

重庆市循环农业测度与农业面源 污染负荷的关系

环境工程专业硕士研究生 周丽娟

指导教师 陈玉成（教授）

摘 要

重庆市直辖 10 年来,农业生产有了飞速的发展,农村生活也有了很大的改善,但非持续发展、高消耗的农业生产与生活方式依然广泛存在,由此带来的农业资源环境问题积重难返,其中农业面源污染在相当长的时期内已成为制约农业循环经济发展的重要因素之一。治理农业面源污染,其核心是农业面源污染的区域分异控制,即根据影响农业面源污染的主导因子和区域农业面源污染特征的差异性和相似性对研究区域进行的分区,有重点、有区别地实施农业面源污染控制,提出以循环农业理念控制农村面源污染的新思路。

本文以重庆市 39 个区县(不包括渝中区)为对象,采用调查研究和系统分析的方法,构建重庆市农业面源污染的“压力指标体系”、“响应指标体系”以及循环农业的评价指标体系。在此基础上,采用现代数学方法,解析重庆市农业面源污染负荷,分析重庆市循环农业的区域测度。

通过对循环农业的发展度、协调度、障碍度的分析,提出以循环经济理念控制农村面源污染的新思路,并对循环农业的发展过程、基本理论以及循环农业在农村面源污染控制中的作用进行了规范认识和探讨,进一步研讨了重庆市循环农业测度与农业面源污染负荷的关系。

构建了重庆市循环农业的生产投入指标、资源循环利用指标、经济社会发展指标、生态系统安全指标、环境质量指标等 5 个一级指标及 24 个二级指标体系。在此基础上将重庆市循环农业的发展度、协调度和障碍度进行综合对比分析,发现一小时经济圈的循环农业属于良好型,东北翼、东南翼分别属于中等型和一般型。

重庆市农业面源污染引起的 COD、BOD₅、TN、TP 绝对排放量分别为 60.13 万、29.62 万、16.22 万和 3.29 万 t a⁻¹,相应的等标排放量分别为 3.05 万、7.54 万、16.44 万和 16.71 万 t a⁻¹。农业面源污染负荷已超过城市工业与生活污染负荷。

重庆市因农业面源污染引起 COD、BOD₅、TN、TP 的排放浓度分别是 20.72、10.64、5.58、1.27mg·L⁻¹。TN、TP 均已达到严重污染，BOD₅ 达到轻度污染，COD 显示为临界警戒水平。

重庆市农业面源污染的主要污染物是 TP、TN，贡献率分别为 38.20%和 37.58%；主要污染源是畜禽养殖和化肥施用，贡献率分别为 57.29%和 26.98%；主要影响因子是农业总产值，贡献率达到 99%以上。

基于国土等标排放系数的压力态势和水质指数的响应态势，确定重庆市农业面源污染严重的区域为沙坪坝区、大渡口区、合川区、永川区、荣昌县、铜梁县、璧山县、大足县等。

论文最后指出了今后进一步的研究方向，即结合小流域的定量化研究与模型模拟，进一步优化指标与修正参数，进而提高分析结果的可信程度。

关键词：循环农业；面源污染；污染负荷；测度

Relations of circulation agriculture measure and Non-point source pollution loading in Chongqing

Applicant for master degree: Zhou Li-juan

Supervisor: Prof. Chen Yu-cheng

Abstract

Since Chongqing's directly jurisdiction of the Central Government for 10 years, agricultural production has developed rapidly; rural life has improved a lot also. But the agricultural production and living of non-sustainable development and the high consumption still widely existed, this brought serious agricultural environment problem which was difficult to solve, one of the important factors which restricting development of agriculture circular economic was agricultural non-point source pollution in a relative long time. To control the non-point source pollution of agriculture, exerting different control on different area is the key, scilicet, we should divide the region into different parts according to main factors which influence agricultural Non-point source pollution and otherness and comparability of characteristics of regional agricultural Non-point source pollution. Proposed the new idea, which uses idea of circular agriculture to control agricultural non-point source pollution.

The research which set 39 districts as research units except Yuzhong district in Chongqing has counted and analysed actuality of agricultural Non-point source pollution by establishing index system applying investigation and statistics. To establish "the pressure indicator system", "the response indicator system" of pollutants concentration in Chongqing and the evaluating indicator system of circulation-agriculture. Based on this, parsed the Non-point source pollution load in Chongqing. And analyzed the circulation agriculture measure by the modern mathematics method. Through to analysis discussion the development degree of circulatory-agriculture, The coordinating degree of circulatory-agriculture and The obstacle amounts of circulatory-agriculture in Chongqing, this paper has proposed a new idea of controlling countryside Non-point source pollution with circulatory-agriculture theory. It has also discussed about the development of circular economy, its basic theories and its function in controlling countryside non-point source of pollution. Deliberated the relations of circulation agriculture measure and the Non-point source pollution load in Chongqing.

To establish 6 first-level indexes systems such as the production devotion degree of agriculture, the resource Using degree, the economy economy development degree, the ecosystem security degree, the environment quality degree and so on and 24 second-level indicator systems. Based on this,

Through to analysis discussion the development degree of circulatory-agriculture, The coordinating degree of circulatory-agriculture and The obstacle amounts of circulatory-agriculture in Chongqing, we found that, the circulatory-agriculture of one hour economic cycle is best, the circulatory-agriculture of Northeast wing is middling, the circulatory-agriculture of southeast the wing is commonly .

The amount of COD, BOD₅, TN, TP which are the Agricultural Non-point pollution in Chongqing, respectively, are 601300, 296200, 162200 and 32900 t/a, and the Standards are respectively 30500, 75400, 164400 and 167100t/a. The Agricultural non-point source pollution load has surpassed the urban industry and the domestic pollution load. The main City serious pollution, and the northeast and southeast are middle pollution.

The concentration of COD, BOD₅, TN, and TP are respectively 20.72, 10.64, 5.58, 1.27mg/L in Chongqing. TN, TP has achieved the serious pollution, BOD₅ achieves the middle pollution, COD is demonstrated for the critical security level.

The main agricultural Non-point pollution is TP and TN in Chongqing, the contribution rate, respectively, is 38.20% and 37.58%; the major pollution source is breed aquatics and fertilizer. The contribution rate, respectively, is 57.29% and 26.98%; the main effect factor is the total agricultural output value, and the contribution rate is above 99%.

Based on soil pressure of sign absolute discharge and response of water pollution index , the serious region of the pollutants concentration in Chongqing are Shapingba area, the Dadukou area, the Yongchuan area, Rongchang County, Tongliang County, Bishan County, Dazu County and so on.

Further research direction in future was pointed out at end of the paper, scilicet combining quantitative research of small watershed and model simulation, optimizing index and modifying parameter and then the reliability of analysis results could be improved.

Keywords: Circulatory-agriculture; Non-point source pollution; loading; Measure

独创性声明

学位论文题目：重庆市循环农业测度与农业面源污染负荷的关系

本人提交的学位论文是在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。论文中引用他人已经发表或出版过的研究成果，文中已加了特别标注。对本研究及学位论文撰写曾做出贡献的老师、朋友、同仁在文中作了明确说明并表示衷心感谢。

学位论文作者：周丽娟 签字日期：2008年6月10日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解西南大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权西南大学研究生院（筹）可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后适用本授权书，本论文：不保密，保密期限至 年 月止）。

学位论文作者签名：周丽娟 导师签名：陈玉成

签字日期：2008年6月10日 签字日期：2008年6月10日

保护知识产权声明

本人完全了解西南大学关于对研究生在本校攻读学位期间撰写的论文知识产权保护的规定。本人撰写的论文是在导师具体指导下，并得到相关研究经费支持下完成的。具体数据和研究成果归属于导师和作者本人，知识产权单位属西南大学。本人保证毕业后，以本论文数据和资料发表论文或使用论文工作成果时，署名第一单位仍然为西南大学。

论文作者签名： 周丽娟

日期： 2008年5月25日

第 1 章 文献综述

1.1 农业面源污染的来源及其负荷核算

1.1.1 农业面源污染来源

农业面源污染是指在农业生产活动中,氮素和磷素等营养物质、农药以及其他有机或无机污染物质,通过农田的地表径流和农田渗漏,形成的对水环境的污染,主要包括化肥污染、农药污染、集约化养殖场污染。进入 21 世纪,随着人口的迅速膨胀,经济、物质生活的高速增长,高化肥农药用量的集约化农业的普及,大量的化肥、农药通过雨水冲刷、农田灌溉、土壤渗透等途径进入江、河、湖、库等水域(吕耀,1998),使许多地区的湖泊、河流、近海域都出现了严重的富营养化问题,严重影响了这些地区的水质。在一些发达国家,农业面源污染已经成为水环境污染的主要来源,目前我国正在向这一状况快速发展。我国不但是世界上最大的化肥使用国,也是最大的农药使用国。化肥和农药的大量使用不仅对环境造成损害,而且导致了在食品中的有害残留。解决农业面源污染已成为一个不容忽视的问题。

农业面源污染的主要来源有化学肥料、有机肥、作物秸秆、农田径流、畜禽养殖、水产养殖、生活污水和生活垃圾等。

化学肥料作为植物利用和获取所需营养元素和营养物质的源渠道,是近当代农业挑战古代传统和原始农业的科技进步。据国外测算,现代农业产量至少有 1/4 是靠化肥获得的,在发达国家这一数字甚至可以高达 50%~60%(沈景文,1992)。中国的化肥施用量与发达国家相比并不低,但是效率不高。中国氮肥当季利用率为 30%~35%,磷肥和钾肥分别为 10%~20%和 35%~50%,低于发达国家 15~20 个百分点。中国每年农田氮肥的损失率是 33.3%~73.6%,平均总损失率在 60%左右(张天道,1985)。大量滥施化肥和不合理使用,导致土壤板结、耕地质量变差,肥料的利用率低(张桂兰,等,1999),土壤中的氮、磷等营养元素通过地表径流或淋溶等对地表水和地下水造成污染,是水库、湖泊富营养化的主要污染物,同时造成农产品质量下降。向农田施用未发酵的有机肥或过量使用畜禽粪便,造成大量养分得不到充分利用而从农田流失到水体中,特别是高含量的氮、磷造成水体污染,加剧水体富营养化(宋春萍,等,2008)。

农作物秸秆是农作物生产系统中一项重要的生物资源,同时,也是工、农业再生产的重要的原材料。作为一种资源,秸秆可用作肥料、饲料、燃料及造纸、制碳、建材等的原料。提高农作物秸秆的综合利用效益,有利于提高生态、经济和社会效益,实现农业的可持续发展。据研究,目前我国秸秆资源产量达 $79454.4 \times 10^4 \text{t}$,并每年以 $1251.2 \times 10^4 \text{t}$ 的速度稳步增长,预计到 2010 年我国作物秸秆资源将达到 $87500 \times 10^4 \text{t}$ (钟华平,等,2003)。但由于缺乏能在短时间内大量消耗秸秆的经济实用技术,且产业化水平较低,综合利用水平不高,出路不畅,造成大量秸秆被随意焚烧或废弃,不但浪费了生物资源和能源,而且严重污染了大气和水体,给人民生活 and 交通安全带来重大影响。过剩秸秆正在成为农业生态环境中的面源污染源。

农业耕种带来的扰动活动实际上会增加农田的侵蚀。90%以上的营养物流失与土壤流失有关。水土流失与农业面源污染是密不可分的，由于雨污分流技术水平低，水土流失带来的泥沙本身就是污染物，而且泥沙是有机物、金属、磷酸盐等污染物的主要携带者。水土流失是导致发生面源污染的重要因素。流失的土壤带走了大量的氮磷等营养物质，成为面源污染系统中不容忽视的重要组成部分。

近年来，随着我国养殖业的快速发展，规模化、集约化养殖场和养殖小区不断增加，畜禽的粪便和污水排放量剧增，养殖对农业和农村面源污染问题越来越突出。很多业内人士都认为，畜禽养殖污染防治问题迫在眉睫。根据《中国农业年鉴》2000~2002年各地区牛、猪、羊和家禽产量，以及国家环保总局给出的主要畜禽污染物排泄系数，计算出了华北、东北、华东、中南、西南和西北地区畜禽的排粪量，发现自2000~2002年大部分地区的畜禽排放量呈上升趋势。重庆市2001年畜禽粪便排放总量比2000年增长了26%，据资料显示，种畜禽场由2000年的201个百分点增加到了2002年的918个百分点，增长相当显著（李茂松，等，2004）。

在水产养殖过程中，由于向养殖水体中大量投入饵料、渔用药物等，特别是过量施用或不合理施用时，养殖水体中残饵、排泄物、生物尸体、渔用营养物质和渔药等大量增加，造成氮、磷、渔药以及其它有机或无机物质在超过了水体的净化能力，导致水体环境污染，造成水质恶化（李绪兴，2007）。

农村基础设施落后，普遍缺乏基本的排水和垃圾清运处理系统，随着农村经济的快速发展，农村生活所产生的废水和垃圾量日益增多，与此同时，随着农村生活水平的逐步提高，传统的农业生产中固体废弃物的再利用方式在逐步弱化，大量蔬菜、秸秆等生产垃圾与生活垃圾一起四处堆放，在雨水的冲刷下使大量的渗滤液排入水体。另外，由于中国农村和村镇有沿河沿湖岸堆放垃圾的习惯，这些垃圾在暴雨时会被直接冲入河道，从而形成更直接、危害更大的面源污染。2001年全国秸秆产生量7多亿吨，利用率不足15%，由于综合利用水平低下，剩余秸秆被大量焚烧，其后果不但浪费了生物资源，还造成了严重的空气污染。

中国的生活垃圾数量巨大，3亿城镇人口，每人每天产生1 kg计，9亿农村人口，每人每天产生0.5kg计，每天共产生 75×10^4 t，全国每年合计将产生生活垃圾 27375×10^4 t。生活垃圾利用率极低，大部分都露天在城郊和乡村堆放，这不仅占去了大片的可耕地，还可能传播病毒细菌，其渗滤液污染地表水和地下水，导致生态环境恶化（赵同科，等，2004）。

1.1.2 农业面源污染负荷的核算进展

1.1.2.1 国外农业面源污染负荷的核算进展

国外农业面源污染的研究可以分为几个阶段。国外农业非点源污染研究起步于1960s，首先美、英、日等一些发达国家率先开展，1970s以后在世界各地逐渐受到重视（包锡南，1992；高超，等，1999），1970s初主要是对面源污染特征、影响因素、单场暴雨和长期平均

污染负荷输出方面的研究；1970s 面源污染基础研究地域范围广，类型多样、因素分析和污染物迁移机理研究更加深入；进入 1990s，微生物对面源污染物迁移、转化影响的研究成为新的增长点（杜欢政，等，1996）。

随着点源污染逐步得到控制，面源污染越来越被人们所关注，非点源污染研究成为国际上环境问题研究的活跃领域。美国各州政府认为，面源污染可能是水质下降的主要原因（蒋峰，2006；任勇，2005）。美国在 1987 年的国会上首次把非点源污染控制问题纳入议事日程，但是这个计划尚未被很好执行。自七十年代以来，各国学者对面源污染做了大量的调查研究工作，研究对象有各类地表径流，农药化肥的污染和流失，畜禽粪尿污染和其他农业废弃物等。主要研究内容有污染物的排放系数，流失程度和迁移规律，对水环境的影响程度和综合防污措施（林娅，2006；丙雪琴，2006；王明远，2005）。在研究过程中也提出了众多的识别污染的数学模型，从早期的简单统计模型到当前与 3S 技术相结合的复杂模型，具体有城市暴雨模型、流域模型、农业和农田模型等。在每个模型中一般都包括水文、土壤侵蚀、污染物迁移等子模型，在农田模型中着重研究了氮和磷的流失（王守安，2005；鲍全盛，1995）。

农业面源污染模型分为两个阶段。1972 年以前，人们已经意识到农业面源污染，其中农药对水生生态环境的影响引起了人们的极大重视。但在此之间的农业面源污染研究多局限于现象的因果分析，定量分析寥寥无几。除 Hydrocomp 公司提出了农药输移和径流模型（Browne, et al, 1978）。外，其余大都只是对污染的特征、影响因素、单场暴雨和长期平均污染负荷输出等方面作了初步的认识研究（杨爱玲，等，1999）。土壤侵蚀是非常重要的农业面源污染，虽然在此期间对土壤流失的研究已经非常深入，量化计算已相当成熟，但当时的研究角度不是农业面源污染，当然这方面的研究成果为今后的研究打下了坚实的基础。

1972 年以后，随着美国《水污染控制法修正案》的制定，农业面源污染的研究有了重大的转折和深入发展。20 世纪 70 年代中后期，美国在全国范围内大规模面源污染调查的基础上，对农业面源污染的主控因子和危险区域识别进行了研究。提出了一些农业面源污染的迁移和转换模型，如农业化学品运输模型等。这期间，土壤侵蚀研究的成果--通用土壤流失方程被引入面源污染研究领域，广泛应用于污染负荷的量化计算（Yong, et al; P.L.A.Kinnell,2000; Line, D.E. and Coffey, 1992）。

1980s，农业面源污染研究更加深入，重点放在如何把已有的模型广泛应用于污染的控制和管理上。这一时期提出了很多模型，如农业管理系统中的化学污染物径流负荷和流失模型（Knisel, 1982），农田系统地下水污染负荷效应模拟模型（陈西平，1992），流域非点源污染模拟模型（Beasley, 1982），农业非点源污染模型，农田尺度的水侵蚀预测预报模型（Lane, L.J., et al, , 1989）等。这些模型广泛应用于农业面源污染负荷的定量计算，污染控制措施效果评价及制定污染的管理政策措施上。

