

# 全福庄小流域不同土地利用类型地表水氮浓度动态特征

闵惠琳<sup>1,2</sup>, 宋维峰<sup>1</sup>

(1. 西南林业大学 生态与水土保持学院, 昆明 650224; 2. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600)

**摘要:**为定量研究元阳梯田“四素同构”生态系统不同土地利用类型地表水氮浓度的动态变化特征,以元阳县全福庄小流域为研究对象,于 2016 年 11 月—2017 年 10 月,连续定位观测林地、村庄、梯田、河流 4 种土地利用类型地表水中总氮(TN)、硝态氮( $\text{NO}_3^-$ -N)和氨态氮( $\text{NH}_4^+$ -N)浓度的动态变化,分析了各形态氮浓度的时空分布及其季节性变化。结果表明:(1) 4 种土地利用类型下 TN 和  $\text{NO}_3^-$ -N 浓度的最大值均出现在 6 月,最小值均出现在 12 月—翌年 2 月,梯田和河流的  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度较高,且最大值均出现在 5 月,梯田中  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度的最小值出现在 7 月。(2) TN,  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度均表现出村庄最高,其次为梯田和河流,最低为林地的分布特征。林地、梯田和河流中 TN 和  $\text{NO}_3^-$ -N 浓度均为夏季>春季>秋季>冬季的变化规律,林地、梯田和河流中  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度呈现为春季>冬季>秋季>夏季的变化规律。

**关键词:**元阳梯田; 四素同构; 氮浓度; 动态变化

**中图分类号:**X832;X523

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2019)01-0092-06

## Dynamic Characterization of Surface Water nitrogen Concentration Under Various Land Uses in Quanfuzhuang Watershed

MIN Huilin<sup>1,2</sup>, SONG Weifeng<sup>1</sup>

(1. College of Ecology and Soil & water conservation, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;  
2. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang, Guangxi 532600, China)

**Abstract:** The dynamic characteristics of surface water nitrogen concentration under various land uses were studied in the Quanfuzhuang watershed with typical nature of ‘four-element-in-a-structure’ ecosystem in Yuan yang County. From November 2016 to October 2017, the study was conducted to analyze spatial and temporal distribution as well as seasonal variations of the nitrogen concentration through monitoring the TN,  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N of the surface water under four land uses of forest, villages, terraces and river. The results showed that: (1) the highest concentrations of TN and  $\text{NO}_3^-$ -N appeared in June, while the lowest in December to February; the concentrations of  $\text{NH}_4^+$ -N in terraces and river were higher and the highest in May, while the lowest  $\text{NH}_4^+$ -N in the terraces appeared in July; (2) the highest concentrations of the TN,  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N appeared in the village, followed by terraces and river, and the lowest appeared in the forestland; concentrations of TN and  $\text{NO}_3^-$ -N in the forest, terraces and river decreased in the order: summer>spring>autumn, while the  $\text{NH}_4^+$ -N concentrations decreased in the sequence: spring>winter>autumn>summer.

**Keywords:** Yuan yang terraces; Four-element-in-a-structure; nitrogen concentration; dynamic variation

氮(N)是陆地及海洋生物不可缺少的生命元素,是生物圈物质与能量循环的重要组成部分,是生命支持系统不可替代的主成分,也是促进农业持续发展的根本要素。大量氮素通过降雨和地表径流等水文过程输入水体,从而引起地表水水生态环境恶化及水体

富营养化问题的出现<sup>[1]</sup>,同时也浪费了大量的养分资源<sup>[2]</sup>。我国作为一个农业生产大国,农业环境形势极其严峻,从第一次全国污染源调查的结果中可以看出,我国高达 159.78 万 t/a 的总氮(TN)流失量是由于种植业的发展所引起的。

研究不同土地利用方式下氮浓度变化和养分输出特征的常用方法是利用人工控制下的标准径流小区进行试验。此类方法一般可分为两种研究类型,第一种方法是人工模拟降雨法,另一种方法是基于天然降雨条件下进行的定位观测试验,该类方法要求必须经过长期的定位观测,对不同土地利用方式下的养分流失及土壤侵蚀特征进行对比研究。目前我国学者已针对径流小区进行了大量的试验工作,但大多采用的是人工模拟降雨的研究方法,单保庆等<sup>[3]</sup>利用人工模拟降雨法研究了巢湖地区氮、磷的输出特征及机理,黄满湘等<sup>[4]</sup>利用此类方法研究了北京郊区氮、磷的输出特征和机理。针对天然降雨条件下开展的研究如李英俊等<sup>[5]</sup>研究了尖山河流域农田地表径流氮素的流失特征,目前对地表径流的研究主要集中在旱田、坡耕地的土壤侵蚀和氮磷流失,对梯田氮素时空变化的研究较少。如朱继业等<sup>[6]</sup>研究了太湖流域典型小流域不同农地利用方式下自然降雨过程引起的地表径流氮流失特征。

