

基于模型和物质流分析方法的食物链 氮素区域间流动 ——以黄淮海区为例

马 林^{1,2}, 魏 静¹, 王方浩², 高利伟¹, 赵 路¹, 马文奇^{1,*}, 张福锁²

(1. 河北农业大学资源与环境学院, 保定 071001;

2. 教育部植物土壤相互作用重点实验室, 中国农业大学资源与环境学院, 中化化肥农大研发中心, 北京 100094)

摘要: 研究利用养分流动的方法建立区域氮素流动模型, 试图分析氮素养分在区域间的流动状况。以黄淮海区为例, 提出氮素调控策略。结果表明: 2005 年, 黄淮海区化肥、饲料、植物食物和动物食物氮素盈亏率分别为 33%、-120%、38% 和 65%。养分势是区域食物链养分流动的原动力, 此外, 人口数、城镇化率、耕地面积、GDP、运输距离、运价、市场价格和政府调控等也是影响食物链氮素养分在区域间流动的重要因素。2005 年, 黄淮海区是化肥、食物氮素的源, 而是饲料氮素的汇。北京地区无论化肥、饲料和食物氮素都为汇。北京地区单位耕地承载外地区调入的氮素养分负荷为 872 kg/hm²。即使这些养分全部在本区域返还农田还存在很大的环境风险。因此, 对环北京都市圈食物链氮素养分应该进行区域间协同管理。

关键词: 黄淮海; 驱动机理; 养分循环; 养分资源管理; 模型

文章编号: 1000-0933(2009)01-0475-09 中图分类号: F205, Q148, Q988 文献标识码: A

Nitrogen flow in food chain among regions based on MFA and model: a case of Huang-Huai-Hai Plain

MA Lin^{1,2}, WEI Jing¹, WANG Fang-Hao², GAO Li-Wei¹, ZHAO Lu¹, MA Wen-Qi^{1,*}, ZHANG Fu-Suo²

1 College of Resources and Environmental Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China

2 Key Laboratory of Plant-Soil Interactions, MOE, College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, SINOCHEM-CAU fertilizer R&D Center, Beijing 100094, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 0475 ~ 0483.

Abstract: As an important component of protein and an essential element for plants, animals and human beings, adequate supply of nitrogen in the crop production-animal production-food-household consumption system is necessary. In addition, because of the imbalance of nitrogen between production and consumption, a large amount of nitrogen frequently flows in different regions. Huang-Huai-Hai, located in the east of China, is an important base of agricultural products. And with the increasing food demand of Beijing and Tianjin, the nutrient flows between different provinces of Huang-Huai-Hai are common.

Material Flow Analysis (MFA) is a cluster of various kinds of analytical methods, which has been extensively used in environmental assessment. MFA approach is based on input output analysis (IOA) and has been extended to various sections. Based on MFA approach, the model of nitrogen flow among regions was established and the mount of nitrogen flow in "resources-fertilizer-farmland-livestock-family-environment" system was obtained.

The surplus and deficiency rate of fertilizer, feed, plant food and animal food was 33%、-120%、38%、65% respectively in 2005 in Huang-Huai-Hai. The driving force of nutrient flow in local food chain is the potential nutrient. But

基金项目: 科技部支撑资助项目(2006BAD05B04); 国家自然科学基金资助项目(30571087); 国家农业部 948 资助项目(2006-G60)

收稿日期: 2008-04-10; 修订日期: 2008-09-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mawq@hebau.edu.cn

the factor of population、urbanization、arable land area、GDP、transport distance、transport price、market price and policy etc also have influence on it. In 2005, the area of Huang-Huai-Hai is the source of nitrogen of fertilizer and food, and the sink of nitrogen of feed. But in Beijing, nitrogen of fertilizer, food and feed all is the sink. The average cropland load of nitrogen which comes from other provinces is 872 kg/hm^2 , which still have a lot of risk to environment even though all this nitrogen been returned to the cropland. So the collaborative management of nutrient should be carry on in Beijing-Tianjin metropolis circle immediately.

