

哈尼梯田湿地生态系统的垂直特征

姚敏, 崔保山*

(北京师范大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875)

摘要:云南南部亚热带山区的哈尼梯田湿地分布于海拔144~2000m、坡度在15~75°的山坡上, 具有独特的垂直特征, 高程变化是其垂直特征的主要驱动力。从景观、类型、植被、水文和土壤几个方面论述了哈尼梯田的垂直特性。哈尼梯田湿地景观呈现“森林-村庄-梯田-河流”垂直特性。由低海拔到高海拔将哈尼梯田湿地划分为5个类型, 不同类型上湿地植物——水稻的品种、栽培、耕作方式等均呈现垂直方向上的变化特征。哈尼梯田涵养水源的能力为5050m³/hm², 水质随海拔降低呈现“好-差-好”的垂直特征, 这个变化过程反映了梯田湿地对污染物的强有效的降解作用, 进入梯田的污染物的浓度随海拔降低呈指数级下降。通过多元统计法分析, 得出土壤综合质量指数排序为: 神林或林地 > 梯田 > 水源地, 除水源地外, 土壤有机质、全氮和全磷的含量以及综合质量基本呈现与海拔成正相关关系; 全福庄土壤综合质量好于勐品土壤总和质量; 哈尼梯田湿地的垂直特性是其区别于其它类型湿地的显著特征, 分析和比较哈尼梯田湿地与平原稻田湿地和天然湿地在结构、功能和价值上的异同性, 进一步突出了哈尼梯田的垂直特性。

关键词: 哈尼梯田湿地; 湿地类型; 湿地水; 湿地土壤; 垂直特征

文章编号: 1000-0933(2006)07-2115-10 中图分类号: S158.2 文献标识码: A

The vertical characteristics of ecosystem of Hani's terrace paddyfield in Yunnan, China

YAO Min, CUI Bao-Shan* (School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Beijing 100875, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2115 ~ 2124.

Abstract: In accordance with the classification of wetlands by Ramsar Convention, Hani's terrace paddyfield of Yunnan Province in China, is one type of the constructed wetlands. Hani's terrace paddyfield distributes from 144 m to 2000 m above sea level (ASL) in the southern slopes of Ailao Mountains. The degree of the slopes ranged from 15° to 75°. In this case study, we investigated the ecosystem of terrace paddyfield of Mengpin and Quanfuzhuang administrative villages, located in the center of the cultural heritage conservation district of Hani's terrace paddyfield. The ecosystem of Hani's terrace paddyfield is composed of "forest-village-terrace paddyfield-river" with decrease of altitude. Soil and water samples were taken in forests, villages and terrace paddyfield to study the vertical characteristics of Hani's terrace paddyfield. PO₄-P and NH₃-N in water were measured. Seven nutrient factors of soil were determined, including organic matter, C/N, pH, total N, total P, available P, and available K. We also evaluated the soil quality using the soil nutrient factors.

Vertical changes of landscape, wetland types, wetland plants, hydrographic characteristic and soil nutrients were characterized. The results showed that: (1) Hani's terrace paddyfield could be divided into five types of wetlands: North tropical valley terrace paddyfield, South subtropical mountain terrace paddyfield, Middle subtropical mountain terrace paddyfield, North subtropical mountain terrace paddyfield, and South Temperate zone mountain terrace paddyfield. In different types of terrace

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2003CB415104)

收稿日期: 2005-08-18; **修订日期:** 2006-05-15

作者简介: 姚敏(1980~), 女, 江苏人, 硕士, 主要从事湿地生态与环境研究. E-mail: yaomin1980@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cuibs@163.com

Foundation item: The project was supported by National Key Basic Research Development Program of China(No. 2003CB415104)

Received date: 2005-08-18; **Accepted date:** 2006-05-15

Biography: YAO Min, Master, mainly engaged in wetlands ecology and environment. E-mail: yaomin1980@126.com

paddyfield, about 108 species of rice and some different cultivated modes were used to adapt to climate and environment. The rice varieties and cultivate ways were different in each type of wetland. (2) Hani's terrace paddyfield had great water conservation capacity and had strong ability of purifying the contaminations. The impoundage of Hani's terrace paddyfieldies was about $5050\text{m}^3/\text{hm}^2$. The contaminants in the terrace paddyfield soils decreased exponentially with the decrease of altitude. (3) Comparison of soil quality in five different land use types indicated decreasing order of soil quality: forest > terrace land > terrace paddyfield > water source. Except soil of headwaters, unit-factors such as OM, TN and TP, and the comprehensive qualities of soil all increased with the increase of altitude in individual sampling zone. Soil general quality of Quanzhuang sampling zone was better than Mengpin sampling zone.

The characteristics of structures, functions and values were compared among Hani's terrace paddyfield, paddyfield in plain, and natural wetlands to emphasize the vertical characteristic. It was concluded that Hani's terrace paddyfield have stronger functions and higher values than the paddyfield in plain, but lower than natural wetlands.

Key words: Hani's terrace paddyfield; wetland landscape; wetland types; wetland water; wetland soil; vertical characteristics

梯田广泛分布于世界许多地区,如北非、地中海沿岸、法国、中美洲及亚洲的中国、日本、印度、菲律宾、韩国以及东南亚等地^[1],其中著名的有中国的哈尼梯田、龙脊梯田、菲律宾的巴诺水稻田和秘鲁的马丘皮克丘梯田。然而由于梯田(尤其是梯田湿地)耕作与维护十分艰辛,许多地方的梯田已经被废弃^[2]。目前,对梯田的研究仅限于一些尚存在梯田的国家。梯田的历史一般比较久远,而且常常形成了其独特的梯田文化,国内外学者纷纷从梯田的文化和历史角度展开研究^[3-5]。20 世纪后期,随着生态环境保护意识的加强,国内外学者开始研究梯田的生态效应和梯田的保护与管理^[2],并认为水平梯田能减灾、蓄水保土、改良土壤、提高生产力、和促进农业可持续发展^[6-8]。还有一些学者认为水平梯田增加了土壤污染的风险^[6]。但这些研究大多是针对平地,对梯田湿地的研究较少。

