

# Exploration of Mulberry Fish Pond in the Pearl River Delta Region from the Angle of Water Resources

Siying Hou, Keke Li

School of Water Resources and Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan Hubei  
Email: 13570227986@163.com

Received: Feb. 26<sup>th</sup>, 2018; accepted: Mar. 8<sup>th</sup>, 2018; published: Mar. 15<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Mulberry fish pond is a unique way to use land explored by the practice of traditional agriculture in China. It is the product of the combination, alongside the coordinated development of labor wisdom and the situation of the local ecological environment. It makes full use of the local water conservancy environment in the Pearl River Delta, combining the water resources and the land resources to form a virtuous ecological cycle. Previous research has focused more on the development of its agro-ecological functions and lack of consideration of the significance of its water resources. In the mulberry pond system, water is the basis of its existence and the key to the transformation and balance of the material energy in the system. Therefore, combining the topography and hydrological characteristics in the Pearl River Delta region, from the perspective of water resources, based on the background of water resources, the ecological environment of water environment and its value as well as the current water resources and water environment, the paper explores and analyzes the protection and inheritance, sustainable development and solutions of mulberry ponds in the Pearl River Delta, then puts forward corresponding suggestions and countermeasures.

## Keywords

Mulberry Fish Pond, Water Resources, Water Ecology, Protection and Inheritance, The Pearl River Delta

---

# 从水资源角度探索珠三角地区桑基鱼塘发展与出路

侯思颖, 李可可

武汉大学水利水电学院, 湖北 武汉  
Email: 13570227986@163.com

收稿日期: 2018年2月26日; 录用日期: 2018年3月8日; 发布日期: 2018年3月15日

---

作者简介: 侯思颖, 女, 硕士研究生。

## 摘要

桑基鱼塘是我国传统农业在实践中探索出的一种独特的土地利用方式，是劳动智慧与当地自然生态环境实际情况相结合、协同发展的产物，充分利用了珠三角当地的水利环境，将水资源与土地资源相结合，形成良性的生态循环。此前研究更多的是着重于围绕其农业生态功用展开，而缺乏对其水资源方面意义的考虑。而在桑基鱼塘系统中，水是其存在的基础，是系统中物质能量转化和平衡的关键，因此，结合珠三角地区的地势、水情特点，从水资源的角度，对珠三角桑基鱼塘的水资源背景、水环境生态及其价值和目前面临的水资源水环境等方面的问题进行了探索与分析，为珠三角地区桑基鱼塘的保护与传承、可持续发展与出路，提出相应的建议和对策。

## 关键词

桑基鱼塘，水资源，水生态，保护传承，珠三角

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

桑基鱼塘是在我国传统农业中经过实践探索出来的一种独特的土地利用方式和农业生产模式，是一种水陆相互作用的人工生态系统，拥有突出的良性物质能量循环功能[1]。桑基鱼塘系统最早在九世纪太湖流域出现，在十四世纪得到迅速发展，明朝中后期开始在珠三角地区开始盛行。20世纪20年代，随着国际丝绸贸易市场的繁荣，珠三角桑基鱼塘进入鼎盛时期[2]，这种模式凭借着其强大的生命力、独特的良性生态循环、突出的生态文明价值和经济循环价值一直传承、发展至今。

不少学者曾对桑基鱼塘的产生及其演变过程、水陆生态系统结构、物质能量转化和生态文明价值等方面进行了研究。如廖森泰等[3][4]通过对基塘历史的研究，整理出了桑基鱼塘的形成及其发展历程，清楚地再现了其浮沉历史；王英姿等[5]从桑基鱼塘的空间分布格局的角度研究了其基塘比例的演变过程，并指出了合适的基塘比；Chan等[6][7][8][9][10]通过研究揭示了桑基鱼塘在水陆生态系统中生态特征，并对其生态系统的结构进行了层次划分，突出了桑基鱼塘的系统性、相互性和物质循环交换与能量流动的整体性、平衡性。郭盛晖[11]在桑基鱼塘的生态文明价值研究中更注重其再利用与可持续性发展，体现了一种新型的现代化的生态经济循环理念。

