

玛纳斯河流域不同灌区棉田土壤 铵态氮和硝态氮变化特征及影响因素*

石轩^{1,2}, 李艳红^{1,2}, 李发东^{1,2,3,4}

1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054
2. 新疆维吾尔自治区重点实验室/新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101
4. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100190

摘要: 为研究玛纳斯河流域不同灌区棉田土壤铵态氮和硝态氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$)的季节变化规律及其影响因素, 2019年5月、8月、10月以玛纳斯河流域6大灌区为研究对象, 对不同月份土壤铵态氮和硝态氮及理化性质, 土壤环境以及施氮量, 开发年限等因子进行了分析。结果表明: (1) 各灌区土壤因子的差异使铵态氮和硝态氮含量有明显的变化, 呈现出下野地灌区>莫索湾灌区>安集海灌区>新湖总场灌区>金沟河灌区>石河子灌区。不同灌区土壤铵态氮和硝态氮都具有明显的季节性变化, 铵态氮变化为8月>5月>10月, 硝态氮变化为8月>10月>5月。不同灌区土壤铵态氮和硝态氮在不同月份均聚集在土壤表层, 随着土层深度的增加逐渐减少。(2) 各灌区土壤铵态氮和pH值呈显著负相关, 和全盐呈正相关, 且在5月和8月份时与含水量正相关; 硝态氮含量在各月与土壤含水量和全盐呈正相关, 和土壤温度呈负相关。(3) 各灌区土壤铵态氮和硝态氮受多因素的共同影响, 土壤pH、温度、全盐和土壤含水量是影响铵态氮和硝态氮含量的主导因素, 而农田开发年限, 施氮量对铵态氮和硝态氮产生间接的影响。

关键词: 玛纳斯河流域; 棉田土壤; 铵态氮; 硝态氮

中图分类号: S157.1; P333.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2021)06-0080-11

Variation characteristics and influencing factors of soil ammonium nitrogen and nitrate nitrogen in cotton fields in different irrigation districts of Manas river basin

SHI Xuan^{1,2}, LI Yanhong^{1,2}, LI Fadong^{1,2,3,4}

1. College of Geographic Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China
2. Key Laboratory of Xinjiang Uygur Autonomous Region / Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Area, Urumqi 830054, China
3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China
4. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

* 收稿日期: 2020-07-29 录用日期: 2020-08-24 网络首发日期: 2021-01-14

基金项目: 国家自然科学基金(U1803244)

作者简介: 石轩(1996年生), 男; 研究方向: 干旱区资源开发与规划; E-mail: 752731121@qq.com

通信作者: 李艳红(1977年生), 女; 研究方向: 干旱区湖泊湿地生态恢复技术; E-mail: lyh0704@126.com

Abstract: In order to study the seasonal variation of soil ammonium nitrogen and nitrate nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$) and their influencing factors in different irrigation areas of the Manas river basin, six irrigation districts were selected as the research objects in May, August and October, 2019. The factors such as soil ammonium nitrogen and nitrate nitrogen, physical and chemical properties, soil environment, nitrogen application rate and development period were analyzed. The results showed that: (1) the differences of soil factors in various irrigation areas made the contents of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen significantly changed in descending degree from Xiayedi irrigation area, Mosuowan irrigation area, Anjihai irrigation area, Xinhua general field irrigation area, and Jingouhe irrigation area to Shihezi irrigation area. The ammonium nitrogen and nitrate nitrogen showed obvious seasonal variations, with the change of nitrate nitrogen in descending order in August, October and May. Ammonium nitrogen and nitrate nitrogen accumulated in the surface layer of soil in different months, and decreased with the increase of soil depth. (2) Ammonium nitrogen was negatively correlated with pH, positively correlated with total salt, and positively correlated with water content in May and August; nitrate nitrogen content was positively correlated with soil water content and total salt, and negatively correlated with soil temperature. (3) Soil pH, temperature, total salt and soil water content are the main factors affecting the content of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen, while the duration of farmland development and nitrogen application rate have indirect impact on ammonium nitrogen and nitrate nitrogen content.

Key words: Manas river basin; cotton field soil; ammonium nitrogen; nitrate nitrogen

农田土壤中的氮素对于农作物的生长起着重要的作用, 通常情况下, 植物生长过程中所吸收的土壤里的氮素相较其他元素要高, 因此氮素往往成为影响植物生长的主要元素。氮肥在土壤中相比其他肥料不太稳定, 所以在作物不同的生长期, 氮肥作为追肥可以提高其利用效率^[1]。近年来, 大多数国内外学者对土壤中氮素的影响因素进行了诸多研究。国内学者研究了土壤水分、温度等对土壤氮素的影响, 发现在土壤水分和温度都较低的情况下, 土壤矿化速度会减慢, 从而导致作物吸收土壤中氮素的速度减慢^[2]。而国外学者发现在不同的施肥方式(施氮量和施肥方式)^[3], 降雨量导致的土壤含水量变化^[4], 灌溉方式^[5]等, 都会影响土壤中氮素的多寡。对于农田土壤铵态氮和硝态氮变化, 主要侧重于田间模拟试验, 通过人工控制参数来研究^[6], 关于不同农田开发年限, 土壤铵态氮和硝态氮以及季节变化的研究较为薄弱。

玛河灌区作为新疆最大的棉花种植区和全国第4大灌溉农业区^[7], 灌溉历史悠久, 对区域气候、土壤质量及农业经济等有着重要的作用。目前, 诸多学者从田间试验的角度, 通过人工控制水分、施肥量^[8]等对农田铵态氮和硝态氮进行了研究。结果表明, 土壤水热条件、施肥量、pH、

盐分是影响土壤铵态氮和硝态氮的主要因素, 但是对整个玛河灌区土壤铵态氮和硝态氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$)动态变化和影响因素的研究较少。因此, 本文以玛河流域各个灌区的棉田土壤为研究对象, 研究了不同灌区土壤铵态氮和硝态氮的动态变化及其影响因素, 通过和其他农田生态系统以及流域土壤铵态氮和硝态氮的对比, 探讨玛河流域土壤铵态氮和硝态氮的变化特征, 为农田施肥管理和农田生态环境保护提供科学依据。