哈尼梯田湿地是人工稻田湿地的杰作^[9],是梯田中的典范^[10]。人工稻田作为重要的农业生态系统和温室气体排放源,针对提高水稻田生产力和水稻田温室气体排放规律的研究取得了一系列重要的进展^[11-14]。对梯田湿地的研究尚处于起步阶段,由于哈尼梯田湿地规模大,成为国内最先被学者研究的梯田湿地。对哈尼梯田的研究始于 20 世纪 80 年代中期,和国外一样,主要集中在哈尼梯田的起源和历史,梯田稻作礼仪、梯田生产和管理方式等方面,论述哈尼梯田与哈尼族社会结构、物质生活、自然人生观、社会人际关系等的相关性^[4,9,15]。近年来,一些学者开始认识到哈尼梯田作为人工湿地的重要价值^[9],另一些学者从自然科学的角度,开始了对哈尼梯田形成原因、文化生态系统、人文景观等的探索^[15-19],但尚处于起步阶段,从湿地生态系统的角度对其进行结构和功能的报道很少^[20,21],对哈尼梯田湿地的结构功能尚没有深入的研究。

哈尼梯田梯度分异明显,气候、土壤、海拔等均呈现明显的垂直变化规律,海拔高程的变化是其主要驱动力。从垂直特性上研究湿地的结构和功能,是一个崭新的尝试,有助于进一步研究哈尼梯田的生态过程,对促进对哈尼梯田的遗传价值和文化多样性的保护具有重要意义。

1 研究区概况

本文所选的研究区是元阳县哈尼族梯田湿地,元阳县有约 12667hm^2 梯田湿地资源,地理坐标为北纬 $22^\circ49' \sim 23^\circ19'$,东经 $102^\circ27' \sim 103^\circ13'$ 。这些梯田湿地分布于海拔 $144 \sim 2000\text{m}$ 、坡度为 15° 至 75° 之间的沟壑山岭间。其中坝达、多依树、勐品、麻栗寨四个梯田片区约 28000hm^2 的梯田湿地及周边景观被规划为梯田湿地保护区。元阳县哈尼梯田湿地属红河(元江)水系和藤条江水系。由于南北分别受藤条江和红河干流深切,当地地貌呈“V”形发育。湿地所在地区气候垂直变化显著,在海拔 2000m 以上,平均气温 11.6°C ,霜期在 $60 \sim 100\text{d}$;海拔 $400 \sim 2000\text{m}$ 之间,平均气温 15°C ,霜期 60d ;海拔在 $600 \sim 1400\text{m}$ 之间,平均气温 18°C ;海拔 600m 以下,平均气温 27°C ,全年无霜。梯田湿地区降水充沛,年最高降雨量达 3442mm ,年平均降雨量在 $1500 \sim 2000\text{mm}$ 之间,全年雨季占 78% ,干季占 22% ,受大气降水、地形地貌以及海拔高度的影响,总的降雨特点是东南部多西北部少,高山多河谷少。梯田湿地所处的地形和气候条件复杂,其分布与地形、气候和水量有密切的

关系。

梯田湿地是指在水资源丰富的山区,由人工开垦修筑而成的梯级水平稻田,一般采用高山来水自流灌溉,是人工湿地中的重要类型,梯田湿地生态系统是一个复合生态系统,包括水源、沟渠、鱼塘、生活污水、蓄肥池、梯田和河流几部分组成。哈尼梯田湿地生态系统是“森林-村庄-梯田-河流”四位一体结合而成的。由于为高山峡谷地貌所控制,鱼塘很少,沟渠和河流均呈狭长带状延伸,而梯田湿地广泛分布于中下山,是梯田湿地生态系统的主要组成部分。在长期的耕作过程中,哈尼人在梯田上构建了以种水稻为主的复合生态系统(表1)。

表1 哈尼梯田湿地复合利用模式及功能
Table 1 The complex ecosystem of Hani's terrace paddyfield

复合利用模式 Complex use mode	主要功能 Major functions
种植水稻 Planting rice	提供生活资源,产生经济效益 Supplying living resource, creating economic efficiency
种植浮萍 Planting duckweed	增加梯田湿地中的有机质 Increasing the organic matter
种植莲藕 Planting lotus root	提供食物,产生经济效益 Supplying food, creating economic efficiency
梯田养殖田螺 Raising mudsnail	提供食物 Supplying food
梯田养鱼 Raising fish	增加梯田有机质,提供食物,产生经济效益 Increasing the organic matter, Supplying food and creating economic efficiency
梯田养牛 Raising cow	为梯田土壤增氧,减少人力,产生经济效益 Increasing soil oxygen, reducing labour power and creating economic efficiency
梯田养鸭 Raising duck	为梯田土壤增氧,为人类提供食物 Increasing soil oxygen, Supplying food

2 样品的采集与分析

样区选在哈尼梯田湿地保护区中规模大、具代表性的攀枝花乡勐品村梯田和胜村乡全福庄梯田片区。勐品(E 102°44', N 23°04')梯田片区位于海拔 1080 ~ 1560m 之间,海拔落差 480m,坡度界于 15° ~ 50°之间,坡向南偏西 50°。全福庄(E 102°46', N 23°07')梯田片区位于海拔 1551 ~ 1961m 之间,海拔落差 410m,坡度界于 15 ~ 40°之间,坡向南偏东 70°。

根据哈尼梯田湿地生态系统的垂直结构特点,采用自上而下梯度格局法布设样点,这样布点与梯田物质流方向一致,同时包括了所有用地类型。勐品和全福庄梯田是哈尼梯田湿地中最典型的两块梯田湿地,选择这两个样区具有代表性。以勐品村和全福庄为基点,向上依次布设神林、林地和水源地样方,向下布设梯田样方。梯田中采样点的布设以海拔梯度为依据,海拔每下降约 30 ~ 50m 布设一个水平采样带,水平样带上布设两个水样点和两个土壤样点。使用 GPS 定位,确定海拔高差。调查表记录水平样带的环境状况。

勐品和全福庄样区自上而下各布设 7 个水平样带,共 14 个水样点,每个样点取两个平行样。两个样区各采集水样 28 个。按照海拔梯度下降,从上至下分别布设 2 个有水源地样点、2 个饮用水样点、2 个生活污水样点、和自上而下 8 个梯田水样点。考虑到沟渠和梯田中的水所流经的途径不同,其水质也应有一定的差异,所以在设计梯田采样点时,同时采集沟渠中的水样,各 16 个水样。使用 WTW 便携式水质仪测定其中的 PO₄-P 和 NH₃-N 含量。

