

澜沧江上游山地典型区不同利用方式的土壤肥力性状

田 昆^{1, 2}, 莫剑锋², 陆 梅², 常凤来², 杨永兴³

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 西南林学院环境科学与工程系, 云南 昆明 650224;

3. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘 要: 选取澜沧江上游山地 8 种典型土壤利用方式对土壤性质变化进行对比研究, 结果表明: 土壤有机质、全氮、有效氮、速效磷、速效钾、铵态氮、硝态氮之间存在显著差异, 但垂直空间变异上差异不大。天然阔叶林破坏后, 无论是次生林还是人工种植的经济林或是坡耕地和荒地, 土壤养分均呈现不同程度的衰减退化。综合土壤 7 项指标计算定量反映土壤退化和改善程度的退化指数, 表明针叶林、坡耕地、禾草荒地及桉树林退化最为严重。

关键词: 土壤利用方式; 澜沧江上游; 土壤性质; 养分衰减退化; 退化指数

中图分类号: S155. 45, S154. 1, S158. 1

文献标识码: A

由于人口膨胀对资源需求导致的毁林开荒、陡坡垦殖以及经济利益的驱使, 澜沧江上游许多地区山地自然生境遭到严重破坏, 原始森林被砍伐而代之以经济林木或农田, 这种土壤利用方式与植被类型的改变引起土壤、水分、植被间相互作用的变化, 影响着许多自然现象与生态过程^[1], 引起土壤理化性质以及生物学特性的改变, 导致土壤养分衰减退化, 土地生产力改变, 对人类生存和农林业生产构成了巨大威胁。这种人为干扰引起的次生演替中的生态过程研究引起了土壤学者和生态学者的广泛关注^[2], 而土壤利用变化与土壤肥力的关系则成为了恢复生态研究的热点之一^[3]。同长江上游一样, 澜沧江上游通过天然林保护工程、退耕还林工程的实施, 不合理的土壤利用方式有所改变, 植被得到一定程度恢复, 但缺乏对森林破坏与植被恢复后山地环境下土壤性质的变化研究, 我们选择澜沧江流域典型山地退化土壤, 研究土壤利用方式对土壤性质变化的影响, 定量分析人为活动干扰后土壤养分衰减退化程度, 为植被恢复和土壤利用优化措施提供理论依据。

1 研究区域概况与研究方法

1.1 研究地点

研究地点位于澜沧江支流云南西部大理洱源县黑惠江流域的典型山地地带, 地理坐标为 $99^{\circ}48' \sim 99^{\circ}52' \text{ E}$, $25^{\circ}55' \sim 26^{\circ}0' \text{ N}$ 。为了使研究结果能在相对一致的基础上进行比较, 仅选取海拔 1 800 ~ 2 200 m 同为砂页岩母质上发育的山原红壤为研究对象。该研究区域人为干扰较为严重, 在过去几十年的时间中, 由于砍伐森林, 修筑道路和建设村镇, 大部分天然林被毁, 自然植被除零星分布外, 其余或被云南松 (*Pinus yunnanensis*) 次生林取代, 或被兰桉 (*Eucalyptus globulus*)、梅子 (*Prunus mume*) 等人工经济林取代, 或开垦成坡耕地种植农作物, 水土大量流失, 土壤质量变劣, 养分衰减退化, 植被与土壤利用类型成斑块状分布, 为森林破坏后人为干扰下生态环境退化较具代表性的山地环境。

1.2 样地选择与方法

按植被类型不同可将该研究地点的土壤利用类型分为: 旱冬瓜天然林(优势植被为旱冬瓜 *Alnus nepalensis*, 混生有麻栎 *Quercus acutissima*、滇楸 *Catalpa fargesii*, 林下有杜鹃 *Rhododendron simsii*、云南含笑 *Michelia yunnanensis* 等); 次生针阔混交林(主要植被为云南松和麻栎 *Quercus acutissima*); 云南松针叶纯林; 经济林(兰桉、梅子、慈竹

收稿日期(Received date): 2003- 09- 12; 改回日期(Accepted): 2003- 11- 01。

基金项目(Foundation item): 云南省自然科学基金(2001C0044M), 云南省应用基础研究基金(2000FXZ02) 资助。[The project was supported by Nature Science Fund of Yunnan (2001C0044M) and Fund of Yunnan Applied Science (2000FXZ02)]

作者简介(Biography): 田昆(1957-), 男, 山西人, 博士生, 副教授。主要从事土壤学和生态恢复研究。0871- 3862778 [Tian Kun, bom in 1957, male, native place: Shanxi province, PhD & associate professor, mainly engaged in the research of soil science & eco-restoration.]