1 研究材料与方法

1.1 研究区概况

玛纳斯河(简称玛河)灌区位于天山北坡, 准噶尔盆地南缘, 地理位置 $85^{\circ}00' \sim 86^{\circ}32'E$, $44^{\circ}10' \sim 45^{\circ}14'N$, 总面积约 $8.40 \times 10^3 \text{ km}^2$, 是新疆最大的荒漠绿洲农耕区和全国第4大灌溉农业区, 棉花种植面积占作物种植面积的70%以上^[9]。灌区内气候干燥, 夏季炎热, 冬季寒冷, 属典型干旱大陆性气候。灌区年日照时数 $2\ 550 \sim 3\ 100 \text{ h}$, 年均降水量 $110 \sim 200 \text{ mm}$, 年均蒸发量 $1\ 500 \sim 2\ 000 \text{ mm}$, 无霜期 $148 \sim 187 \text{ d}$; 玛河灌区地势南高北低, 自西向东划分为下野地灌区、安集海灌区、金沟河灌区、石河子灌区和莫索湾灌区以及南湖总场灌区等6大子灌区^[10](见图1, 表1)。

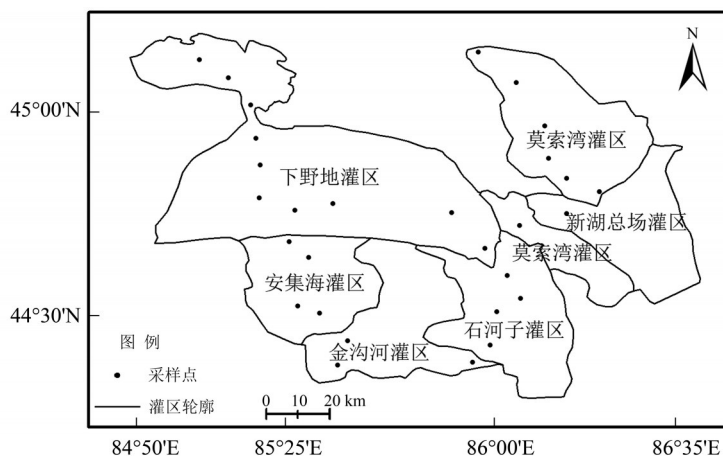


图1 玛纳斯河流域棉田土壤采样点分布

Fig. 1 Distribution of soil sampling points in cotton field in Manas river basin

表1 各灌区施氮肥量、开发年份和灌区面积

Table 1 Average annual fertilization amount, development years and irrigation area in each irrigation area

灌区	年施氮肥量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	开发年份	灌区面积/ km^2	盐渍化程度	土壤类型
下野地	75	2004—2019	2 632	中度	碱化土
安集海	70	1999—2019	867	轻度	棕钙土
金沟河	65	2001—2019	1 038	轻度	黑钙土
石河子	60	1998—2019	1 060	轻度	黑钙土
莫索湾	75	2002—2019	1 403	中度	荒漠灰钙土
新湖总场	65	2004—2019	576	轻度	灰漠土

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集方法 2019年5月、8月、10月在玛河流域棉田土壤按照不同的灌区进行了多点和重复采样, 采样深度分别为0~5、5~10、10~20、20~40、40~60 cm, 确保每个采样点都是膜下棉田土壤。共设置采样点24个, 按照五点法用铁锹和土钻等工具进行采样, 共采集土壤样品1 800个(图1)。各灌区面积不同, 采样点数量也不同。

1.2.2 样品测定方法 在土样采集完毕后立即带回实验室, 立即装入保鲜袋中低温保存, 用于室内土壤铵态氮和硝态氮的测定, 同时记录采样点的每公顷全年施氮量、农田开发年限以及土壤含水量等指标。土壤铵态氮和硝态氮采用2 mol/L KCl浸提, 使用双波长紫外比色法测定^[11]。

1.2.3 数据处理 使用Microsoft Office Excel 2019进行数据描述性统计分析, 采用单因素方差分析方法进行方差分析, 使用最小显著差(LSD)法对显著性进行多重比较, 利用Pearson相关分析铵态氮硝态氮含量和土壤因子的关系, 采用 t 检验比较棉花不同生长期铵态氮和硝态氮的差异, 采用origin

进行作图, 利用建立逐步回归方程进行各因素之间的通径分析, 使用克里金插值法绘制玛河流域氮肥施用量分布图。

2 结果与分析

2.1 铵态氮和硝态氮变化规律

铵态氮和硝态氮都是可以直接被植物根系吸收的氮, 同时也是衡量土壤肥力的重要指标。通过对玛河流域各个灌区不同深度的棉田土壤研究后发现(图2), 各大灌区铵态氮的含量在5、8、10月份随着土层深度的增加而减少, 但是表层(0~5 cm)的铵态氮含量显著低于5~10 cm土层, 且占总铵态氮含量的比例低于5~10 cm土层, 各个灌区5、8、10月份5~10 cm处的铵态氮含量均为最大值。从季节来看, 各个灌区铵态氮的含量具有明显的季节变化, 8月份时, 各灌区的铵态氮含量出现最大值, 并且除石河子灌区外, 最大值都在5~10 cm处土层, 分别为: 下野地灌区(13.8 mg/kg)、安集海灌区(7.88 mg/kg)金沟河灌区(5.81 mg/kg)、莫索湾灌区(12.15 mg/kg)、新湖