Key Words: Huang-Huai-Hai Plain; driving mechanism; nutrient cycling; nutrient management; model

氮素作为蛋白质的重要组分,是植物、动物和人类都必需的营养元素,它在“农田-畜牧-食品-家庭”这一食物链养分流动体系中的适量供给是保证粮食增产和人类健康的基础;此外,由于区域氮素生产与消费的不平衡,导致大量养分在区域间频繁流动。氮素作为基本化学元素,很少以元素形态进行流动,主要通过化肥、饲料、食品等实体物质进行流动^[1]。近些年来,区域、国家及全球层次氮素流动研究已经成为国际研究热点。人们在农田和农业生态系统的氮素循环与平衡方面进行了大量工作,研究了各个过程的氮素流动参数和数量^[2~5]。欧盟还将氮素平衡作为养分管理法规的重要工具^[6,7]。我国 2003 年启动了 948 重大引进项目,在国家层面上,站在食物链的高度,借鉴物质流分析的方法^[8],量化了氮素在“资源-化肥-农田-畜牧-家庭-环境”体系的纵向流动,分析了我国食物链氮素纵向流动特征。但是,对于区域间氮素横向流动研究还属空白。黄淮海区位于中国中东部,经济基础和农业生产条件优越,本区历年来都是我国重要的农产品生产基地,已成为“北粮南调”的重要保障基地^[9];此外,在京津大都市圈需求的拉动下,省份间养分流动频繁;因此,研究黄淮海区以化肥、饲料、食品等为载体的氮素在区域间的流动成为关乎首都都市圈食物和生态安全的重要保障。物质流分析方法可以定量不同体系之间的数量关系和运行机制,已经成为 20 世纪 90 年代以来环境管理和政策制定的重要技术手段;采用模型定量物质流过程,使研究具有高效性和灵活性。为此,本研究采用物质流分析的方法,建立区域氮素流动模型;阐明黄淮海区氮素养分区域间流动机理;分析氮素养分在区域间的流动;提出黄淮海区和京津都市圈氮素调控策略。

1 材料与方法

本研究通过查阅相关文献、资料以及专家咨询和实地调研,分析区域作物生产与消费体系氮素流动特征,建立食物链氮素区域间流动模型,阐明黄淮海区氮素区域间流动循环状况。

1.1 研究系统界定

本研究以食物链养分流动的重要载体化肥、饲料、动植物食物和废弃物氮素养分作为研究对象,将研究对象分为 3 个系统。作物和畜禽生产系统是整个流动的核心,家庭消费系统是流动的驱动力。研究区域为整个黄淮海区(由于分县数据获取困难,本研究以北京市、天津市、河北省、河南省、山东省数据代表整个黄淮海区)即黄淮海区三省两市。

