

STABILITY OF MEDICAL
WASTE RECOVERY NETWORK BASED ON
INDUSTRIAL SYMBIOSIS

产业共生的医疗废弃物回收 网络稳定性研究

聂丽◎著

非外借



中国经济出版社

CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

产业共生的医疗废弃物回收网络稳定性研究

聂丽 著

 中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

产业共生的医疗废弃物回收网络稳定性研究 / 聂丽著.

—北京: 中国经济出版社, 2018. 12

ISBN 978 - 7 - 5136 - 5332 - 9

I. ①产… II. ①聂… III. ①医用废弃物—废物管理—研究 IV. ①X799.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 197644 号

责任编辑 严 莉

责任印制 马小宾

封面设计 任燕飞

出版发行 中国经济出版社

印 刷 者 北京建宏印刷有限公司

经 销 者 各地新华书店

开 本 710mm × 1000mm 1/16

印 张 9.75

字 数 127 千字

版 次 2018 年 12 月第 1 版

印 次 2018 年 12 月第 1 次

定 价 58.00 元

广告经营许可证 京西工商广字第 8179 号

中国经济出版社 网址 www.economyph.com 社址 北京市西城区百万庄北街 3 号 邮编 100037

本版图书如存在印装质量问题, 请与本社发行中心联系调换 (联系电话: 010 - 68330607)

版权所有 盗版必究 (举报电话: 010 - 68355416 010 - 68319282)

国家版权局反盗版举报中心 (举报电话: 12390) 服务热线: 010 - 88386794

前 言

随着我国经济快速发展,加上人口老龄化趋势加重,对医疗服务的需求越来越大,产生的医疗废弃物也急剧增多,如何避免药物滥用、废弃物暴露污染环境、危害健康已成为必须解决的问题。产业生态化目标符合我国社会发展的需要,国家“十三五”规划提出生态环境质量总体改善目标,加强有毒有害化学物质环境与健康风险评估能力建设,坚持绿色、可持续发展。而医疗废弃物携带病菌数量较大、种类较多,被国际上列为“顶级危险”,因此如何建立安全、稳定、可持续发展的医疗废弃物回收网络,完善医疗废弃物监管机制,保障人体健康,维护生态安全,促进经济社会可持续发展成为亟待解决的问题。

为促进医疗废弃物回收处理产业生态化,实现资源高效、节约、集约利用,促进经济增长和生态协调发展,形成政府、企业、公众共治的环境治理体系,实现环境质量改善。围绕“产业共生”这一核心理论,以“减量化”“再利用”和“无害化”为目标,采用社会网络分析法、Logistics 共生模型、Shapely 值法等方法,构建了医疗废弃物产业共生网络,从网络产业共生的影响因素出发,探讨影响网络的静态稳定性和动态演化稳定性的机理,并在此基础上提出建议。本书通过实证分析医疗废弃物产业共生网络的构建模式,探寻影响因素,丰富和深化了产业生态化理论;阐明了影响网络稳定性的机理,为我国环境保护制度的创新提供了依据,为政府推进医疗废弃物政策实施提供决策依据;最后提出对策,为促进和完善医疗废弃物管理制度提供建议。

全书共7章,第1章为研究背景、研究意见和国内外医疗废弃物管理

的研究现状。第2章为医疗废弃物产业共生网络构建的理论基础,主要从网络的特征、结构和驱动力等方面进行探讨。第3章为医疗废弃物产业共生网络的影响因素,在问卷调研的基础上,采用社会网络分析的方法实证分析了产业共生网络的影响因素,及影响因素间关系。第4章为医疗废弃物产业共生网络稳定性的静态分析,主要从网络共生的角度通过Logistics 共生演化模型和医疗废弃物产业链利益分配的 Shapely 值法两个层面进行分析。第5章和第6章为医疗废弃物产业共生网络稳定性动态演化博弈分析,构建了政府与医疗机构演化博弈模型和医疗废弃物产业链多主体演化模型,最后进行了模拟仿真。第7章在分析影响因素、稳定性机理的基础上,提出了医疗废弃物回收产业共生网络的实现路径及对策。