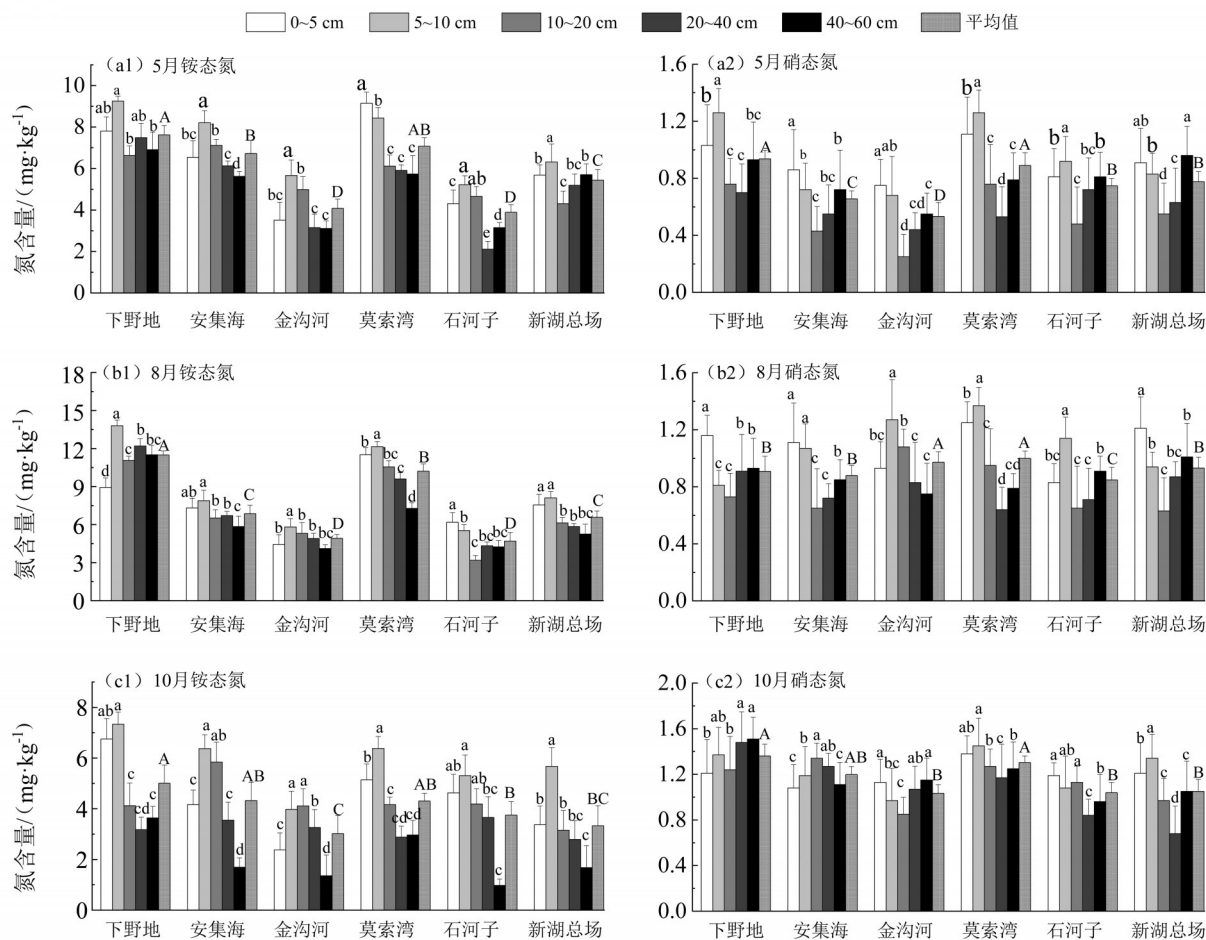


图2 各个灌区土壤铵态氮、硝态氮的季节变化

不同小写字母表示同一灌区下不同土层之间差异显著,不同大写字母表示不同灌区间铵态氮、硝态氮平均值差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 2 The seasonal variation of soil ammonium nitrogen and nitrate nitrogen in various irrigation area

总场灌区 (8.11 mg/kg), 石河子灌区铵态氮最大值在0~5 cm处, 为6.18 mg/kg; 而各灌区的最小值则出现在10月份, 除下野地灌区 (3.18 mg/kg) 和莫索湾灌区 (2.88 mg/kg) 在20~40 cm土层处外, 其他灌区最小值均在40~60 cm处, 分别为: 安集海灌区 (1.69 mg/kg)、金沟河灌区 (1.36 mg/kg)、石河子灌区 (0.98 mg/kg)、新湖总场灌区 (1.68 mg/kg)。从图中可以看出硝态氮的含量在5、8、10月份各个灌区均随着土层的增加呈现先减少再上升的趋势, 并且最小值均在棉花的根系位置10~40 cm处。从季节变化来看, 各个灌区硝态氮含量的最大值出现在8月份, 并且最大值均在0~5 cm、5~10 cm处, 分别为下野地灌区 (1.16 mg/kg)、安集海灌区 (1.11 mg/kg)、金沟河灌区 (1.27 mg/kg)、莫索湾灌区 (1.37 mg/kg) 石河子灌区 (1.14 mg/kg)、新湖总场灌区 (1.12 mg/kg);

各灌区的最小值出现在5月份, 并且都处在土壤中层, 分别为: 下野地灌区 (0.7 mg/kg)、安集海灌区 (0.43 mg/kg)、金沟河灌区 (0.25 mg/kg)、莫索湾灌区 (0.53 mg/kg) 石河子灌区 (0.65 mg/kg)、新湖总场灌区 (0.63 mg/kg)。不同灌区之间的土壤铵态氮和硝态氮也有差异, 铵态氮均值表现为下野地灌区((11.5±0.308) mg/kg) > 莫索湾灌区((10.22±0.57) mg/kg) > 安集海灌区((6.85±0.68) mg/kg) > 新湖总场灌区((6.58±0.49) mg/kg) > 金沟河灌区((6.85±0.68) mg/kg) > 石河子灌区((6.58±0.31) mg/kg); 硝态氮均值表现为下野地灌区((1.36±0.11) mg/kg) > 莫索湾灌区((1.3±0.06) mg/kg) > 安集海灌区((1.2±0.07) mg/kg) > 新湖总场灌区((1.05±0.11) mg/kg) > 石河子灌区((1.04±0.09) mg/kg) > 金沟河灌区((1.2±0.07) mg/kg)。灌区之间来看, 下野地灌区和莫索湾灌区的铵、硝态氮含量与金沟河

灌区、石河子灌区相比差异显著, 而安集海和新湖总场之间的铵、硝态氮含量差异不显著。铵态氮和硝态氮的变异系数可以表示这两种速效氮对于施肥、灌溉等人为因素或者土质、地形等结构性因素的反馈以及自身的稳定性, 各个灌区 5、8、10 月份铵态氮和硝态氮的变异系数分别在 21%~33%、17%~36%、19%~43% 之间, 处于中等变异强度, 说明铵态氮和硝态氮的含量主要受到土壤环境的影响, 且速效氮类的土壤养分比较容易淋失, 除此之外还可能受到施肥和灌溉等因素的影响^[12]。

2.2 不同灌区棉田土壤环境因子的动态变化

由图 3 可知, 各个灌区的土壤全盐的含量均随着土层深度的增加而增加; 土壤温度在 5 月和 8 月随着土层深度的增加而下降, 10 月份呈现相反的

变化规律; 含水量在 5 月、8 月和 10 月的变化不相同, 5 月是随着土壤深度的增加而增加, 8 月时则呈现先下降后上升的趋势, 10 月时随着土层深度的增加而下降; pH 在 5 月、8 月、10 月变化均随着土层深度的增加而下降, 但是下降幅度较小, 其中 pH 在各土层的变异程度为弱变异强度 (3.83%~11.25%)。各灌区土壤环境因子的变化具有较明显的季节性, 土壤温度、全盐、土壤含水量的平均值均为 8 月 > 5 月 > 10 月, 土壤 pH 的最大均值在 5 月, 最小值出现在 8 月, 并且土壤含水量、土壤温度在不同季节之间差异较显著 ($P < 0.05$)。不同灌区之间的土壤环境因子也各不相同, 土壤温度、pH、全盐的含量均为下野地灌区 > 莫索湾灌区 > 安集海灌区 > 新湖总场灌区 > 金沟河灌区 > 石河子灌区