1.2 模型框架

模型以氮素在整个食物链的流动为研究对象。模型框架如图 1 所示。

1.3 模型算法和参数

本研究选取我国主要种植的作物 17 类,畜禽 10 类,并把家庭按照农村和城镇进行了划分,参数和算法 600 多个,模型主要核心算法和参数如下。

1.3.1 模型算法

(1) 化肥生产与消费氮量

化肥氮素生产量通过氮肥工业协会,磷肥工业协会得到,化肥氮素消费量通过 2006 年中国统计年鉴获得。

(2) 饲料生产与消费氮量

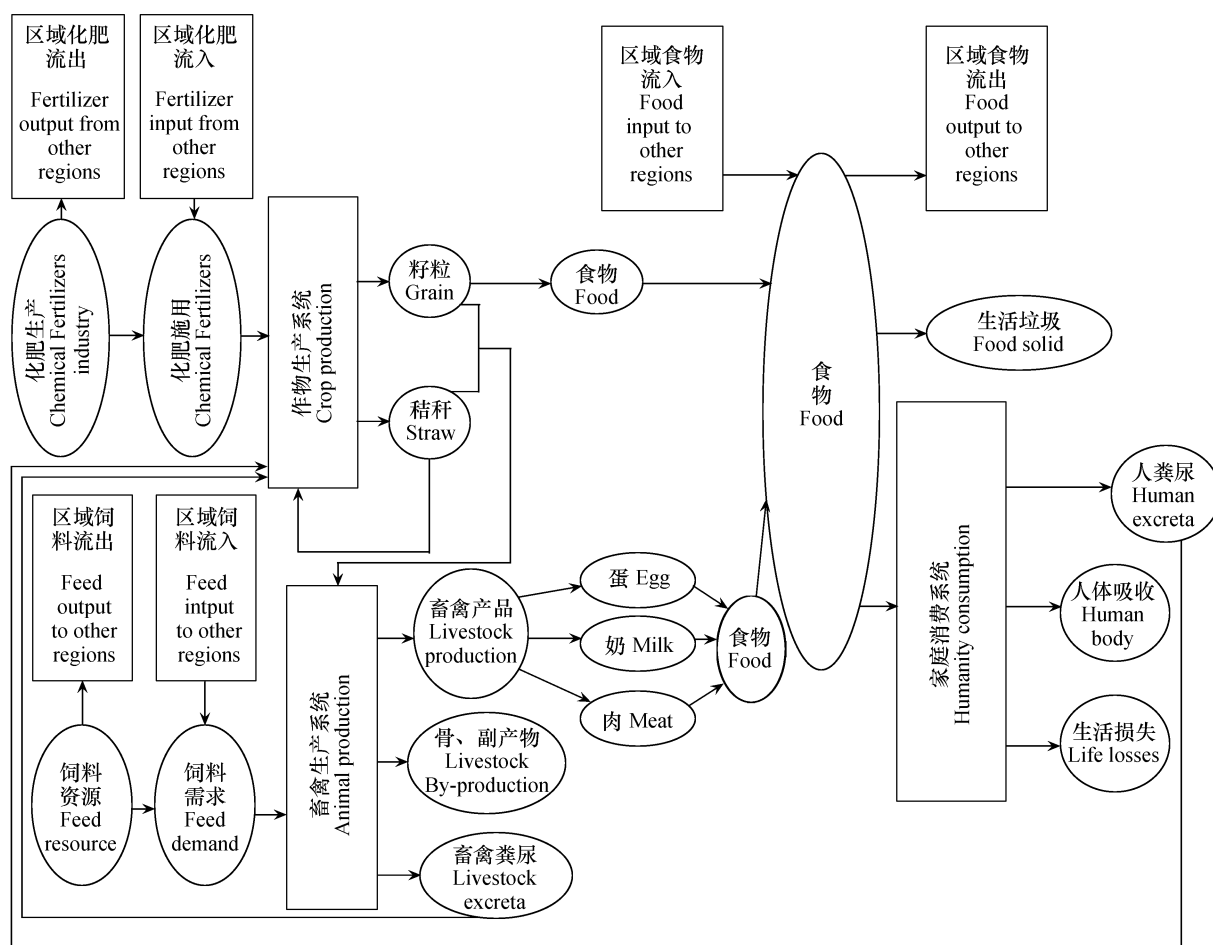


图1 区域氮素养分流动模型框架

Fig. 1 Demonstration of the nitrogen flow model inter-region

本研究把区域内从各个系统进入畜禽生产系统的饲料氮素量作为该区域饲料氮素资源量,包括该区域饲料粮氮量、食品加工副产物氮量、秸秆饲料氮量、家庭厨余垃圾做饲料氮量、天然牧草饲料氮量、林业副产物饲料氮量和骨粉饲料氮量等。本研究采用养分平衡法计算饲料需求量,即畜禽粪尿氮排泄量与畜禽产品、骨及副产品氮量总合,公式如下:

$$\text{畜禽饲料氮需求量} = \text{畜禽粪尿氮排泄量} + \text{畜禽产品、骨及副产品氮量} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{饲料氮素资源量} = & \text{饲料粮氮量} + \text{食品加工副产物氮量} + \text{秸秆饲料氮量} + \text{家庭厨余垃圾做} \\ & \text{饲料氮量} + \text{天然牧草饲料氮量} + \text{林业副产物饲料氮量} + \text{骨粉饲料氮量} \end{aligned} \quad (2)$$

(3) 动植物食品生产与消费氮量

$$\text{植物食品氮素生产量} = \text{籽粒产量} \times \text{籽粒含氮量} \times \text{作物籽粒作食物比例} \quad (3)$$

$$\text{植物食品氮素消费量} = \text{人口数} \times \text{人均植物食品消费量} \times \text{植物食品含氮量} \quad (4)$$

$$\text{动物食品氮素生产量} = \text{畜禽饲养量} \times \text{畜产品产生率} \times \text{畜产品含氮量} \quad (5)$$

$$\text{动物食品氮素消费量} = \text{人口数} \times \text{人均动物食品消费量} \times \text{动物食品含氮量} \quad (6)$$