Sinocalamus affinis、核桃 *Juglans sigillata*); 坡耕地(玉米、小麦和豆类)和禾草类荒地。云南松、麻栎混交林及云南松针叶次生林、经济林和坡耕地的利用历史均在 17 年以上。通过对研究区域森林破坏信息和相关资料的收集以及实地考察, 试验选择了保存较好的自然植被阔叶林地作为参照样地, 并根据生态系统演替特征和人为干扰程度, 以及当地恢复植被常用树种类型, 选择桉树、梅园、竹林等经济林地以及坡耕地、荒草地、针叶林地、针阔混交林地作为阔叶林破坏后不同利用方式下土壤性质变化研究的样地类型, 考虑到海拔高度、坡度、坡向和地形部位等的影响, 选取了景观性质相似的地点, 采样地点均为西南坡, 坡度为 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$, 并以多点取样平均, 多重取样等屏蔽上述因素的影响, 以空间代时间方法^[4]对土壤性质的变化进行研究。

依据典型性和代表性原则, 利用原状土取土器^[5,6]在每一土壤利用类型设置 3~6 个取样点, 每一取样点 3 次重复采样, 旱冬瓜林、混交林、针叶林、桉树林、竹林、果园、坡耕地和荒地的采样数目分别为 9、12、12、12、9、9、18 和 9。采回的取土管原状土样按 0~20 cm 及 20~40 cm 分层, 研究不同层次土壤性质差异。土壤性质测定按南京土壤研究所分析方法^[7]和中国分析标准方法^[8]分析土壤质地、土壤有机质、全氮、有效氮、速效磷、速效钾、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 。

2 结果与分析

2.1 次生演替引起的土壤肥力变化

土壤有机质是反映土壤质量的一个主要属性。较为稳定的阔叶林群落破坏后次生演替为混交林、针叶林以及禾草荒地, 表层有机质分别下降了 28.64%、73.14%、54.67%。针叶林有机质下降较多与其林下缺少植被, 且松针较难分解而返还土壤有机物质较少有关, 加之当地素有掳走地表松针作燃料或沤肥的习惯, 切断了生物循环途径, 导致该利用方式土壤养分贫瘠。演替为禾草荒地的土壤有机质下降仅约一半, 可能是草丛环境盖度大, 生境相对于针叶纯林更有利于有机质的积累。混交林土壤经过长期恢复, 有机质含量已接近天然阔叶林, 但仍然没有达到破坏前的水平。土壤全氮含量与土壤有机质的消长趋势常常是一致的, 统计分析表明有机质与全氮在 8 种土壤利用方式中的变化是相同的。植被类型演替为混交林、针叶林以及禾草荒地, 表层氮的储量分别下降了 31.46%、85.39%、58.43%, 土壤全氮的这种衰减与有机质有着很好的线性正相

关($r = 0.97$)。在土壤有机质和全氮养分的变化过程中, 针阔混交林在三种次生演替类型中对土壤养分储量的维持能力最好, 表明了针阔混交林对森林破坏后的土壤有较好的恢复作用。土壤速效养分的供应与持留同样受到有机质的影响而呈现出相似的衰减下降趋势。其中速效磷和水解氮下降较为显著, 幅度达 2~10 倍, 速效钾衰减稍小, 但演替为针叶林和禾草荒地的铵态氮和硝态氮含量则从 749.1 mg/kg 和 980.21 mg/kg 迅速降至 34.59 mg/kg 和 125.01 mg/kg。土壤酸度的变化上, 演替为禾草荒地后, pH 值从 4.52 增至 7.42, 土壤酸度降低, 有利于土壤养分的有效化。对于土壤养分的空间变异, 可能由于演替时间较长, 三种类型的土壤养分在 40 cm 内的变异并不大(表 1)。