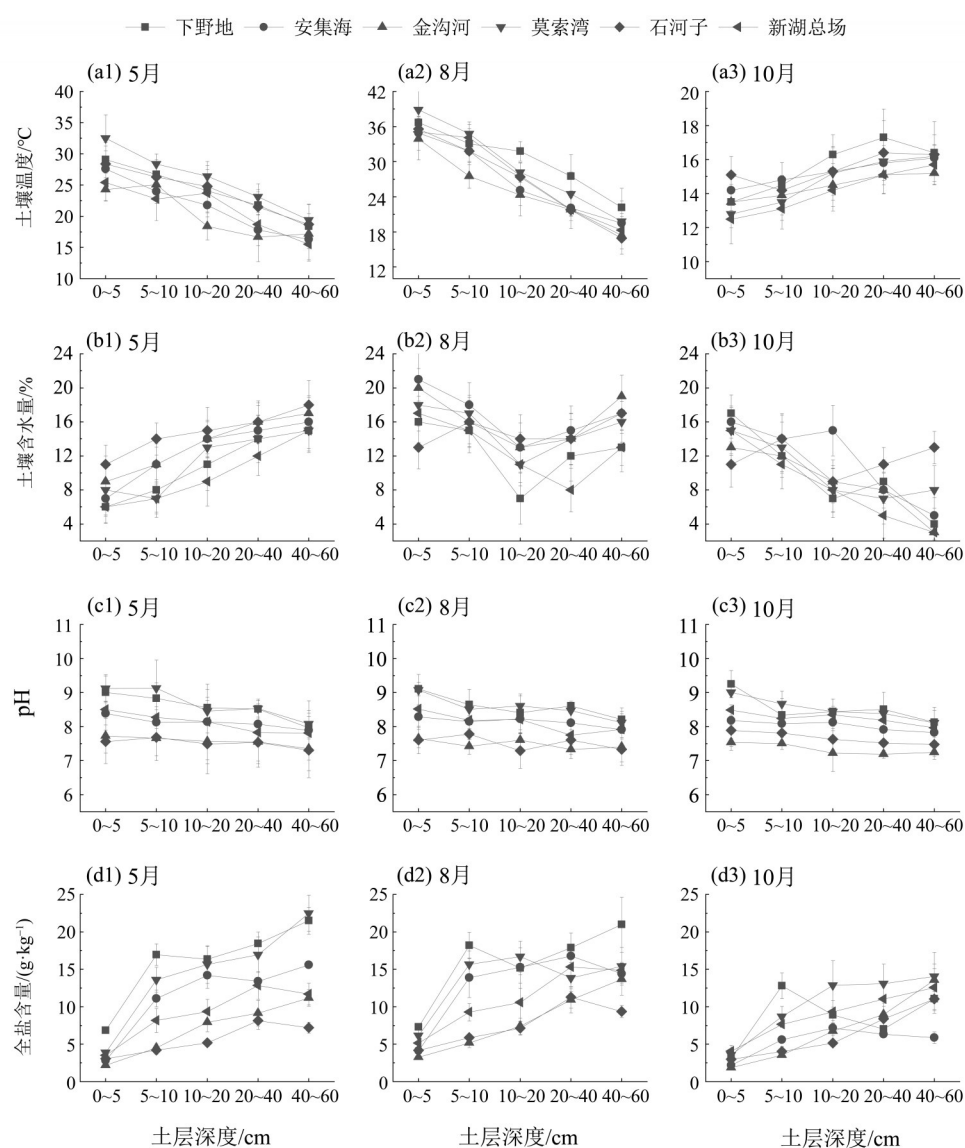


图 3 不同灌区土壤理化性质变化

Fig. 3 The change of soil physical and chemical properties in various irrigation areas

子灌区, 土壤含水量变化则为石河子灌区 > 金沟河灌区 > 安集海灌区 > 新湖总场灌区 > 莫索湾灌区 > 下野地灌区。各灌区土壤全盐的含量平均值分别为下野地灌区(8.61~15.03 g/kg)、安集海灌区(5.44~12.9 g/kg)、金沟河灌区(6.95~8.10 g/kg)、莫索湾灌区(10.46~14.53 g/kg)、石河子灌区(5.55~6.67 g/kg)、新湖总场灌区(8.93~11.04 g/kg), 根据盐渍化分级标准, 各灌区土壤均属于中度和轻度盐渍化, 而各灌区 pH 均大于 7.3, 根据全国第二次土壤普查标准, 各灌区土壤均属于碱性土。

2.3 玛河流域各灌区氮肥施用量的分布

根据采样时调查, 走访以及 2018 年新疆统计年鉴资料, 绘制出玛河流域氮肥施用量分布图。

由图 4 可知, 玛河流域棉田土壤氮肥施用量较为规律, 从南向北依次增加, 平均年氮肥施用量: 下野地灌区和莫索湾灌区相同 (75 kg/hm²), 安集海灌区 70 kg/hm², 金沟河灌区和新湖总场灌区都为 65 kg/hm², 氮肥施用量最少的石河子灌区为 60 kg/hm², 由于各灌区开发年限较长, 土壤养分基本稳定, 导致各灌区氮肥施用量按照地形和土壤类型等呈现带状分布, 北部靠近古尔班通古特沙漠, 土壤肥力较差, 并且开发年限较晚, 所施氮肥较多, 而南部靠近天山北麓, 土壤肥力、地方小气候等条件相对较好, 开发年限较长, 在保持土壤肥力的情况下所施氮肥较少。

