

凉水和帽儿山地区低级溪流生境和水质状况

王庆成¹, 姚 琴¹, 牟 溥², 李金国¹, 吕跃东¹, 乔树亮¹, 韩壮行¹

(1. 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040; 2. 北京师范大学生命科学学院, 北京 100875)

摘要:为研究不同植被景观土地利用下低级溪流的生境状况和水质差异,对凉水国家级自然保护区红松原始林内和帽儿山国家森林公园境内天然次生林植被和农田背景下各 3 条溪流生境和水质状况进行调查。对溪流生物特性(悬浮藻、附着藻)和理化性质(温度、混浊度、溶解氧(DO)、pH、 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N、 PO_4^{3-} -P、总氮(TN)和总磷(TP))以及细小颗粒有机物质(FPOM)和粗大有机物质(CPOM)进行测定。研究表明,凉水地区原始林溪流的生境状况好于帽儿山地区的次生林,帽儿山地区农田溪流生境最差。原始林溪流具有稳定的溪底生物生活基质,稳水区和急流区均匀分布,稳水区尺度变化大,受淀积物沉降干扰小,河道较弯曲,河岸稳定,河岸植被覆盖度高;次生林溪流以急流区为主,稳定基质相对较差,并受到一定程度的淀积物沉降干扰,河岸尚稳定,有一定程度的人为干扰;农田溪流基质不稳定,受到强烈淀积物沉降影响,渠道化严重,河岸带植被严重破坏。3 种景观背景下溪流总磷(TP)、溶解氧(DO)、混浊度、温度、氮磷比值(N/P) ($p < 0.05$)存在显著差异。原始林溪流 NH_4^+ 、DO、TP、TN、悬浮藻浓度和 pH 较高、附着藻数量较多,温度较低,FPOM 和 CPOM 的数量较少;次生林溪流的 NO_3^- -N、N/P 和 TDIN 较高,浊度较低;农田溪流浊度、温度、 PO_4^{3-} -P 较高,DO 和 pH 较低,附着藻数量较少。景观尺度上的土地利用对溪流生境具有深刻的影响,同时决定溪流的水质状况。

关键词:景观;土地利用;低级溪流;溪流生境;溪流水质

文章编号:1000-0933(2007)12-5176-08 中图分类号:S718.51 文献标识码:A

Habitat assessment and water quality analysis of low order streams in different landscapes in Liangshui and Maoershan, Heilongjiang, China

WANG Qing-Cheng¹, YAO Qin¹, Paul P. Mou², LI Jin-Guo¹, LÜ Yue-Dong¹, QIAO Shu-Liang¹, HAN Zhuang-Xing¹

1 College of Forestry, The Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 College of Life Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5176 ~ 5183.

Abstract: A study was conducted to determine the habitat features and water quality of the streams in different landscapes in Korean pine old-growth forest (Liangshui National Reserve), second growth forest and cropland (Maoershan National Park), Heilongjiang, China. The suspending algae, periphyton algae, temperature, turbidity, dissolved oxygen (DO), pH, NH_4^+ -N, NO_3^- -N, PO_4^{3-} -P, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total dissolved inorganic nitrogen (TDIN), fine particulate organic matter (FPOM), and coarse particulate organic matter (CPOM) of the streams were measured for evaluation of water quality. Results showed that the habitat feature of stream in old growth forest was better than that of stream in second growth forest, while the habitat status of stream in cropland land was worst. Stream in old growth forest was found with more stable streambed substrate for invertebrates and characterized by evenly positioned pools and riffles,

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30370277)

收稿日期:2007-02-11; 修订日期:2007-11-06

作者简介:王庆成(1963~),男,黑龙江人,博士,教授,主要从事森林生态学和生态系统生态学研究. E-mail: wqcnf@163.com

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China(No. 30370277)

Received date: 2007-02-11; **Accepted date:** 2007-11-06

Biography: WANG Qing-Cheng, Ph. D., Professor, mainly engaged in forest ecology and ecosystem ecology. E-mail: wqcnf@163.com

greater variation of pool size, less disturbance of streambed sedimentation, more sinuous stream channels, and stable riparian area with greater vegetation coverage. Stream in second growth forest was dominated by riffles, with less stable streambed substrate, easily influenced by sedimentation and its riparian area was relatively stable but frequently disturbed by human activities. Stream in cropland had unstable streambed substrate, heavily affected by sedimentation, high channelization and unvegetated riparian area. There were significant differences ($p < 0.05$) in TP, DO, turbidity, temperature and N/P ratio between the streams under different land uses. The concentrations of NH_4^+ , DO, TP, TN and suspended algae as well as pH were higher, quantity of periphyton algae was larger, temperature was lower, and the amounts of FPOM and CPOM were greater in the stream of old growth forest than in the streams of second growth forest and cropland. Comparatively, stream at second growth forest had higher concentrations of NO_3^- and TDIN, bigger N/P ratio, with lower turbidity, while the stream at cropland had higher concentration of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, lower concentration of DO and less quantity of periphyton algae, with greater turbidity, higher temperature and lower pH. The study indicated that land use in landscape scale profoundly determine the in-stream habitat and the water quality as well.