本书出版得到了国家科技支撑计划课题“村镇公共设施优化配置与运营管理关键技术研究”(2014BAL07B04)和河南省哲学社会科学规划课题“农村医疗废弃物产业共生回收网络的稳定性研究”(2016BJJ042)及河南省政府招标课题“绿色发展理念下河南省多元参与的环境治理体系稳定性研究”(2018B066)的资助,对此表示感谢;同时感谢博士后导师李孟刚教授和博士导师乔忠教授对本书的撰写提出了许多宝贵的指导意见。希望该书能赢得大家的共鸣,但囿于作者能力和时间有限,撰写过程中难免有纰漏,希望大家积极反馈。

目 录

第1章 引言	1
1.1 研究背景、意义与国内外发展动态	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	2
1.1.3 国内外研究现状及发展动态分析	3
1.2 研究目标与内容	6
1.2.1 研究目标	6
1.2.2 研究内容	7
1.2.3 拟解决的关键科学问题	9
1.3 研究方法与技术路线	10
1.3.1 研究方法	10
1.3.2 技术路线	14
1.3.3 可行性分析	15
1.4 研究特色与创新之处	15
第2章 医疗废弃物回收产业共生网络的理论基础	16
2.1 产业共生的概念与研究趋势	16
2.1.1 产业共生概念的界定	16
2.1.2 产业共生的研究趋势	17

2.2	医疗废弃物产业共生回收网络的构建	21
2.2.1	医疗废弃物产业共生回收网络的界定	21
2.2.2	医疗废弃物产业共生回收网络结构分析	22
2.2.3	医疗废弃物产业共生回收网络特征分析	25
2.3	医疗废弃物产业共生回收网络的动力分析	27
2.3.1	医疗废弃物管理的市场失灵	27
2.3.2	政府主导	29
2.3.3	社会文化环境	30
2.4	医疗废弃物产业共生网络的运行模式	31
2.4.1	产业共生网络的运行模式分析	31
2.4.2	医疗废弃物产业共生网络运行分析	34
2.5	本章小结	35
 第3章 医疗废弃物网络产业共生影响因素分析		36
3.1	社会网络方法的概念与指标	36
3.1.1	社会网络方法的内涵	36
3.1.2	社会网络分析的相关概念	36
3.1.3	社会网络分析的主要指标	37
3.2	社会网络方法的应用	39
3.2.1	碳排放和大气污染等环境污染	39
3.2.2	互联网环境下的信息传播	40
3.2.3	产业协同创新和知识创新	41
3.2.4	投资和城市发展	41
3.3	医疗废弃物产业共生网络影响因素实证研究	42
3.3.1	影响因素的选取与问卷收集方法	42
3.3.2	邻接矩阵的设置方法	44
3.3.3	影响因素社会网络模型分析	45
3.4	本章小结	54

第4章 医疗废弃物产业共生网络稳定性静态分析	55
4.1 Logistics 共生演化模型构建	55
4.1.1 医疗机构和废弃物回收利用企业共生模式界定	55
4.1.2 模型构建	56
4.1.3 医疗机构与回收企业共生演化模型	58
4.1.4 医疗机构与回收企业模型稳定性分析	58
4.2 医疗机构与回收企业共生关系模拟仿真分析	60
4.2.1 基本假设	61
4.2.2 模拟仿真分析	61
4.3 医疗废弃物产业链利益分配的 Shapely 值法	63
4.3.1 Shapely 值模型介绍	63
4.3.2 经济体利益分配的影响要素	64
4.3.3 修正 Shapely 值的利益分配模型建立	65
4.4 医疗废弃物回收产业链利益分配算例	67
4.4.1 模型构建	67
4.4.2 传统 Shapely 值法利益分配方案	67
4.4.3 修正 Shapely 值法利益分配方案	68
4.5 结论建议与讨论	70
4.5.1 结论建议	70
4.5.2 讨论	72
4.6 本章小结	72
第5章 演化博弈的理论基础	74
5.1 演化博弈模型构建的理论基础	74
5.1.1 演化博弈理论的提出	74
5.1.2 演化博弈理论的应用	75
5.1.3 演化博弈理论的基本推理	79