2.2 人工种植经济林的土壤肥力变化

森林砍伐后的人工种植和经营管理, 降低了酸度, 有利于增加土壤微生物活性, 促进土壤养分的分解释放, 但人为活动干扰下的土壤性质变化较为剧烈。竹林由于庞大的根系作用和较多的落叶, 而果园则由于林下种植绿肥使大量有机物质得于返还土壤, 因此该两种利用类型与植被破坏前相比, 土壤有机质和全氮较桉树林和坡耕地利用类型衰减小, 但下降率仍分别高达 40.00%、55.27% 和 60.67%、50.56%, 坡耕地土壤有机质衰减了 70.89%, 桉树林则衰减了 76.80%; 全氮衰减分别为 76.40% 和 88.76%。竹林利用方式下, 无论是表层还是深层土壤的速效钾含量均高于阔叶林的供应水平, 表明了竹子在对土壤钾营养恢复上有一定作用, 但水解氮、铵态氮和硝态氮含量较低, 仅分别占到阔叶林的 1/3、1/9 和 1/5, 这可能与其速生而大量消耗有效氮有关; 果园速效钾含量较低与果树从土壤中大量吸收钾元素供结果消耗积累有关; 以采叶获取桉油而栽培的桉树林利用方式, 由于桉树自身的排他作用使林下缺乏植被, 加之过度采叶, 生物循环过程中无有机物质归还土壤, 不仅使土壤中有有机质和氮素营养缺乏, 而且桉树不断从土壤中吸收有效养分以维持生存, 造成土壤养分贫瘠, 生长量低, 17 年生桉树胸径平均仅 6 cm。另一方面, 由于缺乏植被覆盖, 雨滴溅起的泥浆堵塞了土壤孔隙, 水分下渗受阻, 地表径流增加, 表土大量流失, 土壤质地变劣, 由疏松的壤质土变为粘重的土壤, 处于恶性循环的退化状态。由于生物的作用, 土壤养分含量的空间差异总是表层大于深层, 但竹林利用方式下 20~40 cm 深层的速效养分含量较 0~20 cm 表层高, 这可能与该利用方式下土壤酸碱度变为碱性, 降低了表层土壤养分有效性有关(表 2)。

表 1 次生演替对土壤肥力性状的影响

Table 1 Effects of secondary succession on soil properties in the upper Lancang River watersheds

利用方式 utilization types	土层(cm) soil layer	质地 texture	pH (1: 2.5)	有机质 OGM (%)	全氮 TN (%)	速效磷	速效钾	水解氮	铵态氮	硝态氮
						Avai. P	Avai. K	Avai. N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N
						mg/ kg				
阔 叶 林	0~ 20	轻壤	4. 52	8. 45	0. 89	107. 63	249. 99	266. 63	749. 10	980. 21
针阔混交林	0~ 20	中壤	5. 01	6. 03	0. 61	45. 00	280. 16	68. 90	648. 62	855. 21
	20~ 40	重壤	5. 21	3. 17	0. 43	53. 97	212. 90	33. 40	636. 56	634. 46
针 叶 林	0~ 20	重壤	5. 11	2. 27	0. 13	15. 41	159. 72	44. 87	81. 94	344. 65
	20~ 40	重壤	5. 19	1. 29	0. 12	17. 43	111. 14	23. 29	94. 38	189. 36
禾草荒地	0~ 20	轻壤	7. 42	3. 83	0. 37	18. 78	172. 14	71. 30	30. 95	78. 91
	20~ 40	重壤	7. 49	2. 66	0. 32	22. 58	184. 41	89. 78	34. 59	125. 01
t 值			12. 41**	4. 22**	3. 99**	3. 19*	9. 09**	2. 72*	2. 58*	3. 32*

** $p < 0.01$ 水平上差异显著; * $p < 0.05$ 水平上差异显著。

表 2 不同土壤利用方式对土壤肥力性状的影响

Table 2 Effects of utilization type on soil properties in the upper Lancang River watersheds

