70年代初地下水中的氮污染问题曾在欧美一些国家引起公众关注。硝酸盐虽对人体无直接危害,但其被还原为亚硝酸盐后会诱发高铁血红蛋白症、消化系统癌症等疾病,威胁人体健康^[1]。因此,地下水硝酸盐含量水平成为评价地下水水质的重要指标之一。自20世纪80年代以来,我国农业中单位播种面积氮肥用量从 $64.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到 $139.64 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,增加了1.2倍^[2]。施用氮肥在提高作物产量方面发挥了巨大作用,但过量施肥导致氮素以硝酸盐的形式大量累积在土壤剖面^[3-5]。

硝酸盐在土壤剖面大量累积造成了地下水及地表水的污染^[6-8]。有研究发现,降雨及农业灌溉促使土壤硝酸盐向下淋溶。Zhou等^[9]6年的试验表明,在强降雨及灌溉之后,硝酸盐累积的峰值向下移动了120 cm。在长时间降雨条件下,过量的硝酸盐进入地下水,造成地下水硝酸盐含量的增加。同时不同土地利用方式与地下水及地表水硝酸盐含量有密切联系,土地利用方式的改变是造成地下水硝酸盐污染的重要原因^[10-11]。不同种植体系的管理措施(如施肥等)与氮素吸收利用密切相关,其中果园、设施蔬菜等农业用地相对于农田而言化肥使用量大、灌溉量高,是地下水硝酸盐污染的高风险区^[12]。

近年来,我国地下水及地表水氮素污染问题凸显。如在华北平原集约化农作区山东省惠民县,大棚蔬菜产区地下水硝酸盐平均含量为 $69.6 \text{ mg N} \cdot \text{L}^{-1}$,超标率为76.7%,果园超标率为36.7%^[13]。河北省定州市农业地下水硝态氮平均含量为 $10.5 \text{ mg N} \cdot \text{L}^{-1}$,超标率为46%,污染严重^[14]。赵同科等^[15]在2005年对环渤海7省1 139个点位地下水进行采集,其中果园硝酸盐超标率为43.3%,粮田超标率为17.9%。我国南方农作区也出现了水体硝酸盐污染。徐运清等^[16]2009年在蔬菜种植基地选取18口水井采集地下水,其中老菜地硝酸盐含量平均为 $36.60 \text{ mg N} \cdot \text{L}^{-1}$,新菜地为 $13.42 \text{ mg N} \cdot \text{L}^{-1}$,稻田区为 $2.46 \text{ mg N} \cdot \text{L}^{-1}$,菜地超标率远高于粮田,表明土地利用方式对地下水硝酸盐产生显著影响。福建晋江农业地下水硝酸盐平均值为

$78.9 \text{ mg N} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[17]。同时,有研究发现地表水同样存在硝酸盐污染问题,如河南沈丘县农业区域沙颍河地区地表水硝酸盐最高达到 $17.7 \text{ mg N} \cdot \text{L}^{-1}$,远高于非农业区域^[18]。因此,地下水和地表水硝酸盐污染问题是近年来人们关注的主要环境问题之一。

位于陕西秦岭北麓的眉县和周至县是我国猕猴桃主产区之一,猕猴桃生产中不合理施肥问题突出。路永莉等^[19]对该区域的调查表明,当地有超过80%的猕猴桃园有过量施氮的现象,导致了土壤氮素表观盈余量高,0~4 m土壤剖面硝态氮累积量平均达 $3 288 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[20]。因此,该文重点研究了眉县猕猴桃主产区地下水及地表水硝酸盐时空变化特征,旨在评价猕猴桃发展对该区地下水及地表水硝酸盐、钙镁离子含量的影响,为控制和减少硝酸盐污染、保护水质提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于陕西省秦岭北麓的眉县($107^{\circ}39' \sim 108^{\circ}00' \text{ E}$, $33^{\circ}59' \sim 34^{\circ}19' \text{ N}$)。该区属于温带大陆性季风气候,多年平均气温 13.5°C ,年平均降水量650~800 mm,集中分布在每年的6—9月,无霜期218 d。该县为农业县,主要传统作物为小麦、玉米等。2000年以来,猕猴桃栽植面积不断增加,目前已达20 100 hm^2 ,占全县耕地面积的85%,猕猴桃种植农户突破6万户,占全县农户的91%,2018年猕猴桃总产量495 000 t,成为我国猕猴桃种植主产区^[21]。研究显示,该地区挂果猕猴桃园年氮、磷、钾肥用量分别为 $884 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $372 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $521 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[19];10—11月施基肥,次年3月和6月为追肥期。土壤类型主要为壤土及淋溶褐土,土壤质地主要为壤土、砂黏壤及壤砂土。含水层主要为洪积平原砂、含泥的砂砾卵石层孔隙含水岩组。