从上至下主要布设了 2 个水源地(选取村庄饮用水引水口)、2 个神林(祭祀地的林地)、2 个林地、2 个梯地和自上而下 8 个梯田湿地样方。每个样方内进行 3 次随机取样,将混合样作为样方的一个最终样。两个样区各采集土样 32 个。土壤表层样品的采集采用挖掘法,去除地表植被和草根层后,采土壤剖面 0 ~ 20cm 的表层土。土壤样品风干研磨,过 100 目筛。全氮(TN)采用半微量开氏法测定,有机质(OM)的测定采用重铬酸钾容量法;全磷(TP)的测定采用熔融-比色法;全钾(TK)采用熔融-火焰光度法;速效磷(AP)采用浸提-比色法;速效钾(AK)采用浸提-火焰光度法;pH 值采用酸度计测定(水土比 = 5:1)。

3 梯田湿地空间位置、湿地类型和湿地作物的垂直特性

景观上,哈尼梯田湿地生态系统呈现“森林-村庄-梯田-河流”四位一体的结构。哈尼梯田湿地随着山势的

高低起伏,辗转环绕在大山的中下部,始终位于森林和村庄的下部,沟谷河流的上部(图 1)。森林位于山顶,它涵养的大量水资源是哈尼梯田湿地形成的决定性因素,它为哈尼梯田湿地生态系统的健康提供了充足的水源保证。哈尼族村庄位于山腰,一般在海拔 1500m 处,森林里丰富而洁净的水是他们的饮用水和生活用水水源。位于森林和村庄下方的梯田湿地,接收了森林释放出的洁净水和村庄中排出的生活污水,水流经梯田后最终汇入下方河流中。

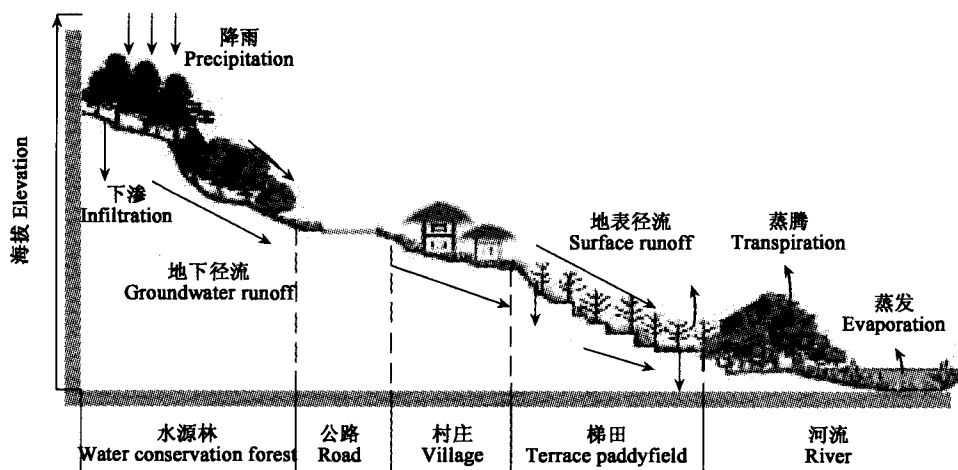


图 1 梯田湿地垂直结构剖面图
Fig.1 The vertical section plane of terrace paddyfield

哈尼梯田湿地分布在海拔 144 ~ 2000m 之间,处于多个气候带上,形成了不同海拔、不同气候带下的多种类型的梯田湿地。参照《云南省农业地理》划分气候带的标准,可以将梯田湿地分为 5 个类型(表 2)。

表 2 梯田湿地分类

Table 2 The classification of terrace paddyfield

湿地类型 Wetland types	分布的海拔范围 Elevation range	耕作方式 Cultivate modes
北热带河谷梯田湿地 North tropical valley terrace paddyfield	南坡 South slope: < 800m, 北坡 North slope: < 700m	双季稻 Double harvest rice
南亚热带中山梯田湿地 South subtropical mountain terrace paddyfield	南坡 South slope: 800 ~ 1200m, 北坡 North slope: 700 ~ 1200m, 东坡 East slope: 450 ~ 1200m	双季稻 Double harvest rice
中亚热带中山梯田湿地 Middle subtropical mountain terrace paddyfield	1200 ~ 1500m	双季稻 Double harvest rice
北亚热带中山梯田湿地 North subtropical mountain terrace paddyfield	1500 ~ 1800m	单季稻、双季稻 Double harvest rice, Single harvest rice
南温带山区梯田湿地 South Temperate zone mountain terrace paddyfield	1800 ~ 2000m	单季稻 Single harvest rice

其中,热带河谷梯田湿地和温带山区梯田湿地的比例较少,亚热带中山梯田是哈尼族梯田的主体。

海拔是影响水稻品种选择的主要因素。海拔 1600 ~ 1900m 的气候温凉的上半山(北亚热带中山梯田湿地、南温带山区梯田湿地),使用小花谷、小白谷、月亮谷、旱谷、冷水谷、抛竹谷、冷水糯、皮桃谷、雾露谷、皮桃香等耐寒稻谷品种;海拔 1200 ~ 1650m 的气温温和的中半山(中亚热带中山梯田湿地、北亚热带中山梯田湿地),使用大老梗谷、细老梗谷、老脚红梗、老梗白谷、大白谷、麻车、蚂蚱谷等温性高稈稻谷品种;海拔 800 ~ 1200m 的气候温热的下半山(南亚热带中山梯田湿地),使用老皮谷、老糙谷、大蚂蚱谷、木勒谷、猛拉糯、七月谷等耐热品种;在海拔 150 ~ 800m 的炎热河谷(北热带河谷梯田湿地),使用麻糯等耐高温稻谷品种。大多数稻谷品种的适应面积往往不超过几百公顷,有不少品种只在几公顷甚至不到 1 hm² 的面积内种植。

梯田湿地上水稻的种植管理方式随海拔呈现垂直分异性。以海拔 1600m 为分界线,海拔 1600m 以上一般为单季稻,海拔 1600m 以下一般为双季稻(表 2)。在海拔较高的地方,气温较低,水稻分蘖能力较差,水稻栽培时采用密植的方法,植株的距离大约为 0.1~0.15m,往海拔低的地方植株距离逐渐加大,热带地区植株的距离约为 0.15~0.2m。同时,高海拔区的梯田一般通过常年灌水的方式来保持梯田,使其在来年栽种水稻时不漏水、不垮塌,水深一般保持在 0.25~0.3m,在热带河谷区,则采用夏灌水、冬晒太阳的方式以增加土壤中的养分。