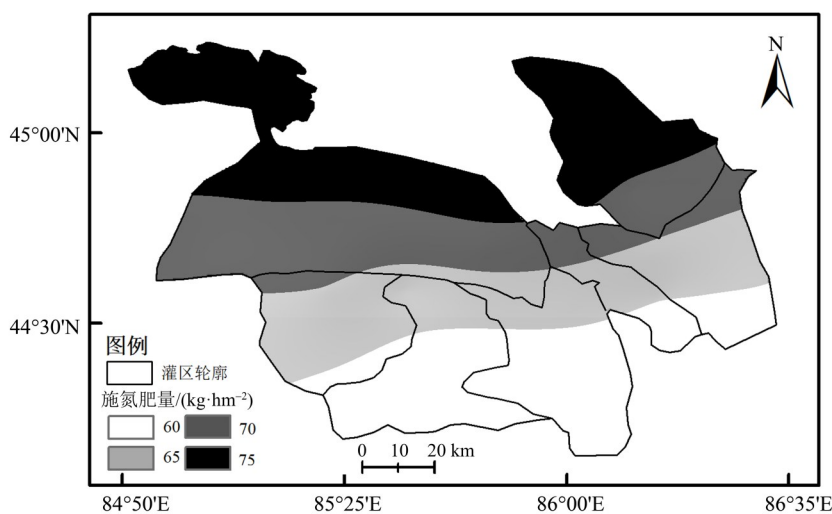


图 4 不同灌区农田每年每公顷施氮量

Fig. 4 The annual nitrogen application rate per hectare in various irrigation areas

2.4 不同灌区棉田土壤铵态氮硝态氮含量与土壤环境因子关系分析

2.4.1 相关性分析 由表 2 可知, 各灌区土壤理化性质的变化与铵态氮硝态氮含量的关系较为密切, 各灌区铵态氮含量在各月与 pH 呈显著负相关, 与全盐呈显著正相关, 在 5 月和 8 月与含水量呈显著正相关, 但是在 10 月份与土壤含水量相关性并不显著, 在各月与温度无显著相关性; 各灌区土壤硝态氮含量在各月都与土壤含水量和全盐呈显著正相关, 和土壤温度呈显著负相关, 但是和 pH 并无显著相关关系。

2.4.2 通径分析 通信分析中可以使用直接系数和间接系数表达其他不易量化的因变量和自变量的之间的相对重要性。不同灌区的氮肥施用量和

开发年限也在不同程度地影响铵态氮和硝态氮和含量, 并且这种影响较其他土壤理化因子来说更加复杂, 为了综合这些因素之间的关系, 选择直接通径系数和间接通径系数之和, 来解释土壤理化性质和氮肥使用量以及农田开发年限对于铵态氮和硝态氮含量的影响程度 (表 3 和 4)。结果表明, 下野地灌区和莫索湾灌区 5、8 月土壤含水量、氮肥施用量和土壤温度对铵态氮含量的直接作用较大, pH 的间接负效应较大, 开发年限的间接作用较大, 而 10 月份时全盐和 pH 的直接作用较大; 安集海灌区和新湖总场灌区 5、8 月份氮肥施用量和全盐的直接作用较大, 土壤含水量和开发年限的间接作用较大, 而 pH 主要体现在间接负效应中, 10 月份时, 土壤含水量和氮肥施用量的间接

表 2 不同灌区下土壤铵态氮硝态氮和含量与理化性质的相关性分析¹⁾

Table 2 The correlationship between the contents of ammonium nitrogen & nitrate nitrogen and the physical and chemical properties of soils in various irrigation areas

灌区	月份	项目	土壤温度	土壤含水量	pH	全盐
下野地	5	NH ₄ ⁺ -N	0.955	0.917	-0.680**	0.754**
		NO ₃ ⁻ -N	-0.652**	0.957	0.905	0.943
	8	NH ₄ ⁺ -N	0.833	0.764**	-0.836*	0.765*
		NO ₃ ⁻ -N	-0.705*	0.668**	0.739	0.748**
	10	NH ₄ ⁺ -N	0.944	0.700*	-0.897*	0.794
		NO ₃ ⁻ -N	-0.694	0.688*	0.793	0.700*
安集海	5	NH ₄ ⁺ -N	0.830	0.653*	-0.924*	0.977*
		NO ₃ ⁻ -N	-0.937**	0.771	0.977	0.911*
	8	NH ₄ ⁺ -N	0.826	0.887	-0.731**	0.693**
		NO ₃ ⁻ -N	-0.670	0.811**	0.758	0.716*
	10	NH ₄ ⁺ -N	0.947	0.650*	-0.826*	0.788
		NO ₃ ⁻ -N	-0.854*	0.850	0.710	0.760
金沟河	5	NH ₄ ⁺ -N	0.720	0.726**	-0.937*	0.939*
		NO ₃ ⁻ -N	-0.933*	0.755	0.734	0.655*
	8	NH ₄ ⁺ -N	0.764	0.931**	-0.872*	0.797
		NO ₃ ⁻ -N	-0.948**	0.802*	0.931	0.889**
	10	NH ₄ ⁺ -N	0.841*	0.745	-0.761*	0.924
		NO ₃ ⁻ -N	-0.692**	0.886	0.820	0.947
莫索湾	5	NH ₄ ⁺ -N	0.882	0.873**	-0.696**	0.865*
		NO ₃ ⁻ -N	-0.814*	0.959*	0.724	0.867**
	8	NH ₄ ⁺ -N	0.778	0.667**	-0.731	0.793*
		NO ₃ ⁻ -N	-0.668*	0.657	0.919	0.857
	10	NH ₄ ⁺ -N	0.926	0.960*	-0.828**	0.807
		NO ₃ ⁻ -N	-0.832	0.814	0.823	0.908**
石河子	5	NH ₄ ⁺ -N	0.952	0.942**	-0.787**	0.911**
		NO ₃ ⁻ -N	-0.782**	0.730*	0.661	0.912
	8	NH ₄ ⁺ -N	0.668*	0.800**	-0.689*	0.756*
		NO ₃ ⁻ -N	-0.830	0.735	0.716	0.900*
	10	NH ₄ ⁺ -N	0.940*	0.807	-0.659	0.661
		NO ₃ ⁻ -N	-0.717	0.675**	0.946	0.978**
新湖总场	5	NH ₄ ⁺ -N	0.730*	0.694*	-0.823*	0.766*
		NO ₃ ⁻ -N	-0.861**	0.674	0.880	0.738
	8	NH ₄ ⁺ -N	0.732*	0.895*	-0.821*	0.917*
		NO ₃ ⁻ -N	-0.892*	0.790	0.762	0.772
	10	NH ₄ ⁺ -N	0.901*	0.949**	-0.927*	0.927*
		NO ₃ ⁻ -N	-0.698	0.693	0.893	0.821

1) *数字表示显著相关 ($P < 0.05$), **表示极显著相关 ($P < 0.01$)。

表3 各灌区土壤环境因子对土壤铵态氮的通路系数

Table 3 The path coefficient of soil environmental factors to soil ammonium nitrogen in various irrigation areas