1.2 样品采集及测定

2019年4—12月的每月中旬进行地表水及地下水采样,根据不同土地利用类型分为居民区、果园区

和自然植被区(未受人为影响区域),采样点分布图见图1。水样共计32个:地表水8个(自然植被区4个、果园区4个);潜水位12个(果园区7个、居民区5个),井深2~18 m;深水位12个(均为居民区),井深>100 m。潜水位井水采样深度为水面以下0.2 m处,并测其水位,深水位通过深井泵直接抽取采集,地表水通过采水器直接采集,重复3次,采集水样1 L于聚氯乙烯瓶中,利用HQd便携式多参数水质检测仪原位测定pH和EC。采集的样品冷藏带回实验室,用循环水式真空泵过0.45 μm 滤膜后,置于4 $^{\circ}\text{C}$ 冷藏保存,用于后续无机离子分析,分析指标包括 NH_4^+ 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 。

水样中硝态氮及铵态氮的测定采用连续流动分析仪(德国SEAL公司Auto Analyzer 3-AA3),硝酸盐测定范围为0.025~30 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,检测限为0.005 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$ 。 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 测定采用火焰原子吸收光谱仪(PE PinAAcile 900F), Cl^- 及 SO_4^{2-} 测定采用离子色谱仪(ICS-1100)。

1.3 数据处理及评价

数据处理和统计分析采用Excel 2007和SPSS 20.0,图形绘制采用Origin 8.0软件。评价标准采用《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)及《地下水质量标准》(GBT 14848—2017)。

2 结果与分析

2.1 地下水及地表水硝酸盐含量的变化

由图2可以看出,潜水位硝酸盐含量平均为19.8~31.2 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,深水位的硝酸盐含量平均为6.5~12.4 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,地表水的硝酸盐含量平均为9.0~19.6 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$ 。潜水位硝酸盐含量明显高于地表水和深水位,深水位硝酸盐含量随季节变化较小,地表水硝酸盐含量相对较低。潜水位硝酸盐含量在9月份有

明显下降,表明强降雨对其有降低的影响。深水位相对深度较深,可达90~160 m,自然因素的降雨量及人为因素的施肥难以对其造成影响。

由表1可以看出,在9个月共66个地表水样品中,硝酸盐最大值为48.88 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,平均值11.11 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,接近或超过《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),超标率为31.82%,超标点主要为下游经过猕猴桃园区的采样点。

潜水位硝酸盐最大值为67.66 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,平均值为29.68 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,超标率为93.27%,显著超过了生活饮用水标准(10 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$),超标现象较为严重。深水位硝酸盐最大值为60.12 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,平均值为15.06 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,超标率为57.41%。

2.2 土地利用方式对地下水及地表水硝酸盐含量的影响

果园浅层井中硝酸盐含量平均为29.47~43.91 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$;居民区浅层井中硝酸盐含量平均为12.77~19.27 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,相对变化较小(图3a)。果园浅层井中未施肥月硝酸盐含量在30 $\text{mg N}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右,而在11