研究表明在流域尺度上,土地利用类型对水质有显著地影响<sup>[7]</sup>,王晓燕等<sup>[8]</sup>分析石匣小流域不同土地利用类型地表径流中氮磷的流失特征,结果表明径流中氮磷的浓度最高的为村庄,其次为坡耕地和林地,荒草地的氮磷浓度最低。张汪寿等<sup>[9]</sup>研究北运河下游灌区不同土地利用类型氮素的输出规律,结果表明TN浓度为村庄>农田>林地。但是目前对元阳梯田四素同构生态系统不同土地利用方式下地表水氮浓度进行长期、连续性及系统的观测的研究鲜有报道。

元阳梯田特殊的“四素同构”生态系统的顶端是森林,中部是村庄、下部是梯田和河流,顶端的森林为元阳梯田湿地系统和河流提供了充足的水源保证;中部的村庄其饮用水和生活用水主要来源于上方的森林,位于森林和村庄下方的梯田,发挥了粮食生产的功能,并且梯田需要的营养元素主要来源于梯田上方的森林,而不是化肥。水流经梯田后最终汇入下方河流中。因此本研究为探讨元阳梯田“四素同构”系统天人合一的水分和营养元素的利用模式,分析该系统地表水氮浓度的动态变化特征,揭示元阳梯田生态系统氮素的变化规律,为元阳梯田的可持续发展提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

元阳县地处云南省红河州的西南部,地理位置为东经 102°27′—103°13′,北纬 22°49′—23°19′,总面积 2 215.46 km<sup>2</sup>,元阳县境内的水系主要有红河、藤条

江和金子河。元阳县地处元阳梯田的核心区,境内梯田面积为 1.32 万 hm<sup>2</sup>,海拔在 700~1 800 m。研究区位于麻栗寨河流域上游的全福庄小流域,是元阳梯田“四素同构”生态系统的典型代表,全福庄小流域上部是森林、次上部是村庄、中部是梯田、下部是河流(图 1),面积 79.9 hm<sup>2</sup>,海拔在 1 720~2 073 m,气候属亚热带山地季风气候,相对湿度为 85%,年平均雾期 180 d。多年平均降水量为 1 397.6 mm,降水主要集中在 5—10 月,占全年降雨量的 78%。多年平均气温为 20.5℃,年平均日照时数为 1 820.8 h,年蒸发量为 1 184.1 mm。土壤以黄壤、黄棕壤为主,土壤剖面完整,土层厚度约 100 cm 左右<sup>[10]</sup>。研究区内主要土地利用方式为森林和稻田,森林内主要树种有红木荷(*Schima wallichii*)、桤木(*Alnus cremastogyne* Burk.)、旱冬瓜(*Alnus nepalensis* D. Don)、元江山茶(*Camellia japonica*)、臭牡丹(*Clerodendrum bungei* Steud)、浆果栎(*Quercus coccoifera*)等,梯田种植一季稻,品种以绿平谷为主,5 月插秧,10 月成熟,插秧后两星期内施农家肥,施肥方式以人工施肥和沟渠冲肥为主,稻田不放水,常年有水。

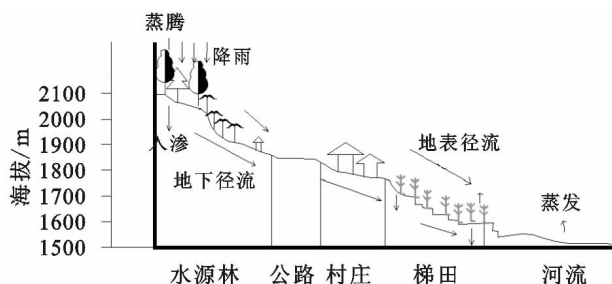


图 1 元阳梯田“四素同构”生态系统示意图

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 样地设置及调查

(1) 观测场布设。在全福庄小流域上游森林区域内布设 3 类典型森林类型标准观测场,包括 20 m×20 m 的乔木林标准观测场,10 m×10 m 的灌木林标准观测场和 10 m×10 m 的荒草地标准观测场。在全福庄小流域上游森林出口处布设卡口站 1 处,卡口站内安装自记雨量计观测降雨量,利用水位计结合三角形量水堰对小流域内的产流进行观测。