1990s，3S 技术在农业面源污染研究中的应用得到进一步的加强，航空摄影和 GIS 技术与农业面源污染的模型进行了集成，在农业面源污染演化的动态追踪，突发事件的监控，污

染危险区域的识别及地表水监测网的设计上得到广泛的应用(张健, 1995; 王昕皓, 1985; 陈一兵, 等: 1997)。通过地理信息软件, 进行农业面源污染的空间分析, 能更精确的描述农业面源污染的空间变化。3S 技术可以为农业面源污染的研究提供准确、可靠和丰富的背景资料, 提高了研究上作的效率和精度, 并能动态的更新数据。

近年来, 对面源污染物的迁移转化及其机理的研究更趋深入, 集成化面源污染模型软件成为未来面源污染模型和计算机开发的主流; 利用生物技术, 培育高产、抗病作物, 以及具有特殊降解、可净化污水的植物, 将在流域面源污染控制和治理中发挥重要作用。

1.1.2.2 国内农业面源污染负荷的核算进展

我国的农业面源污染研究始于 1980s 的湖泊、水库富营养化调查和河流水质规划研究。先后在天津于桥、滇池、太湖、鄱阳湖、巢湖、镜泊湖、西湖、三峡库区等湖泊, 以及沱江内江段、晋江流域、北江径水流域、淮河淮南段、黄河兰州段、渭河宝鸡段、辽河铁岭段进行了探索性的研究, 积累了一定的经验(董亮, 2001)。

从 1980~1990 年, 我国农村的非点源污染研究仅是农业面源的宏观特征与污染负荷定量计算模型的初步研究(鲍全盛, 等, 1995)。基于接纳水体水质分析, 计算汇水区农业面源污染输出量的经验统计模型, 这一时期发展较快并广泛应用。进入 1990s, 我国的农业面源污染研究更加活跃(陈利顶, 2000; 崔丽鹃, 2001)。农药、化肥污染的宏观特征、影响因素研究和黑箱经验统计模式继续在农业面源污染研究中占重要席位。从 1980s 开始, 我国科技人员对面源污染也开展了大量研究工作, 并取得了不少成果。研究内容可归纳为以下几个方面。

第一, 结合防治湖泊等水体的富营养化开展了农业面源污染负荷调查评价, 为综合防治提供科学依据。中科院南京土壤所于 1990 年完成了国家环保局下达的课题, 对太湖流域的农田氮磷径流污染和渗漏污染作了深入研究, 以后有关部门为治理太湖和滇池等湖泊污染进行了更为详细的面源污染调查评价, 内容扩大至畜禽粪尿和生活污染源。

第二, 进行流域或区域的面源污染负荷调查评价, 以明确防治面源污染在调查区水环境综合防治中地位, 并采取相应的防治对策。此类工作有的是单项调查, 例如城市和流域的降雨径流污染, 也有的是综合性的, 调查内容包括地表径流, 化肥, 农药, 畜禽粪尿, 农田渗漏和精养鱼塘等。

第三, 进行农田氮磷流失的专项研究。农学家往往多从提高化肥利用率的角度出发开展研究, 而目前农学家与环保工作者联合, 研究目的扩展至减少化肥对水环境的污染, 通过田间和实验室模拟试验研究氮磷在不同农业条件下的径流流失和淋渗流失, 尤以氮的流失研究为多。上述研究表明: 农田 N 流失大于磷的流失; 旱地氮的流失以硝酸盐为主, 水田氮素的渗漏流失和径流流失比较复杂: 氮的流失与氮肥用量和种类、土壤质地、降雨和排灌等因素有关; 农田氮素流失是水质氮污染的重要污染源。

第四, 进行农药污染的专题研究。此类研究偏重于农药对农作物、土壤的污染, 以及农

药对环境生物和人体健康的危害,而有关农药对水环境污染的研究报导国内较少。此外,在引用国外现有技术的基础上,对面源污染的研究方法和数学模型也开展了不少工作,并开始采用遥感、地理信息系统和地球定位系统等新技术(邓红兵,等,2001;顾丁锡,1988;郭中伟,等,1999;何萍,等,1999;贺缠生,等,1998)。

我国的面源污染研究内容涉及面源污染负荷评价、模型介绍及模型与GIS技术结合等。虽然我国的农业面源污染负荷核算模型有了一定的发展,但与国外发达国家相比,却有较大的差距。对于面源污染控制,我国基本上停留在对污染源的调查研究上,且参与人员较少,研究存在阶段性和孤立性的缺点,还没有形成体系,更未延展深入到对相关管理和政策保障体系的研究,尚未制定出操作性和实用性强的技术与政策。

就研究方法而言,我国对面源污染的研究方法基本采用以剖析土地利用方式与污染负荷之间的内在联系为出发点,主要采用径流实验法,监测降雨径流的水质、水量,确定污染物单位负荷量,从而估计面源污染发生负荷量。

对于面源污染的控制管理,目前我国已经在开展生态示范区建设的指标体系中,确定了11项有关面源污染的指标;采用的经济手段包括开始或正在考虑对农用化肥和杀虫剂征税,但较少运用环境经济方法;制定了部分面源污染防治的限制性法规,如农药、化肥施用的技术规范等。

总的来讲,我国农村非点源污染研究还主要侧重于对河流、湖泊、水库等地表水的污染研究,而对地下水的污染研究相对较少(黄杏元,1998;林昭远,2001;董凤丽,2004)。

1.1.3 重庆市农业面源污染负荷的核算进展

在宏观方面,重庆市开展了农业生态环境监测,全面启动了重庆市农业面源污染基础信息的收集与整理,定期对全市主要农产品中的重金属、农药残留进行了监测。对无公害蔬菜基地、粮食基地、畜产品基地、水产品基地、基本农田等进行了监测与评价。编制了三峡库区农业面源污染防治工程规划,根据三峡库区农业面源污染现状,分析了面源污染成因,结合库区的实际,按照点面结合、循序渐进的原则,编制了《三峡库区农业面源污染防治工程规划》,从生活污染、种植污染、养殖污染、径流污染以及全程控制等方面,提出了乡村清洁工程建设、合理布局养殖规模、粪污综合治理、消减农用化学品的使用等11项工程措施,分三期实施重点工程项目建设。开展了高效生态农业建设试点工作,在万州、云阳、开县、巫山、石柱5个区县开展了高效生态农业建设试点工作,按照整体、协调、循环、再生的原则,因地制宜地实施了稻田、旱地、林地、水面、庭院五大生态建设,采取了工程、生物、农艺三大技术措施,推行了多种生态模式,为防治农业面源污染,治理农业面源污染积累了经验。

在微观方面,随着农业面源污染的日益严重,人们对农业面源污染也越来越重视,近几年关于农业面源污染的相关研究也开始多起来。在农业部和重庆市农业局的支持下,重庆市农业环境保护监测站开展了农业面源污染监测技术研究,初步探索了以暴雨径流监测技术为

重点的农业面源污染监测技术(刘光德,等)。在市科委的支持下,西南大学开展了三峡库区农业面源污染控制战略决策及关键技术研究,建立三峡库区污染源数据库,面源污染计算数学模型(余炜敏,2005)。此外还有更多单位都开展了农业面源污染的研究(周国梅,云桂香,1996;宁丰收,等,2004)。

1.2 循环农业测度分析

1.2.1 循环农业的概念

宣亚南(2005)等认为循环农业是“尊重生态系统和经济活动系统的基本规律,以经济效益为驱动力,以绿色GDP核算体系和可持续协调发展评估体系为导向,按照3R原则,通过优化农业产品生产至消费整个产业链的结构,实现物质的多级循环使用和产业活动对环境的有害因子零(最小)排放或零(最小)干扰的一种农业生产经营模式”。而且进一步提出“循环型农业”的实质就是要以环境友好的方式利用自然资源和环境容量,实现农业经济活动的生态化。这不仅要求农业与工业和三产形成基于全社会的大循环,更要把农业关联产业经济活动组织成为“自然资源—产品或产成品—废弃物—再生资源”的闭环式流程,使农业产业链活动对自然环境的有害影响减少到最低程度。

楚永生(2005)等更具体地指出,循环农业的基本内涵包括以下五个方面:生态化、科技化、产业化、精确化和循环化。认为循环农业不仅要追求农业生产体系内部的物质能量闭路循环,而且涉及到经济、社会、生态三个方面的统一,最终追求的是融入社会层面上的“大尺度循环”,实现工业、农业、生态之间共同发展和交叉利用。

循环农业是一种全新的理念和策略,是针对人口、资源、环境相互协调发展的农业经济增长新方式,其核心是运用可持续发展思想、循环经济理论与产业链延伸理念,通过农业技术创新,调整和优化农业生态系统内部结构及产业结构,延长产业链条,提高农业系统物质能量的多级循环利用,最大程度地利用农业生物质能资源,利用生产中每一个物质环节,倡导清洁生产和节约消费,严格控制外部有害物质的投入和农业废弃物的产生,最大程度地减轻环境污染和生态破坏,同时实现农业生产各个环节的价值增值和生活环境优美,使农业生产和生活真正纳入到农业生态系统循环中,实现生态的良性循环与农村建设的和谐发展。

因此,循环农业的最主要本质特征是产业链的延伸和资源节约。循环农业产业链条是由种植业、林业、渔业、畜牧业及其延伸的农产品生产加工业、农产品贸易与服务业、农产品消费领域之间,通过废弃物交换、循环利用,要素耦合和产业连接等方式形成呈网状的相互依存、密切联系、协同作用的农业产业化网络体系,各产业之间通过中间产品和废弃物的相互交换而互相衔接,从而形成一个比较完整和闭合的产业网络,其资源得到最佳配置,废弃物得到有效利用,环境影响减少到最低水平(尹昌斌,等,2006年)。

1.2.2 循环农业的评价进展

日本宫崎县菱镇是发展循环型农业较早、并且较成功的地区。1998年7月该镇首次发起并通过了《发展自然农业条例》，镇政府规定禁止使用农药、化肥和其他所有的非有机肥料。从而有效地阻断了毒素向粮食传播的途径，保证了农业发展的安全性和长期性。菱镇所有的有机农产品在销售前都要根据《发展自然农业条例》来划分等级，在给每一种农产品定出等级前，管理委员会的委员们要亲自去视察农产品和产出农产品的农田（王军，等，2005）。

循环经济既是一种状态，又是一种发展过程。循环经济包括丰富的内涵，是一个多维的变化过程。就一个单位或区域而言，如何监测循环经济发展程度这就涉及到循环经济的评价问题。循环经济评价的核心问题是评价指标体系的建立，国内在这方面研究较多，主要集中在确定评价指标体系的基本原则和具体指标设计两个方面（陈德全，等，2006；王舒，等，2006）。国家统计局“循环经济评价指标体系”课题组在分析循环经济的基本特征基础上，提出以狭义循环经济理论为基础，从宏观层面建立循环经济评价指标体系，其总体目标是：按照循环经济的基本特征和国家宏观经济管理的要求，充分利用现有的数据信息基础，在宏观层面建立一套科学的、具有可操作性的循环评价指标体系，为发展循环经济提供优质服务（李德水，等，2006）。构造循环经济评价指标体系需要把握好以下几点：一是体现循环经济的基本特征，依据经济活动和资源环境之间的相互关系，以设置相对比较指标为主；二是以宏观综合指标为基础，同时考虑产业、产品、资源种类等微观层面的分类指标，体现宏观与微观的衔接；三是设置指标时，体现调整产业结构对发展循环经济的影响；四是反映综合水平的指标与反映不同环节和过程的分类指标相结合，全面评价循环经济的成果及为此做出的努力；五是在强调指标体系科学性的同时，注重数据资料的可获得性和可操作性，还要考虑现实工作需要的紧迫程度，使循环经济评价指标体系符合我国国情，以适应发展循环经济的需要。根据循环经济“减量化、再利用、资源化”的三个基本原则和运行过程，结合现有的统计指标和数据资料情况，提出循环经济评价指标体系的基本框架由资源利用效率指标、资源消耗率指标、资源回收与循环利用率指标、废弃物排放与处置指标和其他指标五大部分构成。

2006年，中央一号文件强调指出，推进现代农业建设，强化社会主义新农村建设的产业支撑，必须加快发展循环农业。更多的学者加入了循环农业的研究行列，研究的一个显著特点是将循环农业发展与新农村建设紧密联系起来。如黄山美（2006）对循环农业的概念作了简要阐述，提出循环农业是指运用生态学、生态经济学、生态技术原理及其基本规律作为指导的农业经济形式，通过建立农业经济增长与生态系统环境质量改善的动态均衡机制，实现农业经济活动与生态系统的各种资源要素之间协调、共生的新型农业生产模式，并进一步探悉了我国发展循环农业的生产模式。

同时，国内学者对循环农业的研究开始侧重其经济分析与评价方面。如王军（2006）等用经济增长理论和投入最优模型以及状态最佳指标，对循环农业的机制最优理论进行了理

论探讨,在要素投入、状态运行和效果方面构建模式提出构想。李茜(2006)对循环农业与传统经济系统和环境经济系统以及循环农业经济行为进行分析,并提出发展循环农业的环境经济政策。陈诗波(2006)等从社会、经济、生态整体协调发展的角度,对我国循环农业评价指标体系的构建进行了初步探讨,并就现状进行了深入的剖析,提出了我国发展循环农业的对策和建议。欧阳丽伟等(2006)认为,要建立有效的循环经济评价指标体系,就要对循环经济的内涵和衡量标准有个正确的认识。当前我国经济发展阶段和循环经济的要达到的首要目的是提高资源利用率,缓解经济高速增长和原材料、能源供应不足之间的矛盾。牛桂敏(2004)提出的循环经济评价指标体系包括3个层次(目标层、准则层、指标层)、6个子模(经济增长指数、科技进步指数、资源消耗指数、废弃物排放指数、资源利用效率指数和资源环境循环利用)36个指标。黄贤金等(2006)提出,循环经济评价指标的选择应考虑6个原则,即“3R”原则、水平指标与速度指标相结合原则、相关性原则、系统性指标与部门指标相结合原则、普遍性与差异性相结合原则、数据可得性原则,据此提出区域循环经济评价的指标体系由产业及社会发展、资源减量化、资源循环利用、污染减排、资源与环境安全五大类30个指标组成。在循环经济综合评价中,指标综合合成一般采用加权平均法,该方法计算灵活,公众比较熟悉,但缺少客观基础。为此,刘华波等(2006)、诸大建等(2006)提出用生态效率进行循环农业评价的方法。生态效率内涵有密切关系的指标构成循环经济的评价指标体系。史宝娟等(2006)提出循环经济能质评价法,为综合指标的合成提供了新的思路。

总之,循环经济的发展在我国的工业体系刚刚起步,在属于薄弱环节的农业领域更是困难重重,目前我国的循环农业实践仅仅处于试验、示范的初级阶段,普及面较小,深度不够,质量不高。而且尚缺乏系统理论指导,整体指导战略和管理未完全转移到企业清洁生产和区域产业联动上来,与循环经济的理念相差较远,促进循环型农业发展的政策不完善,法规建设滞后,可操作性不强;相关技术落后,未形成促进循环型农业发展的科学应用技术和评价指标体系;循环型农业在落后贫穷地区的开展较发达地区困难,要加大实施力度;广大农民监督及参与的意识不强等。但是这并不意味着循环经济在农业上不需要发展,恰恰相反,需要大发展。农业经历了传统农业、现代农业,正在生态农业、有机农业、可持续农业发展,这是国际农业发展的潮流。我国作为农业大国同样需要大力发展以生态农业为基础的循环农业,保护农业生产环境,提高农业经济效益,促进农业的可持续发展(魏丽霞,2007)。但由于我国循环经济评价工作的历史尚短,实践有限,经验缺乏,对循环经济的评价中还存在着不少的问题,主要表现在以下方面:(1)对评价指标和循环经济的关系阐述不够。研究者普遍满足于给出一系列的指标构成指标体系,而对指标与循环经济的内在联系解释得不够充分;(2)缺乏对循环经济的总体判别。循环经济系统是一个复杂的巨系统,因而该系统是多目标性的,目前的对循环经济指标体系研究,都只是给出了循环化经济评价的一系列指标,对于如何科学的将一个多目标评估总额合成一个评估指数的形式,目前尚未进行研究;(3)缺乏对

权重指标的研究。各类指标对循环经济发展的作用和影响程度是不一样的,目前的研究中并没有对指标权重进行研究;(4)缺乏对企业循环经济评价指标体系的研究。企业是经济运行的微观主体之一,即是大部分物质产品的直接提供者,又是绝大多数污染物的直接生产者,企业在循环经济中处于基础地位。因此,对企业循环经济评价指标体系的研究也是很重要的。循环经济包括企业(生产单位)、园区(区域)、社会三个的不同的层次。目前关于循环经济评价指标体系的研究也从从这三个层次上进行。但总体来说,社会层面循环经济评价指标体系的研究比较多,企业层面上的研究得比较少(马其芳等,2006;王莉玮,2005)。