4 湿地水文垂直特性

湿地水文包括水量和水质两大方面。哈尼梯田湿地含水量丰富,海拔较高的梯田湿地常年蓄水,水深约 0.25~0.3m,梯田中底泥的厚度约为 0.25m,底泥的含水率达 90% 以上,根据公式(1)可以计算出哈尼梯田湿地的蓄水量:

$$W = \sum_{i=1}^n A \cdot H \cdot P \quad (1)$$

式中, W 为哈尼梯田蓄水量; A 为面积; H 为水深; P 为含水率; i 为不同类型的含水。

为了使结果具有可比性,令 A 为单位面积 1hm^2 。 n 取 2,由于地质构造复杂,为了便于计算,只选取第一个隔水层以上部分进行计算,即计算梯田中明水体总量和梯田淤泥中的含水量。由此可以计算出梯田的蓄水量为 $5050\text{m}^3/\text{hm}^2$ 。热带河谷区的梯田湿地只在水稻生长季节具有这样的蓄水量,休耕期不蓄水。在多雨的雨季梯田的蓄水功能显得不是十分重要,到了旱季,梯田涵养的水源就是下游生产和生活用水的来源,对下游具有十分重要的意义。

梯田湿地是人工湿地,湿地水质受人为因素影响很大,但在休耕季节湿地水质只受生活污水的影响。对休耕期勐品和全福庄两条样带的水质跟踪监测发现,随着海拔的降低,梯田湿地中的水质呈现出明显的变化规律。从图 2 和图 3 可以看出,位于村庄上方的森林中的水源水质很好,是哈尼人的饮用水源。当水历经村庄后被人们利用,并以生活污水的方式排入梯田,在这个过程中水质急剧下降。污水进入梯田后,污染物被稀释、沉降、吸附、吸收和降解,水体不断净化,水质在到达河谷之前一些指标就回到了较好的状态。在同一块采样点中,沟渠中的水质略低于梯田中的水质,这是因为沟渠中的坡降大,水流速度快,水力停留时间短,相同的海拔落差条件下水流流经的路线也比较短。沟渠中的水引入梯田之后,水力梯度减小,水流缓慢,有利于污染物的沉降、吸附和吸收,同时,为了保持梯田中的水位,当地人民在梯田的田坎上部开一个宽约 0.35m 的出水槽,保持梯田水深在 0.3m 左右,这种结构有利于污染物的沉降,并保证了出水为上清液。在全福庄的采样带中,有两股污水汇入,污染物浓度出现了两个峰值,但是经过一段距离后水质就恢复到了较好的状态(图 3)。哈尼梯田湿地的水质随海拔降低呈现“好-差-好”的垂直特征。

对污染物进入梯田后水中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的跟踪监测结果作回归分析,结果表明污染物中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 和

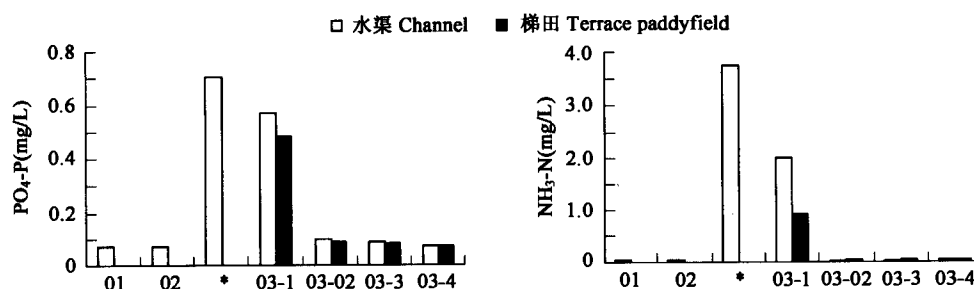


图 2 勐品采样带 $\text{PO}_4\text{-P}$ 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度

Fig. 2 The concentration of $\text{PO}_4\text{-P}$ and $\text{NH}_3\text{-N}$ in Mengpin sampling line

01:水源水 Water from headwaters; 02:饮用水 Drinking water; 03-1 ~ 03-4:梯田中水样 Water from terrace paddyfield; *:生活污水汇入 Sanitary waster

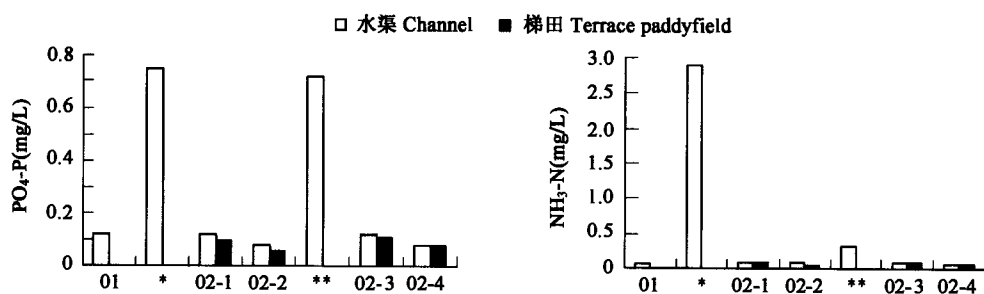


图3 全福庄采样带 PO₄-P 和 NH₃-N 浓度

Fig. 3 The concentration of PO₄-P and NH₃-N in Quanfuzhuang sampling line

01:水源地水 Water from headwaters;02-1 ~ 02-4:梯田中水样 Water from terrace paddyfield; *:生活污水 1 汇入 Sanitary waste 1; **:生活污水 2 汇入 Sanitary waste 2

NH₃-N 的浓度随着海拔高度的降低呈指数形式下降。PO₄-P 的浓度随海拔下降的回归方程为 $Y = 0.633e^{-0.012x}$, $R^2 = 0.8465$; NH₃-N 的浓度随海拔下降的回归方程为 $Y = 2.1411e^{-0.022x}$, $R^2 = 0.8$ 。可见,梯田湿地生态系统对生活污水的降解效果很好。