Key Words: landscape; land use; low order streams; in-stream habitat; stream water quality

世界范围内,人类活动的干扰造成水生生态系统结构和功能的破坏,导致生物多样性、生产力下降,自然灾害频发等一系列生态问题^[1,2]。土地利用,包括森林植被干扰破坏和农业生产活动等,造成溪流河岸带的破坏、非点源污染输入增加,影响陆地-水体间自然的互作过程,导致溪流生境的破坏^[1~3]。

自20世纪60年代起,许多国家开始对植被人为干扰与地表水水质的关系进行长期和系统的监测。以后,许多学者开始研究不同土地利用方式(森林、农田和城镇)对溪流水质的影响,研究结果表明随着土地利用干扰的增加和森林河岸带的破坏,溪流的氮磷养分浓度增加,水质恶化^[4,5]。原始林改为次生林后森林生态系统发生剧烈变化,由于林龄较小,次生林向溪流中输入的粗大木质残(CWD)减少,影响溪流生境的形成^[6,7];同时导致植被、土壤对养分的吸收、吸持能力下降,输出量增加,溪流水质下降^[8~10]。农田高强度、高频度的干扰,使大量的营养元素和泥沙进入溪流,如输入量超过溪流生态系统缓冲阈值,则造成溪流养分的输出,由此导致高级河流及湖泊的富营养化^[11]。20世纪80年代后,生态学者意识到森林以及其河岸带对溪流沉积物的输入、养分以及溪流稳定和形态的影响^[12,13]。在河岸带对污染物的截留和转化、森林木质残体的输入对溪流形态和生境的影响方面进行了大量的研究,结果表明森林河岸带具有较高的养分、泥沙截获能力,提高溪流河岸稳定,促进溪流稳水区形成。相反,河岸带的破坏,直接导致溪流水质以及生境破坏,加剧河岸侵蚀,增加基底泥沙沉降,不利于生物生存^[12,13]。Snyder研究结果表明稳水区和急流区的比例,稳水区深度与森林覆盖率正相关,随着农业用地强度的增加,溪流细小沉积物输入增加^[14]。

我国对土地利用与水质关系研究较晚,处于发展阶段^[15~17]。研究结果证明森林植被对溪流水质具有保护作用,农业活动干扰造成水质恶化^[17]。但目前国内外的研究只考虑土地利用与水质理化因子的关系^[1~5,17],尚无不同景观土地利用对低阶溪流生境和水质的综合影响报道,不足以充分说明土地利用对溪流生态系统的影响,研究结果不足以为溪流生态系统的恢复和重建提供充分的理论依据。

本文结合国外溪流生境和水质评价方法^[18],对不同植被类型(原始林、次生林和农田)下低阶溪流的水质及生境状况进行比较研究。通过研究,拟验证如下假设:(1)不同植被类型下的低阶溪流生态系统的生境状况存在明显差异,森林背景下的低阶溪流,生境较为完整、复杂;(2)森林背景下低阶溪流的水质好于农田背景,原始林中溪流的水质可能略好于次生林。