1.2.3 重庆市循环农业研究的进展

重庆农村面积广、农业人口多、贫困面大、移民任务重的基本市情,决定了农业和农村经济在全市经济社会发展中具有特殊的战略地位。农业和农村经济的发展速度和增长质量,直接关系到整个国民经济的发展和现代化建设的进程。农业是国民经济的基础,以农村经济为主体的区县经济是全市经济的根基,没有农业和农村经济的长足发展就不可能有全市经济的振兴,没有现代化的农业就不可能支撑现代化的工业体系,没有近2400万农民的小康就不可能实现全市3100万人民的小康。然而,重庆与其他三个直辖市相比,是循环农业最不发达的直辖市,是中国“三农”问题的典型地区。1997年直辖时,40个区县(市)中,国定贫困县就有12个,省定贫困县9个,贫困人口366.6万人。经济的落后,导致整个重庆农村社会的落后和对资源的不合理利用。然而,农业和农村经济与工业经济、城市经济的关联度越来越大,特别是重庆经济对郊区县域经济的依附值极高,达49%,而京津沪分别为9%、5%、8%。正如科学研究院区域发展研究所所长张乃剑所写《农村包围城市—经营重庆的必然选择》。“重庆直辖”、“西部大开发”、“三峡工程”,重庆以其独特的地理区位优势成为西部发展的旗帜,大城市带大农村格局,百万移民的艰巨任务和三峡的长久未来,是重庆经济发展面临的机遇和挑战。重庆经济的发展,关键是农业对其他产业的支撑水平。同时必须关注影响全国大局的三峡工程,在保护好长江水质的同时,必须尽量减少进入长江的泥沙。根据重庆市水文资料记载,每年通过长江寸滩水文站流入三峡库区的泥沙量为4.49亿t,按三峡水库总库容为397亿 m^3 计算,不到10年,三峡水库就可能被填满(张学良,1998)。因此,建立循环农业,保护好长江沿岸的森林植被,防止水土流失,不仅关系到重庆经济能否实现可持续发展的大局,而且关系到长江三峡能否永续利用的大局。就此,重庆市政府提出重庆发展的四大战略之一就是可持续发展战略,即严格控制人口增长,合理开发利用资源,切实保护耕地、森林植被和水资源,切实保护生态环境,实现农村经济、社会、环境的相互协调发展(付成贵,2004)。

1.3 循环农业与面源污染的关系

1.3.1 循环农业对农业面源污染的影响

要解决好农业面源污染问题，就需要协调好几个要素之间的关系，实现要素间的平衡。防治农业面源污染同样必须确立循环农业的指导思想，使各种要素之间相互协调。因此防治农业面源污染，就必须按照生态经济学原理，遵循自然和经济规律，树立集约、高效、可持续发展的理念，坚持“整体、协调、循环、再生”的原则。应用现代科学技术，建立起一种适应现代化生产方式和生活方式，既具有良好的经济、社会、生态效益，又能合理利用资源的循环农业体系。

1.3.2 农业面源污染对循环农业的影响

农业面源污染控制是循环农业建设源头控制的主要任务。农业面源污染治理是大力开展循环农业中最为棘手的建设内容之一，二者互为因果，互相影响。一方面，农业面源污染直接地影响循环农业建设的成效与成败；另一方面，循环农业建设也直接或间接地影响着农业面源污染治理的彻底性，以及在我国广大农村构建循环型农业，直接关系到我国广大农村区域的可持续、健康和稳定的发展。

第 2 章 引言

2.1 研究目的和意义

重庆市直辖 10 年来,农业生产有了飞速的发展,农村生活也有了很大的改善,但非持续发展、高消耗的农业生产与生活方式依然广泛存在,由此带来的农业资源环境问题积重难返,其中农业面源污染在相当长的时期内已成为制约农业循环经济发展的重要因素之一。发达国家的经验表明,面源污染已成为水环境的首要污染源之一,特别是农业生产与农村生活引起的面源污染,逐渐成为了水体污染的重要因素之一。农业面源污染是指用于发展农业生产的化肥、农药、农膜,以及畜禽粪便、农村居民生活排放的生活垃圾、生活污水、人类尿等随着地表径流、农田排水或农田渗透、淋溶等途径进入水体,对地表水和地下水造成潜在污染的一种污染形式。

在建设社会主义新农村的征途中,重庆市农业发展迎来了很多机遇和挑战。2006 年底,市委、市政府制定了“一圈两翼”区域发展新格局的工作思路。2007 年 3 月,胡锦涛总书记再次为重庆发展“导航定向”,其中最关键、最核心、最现实的是加紧建设城乡统筹发展的直辖市。2007 年 6 月,重庆市作为国家统筹城乡综合配套改革试验区的设立,使城乡统筹这条发展的主线更加明晰。统筹城乡发展,打破城乡二元结构机制,应从深层次解决农村环境污染问题,把农业生产与农村环境、城镇环境与乡村环境统筹考虑,把农村环境保护工作摆上更加重要和突出的位置,促进农业农村持续协调发展。因此,防治农业面源污染,发展循环农业,成为当前农村工作的重要任务之一。

治理农业面源污染,首先必须对农业面源污染进行源解析,核算农业面源污染的“压力负荷”与“响应负荷”,另一方面如何科学、客观、定量地评价循环农业,也是循环农业“从口号走向行动”的关键所在。以重庆市 39 个区县(不包括渝中区)为对象,采用调查研究和系统分析的方法,构建重庆市农业面源污染的“压力指标体系”、“响应指标体系”以及循环农业的评价指标体系。在此基础上,采用现代数学方法,解析重庆市农业面源污染负荷,分析重庆市循环农业的区域测度,为制定重庆市农业面源污染防治和循环农业发展对策与措施提供科学依据。

2.2 研究内容

2.2.1 重庆市循环农业的测度分析

通过文献调查与专家咨询,建立了表征重庆市循环农业的 24 个基本指标,在此基础上建立了衡量循环农业发展测度、循环农业协调测度及循环农业障碍测度,同时对各测度进行了区域分异分析。

2.2.2 重庆市农业面源污染的测度分析

通过文献调查与专家咨询，在区县级尺度上，采用清单分析法，核算化学肥料施用、有机肥施用、农作物秸秆、畜禽养殖、水产养殖、农村生活污水、生活垃圾和地表自然径流等8个来源对农业面源污染物COD、BOD₅、TN、TP的排放负荷；形成重庆市农业面源污染指标体系；运用聚类分析，对农田污染、养殖污染、径流污染和生活污染分别进行区域分异。

2.2.3 重庆市循环农业与农业面源污染的关系

从循环农业指标体系中筛选出农业面源污染的主要影响因子，进行典型相关分析，找出因子的作用方向及作用大小，从而进一步判断主导因子的作用方式。

2.3 研究技术路线

技术路线见图 2-1。

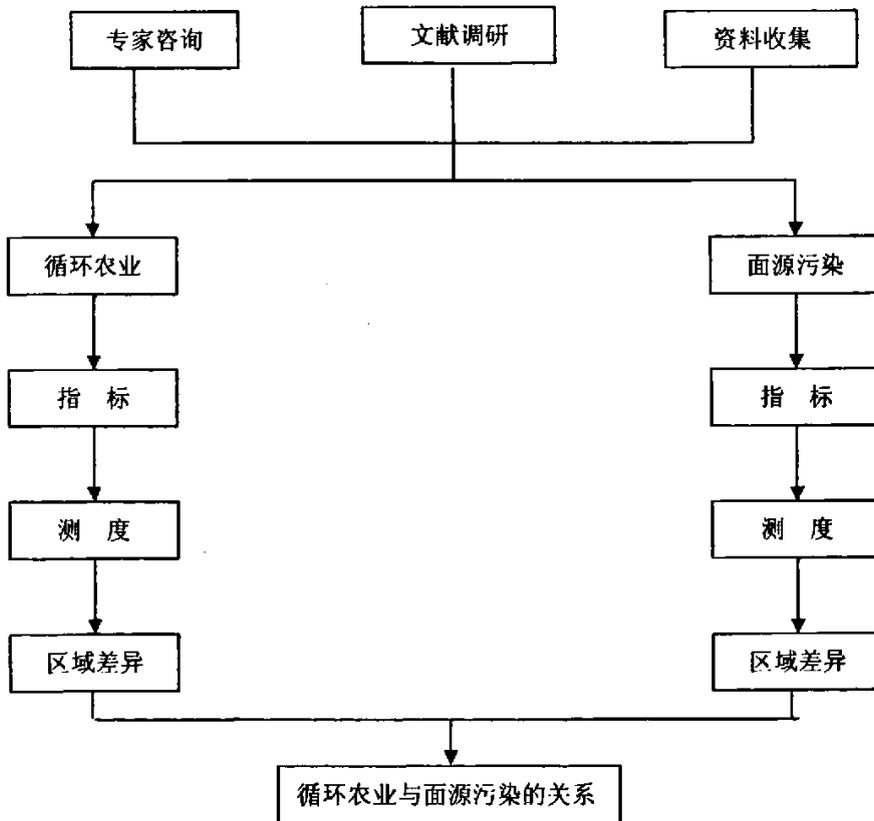


图 2-1. 研究技术路线

Fig. 2-1. The procedure of investigation

第3章 研究方法

3.1 研究区域

由于渝中区不涉及农业生产,所以研究范围界定在除渝中区外的重庆市39个区市(县),以县为单元进行调查。按照重庆市“一圈两翼”发展战略,将39个区县(不含渝中区)分为3个区域,即以主城为核心、以大约1h通经距离为半径范围的城市经济区(“一圈”),建设以万州为中心的三峡库区城镇群和以黔江为中心的渝东南城镇群(“两翼”)。一圈包括大渡口、江北区、沙坪坝、九龙坡、南岸区、北碚区、渝北区、巴南区、涪陵区、万盛区、双桥区、江津区、合川区、永川区、长寿区、南川区、綦江县、潼南县、铜梁县、大足县、荣昌县、璧山县等22个区县,东北翼包括万州区、梁平县、城口县、丰都县、垫江县、忠县、开县、云阳县、奉节县、巫山县、巫溪县等11个区县;东南翼包括黔江区、武隆县、石柱县、秀山县、酉阳县、彭水县等6个区县。各区域的基本信息如表3-1。

表3-1 研究区域的分区及其概况(2006年)

Table 3-1 Survey of studied area (2006)

分区	单元数/个	国土面积/km ²	农村人口/万人	农业产值/亿元	人均农业产值/元·人 ⁻¹
1小时经济圈	22	28640	1597	375.37	2350
渝东北翼	11	34816	903	212.82	2357
渝东南翼	6	19837	284	73.58	2591
合计	39	83293	2784	661.77	2377

3.2 研究时段

资料收集以2005~2007年为主。

3.3 指标体系的建立

3.3.1 重庆市循环农业指标体系

采用专家咨询,筛选、建立体现重庆特征的循环农业指标体系(表3-2)。其中农业生产投入指标是揭示区域农业生产系统投入端的现状,为负向指标。分为化肥投入水平、农药投入水平、农膜投入水平、能耗投入水平、劳力投入水平和土地投入水平。

资源循环利用指标是体现农业生产过程中对于系统内资源循环利用的程度,为正向指标。包括化肥有效利用系数、秸秆综合利用率、耕地复种指数、农户沼气使用率、节水灌溉面积比例、劳动力转移比例。

经济社会发展指标主要用来反映农业循环经济发展过程中实现的社会及经济效益,即系统输出终端的效果。经济社会发展指标包括单位面积农业产值、人均粮食占有量、人均肉禽

蛋奶占有量、单位耕地粮食产出率、单位畜禽产品率、农民人均纯收入。

表 3-2 重庆的循环农业指标体系

Table 3-2 The structure system of circulatory-agriculture in Chongqing

一级指标	二级指标	三级指标		指标释义	指标性质	
		指标名称	单位			
系统输入 A	农业生产投入	A ₁₁ 化肥投入水平	kg/hm ²	化肥施用折吨量 / 农作物播种面积	负向	
		A ₁₂ 农药投入水平	kg/hm ²	农药施用折吨量 / 农作物播种面积	负向	
		A ₁₃ 农膜投入水平	kg/hm ²	农膜施用量 / 农膜使用面积	负向	
	A ₁	A ₁₄ 能耗投入水平	KW/元	农业能耗总量 / 农业总产值	负向	
		A ₁₅ 劳力投入水平	人/万元	劳动力总人数 / 农业总产值	负向	
		A ₁₆ 土地投入水平	hm ² /万元	国土面积 / 农业总产值	负向	
系统转化 B	资源循环	B ₁₁ 化肥有效利用系数	元/kg	种植业产值 / 化肥施用折吨量	正向	
		B ₁₂ 秸秆综合利用率	%	秸秆综合利用量 / 秸秆产出总量	正向	
	B ₁	B ₁₃ 耕地复种指数	%	农作物播种面积 / 耕地面积	正向	
		B ₁₄ 农户沼气使用率	%	沼气农户 / 总农户	正向	
		B ₁₅ 节水灌溉面积比例	%	节水灌溉面积 / 有效灌溉面积	正向	
		B ₁₆ 劳动力转移比例	%	转移劳动力数 / 劳动力总数	正向	
系统输出 C	经济	C ₁₁ 单位面积农业产值	元/hm ²	农业总产值 / 耕地面积	正向	
		社会发展	C ₁₂ 人均粮食占有量	kg/人	粮食总产量 / 总人口	正向
	C ₁₃ 人均肉禽蛋奶占有量		kg/人	肉禽蛋奶总产量 / 总人口	正向	
	C ₁	C ₁₄ 单位耕地粮食产出率	kg/hm ²	粮食总产量 / 耕地面积	正向	
		C ₁₅ 单位畜禽产品率	元/t	畜牧业产值 / 肉禽蛋奶总产量	正向	
		C ₁₆ 农民人均纯收入	元/人	人均总收入 - 人均总支出	正向	
	生态安全	C ₂	C ₂₁ 人均生态赤字	m ² /人	生态赤字 / 总人口	负向
			C ₂₂ 有效灌溉比例	%	有效灌溉面积 / 耕地面积	正向
		C ₂	C ₂₃ 森林覆盖率	%	林地面积 / 国土面积	正向
			C ₂₄ 坡耕地比例	%	坡耕地面积 / 耕地面积	负向
			C ₂₅ 水土流失比例	%	水土流失面积 / 国土面积	负向
			C ₂₆ 土壤侵蚀模数			负向
农业环境	C ₃	C ₃₁ 土壤污染指数		土壤重金属平均污染指数	负向	
		C ₃₂ 水体污染指数		农业面源平均污染指数	负向	
	C ₃	C ₃₃ 大气污染物排放密度	kg/hm ²	主要大气污染物量 / 国土面积	负向	
		C ₃₄ 畜禽粪便承载系数	%	实际消纳地面积 / 需要消纳面积	负向	
		C ₃₅ 农村饮水安全率	%	饮水达标人口 / 农村总人口	正向	
		C ₃₆ 优质农产品比例	%	优质农产品种植面积 / 耕地面积	正向	

生态系统安全指标反映农业发展中对于生态环境和资源安全的影响。包括人均生态赤字、有效灌溉比例、森林覆盖率、坡耕地比例、水土流失比例、土壤侵蚀模数。

农业环境质量指标：包括土壤污染指数、水体污染指数、大气污染物排放密度、畜禽粪便承载系数、农村饮水安全率、优质农产品比例。

3.3.2 重庆市农业面源污染指标体系

农业面源污染的发生途径与影响因素众多，根据农业面源污染评价的目标与要求，结合指标设置的一般原则，从重庆市的实际情况出发，充分借鉴现有国内外的研究成果，在专家咨询的基础上，筛选既便于实际操作，又能充分体现农业面源污染状况的指标，最后形成重庆市农业面源污染的指标体系，为农业面源污染的区划提供依据。

3.3.2.1 压力指标体系

反映可能造成农业面源污染的“压力”，但并没有显露出来，如化肥用量、化肥使用水平等，只是表明化肥对农业面源污染的压力。初步入选指标：化肥使用水平、农药使用水平、农膜使用水平、秸秆排放密度、水土流失强度（侵蚀模数）、畜禽粪便承载强度、生活污水排放密度、生活垃圾排放密度等。

化肥年施用水平：全年单位面积耕地上化肥的施用量（折纯量），其计算公式为化肥年施用量 / 耕地面积， kg/hm^2 。假设各地区化肥利用率一定，化肥年施用水平越高，则认为化肥污染越严重。

农药年施用水平：全年单位面积耕地上农药的施用量（折纯量），其计算公式为农药年施用量 / 耕地面积， kg/hm^2 。假设各地区农药利用率一定，农药年施用水平越高，则认为散落在环境中的农药越多，污染就越严重。

农膜年使用水平：全年单位面积耕地上农膜的使用量，其计算公式为农膜年使用量 / 耕地面积， kg/hm^2 。假设各区域农膜的回收利用率相同，则农膜使用水平越高，残留于环境中的农膜量就越大，污染就越严重。

秸秆密度：单位播种面积上秸秆产生量，其计算公式为秸秆产量 / 作物种植面积， t/hm^2 。秸秆密度越大，其环境污染负荷越大。秸秆产量按下列公式进行推算（李茂松，等，2004）。

$$M_i = \sum_{i=1}^n C_i(X_i + Y_i) \quad (1)$$

式中， M_i —农作物秸秆总产量； i —农作物种类； C_i — i 类农作物的粮食产量； X_i — i 类农作物秸秆产量和粮食产量的比例系数； Y_i — i 类农作物秕壳产量和粮食产量的比例系数。；秸秆利用率—农作物秸秆还田、资源化利用率。利用率越高，囤积于环境中的秸秆就相对较少，污染程度就较为轻微。

畜禽粪便猪粪当量排放密度：单位面积上畜禽粪便猪粪当量排放量，其计算公式为畜禽

粪便猪粪当量排放量 / 国土面积, kg/hm^2 。单位面积排放量越大, 由畜禽粪便排放产生的面源污染负荷越大。

畜禽尿污猪粪当量排放密度: 单位面积上畜禽尿污猪粪当量排放量, 其计算公式为畜禽尿污猪粪当量排放量 / 国土面积, kg/hm^2 。单位面积排放量越大, 由畜禽尿污排放产生的面源污染负荷越大。