(4) 食物链氮素生产与消费区域流动盈缺率

由于缺乏氮素养分在区域间的流通数据,所以本研究用氮素生产量与消费量的差值作为区域氮素盈缺量,区域氮素盈缺量与生产量的比值作为区域氮素养分盈缺率。当然现实中是否能够流动还由许多其他因素决定,这里只是进行理论上分析。具体估算如公式7、8所示。

$$\text{区域氮素盈缺量} = \text{氮素生产量} - \text{氮素消费量} \quad (7)$$

$$\text{区域氮素养分盈缺率} = \text{区域氮素盈缺量} / \text{氮素生产量} \times 100\% \quad (8)$$

(5) 食物链氮素区域流动养分势及单位耕地养分势

养分作为一种资源,在区域间流动的驱动力主要来自区域间产消不平衡。本研究借鉴物理学中“场”的概念,定义养分势和养分势差,养分势是指某地区养分生产与消费量的差值,养分势差是两地区养分势的差值。由于区域间养分流通数据无法获取,本研究把区域氮素盈缺量作为区域氮素养分势,定性分析养分势差的影响因素。

$$\text{区域化肥氮素养分势} = \text{区域化肥氮素盈缺量} = \text{化肥氮素生产量} - \text{化肥氮素消费量} \quad (9)$$

$$\text{区域饲料氮素养分势} = \text{区域饲料氮素盈缺量} = \text{饲料氮素生产量} - \text{饲料氮素消费量} \quad (10)$$

$$\text{区域食物氮素养分势} = \text{区域食物氮素盈缺量} = \text{食物氮素生产量} - \text{食物氮素消费量} \quad (11)$$

$$\text{单位耕地化肥氮素养分势} = \text{区域化肥氮素养分势} / \text{耕地面积} \quad (12)$$

$$\text{单位耕地饲料氮素养分势} = \text{区域饲料氮素养分势} / \text{耕地面积} \quad (13)$$

$$\text{单位耕地食物氮素养分势} = \text{区域食物氮素养分势} / \text{耕地面积} \quad (14)$$

(6) 食物链有机废弃物资源氮素数量及其单位耕地承载量

食物链生产与消费过程同时产生了大量秸秆、畜禽粪尿和人类粪尿等有机废弃物,食物链有机废弃物资源氮素数量及其单位耕地承载量计算公式如下所示:

$$\text{秸秆氮素数量} = \text{籽粒产量} \times \text{秸秆籽粒比} \times \text{秸秆含氮量} \quad (15)$$

$$\text{未利用秸秆氮素数量} = \text{秸秆氮素数量} \times (100 - \text{秸秆还田率} - \text{秸秆饲用率}) / 100 \quad (16)$$

$$\text{畜禽粪尿氮素数量} = \text{畜禽饲养数量} \times \text{畜禽排氮量} \quad (17)$$

$$\text{未利用畜禽粪尿氮素数量} = \text{畜禽粪尿氮素数量} \times (100 - \text{畜禽粪尿还田率}) / 100 \quad (18)$$

$$\text{人类粪尿氮素数量} = \text{人口数} \times \text{人排氮量} \quad (19)$$

$$\text{未利用人类粪尿氮素数量} = \text{人类粪尿氮素数量} \times (100 - \text{人类粪尿还田率}) / 100 \quad (20)$$

$$\text{单位耕地有机废弃物氮素资源承载量} = \text{有机肥废弃物氮素数量} / \text{耕地面积} \quad (21)$$

1.3.2 模型参数

(1) 化肥生产与消费系统参数

复混肥含氮量按照氮磷钾 13.9:16.6:14.4 的比例折算^[10],化肥氮素消费量通过 2006 年中国统计年鉴获得^[11]。

(2) 作物生产系统参数

作物产量、播种面积、耕地面积通过 2005 年中国农业统计资料获得^[11];作物籽粒含氮量数据来源于农业经济技术手册^[13];籽粒去向比例通过专家意见和参考李建辉研究结果得到^[14];作物秸秆籽粒比和秸秆含氮量来源于中国有机养分资源^[15],秸秆去向比例参考高祥照研究结果^[16]。