月份	影响因素	下野地灌区		安集海灌区		金沟河灌区		莫索湾灌区		石河子灌区		新湖总场灌区	
		直接通路系数	间接通路系数之和	直接通路系数	间接通路系数之和	直接通路系数	间接通路系数之和	直接通路系数	间接通路系数之和	直接通路系数	间接通路系数之和	直接通路系数	间接通路系数之和
5	土壤温度	-0.26	-0.636	-0.65	-0.262	-0.306	-0.593	-0.204	-0.608	0.112	-0.625	-0.667	-0.297
	土壤含水量	0.684	0.105	0.12	0.547	0.659	0.237	0.632	0.108	0.633	0.28	0.214	0.487
	pH	0.154	0.103	0.058	0.24	0.107	-0.15	0.039	-0.079	0.38	0.217	0.02	0.019
	全盐	0.128	0.742	0.171	0.412	0.548	0.129	0.106	0.657	0.707	0.148	0.373	0.674
	氮肥施用量	0.586	0.039	0.698	0.16	0.138	0.694	0.795	0.17	0.245	0.642	0.738	0.146
	开发年限	0.147	0.733	0.19	0.73	0.147	0.765	0.204	0.749	0.32	0.519	0.137	0.646
8	土壤温度	-0.136	-0.525	-0.66	0.256	-0.194	-0.593	0.128	-0.724	-0.242	-0.593	-0.551	0.105
	土壤含水量	0.763	0.13	0.139	0.483	0.704	0.238	0.641	0.257	0.631	0.155	0.13	0.692
	pH	0.197	0.157	0.196	0.035	0.19	-0.08	0.29	0.257	0.166	-0.181	0.154	0.229
	全盐	0.142	0.768	0.139	0.541	0.683	0.224	0.148	0.694	0.511	0.156	0.243	0.771
	氮肥施用量	0.645	0.21	0.894	0.052	0.145	0.711	0.693	0.138	0.137	0.742	0.733	0.115
	开发年限	0.124	0.653	0.156	0.715	0.175	0.423	0.17	0.763	0.241	0.735	0.198	0.637
10	土壤温度	-0.581	-0.243	-0.69	-0.225	-0.598	-0.148	-0.557	-0.145	-0.561	-0.293	-0.57	-0.264
	土壤含水量	0.14	0.65	0.24	0.484	0.702	0.171	0.116	0.843	0.657	0.046	0.142	0.735
	pH	0.05	0.128	0.057	0.022	0.065	0.083	-0.19	0.047	-0.136	0.063	0.059	-0.044
	全盐	0.761	0.048	0.164	0.648	0.13	0.774	0.724	0.21	0.286	0.691	0.239	0.633
	氮肥施用量	0.197	0.753	0.723	0.235	0.265	0.608	0.08	0.854	0.113	0.743	0.564	-0.063
	开发年限	0.17	0.642	0.172	0.654	0.173	0.754	0.231	0.724	0.169	0.693	0.37	0.545

作用较明显, 开发年限的直接作用较大, pH的间接负效应较大; 石河子灌区和金沟河灌区在5、8和10月份中, 土壤含水量和全盐的直接作用均较大, 施肥量、开发年限间接影响铵态氮的含量, 并且pH的间接负效应也较为明显。

表4为下野地灌区和莫索湾灌区5月和8月土壤含水量、氮肥施用量对于土壤硝态氮含量的直接作用较大, 开发年限和全盐的间接作用较大, 温度的间接负效应也较明显, 而10月时, 影响硝态氮含量的直接因子为温度的负效应和全盐的正效应, 含水量和氮肥施用量以及开发年限则主要体现为间接影响; 安集海灌区和新湖总场灌区5月、8月和10月的直接影响因素均为氮肥施用量的正效应和温度的负效应, 开发年限、土壤含水量和全盐对硝态氮的间接影响较大; 石河子灌区和金沟河灌区在5、8月时主要受到含水量和全盐的直接影响, 温度的负效应和施肥量、开发年限则

体现为间接影响, 10月时, 含水量和温度对硝态氮含量产生直接影响, 开发年限和全盐以及氮肥施用量则产生间接影响。

3 讨论

3.1 各灌区棉田土壤铵态氮硝态氮差异分析

玛河流域从天山北坡到古尔班通古特沙漠分别为: 山前平原绿洲, 人工绿洲, 绿洲与荒漠过渡带三大自然带。由于金沟河、宁家河、玛纳斯河等流域内河流流经地方不同, 使得玛河流域形成了地貌、土壤盐渍化和小气候等特点不同的6大灌区^[13]; 再加上各灌区利用膜下滴灌技术年限的不同, 氮肥施用量情况不同^[14], 导致玛河流域各灌区土壤的铵态氮和硝态氮含量的差异。就整个玛河灌区来说, 铵态氮和硝态氮的含量在不同季节都主要分布在表层, 并且由表层向下逐渐减少, 这与王旭洋^[15]的研究结果相同, 可能与水肥一体化等滴灌技术有关。下野地灌区和莫索湾灌区的

表 4 各灌区土壤环境因子对土壤硝态氮的通路系数

Table 4 The path coefficient of soil environmental factors to soil nitrate nitrogen in various irrigation areas