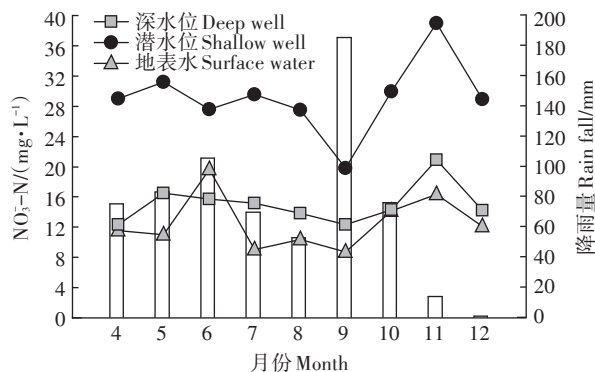


图2 硝酸盐含量及降雨量的动态变化

Figure 2 Changes of nitrate contents in surface water and groundwater and rainfall at different times

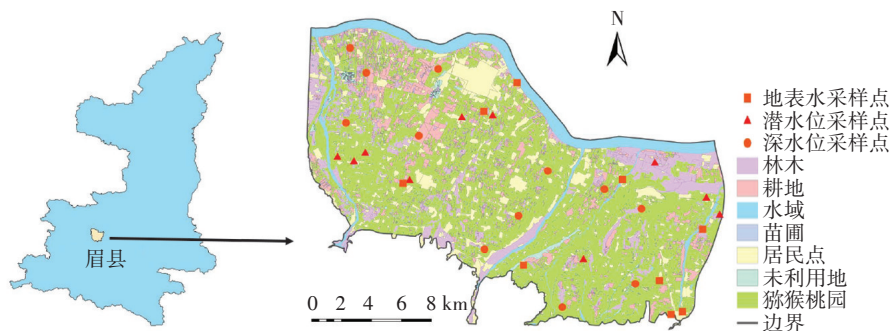


图1 采样点分布图

Figure 1 Sampling sites in Meixian County

表1 不同水位硝酸盐含量比较

Table 1 Comparison of nitrate concentration in different water types

水位 Water types	样品数 Number of samples/个	最大值 Maximum/ (mg N·L ⁻¹)	最小值 Minimum/ (mg N·L ⁻¹)	平均值 Average/ (mg N·L ⁻¹)	超标率 Over-standard rate/%	标准差 Standard deviation/ (mg N·L ⁻¹)	变异系数 CV Coefficient of variation/%
地表水 Surface water	66	48.88	0.20	11.11	31.82	7.04	63.34
潜水位 Shallow well	104	67.66	1.30	29.68	93.27	14.59	49.17
深水位 Deep well	108	60.12	1.47	15.06	57.41	11.24	74.66

月的施肥月硝酸盐含量平均达到了 45 mg N·L⁻¹ 左右,接近原来的1.5倍。从地质结构来看,同一含水层的地下水存在着交换,由于果园浅层井中硝酸盐含量明显高于居民浅层井,因此会导致居民浅层井硝酸盐含量缓慢上升。

自然植被区地表水硝酸盐含量平均为 1.95~4.80 mg N·L⁻¹,不同季节变化相对平稳,未出现超标或严重超标现象(图 3b)。果园区地表水硝酸盐含量平均为 16.12~36.28 mg N·L⁻¹,在6月和11月的施肥月硝酸盐出现明显的峰值,约为未施肥月份的2倍。

2.3 水体 pH、EC 及 Ca²⁺、Mg²⁺含量的变化

研究区地表水中 pH 明显高于地下水,地表水 pH 为 7.83~8.20,潜水位地下水 pH 为 7.01~7.60,深水位地下水 pH 为 7.43~8.02,均呈弱碱性(图 4a)。不同水位 pH 整体变化趋势较为一致,在7月均有明显下降,而在11月基肥期3种水体 pH 变化均不明显。

不同水位 EC 整体变化趋势一致(图 4b)。潜水位含量最高,为 659.17~878.27 μS·cm⁻¹,其次为地表水 414.58~652.50 μS·cm⁻¹,深水位含量最低,为 202.17~383.17 μS·cm⁻¹。在6—7月施肥月中,不同水位 EC 均呈现上升趋势,其中地表水变化显著。而在11月基肥阶段,地表水和潜水位有微弱的上升趋势,整体变化不明显。