利用方式 utilization types	土层(cm) soil layer	质地 texture	pH (1: 2.5)	有机质 OGM (%)	全氮 TN (%)	速效磷	速效钾	水解氮	铵态氮	硝态氮
						Avai. P	Avai. K	Avai. N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N
						mg/ kg				
阔叶林	0~ 20	轻壤	4. 52	8. 45	0. 89	107. 63	249. 99	266. 63	749. 10	980. 21
竹 林	0~ 20	轻壤	7. 84	5. 06	0. 35	21. 10	451. 70	93. 50	81. 73	173. 13
	20~ 40	中壤	7. 99	4. 10	0. 22	24. 44	503. 39	87. 29	145. 59	308. 61
果 园	0~ 20	重壤	5. 30	3. 78	0. 44	46. 53	117. 29	102. 68	544. 50	706. 48
	20~ 40	重壤	5. 38	2. 74	0. 32	17. 89	57. 91	67. 52	543. 95	624. 25
桉树林	0~ 20	粘壤	5. 14	1. 96	0. 10	20. 55	37. 47	88. 40	88. 71	103. 20
坡耕地	0~ 20	重壤	7. 40	2. 46	0. 21	6. 44	190. 04	80. 45	45. 25	195. 44
t 值			11. 28* [*]	4. 90* [*]	3. 71* [*]	2. 70 [*]	3. 29 [*]	4. 31* ^{**}	2. 88 [*]	3. 53 [*]

** $p < 0.01$ 水平上差异显著; * $p < 0.05$ 水平上差异显著。

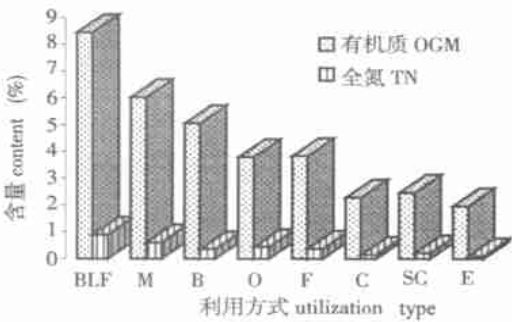
2.3 种植农作物的土壤肥力变化

许多研究表明,耕作引起土壤中营养元素水平的降低^[9,10],毁林开荒甚至陡坡种植农作物,土壤失去了植被的保护,土温升高加剧了有机物质的分解速度,也增加了养分流失,同时表土随地表径流流走,土层变薄,石砾含量增加(石砾含量达32%)。另一方面坡耕地这种人为利用方式的大部分土壤营养元素随农作物的收获移出系统,且山地尤其是陡坡地的施肥水平较低,补充给土壤的营养物质较少,导致土壤养分储量与供应量均较低,有机质仅为阔叶林的29%,全氮仅24%,有效氮中铵氮和硝氮分别为阔叶林利用方式的6%和20%,速效磷衰减较大,仅为阔叶林的6%,速效钾虽已接近阔叶林水平(阔叶林的3/4),但土壤养分仍十分贫瘠,土壤物理性质也变劣退化(见表2)。

2.4 人为活动干扰下的土壤退化与恢复

天然阔叶林破坏后,无论代之以用材林、经济林

或农作物都引起土壤营养的衰减及土壤质量变劣退化。从图1可知,相对于天然阔叶林,桉树林的土壤全氮和有机质含量下降最大。



BLF(阔叶林), M(混交林), B(竹林), O(果园)
F(荒地), C(针叶林), SC(坡耕地), E(桉树林)

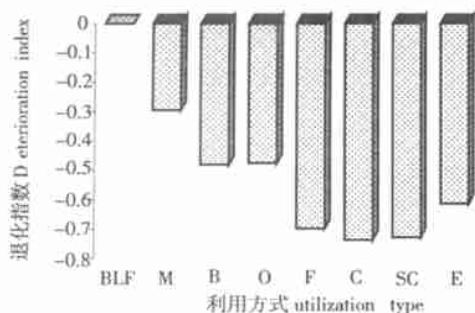
图 1 不同利用方式下土壤有机质和全氮含量变化

Fig. 1 Variations of soil OGM and TN of utilization types

其次为针叶林和坡耕地。综合土壤性质 7 项指标按 Adejuwon 提出的公式^[11]