1 材料与方法

1.1 研究地区的自然概况

本研究在东北林业大学凉水国家级自然保护区和帽儿山实验林场进行(图1)。

东北林业大学凉水国家级自然保护区地处伊春市带岭区,小兴安岭山脉东南部-达里带岭的东坡

凉山自然保护区 Liangshui National Reserve

帽儿山实验林场 Maoershan Experimental Forest Farm

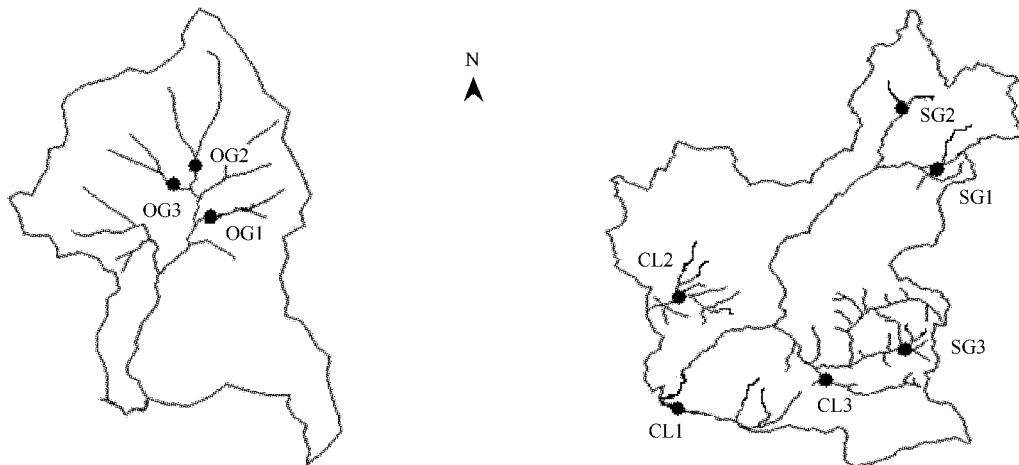


图1 研究地区示意图

Fig. 1 Locations of the study sites

图中 OG1、OG2、OG3 代表原始林背景下的 3 条溪流; SG1、SG2、SG3 代表次生林背景下的 3 条溪流; CL1、CL2、CL3 代表农田背景下的 3 条溪流。OG1、OG2、OG3 stand for the 3 streams in old growth forest in Liangshui; OG1, OG2 and OG3 and SG1, SG2, SG3 and CL1, CL2, CL3 stand for the streams in second growth forest, and cropland, respectively

(N 47°7' ~ 47°14', E 128°48' ~ 128°55')。保护区总面积为 6394 hm², 森林覆被率 91.3%, 是我国目前保存下来的面积较大的原始红松林区域。低山丘陵地貌, 海拔高度 280 ~ 707 m, 平均 400 m, 平均坡度 10 ~ 15°。温带大陆性季风气候特征, 年均气温 -0.3℃, 年均最高气温 7.5℃, 最低气温为 -6.6℃; 年均降水量 676.0 mm, 蒸发量 805.4 mm。该区以红松为主的温带针阔叶混交林为主, 森林类型多样, 既有处于演替顶极阶段的原始红松林, 又有兴安落叶松林和云冷杉林和其它处于不同演替阶段的次生林。阔叶红松林是以红松 (*Pinus koraiensis*) 为主的复层异龄林, 林分年龄在 200 ~ 300 a 之间, 群落结构复杂, 红松占大部分比例。地带性土壤为暗棕壤, 全部剖面成微酸性 (pH = 6.29 ~ 6.47)。河流为凉水河, 发源于岭来东山, 从北向南贯流中心。永久支流有岳风沟, 向阳沟, 长春沟以及许多季节流水的小溪流, 均汇入凉水河, 构成完整的集水区, 于境内流入永翠河。

东北林业大学帽儿山实验林场位于黑龙江省尚志市境内 (N 45°23' ~ 45°26', E 127°26' ~ 127°39'), 面积 2.6 万 hm², 森林覆被率 80%。低山丘陵地貌, 平均海拔高 300 m。平均坡度 6 ~ 15°。温带大陆性季风气候, 年均气温 2.8℃, 1 月平均气温 -23℃, 7 月平均气温 20.9℃。年均降水量 700 ~ 800 mm, 蒸发量 1094 mm。现在植被为原始阔叶红松林破坏后形成的硬阔叶混交林为主的天然次生林。地带性土壤为暗棕壤, 全部剖面呈酸性 (pH = 4.3 ~ 6.0)。场区范围内, 森林和农田镶嵌分布, 有完整的森林景观及农田景观。河流为阿什河, 起源于林场东北部, 流经林场全境。

两个研究地点在地貌、土壤、植物区系组成、气候条件特征方面具有较高的相似性, 但景观特点、森林植被的完整性和土地利用方面存在较大的差异。

1.2 研究河段的确定

利用航片 (1:5000) 和水文图, 确定凉水原始红松阔叶林森林为背景的 3 条, 记为 OG1、OG2、OG3; 帽儿山次生林和农田背景下各 3 条溪流, 分别记为 SG1、SG2、SG3 和 CL1、CL2、CL3。所有溪流均为 2 级, 由两条 1 级溪流汇集而成 (图 1)。通过踏查, 在选定的 9 条溪流范围内选择具有代表性、长度 50 m 的河段作为研究对象。野外调查于 2006 年 5 月 3 日至 6 日进行。

1.3 溪流生境调查与评价

在确定的河道范围内, 用于溪流生境评价。溪流生境评价采用美国环保署 (USEPA) 河流生境调查的方

法,包括河床评价和河岸评价^[18]。河床评价包括溪底动物生活基质的稳定程度和可利用程度,主要生境类型稳水区(pool)的基质特征及其形态变化,pool中淀积物的沉积状况,河道水量状态,渠道改变程度,渠道的弯曲程度等。河岸评价包括河岸的稳定性,植被宽度以及植被遮荫程度和受干扰程度。每一项评价参数分为4个等级(好、较好、一般、差),并且根据实际状况,对应不同等级再细分为五个层次转化为相应的分数,每项为20分。