月份	影响因素	下野地灌区		安集海灌区		金沟河灌区		莫索湾灌区		石河子灌区		新湖总场灌区	
		直接通路系数	间接通路系数之和	直接通路系数	间接通路系数之和	直接通路系数	间接通路系数之和	直接通路系数	间接通路系数之和	直接通路系数	间接通路系数之和	直接通路系数	间接通路系数之和
5	土壤温度	0.627	0.139	0.347	0.189	0.495	0.161	0.553	0.157	0.56	0.14	-0.066	0.149
	土壤含水量	0.752	0.118	0.206	0.754	0.704	0.231	0.642	0.224	0.851	0.196	0.244	0.616
	pH	-0.227	-0.613	-0.35	-0.772	0.039	-0.569	-0.106	-0.547	-0.048	-0.584	0.179	-0.665
	全盐	-0.176	0.288	0.729	0.233	0.641	0.155	0.305	0.329	0.821	0.173	0.744	0.136
	氮肥施用量	0.631	0.026	0.847	0.248	0.104	0.639	0.614	0.131	0.14	0.647	0.62	0.391
	开发年限	0.244	0.668	0.261	0.609	0.127	0.669	0.194	0.738	0.07	0.714	0.213	0.641
8	土壤温度	0.517	0.134	0.418	0.292	0.181	0.316	0.612	0.157	0.48	0.504	0.736	0.159
	土壤含水量	0.669	0.214	0.16	0.609	0.558	0.142	0.738	0.243	0.753	0.237	0.252	0.743
	pH	-0.259	-0.508	-0.14	-0.766	0.145	-0.512	-0.146	-0.565	-0.107	-0.697	0.198	-0.742
	全盐	0.17	-0.156	0.751	0.155	0.761	0.223	0.176	0.108	0.841	0.128	0.653	0.068
	氮肥施用量	0.642	0.294	0.767	0.171	0.158	0.823	0.751	0.128	0.164	0.865	0.726	0.245
	开发年限	0.152	0.49	0.209	0.645	0.242	0.763	0.194	0.746	0.18	0.653	0.161	0.848
10	土壤温度	0.248	-0.124	0.347	-0.196	0.211	0.503	0.27	0.206	0.27	0.455	0.434	-0.554
	土壤含水量	0.25	0.184	0.135	0.645	0.724	0.188	0.375	0.234	0.654	0.292	0.154	0.837
	pH	0.664	0.194	-0.16	-0.675	-0.163	-0.63	0.738	0.302	-0.176	-0.52	-0.239	-0.547
	全盐	0.684	0.163	-0.39	0.319	0.709	0.136	0.541	0.147	0.663	0.193	0.237	0.334
	氮肥施用量	-0.046	0.26	0.31	0.714	0.256	0.91	0.154	0.196	0.12	0.847	0.178	0.81
	开发年限	0.265	-0.154	0.543	0.127	0.132	0.814	0.17	0.14	0.187	0.846	0.649	0.322

铵态氮硝态氮含量最高, 金沟河灌区和石河子灌区的铵、硝态氮含量最低, 主要是因为下野地灌区和莫索湾灌区所处绿洲荒漠过渡带, 土壤肥力较差, 盐渍化比较严重, 开发时间相较于其他灌区较短, 并且目前还处于开发状态, 需要使用大量的肥料来保持土壤的肥力^[16], 而不同的地形地貌特点导致下野地灌区和莫索湾灌区的 pH 要明显高于其他灌区, 对铵态氮的分部也有较大影响, 并且不同灌区的铵态氮硝态氮随着全盐的减少而减少, 这一点在土壤盐渍化程度较低的石河子灌区和金沟河灌区表现更为明显。玛河流域不同月份的铵态氮和硝态氮含量主要和铵态氮硝态氮的特性有关, 但同时也与施肥量以及灌区各自的开发年限也有一定的关系, 5 和 8 月都是生长季, 需要大量的肥料来保证棉花的生长, 滴灌所采用的水肥一体化技术, 使得铵态氮和硝态氮的含量不断增加, 而在 10 月份停止施肥后, 硝态氮作为氧化态, 是阴离子, 不易被土壤胶体吸附的特性

导致硝态氮较为容易流失, 所以 10 月份, 虽然滴灌结束, 土壤含水量下降, 使得硝态氮在温度低的时候更能发挥作用^[17]。其中, 玛河流域各灌区不同月份土壤铵态氮和硝态氮含量远低于黄土高原王东沟小流域农田土壤^[18], 这可能是玛河流域与黄土高原王东沟小流域的气候、农作物类型、土壤 pH 的变化范围以及施肥量等影响因子的差异有关; 同时, 土壤铵态氮硝态氮含量也低于江汉平原典型农业小流域土壤, 这可能是二者的土壤养分含量存在差异^[19]。与黄河三角洲流域相比, 玛河流域的硝态氮含量明显较低, 但是铵态氮差距并不明显, 这可能是由于玛河流域主要靠人工滴灌, 水分变化周期较长, 导致铵态氮的脱氮不太明显, 而硝态氮含量较低可能由于玛河流域与黄河三角洲流域的土壤类型导致的溶质运移条件不同^[20]。通过对各个灌区土壤铵态氮硝态氮的变异系数对比, 发现变异程度均属于中等变异强度, 但是硝态氮对土壤环境的变化响应更为敏

感,铵态氮较为稳定,这与刘合满^[21]的研究结果不一致,可能是因为土壤类型,气候等影响有关,但是与白军红^[22]的研究结果类似,可能与气候,土壤养分等环境因子有关。通过分析发现,玛河流域各个灌区的土壤环境变化使铵态氮硝态氮含量低于其他流域农田,所以在评价玛河流域农田土壤氮肥养分时应与其他区域的标准有所不同^[23]。

3.2 棉田土壤环境因子对土壤铵态氮和硝态氮的影响

铵态氮硝态氮的季节变化是对不同棉花生长期土壤理化性质的反映^[24],并且不同生长期土壤理化性质对铵态氮硝态氮的影响程度有差别。不同灌区的土壤类型、小气候、施氮量和开发年限等因素共同影响了铵态氮硝态氮的含量,一方面土壤类型影响了溶质运移,导致铵态氮硝态氮在不同土层的分布有所差别,另一方面,由于研究区是农田土壤,这就导致了土壤含水、全盐、pH、等因素主要受制于人为影响,再加上不同灌区的开发年限、施氮量等因素影响了铵态氮和硝态氮在空间上的分布。各月的土壤pH、全盐和含水量等养分因子对铵态氮和硝态氮的直接影响和间接影响较大,因为铵态氮和硝态氮与土壤养分含量密切相关,铵态氮易溶于水,并且易被土壤吸附,但是在碱性土壤中容易挥发;硝态氮受热会分解放出氧气,并且吸湿性比较强,所以不同灌区的环境因子对铵态氮硝态氮含量的影响有所不同。这与孟盈等^[25]的研究结果一致。而各个灌区的开发年限和施肥量等因素对土壤铵态氮硝态氮间接

影响较大,在各个灌区,开发年限较少的地方铵态氮硝态氮含量较大,这是因为农田开发年限较短的地方需要大量的肥料来保持农田的肥力,并且在施氮量较高的地方,铵态氮和硝态氮的含量也较高^[26],开发年限和施氮量对铵态氮和硝态氮的影响在施肥结束后的10月更为明显。综上所述,玛河流域不同灌区棉田土壤下,土壤养分和理化性质等对铵态氮硝态氮含量的直接影响较大,而农田开发年限,施氮量等对铵态氮硝态氮的含量间接影响较大。

4 结 论

通过2019年对玛河流域不同灌区棉田土壤铵态氮和硝态氮的研究,得出如下结论:

1) 铵态氮硝态氮含量在各月变化较为明显,各个灌区铵态氮含量为8月>5月>10月,硝态氮含量为8月>10月>5月,并且在各月,铵态氮和硝态氮含量均聚集在表层,随着土层深度的增加逐渐减少;

2) 在各灌区中,铵态氮和硝态氮的分布在玛河流域呈现由南向北逐渐增加的趋势,下野地灌区和莫索湾灌区为最大值,南湖总场灌区和安集海灌区次之,含量最小的灌区为金沟河灌区和石河子灌区;

3) 土壤环境因子中,pH、全盐和含水量等养分因素对铵态氮和硝态氮的直接影响和间接影响较大,而各个灌区的开发年限和施肥量等因素对土壤铵态氮硝态氮间接影响较大。

参考文献:

- [1] 张彦东,白尚斌. 氮素形态对树木养分吸收和生长的影响[J]. 应用生态学报,2003(11):2044-2048.
- [2] 葛体达. 番茄对有机氮的吸收及土壤可溶性有机氮行为特性研究[D]. 上海:上海交通大学,2008.
- [3] ZARABI M, JALALI M. Leaching of nitrogen from calcareous soils in western Iran: a soil leaching column study [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2012, 184: 7607-7622.
- [4] WANG H Y, JU X T, WEI Y P, et al. Simulation of bromide and nitrate leaching under heavy rainfall and high-intensity irrigation rates in North China Plain[J]. Agricultural Water Management,2010, 97(10):1646-1654.
- [5] ZHANG Y M, HU C S, ZHANG J B, et al. Nitrate leaching in an irrigated wheat-maize rotation field in the North China Plain[J]. Pedosphere, 2005(2) : 196-203.
- [6] 习金根,周建斌,赵满兴,等. 滴灌施肥条件下不同种类氮肥在土壤中迁移转化特性的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004(4):337-342.
- [7] 郑剑锋,雷晓云,王建北,等. 基于水权理论的新疆玛纳斯河水资源分配研究[J]. 中国农村水利水电,2006(10):24-27+30.
- [8] 李志军,王海东,张富仓,等. 新疆滴灌施肥棉花生长和产量的水肥耦合效应[J]. 排灌机械工程学报, 2015,33(12):1069-1077.

- [9] 范文波,吴普特,马枫梅.膜下滴灌技术生态-经济与可持续性分析——以新疆玛纳斯河流域棉花为例[J].生态学报,2012,32(23):7559-7567.
- [10] 辛明亮,吕廷波,何新林,等.玛河灌区膜下滴灌棉田表层土壤盐分空间变异性[J].干旱地区农业研究,2017,35(4):74-79.
- [11] 陈明昌,张强,杨晋玲.土壤硝态氮含量测定方法的选择和验证[J].山西农业科学,1995(1):31-36.
- [12] CHIEN Y J, LEE D Y, GUO H Y, et al. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soil[J]. Soil Science, 1997, 162(4):151-162.
- [13] 刘金巍,靳甜甜,刘国华,等.新疆玛纳斯河流域2000-2010年土地利用/覆盖变化及影响因素[J].生态学报,2014,34(12):3211-3223.
- [14] 石河子统计局.石河子统计年鉴2018[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [15] 王旭洋.滴灌条件下施肥时段对土壤中速效氮时空分布的影响研究[D].北京:中国科学院研究生院,2016.
- [16] 李利.石河子市下野地灌区地下水开发利用现状及存在问题[J].地下水,2011,33(3):38-39.
- [17] 宋海星,李生秀.根系的吸收作用及土壤水分对硝态氮、铵态氮分布的影响[J].中国农业科学,2005(1):96-101.
- [18] 赵晓芳,黄明斌.黄土高原王东沟小流域土壤表层氮的空间分布[J].水土保持研究,2019,26(4):62-67.
- [19] 吴绮霏.江汉平原典型农业小流域土壤可溶性氮时空分异研究[D].武汉:华中师范大学,2018.
- [20] 牟晓杰,孙志高,刘兴土.黄河三角洲典型潮滩湿地土壤硝态氮和铵态氮的空间分布特征[J].水土保持通报,2012,32(6):256-261.
- [21] 刘合满,曹丽花,曾加芹.藏东南色季拉山沟壑区土壤氮素空间分布特征[J].生态学报,2016,36(1):127-133.
- [22] 白军红,欧阳华,邓伟,等.向海沼泽湿地土壤氮素的空间分布格局[J].地理研究,2004,23(5):614-622.
- [23] 樊华.栽培技术对新疆长期连作棉田生产力影响的研究[D].新疆:石河子大学,2009.
- [24] 马琳.玉米施氮量与土壤硝态氮、铵态氮的动态变化[D].哈尔滨:东北农业大学,2015.
- [25] 孟盈,薛敬意,沙丽清,等.西双版纳不同热带森林下土壤铵态氮和硝态氮动态研究[J].植物生态学报,2001(1):99-104.
- [26] 刘敏超,曾长立,王兴仁,等.氮肥施用对冬小麦氮肥利用率及土壤剖面硝态氮含量动态分布的影响[J].农业现代化研究,2000(5):309-312.

(责任编辑 秦社彩)

· 简讯 ·

关于《中山大学学报(自然科学版)》2022年起 变更为中英文期刊的公告

为响应并落实中国科协、中共中央宣传部、教育部、科技部《关于深化改革 培育世界一流科技期刊的意见》，以及中共中央宣传部、教育部、科技部《关于推动学术期刊繁荣发展的意见》，加强国际学术交流，提高国际化水平和国际影响力，更好地为我国的科技发展及国家建设服务，本刊申请更改为中英文期刊。

根据国家新闻出版署《关于〈中山大学学报(自然科学版)〉变更业务范围的批复》(国新出审[2021]831号)，国家新闻出版署已于2021年5月6日批准本刊变更业务范围中的文种为“中英文”，正式刊名为《中山大学学报(自然科学版)(中英文)》，新编国内统一连续出版物号为CN 44-1725/N，国际标准连续出版物号为ISSN 2097-0137。

本刊拟从2022年第1期起更改为中英文期刊。感谢广大编委、审稿专家、作者、读者一直以来的支持与关心，我们将一如既往地竭诚为作者、读者提供优质的服务，诚挚地邀请广大科研工作者继续赐稿本刊，投稿邮箱：http://xuebao.sysu.edu.cn/journalx_zrb/authorLogOn.action。

中山大学学报(自然科学版)编辑部