畜禽粪尿排放量按公式 (2) 计算。

$$F_i = n_i \cdot d_i \cdot p_i \quad (2)$$

式中, i —畜禽种类; F_i — i 类畜禽年粪尿量, t/a ; n_i — i 类畜禽计算头数, 头、只; d_i — i 类畜禽年饲养天数; p_i — i 类畜禽排放量参数, kg/d ; 猪粪当量按公式 (3) 计算。

$$N = \sum F \cdot K \quad (3)$$

式中, N —各区县畜禽粪便年猪粪当量, t/a ; F —各类畜禽年粪尿量, t/a ; K —各类畜禽粪尿换算成猪粪当量的换算系数。

水土流失面积比: 水土流失面积占国土面积的比例, 计算公式为水土流失总面积 / 国土面积 $\times 100\%$ 。该指标数值越大, 说明区域水土流失面积越大, 越容易产生径流污染。

平均侵蚀模数: 表征一个地区平均水土流失强度, 单位为 $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ 。该值越大, 径流泥沙的流失量越大, 土壤侵蚀越严重, 随之产生的面源污染也就越严重。

生活污水排放密度: 表征一个区域农村生活污水对环境的污染负荷。计算公式为农村生活污水日排放量 / 国土面积, $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{d}$ 。排放密度越大, 由农村生活污水排放产生的面源污染越严重。

生活垃圾排放密度: 表征一个区域农村生活垃圾对环境的污染负荷。计算公式为农村生活垃圾日产生量 / 国土面积, $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{d}$ 。排放密度越大, 由农村生活垃圾排放产生的面源污染越严重。

3.3.2.2 响应指标体系

反映已经显示出来农业面源污染的响应状态, 如化肥造成水体 N、P 的污染负荷水平。初步入选指标: COD、BOD、TN、TP 排放总量及其排放浓度等。

3.4 信息采集

数据来源于2005~2007年重庆统计年鉴、各地市统计年鉴及2002~2006年重庆市环境质量报告。其中, 乡镇河道污染综合指数是根据2002~2006年各区县乡镇河道综合指数和2002~2006年化肥、农药的相应变化趋势推算的; 各区县农业能耗指数根据2006年重庆市农业电耗与农业能耗的比值对2003年各地市的农业电耗进行修正而来。

3.5 数据处理

根据各指标对重庆市循环农业指示方向,将全部15个指标包含分为6个负向指标(取值越大,脆弱程度越低)和9个正向指标(取值越大,脆弱程度越高)。为了消除指标性质和量纲对测度的影响,采用极差法将原始数据全部转换为具有正向作用的衍生数据。

3.5.1 指标的标准化

为使数据之间具有可比性,对原始数据进行标准化处理。具体分为两种类型:一是对农业循环经济发展起正作用的指标,该指标值越大,所反映的循环状况越好;二是对农业循环经济发展起负作用的指标,该指标值越小,越有利于农业循环经济的发展。对这两类指标进行标准化处理的公式如下:

正作用指标:

$$X'_{ij} = X_{ij} / X_i \quad (4)$$

负作用指标:

$$X'_{ij} = X_{ij} / X_j \quad (5)$$

式中, X'_{ij} 为标准化后某一指标的值; X_{ij} 为某一指标的原始值; X_i 为第*i*指标参照。为便于比较分析,以2005年重庆市农业循环经济发展的各项指标值为参照值。

3.5.2 评价分值计算

由于农业生态经济系统的复杂性与层次性,农业循环经济发展评价指标体系中的每一项指标均需从不同层次与侧面反映农业循环发展的状况,通常采用加权函数法进行计算,即:

$$S = \sum_{i=1}^n X_i W_i \quad (6)$$

式中, X_i 为各单项指标的标准化值; W_i 为与各指标相对应的权重; S 为农业循环经济发展评价的综合水平得分。

3.6 聚类分析

根据研究选取的所有评价指标,采用离差平方和距离聚类分析方法,对重庆市39个区县循环农业的发展度、协调度和障碍度以及对化学肥料污染、有机肥污染、作物秸秆污染、农田径流污染、畜禽养殖污染、水产养殖污染、生活污水污染和生活垃圾污染等分别进行区域分异,在此基础上进行区域分异特征的描述。

第4章 结果与分析

4.1 重庆市循环农业的测度分析

重庆市循环农业生产投入指标、资源循环利用指标、经济社会发展指标、生态系统安全指标、环境质量指标数据如表 4-1~表 4-5。

表 4-1 重庆市循环农业生产投入指标

Table 4-1 The production devotion degree of circulatory-agriculture in Chongqing

区县	化肥投入水平	农药投入水平	农膜投入水平	能耗投入水平	劳力投入水平	土地投入水平
	kg/hm ²	kg/hm ²	kg/hm ²	KW/元	人/万元	m ² /万元
	负向	负向	负向	负向	负向	负向
大渡口	1344.33	16.97	322.10	0.50	1.61	4253.72
江北区	1203.98	12.27	252.15	0.59	1.77	6513.53
沙坪坝	598.18	34.88	90.97	4.38	2.12	5916.25
九龙坡	283.72	13.72	178.96	0.14	1.53	5117.36
南岸区	808.67	11.82	419.01	0.15	1.54	6586.96
北碚区	355.48	11.64	218.78	0.41	2.44	7673.91
渝北区	272.40	3.53	71.69	0.03	1.62	8029.81
巴南区	305.42	7.48	237.50	0.04	1.19	6584.76
涪陵区	242.59	9.73	287.51	0.04	1.99	11701.71
万盛区	1272.08	13.90	12.73	0.12	1.71	12074.46
双桥区	415.68	19.00	59.78	0.03	3.14	9265.76
江津区	288.62	7.96	291.23	0.04	1.54	7417.53
合川区	264.89	6.10	49.94	0.02	2.24	6950.29
永川区	794.44	34.30	205.93	0.04	1.67	5855.59
长寿区	407.97	8.77	168.67	0.07	2.05	7056.49
南川区	618.04	6.07	6.83	0.07	1.63	13007.53
兼江县	396.32	7.42	58.29	0.06	1.69	9617.32
潼南县	410.39	5.52	80.39	0.05	2.03	6943.31
铜梁县	478.57	9.74	101.61	0.04	1.93	6575.75
大足县	359.43	16.01	110.23	0.06	1.84	6382.38
荣昌县	699.74	20.58	218.23	0.04	1.79	5250.30
璧山县	211.55	17.26	132.04	0.39	2.26	7452.26
万州区	393.01	10.17	144.64	0.04	2.66	11224.10
丰都县	232.13	3.95	208.64	0.06	2.69	18216.64
忠县	794.98	19.41	163.24	0.05	2.05	9966.69
开县	899.39	16.60	20.34	0.03	2.69	14032.14
云阳县	832.07	18.41	267.79	0.03	2.58	16037.92
奉节县	333.59	11.87	297.17	0.09	1.90	20728.94
巫山县	492.12	3.84	86.81	0.05	2.27	25972.20
巫溪县	909.46	6.90	32.64	0.03	2.75	44499.41
梁平县	513.11	14.72	130.84	0.04	2.50	10256.41
垫江县	498.81	8.32	208.47	0.03	2.50	8312.48
城口县	336.91	2.46	323.35	0.03	2.37	77950.42
黔江区	720.41	18.94	394.38	0.02	2.19	21013.41
武隆县	263.85	3.16	45.54	0.05	2.06	28610.03
石柱县	863.60	14.62	74.63	0.03	2.12	23781.52
秀山县	330.18	16.87	87.35	1.23	2.78	21573.74
酉阳县	466.80	6.98	107.97	0.03	2.94	35434.42
彭水县	568.83	7.64	127.84	0.05	2.61	29101.67

表 4-2 重庆市循环农业资源循环利用指标

Table 4-2 The resource Using degree of circulatory-agriculture in Chongqing

区县	化肥有效利用	秸秆综合	耕地复种	农户沼气	节水灌溉	劳动力转移
	系数元/kg	利用率%	指数%	使用率%	比例%	率%
	正向	正向	正向	正向	正向	正向
大渡口	38.39	0.00	128.65	0.00	14.77	44.36
江北区	34.23	53.80	162.63	0.00	100.00	61.30
沙坪坝	35.02	0.00	108.51	0.00	2.90	48.28
九龙坡	117.20	20.00	122.35	4.93	1.47	47.91
南岸区	73.63	0.00	183.50	0.00	4.21	50.73
北碚区	60.99	69.03	139.56	9.38	6.21	42.13
渝北区	78.51	50.67	169.86	11.01	4.90	62.57
巴南区	88.17	2.10	198.32	6.33	27.21	54.37
涪陵区	53.42	33.19	151.20	11.80	7.16	49.02
万盛区	29.87	42.99	332.96	15.20	35.21	90.68
双桥区	62.76	3.90	204.75	20.16	28.48	52.63
江津区	79.16	60.00	151.90	9.38	2.28	45.18
合川区	63.42	71.72	152.56	7.02	0.66	29.13
永川区	28.97	46.34	156.12	7.30	0.08	53.30
长寿区	50.70	39.99	174.98	35.11	9.00	44.61
南川区	31.39	184.63	165.33	9.27	30.69	69.27
綦江县	44.95	0.00	177.73	7.84	1.32	51.07
潼南县	43.27	75.69	168.99	11.66	3.34	35.95
铜梁县	37.58	31.58	134.18	25.57	1.34	85.31
大足县	50.56	62.96	137.51	6.54	27.95	82.28
荣昌县	51.52	11.89	290.63	14.30	10.30	65.57
璧山县	88.17	28.56	144.37	6.27	29.43	64.99
万州区	47.59	29.17	184.30	9.70	32.36	50.66
丰都县	47.13	114.52	157.37	17.42	1.01	51.40
忠县	21.14	46.93	164.18	3.41	5.56	63.96
开县	33.55	24.93	326.46	8.94	46.27	60.21
云阳县	23.27	77.26	225.06	3.91	3.18	46.86
奉节县	54.33	76.46	233.94	4.20	33.19	65.52
巫山县	36.01	20.59	259.38	8.29	60.68	44.13
巫溪县	17.60	32.26	289.63	6.73	51.27	43.62
梁平县	45.94	84.43	246.01	2.89	1.92	49.15
垫江县	27.28	20.00	119.45	12.11	3.56	51.19
城口县	42.91	49.60	277.41	3.91	3.90	52.11
黔江区	28.62	39.76	321.41	15.99	14.15	46.50
武隆县	32.17	84.21	118.72	14.11	33.18	36.47
石柱县	8.30	43.72	349.55	2.91	11.70	41.42
秀山县	30.86	100.00	161.63	9.93	2.43	41.79
酉阳县	34.54	112.29	280.03	9.21	1.36	42.01
彭水县	26.94	21.58	235.28	8.25	1.72	36.20

表 4-3 重庆市循环农业经济社会发展指标

Table 4-3 The economy economy development degree of circulatory-agriculture in Chongqing

区县	单位面积农业	人均粮食	人均肉禽蛋奶	单位耕地粮食	单位畜禽	农民人均
	产值	占有量	占有量	产出率	产品率	收入
	万元/hm ²	kg/人	kg/人	t/hm ²	元/kg	元/人
	正向	正向	正向	正向	正向	正向
大渡口	9.50	16.24	1.98	1.84	15.76	4790
江北区	7.59	23.51	2.41	3.57	7.69	4728
沙坪坝	3.86	52.52	7.18	2.72	3.85	4796
九龙坡	6.12	43.06	2.06	2.91	16.35	4743
南岸区	10.97	16.39	1.98	2.86	11.76	5004
北碚区	3.99	114.42	4.51	3.16	11.90	3813
渝北区	3.94	212.82	8.39	4.08	9.08	3604
巴南区	4.96	366.72	11.51	5.51	10.64	3607
涪陵区	2.39	339.28	10.04	3.26	9.18	2854
万盛区	7.00	167.77	3.51	6.26	19.79	3268
双桥区	4.80	167.90	3.60	9.31	8.94	3743
江津区	4.21	439.04	9.92	5.41	12.76	3691
合川区	3.09	487.06	9.44	5.65	10.47	3595
永川区	4.24	449.36	13.67	6.53	7.92	3682
长寿区	3.81	389.86	4.18	5.57	23.68	3480
南川区	3.57	554.51	12.73	5.38	10.73	3166
綦江县	3.28	334.26	9.64	4.03	10.47	3419
潼南县	3.27	430.04	7.89	4.38	15.12	3199
铜梁县	3.31	546.10	17.99	5.50	6.79	3715
大足县	3.35	417.44	8.94	4.88	11.87	3529
荣昌县	6.64	389.91	12.77	8.19	9.19	3488
璧山县	3.44	323.32	12.57	4.66	7.04	3752
万州区	3.44	293.66	7.42	4.98	10.15	2739
丰都县	2.01	450.26	12.48	3.67	7.35	2479
忠 县	3.10	447.91	9.98	4.72	10.92	2750
开 县	5.56	430.04	10.32	9.81	8.75	2607
云阳县	3.57	379.48	10.58	6.07	7.82	2337
奉节县	3.34	478.26	9.26	6.95	9.20	2232
巫山县	3.26	420.28	9.29	6.03	9.09	2145
巫溪县	2.95	415.76	9.58	6.01	7.90	2029
梁平县	4.34	504.09	9.16	8.46	10.48	2920
垫江县	2.51	415.54	12.28	4.14	7.60	3099
城口县	2.66	475.92	10.18	5.77	8.00	2075
黔江区	3.80	533.78	9.98	7.81	9.64	2279
武隆县	1.56	410.08	26.25	2.20	4.12	2457
石柱县	4.77	575.48	7.52	9.42	14.41	2457
秀山县	1.88	630.17	9.46	5.21	8.91	2172
酉阳县	2.97	634.08	9.21	7.43	10.21	2031
彭水县	2.82	393.14	10.71	4.48	8.58	2232

表 4-4 重庆市循环农业生态系统安全指标

Table 4-4 The ecosystem security degree of circulatory-agriculture in Chongqing

区县	人均生态赤字	有效灌溉比例	森林覆盖率	坡耕地比例	水土流失比例	土壤侵蚀模数
	m ² /人	%	%	%	%	t/hm ² ·a
	负向	正向	正向	负向	负向	负向
大渡口	1920.91	36.53	18.00	27.84	33.20	3252.23
江北区	1461.60	37.74	19.90	0.35	26.74	2468.17
沙坪坝	4729.48	43.15	20.30	2.86	25.25	1103.97
九龙坡	2402.97	38.62	18.90	1.20	33.15	2600.54
南岸区	1407.46	115.82	15.80	25.10	24.18	2296.57
北碚区	3937.52	42.71	27.40	7.94	31.31	2565.93
渝北区	7303.61	28.03	30.00	17.47	32.60	2648.89
巴南区	11206.71	52.45	25.00	3.54	33.54	3366.84
涪陵区	8965.06	18.55	33.00	6.90	56.43	3156.75
万盛区	3431.04	29.15	44.90	5.72	44.70	1525.65
双桥区	4645.37	35.87	18.20	0.95	24.89	750.00
江津区	11727.04	28.48	27.50	4.45	49.21	2009.92
合川区	11173.92	34.12	27.60	16.81	38.00	3009.69
永川区	16997.43	58.41	24.63	0.78	47.61	1178.10
长寿区	16979.75	46.44	26.30	13.60	32.78	1724.18
南川区	13394.18	38.80	37.40	4.63	46.36	3522.29
綦江县	9844.67	27.89	23.80	16.81	43.83	2882.14
潼南县	10541.36	42.95	23.50	3.67	44.88	1783.67
铜梁县	18066.73	42.81	30.00	3.33	36.18	1431.30
大足县	10583.51	48.92	22.20	2.69	41.52	1552.56
荣昌县	14380.15	64.59	23.50	0.03	43.21	928.84
璧山县	17681.37	49.04	36.10	2.19	46.74	1612.17
万州区	6905.13	23.16	26.90	25.78	57.61	3379.90
丰都县	10715.48	11.61	10.30	10.57	53.02	4526.43
忠 县	9920.85	68.04	28.80	6.50	53.05	3477.91
开 县	9418.51	21.80	30.00	30.41	58.23	5659.03
云阳县	8082.04	19.54	31.00	2.34	57.87	5797.20
奉节县	7412.64	17.18	27.80	10.75	56.05	4526.43
巫山县	5702.46	12.99	29.60	2.22	56.46	3717.26
巫溪县	3258.64	43.80	42.00	0.69	53.96	2675.75
梁平县	11182.37	43.00	25.30	1.02	35.62	3376.83
垫江县	12370.19	21.75	17.30	11.06	37.41	2701.22
城口县	-3332.58	10.52	48.10	33.24	43.93	5510.49
黔江区	8406.04	47.04	31.50	26.46	48.41	4706.24
武隆县	24769.36	16.45	47.00	13.73	56.23	3506.71
石柱县	5859.36	35.43	41.00	0.00	52.51	3589.36
秀山县	9273.08	23.91	49.22	44.84	40.70	5005.42
酉阳县	5753.45	20.96	26.00	2.08	48.68	4690.69
彭水县	5356.63	10.51	38.40	0.00	52.21	4486.24