综上所述，此前的对桑基鱼塘的研究大多是从整体角度、大系统角度或者历史的纵向角度进行分析，缺少从水资源的角度分析的研究。水是桑基鱼塘系统存在的基础，是系统中物质能量转化和平衡中的关键。因此，为探索珠三角地区桑基鱼塘未来的发展与出路，从水资源的角度，通过对其水资源背景、水环境生态及其价值和目前面临的水资源水环境方面的问题进行分析，为珠三角地区桑基鱼塘的保护与传承、可持续发展与出路，提出相应的建议和对策。

## 2. 珠三角地区桑基鱼塘概况及其水资源背景

### 2.1. 水资源条件促就了桑基鱼塘的出现

粤语中把有水的低洼地称作“塘”，而在塘旁边的用地称为“基”。桑基鱼塘是珠三角一种独具地方特色的农业生产形式。

我国珠三角地区属亚热带气候, 全年气候温和湿润, 常年平均温度 21℃~23℃, 雨水充沛, 常年平均降水量达 1500 mm 以上。多雨季节与高温季节同步, 土壤肥沃。珠三角地区的水资源充足, 该特点为桑基鱼塘的兴起提供了优厚的气候条件, 塘鱼可以全年活跃, 桑树也几乎全年长青。

珠三角地区地处珠江流域, 各水系纵横交错, 贯穿珠三角各地区, 且地区内河道呈网状分布, 河网密集, 河道较深较窄, 良好的天然水利条件为桑基鱼塘的兴起与发展提供了重要的水情和自然地理优势。但由于地势低洼, 常闹洪涝灾害, 同时受到西江、东江、北江洪水的倒灌和潮汐影响, 渍水难排, 水淹的情况屡见不鲜。如《广东通志稿》卷 31 水利中曾有“东广之田, 广肇患于水溢”的描述, 增加了种稻的难度。而桑基鱼塘系统深挖稻田, 用挖出的塘泥堆积在塘的四周, 形成鱼塘, 又在塘边树之以桑, 是一种因地制宜的水利系统。如此一来, 不仅水淹的情况得到了改善, 减轻了水患, 还有显著的生态和经济效益, 可谓是“基种桑, 塘蓄鱼, 桑叶养蚕, 蚕矢饲鱼, 两利俱全, 十倍禾稼” [12]。

自明朝中后期起, 南海、顺德等地便掀起了种桑养蚕、修筑基塘的风潮[13], 桑基鱼塘的分布区域从以顺德、南海为主, 逐步扩展到了中山、新会、东莞、三水等地。

## 2.2. 桑基鱼塘的水平衡与物质能量循环

桑基鱼塘存在于独特的水资源条件和地理条件, 是一个典型的水陆相互作用的人工生态系统, 在该系统中, 陆地的桑基子系统和水体的鱼塘子系统实现物质和能量的互换与流动, 形成良性的生态物质循环[14] [15]。水资源在这一系列物质交换中起着运输载体的作用, 保证了基塘系统中各单位的良性互动。

降水进入基地, 先被作物截留一部分, 这部分水分蒸发后进入大气, 期间降水越多, 作物水分越饱和则截留的比例越小。基地的水分通过坡面径流和重力水进入鱼塘, 潜水位的高低受鱼塘水位的变动的影 响, 进而影响毛管水上升, 在干旱时为土壤补充潜水位的水分。这样即使在无雨的旱季, 因有毛管水的补给, 桑、甘蔗等深根作物仍能在未得到灌溉的情形下正常生长。

桑基鱼塘的鱼塘子系统中, 鱼塘的水分收入比基地要大很多, 除去占最大比重的降雨外, 还有基地的坡面径流和重力水也是鱼塘水资源很大的组成部分, 鱼塘子系统的年水分收入比基地子系统多 1/2。由于雨季时坡面径流和重力水占比重更大, 鱼塘的水分收入在雨季最为集中。