整体来看,地下水 Ca²⁺、Mg²⁺含量居民区浅层井相对含量较高(图 5),且不同月份变化不大,在11月施肥月中有缓慢上升的趋势,可能是由于施肥月中水体交换作用导致的。果园浅层井 Ca²⁺、Mg²⁺含量相对较低,在6月和11月施肥月出现明显的上升,Ca²⁺在6—7月和11月出现明显的峰值,Mg²⁺在6月同样产生峰值。不同时期 Ca²⁺、Mg²⁺含量均符合《地下水质量标准》中硬度标准(<450 mg·L⁻¹),但未达到优质饮用水标准(<50 mg·L⁻¹)。

2.4 水体不同指标间的相关分析

由表2可知,EC与Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、NO₃⁻呈正相关,表明EC变化主要是与以上离子有关,与K⁺、pH、

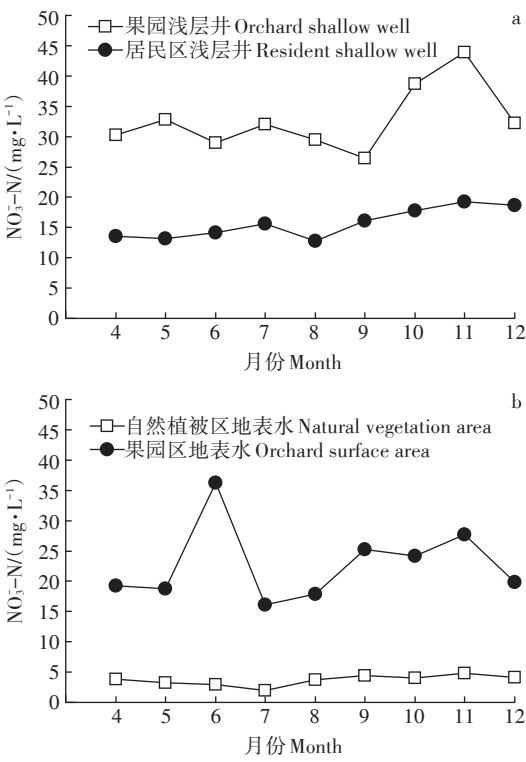


图3 不同土地利用类型地下水及地表水硝酸盐含量
Figure 3 Nitrate contents in shallow groundwater and surface water in different land use types

SO₄²⁻、NH₄⁺未达到显著相关水平。NO₃⁻与Ca²⁺呈正相关,表明随着NO₃⁻增加Ca²⁺增加。Cl⁻与NO₃⁻呈正相关关系,但总体来看硝酸盐含量与Cl⁻含量在不同地区呈现相同的变化规律,说明硝酸盐含量一定程度上受人为因素的影响较大。pH、K⁺与其他离子均未达到显著性差异。

3 讨论

3.1 秦岭北麓猕猴桃主产区水体硝酸盐污染情况

本研究表明,与猕猴桃集中产区相比,陕西秦岭北麓自然植被区地表水硝酸盐含量处在较低水平,且不同季节变化相对平稳,这与自然植被下地表水主要来自秦岭山区降水,受人类活动影响相对较少有关。