表 4-5 重庆市循环农业环境质量指标

Table 4-5 The environment quality degree of circulatory-agriculture in Chongqing

区县	土壤污染指		水体污染指		大气污染物排放	畜禽粪便承载	饮水安全达标	优质农产品比例
	数	数	密度	系数	率			
	负向	负向	t/km ²	%	%	%		
大渡口	1.53	6.86	948.03	34.35	81.08	22.99		
江北区	1.94	5.53	33.74	22.51	48.52	31.05		
沙坪坝	1.50	8.21	23.16	21.97	62.53	0.00		
九龙坡	1.74	3.80	381.72	43.81	43.74	26.74		
南岸区	1.35	3.30	34.87	35.66	27.70	44.39		
北碚区	1.54	3.82	11.40	41.65	47.44	19.75		
渝北区	1.32	4.20	7.50	35.49	62.11	75.91		
巴南区	1.82	4.73	5.40	33.96	46.07	53.34		
涪陵区	1.34	2.15	19.29	44.99	48.97	24.41		
万盛区	2.03	2.17	28.99	35.50	94.27	144.94		
双桥区	1.77	5.18	2.29	28.50	61.11	159.98		
江津区	1.64	2.87	56.25	41.66	76.22	49.91		
合川区	1.51	7.26	10.06	10.53	57.20	16.53		
永川区	1.51	8.83	20.18	23.62	64.41	40.23		
长寿区	1.35	4.79	37.11	33.49	58.40	45.65		
南川区	1.83	2.78	31.32	20.32	39.86	38.39		
兼江县	1.27	4.07	11.94	26.36	47.50	10.17		
潼南县	2.11	6.53	2.87	45.45	48.52	13.24		
铜梁县	1.40	9.19	13.61	21.68	31.36	37.99		
大足县	1.52	7.06	14.40	43.16	57.20	45.58		
荣昌县	1.52	7.69	29.14	17.57	63.49	104.34		
璧山县	1.73	6.16	12.88	20.43	56.06	64.62		
万州区	1.06	2.70	3.92	30.31	46.84	63.43		
开县	1.57	3.26	2.76	16.16	49.43	20.87		
忠县	1.04	3.29	4.04	26.53	24.63	34.46		
开县	1.47	2.57	9.51	12.16	57.39	86.90		
云阳县	1.36	3.63	1.39	14.20	45.17	32.20		
奉节县	1.46	1.55	2.31	18.81	34.45	39.30		
巫山县	2.06	0.90	2.10	18.65	28.64	30.50		
巫溪县	1.71	0.69	3.15	15.31	43.49	60.64		
梁平县	1.43	1.75	6.30	20.75	49.88	50.61		
垫江县	1.36	4.02	6.83	34.88	47.47	225.01		
城口县	5.12	0.56	2.04	12.45	10.68	15.73		
黔江区	1.79	1.27	5.83	13.75	33.87	79.64		
武隆县	1.44	1.73	0.57	24.45	44.32	23.25		
石柱县	3.66	2.52	7.53	11.53	44.07	91.30		
秀山县	2.36	2.05	3.05	25.39	38.56	34.15		
酉阳县	2.78	1.35	0.58	10.69	46.83	68.06		
彭水县	2.00	1.13	2.53	13.05	46.17	53.35		

4.1.1 重庆市循环农业的发展测度

从整体发展程度来看(表4-6),全市各二级指标的发展度依次为农业生产投入(0.724) > 农业环境质量(0.608) > 生态系统安全(0.509) > 经济社会发展(0.383) > 资源循环利用(0.298),表明重庆市循环农业基本上体现了农业生产的低投入水平,但在资源循环利用方面仍然大有潜力可挖。

表 4-6 重庆市循环农业的发展度
Table 4-6 The development degree of circulatory-agriculture in Chongqing

	农业生产投入	资源循环利用	经济社会发展	生态系统安全	农业环境质量	总发展度
1小时圈	0.753	0.299	0.398	0.573	0.565	0.518
东北翼	0.687	0.306	0.354	0.419	0.669	0.485
东南翼	0.687	0.280	0.382	0.437	0.669	0.491
全市	0.724	0.298	0.383	0.509	0.608	0.504

在农业生产投入中,以“一小时经济圈”最高(0.753),“两翼”较差(均为0.687),这是因为一小时经济圈的农业集约化程度和生产水平较高,单位耕地或产值的农业消耗相对较低;而两翼地区的农业生产比较粗放,导致农业消耗相对较多。在资源循环利用中,一小时经济圈(0.299)接近全市平均水平,而东北翼(0.306)和东南翼(0.280)则分别高于、低于全市水平,这是因为东北翼主要为三峡库区核心区,随着国内外对三峡库区的关注,其资源循环利用水平有所提高,而东南翼为重庆市主要为少数民族聚集区,经济水平和社会关注程度较低,化肥有效利用系数、秸秆综合利用、耕地复种指数、农户沼气使用率、节水灌溉、劳动力转移等都较低。就经济社会发展而言,一小时经济圈(0.398)和东北翼(0.354)分别高于、低于全市水平,而东南翼(0.382)则和全市水平相当。在生态系统安全中,一小时经济圈明显高于两翼,但在农业环境质量中,则刚好反之,说明一小时经济圈尽管生态脆弱程度要低于两翼,但其环境污染对农业的影响不得不引起足够的重视;而两翼地区虽说环境背景质量较好,具有生产无公害农产品的潜力,但生态安全存在隐患,如水土流失严重,森林覆盖率低下等。

4.1.2 重庆市循环农业的协调测度

协调度反映的是循环农业各指标之间发展平衡、稳定的程度。从整体协调程度来看(表4-7),全市各二级指标的协调度依次为农业生产投入(3.430) > 农业环境质量(1.906) > 生态系统安全(1.878) > 经济社会发展(1.788) > 资源循环利用(1.423),这个次序与前述的发展度完全一致,表明重庆市循环农业基本上体现了发展度与协调度的统一。

表 4-7 重庆市循环农业的协调度
Table 4-7 The coordinating degree of circulatory-agriculture in Chongqing

	农业生产投入	资源循环利用	经济社会发展	生态系统安全	农业环境质量	总协调度
1小时圈	4.011	1.323	2.008	2.189	1.738	2.868
东北翼	2.641	1.866	1.696	1.373	2.089	2.515
东南翼	2.871	1.252	1.205	1.509	2.136	2.728
全市	3.430	1.423	1.788	1.878	1.883	2.779

农业生产投入中,两翼地区的协调度较低,主要体现在能耗投入水平过低(指数分别高达0.995和0.951),而劳力投入水平过大(指数分别只有0.353和0.355),说明两翼地区的农业仍属于劳动密集型。资源循环利用中,一小时经济圈和东南翼的协调度较低。一小时经济圈的化肥有效利用、劳动力转移较好(指数分别为0.442和0.436),但节水灌溉比例状况较差(指数只有0.158),说明农业灌溉水资源浪费较为严重,这对本身就缺水较为严重的渝西地区来说,必须引以为戒;东南翼的耕地复种较好(指数达0.564),但节水灌溉比例和化肥有效利用较差,虽说渝东南片区拥有以乌江为代表的丰富水资源,但季节性缺水、工程性缺水等问题依然存在,超量施用化肥易带来产品质量下降、农业面源污染等一系列问题。两翼地区的经济社会发展和生态系统安全协调程度均低于一小时经济圈,而农业环境质量则相反。尽管两翼地区人均粮食占有量较高(指数分别达到0.667和0.831),但农民人均收入太低(指数分别只有0.156和0.186),扩大农民就业渠道、增加农民收入是解决两翼地区“三农”问题的核心所在。一小时经济圈的农业环境质量中,畜禽粪便承载状况和优质农产品比例令人担忧(指数分别只有0.413和0.225)。

4.1.3 重庆市循环农业的障碍测度

障碍度反映的是各指标因子对循环农业发展的制约程度。从“一圈两翼”总体来看,各区域之间的障碍度并无明显差异,但从各指标来看,障碍程度最高的要数循环农业的转化因子——“资源循环利用”,障碍程度最弱的因子则为循环农业的输入因子——“农业生产投入”,而反映循环农业的输出因子——“经济社会发展”、“生态系统安全”和“农业环境质量”则居其中(表4-8)。

表 4-8 重庆市循环农业的障碍度
Table4-8 The obstacle amounts of circulatory-agriculture in Chongqing

	农业生产投入	资源循环利用	经济社会发展	生态系统安全	农业环境质量	总障碍度
1 小时圈	1.091	3.226	1.915	1.670	2.118	2.004
东北翼	1.228	3.150	1.906	1.982	1.857	2.025
东南翼	1.249	3.221	1.906	2.117	1.816	2.062
全市	1.154	3.203	1.911	1.827	1.998	2.019

在资源循环利用中,一小时经济圈的主要障碍因子是节水灌溉(15.86%)和作物秸秆综合利用率(40.41%);东北翼、东南翼的主要障碍因子是节水灌溉(分别为22.08%和10.76%)和农户沼气使用率(分别为7.41%和10.07%)。因此全市循环农业中,应增加水患意识,发展节水农业。其次是发展以沼气为纽带的生态家园富民工程,提高作物秸秆综合利用率。

4.1.4 重庆市循环农业的区域分异

4.1.4.1 “一圈两翼”区域

由于发展度、协调度是循环农业的正向作用指标,障碍度是负向作用指标,因此将重庆市“一圈两翼”循环农业的发展度、协调度和障碍度进行综合对比分析(图4-1),可以发现一

小时经济圈的循环农业属于良好型，东北翼、东南翼分别属于中等型和一般型。

分析第一类地区循环农业生产投入水平 0.759，资源循环利用水平 0.348，经济社会发展水平 0.428，生态系统安全水平 0.581，农业环境质量水平 0.600，发展度 0.543，协调度 0.678，属于高水平协调发展型。

第二类地区循环农业生产投入水平 0.623，资源循环利用水平 0.209，经济社会发展水平 0.356，生态系统安全水平 0.556，农业环境质量水平 0.539，发展度 0.457，协调度 0.601，属于资源利用制约型。

第三类地区循环农业生产投入水平 0.741，资源循环利用水平 0.293，经济社会发展水平 0.349，生态系统安全水平 0.406，农业环境质量水平 0.668，发展度 0.492，协调度 0.568，属于经济与生态制约型。

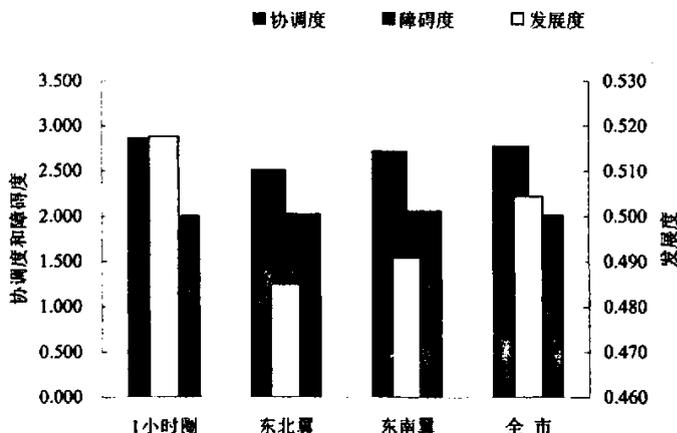


图4-1 重庆市循环农业的区域特征

Figure 4-1 Regional characteristic of circulatory-agriculture in Chongqing

4.1.4.2 聚类分析

更进一步地，采用 Q 型的聚类分析，将全市 39 个区县的循环农业分为 4 种类型(表 4-9)，第一类属于良好型，只有一小时经济圈中的万盛和荣昌两个区县，其发展度、协调度高，障碍度低。这种类型是循环农业的典范，应大力示范与推广。第二类属于中等型，包含南川等 12 个区县；第三类属于一般型包含巴南等 10 个区县，这两种类型的发展度、协调度、障碍度均处于中等或一般水平，在今后的循环农业发展中，应发挥优势因子，克服障碍因子，使用循环农业持续、健康、快速地发展。第四类属于欠缺型，包含渝北等 15 个区县，该类型应在保证协调稳定的基础上，努力克服限制因子的制约作用，使循环农业发展水平有一个新的突破。

表 4-9 重庆市循环农业的聚类分析
Table 4-9 The clustering analysis of circulatory-agriculture in Chongqing

类型	发展度	协调度	障碍度	包含区县
良好型	0.595	4.739	1.738	万盛区、荣昌县
中等型	0.528	3.307	1.950	江北区、长寿区、双桥区、南川区、铜梁县、梁平县、大足县、璧山县、城口县、黔江区、酉阳县、石柱县
一般型	0.498	2.671	2.027	南岸区、巴南区、永川区、江津区、奉节县、巫溪县、忠县、巫山县、开县、云阳县、秀山县
欠缺型	0.477	2.131	2.111	沙坪坝区、九龙坡区、大渡口区、北碚区、渝北区、合川区、涪陵区、潼南县、万州区、垫江县、丰都县、綦江县、武隆县、彭水县、

4.2 重庆市农业面源污染的负荷分析

重庆市农业面源污染化肥污染绝对排放量、有机肥污染排放量、秸秆污染排放量、径流污染排放量、畜禽污染排放量、水产污染排放量、污水排排放量、垃圾排放量情况如下：

表 4-10 重庆市农业面源污染化肥污染绝对排放量(t/a)

Table 4-10 The discharge amount of fertilizer pollution of Agricultural Non-point source pollution in Chongqing					
区县	TN	TP	区县	TN	TP
大渡口	100.30	47.14	荣昌县	1016.16	355.21
江北区	277.93	45.82	璧山县	625.65	31.75
沙坪坝	489.30	159.69	万州区	2194.66	348.74
九龙坡	178.74	39.71	丰都县	1002.27	195.99
南岸区	152.66	45.40	忠县	3636.88	1031.36
北碚区	505.92	61.40	开县	2493.53	457.40
渝北区	761.90	152.39	云阳县	3046.07	839.80
巴南区	1122.30	210.43	奉节县	1567.90	79.73
涪陵区	1331.56	239.54	巫山县	1072.15	194.50
万盛区	398.57	152.63	巫溪县	1343.94	501.48
双桥区	20.95	4.01	梁平县	1254.42	372.10
江津区	1952.27	285.00	垫江县	2336.84	477.94
合川区	2052.27	357.00	城口县	1254.42	372.10
永川区	2176.03	459.91	黔江区	1491.06	204.20
长寿区	1351.29	257.87	武隆县	606.62	191.92
南川区	1873.02	479.20	石柱县	5333.98	1092.40
綦江县	1432.36	553.24	秀山县	960.88	365.99
潼南县	1642.52	440.56	酉阳县	1221.29	502.80
铜梁县	1528.12	320.94	彭水县	1505.97	229.72
大足县	1332.76	361.32			

表 4-11 重庆市农业面源污染有机肥污染排放量(t/a)

Table 4-11 The discharge amount of organic fertilizer pollution of Agricultural Non-point source pollution in Chongqing

区县	COD	BOD ₅	TN	TP
大渡口	110.51	55.26	4.31	1.16
江北区	204.41	102.21	7.97	2.15
沙坪坝	795.17	397.59	31.00	8.37
九龙坡	669.09	334.54	26.08	7.04
南岸区	182.66	91.33	7.12	1.92
北碚区	1166.85	583.42	45.49	12.28
渝北区	2173.06	1086.53	84.71	22.87
巴南区	2652.84	1326.42	103.41	27.91
涪陵区	4993.02	2496.51	194.64	52.54
万盛区	316.77	158.39	12.35	3.33
双桥区	39.85	19.93	1.55	0.42
江津区	4853.07	2426.53	189.18	51.06
合川区	5186.64	2593.32	202.19	54.57
永川区	3004.92	1502.46	117.14	31.62
长寿区	2492.15	1246.08	97.15	26.22
南川区	2649.62	1324.81	103.29	27.88
綦江县	3273.32	1636.66	127.60	34.44
潼南县	3303.66	1651.83	128.78	34.76
铜梁县	2915.46	1457.73	113.65	30.68
大足县	3080.22	1540.11	120.07	32.41
荣昌县	1465.12	732.56	57.11	15.42
璧山县	1686.85	843.43	65.76	17.75
万州区	4232.20	2116.10	164.98	44.53
丰都县	3741.02	1870.51	145.83	39.36
忠 县	3350.28	1675.14	130.60	35.25
开 县	2403.32	1201.66	93.69	25.29
云阳县	3008.05	1504.02	117.26	31.65
奉节县	2795.82	1397.91	108.99	29.42
巫山县	1651.78	825.89	64.39	17.38
巫溪县	1454.23	727.11	56.69	15.30
梁平县	2008.88	1004.44	78.31	21.14
垫江县	3448.58	1724.29	134.43	36.29
城口县	749.31	374.66	29.21	7.88
黔江区	1421.76	710.88	55.42	14.96
武隆县	3070.18	1535.09	119.68	32.30
石柱县	1255.78	627.89	48.95	13.21
秀山县	2864.40	1432.20	111.66	30.14
酉阳县	2326.74	1163.37	90.70	24.48
彭水县	2249.07	1124.54	87.67	23.66

表 4-12 重庆市农业面源污染秸秆污染排放量(V_a)

Table4-12 The discharge amount of crop straw organic pollution of Agricultural Non-point source pollution in Chongqing