参考钟功甫等[16]的研究, 桑基鱼塘基面子系统及鱼塘子系统各月水平衡情况对比如表 1 所示。从表中数据可得出, 基面子系统与鱼塘子系统的水量总收入与支出基本持平, 其中基面子系统中的坡面径流和下渗重力水把基面的一些养分带入鱼塘, 这些养分一部分被鱼类摄食, 另一部分被浮游生物通过分解沉淀成塘泥, 水平衡阻止了养分直接流入江河造成浪费, 鱼塘的水源含有丰富的营养物质, 可用于桑树的灌溉, 促进系统的水平衡。因此, 水资源在桑基鱼塘系统的物质循环中得到了充分利用, 资源损耗率几可忽略。

## 2.3. 珠三角地区桑基鱼塘的水利保障

珠江三角洲连片桑基鱼塘的核心区域南海、顺德两地, 是珠三角下游的河网密集区, 地势平坦低洼, 水面积广阔。该地区的灌溉水源十分充足, 即使遇到大旱, 仍能保证丰富的农业用水, 为基面作物和鱼塘的用水提供了有力的保障。

珠三角的雨季是每年 4~8 月, 雨水集中, 在雨季中各江先后发洪, 往往是洪峰接踵而至, 汛期径流量可达全年的 80%。平原地区都有受洪水浸涝的危险, 为减轻水患, 常在平原地区建设桑基鱼塘, 而珠三角面积最大的桑基鱼塘大多位于此。雨季时西江、北江的洪水是该地区农业生产的最大威胁, 人工修建的堤围可以大幅度降低基塘被洪水冲毁的风险, 是珠三角桑基鱼塘经营中最基础的水利保障[13]。

由于基面的地下水位较高, 下层土壤在旱季也是较湿润的。甘蔗、桑等深根作物即使在旱季未进行浇灌也能正常生长, 由此可见, 干旱对基塘地区的作物生长影响不大。从水文条件分析, 基塘地区的主要灾害主要是

**Table 1.** Monthly water balance of the base surface subsystem  
**表 1.** 基面子系统及鱼塘子系统各月水平衡(单位: 毫米)

月份	基面子系统月水平衡(mm)								鱼塘子系统月水平衡(mm)								
	水分收入		水分支出						水分收入				水分支出				
	降水量	鱼塘补给潜水量	地表径流	下渗量	蒸发量	作物截留降水量	作物组成水分	土壤水分增值	降水量	基面径流量	基面入渗鱼塘水量	蒸发量	鱼塘排出河沟径流量	鱼塘补给潜水量	鱼塘生物组成水分	鱼塘水位下降	
1	4.7		0	0	46.7				4.7	0	0	77.8	0				
2	53.7		0	0	38.6				53.7	0	0	46.3	0				
3	62.4		4.3	0	50.6				62.4	4.3	0	60.2	48				
4	217.4		104.5	21	67.9				217.4	104.5	21	81.5	197				
5	349.9		215.8	34	75.1				349.9	215.8	34	90.1	463				
6	117.2		21	8	87.6				117.2	21	8	107.4	31				
7	383.1		224	41	116.1				383.1	224	41	136.6	484				
8	123.5		6.4	3	114.1				123.5	6.4	3	136.9	0				
9	158.1		43.5	13	100.5				158.1	43.5	13	123.3	74				
10	33.6		0	0	85.5				33.6	0	0	102.6	0				
11	133.2		60.1	8	65.1				133.2	60.1	8	79.8	45				
12	83.2		50.4	0	32.1				83.2	50.4	0	48.5	51				
年	1720	80	730	125	880	50	5	10	1720	730	125	1091	1393	80	21	10	
合计	1800		1790						10	2575				2585			10

注: 基面水分总收入 1800 毫米/年, 总支出 1790 毫米/年, 盈余 10 毫米为土壤水分增值; 鱼塘水分总收入 2575 毫米/年, 总支出 2585 毫米/年, 水位下降 10 毫米。