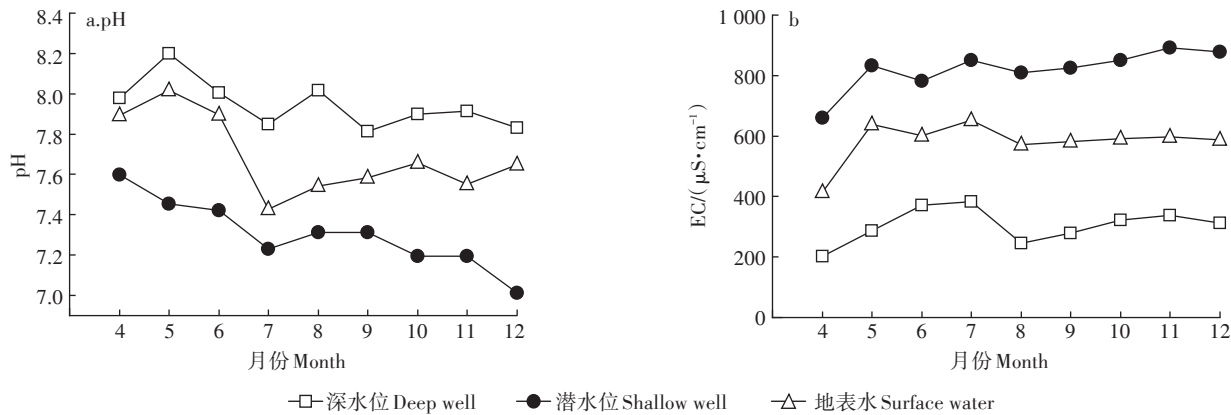


图4 不同水位pH及EC的变化

Figure 4 Changes in pH and EC at different water types

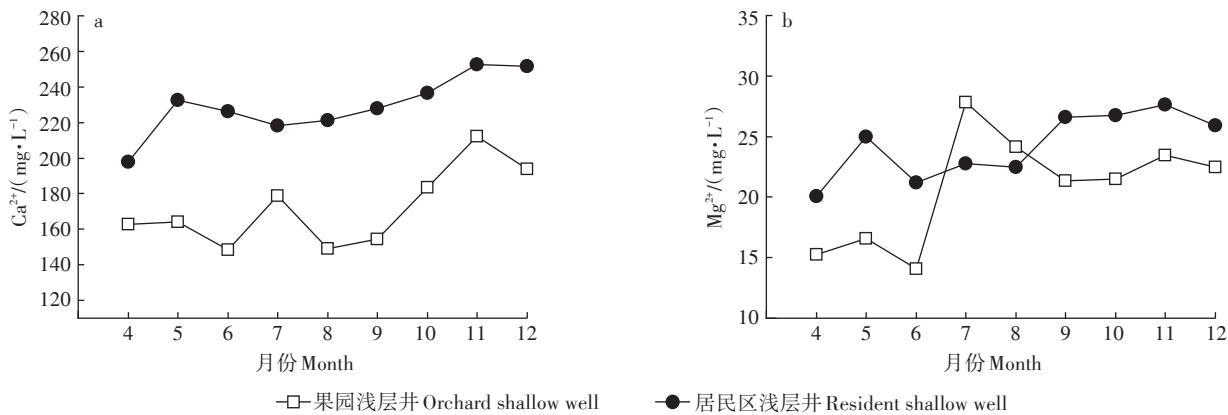


图5 不同土地利用类型 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量变化

Figure 5 Changes in the contents of Ca^{2+} and Mg^{2+} in different land use types

表2 不同水质指标间的相关性分析

	pH	EC	K^{+}	Na^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}	NH_4^{+}
pH	1									
EC	-0.300	1								
K^{+}	0.139	0.134	1							
Na^{+}	-0.169	0.656*	-0.017	1						
Ca^{2+}	-0.184	0.853**	0.151	0.249	1					
Mg^{2+}	0.010	0.803**	0.023	0.780**	0.558	1				
Cl^{-}	0.078	0.692*	-0.197	0.683*	0.406	0.629*	1			
SO_4^{2-}	0.299	0.144	0.287	-0.201	0.164	0.015	0.090	1		
NO_3^{-}	-0.027	0.733*	0.152	0.309	0.710*	0.592	0.690*	0.496	1	
NH_4^{+}	-0.356	-0.287	-0.198	-0.344	-0.055	-0.446	0.011	0.329	0.254	1

注：“*”表示在0.05水平上显著相关，“**”表示在0.01水平上极显著相关。
Note: “*” means significant correlation at the level of $\alpha=0.05$, and “**” means extremely significant correlation at the level of $\alpha=0.01$.