5 湿地土壤垂直特性

5.1 土壤养分因子状况

哈尼梯田分布于海拔 144 ~ 2000m 的山上,这个海拔范围内由低到高分布着燥红壤、砖红壤、紫色土、赤红壤、红壤、黄壤、黄棕壤和棕壤,经过人为改造,梯田湿地长期处于淹水状态下,在这些土壤带上发育了比较成熟的水稻土^[22]。水稻土具有土质粘重,易于保水保肥的特性。对两个样带的水源地、神林、一般林地、梯地、梯田 5 种主要土地利用方式下的土壤分别进行综合评判,可以揭示人为活动对梯田土壤质量的影响,以及土壤背景值对梯田土壤质量的影响。保存完好、人为干扰少的林地和神林作为可以作为背景土壤。选取炭氮比 (C/N)、有机质 (OM)、全氮 (TN)、全磷 (TP)、速效磷 (AP)、速效钾 (AK) 和 pH 值 7 个指标因子评价土壤的性质。

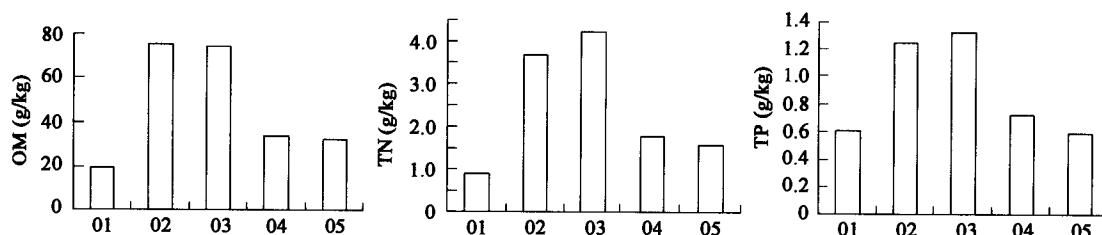


图4 勐品有机质、总氮、总磷

Fig. 4 The result of OM, TN, TP in Mengpin sampling zone

01:水源地土 Soil from headwaters;02:神林 Sacrifice woodland;03:林地 Common woodland;04:梯地 Arid land;05:梯田 Terrace paddyfield;下同 the same below

对勐品样区土壤的有机质、全氮、全磷进行分析。结果显示,水源地各项指标值均较低,这是由于水流不断冲刷使营养物质流失。有机质、总氮和总磷在林地和神林中的含量均高出其它地类中的含量,这是由于林地被保护得比较好,且林地本身易积聚营养物质。梯地和梯田湿地中的有机质相比于林地均较低。除水源地土壤外,其它土壤中这 3 种营养物质的含量均随着海拔的降低呈现降低的趋势。全福庄分析结果一样,不作赘述。

对不同土地利用类型下土壤养分指标进行分析(表 3),结果显示在养分的五大指标 (OM、TN、TP、AP、AK) 中,其标准差最大达 65.8,表明不同土地利用类型下某些土壤养分差异较大。从五大指标的变异系数来看,其间也存在较大的差异,仅勐品样带中全磷的变异系数为 44%,其它变异系数均在大于 50%,这是由于土壤

海拔的差异、生态环境的差异、植物类型的差异以及人为活动的影响等,造就了土壤养分的变异差异。由表 3 可以看出,除全磷外,勐品样带土壤养分单因子的值均小于全福庄土壤养分单因子值。勐品梯田湿地土壤养分含量均值为:有机质 33.32g/kg,全氮 1.57g/kg,全磷 0.59g/kg;全福庄梯田湿地土壤养分含量均值为:有机质 34.86g/kg,全氮 1.62g/kg,全磷 0.71g/kg。勐品林地中的有机质达到 76g/kg,全福庄林地中的有机质高达 142g/kg。综合以上数据,位于海拔 1551~1961m 之间的全福庄梯田土壤营养状况均好于海拔范围在 1080~1560m 之间勐品梯田。样点中 pH 值小于 5.0 的强酸性土壤占 55.56%,其余的均为 pH 值在 5.0~6.0 之间的酸性土壤。对重金属的分析显示,土壤中 Fe 的含量远远高于其它金属的含量,这是使当地土壤呈较强的酸性的主要因素。梯田中的土壤 pH 值较林地要高,基本符合水稻的适宜 pH 值范围(5.5~7.0)^[22],这是长期耕作对土壤改造的结果。

表 3 不同土地利用类型下土壤养分结构

Table 3 The component of nutrient in different land use types and altitude

	C/N	有机质 OM (g·kg ⁻¹)	全氮 TN (g·kg ⁻¹)	全磷 TP (g·kg ⁻¹)	速效磷 AP (mg·kg ⁻¹)	速效钾 AK (mg·kg ⁻¹)	pH (H ₂ O)
勐品 Mengpin	最大值 Maximum	12.28	75.26	4.22	1.32	2.50	163.26
	最小值 Minimum	10.17	19.06	0.9	0.5	0.38	44.66
	平均值 Mean	11.48	46.92	2.45	0.75	1.46	75.58
	标准差 STD	0.85	25.96	1.44	0.33	0.86	49.57
	变异系数 CV(%)	7.40	55.33	58.78	44.00	58.90	65.59
	中位数 Median	11.88	33.93	1.77	0.61	1.19	56.91
全福庄 Quanfuzhuang	最大值 Maximum	30.51	143.97	5.79	1.22	2.65	204.7
	最小值 Minimum	12.48	34.86	0.09	0.26	0.68	21.97
	平均值 Mean	17.3	80.62	2.69	0.63	1.54	120.06
	标准差 STD	7.58	55.55	2.42	0.38	0.88	65.8
	变异系数 CV(%)	43.82	68.9	89.96	60.32	57.14	54.81
	中位数 Median	14.42	49.47	1.62	0.6	1.26	130.4

5.2 土壤养分质量综合评价

对 5 种利用方式下的土壤进行综合评判,比较它们的质量差异,进一步探讨其垂直特性。根据该地区土壤的特点,选取土壤 C/N、OM、TN、TP、AP、AK 和 pH 构成评价因子。这些参数的数据按如下方法进行标准化处理,获得土壤的各分质量指数^[23~25]。数据的标准化处理:

$$\begin{aligned}
 x_i \leq x_{i \min} & \quad P_i = x_i / x_{i \min} & (P_i < 1) & \quad \text{差} \\
 x_{i \min} < x_i \leq x_{i \text{mid}} & \quad P_i = 1 + (x_i - x_{i \min}) / (x_{i \text{mid}} - x_{i \min}) & (1 \leq P_i < 2) & \quad \text{中} \\
 x_{i \text{mid}} < x_i \leq x_{i \max} & \quad P_i = 2 + (x_i - x_{i \text{mid}}) / (x_{i \max} - x_{i \text{mid}}) & (2 \leq P_i < 3) & \quad \text{良} \\
 x_i > x_{i \max} & \quad P_i = 3 & (P_i = 3) & \quad \text{优}
 \end{aligned}$$