1.4 溪流水质样品采集及其分析

1.4.1 溪流水质样品的采集及现地测定

采用随机数表的方法选取3个样点,分别用酸(1% HCl溶液)洗过的容器分别采集水样,用于溪水养分含量分析。其中N素分析样品采用塑料容器,采集1000 ml;P素分析样品采用玻璃容器(避免塑料对P的吸附),采集500 ml。

在每个样点附近选取典型生境(由稳水区、急流区(riffle)所占比例决定何种生境中采样),用洁净塑料桶取水样(>4 L)两份,分别用于细小颗粒有机物(Fine Particulate Organic Matter, FPOM)^[19]和悬浮藻类(叶绿素a)的测定^[20],悬浮藻水样容器用黑色塑料袋严密包裹,阻断光照;从典型生境取1块溪水表面下的石砾,将幻灯片夹(内框面积8.05 cm²)固定于上表面,用钢刷刷取内框附着藻,用蒸馏水洗入塑料瓶中,用于附着藻类(叶绿素a)测定^[20],取样瓶外用铝箔严密包裹,阻断光照;在距采样点最近的稳水区基质上,放置两端开口,断面积300 cm²的圆柱形铁皮桶,用孔径1mm网筛捞取桶内的淀积物,用于粗大颗粒状有机物(Coarse Particulate Organic Matter, CPOM)的测定^[21]。

在每个样点,采用HI93703-11便携式高精度浊度仪、HI9143便携式微电脑溶解氧测量仪、温度计(均为意大利哈纳公司制造)现场测定溪水的混浊度、溶解氧(DO)和温度(T)。

1.4.2 实验室分析

(1) 悬浮和附着藻类的测定

在黑暗的条件下,使用真空泵过滤器提取悬浮藻类和附着藻类样品,记录提取悬浮藻的溪水体积;在4℃条件下,用90%丙酮溶液提取叶绿素a,离心15min再静止24h;取上清液,用分光光度法测定叶绿素a^[20]。

(2) 有机颗粒物测定

用真空泵过滤FPOM水样,记录水样体积;将附着FPOM的滤纸置于60℃,烘干至恒重,称重,计算单位溪水体积FPOM含量。将CPOM样品置于白色的搪瓷盘中,加入清水,挑出1mm以上的有机质,洗净泥沙,置信封中,60℃烘干至恒重,称重,计算溪流河床单位面积的CPOM含量^[19,21]。

(3) 水样理化性质的测定

水样中铵态氮NH₄⁺-N、硝态氮NO₃⁻-N、溶解性无机磷PO₄³⁻-P、总磷(TP)的测定分别采用钠氏试剂比色法(GB7479-87)、酚二磺酸分光光度法(GB7480-87)和钼酸铵分光光度法(GB11893-89)测定。测定重复3次,求平均值。重复间差异过大时,增加重复次数,剔除明显不合理者后取均值。

1.5 数据分析

使用MINITAB v. 14.13统计软件(MINITAB公司)进行方差分析(ANOVA),检验不同森林景观背景下和农田背景下溪水中铵态氮NH₄⁺-N、硝态氮NO₃⁻-N、溶解性无机磷PO₄³⁻-P、总磷TP、总氮(TN)、总溶解无机氮(NH₄⁺-N和NO₃⁻-N,TDIN),N/P比(总溶解无机氮与溶解性无机磷比值)混浊度和溪流藻类(悬浮和附着)和溪流中有机颗粒物(FPOM、CPOM)的差异。

2 结果与分析

2.1 不同景观背景下溪流生境的比较

根据溪流生境评分标准,对9条溪流的生境进行评分,结果证明原始林溪流(OG1、OG2、OG3)的总评分数高于次生林溪流(SG1、SG2、SG3),次生林溪流高于农田溪流(CL1、CL2、CL3)(表1)。

表 1 原始林、次生林和农田背景下溪流生境评分结果

Table 1 Result of habitat assessment of streams under old growth, second growth and cropland background

生境指标 Habitat indicators	得分 Score								
	OG1	OG2	OG3	SG1	SG2	SG3	CL1	CL2	CL3
河底动物生活基质/覆盖度 Epifaunal substrate/available cover	15	19	19	17	17	16	4	10	9
稳水区基质特征 Pool substrate characterization	16	16	16	13	13	15	7	10	7
稳水区的尺度变异 Pool variability	16	19	19	15	13	12	6	9	7
沉积物状况 Sediment deposition	15	17	16	15	15	16	7	10	7
河道水量状态 Channel flow status	15	18	18	18	18	17	16	16	15
河道稳定性 Channel stability	16	20	19	15	14	16	7	6	6
河道弯曲程度 Channel sinuosity	13	17	15	10	7	11	7	6	6
河岸稳定性(左/右) Bank stability(L/R)	7/7	9/9	9/9	6/6	5/5	5/5	2/3	3/3	5/1
河岸带植被保存状况(左/右) Vegetative protection(L/R)	9/9	10/8	10/8	9/9	7/6	6/7	0/0	3/3	5/3
植被的遮荫程度(左/右) Riparian vegetative zone width (L/R)	9/9	10/10	10/9	6/9	9/8	8/8	0/0	1/1	7/1
总分 Total score	156	182	177	148	137	140	58	81	79