(2) 采样点布设。根据研究区上部是森林、中部是村庄、下部是梯田和河流的垂直结构特点,采用自上而下梯度格局法、根据 GPS 准确定位均匀布设样点,使得布点与水分迁移方向一致,以确保能准确地反映研究区氮浓度的空间分布及季节变化特征。在上部森林区域按从上至下分别在乔木林样地、灌木林样地、荒草地样地、卡口站、沟渠的径流沿程布设样点,在村庄内沟渠至村庄出口自上而下布设样点,下

部梯田区域以海拔梯度为依据,自上而下,将梯田分为上、中、下均匀布设田块样点和梯田沟渠样点,在梯田出口—河流入口及河流内部布设河流样点(具体布设见图 2,黑点为采样点)。

表 1 观测场概况

土地利用类型	主要植物种类	海拔/m	坡度	坡向	胸径/cm	树高/m	土壤
乔木	旱冬瓜 ( <i>Alnus nepalensis</i> D. Don)、元江栲 ( <i>Castanopsis orthacantha</i> )、红木荷 ( <i>Schima wallichii</i> )、桫木 ( <i>Alnus cremastogyne</i> Burk.)、元江山茶 ( <i>Camellia japonica</i> )、	2070	15°	东	20	15	黄棕壤
灌木	臭牡丹 ( <i>Clerodendrum bungei</i> Steud)、浆果栎 ( <i>Quercus coccifera</i> )、叶下株 ( <i>Phyllanthus urinaria</i> )	2000	20°	东	8	3.5	黄棕壤
荒草地	鳞毛蕨 ( <i>Dryopteris filix-mas</i> )、紫茎泽兰 ( <i>Eupatorium adenophorum</i> )、沿阶草 ( <i>Ophiopogon bodinieri</i> )	1942	25°	东	—	0.3	黄棕壤

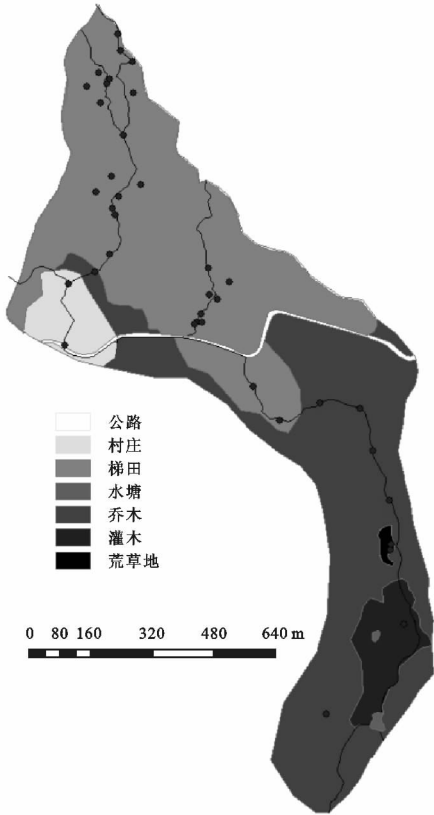


图 2 采样点布设

1.2.2 样品采集与测定 样品采集时间为 2016 年 11 月—2017 年 10 月,根据地表水环境质量标准 (GB3838—2002)的要求采集和保存水样,采集频率为每月 28 日—30 日采样一次,采集对象为地表水,由于研究区有常流水,保证了一年四季不间断采样,用 500 ml 聚乙烯塑料瓶采集的水样 2 瓶,其中一瓶用浓硫酸调节 pH 值至 1~2 用于 TN 和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的测定,水样保存在 4℃ 低温保温箱中带回实验室测定。测定指标有 TN, $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 。其中 TN 采用过硫酸钾氧化—紫外分光光度计法 (HJ636—2012)进行测定, $\text{NO}_3^-\text{-N}$  测定采用酚二磺酸—分光光度计法 (GB7480—87)进行测定, $\text{NH}_4^+\text{-N}$  采用纳氏

试剂—分光光度计法 (HJ535—2009)进行测定。

1.2.3 数据处理 对流域内多个采样点按照不同土地利用类型进行分类,对不同形态氮浓度按照时间计算平均值,不同形态氮浓度并对均值通过 SPSS 17.0 软件进行方差分析和 Pearson 相关性分析,采用 Excel 软件绘制氮浓度的动态变化图。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用类型氮浓度的统计描述