内涝, 以地势较低区域尤为严重。存在的主要因素: 有汛期暴雨排水不易; 河道弯曲、河床坡度小导致排水不畅; 还有一些基面低于河面, 不能自由排水等。

除了洪涝, 南海和顺德等地区还受珠江三角洲潮汐河口的影响, 而河网区中的桑基鱼塘系统则成为对潮汐合理利用的小型水利系统[4]。系统可以设置水窦以利用内外潮汐水位的高差来实现池塘水的灌排, 一般分为上窦和下窦, 分别设于塘腰和塘底。通过鱼塘的水窦, 池塘水体可以与外界的河涌水流互通联系。池塘水体通过水窦与外界的河涌水流联系, 同时可以通过开启和关闭塘边闸窦来调节池塘水的温度及溶氧量。由于潮流影响较弱, 潮位常小于一米, 因此必须密切注意鱼塘与河涌的水位差以保证灌排不受影响。

### 3. 桑基鱼塘的水环境生态及其价值分析

#### 3.1. 桑基鱼塘的生态物质循环

在桑基鱼塘系统中, 桑、蚕、鱼和塘泥形成了物质循环和能量流动的生态系统(图 1)。桑树从塘泥中汲取养分, 通过光合作用制造桑叶; 蚕吃桑叶, 形成蚕茧; 蚕的粪便、蚕蜕掉的皮、蚕的尸体, 吃剩的桑叶残渣等物质形成“蚕沙”, 可用作土壤的肥料, 也可用来喂鱼, 蚕沙或新挖的塘泥又可以补充土壤中损失的营养物质。在桑基鱼塘系统中, 水是其存在的基础, 是物质循环、能量流动的关键, 在一系列物质交换中起着运输载体的作用, 保证了基塘系统中各单位的良性互动。水构成塘以养鱼, 粪便微生物等营养物质在水中沉淀, 产生营养丰富的塘泥, 塘泥可以为育桑提供营养物质, 从而推动了桑基鱼塘的物质流动。

在桑基鱼塘系统中, 蚕沙若不是被鱼塘中的家鱼消耗和用作肥料, 会大量堆积导致环境的污染; 塘底的淤

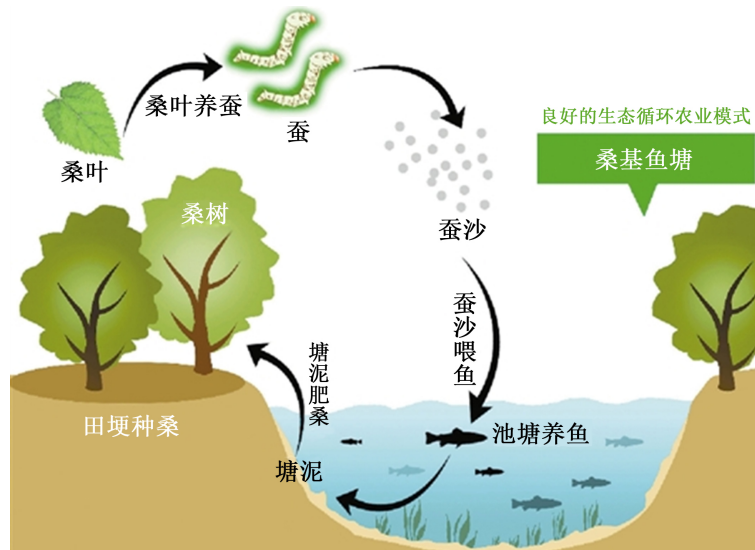


Figure 1. Mulberry fish pond material circulation system  
图 1. 桑基鱼塘物质循环系统

泥因被挖起培植桑基，避免了水体变浅和水中有毒物质的增加[6] [17]。桑基和鱼塘相互利用了彼此的废弃物，不仅实现了良性的生态物质循环，还解决了棘手的环境污染问题。

### 3.2. 桑基鱼塘生态结构与生物多样性

桑基鱼塘系统从生态结构上可分为陆地生态系统、水陆过渡生态系统和淡水生态系统。系统中不同层次的光、温、水、土条件决定着基面作物的种植和各种动物的栖息。由于生态系统的复杂性，基塘系统中的生物多样性十分丰富。不仅有桑、甘蔗、兰花、白菜、大豆、大尾草、水浮莲、象草等植物，还有蚕、四大家鱼、虾、蟹、鳊鱼、水鱼等水生动物和鸡、鸭、猪等家畜家禽，再加上栖息在基塘的候鸟、昆虫和各种微生物，桑基鱼塘系统中的生物种类可谓数不胜数[17]。生物种类的多样性与生态系统的稳定性相辅相成，系统内对自然资源的损耗极少，能量和物质实现了自循环，使桑基鱼塘系统的经济效益与生态效益并存。