生境评估结果用于评价溪流间生境特征,高分表明溪流具有较高的生境质量;原始林、次生林、农田背景下的 3 条溪流分别标记为 OG1、OG2 和 OG3, SG1、SG2 和 SG3, CL1、CL2 和 CL3 Habitat assessments were used to evaluate stream habitat characteristics in different background landuse categories. Higher scores indicate better in-stream habitat quality; The streams in old growth forest, second growth and cropland are marked as OG1, OG2, OG3, SG1, SG2, SG3, and CL1, CL2, CL3, respectively

原始林溪流提供给溪底动物生活基质比次生林溪流稳定,主要是大型木质残体,农田溪流基质最差,基本没有可供溪底动物生活的基质存在(表 1)。原始林溪流、次生林溪流稳水区的基质均以沙石为主,指示良好基质生境,而人为干扰较重的农田溪流稳水区基质有少量沙石,多为细沙和淤泥,基质生境较差;次生林溪流和农田溪流生境单一,主要以急流区为主,多为小而浅的稳水区,而原始林溪流急流区和稳水区均匀分布,稳水区尺度变异大,大小、浅深各异,稳水区生境评价等级最好;农田溪流相对原始林和次生林溪流受到强烈沉积物沉降干扰;次生林和农田溪流河道稳定性评价相对较差,存在渠道化现象,农田溪流渠道化尤为严重;原始林溪流的河岸稳定,处于自然状态,从次生林到农田河岸带的稳定性越来越差。农田溪流 CL3 右岸已经出现沼泽化现象,河岸带几乎荡然无存(表 1)。

2.2 不同景观背景下溪流水质的分析

溪流水质物化指标的 ANOVA 分析结果显示,不同景观土地利用类型溪流的总磷(TP)、溶解氧(DO)、混浊度、温度、氮磷比值(N/P)差异显著(表 2A, $p < 0.05$),原始林溪流的 TP、DO 高于其它溪流,温度最低, N/P 和混浊度居中;次生林溪流 N/P 最高,混浊度最低;农田溪流温度和混浊度最高, N/P 和 DO 最低。不同类型溪流间硝态氮(NO_3^- -N)、铵态氮(NH_4^+ -N)、总溶解无机氮(TDIN)、总氮(TN)、溶解无机磷(PO_4^{3-})和 pH 均无显著差异(表 2A, $p < 0.05$),原始林溪流 NH_4^+ -N、TN 和 pH 相对较高, NO_3^- -N、TDIN 和 PO_4^{3-} 居中(表 2B);次生林溪流 NO_3^- -N、TDIN 相对较高, NH_4^+ -N、 PO_4^{3-} 、TN 和 pH 居中;农田溪流 PO_4^{3-} 相对较高, pH 较低。

不同景观类型下的溪流悬浮藻、附着藻、FPOM 和 CPOM 无显著差异(图 2),原始林溪流悬浮藻浓度略高,农田溪流附着藻较低(图 2(a,b))。农田溪流的 FPOM 和 CPOM 较高,原始林较低(图 2(c,d)),与农田混浊度较高一致。

表 2 不同植被类型的景观(原始林、次生林和农田)下溪流的水质物化指标比较

Table 2 Results of the stream water quality between streams under different plant landscape patterns (The old growth forests, The second growth forests and the croplands)

项目 Items	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	TDIN (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	N/P	TP (mg/L)	TN (mg/L)	DO (mg/L)	pH	T (℃)	混浊度 turbidity
A MS	1.314	0.241	0.988	0.002	3318	0.023	15.02	23.028	0.229	44.621	23.23
F-value	2.530	3.638	1.302	2.773	9.681	7.039	1.443	15.498	2.962	7.178	7.129
p-value	0.160	0.092	0.339	0.140	0.013	0.027	0.308	0.004	0.127	0.026	0.026
B OG	1.409a	0.524a	1.934a	0.052a	36.78b	0.166a	7.668a	12.48a	7.0a	3.08b	1.52b
SG	2.117a	0.266a	2.382a	0.036a	65.33a	0.067b	5.620a	10.20b	6.7a	4.27b	0.40c
CL	1.514a	0.222a	1.736a	0.062a	28.81b	0.096b	5.281a	9.08c	6.6a	7.39a	3.57a