其中, P_i 为单质量指数; x_i 为养分因子测定值; $x_{i \min}$ 、 $x_{i \text{mid}}$ 、 $x_{i \max}$ 为各级分级标准, i 为因子($i=1,2,3,4,5,6,7$)各级分级标准(表 4)。pH 值均小于 7.0,因此只考虑酸性条件下的分级标准。根据土壤的特点和对其进行的综合分析,本文确定土壤养分评价因子分级标准如表 4。

表 4 土壤养分评价因子分级标准

Table 4 Classifying criterion of soil nutrient factors

养分因子 Nutrient Factors	C/N	OM (g/kg)	TN (g/kg)	TP (g/kg)	AP (mg/kg)	AK (mg/kg)	pH
$X_{\min}$	11	40	1.5	0.5	0.6	60	5
X_{mid}	16.5	72.5	2.65	0.8	1.4	108.7	5.5
$X_{\max}$	22	100	4	1	2.0	150	6.5

最后根据公式(2)计算各个样方的土壤养分质量综合指标值。

土壤综合质量指数计算采用内梅罗公式^[23]:

$$Q = \sqrt{\frac{(P_i)^2 + (P_{i\max})^2}{2}} \quad (2)$$

其中, Q 为土壤养分质量指数; P_i 为参评各因子质量指数的平均值; $P_{i\max}$ 为量大的分质量指数。

图 4、图 5 中, 神林和林地处于梯地和梯田的上方, 水源地处于林地中。神林和林地土壤养分综合指标值基本都达到了 2.5, 两个样区差异不大, 土壤质量均较好; 勐品梯田土壤综合指标值约为 2.13, 全福庄为 2.49; 勐品梯田土壤的综合质量为 1.80, 全福庄梯田土壤的综合质量为 1.61, 质量一般; 勐品水源地土壤的综合质量为 1.12, 全福庄水源地土壤的综合质量为 1.51, 土壤质量较差, 这是由于山间水流的冲刷使土壤营养物质流失。两个样带土壤综合质量均为神林或林地 > 梯地 > 梯田 > 水源地, 除水源地外土壤综合质量均随海拔降低而下降。勐品样区土壤养分质量综合指标的平均值为 2.04, 全福庄样区土壤养分质量综合指标的平均值为 2.16, 全福庄样区土壤综合质量好于勐品样区土壤综合质量。比较勐品和全福庄两个片区各地类土壤养分综合质量值, 仅梯田中土壤养分综合质量值为勐品好于全福庄, 其它均为全福庄好于勐品。

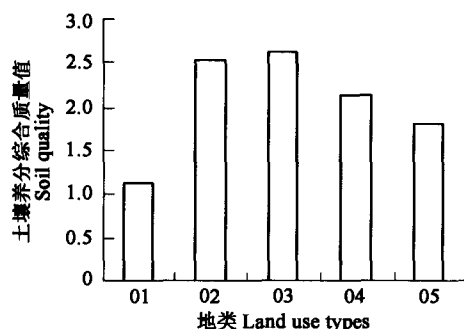


图 5 勐品不同地类土壤养分综合质量比较

Fig. 5 Comparison of soil quality between different land use type

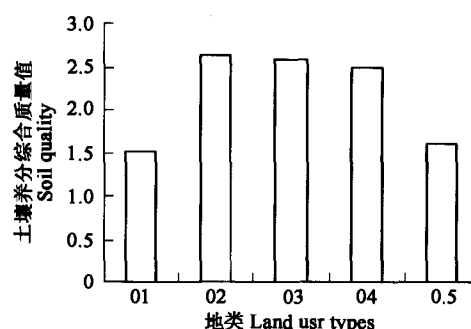


图 6 全福庄不同地类土壤养分综合质量比较

Fig. 6 Comparison of soil quality between different land use type

6 哈尼梯田湿地与其它湿地的比较

哈尼梯田的垂直特性是其区别于其它类型湿地的主要特征之一。它的垂直特性使它与平原稻田湿地相比具有显著的不同。哈尼梯田湿地属于人工稻田湿地, 与天然湿地有明显的差异。把哈尼梯田湿地与平原稻田湿地和天然湿地进行比较, 将进一步突出哈尼梯田湿地的垂直特性。哈尼梯田的垂直特性是其形成良性生态循环系统的重要原因之一, 也是它具有很高生态、经济和美学价值的重要原因之一。哈尼梯田具有净化污染物、防止土壤侵蚀、调节气候、涵养水源等生态功能。在经济、文化和美学方面, 哈尼梯田发挥着越来越重要的价值。

7 结论

对哈尼梯田湿地的类型、植被、景观、水文和土壤在垂向上的特性进行了分析。根据梯田湿地所处的海拔范围、耕作方式等将哈尼梯田湿地由上而下分为 5 类, 分析了不同类型梯田湿地水稻品种、种植方式的差别。根据景观生态学理论, 哈尼梯田湿地生态系统景观上呈现“森林-村庄-梯田-河流”的垂直结构。水文特征主要分析了水质在垂向上的变化, 随海拔的下降水质呈现先下降后变好的趋势, 这主要由梯田湿地生态系统的空间结构以及水资源被利用的形式引起的。两个样区的土壤质量均为神林或林地 > 梯地 > 梯田 > 水源地。对比两个研究样区的神林、林地、梯地和水源地土壤养分质量, 它们均随海拔降低而降低, 而梯田湿地中土壤养分质量呈相反趋势, 这可能主要是人为因素引起的。土壤养分综合质量评价结果显示, 全福庄土壤综合质量略好于勐品土壤综合质量。哈尼梯田湿地的垂直特征说明海拔是哈尼梯田湿地生态系统结构的重要驱动因素, 但不是哈尼梯田结构的唯一驱动因素, 其它诸如坡向、坡度等因素对哈尼梯田湿地生态系统结构的影响将需要进一步研究。哈尼梯田湿地的垂直性是其主要特性, 是区别于其他湿地的典型特征。本文是哈尼梯田湿地结构和功能研究的一部分内容, 哈尼梯田的水生态过程、哈尼梯田的服务功能和价值等将是今后研究的