桑基鱼塘的水陆边缘效应显著，具有滞洪排涝、蓄洪防旱功用的同时，又能调节微气候、防止土壤流失，为大量动植物和微生物提供栖息地，对水生态的保持有着重要意义。基塘的大量存在不仅涵养了水源，减轻了水旱灾害，还为珠三角地区的绿地、湿地覆盖率作出了巨大贡献。

## 4. 现存桑基鱼塘及其未来出路面临的主要问题分析

虽然桑基鱼塘凭借其强大的生命力、独特的良性生态循环、突出的生态文明价值和经济循环价值一直传承、发展至今，但仍然面临着各方面的问题，其中比较突出的是水污染、水生植物泛滥、水体富营养化和用地类型的转变等方面的问题。

### 4.1. 水污染带来的威胁

水环境是珠三角人民赖以生存的基础，同时也是该地区桑基鱼塘发展的重要因素。正因为珠三角地区常见的潮水、泥沙及洪旱灾害，传统的稻作农业往往容易受到影响，而桑基鱼塘则能够在这样的水文环境中得以快速发展。但是，越来越严重的水污染问题又对桑基鱼塘带来了威胁。珠三角地区最重要的水污染源包括工业废水、有机农药两类。随着工业化而加重，一些工厂污水大部分未加处理就直接或间接排入水域，且由于潮汐的影响使水质污染更为严重。此外，残余农药通过灌溉回归水体，水质污染影响了蚕桑质量，还有可能诱发鱼病，

塘泥亦因而受到污染，导致桑基鱼塘的退化。

在珠三角的众多地区，由于水污染和土壤污染问题的加剧，被严重污染的塘泥已不能再用作肥料。据某些乡民反映，现在用塘泥施肥会导致作物死亡。顺德、南海等地作为传统桑塘景观区，水上环境大部分已严重恶化，塘基破坏明显，鱼塘绿水泛滥，臭不可闻。一旦桑基鱼塘遗留的基塘形态和水上环境被彻底破坏，是不可逆转的。由此可见，如今桑塘景观遗产保护传承已经刻不容缓。

#### 4.2. 水生植被的泛滥与水体富营养化

水生植物泛滥的现象在珠三角地区越来越普遍。在没有增氧机的时代，塘水的含氧量主要依靠闸窦的开闭来调节，借助鱼塘和塘外河涌潮汐水位的高差实现灌排。现代由于过度依赖排灌及增氧设备，鱼塘中的水网、排灌设施退化造成水循环不畅，污水积聚排放又得不到妥善处理，给水生植物泛滥提供了场所。

水生植物大量消耗鱼塘内的氧气，加速水体富营养化并导致水质恶化，水体透明度降低，鱼塘溶解氧过饱和现象的出现会威胁鱼类的生存。受污染的水质通过物质循环，在水陆系统中不断积累，不仅危害桑基鱼塘的生态系统，影响生态经济的循环，甚至危及人的健康。水体表面的水生植物形成一层“绿色浮渣”，致使底层堆积的有机物质在厌氧条件分解产生有害气体，和一些浮游生物产生的生物毒素也会危及鱼类。为减少此类现象，部分鱼塘会限定局部水面养殖水葫芦、水浮莲、绿萍等水生植物。

#### 4.3. 桑基鱼塘的全面退化

近年来，随着城镇建设用地不断增加及工业化的进一步扩张，珠江三角洲的桑基鱼塘出现了严重的萎缩和退化，大范围具有绝佳边缘效应的自然有机肌理的原生桑基鱼塘被毫无生气的人工格网养鱼场所取代[18]。珠三角地区的桑基鱼塘的用地面积变化如表 2 所示[19] [20] [21]。从表格中可见，顺德、佛山和中山等地区的桑基用地退化现象严重，其中顺德地区的桑基面积已经锐减至完全消失。大面积的桑基土地资源被侵占，基塘比例严重失衡，基塘结构和功能失调，直接导致与桑基鱼塘繁荣共生的水利设施的退化。