5.2	二群体演化博弈的复制动态方程与稳定策略	81
5.2.1	二群体对称演化博弈复制动态方程及稳定策略	81
5.2.2	二群体非对称演化博弈复制动态方程及稳定策略	82
5.3	三群体演化博弈的复制动态方程与稳定策略	85
5.3.1	李雅普诺夫稳定性	85
5.3.2	三群体演化博弈的动态复制系统	87
5.3.3	演化博弈均衡的渐进稳定性分析	88
5.4	本章小结	91

第6章 医疗废弃物产业共生网络稳定性动态演化博弈分析

		92
6.1	产业共生网络的政府与医疗机构演化博弈分析	92
6.1.1	背景	92
6.1.2	问题描述和模型构建	94
6.1.3	政府与医疗机构的演化博弈分析	95
6.1.4	演化仿真分析	99
6.2	生态化视角下医疗废弃物产业链多主体演化仿真	102
6.2.1	研究背景	102
6.2.2	基本假设和模型构建	105
6.2.3	演化博弈模型分析	107
6.2.4	数值实验及仿真	111
6.3	结论与建议	114
6.3.1	政府与医疗机构演化分析的结论与建议	114
6.3.2	三方演化分析的结论与建议	115
6.4	本章小结	117

第7章 医疗废弃物回收产业共生网络的实现路径与对策 ...	118
7.1 基于PDCA循环法的产业共生网络实现路径	118
7.1.1 PDCA循环的基本原理与方法应用	118
7.1.2 医疗废弃物产业共生回收网络的实现路径	122
7.2 对策建议	123
7.2.1 政府主导作用的发挥	123
7.2.2 操作性强的法律制度的建立	123
7.2.3 信息化手段的加入,提高信息透明度	124
7.3 展望与不足	125
参考文献	126
附 录	142
后 记	144

第1章 引言

1.1 研究背景、意义与国内外发展动态

1.1.1 研究背景

药物滥用、医疗废弃物不当处理造成的危害巨大，中科院广州地球化学研究所 2015 年发布了中国抗生素环境浓度地图，结果显示我国抗生素的使用量已接近世界使用量的一半，指出抗生素的使用达到“滥用”和“惊人”状态；同年复旦大学公共卫生学院研究显示：江浙沪受检的 1000 名儿童中，至少有 58% 的儿童尿中检出一种抗生素，这些抗生素的重要暴露源是环境和食品。排放到环境中的抗生素对环境的污染是持续性的，由此导致整个微生物系统产生耐药性；暨南大学环境学院对珠三角蔬菜养殖基地采样发现：各种档次里面都检出了抗生素，甚至绿色蔬菜都含抗生素。长时间、持续性、多种类的抗生素对环境的污染，相当于慢性中毒，对人体生殖系统、内分泌构成危害，不只是抗生素还有儿童铅中毒等。随着我国经济快速发展，加上人口老龄化趋势加重，对医疗服务的需求越来越大，从 2005 年到 2015 年全国医疗卫生机构数从 882206 个增长到 983528 个，10 多年间增长超过了 11.49%，产生的医疗废弃物也急剧增多。如何避免药物滥用、废弃物暴露污染环境、危害健康已成为必须解决的问题。因此建立有效、安全的医疗废弃物回收网络，减少伤害和风险变得尤为重要。