区县	COD	BOD ₅	TN	TP
大渡口	33.26	16.63	0.90	0.11
江北区	53.23	26.61	0.76	0.11
沙坪坝	340.09	170.04	5.92	0.80
九龙坡	234.16	117.08	3.34	0.47
南岸区	83.03	41.51	1.06	0.15
北碚区	187.19	93.59	2.78	0.39
渝北区	769.23	384.62	12.65	1.73
巴南区	2308.23	1154.11	40.59	5.45
涪陵区	1781.62	890.81	32.57	4.35
万盛区	190.72	95.36	3.51	0.46
双桥区	54.47	27.23	0.76	0.11
江津区	1647.21	823.61	27.84	3.74
合川区	1418.81	709.41	27.31	3.59
永川区	1605.81	802.91	23.31	3.24
长寿区	1402.21	701.11	22.49	3.08
南川区	0.00	0.00	0.00	0.00
綦江县	2198.42	1099.21	37.89	5.05
潼南县	635.35	317.68	11.01	1.48
铜梁县	1661.92	830.96	28.87	3.83
大足县	861.49	430.74	13.54	1.80
荣昌县	1745.35	872.68	28.62	3.88
璧山县	845.27	422.64	12.36	1.72
万州区	2513.68	1256.84	50.67	6.56
丰都县	0.00	0.00	0.00	0.00
忠县	1529.91	764.96	25.51	3.40
开县	3203.27	1601.64	72.33	9.24
云阳县	743.61	371.81	15.25	1.97
奉节县	893.02	446.51	20.28	2.63
巫山县	1489.85	744.92	37.01	4.70
巫溪县	1125.56	562.78	28.35	3.60
梁平县	439.54	219.77	7.53	1.01
垫江县	1929.16	964.58	27.15	3.83
城口县	414.44	207.22	10.09	1.29
黔江区	1300.59	650.30	26.87	3.50
武隆县	205.85	102.93	4.28	0.56
石柱县	1213.00	606.50	26.28	3.39
秀山县	0.00	0.00	0.00	0.00
酉阳县	0.00	0.00	0.00	0.00
彭水县	1688.10	844.05	39.20	5.09

表 4-13 重庆市农业面源污染径流污染排放量(t/a)

Table 4-13 The discharge amount of runoff pollution of Agricultural Non-point source pollution in Chongqing

区县	COD	BOD ₅	TN	TP
大渡口	83.67	11.16	0.56	0.11
江北区	201.68	26.89	1.34	0.27
沙坪坝	205.63	27.42	1.37	0.27
九龙坡	578.35	77.11	3.86	0.77
南岸区	158.30	21.11	1.06	0.21
北碚区	839.02	111.87	5.59	1.12
渝北区	1996.79	266.24	13.31	2.66
巴南区	1644.56	219.28	10.96	2.19
涪陵区	4951.11	660.15	33.01	6.60
万盛区	574.67	76.62	3.83	0.77
双桥区	20.89	2.78	0.14	0.03
江津区	3286.62	438.22	21.91	4.38
合川区	2686.29	358.17	17.91	3.58
永川区	994.00	132.53	6.63	1.33
长寿区	919.46	122.59	6.13	1.23
南川区	3869.77	515.97	25.80	5.16
綦江县	3244.59	432.61	21.63	4.33
潼南县	1416.74	188.90	9.44	1.89
铜梁县	1160.56	154.74	7.74	1.55
大足县	858.32	114.44	5.72	1.14
荣昌县	940.14	125.35	6.27	1.25
璧山县	608.34	81.11	4.06	0.81
万州区	6807.45	907.66	45.38	9.08
丰都县	4423.72	589.83	29.49	5.90
忠县	3690.01	492.00	24.60	4.92
开县	8686.44	1158.19	57.91	11.58
云阳县	9092.32	1212.31	60.62	12.12
奉节县	8486.74	1131.56	56.58	11.32
巫山县	4700.32	626.71	31.34	6.27
巫溪县	8018.81	1069.17	53.46	10.69
梁平县	1720.89	229.45	11.47	2.29
垫江县	1184.76	157.97	7.90	1.58
城口县	6547.11	872.95	43.65	8.73
黔江区	4930.56	657.41	32.87	6.57
武隆县	5389.90	718.65	35.93	7.19
石柱县	5052.99	673.73	33.69	6.74
秀山县	3563.10	475.08	23.75	4.75
酉阳县	6184.01	824.53	41.23	8.25
彭水县	7680.76	1024.10	51.21	10.24

表 4-14 重庆市农业面源污染畜禽污染排放量(t/a)

区县	COD	BOD ₅	TN	TP
大渡口	361.83	245.08	109.59	22.11
江北区	782.52	524.89	249.11	52.54
沙坪坝	2084.98	1205.43	603.56	216.54
九龙坡	1251.77	809.51	343.21	100.58
南岸区	475.75	319.16	147.93	31.82
北碚区	2294.80	1545.01	665.76	163.23
渝北区	4670.96	3108.30	1411.87	343.31
巴南区	6719.07	4417.44	2057.76	483.89
涪陵区	8778.97	5847.13	2920.74	593.79
万盛区	736.80	491.33	232.11	51.01
双桥区	139.01	92.75	40.87	9.34
江津区	9878.07	6537.01	2983.54	704.08
合川区	21319.70	16847.97	4586.36	1448.98
永川区	9799.92	6310.59	2804.16	784.53
长寿区	6354.11	4257.94	2068.77	427.31
南川区	9164.92	6050.41	3441.11	602.37
黔江县	8774.17	5957.49	3014.16	572.54
潼南县	6682.29	4531.41	2101.47	424.25
铜梁县	8638.82	5517.98	2297.00	771.26
大足县	6162.73	4095.84	1799.05	444.69
荣昌县	7281.09	4793.00	2201.51	520.89
璧山县	5338.55	3569.40	1374.17	480.18
万州区	10238.61	6929.29	3737.18	635.69
丰都县	12195.26	8327.91	5305.60	752.71
忠县	8138.51	5509.56	3135.87	513.17
开县	13429.48	9292.23	4339.74	880.69
云阳县	12958.51	9070.58	4650.09	793.75
奉节县	9875.50	6917.41	3412.23	598.05
巫山县	5873.09	4161.31	1919.63	357.24
巫溪县	5871.83	4200.97	1869.04	367.01
梁平县	7447.37	4864.06	2397.07	535.55
垫江县	7954.51	5294.33	2645.48	539.98
城口县	3373.08	2415.72	1167.79	207.78
黔江区	6807.44	4562.40	2964.97	386.63
武隆县	7550.14	5208.47	3063.65	438.98
石柱县	6280.69	4171.58	3025.75	354.65
秀山县	7300.16	4938.35	3061.61	420.50
酉阳县	11745.27	8110.78	5152.92	668.17
彭水县	9707.97	6554.74	4541.61	542.02

表 4-15 重庆市农业面源污染水产污染排放量(t/a)

Table 4-15 The discharge amount of Aquiculture of Agricultural Non-point source pollution in Chongqing

区县	COD	BOD ₅	区县	TN	TP
大渡口	0.42	0.01	大足县	0.42	0.01
江北区	1.57	0.03	荣昌县	22.01	0.46
沙坪坝	15.82	0.33	璧山县	12.37	0.26
九龙坡	3.67	0.08	万州区	18.13	0.38
南岸区	12.42	0.26	丰都县	31.44	0.66
北碚区	4.40	0.09	忠 县	13.10	0.27
渝北区	16.77	0.35	开 县	16.77	0.35
巴南区	94.06	1.97	云阳县	9.01	0.19
涪陵区	34.06	0.71	奉节县	5.55	0.12
万盛区	0.26	0.01	巫山县	9.96	0.21
双桥区	0.00	0.00	巫溪县	1.68	0.04
江津区	34.06	0.71	梁平县	4.19	0.09
合川区	19.91	0.42	垫江县	12.42	0.26
永川区	24.16	0.51	城口县	4.19	0.09
长寿区	26.72	0.56	黔江区	6.45	0.14
南川区	43.49	0.91	武隆县	26.20	0.55
綦江县	3.67	0.08	石柱县	15.72	0.33
潼南县	12.37	0.26	秀山县	12.16	0.25
铜梁县	57.85	1.21	酉阳县	10.22	0.21

表 4-16 重庆市农业面源污染污水排放量(t/a)

Table 4-16 The discharge amount of sewage of Agricultural Non-point source pollution in Chongqing

区县	COD	BOD ₅	TN	TP
大渡口	126.87	59.96	19.13	1.95
江北区	171.73	81.16	25.90	2.63
沙坪坝	422.39	199.63	63.70	6.48
九龙坡	480.61	227.14	72.48	7.37
南岸区	443.49	209.60	66.88	6.80
北碚区	745.08	352.13	112.36	11.43
渝北区	1152.28	544.59	173.77	17.68
巴南区	1287.84	608.65	194.22	19.76
涪陵区	1899.23	897.61	286.42	29.14
万盛区	314.79	148.78	47.47	4.83
双桥区	50.95	24.08	7.68	0.78
江津区	2649.47	1252.18	399.56	40.64
合川区	2764.69	1306.63	416.94	42.41
永川区	1704.96	805.79	257.12	26.15
长寿区	1469.25	694.39	221.57	22.54
南川区	1257.32	594.23	189.61	19.29
兼江县	1717.56	811.75	259.02	26.35
潼南县	1739.25	822.00	262.29	26.68
铜梁县	1439.79	680.47	217.13	22.09
大足县	1680.93	794.44	253.50	25.79
荣昌县	1399.22	661.29	211.01	21.46
璧山县	1024.22	484.06	154.46	15.71
万州区	2660.97	1257.62	401.30	40.82
丰都县	1473.10	696.21	222.16	22.60
忠 县	3548.89	1677.26	535.20	54.44
开 县	3044.34	1438.80	459.11	46.70
云阳县	2443.24	1154.71	368.46	37.48
奉节县	1937.70	915.79	292.22	29.73
巫山县	1101.38	520.53	166.10	16.90
巫溪县	994.02	469.79	149.91	15.25
梁平县	1696.57	801.82	255.86	26.03
垫江县	1684.08	795.92	253.97	25.83
城口县	1696.57	801.82	255.86	26.03
黔江区	997.24	471.31	150.39	15.30
武隆县	814.52	384.96	122.84	12.50
石柱县	1005.12	475.03	151.58	15.42
秀山县	1239.56	585.83	186.93	19.02
酉阳县	1556.19	735.48	234.69	23.87
彭水县	1291.16	610.23	194.72	19.81

表 4-17 重庆市农业面源污染垃圾排放量(t/a)

Table4-17 The discharge amount of garbage of Agricultural Non-point source pollution in Chongqing

区县	COD	BOD ₅	TN	TP
大渡口	36.12	3.61	0.72	0.14
江北区	48.89	4.89	0.98	0.20
沙坪坝	120.26	12.03	2.41	0.48
九龙坡	136.84	13.68	2.74	0.55
南岸区	126.27	12.63	2.53	0.51
北碚区	212.13	21.21	4.24	0.85
渝北区	328.07	32.81	6.56	1.31
巴南区	366.67	36.67	7.33	1.47
涪陵区	540.74	54.07	10.81	2.16
万盛区	89.63	8.96	1.79	0.36
双桥区	14.51	1.45	0.29	0.06
江津区	754.35	75.43	15.09	3.02
合川区	787.15	78.71	15.74	3.15
永川区	485.43	48.54	9.71	1.94
长寿区	418.32	41.83	8.37	1.67
南川区	357.98	35.80	7.16	1.43
綦江县	489.02	48.90	9.78	1.96
潼南县	495.19	49.52	9.90	1.98
铜梁县	409.93	40.99	8.20	1.64
大足县	478.59	47.86	9.57	1.91
荣昌县	398.38	39.84	7.97	1.59
璧山县	291.61	29.16	5.83	1.17
万州区	757.62	75.76	15.15	3.03
丰都县	419.41	41.94	8.39	1.68
忠 县	1010.42	101.04	20.21	4.04
开 县	866.77	86.68	17.34	3.47
云阳县	695.63	69.56	13.91	2.78
奉节县	551.69	55.17	11.03	2.21
巫山县	313.58	31.36	6.27	1.25
巫溪县	283.01	28.30	5.66	1.13
梁平县	483.04	48.30	9.66	1.93
垫江县	479.48	47.95	9.59	1.92
城口县	483.04	48.30	9.66	1.93
黔江区	283.93	28.39	5.68	1.14
武隆县	231.91	23.19	4.64	0.93
石柱县	286.17	28.62	5.72	1.14
秀山县	352.92	35.29	7.06	1.41
酉阳县	443.07	44.31	8.86	1.77
彭水县	367.61	36.76	7.35	1.47

4.2.1 “压力”负荷分析

4.2.1.1 污染源压力

在确定等标排放量的基础上，分别计算 8 个污染源、4 个污染物的等标污染负荷比及其累计等标负荷比。根据“80%”原则，重庆市 2006 年农业面源污染的主要污染物是 TP、TN，其等标污染负荷比分别为 38.20%、37.58%，主要污染源是畜禽养殖和化肥施用，其等标污染负荷比分别为 57.29%和 26.98%。为了进一步确定这个结论，对污染源和污染物的实物排放量（表 4-18）进行了对应分析。发现主要污染源畜禽养殖提供 COD，而 TN、TP 主要由其它污染源提供（图 4-2）。

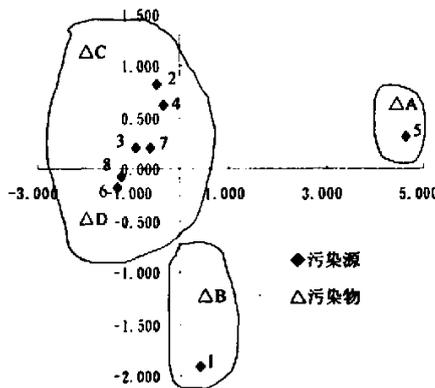


图 4-2 污染源与污染物的对应分析

Fig. 4-2 Corresponding analysis of pollution source & pollutants

表 4-18 污染源和污染物的实物排放量

Table 4-18 The discharge amount of pollution source and pollutants

	污染物负荷 (t/a)			
	COD (A)	BOD ₅ (B)	TN (C)	TP (D)
1.化肥污染	0	0	54645	12518
2.有机肥污染	89247	44623	3479	939
3.秸秆污染	38747	19373	729	96
4.径流污染	127399	16987	849	170
5.畜禽污染	274438	187605	93844	18242
6.水产污染	638	13	0	0
7.污水污染	55127	26054	8314	846
8.垃圾污染	15695	1570	314	63
合计	601291	296225	162174	32874

4.2.1.2 污染物压力

(1) 重庆市农业面源污染实物排放量

通过计算，重庆市 2006 年度农业面源污染排放 COD、BOD₅、TN、TP 的实物总量分别为 60.13 万、29.62 万、16.22 万、3.29 万 t·a⁻¹。以 COD 为例，重庆市农业面源的排放量相当

于工业污染和城市生活污染（分别为 11.73 万、14.67 万 $t a^{-1}$ ）总和的 2 倍左右，说明农业面源污染负荷已超过城市点源污染。从“一圈两翼”的排放结构可以看出（表 4-19），4 种污染物均以外围圈和东北翼排放居多，其次为东南翼，而都市圈最小。这与其国土面积、农业产值及农村人口的分布是相吻合的，因为农业面源污染与这些因子的相关系数都达到了极显著水平。

表 4-19 重庆市农业面源污染实物排放量
Table 4-19 The absolute discharge amount of NPSP in Chongqing

	绝对实物排放量/ $10^4 t a^{-1}$				排放比例/%			
	COD	BOD ₅	TN	TP	COD	BOD ₅	TN	TP
都市圈	42667	21341	10350	2356	7.10	7.20	6.38	7.17
外围圈	217304	116544	55873	12965	36.14	39.34	34.45	39.44
东北翼	232591	108161	61111	11846	38.68	36.51	37.68	36.04
东南翼	108729	50178	34840	5707	18.08	16.94	21.48	17.36
全市	601291	296225	162174	32874	100	100	100	100

(2) 重庆市农业面源污染等标排放量

各污染物的排放标准与危害程度不一，使得无法在同一尺度上进行比较各种污染物的量比关系，为此在解析污染源时引入等标排放量（表 4-20）。重庆市 2006 年农业面源污染的等标排放总量为 43.07 万 $t a^{-1}$ ，其中 COD、BOD₅、TN、TP 的等标排放量分别为 3.01 万、7.41 万、16.22 万和 16.44 万 $t a^{-1}$ ，种植业、养殖业、农村生活、土壤侵蚀等活动的等标排放量分别为 14.90 万、24.58 万、2.36 万、1.23 万 $t a^{-1}$ ，说明重庆市农业面源污染还是由农业生产过程产生的。

表 4-20 重庆市农业面源污染等标排放量
Table 4-20 The absolute discharge amount of NPSP in equivalent standard in Chongqing

排放总量 $t a^{-1}$	污染物等标排放量/ $t a^{-1}$				污染源等标排放量/ $t a^{-1}$				
	COD	BOD ₅	TN	TP	种植业	养殖业	农村生活	土壤侵蚀	
都市圈	29599	2133	5335	10350	11781	10335	16643	2069	552
外围圈	160698	10865	29136	55873	64824	53951	95235	9044	2468
东北翼	159011	11630	27040	61111	59231	56233	87109	9545	6125
东南翼	81355	5436	12545	34840	28534	28501	46725	2958	3171
全市	430664	30065	74056	162174	164369	149021	245712	23617	12315

4.2.2 重庆市农业面源污染的“响应”负荷分析

作为对压力指标的响应，污染物赋存浓度和水质指数实际上表征的是农业面源污染已经显露出来的污染态势。全市因农业面源污染排放 COD、BOD₅、TN、TP 的浓度分别是 20.72、10.64、5.58、1.27 $mg \cdot L^{-1}$ ，4 种污染物均超过地面水环境质量三级标准（表 4-21）。所有污染

物均显示外围圈>都市圈>东北翼>东南翼,说明人口密度越大,经济越发达,面源污染就越严重。

表 4-21 重庆市农业面源污染物浓度与水质指数
Table 4-21 The pollutants concentration and water pollution index

	污染物浓度/mg·L ⁻¹				水质指数				平均指数	综合指数
	COD	BOD ₅	TN	TP	COD	BOD ₅	TN	TP		
都市圈	26.06	13.04	7.01	1.73	1.30	3.26	7.01	8.64	5.05	7.07
外围圈	28.99	15.64	7.54	1.80	1.45	3.91	7.54	9.02	5.48	7.46
东北翼	12.76	6.11	3.52	0.68	0.64	1.53	3.52	3.38	2.27	2.96
东南翼	8.88	4.11	2.85	0.48	0.44	1.03	2.85	2.38	1.67	2.34
全市	20.72	10.64	5.58	1.27	1.04	2.66	5.58	6.33	3.90	5.26