A 不同植被类型的景观(原始林、次生林和农田)下溪流的水质指标的嵌套 ANOVA 结果($df=2,6,18,26;n=27$);B 不同植被景观类型的多重比较,各参数均值后不相同字母表示非参量多元比较显著差异($p<0.05$);TDIN,TN,TP,DO,T 分别代表总溶解无机氮,总氮,总磷,溶解氧和温度;OG,SG,CL 分别代表原始林、次生林和农田背景下的溪流;各参数均值后不相同字母表示非参量多元比较显著差异($p<0.05$) Results from full nested ANOVA between streams in landscape of different vegetation;Results from multiple comparison between streams in landscape of different vegetation, letters following average data of variables indicate significant difference ($p<0.05$); TDIN,TN, TP, DO stand for total dissolved inorganic nitrogen, total nitrogen, total phosphorus, dissolved oxygen and temperature, respectively;OG,SG,CL stand for streams in landscape of old growth, second growth and cropland;Letters following average data of variables indicate significant difference ($p<0.05$)

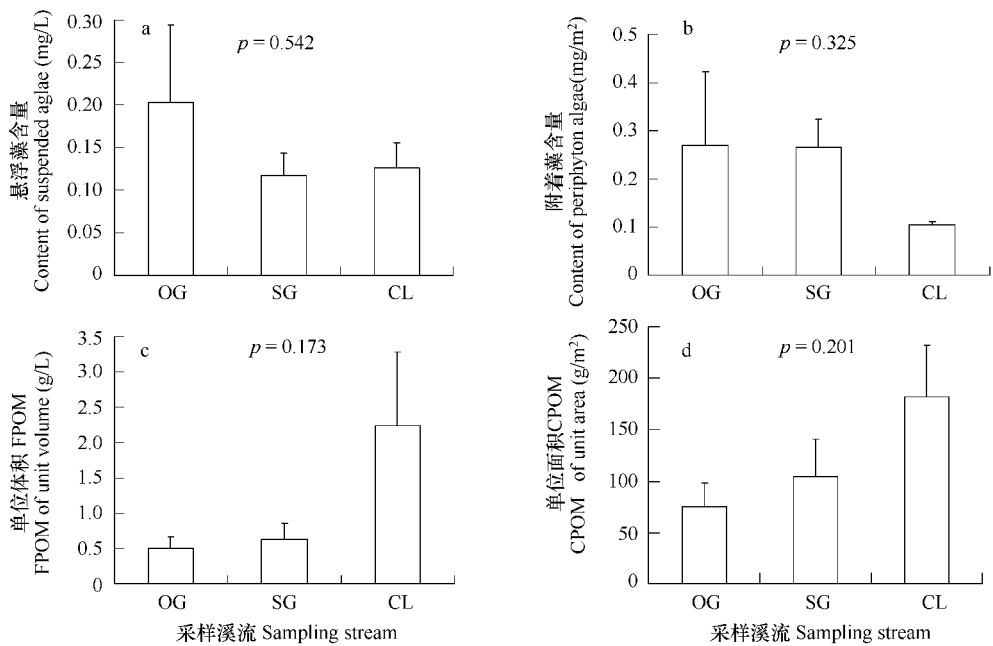


图 2 不同景观背景下溪流悬浮藻、附着藻叶绿素 a 浓度、(a,b)、FPOM (c) 和 CPOM (d)

Fig. 2 The concentrations of chlorophyll a in suspended algae(a) periphyton algae (b) FPOM (c) and CPOM (d) in streams under different landscapes

p 为差异显著水平 p value indicates significant level

3 讨论

3.1 不同景观背景土地利用对溪流生境的影响

景观背景土地利用对低级别溪流生境有着明显影响。凉水地区原始林溪流受到干扰较小,其生境也较完整,相对帽儿山地区次生林溪流和农田溪流,稳水区(pool)和急流区(riffle)均匀分布,有相对稳定的生境并且能够为溪底无脊椎动物提供较为稳定的生活基质,存在完好的河岸带(参见表 1)。农田溪流的生境状况相对较差,河岸的稳定性差和溪底沉积物多,不利于底栖生物生存,与以往的研究结果相同^[14,22]。由于农田溪流

的植被河岸带已被破坏,河岸的稳定性很差,侵蚀严重。森林溪流河岸带的植被、遮荫状况和稳定性与森林类型、森林演替阶段以及人类活动有关。相比次生林,原始林处于演替较成熟阶段,具有较高的郁闭度,河岸植被带更加稳定,抗侵蚀能力较强。

溪流河道状况(溪底动物稳定性生活基质覆盖度、稳水区状况、河道水量和河道稳定性)不同程度受到景观背景土地利用的影响。稳水区基质特征、沉积物沉降、渠道稳定性和渠道弯曲程度与到河岸侵蚀程度有关。森林河岸植被带会不同程度的减缓土壤侵蚀,而减少沉积物的输出,并且减少地表径流^[23]。农业用地和植被破坏加剧土壤侵蚀,造成溪流内大量泥沙沉降和渠道化^[13]。