而猕猴桃集中产区地表水及地下水硝酸盐超标严重,其中以猕猴桃种植区潜水位地下水超标最为严重,平均为 $29.68\text{ mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,远超地下水标准。这与秦岭北麓近年来猕猴桃产业发展过量施肥导致土壤剖面累

积了大量的硝态氮有关。如本课题组在秦岭北麓以猕猴桃为主的小流域研究表明,地势相对较低的猕猴桃园0~4 m土壤剖面硝态氮高达 $5\,959\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2[20]}$ 。

分析不同土地利用方式与水体硝酸盐含量关系

表明,果园潜层地下水及地表水硝态氮在施肥月有明显的上升趋势,存在季节性波动(图3),表明施肥是造成该地区潜层地下水硝态氮上升的主要原因。在降雨期,土壤硝酸盐向下淋溶,造成硝酸盐总量的增加,但在强降雨时期,当有大量雨水流入水体,地下水及地表水硝酸盐含量出现明显的下降,表明雨水对硝酸盐稀释作用占比更大,从而降低了地下水及地表水硝酸盐浓度,可见秦岭北麓猕猴桃主产区地表水及地下水硝酸盐含量对施肥及降水的响应较快。陈克亮等^[22]研究发现地下水硝酸盐含量与降雨呈现一定的正相关,强降雨对硝酸盐的稀释作用明显。Zhou等^[9]研究也发现,过量的氮素及水分投入促进土壤硝酸盐向下淋溶,造成地下水硝酸盐的累积。因此,秦岭北麓猕猴桃产业发展对该区地表水及地下水硝酸盐的污染应引起重视。

3.2 秦岭北麓猕猴桃主产区水体其他水质指标情况

EC是水体中盐分离子含量的综合反映。潜层地下水EC明显高于深层地下水及地表水(图4b)。相关分析表明,水体EC与 NO_3^- 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 等离子含量呈显著正相关(表2)。如前所述,猕猴桃集中产区地表水及地下水中硝酸盐含量的增加与猕猴桃园长期大量施用氮肥有关。

猕猴桃集中产区地下水 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量明显增加,原因包括:(1)果园施用的钾肥、铵态氮以及有机肥矿化作用产生的铵态氮与土壤胶体吸附的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 发生离子交换作用,促进了 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 淋失。陈竹君等^[23]研究表明,施用铵态氮显著增加了土壤溶液中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的浓度,也提高了土壤溶液中 Ca/K 、 Mg/K 的比值;(2)研究地区土壤属石灰性土壤,铵态氮肥硝化作用产生的氢离子会降低土壤pH,促进土壤中碳酸盐的溶解,加上降水及灌溉促进了 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的淋溶^[24-26]。Aquilina等^[27]对流域尺度的研究也表明,长期施用氮肥增加了 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等阳离子的流失。水体中硝酸盐含量与 Ca^{2+} 的显著相关性(表2)在一定程度支持了这一分析。

研究可见,陕西秦岭北麓猕猴桃生产中长期大量施用氮肥,已对当地地表水及地下水水质产生明显的不良影响,亟需采取有效措施解决当前果园种植区过量施氮问题。一方面,合理施用氮肥,如本课题组在秦岭北麓周至县做的猕猴桃长期试验结果表明,减量施氮处理下猕猴桃产量和品质并未降低,但显著提高了肥料利用效率,降低了土壤剖面硝态氮的累积^[28];另一方面,当地猕猴桃生产中大水漫灌问题突出,采

用水肥一体化技术是防控当地水质污染的有效措施。同时,由于长期施肥导致猕猴桃园土壤剖面累积了大量的硝态氮,需持续监测这些硝态氮的动态变化,关注其对地下水的长期影响。

4 结论

(1)陕西秦岭北麓自然植被区地表水硝酸盐含量平均为 $1.95\sim 4.80\text{ mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,而猕猴桃集中产区地表水硝酸盐含量平均为 $16.12\sim 36.28\text{ mg N}\cdot\text{L}^{-1}$,说明猕猴桃种植显著增加了地表水的硝酸盐污染。