地表水中不同土地利用类型下 TN, $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度的描述性统计分析如表 2 所示。从表 2 可以看出,不同土地利用类型 TN 平均浓度的差异很大,村庄平均浓度最高为 0.466 mg/L,其次为梯田 0.334 mg/L,林地的最低为 0.257 mg/L,林地、村庄、梯田和河流的 TN 浓度变化范围分别为 0.174~0.443 mg/L,0.156~1.632 mg/L,0.201~0.778 mg/L 和 0.141~0.435 mg/L,其中林地的变异系数最低为 19.84%,这与林地距离居民活动区较远,受人为干扰小有关。除林地与河流之间差异性不显著外,其他类型间差异性显著。林地、村庄、梯田和河流的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度变化范围分别为 0.020~0.100 mg/L,0.009~0.416 mg/L,0.013~0.052 mg/L 和 0.009~0.052 mg/L, $\text{NO}_3^-\text{-N}$  平均浓度最高的为村庄 0.110 mg/L,最低的为河流 0.027 mg/L,村庄与其他 3 种土地利用类型间差异性显著。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为不同土地利用类型中氮的主要形态,尤其稻田中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  所占 TN 的比例最高,为 45.21%,这与梯田中所施肥料为农家肥有关,同时由于稻田长期处于淹水状态下,发生硝化作用的条件不足,因此  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度较高,而  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度较低。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  平均浓度最高的为村庄 0.201 mg/L,最低的为林地 0.097 mg/L,林地、河流与村庄、梯田有显著性差异。

2.2 不同形态氮的相互关系

不同土地利用类型地表水中 TN, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度的相关性分析如表 3 所示,4 种土地利用类型下 TN 与 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 均成显著正相关( $p<0.05$ ),说明 TN 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 可能具有一定的同源性,林地中 TN 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 成显著负相关( $p<0.05$ ),村庄、梯田、河流中

TN 均与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 成正相关,但是梯田与河流中相关性不强,这可能与梯田受施肥等人为活动的影响有关,而位于梯田下游的河流受梯田影响较大。林地、梯田、河流中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 均与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 成显著负相关( $p<0.05$ ),这是由于 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 在一定条件下能发生硝化和反硝化作用进行互相转化。

表 2 氮浓度的描述性统计分析

类型	TN			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N		
	平均值/ (mg · L <sup>-1</sup> )	标准差	变异 系数/%	平均值/ (mg · L <sup>-1</sup> )	标准差	变异 系数/%	平均值/ (mg · L <sup>-1</sup> )	标准差	变异 系数/%
林地	0.257a	0.051	19.84	0.060b	0.012	20.00	0.097a	0.016	16.49
村庄	0.466c	0.173	37.12	0.110a	0.035	31.82	0.201c	0.090	44.78
梯田	0.334b	0.106	31.74	0.028b	0.008	28.57	0.151b	0.071	47.02
河流	0.271a	0.096	35.42	0.027b	0.012	44.44	0.113a	0.050	40.65

注:平均值后标注的不同字母表示显著性差异( $p<0.05$ )。

表 3 不同形态氮浓度的相关性分析

变量	林地		村庄		梯田		河流	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N
TN	0.640*	-0.480*	0.881**	0.630*	0.617*	0.549	0.846**	0.747
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		-0.690*		0.590*		-0.451*		-0.497*
df	29	29	8	8	74	74	8	8

注:\* 和 \*\* 分别表示在 0.01 水平和 0.05 水平上显著相关。

2.3 不同土地利用类型氮浓度的动态变化

对不同土地利用类型的氮浓度按月进行连续观测,见图 3,不同土地利用类型下 TN, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度表现出不同的动态变化趋势。林地氮浓度与其他三中土地利用类型相比变化幅度相对较小,这与林地受人为活动的干扰小有关。4 种土地利用类型下 TN 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度的最大值均出现在 6 月,最小值均出现在 12 月—2 月,这是由于前期降雨较少且 5 月农民开始种植水稻,在插秧一周后施用农家肥,6 月降雨 249.5 mm,占研究期内总降雨量的 16.51%,氮素随降雨进入到地表径流中。而 12 月—2 月,降雨量少、气温较低且梯田处于轮歇期无农事活动,因此 TN 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度低。梯田和河流的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度较高,且最大值均出现在 5 月,这是受到农事活动的影响,施肥后梯田里浓度升高,同时田水溢出进入河沟使得河流的浓度增大。梯田中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度的最小值出现在 7 月,这是水稻的吸收和降雨的稀释共同作用的结果。

2.4 氮浓度的空间分布和季节性变化

不同土地利用类型地表水氮浓度的动态变化有明显的空间异质性,TN, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度在整体上都表现为村庄最高,其次为梯田和河流,最低的为林地,这是由于村庄生活污水、人畜粪便排放量

大,并且村庄内多为硬化地面,透水性差,污染物易被携带,因此村庄氮浓度大,随后地表径流携带大量的营养物质进入梯田,使得梯田的浓度增大,而林地距离村庄远,受人为扰动小,因此氮浓度一直较小。