桑基鱼塘的消亡、水体严重污染、湿地生态环境遭破坏、土壤退化、生物栖息地破坏等，使珠三角广阔的基塘大地面临全面退化的严峻现状，昔日繁荣河涌的河涌景观不复存在。

### 5. 总结与建议

通过对珠三角地区桑基鱼塘的水资源背景及水环境生态和当前面临的水资源水环境方面的问题的研究分析，针对珠三角桑基鱼塘的现状与存在的问题，以可持续发展为指导、以科学研究为依托，以发挥生态、社会、经济三大效益为目标，为珠三角地区桑基鱼塘的保护与传承、发展与出路，提出相应的建议和对策。

#### 5.1. 以不破坏生态系统为发展的原则

桑基鱼塘是一种不可再生的农业文化景观遗产，其对乡村地区的水环境保护、水文调节及水资源合理利用都具有巨大的意义。其退化不仅有生态的因素，还有经济的因素。在全球变化和人类活动的影响下，水环境污

**Table 2.** Changes in land area of mulberry ponds in parts of the Pearl River Delta  
**表 2.** 珠三角部分地区的桑基鱼塘用地面积的变化

用地类型	顺德地区(km <sup>2</sup> )			佛山、中山地区(km <sup>2</sup> )		
	1978	1998	减少的百分比(%)	2000	2015	减少的百分比(%)
农业用地	454.53	355.06	21.88	-	-	
桑基用地	48.93	0	100	1528.36	1064.03	30.38
蔗基用地	104.60	3.06	97.07	-	-	

染和水生态失调等问题都日渐显露。在城乡经济发展的同时，对桑基鱼塘的开发与再利用应该要以不破坏生态系统为前提，尊重桑基鱼塘的物质循环和能量流动规律。使用新技术时，应注意它带给桑基鱼塘这种农业生产模式的副作用，要建立合理的水资源管理制度，避免对水域、农田、渔场、鱼塘等资源的过度开发和利用，逐步开发利用可再生自然资源，在任何情况下使用自然资源时都应该遵循可持续发展原则。

## 5.2. 工业废水分散收集，集中处理

珠三角地区工业分布广而分散，污染物排放浓度高，如果直接流入江河渠道和桑基鱼塘，其毒性易导致生物得病或死亡。污染物渗入土壤，会影响植物与微生物的生长，污染地下水，对桑基鱼塘的水生态造成负担。对于工业污水废水应该采取分散收集，集中处理的方式，减少乱排乱放对生态环境的负面影响[22]。其中收集方式宜采用废水收集车定期收集装运的形式，尽可能避免新建收集管网造成新的环境污染。收集的污水废水运到附近的工业污水处理厂进行集中处理。

## 5.3. 保证合理的基、水比例

随着经济的发展和市场的转变，传统桑基鱼塘基地上种植的甘蔗、蚕桑一类的作物已经先后消亡，基面作物布局也发生了巨大的变化。由于淡水养殖产量高、收益好，农民重水产养殖、轻基面种植，这种模式使得基面日益变窄，基、水比例从原本合理四六比的逐渐变成了二八比甚至是一九比。基地面积比例缩小，基地无力承担塘鱼的上泥量，基地可用作饲料的农产品废弃物和生物的粪便也减少，鱼塘的能量只能靠大量地从系统外部输入，这样桑基鱼塘的水陆相互作用将被大大削弱。若不仅不能保证桑基鱼塘生态系统的输出，还反过来需要大量外部输入来维持，桑基鱼塘便无法获得能量平衡，甚至在一定程度上造成了资源浪费。保持合理的基、水比例，充分利用基塘系统的合理性，减少系统外投入，才能使桑基鱼塘保持其存在的合理性，而不至于被社会所淘汰。

## 5.4. 传统景观遗产的保护与传承

虽然珠三角桑基鱼塘的农业生产效应现在已经微不足道，但仍然不可忽视其对调节湿地、水生态景观及水利设施方面的意义。基于保护传承桑基鱼塘景观遗产的目的，有必要在一定程度上尝试恢复传统桑基鱼塘景观，并采取措施让其焕发新的生机。现今的规划中，珠三角桑基鱼塘主要探索朝着景观化的方向发展。桑基鱼塘被誉为珠三角之肾，对维持区域性的生态安全起着重要作用，是名副其实的农业湿地生态景观。