(2)陕西秦岭北麓猕猴桃主产区地下水硝酸盐超标现象突出,其中潜水位地下水超标最为严重(平均值为 $29.68\text{ mg N}\cdot\text{L}^{-1}$),超标率达93.27%;深水位地下水超标率为57.41%(平均值为 $15.06\text{ mg N}\cdot\text{L}^{-1}$)。

(3)地下水及地表水硝酸盐含量与水体EC及 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 含量间呈显著正相关,说明随着硝酸盐的淋溶,也加剧了 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子的损失,增加了水体硬度。

参考文献:

- [1] 胡国臣, 张清敏, 王忠, 等. 地下水硝酸盐氮污染防治研究[J]. 农业环境科学学报, 1999, 18(5): 228-230.
HU Guo-chen, ZHANG Qing-min, WANG Zhong, et al. Research on pollution control of nitrate in underground water[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 1999, 18(5): 228-230.
- [2] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018: 368-372.
National Bureau of Statistics, PRC. China Statistical Yearbook 2018 [M]. Beijing: China Statistical Press, 2018: 368-372.
- [3] Tilman D. Forecasting agriculturally driven global environmental change [J]. *Science*, 2001, 292(5515): 281-284.
- [4] Mosier A R, Bleken M A, Chaiwanakupt P, et al. Policy implications of human-accelerated nitrogen cycling[J]. *Biogeochemistry*, 2001, 52(3): 281-320.
- [5] Trudgill S. Farming, fertilizers and the nitrate problem[J]. *Applied Geography*, 1993, 13(2): 196-197.
- [6] Gu B, Ge Y, Chang S X, et al. Nitrate in groundwater of China: Sources and driving forces[J]. *Global Environmental Change*, 2013, 23(5): 1112-1121.
- [7] Gu B J, Ju X T, Chang J, et al. Integrated reactive nitrogen budgets and future trends in China[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 2015, 112(28): 8792-8797.
- [8] Costa J L, Massone H, Martinez D, et al. Nitrate contamination of a rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone[J]. *Agricultural Water Management*, 2002, 57(1): 33-47.
- [9] Zhou J, Gu B, Schlesinger W H, et al. Significant accumulation of nitrate in Chinese semi-humid croplands[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6(1): 25088.