$$DI = \sum_{i=1}^n [(Xi - X'i) / X'i (100\% / n)]$$

(式中 DI 为土壤退化指数, Xi 为土壤肥力指示因子, X'i 为天然林土壤肥力因子的基准值) 计算退化指数, 以定量反映土壤退化和改善的程度^[12], 以及人为活动干扰引起和造成的土壤养分流失。结果表明自然植被破坏后的次生演替和人为干扰过程中的土壤退化指数变化较大, 针叶林、坡耕地、禾草荒地及桉树林退化最为严重, 退化指数均 > -0.6% (图 2), 相对于天然林, 退化指数的计算结果表明, 针阔混交、竹林和果园的利用类型均呈退化状态, 但退化指数均较高, 尤其是混交林利用类型的退化指数低于严重退化的坡耕地、荒地、针叶林和桉树林的一半, 表明了针阔混交类型在恢复土壤性质中有十分好的作用。野外剖面特征上表层明显疏松多孔, 质地良好, 可见暗褐色较厚腐殖质积累, 土壤养分储量及供应量增加, 土壤质量得到明显改善。因此在澜沧江上游山地地带, 针阔混交林是恢复退化土壤的较好模式。果园和竹林对退化土壤也起到一定程度的恢复作用, 果园在人为活动干扰下林内套种绿肥覆盖地表, 栽培竹林利用其发达的根系对土壤迅速固定, 不仅保持水土, 且丰富的落叶有机物质返还土壤使土壤养分含量增加, 土壤质量得到改善, 并能为当地老百姓带来较好经济收入, 也不失为该相似地域退化生态系统恢复的有效措施。



BLF- 阔叶林, M- 混交林, B- 竹林, O- 果园,
F- 荒地, C- 针叶林, SC- 坡耕地, E- 桉树林

图 2 不同利用方式下的土壤退化指数

Fig. 2 Soil deterioration index of utilization types

3 结论

1. 土壤利用与植被覆盖的变化影响着土壤营

养元素的迁移转化, 不同土壤利用方式下的土壤有机质、全氮养分储量及有效氮、速效磷、速效钾、铵态氮、硝态氮供应量之间存在显著差异, 但土壤垂直空间 0~40 cm 土层内差异变化不大。

2. 人为活动干扰虽使森林土壤 pH 值增加, 有利于土壤养分有效化, 但人为活动干扰下的土壤肥力性状变化较为剧烈。天然阔叶林破坏后, 无论是次生林还是人工种植的经济林或是坡耕地和荒地, 土壤养分均呈现不同程度的衰减退化。人为干扰强烈的针叶林和桉树林土壤养分衰减较大, 农业利用方式下的坡耕地土壤养分衰减与针叶林和桉树林相似, 也处于较低含量水平。相对于自然植被, 针阔混交林土壤养分含量最高, 果园和竹林利用方式的土壤养分也有一定程度恢复。

3. 综合土壤性质 7 项指标计算的退化指数定量反映了土壤退化和改善的程度。针叶林、坡耕地、禾草荒地及桉树林利用类型退化最为严重, 针阔混交、竹林和果园的利用类型也呈退化状态, 但退化指数均较高, 尤其是混交林利用类型的退化指数高于所有其他利用类型, 表明了针阔混交类型对土壤质量的改善, 是一种在澜沧江流域山地退化土壤生态系统的恢复中可考虑采用的模式, 同时, 考虑到竹林和果园利用类型对土壤性质的改善和自身所带来的经济效益, 可在流域山区退耕条件下适量种植。

参考文献 (References):

- [1] Fu B J, Chen J D, Ma K M, *et al.*. The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the Loess Plateau in northern Shanxi, China [J]. *Catena*, 2000, 39: 69~78.
- [2] Montagnini F, Mendelsohn R O. Managing forest fallows: improving the economics of Sweden agriculture [J]. *Ambio*, 1997, 26 (2): 118~123.
- [3] Liu Yansui, Chen Bainig. Study on the China sustainable development and changes of soil using/covering [J]. *Geographical Research*, 2002, 5 (3): 324~330. [刘彦随, 陈百明. 中国可持续发展问题与土地利用/覆被变化研究[J]. *地理研究*, 2002, 5 (3): 324~330.]
- [4] Yang Yusheng, Qiu Renhui, Yu Xintuo, *et al.*. Study on soil microbes and biochemical activity in the continuous plantations of *Cunninghamia lanceolata* [J]. *Chinese Biodiversity*, 1999, 7 (1): 1~7. [杨玉盛, 邱仁辉, 俞新妥, 等. 杉木连栽土壤微生物及生化特性的研究[J]. *生物多样性*, 1999, 7 (1): 1~7.]
- [5] Raison R J, Connell M J and Khanna P K. Methodology for studying fluxes of soil mineral-N IN-SITU [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1987, 19 (5): 521~530.
- [6] Tian Kun, Chen Baokun, Bei Rongta, *et al.*. Application of in-situ technique to study N fluxes on degraded soils [J]. *Acta*