重要内容。

表 5 哈尼梯田湿地与其它湿地特征比较

Table 5 Table 5 To compare the characteristic of terrace paddyfield, plain paddyfield and natural wetlands			
项目 Items	哈尼梯田湿地 Hani's terrace paddyfield	平原稻田湿地 Plain paddyfield	天然湿地 Natural wetlands
空间结构 Space structure	海拔落差大,坡降大 Great differential height, great degree of slope	高差不大,呈平面展布 Little differential height, plane surface	结构多样 Various structures
自然环境状况 Environment	日照、温度、湿度、降雨、土壤等垂直变化特征显著 ^①	无垂直变化特征 No changes along altitude	垂直变化特性不明显 No obvious changes along altitude
净化污染物 Purifying pollutant	能较好地吸收和净化村庄中的生活污水 Effectively absorb and purify sanitary waster	施用大量化肥农药,净化污染物能力不明显 Applied chemical fertilizer and pesticide, pollute the environment	净化污染物能力很强 ^[28-29] Effectively purify pollutant
调节气候 Adjusting climate	常年灌水,调节气候能力强 ^[21] Flooded yearly, it can adjust domain climate	水稻生长季节调节气候能力强 ^[27] Adjust climate in growing period	调节气候能力强 ^[28-29] Effectively adjust climate
防止土壤侵蚀 Preventing soil erosion	能有效降低水力对土壤的侵蚀 ^[26] Effectively prevent erosion by water	平原侵蚀小,稻田防止侵蚀效果不明显 Can't obviously prevent erosion because of little erosion in plain	能有效防止土壤侵蚀,海岸带侵蚀 ^[28-29] Effectively prevent erosion by water
调节洪水 Adjusting flood	调节洪水的能力不强 Small flood control capacity.	调节洪水的能力不强 Small flood control capacity.	有很强的调节洪水的能力 ^[29] Big flood control capacity.
涵养水源 Water conservation capacity	保水能力较强,地表含水量约为 5050m ³ /hm ² Surface water content is about 5050m ³ /hm ²	涵养水源能力不强 ^[27] Small water conservation capacity.	大江河的水源地,天然水库,具有很强的涵养水源功能 ^[29] ②
生物多样性 Biodiversity	可持续的生态农业,生物多样性较为丰富 ^③	生物多样性较低 ^[8] Low biodiversity	生物多样性极为丰富,是一些稀有物种的避难所 ^[28] ④
生态旅游价值 Ecotourism value	人与环境和谐相处,具有很高的生态旅游价值 ^⑤	生态旅游价值不大 Low ecotourism value.	生态旅游价值大 High ecotourism value
文化价值 Cultural value	是哈尼族文化的载体,文化价值大 ^[11] ⑥	具有一定的文化价值 Has socio-culture value	是人类历史文化的载体,文化价值大 ^⑦
稀有性 Rare character	稀有、独特 ^[1-2] Rare, unique	分布广,普遍 Universal	天然湿地资源减少,其稀有性逐渐增加 ^[28] ⑧
美学价值 Aesthetic value	景色壮观、独特,美学价值高 ^[2] Spectacular, rare, high esthetics value	普遍,美学价值一般 Universal, low esthetics value	景色优美,美学价值高 Some are unique and beautiful, high esthetics value

①Sunlight, temperature, humidity, rainfall and soil all change along altitude; ②Water conservation district or nature reservoir, great water holding capacity; ③Sustainable ecological agriculture, common biodiversity; ④High biodiversity, refuge of some imminence biologic; ⑤It has high value of ecotourism because of sustainable development and harmonious between human and environment; ⑥Embody Hani's culture, has high socio-culture value; ⑦Embody human historical culture, has great socio-culture value; ⑧Nature wetlands become rarer with shrinking of nature wetlands

References:

[1] Gao R L. History of terrace fields. Beijing: China Waterpower Press, 1983:1 ~ 20.
[2] Naoki Iiyama, Mahito Kamada, Nobukazu Nakagoshi. Ecological and social evaluation of landscape in a rural area with terrace paddyfield in southwestern Japan. Landscape and Urban Planning, 2005, 70: 301 ~ 313.
[3] Liu Y. The cultural of terrace paddyfield in filipine. World Etmno national Studies, 2001,(3):61 ~ 67.
[4] Wang Q H. The culture of Hani's terrace paddyfield. Kunming: Yunnan University Publishing House, 1999.334 ~ 361.
[5] Yao M. Hani: Mountainous Minority's Dream of Paddy. Forest and Humankind, 2006,(188):22 ~ 29.
[6] Wu F Q, Zhang Y B, Song J L. Current state and development trend of research on environment effect of level terrace. Journalof Soil and Water Conservation, 2003,7(5):28 ~ 31
[7] Jiao J Y, Wang W Z, Li J, et al. Analysis on soil and water conservation benefit of level terrace under different rainfall condition in loess hilly region. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1995,(3):59 ~ 63.
[8] Xu T C, Wang D X, Jia Z X. Disaster reduction function of level terrace in east Gansu, north Shaanxi and west Shanxi. Journal of Catastrophology, 1994, 9(2):55 ~ 58.