2006年,全市因农业面源污染造成的水质综合指数为5.26,达到严重污染水平。都市圈、外围圈达到严重污染,东北翼、东南翼达到中度污染。TP、TN的水质指数分别为6.33、5.58,均已达到严重污染;BOD₅的水质指数为2.66,达到轻度污染;COD为1.04,显示为临界警戒水平。

4.2.3 重庆市农业面源污染的区域分异

4.2.3.1 “一圈两翼”区域分析

考察“一圈两翼”的等标排放量(表4-22),发现重庆市农业面源污染等标排放总量为43.07万t·a⁻¹,其中COD、BOD₅、TN、TP分别为3.01万t·a⁻¹、7.41万t·a⁻¹、16.22万t·a⁻¹、16.44万t·a⁻¹。从中可以看出,重庆市农业面源的主要污染物是TN、TP,其贡献率分别为37.66%和38.17%;主要的污染区域是一小时经济圈和渝东北翼,其贡献率分别为44.19%和36.92%。

进一步地,等标排放量最大的10个区县依次为合川区、云阳县、开县、忠县、石柱县、酉阳县、万州区、丰都县、永川区、江津区,其中一小时经济圈、渝东北翼、渝东南翼各有3、5、2个区县。

对等标排放量进行聚类,将39个区县分为3种类型。第一类为严重污染型,包括合川区、云阳县等17个区县,其平均等标排放量为16428t·a⁻¹;第二类为中度污染型,包括潼南县、大足县等14个区县,其平均等标排放量为9966t·a⁻¹;第三类为轻度污染型,包括沙坪坝区、北碚区等8个区县,其平均等标排放量为1857t·a⁻¹。

表 4-22 重庆市农业面源污染等标排放量(比)

Table 4-22 The discharge amount (or propitiation) of NPSP in equivalent standard

分区	等标排放量/万 t·a ⁻¹					等标排放量比/%				
	COD	BOD ₅	TN	TP	合计	COD	BOD ₅	TN	TP	合计
1小时圈	1.30	3.45	6.62	7.66	19.03	3.02	8.00	15.38	17.79	44.19
渝东北翼	1.16	2.70	6.11	5.92	15.90	2.70	6.28	14.19	13.75	36.92
渝东南翼	0.54	1.25	3.48	2.85	8.14	1.26	2.91	8.09	6.63	18.89
全市	3.01	7.41	16.22	16.44	43.07	6.98	17.20	37.66	38.17	100

4.2.3.2 聚类分析

为了表示不同防治类型的农业面源污染，在此以作为“压力”态势的等标排放系数与作为“响应”态势的水质指数为指标，对全市 39 个区县进行离差平方和聚类分析，发现重庆市农业面源污染可以分为 4 类（图 4-3、表 4-23），I 类为压力大、响应大型，包括沙坪坝区、合川区、永川区、荣昌县、铜梁县等 5 个区县，其国土面积排放的等标污染量很大，水质污染非常严重，主要分布在 1 小时经济圈，农业面源污染的“防”和“治”任务很重。II 类为压力大、响应小型，包括九龙坡区、南岸区、北碚区、渝北区、万盛区、江津区、涪陵区、南川区、万州区、开县、丰都县、梁平县、黔江区、秀山县、石柱县等 15 个区县，其中 1 小时经济圈、东北翼、东南翼各有 8、4、3 个区县，农业面源污染的控制主要在“防”污染源。III 类为压力小、响应大型，包括大渡口区、江北区、巴南区、双桥区、长寿区、綦江县、潼南县、大足县、璧山县、忠县、云阳县、垫江县等 12 个区县，其中 1 小时经济圈有 9 个，东北翼有 3 个区县，该类型水质污染比较严重，需要花大力气修复被污染的水体。IV 类为压力小、响应小型，包括奉节县、巫山县、巫溪县、城口县、武隆县、酉阳县、彭水县等 7 个区县，均分布在两翼地区，其农业面源污染的防治任务相对较轻。

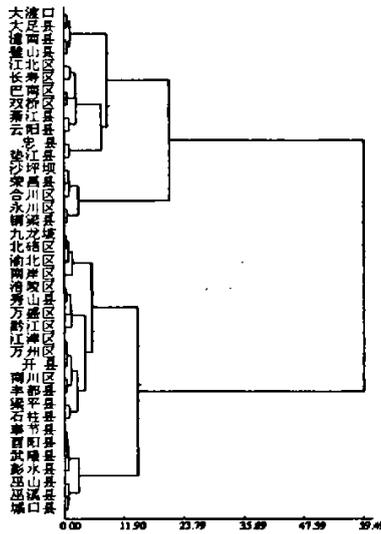


图 4-3 农业面源污染的聚类分析

Fig 4-3 Clustering analysis of NPSP

表 4-23 重庆市农业面源污染的 4 种类型

Table 4-23 Four types of NPSP in Chongqing

类型	特点	等标排放系数 ($t/hm^2 \cdot a$)	水质指数	区县单元数 (个)			
				1 小时经济圈	东北翼	东南翼	合计
I 类	压力大、响应大	9.88	8.23	5	0	0	5
II 类	压力大、响应小	4.84	2.75	8	4	3	15
III 类	压力小、响应大	7.06	5.15	9	3	0	12
IV 类	压力小、响应小	3.09	1.13	0	4	3	7

第一类地区污染源聚类分析化肥污染 1.03, 秸秆污染 0.11, 径流污染 0.06, 养殖污染 1.97, 污水污染 0.23, 垃圾污染 0.02, 平均值 0.57, 属于轻度污染型; 污染物聚类分析 COD1.35, BOD₅ 3.57, TN9.65, TP12.13, 平均值 6.68, 属于严重污染型。

第二类地区污染源聚类分析化肥污染 0.43, 秸秆污染 0.05, 径流污染 0.05, 养殖污染 0.74, 污水污染 0.08, 垃圾污染 0.01, 平均值 0.23, 属于一般污染型; 污染物聚类分析 COD0.65, BOD₅ 1.50, TN4.64, TP4.64, 平均值 2.86, 属于轻度污染型。

第三类地区污染源聚类分析化肥污染 1.68, 秸秆污染 0.20, 径流污染 0.06, 养殖污染 4.36, 污水污染 0.33, 垃圾污染 0.03, 平均值 1.11, 属于严重污染型; 污染物聚类分析 COD0.24, BOD₅ 0.45, TN1.55, TP1.27, 平均值 0.88, 属于一般污染型。

4.3 循环农业对农业面源污染的影响

4.3.1 循环农业因子的筛选

由于影响因子之间存在错综复杂的相互关系, 因此有必要首先剔除存在共线性的因子。在此采用条件值法, 对 24 个影响因子进行筛选, 筛选出 17 个主要影响因子。即首先建立 17 个自变量因子的相关系数矩阵, 然后利用 Jacobi 迭代法计算该矩阵的特征根和特征向量在此基础上计算条件值 k (最大特征根与最小特征根之比), 根据 k 值判断变量之间多重共线性的严重程度。其判断规则为:

$$\begin{cases} k \leq 100, & \text{变量之间没有共线性} \\ 100 < k \leq 1000, & \text{变量之间有较强的共线性} \\ k > 1000, & \text{变量之间有严重的共线性} \end{cases} \quad (7)$$

当因子之间存在共线性关系时, 则剔除最小特征根所对应的特征向量中系数绝对值最大的变量, 然后重复上述步骤, 直至变量之间不存在共线性关系。

依照上述方法, 通过 3 次迭代, 便剔除了畜牧业产值、复种指数等 2 个影响因素。以下统计分析均按保留的 15 个影响因素进行, 它们是国土面积 (x_1)、耕地面积 (x_2)、坡耕地比例 (x_3)、水土流失比例 (x_4)、土壤侵蚀模数 (x_5)、农业总人口 (x_6)、农民人均收入 (x_7)、农业总产值 (x_8)、畜禽粪便承载系数 (x_9)、化肥使用水平 (x_{10})、秸秆利用率 (x_{11})、沼气利用率 (x_{12})、人均生态赤字 (x_{13})、有效灌溉比例 (x_{14})、森林覆盖率 (x_{15})。

4.3.2 典型相关分析

以 COD、BOD₅、TN、TP 的实物排放量为—组变量 (分别记为 y_{11} 、 y_{12} 、 y_{13} 、 y_{14}), 上述 15 个因子为另一组变量, 进行典型相关分析, 发现这 2 组变量的第 1 对典型相关变量达到极显著水平 ($p=0.0001$), 其相关系数为 0.980, 其变量组成为:

$$\begin{cases} u_{11} = 0.923y_{11} - 0.352y_{12} + 0.088y_{13} - 0.127y_{14} \\ v_{11} = 0.795x_1 + 0.162x_2 - 0.017x_3 + 0.026x_4 + 0.186x_5 + 0.299x_6 - 0.230x_7 + 0.278x_8 \\ \quad - 0.153x_9 + 0.074x_{10} - 0.061x_{11} + 0.084x_{12} - 0.197x_{13} - 0.001x_{14} - 0.196x_{15} \end{cases} \quad (8)$$

从中可以发现实物排放量中的主要因子是 COD，其次是 BOD₅；影响因子中的主要因子是国土面积，其次是农业总人口、农民人均收入、农业总产值。说明国土面积主要影响 COD 和 BOD₅ 排放。

同理，以 COD、BOD₅、TN、TP 的排放浓度为 一组变量（分别记为 y_{21} 、 y_{22} 、 y_{23} 、 y_{24} ），仍以 15 个因子为另一组变量，进行典型相关分析，发现它们之间的第 1 对典型相关变量也达到极显著水平 ($p=0.0005$)，其相关系数为 0.895，其变量组成为：

$$\begin{cases} u_{21} = -0.608y_{11} + 0.733y_{12} + 0.301y_{13} + 0.0507y_{14} \\ v_{21} = -0.532x_1 + 0.163x_2 + 0.187x_3 - 0.088x_4 - 0.373x_5 - 0.043x_6 + 0.291x_7 + 0.343x_8 \\ \quad - 0.449x_9 + 0.040x_{10} + 0.092x_{11} - 0.027x_{12} + 0.258x_{13} - 0.096x_{14} - 0.124x_{15} \end{cases} \quad (9)$$

可以发现水质浓度中的主要因子是 BOD₅，其次是 COD；影响因子中的主要因子仍是国土面积，其次是畜禽粪便承载系数、土壤侵蚀模数和农业总产值。说明国土面积也是 BOD₅、COD 排放浓度的主要影响因子。

4.3.3 循环农业因子的作用方向

为了分析回归分析农业面源污染影响因子的作用大小与作用方向，建立预测模型，在此以实物排放量、水质浓度、等标排放量、等标排放系数、水质指数等为因变量，筛选出的 15 个影响因子为自变量，进行多元线性的逐步回归分析，得到的回归模型参数（偏回归系数、决定系数）见（表 4-24）。经过显著性检验，各个回归方程均达到了显著性水平 ($p < 0.05$)。由表可知，影响因变量的自变量因子不尽相同，但实物排放量、水质浓度、等标排放量、等标排放系数、水质指数都与水土流失比例、农业总人口、化肥使用水平、秸秆利用率、有效灌溉比例等 5 个因子关系不大，而与畜禽粪便承载系数关系非常密切。

表 4-24 多元线性回归模型参数

Table 4-24 The parameter of multianalysis linier regression model

	实物排放量 (t/a)				等标排放系数	水质指数
	COD	BOD ₅	TN	TP		
国土面积	3.219	0.854	0.547		-0.000	-0.001
耕地面积	0.068	0.051			0.000	0.000
坡耕地比例	48.530	39.677		7.358		
土壤侵蚀模数			0.509		-0.001	-0.000
农民人均收入				-0.130	0.001	0.001
农业总产值	0.035	0.021	0.010	0.003		
畜禽粪便承载系数	-180.999	-123.913	-36.017	-9.474	-0.098	-0.076
沼气利用率				-12.528		
人均生态赤字			0.136	0.033	0.000	0.000
森林覆盖率	-93.281	-41.951				
常数项	6404.760	3863.914	-462.221	793.931	4.793	1.582
决定系数	0.945	0.913	0.843	0.825	0.680	0.872

COD、BOD₅的实物排放量均受到国土面积、耕地面积、坡耕地比例、农业总产值等因子的促进影响，而受到畜禽粪便承载系数、森林覆盖率的抑制影响；TN受到国土面积、土壤侵蚀模数、农业总产值、人均生态赤字的促进影响，而受到畜禽粪便承载系数的抑制影响；TP受到坡耕地比例、农业总产值、人均生态赤字的促进影响，而受到畜禽粪便承载系数、沼气利用率的抑制影响。

作为农业面源污染“压力”态势的等标排放系数与作为“响应”态势的水质指数均受到耕地面积、农民人均收入等因子的促进影响，均受到国土面积、土壤侵蚀模数、畜禽粪便承载系数的抑制影响。由于国土面积、耕地面积、土壤侵蚀模数在短时期内不会改变，因此要减少农业的面源污染的排放与危害，就必须降低农民人均收入（减少人类干扰强度）、人均生态赤字（提高绿色覆盖率）、增加畜禽粪便承载系数（减少载畜量）等。

4.3.4 循环农业因子的作用大小

为了进一步定量表达各种影响因子的作用大小（即对面源污染的贡献率），对上述偏回归方程进行标准化的基础上，计算了各种因子对农业面源污染的贡献率（表4-25）。影响COD排放的主要因子是国土面积，其次是农业总产值；影响BOD₅排放的主要因子是农业总产值，其次是耕地面积；影响TN排放的主要因子是农业总产值，其次是人均生态赤字、国土面积和土壤侵蚀模数；影响TP排放的主要因子是农业总产值，其次是人均生态赤字。

影响农业面源污染“压力”态势的主要因子是畜禽粪便承载系数、农民人均收入和耕地面积，其贡献率分别为21.29%、19.38%和19.33%。影响农业面源污染“响应”态势的主要因子是农民人均收入、国土面积和畜禽粪便承载系数，其贡献率分别为25.81%、17.56%和16.81%。两者综合来看，主要因子可以确定为畜禽粪便承载系数、农民人均收入和耕地面积，实际上这3个因子分别代表养殖业污染源、生活污染源和种植业污染源。

表4-25 农业面源污染影响因子的贡献率

Table 4-25 The contribution coefficient of factors affecting NPSP

	实物排放量 (t/a)				等标排放系数	水质指数
	COD	BOD ₅	TN	TP		
国土面积	32.83	16.58	20.54		12.30	17.56
耕地面积	15.28	22.06			19.33	15.65
坡耕地比例	4.20	6.54		9.91		
土壤侵蚀模数			19.55		15.25	12.14
农民人均收入				13.25	19.38	25.81
农业总产值	25.82	29.32	27.29	31.84		
畜禽粪便承载系数	15.11	19.70	11.07	12.31	21.29	16.81
沼气利用率				10.67		
人均生态赤字			21.56	22.02	12.45	12.03
森林覆盖率	6.77	5.80				

4.3.5 循环农业因子的作用方式

为了进一步判断主导因子的作用方式，对等标排放系数和水质指数进行了途径分析。对于等标排放系数，其国土面积 (x_1)、耕地面积 (x_2)、土壤侵蚀模数 (x_5)、农民人均收入 (x_7)、畜禽粪便承载系数 (x_9)、人均生态赤字 (x_{13}) 等 6 个因子的直接途径系数分别为 -0.271、0.423、-0.334、0.425、-0.466 和 0.273，而对于水质指数，它们分别变为 -0.355、0.317、-0.246、0.522、-0.340 和 0.243。由此计算出等标排放系数与水质指数的途径贡献系数矩阵分别为：

$$R_1 = \begin{pmatrix} 23.74 & 18.15 & 17.79 & 25.28 & 9.08 & 5.96 \\ 14.62 & 46.60 & 7.47 & 16.98 & 2.84 & 11.50 \\ 14.43 & 7.52 & 29.19 & 24.24 & 19.47 & 5.15 \\ 14.90 & 12.42 & 17.61 & 34.27 & 18.27 & 2.54 \\ 6.56 & 2.55 & 17.35 & 22.41 & 50.75 & 0.38 \\ 10.75 & 25.76 & 11.46 & 7.76 & 0.96 & 43.31 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} 28.08 & 12.28 & 13.81 & 32.82 & 9.06 & 3.95 \\ 20.68 & 37.59 & 5.92 & 22.51 & 2.23 & 11.06 \\ 22.59 & 5.75 & 21.96 & 30.49 & 14.52 & 4.70 \\ 22.19 & 9.04 & 12.61 & 41.00 & 12.96 & 2.20 \\ 14.08 & 2.06 & 13.78 & 29.76 & 39.95 & 0.37 \\ 13.14 & 21.85 & 9.56 & 10.82 & 0.79 & 43.83 \end{pmatrix} \quad (11)$$

由前面分析可知，主导因子可以确定为畜禽粪便承载系数、农民人均收入和耕地面积。在影响等标排放系数的主导因子中，作用方式都是直接作用为主，其直接贡献率分别占该因子总贡献率的 50.75%、34.27% 和 46.60%；在影响水质指数的主导因子中，作用方式也是直接作用为主，其直接贡献率分别占该因子总贡献率的 39.95%、41.00% 和 37.59%。