(3) 畜禽生产系统参数

畜禽饲养数量来源于 2006 年畜牧统计年鉴^[12];畜禽粪尿排氮量来源于刘东研究结果^[17];饲料资源数据来源于王方浩研究成果^[18];畜禽粪尿还田率,畜禽出栏胴体重,肉、骨、副产物比例和含氮量来源于刘晓明研究结果^[19]。

(4) 家庭消费系统参数

人口数、农村和城镇家庭食品人均消费量来源于 2006 年中国统计年鉴^[10];食品含氮量通过中国食物成分表获得^[20];家庭消费氮素去向和人类粪尿还田率来源于魏静研究结果^[21]。

2 结果与分析

2.1 黄淮海区食物链氮素养分生产与消费平衡

2.1.1 黄淮海区化肥氮素生产与消费平衡状况分析

通过模型计算黄淮海区化肥市场供需平衡状况(表 1),2005 年,黄淮海区氮肥生产量 1070.7 万 t,消费量

714 万 t, 盈余 356.7 万 t。山东省氮肥盈余最多, 为 251 万 t; 北京市需要有 6.4 万吨 t 肥从外地区调入。

2.1.2 黄淮海区饲料氮素资源量与需求平衡状况分析

通过模型计算黄淮海区饲料供需平衡状况(表 2), 2005 年, 黄淮海区三省两市饲料氮素资源量为 362.5 万 t, 需求量为 798.8 万 t, 亏缺 436.3 万 t。山东省、河南省饲料氮素缺口最多, 分别为 173.5 万 t 和 115.4 万 t。

2.1.3 黄淮海区食品氮素生产与需求平衡状况分析

通过模型计算黄淮海区食品供需平衡状况(表 3), 2005 年, 黄淮海区植物食品和动物食品氮素盈余 51.4 和 54.8 万 t。河南省植物食品氮素盈余量最大, 为 25.7 万 t。河北省动物食品氮素盈余量最大, 为 19.4 万 t。

表 1 2005 年黄淮海区氮肥(纯养分)供需平衡表(万 t)

Table 1 Supply and demand balance of fertilizer nitrogen in 2005 in the province of Huang-Huai-Hai($\times 10^4$ t)

地区 Region	生产 Production	消费 Consumption
北京 Beijing	3	9.4
天津 Tianjin	14.2	13.6
河北 Hebei	190.8	178.4
河南 Henan	367.8	268.6
山东 Shandong	495	244
黄淮海 Huang-Huai-Hai	1070.7	714

表 2 2005 年黄淮海区饲料氮素供需平衡表(万 t)

Table 2 Supply and demand balance of feed nitrogen in 2005 in the province of Huang-Huai-Hai($\times 10^4$ t)

地区 Region	饲料资源 Feed resource	饲料需求 Feed demand
北京 Beijing	5.1	24.8
天津 Tianjin	4.1	20.6
河北 Hebei	110.3	221.5
河南 Henan	125.5	240.9
山东 Shandong	117.5	291.0
黄淮海 Huang-Huai-Hai	362.5	798.8

表 3 2005 年黄淮海区食品氮素供需平衡表(万 t)

Table 3 Supply and demand balance of food nitrogen in 2005 in the province of Huang-Huai-Hai($\times 10^4$ t)

地区 Region	植物食品 Plant food		动物食品 Animal food	
	生产 Production	消费 Consumption	生产 Production	消费 Consumption
北京 Beijing	1.2	5.1	3.1	3.2
天津 Tianjin	1.7	2.9	2.9	1.6
河北 Hebei	30.6	19.7	25.8	6.3
河南 Henan	54.9	29.2	24.0	8.0
山东 Shandong	46.0	26.1	28.3	10.3
黄淮海 Huang-Huai-Hai	134.4	83.1	84.1	29.3

2.2 黄淮海区食物链氮素区域流动盈缺率

黄淮海区食物链氮素区域流动盈亏率如表 4 所示: 2005 年黄淮海区化肥、植物食物和动物食物氮素盈余, 盈余率分别为 33%、38% 和 65%; 但是饲料氮素亏缺, 亏缺率为 120%。化肥氮素除北京外, 都为盈余; 饲料氮素全部亏缺; 植物食物氮素除了北京、天津外, 都为盈余; 动物食物除了北京外, 都为盈余。