- [10] Huang Y N, Chang Q R, Li Z. Land use change impacts on the amount and quality of recharge water in the loess tablelands of China [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 628/629:443–452.
- [11] Prasad M, Raha P. Nitrate pollution in the groundwater of different cropping systems of Varanasi District, Uttar Pradesh, India[J]. *Nature Environment and Pollution Technology*, 2015, 14(4):877–880.
- [12] 刘兴权, 许晶玉, 江丽华, 等. 山东省种植区地下水硝酸盐污染空间变异及分布规律研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(6): 1172–1179.
LIU Xing-quan, XU Jing-yu, JIANG Li-hua, et al. Spatial variability and distribution pattern of groundwater nitrate pollution in farming regions of Shandong Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(6):1172–1179.
- [13] 寇长林, 巨晓棠, 张福锁. 三种集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4):660–667.
KOU Chang-lin, JU Xiao-tang, ZHANG Fu-suo. Nitrogen balance and its effects on nitrate N concentration of groundwater in three intensives cropping systems of north China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(4):660–667.
- [14] 叶灵, 巨晓棠, 刘楠, 等. 华北平原不同农田类型土壤硝态氮累积及其对地下水的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2):165–168, 178.
YE Ling, JU Xiao-tang, LIU Nan, et al. Characteristics of nitrate accumulation and its effects on groundwater under typical cropping systems in North China plain[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(2):165–168, 178.
- [15] 赵同科, 张成军, 杜连凤, 等. 环渤海七省(市)地下水硝酸盐含量调查[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(2):779–783.
ZHAO Tong-ke, ZHANG Cheng-jun, DU Lian-feng, et al. Investigation on nitrate concentration in groundwater in seven provinces (city) surrounding the Bo-Hai Sea[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(2):779–783.
- [16] 徐运清, 秦红灵, 全智, 等. 长期蔬菜种植对菜地土壤剖面硝酸盐分布和地下水硝态氮含量的影响[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(6):1080–1085.
XU Yun-qing, QIN Hong-ling, QUAN Zhi, et al. Effects of long-term vegetable cultivation on the NO_3^- -N contents in soil profile and groundwater[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2015, 36(6):1080–1085.
- [17] 周迅. 福建省晋江市浅层地下水硝酸盐含量特征及其水化学指示意义[J]. 地球学报, 2014, 35(2):177–182.
ZHOU Xun. The nitrate content characteristics of shallow groundwater in Jinjiang City, Fujian Province, and their hydrochemical indication significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2014, 35(2):177–182.
- [18] 陈云增, 李天奇, 马建华, 等. 沙颍河流域典型癌症高发区水体硝态氮污染及健康风险[J]. 环境科学学报, 2019, 39(5):330–339.
CHEN Yun-zeng, LI Tian-qi, MA Jian-hua, et al. Nitrate and nitrite exposure and health risk of local residents in a typical high cancer incidence area of Shaying River basin[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2019, 39(5):330–339.
- [19] 路永莉, 康婷婷, 张晓佳, 等. 秦岭北麓猕猴桃果园施肥现状与评价——以周至县俞家河流域为例[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2):380–387.
LU Yong-li, KANG Ting-ting, ZHANG Xiao-jia, et al. Evaluation of current fertilization status in kiwifruit orchards on the northern slope of Qinling Mountains: A case study of Yujiahe catchment, in Zhouzhi County[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2016, 22(2):380–387.
- [20] Gao J, Lu Y, Chen Z, et al. Land-use change from cropland to orchard leads to high nitrate accumulation in the soils of a small catchment[J]. *Land Degradation and Development*, 2019, 30(17):2150–2161.
- [21] 陕西省统计局. 陕西统计年鉴. 2019[M]. 中国统计出版社, 2019: 251–252.
Shaanxi Provincial Bureau of Statistics. Shaanxi Statistical Yearbook. 2019[M]. China Statistics Press, 2019:251–252.
- [22] 陈克亮, 朱晓东, 朱波, 等. 川中小流域地下水硝态氮的时空变化特征[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4):1060–1064.
CHEN Ke-liang, ZHU Xiao-dong, ZHU Bo, et al. Temporal and spatial variation of NO_3^- -N pollution in groundwater in small watershed of central Sichuan basin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(4):1060–1064.
- [23] 陈竹君, 张俊鹏, 周建斌, 等. 施用不同种类氮肥对日光温室土壤溶液离子组成的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5):907–913.
CHEN Zhu-jun, ZHANG Jun-peng, ZHOU Jian-bin, et al. Effect of the application of different nitrogen fertilizers on the ion compositions in solution of the greenhouse soil[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(5):907–913.
- [24] Sajjad R, Miao R, Wang P Z, et al. Dramatic loss of inorganic carbon by nitrogen-induced soil acidification in Chinese croplands[J]. *Global Change Biology*, 2020, 26(6):3738–3751.
- [25] Rowley M C, Grand S, Adatte T, et al. A cascading influence of calcium carbonate on the biogeochemistry and pedogenic trajectories of subalpine soils, Switzerland[J]. *Geoderma*, 2019, 361:114065.
- [26] Kazem Z, Mohsen Z, Yakov K. Nitrogen fertilization raises CO_2 efflux from inorganic carbon: A global assessment[J]. *Global Change Biology*, 2018, 24(7):2810–2817.
- [27] Aquilina L, Poszwa A, Walter C, et al. Long-term effects of high nitrogen loads on cation and carbon riverine export in agricultural catchments[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46(17):9447–9455.
- [28] Lu Y L, Kang T T, Gao J B, et al. Reducing nitrogen fertilization of intensive kiwifruit orchards decreases nitrate accumulation in soil without compromising crop production[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17(6):1421–1431.