当前桑基鱼塘景观开发有初步起色，例如位于西樵山南麓的渔耕粤韵文化旅游园，以西樵山南麓的七星、儒溪、显岗村一带的鱼塘片区为中心，该鱼塘片区是珠三角地区面积最大、保存最为完整的桑基鱼塘，联合国教科文组织誉其为“世间少有美景、良性循环典范”。文化园复原了珠三角最早的农业良性生态物质循环模式，开发出“桑基鱼塘文化 + 传统农业 + 生态农业 + 旅游”发展模式，既传承了文化，保护了环境，又丰富西樵山旅游内涵，使传统岭南水乡文化得以延续发展。

后续随着桑基鱼塘景观的日渐成熟，同时具有生态、生产、文化等功能，弱化其经济效用，可基于原真性极高的桑基鱼塘景观，开展科学研究和旅游休闲，建立完整的系统，主张提升其非农业经济效益，从恢复湿地景观入手，逐渐向持续自主发展过渡。

## 参考文献 (References)

- [1] 邓芬. 桑基鱼塘: 珠江三角洲的主要农业特色[J]. 农业考古, 2003(3): 193-196.  
DENG Fen. Mulberry fish-pond: The main agricultural characteristics of the Pearl River Delta. *Agricultural Archaeology*, 2003(3): 193-196. (in Chinese)
- [2] 司徒尚纪. 广东文化地理[M]. 广州: 广东人民出版社, 2001: 112-119.  
SITU Shangji. *Cultural geography of Guangdong*. Guangzhou: Guangdong People's Publishing House, 2001: 112-119. (in Chinese)