产业生态化目标符合我国社会发展的需要,国家“十三五”规划提出生态环境质量总体改善目标,要求主要污染物排放总量大幅减少,加强有毒有害化学物质环境与健康风险评估能力建设,坚持绿色发展、可持续发展。而医疗废弃物(Medical Waste)具有直接或间接感染性、毒性和危害性等特点。它们携带病菌数量较大、种类较多,被国际上列为“顶级危险”,被我国在《危险垃圾名录》中列为1号危险垃圾,我国先后在2003年和2006年出台了《医疗废弃物管理条例》和《医院感染管理办法》对医疗废物的收集、运送、贮存、处置、监督管理等做了规定。因此如何建立安全、可持续发展的医疗废弃物回收网络,完善医疗废弃物监管体制机制,保障人体健康,维护生态安全,促进经济社会可持续发展显得尤为重要。

1.1.2 研究意义

医疗废弃物回收处理系统的产业生态化(Industry Ecology)指医疗废弃物回收处理系统以“减量化”“再利用”和“无害化”为目标,在医疗废弃物的产生、分类、回收、运输和处理各环节加入生态约束变量,运用制度政策、技术、监督和公共设施建设等手段,实现资源高效、节约、集约利用,促进经济增长和生态协调发展,形成政府、企业、公众共治的环境治理体系,实现环境质量改善的目标。

在宏观层面产业生态化约束下,微观层面的利益相关主体如政府、企业、医疗机构、回收处理企业和公众等,对医疗废弃物的管理目标、方式、手段和监督等都具有新特征,通过实地调研发现医疗废弃物回收中产业生态化的问题和障碍;分析各主体行为相互关系、理想状态演化方向的不同影响因素,模拟仿真政策变量,识别影响系统产业生态化行为的关键因素,探索回收系统在产业生态化约束下的新规律;据此设计政策组合,从系统的分层目标到总目标,系统内部到外部,“自内向外”“自底向上”提出优化策略。

该项目打破目前医疗废弃物管理政策无法进行实验研究的瓶颈,对

提升医疗废弃物回收处理的系统性、科学性、动态性和安全、可持续地管理医疗废弃物,促进废弃物循环利用、减少环境污染等都具有重要的现实意义;同时奠定宏观产业生态化政策的微观基础,丰富了可持续发展理论,为加快建设资源节约型、环境友好型社会,改革环境治理基础制度提供理论依据。

1.1.3 国内外研究现状及发展动态分析

1.1.3.1 产业生态化内涵和路径研究

产业生态化内涵和路径研究为项目开展提供了坚实的理论基础,最早提出产业生态学概念的为1989年 Rbert Frosc 在《科学美国人》上发表了“制造业发展战略”一文,认为可以通过生产方式的革新减少工业活动对环境的不利影响,并提出产业生态学思想。此后学者们从不同领域对产业生态化进行阐述。S. Erkman 从系统论的角度出发,研究产业系统的运作与生物圈之间的相互作用,并依据生态系统的特征合理调整产业系统达到两个系统的协调运行,归纳产业生态化的三要素为:产业生态系统是产业系统和生物圈一体化的系统,科技创新能推动产业系统向可持续发展系统转换,注重系统的非物质化。Lowenthal M. D. 和 Chertow M. R. 认为产业生态学是将自然生态学的视角、工具、原则应用于产业系统,研究了能量的产生、转移过程中生态学的影响,该影响包括对人类健康、环境和公共设施等。Braden R. Allenby 提出了产业生态系统的三级进化理论,一级系统为从无限资源到无限废料;二级系统为从有限资源到有限废料,系统内的资源和废料受资源数量和环境容量约束;三级系统为封闭循环系统是理想的产业生态系统,资源和废物只是相对的,实现代谢物的资源化。郭守前认为产业生态化创新是对系统内各组成部分进行合理优化耦合,以建立高效率、低消耗、无污染、经济增长与生态环境相协调的产业生态系统的过程。夏艳清提出城市生活固体废弃物管理的产业生态化就是以减量化、再利用、资源化为核心,对进入