第5章 结论与建议

5.1 主要研究结论

- (1) 重庆市循环农业按经济地理分类, 一小时经济圈属于良好型, 东北翼、东南翼分别属于中等型和一般型。按照发展度、协调度和障碍度等指标, 将 39 个区县的循环农业特征分为良好、中等、一般和欠缺等 4 种类型。
- (2) 重庆市农业面源污染引起的 COD、BOD₅、TN、TP 绝对排放量分别为 60.13 万、29.62 万、16.22 万和 3.29 万 t a⁻¹, 相应的等标排放量分别为 3.05 万、7.54 万、16.44 万和 16.71 万 t a⁻¹, 农业面源污染负荷已超过城市工业与生活污染负荷。
- (3) 重庆市因农业面源污染引起 COD、BOD₅、TN、TP 的排放浓度分别是 20.72、10.64、5.58、1.27 mg·L⁻¹。TN、TP 均已达到严重污染, BOD₅ 达到轻度污染, COD 显示为临界警戒水平。
- (4) 重庆市农业面源污染的主要污染物是 TP、TN, 贡献率分别为 38.20% 和 37.58%; 主要污染源是畜禽养殖和化肥施用, 贡献率分别为 57.29% 和 26.98%; 主要影响因子是农业总产值, 贡献率达到 99% 以上。
- (5) 基于国土等标排放系数的压力态势和水质指数的响应态势, 确定重庆市农业面源污染严重的区域为沙坪坝区、大渡口区、合川区、永川区、荣昌县、铜梁县、璧山县、大足县等。

5.2 研究存在问题及建议

- (1) 本文只对引起农业面源污染的 8 个主要来源进行了宏观的调查研究和统计分析, 没有进行农业面源污染实地监测。如能结合小流域的定量化研究与模型模拟, 将评价结果、区划结果与模拟结果结合起来加以考虑, 可对评价结果、区划结果作进一步的校正。
- (2) 测度与负荷计算中, 指标的选取是一个非常重要的环节。尽管作者努力包容可能影响测度与负荷的所有指标, 但考虑到可操作性, 在指标选取上还有进一步改进的可能。
- (3) 同样地, 在测度与负荷计算中, 参数的选取也是一个非常重要的环节。本文中所涉及的参数来源为实地调查、资料统计和文献调研, 在以后的研究中, 应尽量增加实地调查和资料统计, 减少文献调研的比例, 可以大幅度地提高计算精度, 从而增加结论的可信性。

参考文献

- [1] Agricultural Management System, Proc13conf. Modeling and Simulation ,1982,4,April
- [2] Beasley, D.B. Applying Distributed Parameter Modeling Techniques to Watershed Hydrology and Non-point Source Pollution. Proc. 13th conf. Modeling and Simulation ,1982,4,April
- [3] Beckman U., Kolbe H., Model A. Ackerbausysteme in Oekologischen Landbau unter besonderer Beruecksichtigung von N-Bilanz und Effizientkennzahlen. *UFZBericht*, 1999, Saechsische Landesanstalt fuer Landschaft, UFZ-Umwelt for schung-szentrum, Leipzig.
- [4] Bedos C. Mass transfer of Pesticides into the atmosphere by volatilization from soils and plants. *Overview Agronomie*. 2002, 22 (1) : 21-33
- [5] Bolinder, M. A., R. R. Simard, S. Beachemin, and K. B.MacDonald. Indicator of risk of water contamination: methodology for the phosphorus component. *Report No.24.Agriculture and Agri-Food Canada*.1998
- [6] Daniel T.C., A. N. Sharpley, and J. L. Lemunyon. Agricultural phosphorus and eutrophication: a symposium overview [J]. *Environ.Qual*, 1998, 27:251-257
- [7] Freedman B. The impacts of pollution and other stresses on ecosystems tructure and function. *San Diego: Academic Press Inc*, 1989
- [8] Gburck.W. J., A. N. Sharpley, A.L.Heathwaite, and G.J.Folmar. Phosphorus management at the watershed scale [J]. *Environ Qual*, 2000, 29:130-144
- [9] Kissel, D. F., O. W. Bidwell, and J. F. Kientz. Leaching classes of Kansas soils. *Kansas State Univ.Agric.Exp.Stn.Bull*. 1982, 641
- [10] Lane, L.J., et al, The Water Erosion Prediction Project: Model Overview. In Proc. Natl. water Conf. ASCE.,1989
- [11] Lemunyon.J.L., and R.G.Gilbert. The concept and need for a phosphorus assessment tool [J] *Prod.Agric.*, 1993, (4) :483-486
- [12] Line D. F., Osmand D. L. *et al*. Non-point sources [J]. *Water Environment Research*, 1994, 66 (4) : 585~601
- [13] Line, D.E. and Coffey, S.W. Targeting Critical Areas With Pollutant Runoff Models and GIS ASAE Paper 922015, Am. Soc. Agri. Eng., St. Joseph. Mich., 1992.
- [14] McFarland.A., L. Hauck, J. White, W.Donham, J.Lemunyon, and S.Jones. Manure management in harmony with the environment and society. *SWCS,Ames,IA*. 1998
- [15] Nixon, S.W.. Remineralization and nutrient cycling in coastal marine ecosystems [J]. InB Neilson and L. E. Cronia (ed.) *Estuaries and nutrients*. Humana Press Clifton NJ

- 1981,111-138
- [16] P.L.A.Kinnell, AGNPS-UM: applying the LISLE-M within the agricultural non point source pollution model, *Environmental modeling&software* 15 (2000) 331-341
- [17] Parry R. Agricultural phosphorus and water quality: a U.S. environmental protection agency perspective [J]. *Environ.Qual*, 1998, 27:258-261
- [18] Ryther.J. H., W.M.Dunstan. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment. *Science (Washington DC)* . 1971, 171:1008-1013
- [19] Saechsische Staatskanzlei: Saechsische Gesetz-und Verordnungsblatt: Verordnung des Saechsischen Staatsministeriums fuer Umwelt und Landwirtschaft ueber Schutzbestiungen und Ausgleichsleistungen fuer erhoelte Aufwendungen der Land-und Forstwirtschaft in wasserschutzgebi eten (SaechsSchAVO) , 2002, Dresden
- [20] Sharpley, A.N. and M. Meyer. Minimizing agricultural nonpoint-source impacts: a symposium overview [J]. *Environ.Qual.*, 1994, 23: 1-3
- [21] Sims, J.T., R.R.Simard,andB.C.Joem. Phosphorus loss in agricultural drainage: historical perspeive and current research [J] *Environ.Qual.*, 1998, 27:277-293
- [22] Yong, R.A. etal. AgNPS: A Nonpoint — Source Pollution Modeling for Evaluation Agricultural Watersheds. *J. of Soil and Water Conservation*,1989, March-April.
- [23] 鲍全盛,王华东,毛显强.我国水环境非点源研究进展污染防治政策目标和技术选择 [J].*环境科学进展*.1995,3 (3) :31~36
- [24] 丙雪琴, 赵树宽.国内循环经济内涵研究述评[J].*生产力研究*, 2006 (4) : 271~273.
- [25] 陈德敏,王文献.循环农业--中国未来农业的发展模式[J].*经济师*.2002 (11) :8~9
- [26] 陈德全, 何云, 梁秋俐.浙江省循环经济发展评价指标体系研究[J].*环境污染与防治*, 2006, 28 (4) : 288-291
- [27] 陈金明, 汪平.关于发展循环经济的思考[J].*自然辩证法研究*, 2006.22 (11) :75~79
- [28] 陈利顶,傅伯杰.农业生态系统管理与面源污染控制[J].*环境科学*.2000, 21 (2) :98~100
- [29] 陈诗波,王超.农业循环经济评价指标体系的构建与现状分析[C].*循环农业与新农村建设*,2006:113-117
- [30] 陈西平.计算降雨及农田径流污染负荷的三峡库区模型.*中国环境科学*.1992, 1
- [31] 陈学进.数据挖掘中聚类分析的研究.*计算机技术与发展*.2006(9)
- [32] 陈一兵,Trouwborst, K.土壤侵蚀建模中 ANSWERS 及地理信息系统 ARC/INFO 的应用研究.*土壤侵蚀与水上保持学报*.3 (2) :1-13
- [33] 陈玉成,吴晓芳,梁菁.我国城市可持续发展能力的评价.*重庆环境科学*.1999,21 (5): 1~4
- [34] 陈忠根,应凤其.农业可持续发展评估.理论、方法与应用. 北京:中国农业出版社.2003

- [35] 楚永生,初丽霞.论循环经济理论对农业发展的适用性及制度构建[J].农业现代化研究,2005,26(3):199~200
- [36] 崔丽鹃.湿地评价[M].科学出版社,2001.
- [37] 戴佩华.循环经济的内涵及评价指标体系研究[J].包装工程.2005,26(6):200-201
- [38] 邓红兵,王青春,王庆礼等.河岸植被缓冲带与河岸管理[J].应用生态学报,2001,12(6):951-954
- [39] 董凤丽.上海市农业面源污染控制的滨岸缓冲带体系初步研究.上海师范大学.硕士学位论文,2~3
- [40] 董亮.GIS支持下西湖流域水环境非点源污染研究(博士论文).浙江大学.2001
- [41] 杜欢政,张旭军.循环经济的理论与实践:近期讨论综述[J].统计研究,2006(2):63~67
- [42] 付成贵.重庆农业可持续发展研究.重庆师范大学.2004(4):8~11
- [43] 付强.数据处理方法及其农业应用.北京:科学出版社,2006,312~320
- [44] 高超,张桃林.欧洲国家控制农业养分污染水环境的管理措施[J].农村生态环境.1999,15(2):50~53
- [45] 顾丁锡,苏金华.湖泊水预测及其防治规划方法[M].中国环境科学出版,1988
- [46] 郭中伟,李典漠.生物多样性经济评价基本途径[J].生物多样性.1999,7(1):60~67
- [47] 何萍,王家骥.面源(NPS)污染控制与管理研究的现状、困境与挑战[J].农业环境保护.1999,18(5):234~237
- [48] 贺缠生,傅博杰,陈利顶.非点源污染的管理及控制[J].环境科学,1998,19(5):87~91
- [49] 黄山美.拓展循环农业模式,建设社会主义新农村[C].循环农业与新农村建设,2006:95-97
- [50] 黄贤金.区域循环经济发展评价[M],北京:社会科学文献出版社,2006.39-47
- [51] 黄杏元,徐寿成.GIS动态缓冲带分析模型及其应用[J].中国图象图形学报.1998,3(10):871~873
- [52] 蒋峰.关于循环经济理论与实践的思考[J].中国劳动关系学院学报,2006,20(6):63~66.
- [53] 李德水.中国循环经济的理论与实践--我国发展循环经济的现状及评价.经济研究参考.2006,(46):2-9
- [54] 李浩,龚海涛.规模化养殖场发展循环经济的实践和探索[J].污染防治技术,2003,(12):64-65
- [55] 李怀恩,沈晋.非点源污染数学模型.西北工业大学出版社.1996
- [56] 李健生.循环经济在养猪业污染及生态修复中的应用[J].环境科学研究,2005,18(6):133~136
- [57] 李茜.循环农业发展与环境经济分析[C].循环农业与新农村建设.2006:102~104
- [58] 李清如.区域循环经济评价指标体系构建研究[J].山东社会科学.2006(8):57-59

- [59] 李武威.循环型社会评价指标体系的构建及测度方法[J].经济论坛,2006,(16): 29-31
- [60] 李绪兴.水产养殖与农业面源污染研究.安徽农学通报. Anhui Agri. Sci. Bull. 2007, 13 (11): 61—67
- [61] 林芳荣,刘晨.面源污染研究的新进展[J].珠江水利水电信息. 1993, (5):1~8
- [62] 林娅,孙文营.循环经济范畴的科学界定[J].河南大学学报: 社会科学版.2006.46 (4):87~91
- [63] 林昭远,陈键鑫,颜正平.集水区农业非点源污染之评估及控制对策[J].水土保持研究.2001,8 (1):7~10
- [64] 刘华波,杨海真,顾国维.基于生态效率建立我国循环经济评价指标体系的思考[J].四川环境,2006 25 (2):78-82
- [65] 吕耀.农业生态系统中氮素造成的非点源污染[J].农业环境保护. 1998, 17(1): 35~39
- [66] 马其芳,黄贤金,张丽君,陈逸.区域农业循环经济发展评价及其障碍度诊断.南京农业大学学报.2006.29 (2):108~114
- [67] 欧阳丽伟,何德文,柴立元,等.循环经济评价指标体系进展研究[J].环境科学与管理, 2006, 31 (3):117-120
- [68] 齐德生.猪场废弃物对附近地面水污染状况的调查研究[J].农业环境保护, 1998, 17 (1):32~33
- [69] 任勇,吴玉萍.中国循环经济内涵及有关理论问题探讨[J].中国人口.资源与环境, 2005, 15(4):131~136
- [70] 史宝娟,赵国杰.基于能值理论的循环经济系统评价方法初探[J].生态经济,2006(4):87-89
- [71] 宋春萍,徐爱国,张维理,李轶.有机肥水溶性磷与易溶性磷的研究.安徽农业科学. 2008,36 (1):242—243,282
- [72] 王军, 赵金龙, 何玲.循环农业最优化机制的经济分析与评价[C].循环农业与新农村建设,2006:72-75
- [73] 王军, 周燕, 徐少才.浅论农业可持续发展的新模式.资源循环型农业[J].环境保护科学.2005,31 (129):38-40
- [74] 王柯,朱荫涓.土壤耕作与农业非点源污染[J].耕作与栽培. 1996, (2):15-17
- [75] 王莉玮.重庆市农业面源污染的区域分异与控制.西南大学硕士学位论文.2005, 4~7, 10~12
- [76] 王明远.“循环经济”概念辨析[J].中国人口.资源与环境.2005 .15(6): 13~18.
- [77] 王守安.循环经济的经济学解释[J].当代经济研究.2005 (4):35~39.
- [78] 王舒,黄贤金,陈逸.区域循环经济发展评价的应用研究—以江苏省为例[J].江西农业大学学报.社会科学版.2006, 5 (1):110-113

- [79] 王昕皓.非点源污染负荷计算的单元破面模型法.中国环境科学.1985年第四期
- [80] 卫云飞.重庆水稻精量节肥防治面源污染高产栽培模式研究.西南农业大学.二〇〇五届硕士学位论文.2005(5):2~3
- [81] 魏丽霞.山东省循环农业发展研究.青岛农业大学.硕士学位论文.2007:1~4
- [82] 西部大开发.2003,张乃剑.农村包围城市—经营重庆的必然选择[J].西部大开发.2003(1)
- [83] 向来生.循环经济的评价体系探讨[J].山东科技大学学报.自然科学版.2005,24(2):14~23
- [84] 徐向阳,刘俊.农业区氮氮流失模型.环境污染与防止.1999,21(4):34-37
- [85] 杨爱玲,朱颜明.地表水环境非点源污染研究.环境科学进展,1999.60-67
- [86] 杨华峰,张华玲.论循环经济评价指标体系的构建[J].科学学与科学技术管理,2005,26(9):123~128
- [87] 尹昌斌,唐华俊,周颖.循环农业内涵.发展途径与政策建议.四川农场.2006(3)
- [88] 于群利.循环经济的内涵及评价指标体系研究[J].酒.饮料技术装备,2006(4):58-59
- [89] 张健.CREAMS模型在计算黄土坡地径流量计侵蚀量中的应用.土壤侵蚀与水土保持学报.1995.(1):54-57
- [90] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等.中国农业面源污染形势估计及控制对策[J],21世纪初期中国农业面源污染的形势估计.中国农业科学.2004,37(7):1008~1017
- [91] 张学良.长江上游地区退耕还林(草)的紧迫性与对策[J].生态经济.2000(1)
- [92] 章波,黄贤金.循环经济发展指标体系研究及实证评价[J].中国人口.资源与环境.2005,15(3):22-25
- [93] 赵同科,张强.农业非点源污染现状、成因及防治对策.全国农业面源污染与综合防治学术研讨会论文集.昆明.2004.北京:中国农学通报.2004,1(11):14~17,95
- [94] 钟太洋,黄贤金,李璐璐等.区域循环经济发展评价、方法、指标体系与实证研究--以江苏省为例,[J].资源科学.2006,28(2):154-162
- [95] 诸大建,邱寿丰.生态效率是循环经济的合适测度[J].中国人口.资源与环境,2006
- [96] 《重庆市情》.2000.中共重庆市委研究室主编.重庆市情[M],重庆出版社,2000.6

致谢

本论文是在导师陈玉成教授悉心指导下完成的，从论文的选题到论文的完成，每一步都浸透着恩师大量的心血。另外，在研究生学习生活中，恩师还给予我孜孜不倦的教诲，无微不至的关怀和照顾，值此论文付梓之际，谨向恩师致以最诚挚的谢意！

在研究生学习及论文研究过程中，得到了环境科学与工程系魏世强研究员、王定勇教授、赵秀兰副教授、张进忠教授、陈宏副教授、李静副教授以及胡必琴、肖广全、杨志敏等老师的热情指导和帮助，谢谢你们！

感谢论文资料收集过程中给予大力支持的重庆市农业环境保护监测站王莉玮师姐和重庆市农业技术推广总站王帅同志的大力帮助。

在论文的完成过程中，还得到了同窗诸大宇，师弟邢贻、朱明航以及环保实验室严平财师傅和其他同学的关心与帮助，在此一并表示感谢！

感谢与我朝夕相处以及所有我没有提及到的曾经帮助过我的人们！

感谢家人的理解、关怀与支持！

再一次向所有给予我指导、帮助、关心和支持的老师、同学、朋友和亲人表示衷心的感谢！

周丽娟

2008年5月于重庆北碚

发表文章

周丽娟.我国西南地区循环农业的发展模式[J]. 农业环境与发展. 2008 (2), 94~97