- [3] 廖森泰. 海上丝绸之路与珠江三角洲“桑基鱼塘”发展[J]. 中国蚕业, 2015, 36(4): 20-22.  
LIAO Sentai. The development of the Maritime Silk Road at sea and the “mulberry fish pond” in the Pearl River Delta. *China Sericulture*, 2015, 36(4): 20-22. (in Chinese)
- [4] 周晴. 清末民国时期珠江三角洲的桑基鱼塘与生态经济环境[J]. 华南农业大学学报: 社会科学版, 2013, 12(3): 142-150.  
ZHOU Qing. The Mulberry fish ponds and ecological environment in the Pearl River Delta during the late Qing Dynasty and the Republic of China. *Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition)*, 2013, 12(3): 142-150. (in Chinese)
- [5] WANG, Y. Z., HONG, W., WU, C. Z., et al. Application of landscape ecology to the research on wetlands. *Journal of Forestry Research*, 2008, 19(2): 164-170. <https://doi.org/10.1007/s11676-008-0029-0>
- [6] CHAN, G. L. Aquaculture, ecological engineering: Lessons from China. *Ambio*, 1993, 22(7): 491-494.
- [7] NHAN, D. K., MILSTEIN, A., VERDEGEM, M. C. J., et al. Food inputs, water quality and nutrient accumulation in integrated pond systems: A multivariate approach. *Aquaculture*, 2006, 261(1): 160-173. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.015>
- [8] ASTUDILLO, M. F., THALWITZ, G. and VOLLRATH, F. Modern analysis of an ancient integrated farming arrangement: Life cycle assessment of a mulberry dyke and pond system. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2015, 20(10): 1387-1398. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0950-3>
- [9] 王德建, 徐琪, 刘元昌. 草基-鱼塘生态系统的能量转化与养分循环研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8(4): 426-430.  
WANG Dejian, XU Qi and LIU Yuanchang. Energy conversion and nutrient cycling in grass-dyke-fish pond ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(4): 426-430. (in Chinese)
- [10] 黎华寿, 骆世明, 聂呈荣. 广东顺德现代集约型基塘系统的构建与调控[J]. 生态学杂志, 2005, 24(1): 108-112.  
LI Huashou, LUO Shiming and NIE Chengrong. Reconstruction and control of modern intensive dike-pond system in Shunde. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(1): 108-112. (in Chinese)
- [11] 郭盛晖. 珠三角的桑基鱼塘及其生态文明价值[J]. 丝绸, 2016, 53(4): 78-83.  
GUO Shenghui. The mulberry fish pond in Pearl River Delta and its ecological civilization value. *Journal of Silk*, 2016, 53(4): 78-83. (in Chinese)
- [12] 高明县地方志编纂委员会编. 高明县志[M]. 广州: 广东人民出版社, 1995.  
Gaoming County Local Records Compilation Committee. *Gaoming County annals*. Guangzhou: Guangdong People's Publishing House, 1995. (in Chinese)
- [13] 佛山地区革命委员会《珠江三角洲农业志》编写组. 珠江三角洲农业志[M]. 佛山: 佛山地区革命委员会出版社, 1976.  
Foshan Regional Revolutionary Committee. *Agricultural chronicles of the Pearl River Delta*. Foshan: Foshan Regional Revolutionary Committee Press, 1976. (in Chinese)
- [14] RUDDLE, K., FURTADO, J. I., ZHONG, G. F., et al. The mulberry dike-carp pond resource system of the Zhujiang (Pearl River) Delta, People's Republic of China: I. Environmental context and system overview. *Applied Geography*, 1983, 3(1): 45-62. [https://doi.org/10.1016/0143-6228\(83\)90005-X](https://doi.org/10.1016/0143-6228(83)90005-X)
- [15] YEE, W. C. New Developments in integrated dike-pond agriculture-aquaculture in the Zhujiang Delta, China: Ecological implications. *Ambio*, 1999, 28(6): 529-533.
- [16] 钟功甫, 王增骥, 吴厚水. 基塘系统的水陆相互作用[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 32-33.  
ZHONG Gongfu, WANG Zengqi and WU Houshui. Study on the base pond system in the Pearl River Delta. Beijing: Science Press, 1993: 32-33. (in Chinese)
- [17] 钟功甫. 珠江三角洲的“桑基鱼塘”——一个水陆相互作用的人工生态系统[J]. 地理学报, 1980, 35(3): 200-209.  
ZHONG Gongfu. Mulberry dyke-fish-pond on the Zhujiang Delta—A complete artificial ecosystem of land-water interaction. *Acta Geographica Sinica*, 1980, 35(3): 200-209. (in Chinese)
- [18] 刘克华. 珠江三角洲桑基鱼塘景观遗产研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2016.  
LIU, Kehua. Study on the landscape heritage of Mulberry fish pond in the Pearl River Delta. Guangzhou: South China University of Technology, 2016. (in Chinese)
- [19] 刘通, 程炯, 苏少青, 等. 珠江三角洲桑基鱼塘现状及创新发展研究[J]. 生态环境学报, 2017, 26(10): 1814-1820.  
LIU Tong, CHENG Jiong, SU Shaoqing, et al. Current situation and innovative development countermeasures of the mulberry dike-fish pond in the Pearl River Delta. *Ecology and Environmental Sciences*, 2017, 26(10): 1814-1820. (in Chinese)
- [20] 朱政, 郑伯红, 贺清云. 珠三角城市群空间结构及影响研究[J]. 经济地理, 2011, 31(3): 404-408.  
ZHU Zheng, ZHENG Bohong and HE Qingyun. Study on evolution of spatial structure of Pearl River Delta urban agglomeration and its effects. *Economic Geography*, 2011, 31(3): 404-408. (in Chinese)
- [21] SUN, C., ZHONG, K., GE, R., et al. Landscape pattern changes of coastal wetland in Nansha District of Guangzhou City in recent 20 years. *Geo-informatics in resource management and sustainable ecosystem*. Berlin: Springer, 2015: 408-416.
- [22] 陈杰民, 郑国辉. 珠三角某镇农村内河涌污染现状及控制策略[J]. 环境工程, 2016, 34(S1): 262-265.  
CHEN Jiemin, ZHENG Guohui. Inner river pollution status and control strategies in a town in Pearl River Delta. *Environmental Engineering*, 2016, 34(S1): 262-265. (in Chinese)