经济循环中的物质榨取最大价值，尽量减少最后进入自然界的废弃物。

1.1.3.2 国内学者关于产业生态化近期的研究可分为三个方面

(1) 产业生态化的理论探讨

如田昕加采用系统论的思想来对林业资源型城市产业生态化问题与障碍因素进行分析；杨艳琳、欧阳瑾娟指出促进资源的高效利用、循环利用，促进经济增长与生态相协调，是实现产业生态化发展的方法；王海刚、衡希、王永强等阐述了西部传统产业生态化发展的模式。

(2) 产业生态化的实现途径

如黄志斌、王晓华指出产业生态化是将物质生产过程的产业活动纳入生态系统循环之中，实现产业系统同生态系统的良性循环，实现经济、生态、社会可持续发展的重要途径；刘传江、吴晗晗、胡威等提出产业生态化不仅要追求经济增长，更要将生态环境作为产业发展的外在条件，在传统经济增长模型中加入生态约束变量，并以我国工业部门为例进行实证分析；王磊、陈军、王太祥以新疆为例，比较分析不同类型资源型产业生态化发展水平及其演进。

(3) 对产业生态化的效率进行评估

如李华旭、孔凡斌（2016）和马勇、刘军等（2016）以可持续发展思想为指导，通过对产业生态化、生态效率内涵的界定，以生态效率为测度，构建指标体系，采用 DEA 模型对长江经济带沿江地区总体产业生态化效率进行评估；仇方道、沈正平、张纯敏以源头减量化、清洁生产和末端治理的产业生态化为导向，应用完全分解模型，对江苏省的工业环境绩效进行评价，得出提高资源节约集约利用水平是产业生态化转型的主要措施。

1.1.3.3 用博弈论的方法研究环境污染问题

用博弈论的方法研究环境污染问题，主要集中在碳排放、大气污染等，研究医疗废弃物系统的较少。具体如以下方面：付秋芳、忻莉燕、马士华等采用演化博弈的方法研究了碳减排背景下，企业的供应商和制

造商组成的二级供应链的行为与策略,分析了契约与惩罚机制下的演化博弈结果;赵令锐、张骥骧也研究了碳排放权交易中企业的减排行为的演化博弈模型,得出政府对进行自行减排的企业给予适当补贴,会激励企业进行自行减排;何为、温丹辉、孙振清对大气环境治理进行演化博弈分析,得出以环境治理为导向的考核模式中,累进惩罚制度将达到演化博弈均衡;曹凌燕、邵建平也研究了城市空气污染的地方治理主体的互动博弈与策略选择,结合新常态下环境治理的特征,提出协同治理是未来城市空气污染地方治理的途径;刘佳、刘伊生、施颖等研究了绿色建筑规模化发展中政府和开发商群体的演化博弈行为;侯贵生、殷孟亚、杨磊等研究工业化进程中经济发展与环境保护矛盾突出背景下,政府环境规制强度与企业环境行为的博弈模型,探讨了政府排污税规制政策强度变化条件下企业最优应对策略。

1.1.3.4 医疗废弃物管理的研究

医疗废弃物管理的研究,主要集中在政策的规范化和废弃物产生量的影响因素方面。具体为以下几方面。

(1) 医疗废弃物管理的政策探讨

通过问卷调研和访谈等找出医疗废弃物管理过程中存在的问题,主要集中于研究发展中国家和落后国家,如 Abdel Gadir M 对苏丹医疗废弃物清洁人员对医疗废弃物危害的认知、态度和行为进行分析; Alam & Masum A 等利用实地调查,并采访了相关主管部门和参与管理人员,表明缺乏认识和财政支持是医疗废弃物管理不当的原因;以调查问卷形式研究,我国作为世界上最大的发展中国家,学者们也进行了相关研究,如 Zhang Yong 等通过问卷调查方式对南京市医疗废弃物管理进行定量分析; Lingzhong Xu 及 Hao - Jun Zhang 等分别对山东省、甘肃省医院废弃物管理的现状进行研究,提出了从资金、行政管理、技术层面加强医疗废弃物管理的建议; Nie L & Wu H 通过问卷调查的方法分析我国农村医疗废弃物管理中的问题并提出建议; Jan Harris 规范了废弃物