以往研究证实,溪流中 CWD 的存在对溪流形态、河道稳定、生境稳水区形成都有显著影响^[6,7,24]。研究发现,原始林溪流中具有较多的 CWD,形成较多稳水区,加之丰富的凋落物,为水生生物提供稳定的生活基质^[7]。次生林溪流也存在一定数量的木质残体,但数量和尺寸较小,难以稳定存在。河岸带森林类型、演替阶段和生长阶段、人类活动干扰的频度和强度直接影响 CWD 在溪流中的数量、频度及存在状态,从而对溪流形态的形成,溪流中生境(特别是稳水区,Pool)的形成产生直接的作用^[7,25],这也是原始林和次生林溪流生境有较大区别的主要原因。

3.2 不同景观背景对溪流水质的影响

许多研究证明景观尺度土地利用对溪流水质的发挥着重要的作用^[4,26,27]。本研究结果也表明不同景观背景(原始林、次生林和农田)下的低级溪流水质存在明显的差别(表 2,图 2)。

原始林溪流中较高浓度的 NH_4^+ -N、TP 和 TN,有些让人费解。一般地,温带地区的森林,尤其是原始林,林地凋落物丰富,河岸带完整,养分的输出量应当较低,溪流中 NH_4^+ -N、TP 和 TN 应当低于受强烈干扰的农田^[28]。对这一问题可能的解释是,采样在 5 月进行,森林积雪融化较晚,漫长冬季里大气干沉降输入导致随积雪进入溪流中的 NH_4^+ -N、TP 和 TN 量增加。农田区域积雪融化早,且采样时流域内的耕作活动尚未开始,溪水主要是有壤中流汇集而成,土壤中的理化、生物学过程限制了养分向溪流中的输入。

一般地,溪流中 75% 的氮素来源于人类活动^[29],未被干扰森林溪流其氮主要是有机氮,随着干扰的增加, NO_3^- -N 所占的比例增加^[30],与本研究相吻合。农田溪流 NO_3^- -N 浓度比次生林溪流低,这一现象值得进一步考察验证。

农田溪流的 FPOM、CPOM 含量和浊度,远远超出其它溪流,河岸带的破坏应是主要原因。原始林溪流相对较高悬浮藻和附着藻生物量与原始林溪流内相对较高溶解氮和溶解无机磷元素有关。Hubbard Brook 试验站进行的研究中也发现养分元素的大量存在将引起岩石表面藻类以及悬浮藻类的大量的繁殖^[31]。农田溪流内虽然光照充足,但高的泥沙沉降抑制了附着藻的生长^[32]。

综上所述,研究直接证实了第 1 个假设:植被景观类型影响溪流生境状况,原始红松林由于人为干扰较少,具有其自身的生态环境特性(河岸植被状况、凋落物组成、小气候等),使得溪流具有完整和稳定生境。但没有完全验证第 2 个假设,原始林的部分水质指标(NH_4^+ -N、TP 和 TN)要高于次生林和农田溪流,这可能与采样季节有关,也可能受溪流养分和能量传递、转化的影响,还需深入研究。

References:

- [1] Carpenter S R, Caraco N F, Correll D L, *et al.* Nonpoint pollution of surface water with phosphorous and nitrogen. *Ecological Applications*, 1998, 8: 559—568.
- [2] Howarth R, Anderson D, Cloern J, *et al.* Nutrient pollution of coastal rivers, bays, and seas. *Ecology Letters*, 2000, 7: 1—15.
- [3] Vander M D T, Breeuwsma A, Boers P C M. Agricultural nutrient losses to surface water in the Netherlands: Impact strategies and perspectives. *Journal of Environmental Quality*, 1998, 27(6): 4—11.
- [4] Jordan T E, Correll D L, Weller D E. Effects of agriculture on discharges of nutrients from coastal plain watersheds of Chesapeake Bay. *Journal of Environmental Quality*, 1997, 26(6): 836—848.
- [5] Tabuchi T, Yoshino K, Shimura M, *et al.* Relation between land use and nitrate concentration of outflow water from watersheds of agricultural and forest areas. *Freshwater Biology*, 1995, 178: 129—135.