不同土地利用类型地表水氮浓度的动态变化有明显的季节性,4 种土地利用类型下 TN, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度在季节上差异性显著( $p<0.05$ ),见图 4,林地、梯田和河流地表水 TN 浓度表现出夏季>春季>秋季>冬季,这是由于夏季降雨集中且充沛,6—8 月占全年降雨量的 43.70%,地表径流冲刷土壤、枯落物等,携带大量的影响物质,其次为春季 3—5 月,降雨量占到全年的 26.23%,同时受到施肥的影响, TN 浓度较高,而秋冬季降雨量少且多为分散的小雨,尤其是冬季 12 月—1 月降雨量只占到全年的 5.99%,同时冬季梯田处于轮歇期,无农事活动,因此 TN 浓度低。村庄地表水 TN 浓度在季节上的变化除冬季 TN 浓度大于秋季外,大致与其他 3 种土地利用类型相同。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度在季节上的变化与 TN 相似,4 种土地利用类型均与 TN 的季节性变化规律一致。林地、梯田和河流地表水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度整体上表现出春季>冬季>秋季>夏季的变化规律,春季受到施肥的影响使得 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度升高,同时秋冬季的温

氮素进行充分吸收利用,使得营养元素大量淋失在水体中。而村庄则表现出冬季>夏季>春季>秋季的

变化规律,这主要是受到村庄生活污水、人畜粪便排放的影响。

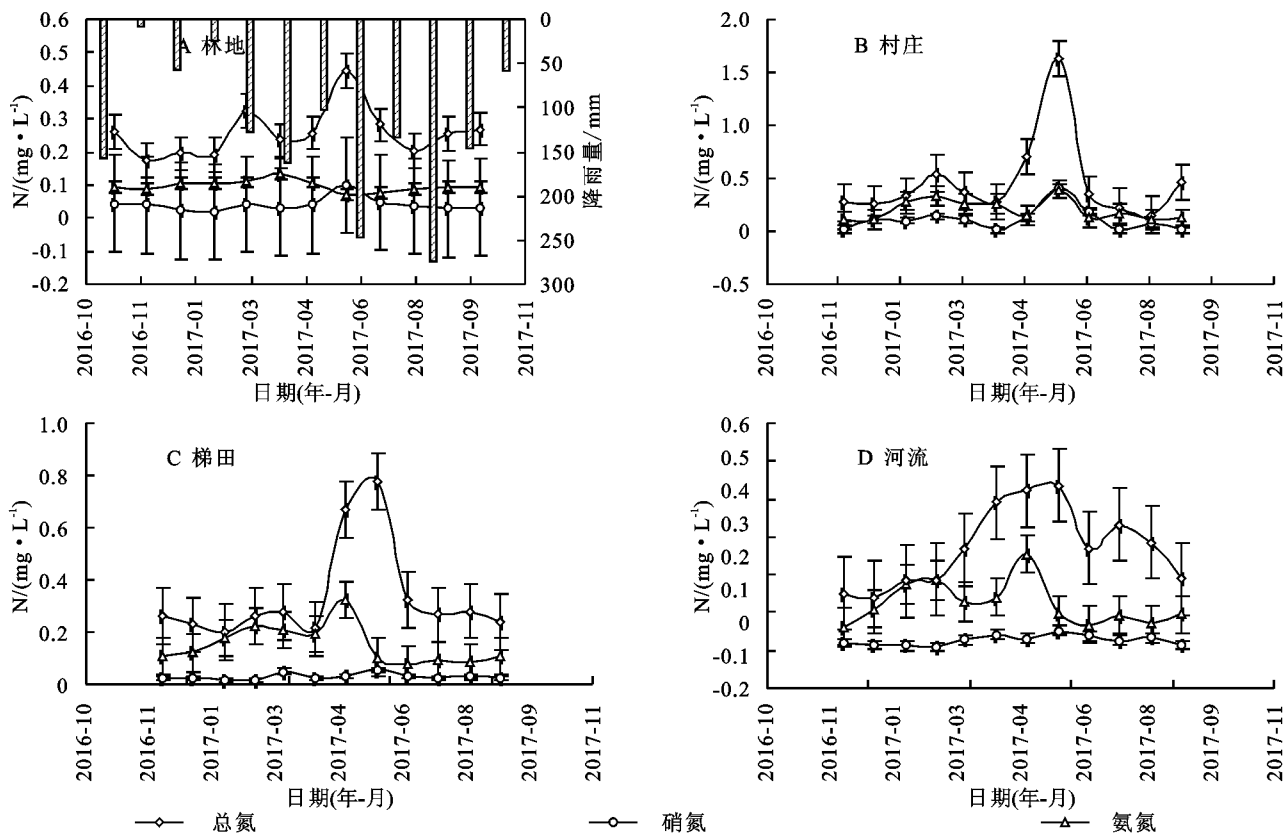


图3 不同土地利用类型N浓度的动态变化

### 3 讨论

不同土地利用类型地表水中  $TN$ ,  $NO_3^- - N$  和  $NH_4^+ - N$  浓度差异性显著,4 种土地利用类型下  $TN$  与  $NO_3^- - N$  均成显著正相关( $p < 0.05$ ),说明  $TN$  和  $NO_3^- - N$  可能具有一定的同源性,这与窦培谦等<sup>[11]</sup>的研究结果相似,村庄、梯田、河流中  $TN$  均与  $NH_4^+ - N$  成正相关,这与陈阿辉等<sup>[12]</sup>的研究结果相似。林地、梯田、河流中  $NO_3^- - N$  均与  $NH_4^+ - N$  成显著负相关( $p < 0.05$ ),这是由于  $NO_3^- - N$  和  $NH_4^+ - N$  在一定条件下能发生硝化和反硝化作用进行互相转化。