管理的分类、收集、处理和相关制度。Barnettitzhaki Z & Ikeda Y 研究了以色列、日本家庭医疗废弃物的处理措施和政策。

(2) 通过统计数据,分析医疗废弃物产生量和产生率的影响因素

如 Komilis D 把医疗机构分为 8 类,研究不同医疗机构每天每床位产生的医疗废弃物量,比较产生的感染性医疗废弃物量的不同;Xin Y 提到医疗废弃物的产生率受医院规模、专业化程度、医疗技术等多个因素影响;Shah A F 调查了印度喀什米尔市牙科保健人员对医疗废物认知与管理;Moreira A 对医疗废物和生物医学废弃物进行分类。Karpušenkaitė A、Ruzgas T & Denafas G 对立陶宛医疗废弃物的产生量进行预测。石月欣等研究通过 PDCA 循环应用于医疗废弃物标准化的流程管理,提高医务人员对医疗废弃物的分类管理的意识,动态监测每月医疗废弃物产生量等措施,达到了医疗废弃物年产生量下降、医疗废物管理工作持续改进的目的。

综上所述,环境污染问题已经迫在眉睫,医疗废弃物作为一大污染源,更应该科学、有效、安全和可持续的管理。学者们对产业生态化的具体路径、应用、环境污染的机制建立和对医疗废弃物的管理都进行了大量的研究,但以产业生态化为目标,把医疗废弃物回收作为一个系统,探讨系统运行机制,提出发展路径的文章并没有。基于此,本研究拟在实地调研基础上,分析我国目前医疗废弃物回收中存在的问题及产业生态化的障碍因素,在此基础上,以“减量化”“再利用”和“无害化”为目标,构建产业生态化系统,并通过对系统中相关主体间关系和行为的演化博弈分析,探寻系统协调的机制,据此提出产业生态化的实现路径。

1.2 研究目标与内容

1.2.1 研究目标

围绕“产业共生”这一核心理论,以“减量化”“再利用”和

“无害化”为目标，在医疗废弃物的产生、分类、回收、运输和处理环节加入生态约束变量，探寻医疗废弃物产业生态化系统的协调机制，实现资源高效、节约、集约利用，促进经济增长和生态协调发展，形成政府、企业、公众共治的环境治理体系，实现环境质量改善的目标。

具体目标一：按照废弃物管理的好坏程度，选取具有典型代表性城市进行实地调研，发现医疗废弃物回收的问题和产业生态化影响因素，构建产业生态化系统。

具体目标二：围绕医疗废弃物回收处理系统的相关主体——政府、公众、医院和医疗废弃物回收处理企业等，运用利益相关理论、演化博弈理论和模拟仿真等方法，通过制度政策、技术、监督和公共设施建设等手段，探明医疗废弃物回收处理产业生态化的协调机制。

具体目标三：强化医疗废弃物回收系统产业生态化协调机制的构建和完善的动力，提出产业生态化的治理策略。项目旨在为我国医疗废弃物的管理提供理论和现实依据。

1.2.2 研究内容

(1) 对本研究的研究背景和意义进行阐述

对国内外与该项目有关的文献进行梳理，在此基础上规划本研究的研究内容、方法和技术路线等。

(2) 医疗废弃物回收产业共生网络的构建

首先对产业共生网络进行界定，明确医疗废弃物回收共生网络的内涵，在此基础上对网络的构成要素和结果特征进行分析，并从资源配置效率、政府行为、社会文化环境三个层面分析了网络的驱动力，最后剖析医疗废弃物产业共生网络的运行模式，包括依托型、平等型、嵌套型和虚拟型。

(3) 分析医疗废弃物回收产业共生网络的影响因素

将协同治理影响因素作为网络节点，借助社会网络分析方法对医疗废弃物回收产业共生网络协同治理的影响因素展开分析。采用问卷调查