- [9] Shi J C. The Hani Terrace field at Honghe: Typical Chinese Wetland. *Journal of Yunnan Nationalities University*, 2004, 21(5):77 ~ 81.
- [10] Huang S W. Spectacle of agricultural ecosystem: the Hani's terraces paddies. *Economic Ecosystem*, 2001, 10: 85 ~ 86.
- [11] Haefele S M, Wopereis M C S, Donovan C. Improving the productivity and profitability of irrigated rice production in Mauritania. *European Journal of Agronomy*, 2001, (14):181 ~ 196.
- [12] Kazuyuki Inubushi, Kenzo Hori, Satoshi Matsumoto. Anaerobic decomposition of organic carbon in paddy soil in relation to methane emission to the atmosphere. *Elsevier Science*, 1997, (36):523 ~ 540.
- [13] Hans Brix, Brain K. Sorrell, Bent Lorenzen. Are Phragmites-dominated wetlands a net source or net sink of greenhouse gases? *Aquatic Botany*, 2001, (69):313 ~ 324.
- [14] Jeffrey P Chanton. The effect of gas transport on the isotope signature of methane in wetlands. *Organic Geochemistry*, 2005, (36):753 ~ 768.
- [15] Wang Q H. The natural ecological and the Hanis existing spatial distribution pattern in Ai-Lao Mountain. *Yunnan Social Science*, 1998, (2):71 ~ 74.
- [16] Jiao Y M. The feature of Hani cultural region — the cultural landscape of Hani's terrace. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2002, 21(6):734 ~ 743.
- [17] Jiao Y M, Cheng G D, Xiao D N. A study on the cultural landscape of Hani's terrace and its protection. *Geographical Research*, 2003, 15(1):51 ~ 56.
- [18] Jiao Y M, Xiao D N, Cheng G D. Study on the coordinating development of ethnic culture and natural environment in subtropical mountain areas — a case of cultural landscape of Hani terrace in Yuanyang county. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(3):265 ~ 270.
- [19] Jiao Y M, Zhang J Y. The formation of steep terraced fields in south-western China — a case study on the terraced fields in the southern bank of Red River. *Economic Geography*, 2000, 20(4):94 ~ 96.
- [20] Dunne E J, Culleton N, Donovan G O. Phosphorus retention and sorption by constructed wetland soils in Southeast Ireland. *Water Research*, 2005, (39): 4355 ~ 4362.
- [21] Li X Q, Chen W M, Xie B G. Function of paddy wetland landscape ecosystem and its benefit in hilly region of south Changjiang River: with Youxian County of Hunan Province as an example. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1995, 6(sup): 112 ~ 118.
- [22] Tian Y B, Song G Y. Wetland soil and its ecological functions. *Chinese Journal of Ecology*, 2002, 21(6):36 ~ 39.
- [23] Zhang Q L, Pan X Z, Wang H J. Study on spatial distribution of soil quality and quantitative evaluation of soil fertility quality under middle spatial scale. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34 (6): 493 ~ 497.
- [24] Zhang Q F, Song Y C, You W H. Relationship between plant community secondary succession and soil fertility in Tiantong, Zhengjiang Province. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19 (2): 174 ~ 178.
- [25] Tian K, Chang F L, Lu M, *et al.* Impact of human disturbances on organic carbon and nitrogen in NaPaHai wetlands, Northwest YunNan. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41 (5): 681 ~ 686.
- [26] Gao T S. The flood control effects of Zhuanglang rice paddies. *Journal of Gansu Agriculture*, 2004, 12:63.
- [27] Zhang R J. Some knowledge of the paddy wetland environment from the middle and lower reaches of Yangtze River. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2003, (1):71 ~ 74.
- [28] Richard C. Smardon. Heritage values and functions of wetlands in Southern Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 73(3-4):296 ~ 312.
- [29] Masaki Hayash, William L. Quinton, Alain Pietroniro. Hydrologic functions of wetlands in a discontinuous permafrost basin indicated by isotopic and chemical signatures. *Journal of Hydrology*, 2004, (296):81 ~ 97.

参考文献:

- [1] 高荣乐. 梯田史料. 北京:中国水利水电出版社, 1983:1 ~ 20.
- [3] 刘勇. 论菲律宾梯田文化. *世界民族*, 2001, (3):61 ~ 67.
- [4] 王清华. 梯田文化论. 昆明:云南大学出版社, 1999. 334 ~ 363.
- [5] 姚敏. 哈尼:山地民族水稻梦. *森林与人类*, 2006, (108):22 ~ 29.
- [6] 吴发启, 张玉斌, 宋娟丽, 等. 水平梯田环境效应的研究现状及其发展趋势. *水土保持学报*, 2003, 7(5):28 ~ 31.
- [7] 蕉菊英, 王万中, 李靖. 黄土丘陵区不同降雨条件下水平梯田的减水减沙效益分析. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1999, 5(3):59 ~ 63.
- [8] 徐庭灿, 王答相, 贾泽祥. 陇东、陕北、晋西地区水平梯田的减灾作用. *灾害学*, 1994, 9(2):55 ~ 58.
- [9] 史军超. 中国湿地经典——红河哈尼梯田. *云南民族大学学报*, 2004, 21(5):77 ~ 81.
- [10] 黄绍文. 生态农业奇观:哈尼梯田. *生态经济*, 2001, 10: 85 ~ 86.
- [15] 王清华. 哀牢山自然生态与哈尼族生存空间格局. *云南社会科学*, 1998, (2):71 ~ 74.
- [16] 角媛梅. 哈尼梯田文化景观及其保护研究. *地理研究*, 2002, 21(6):734 ~ 743.
- [17] 角媛梅, 程国栋, 肖笃宁. 哈尼文化区的特质——哈尼梯田文化景观. *云南地理环境研究*, 2003, 15(1):51 ~ 56.
- [18] 角媛梅, 肖笃宁, 程国栋. 亚热带山地民族文化与自然环境和諧发展实证研究——以云南省元阳县哈尼族梯田文化景观为例. *山地学报*, 2002, 20(3):265 ~ 270.
- [19] 角媛梅, 张家元. 云贵川大坡度梯田形成的原因探析——以红河南岸哈尼梯田为例. *经济地理*, 2000, 20(4):94 ~ 96.
- [21] 李晓青, 程伟民, 谢炳庚. 江南丘陵稻田湿地景观生态系统功能与效益研究——以攸县为例. *应用生态学报*, 1995, 6(sup): 112 ~ 118.
- [22] 田应兵, 宋光煜, 艾天成. 湿地土壤及其生态功能. *生态学杂志*, 2002, 21(6):36 ~ 39.
- [23] 张庆利, 潘贤章, 王洪杰, 等. 中等尺度上土壤肥力质量的空间分布研究及定量评价. *土壤通报*, 2003, 34 (6): 493 ~ 497.
- [24] 张庆费, 宋永昌, 由文辉. 浙江天童植物群落次生演替与土壤肥力的关系. *生态学报*, 1999, 19 (2): 174 ~ 178.
- [26] 高太生. 庄浪梯田减灾效益分析. *甘肃农业*, 2004, 12: 63.
- [27] 章人骏. 长江中下游地区水稻田湿地环境的一些认识. *华南地质与矿产*. 2003, (1):71 ~ 74.