4 种土地利用类型下  $TN$  和  $NO_3^- - N$  浓度的最大值均出现在 6 月,最小值均出现在 12 月—翌年 2 月,这是由于径流中  $TN$  和  $NO_3^- - N$  的浓度受降雨的影响显著,同时降水对  $NO_3^- - N$  有较强的淋溶能力<sup>[13]</sup>。降雨通过林冠层、枯枝落叶层后,由于降雨的淋洗作用, $NO_3^- - N$  浓度显著升高。梯田和河流的  $NH_4^+ - N$  浓度较高,且最大值均出现在 5 月,这是受到农事活动的影响,施肥后梯田里浓度升高。

研究表明在流域尺度上,土地利用类型对水质有显著地影响<sup>[8]</sup>,营养物质类型及其累积浓度的空间分布在不同土地利用类型上呈现出各不相同的特征<sup>[14]</sup>。 $TN$ ,  $NO_3^- - N$  和  $NH_4^+ - N$  浓度在整体上都表

现为村庄最高,与马东等<sup>[15]</sup>的研究结果相似,其次为梯田和河流,最低的为林地。与张汪寿等<sup>[9]</sup>研究北运河下游灌区得到  $TN$  浓度为村庄>农田>林地的研究结果相似,与徐幸仪等<sup>[16]</sup>研究表明  $NO_3^- - N$  在不同土地利用类型下随径流的输出强度为旱地>居民区>水田>林地的结果相似,与陆海明<sup>[17]</sup>等对于桥水库农业小流域氮浓度空间分布的研究所得出的村庄>耕地>森林的结果相似。氮浓度随季节变化特征明显,可能与人类农业活动和景观对氮输出影响具有明显的季节效应有关<sup>[18]</sup>。林地、梯田和河流的  $TN$  浓度和  $NO_3^- - N$  均表现出夏季>春季>秋季>冬季,这是由于夏季降雨集中且充沛,地表径流冲刷土壤、枯落物等,携带大量的影响物质,春季受到施肥的影响,浓度较高,而秋冬季降雨量少且多为分散的小雨,同时冬季梯田处于轮歇期,无农事活动,因此浓度低。这和涂安国等<sup>[19]</sup>人研究胡家山小流域得到  $TN$  浓度为春季>夏季>秋季>冬季的季节性变化规律不尽相同,这是由不同的耕作制度造成的。林地、梯田和河流的  $NO_3^- - N$  浓度在各个季节均较低,但是林地  $NO_3^- - N$  浓度在夏季较高,这是由于夏季降雨量大并且降水对  $NO_3^- - N$  有较强的淋溶能力。林地、梯田和河流地表水  $NH_4^+ - N$  浓度整体上表现出春季>冬季>秋季>

夏季的变化规律,春季受到施肥的影响使得  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度升高,同时秋冬季的低温低,动植物和微生物等新陈代谢作用较弱,不能对氮素进行充分吸收利用,使得营养元素大量淋失在水体中,这与牟溥等<sup>[20]</sup>研究森林、农田、村镇溪流中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度得到的春季>秋季>夏季的结果相似。