- [6] Keller E A, Swanson F J. Effects of large organic material on channel form and fluvial processes. *Earth Surf. Proc.*, 1997, 4: 361—380.
- [7] David P K, Kevin P G, Trent M S. Large woody debris characteristics and contributions to pool formation in forest streams of the Boreal Shield. *Can. J. For. Res.*, 2005, 35: 1213—1223.
- [7] Weathers K C, Lovett G M, Likens G E, *et al.* The effect of landscape features on deposition to Hunter Mountain, Catskill Mountains, New York. *Ecological Applications*, 2000, 10: 528—540.
- [9] Schiff S L, Devito K J, Elgood R J, *et al.* Two adjacent forested catchments: dramatically different NO^{-3} export. *Water Resources Research*, 2002, 38: 1292—1304.
- [10] Clausen J C, Guillard K, Sigmund C M, *et al.* Water quality changes from riparian buffer restoration in Connecticut. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29(6): 1751—1761.
- [11] Diaz R J. Overview of hypoxia around the world. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30(6): 275—281.
- [12] Peterjohn W T, Correll D L. Nutrient dynamics in an agricultural watershed observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 1984, 65: 1446—1475.
- [13] Gregory S V, Swanson F J, McKee W A, *et al.* An ecosystem perspective of riparian zones: focus on links between land and water. *Bio. Science*, 1991, 41: 540—551.
- [14] Snyder C D, Young J A, Vilella R, *et al.* Influences of upland and riparian land use patterns on stream biotic integrity. *Landscape Ecology*, 2003, 18: 647—664.
- [15] Lu Y. Non-point pollution of nitrogen in agricultural ecosystem. *Agro-environmental Protection*, 1998, 17(1): 35—38.
- [16] Li T R, Chen L D, Guo X P, *et al.* Effect of land use structure on non-point source pollution. *China Environmental Science*, 2002, 20(6): 506—510.
- [17] Poul P M, Wang Q C, Anne E H, *et al.* Land-use, stream order and stream water physical and chemical qualities. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1486—1492.
- [18] Barbour M T, Gerritsen B D, Snyder J B, *et al.* Habitat assessment for gradient streams. In: McCullough D. A. ed. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish*, 2th edition. Washington D. C.: U. S. Environmental Protection Agency Office of Water, 1999.
- [19] Wallace J B and Grubaugh J W. Transport and storage of FPOM. In: Lamberti G. A. ed. *Stream Ecology*. California: Academic Press, 1996. 194—204.
- [20] Lenore S C, Arnold E G, Andrew D E. Chlorophyll. In: Mary A. H. ed. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*, 20th edition. Washington D. C.: American Public Health Association, 2001. 19—20.
- [21] Lamberti G A and Gregory S V. Transport and retention of CPOM. In: Lamberti G. A. ed. *Stream Ecology*. California: Academic Press, 1996. 221—223.
- [22] Richards C, Johnson L B, Host G E. Landscape-scale influences on stream habitats and biota. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1996, 53: 295—311.
- [23] Deng H B, Wang Q C, Wang Q L, *et al.* On riparian forest buffers and riparian management. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(6): 951—954.
- [24] Harmon M E, Franklin J F, Swanson J, *et al.* Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Adu. Ecol. Res.*, 1986, 15: 233—276.
- [25] Don C B and Jeffrey L K. Coarse woody debris in riparian zones. *Journal of Forestry*, 1999, 97(4): 30—36.
- [26] Smart M M, Jones J R, Sebaugh J L. Stream-watershed Relations in the Missouri Ozark Plateau Province. *Journal of Environmental Quality*, 1985, 14: 77—82.
- [27] Lichtenberg E and Shapiro L K. Agriculture and nitrate concentrations in Maryland Community Water System Wells. *Journal of Environmental Quality*, 1997, 26(6): 145—153.
- [28] Peterson B J. Control of nitrogen export from watersheds by headwater stream. *Science*, 2001, 292: 86—90.
- [29] Seitzinger S P and Kroeze C. Global distribution of nitrous oxide production and N inputs in freshwater and coastal marine ecosystems. *Global Biogeochemical Cycles*, 1998, 12: 93—113.
- [30] Vitousek P M. Beyond global warming: Ecology and global change. *Ecology*, 1994, 75: 1861—1876.
- [31] Findlay S, Howe K, Fontvielle D. Bacterial-algal relationships in streams of the Hubbard Brook Experimental Forest. *Ecology*, 1993, 74: 2326—2336.
- [32] Burkhead N M and Jelks H L. Effects of suspended sediment on the reproductive success of the tricolor shiner, a crevice-spawning minnow. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 2001, 130: 948—959.

参考文献:

- [15] 吕耀. 农业生态系统中氮素造成的非点源污染. *农业环境保护*, 1998, 17(1): 35—39.
- [16] 李俊然, 陈利顶, 郭旭东, 等. 土地利用结构对非点源污染的影响. *中国环境科学*, 2000, 20(6): 506—510.
- [17] 牟溥, 王庆成, Anne E H, 等. 土地利用、溪流级别与溪流河水理化性质的关系. *生态学报*, 2004, 24(7): 1486—1492.
- [23] 邓红兵, 王青春, 王庆礼, 等. 河岸植被缓冲带与河岸带管理. *应用生态学报*, 2001, 12(6): 951—954.