- Ecological Sinica*, 2003, **23** (9): 272~ 278. [田昆, 陈宝昆, 贝荣塔等. In-situ 方法在研究退化土壤氮库时空变化中的应用. 生态学报, 2003, **23** (9): 272~ 278.]
- [7] Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academe of Sciences. Analysis of soil physics-chemical properties [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press. 1987, 62~ 93, 132~ 135. [中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析[M]. 上海: 科学技术出版社, 1987. 62~ 93, 132~ 135.]
- [8] Liu Guangsong. Soil physical and chemical analysis description of soil profiles [M]. Beijing: Standards Press of China. 1996, 31~ 37. [刘公崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996, 31~ 37.]
- [9] Lowery B, Swan J, Schumacher T, *et al.*. Physical properties of selected soils by erosion class [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 50: 306~ 311.
- [10] Davidson E A, Ackerman I L. Changes of soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils [J]. *Biogeochemistry*, 1993, 20: 161~ 193.
- [11] Adejuwon J O, Ekanade O. A comparison of soil properties under different land use types in a part of the Nigerian Cocoa Belt [J]. *Catena*, 1988, 15: 319~ 331.
- [12] Liu Shiliang, Fu Bojie, Chen Liding, *et al.*. Effects of soil land use changes on soil properties in Wolong Nature Reserve, Sichuan Province [J]. *Geographical Research*, 2002, **21** (6): 682~ 687. [刘世梁, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 卧龙自然保护区土地利用变化对土壤性质的影响[J]. 地理研究, 2002, **21** (6): 682~ 687.]

Soil Fertility Status under Different Utilization Types in Mountain Area of the Upper Lancang River

TIAN Kun^{1, 2}, MO Jianfeng², LU Mei², CHANG Fenglai², YANG Yongxing¹

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Jilin Changchun 130012;

2. Department of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry College, Yunnan Kunming 650224;

3. Faculty of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract: The mountain ecosystem of upper Lancang River is faced with the menace of excessive exploitation of resources and changes in environmental conditions caused by the activities of an expanding human population. Human disturbances and forests destroying have largely affected soil properties. Eight normal soil utilization types in the area were selected to study their soil characteristics. The results showed that there were significantly differences among soil utilization types within soil organic matter, total N, available N, P, K, and $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ but no such differences in vertical spatial variation within 0~ 40 cm soil layer for each type. The soil nutrients of all soil utilization types were declined for secondary forests, planted economic forests, cropland, and even abandoned land. The soil organic matter and total N were mostly declined for the types of eucalyptus forest, pine forest and slop cropland. Comparison with nature broadleaved forest, the soil organic matter reduced 70.89% in slop cropland, 76.80% in eucalyptus forest and 73.14% in pine coniferous forest, and total N reduced 76.40%, 88.76% and 85.39% for slop cropland, eucalyptus forest and pine coniferous forest respectively. Soil available nutrients have same declining trends, especially available P and N declined to 2~ 10 times. The soil deterioration index was applied to explanation of the degree of soil degradation and soil quality improving, also soil nutrients declining caused by human disturbances. In our study the deterioration index of slop cropland, pine coniferous forest and abandoned land was higher than - 0.6%, indicating that the soils are seriously degraded. The deterioration index of mixed forest was the highest among all soil utilization types, which indicated that the type might be a model for restoration degraded soil ecosystem in mountainous area.

Key words: soil utilization types; the upper Lancang River; soil characteristics; soil nutrients declining; deterioration index