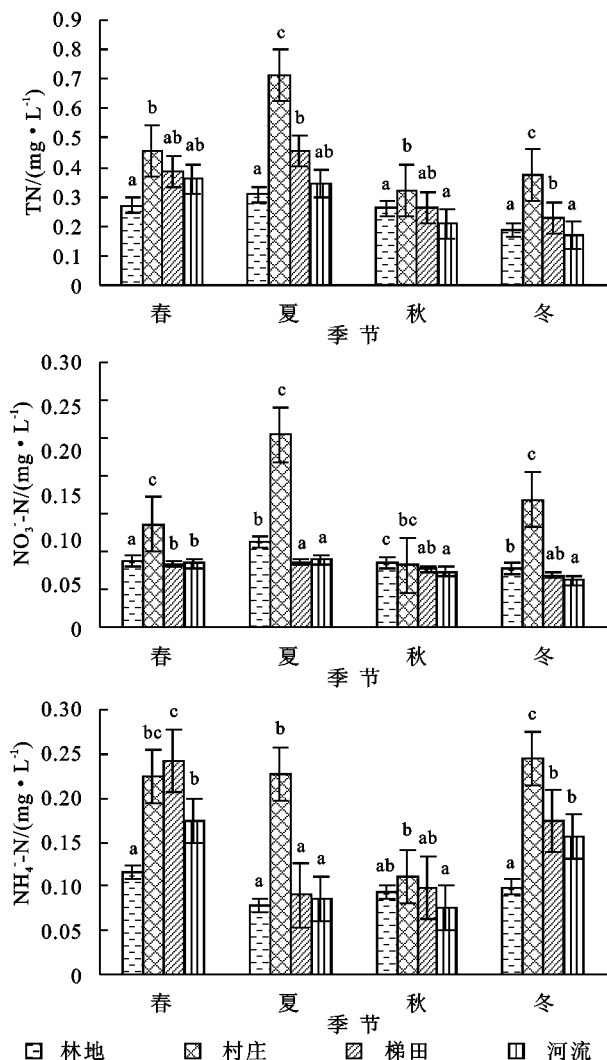


图4 不同土地利用类型N浓度的季节分布

氮浓度的动态特征的研究结果体现了研究区“四素同构”生态系统的水分和营养元素利用模式,顶端的森林发挥涵养水源的功能,为哈尼梯田湿地系统和河流提供了充足的水源保证,并且为中部的村庄提供充分的饮用和生活水源,地表径流携带大量的营养物质进入下方的梯田,梯田不仅发挥了粮食生产的功能,同时也接收了森林释放出的洁净水和村庄中排出的生活污水,因此梯田的氮浓度较高,随后流入河流的氮浓度低于梯田,则说明梯田发挥了人工湿地的功能。

## 4 结论

(1) 对氮浓度的统计描述得到:林地、河流与村庄、

梯田之间 TN 浓度和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度差异性显著,村庄与林地、梯田、河流之间的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度差异性显著。

(2) 对不同形态氮浓度的相关性分析得到:4 种土地利用类型下 TN 与  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  均成显著正相关 ( $p < 0.05$ ),村庄、梯田、河流中 TN 均与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  成正相关,林地、梯田、河流中  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  均与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  成显著负相关 ( $p < 0.05$ )。

(3) 对氮浓度的动态变化分析得到:4 种土地利用类型下 TN 和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度的最大值均出现在 6 月,最小值均出现在 12 月—2 月,梯田和河流的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度较高,且最大值均出现在 5 月,梯田中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度的最小值出现在 7 月。

(4) 对氮浓度的空间分布和季节性变化分析得到:TN,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度有明显的空间异质性和季节性,均表现为村庄最高,其次为梯田和河流,最低为林地。林地、梯田和河流中 TN 和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度均为夏季>春季>秋季>冬季的变化规律,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度为春季>冬季>秋季>夏季的变化规律。

### 参考文献:

- [1] Liu C, Xia J. Water problems and hydrological research in the Yellow River and the Huai and Hai River basins of China[J]. Hydrological Processes, 2004, 18(12): 2197-2210.
- [2] Vitousek P. M, Naylor R, Crews T, et al. Nutrient Imbalances in Agricultural Development[J]. Science, 2009, 324(5934): 1519-1520.
- [3] 单保庆,尹澄清,白颖,等. 小流域磷污染物非点源输出的人工降雨模拟研究[J]. 环境科学学报, 2000, 20(1): 33-37.
- [4] 黄满湘,章申. 北京地区农田氮素养分随地表径流流失机理[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 147-154.
- [5] 康玲玲,朱小勇,王云璋,等. 不同雨强条件下黄土性土壤养分流失规律研究[J]. 土壤学报, 1999, 36(4): 536-543.
- [6] 朱继业,高超,朱建国,等. 不同农地利用方式下地表径流中氮的输出特征[J]. 南京大学学报:自然科学版, 2006, 42(6): 621-627.
- [7] Hwang S J, Lee S W, Son J Y, et al. Moderating effects of the geometry of reservoirs on the relation between urban land use and water quality[J]. Landscape & Urban Planning, 2007, 82(4): 175-183.
- [8] 王晓燕,王一岫,王晓峰,等. 密云水库小流域土地利用方式与氮磷流失规律[J]. 环境科学研究, 2003, 16(1): 30-33.
- [9] 张汪寿,李晓秀,王晓燕,等. 北运河下游灌区不同土地利用方式非点源氮素输出规律[J]. 环境科学学报, 2011, 31(12): 2698-2706.

(下转第 105 页)

因子的关系[J]. 生态学杂志, 2007, 26(1): 100-107.

[30] 赵晓光, 吴发启. 黄土高原坡耕地土壤水分主要受控因子研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(1): 10-14.

[31] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土壤水分时空分异与环境关系的数量分析[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 741-747.

[32] 高红贝, 邵明安. 温度对土壤水分运动基本参数的影响[J]. 水科学进展, 2011, 22(4): 484-494.

[33] 高红贝, 邵明安. 干旱区降雨过程对土壤水分与温度变化影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(1): 40-45.

[34] Yang Q, Fu B, Wang J, et al. Spatiotemporal prediction of soil moisture content using multiple-linear regression in a small catchment of the Loess Plateau, China[J]. Catena, 2003, 54(1): 173-195.

[35] 侯喜禄, 白岗栓, 曹清玉. 刺槐、柠条、沙棘林土壤入渗及抗冲性对比试验[J]. 水土保持学报, 1995, 9(3): 90-95.

(上接第 91 页)

[26] 张庆, 牛建明, Alexander B, 等. 不同坡位植被分异及土壤效应: 以内蒙古短花针茅草原为例[J]. 植物生态学报, 2011, 35(11): 1167-1181.

[27] Davidson E A, Ackerman I L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils[J]. Biogeochemistry, 1993, 20(3): 161-193.

[28] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential[J]. Global Change Biology, 2000, 6(3): 317-327.

[29] Jobbagy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation[J]. Ecological Applications, 2000, 10(2): 423-436.

[30] 汝海丽, 张海东, 焦峰, 等. 黄土丘陵区微地形条件下草本群落特征与土壤水分及养分关系分析[J]. 草地学报, 2016, 24(4): 776-782.

[31] Gregorich E G, Anderson D W. Effects of cultivation and erosion on soils of four toposequences in the Canadian prairies[J]. Geoderma, 1985, 36(3): 343-354.

[32] 刘军秀. 荒漠草原区丘陵不同地貌部位土壤理化性质与植被生长状况研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2016.

[33] 高雪松, 邓良基, 张世熔. 不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 53-56.

[34] 聂莹莹, 李新娥, 王刚. 阳坡—阴坡生境梯度上植物群落  $\alpha$  多样性与  $\beta$  多样性的变化模式及与环境因子的关系[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2010, 46(3): 73-79.

(上接第 97 页)

[10] 张小娟, 宋维峰, 吴锦奎, 等. 元阳梯田水源区土壤水氢氧同位素特征[J]. 环境科学, 2015(6): 2102-2108.

[11] 窦培谦. 密云水库上游流域特征与氮磷流失规律关系研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2006.

[12] 陈阿辉, 李卫平, 于玲红, 等. 克鲁伦河夏季水体中氮、磷污染特征[J]. 环境污染与防治, 2015, 37(9): 34-38.

[13] 赵晓静, 张胜利, 马国栋. 间伐强度对秦岭锐齿栎林冠层和枯落物层水化学效应的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(24): 8155-8164.

[14] Wang P, Gao C, Yao Q, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of nitrogen losses in hilly area of Taihu Lake[J]. Environmental Science, 2006, 27(8): 1671-1675.

[15] 马东, 杜志勇, 吴娟, 等. 崂山水库流域不同土地利用类型地表径流的氮磷流失特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 31-33.

[16] 徐幸仪, 王建群, 胡小丽. 镇江丘陵区农业流域土地利用对氮素输移的影响[J]. 水电能源科学, 2013, 31(2): 112-115.

[17] 陆海明, 尹澄清, 王夏晖, 等. 于桥水库周边农业小流域氮素流失浓度特征[J]. 环境科学学报, 2008, 28(2): 349-355.

[18] Richards C, Johnson L B, Host G. Landscape influences on habitat, water chemistry, and macroinvertebrate assemblages in Midwestern stream ecosystems[R]. NRRI Technical Report, 2015.

[19] 涂安国, 尹炜, 陈德强, 等. 丹江口库区典型小流域地表径流氮素动态变化[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(8): 926-932.

[20] 牟溥, 王庆成, Anne, 等. 土地利用、溪流级别与溪流河水处理理化性质的关系[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1486-1492.