表 4 2005 年黄淮海区食物链氮素区域间流动盈缺率(%)

Table 4 The surplus and deficiency rate of nitrogen in food chain in 2005 in the province of Huang-Huai-Hai(%)

地区 Region	化肥 Fertilizer	饲料 Feed	植物食物 Plant food	动物食物 Animal food
北京 Beijing	-213	-382	-326	-2
天津 Tianjin	4	-406	-72	47
河北 Hebei	6	-101	36	76
河南 Henan	27	-92	47	67
山东 Shandong	51	-148	43	64
黄淮海 Huang-Huai-Hai	33	-120	38	65

2.3 黄淮海区食物链氮素养分势及单位耕地养分势

2005 年, 黄淮海区食物链化肥、饲料、食品氮素养分势分别为 356.7、-436.3 万 t 和 106.2 万 t, 总养分势

为 26.6 万 t; 化肥氮素养分势除北京外均为正值; 饲料氮素养分势均为负值; 食品氮素养分势除北京外, 均为正值。黄淮海区单位耕地养分势为 11.3 kg/hm²; 北京单位耕地养分势最低, 为 -872.3 kg/hm²。

2.4 黄淮海区食物链有机废弃物氮素养分数量及其单位耕地承载量

如表 6 所示: 2005 年, 黄淮海区有机废弃物氮素资源数量为 481.4 万 t, 未利用数量为 231.1 万 t, 利用率仅为 52.0%; 单位耕地有机废弃物氮素资源承载量为 204.7 kg/hm², 北京最高, 为 336.4 kg/hm²。

表 5 2005 年黄淮海区食物链氮素养分势及单位耕地养分势

Table 5 The potential nitrogen and the average cropland load of the potential nitrogen in food chain in 2005 in the province of Huang-Huai-Hai

地区 Region	养分势 (×10 ⁴ t)				单位耕地养分势 (kg/hm ²)			
	The potential nitrogen				The average cropland load of the potential nitrogen			
	化肥 Fertilizer	饲料 Feed	食品 Food	合计 Total	化肥 Fertilizer	饲料 Feed	食品 Food	合计 Total
北京 Beijing	-6.4	-19.7	-3.9	-30.0	-186.1	-572.8	-113.4	-872.3
天津 Tianjin	0.6	-16.5	0.2	-15.7	12.4	-339.8	4.1	-323.3
河北 Hebei	12.4	-111.2	30.3	-68.5	18.0	-161.6	44.0	-99.5
河南 Henan	99.2	-115.4	41.8	25.5	122.3	-142.3	51.5	31.4
山东 Shandong	251	-173.5	37.9	115.4	326.4	-225.6	49.3	150.1
黄淮海 Huang-Huai-Hai	356.7	-436.3	106.2	26.6	151.7	-185.6	45.2	11.3

表 6 2005 年黄淮海区食物链有机废弃物氮素资源量及其单位耕地承载量

Table 6 The organic nitrogen and the average cropland load of the organic nitrogen in food chain in 2005 in the province of Huang-Huai-Hai

地区 Region		北京 Beijing	天津 Tianjin	河北 Hebei	河南 Henan	山东 Shandong	黄淮海 Huang-Huai-Hai
氮素数量	秸秆 Straw	1	1.7	29	50.4	45.5	127.7
Nitrogen (×10 ⁴ t)	人粪尿 Human manure	4.3	2.9	19.3	26.4	26	78.9
	畜禽粪尿 Animal manure	6.2	5.4	80.2	92.2	90.6	274.7
	总计 Total	11.6	10	128.6	169.1	162.2	481.4
未利用氮素数量	秸秆 Straw	0.4	0.8	12.2	20.7	18.7	52.8
Unused nitrogen (×10 ⁴ t)	人粪尿 Human manure	3.1	2	9.4	12	13.7	40.1
	畜禽粪尿 Animal manure	3.6	3	41.3	44	46.6	138.4
	总计 Total	7.1	5.8	62.9	76.7	78.9	231.3
单位耕地氮素数量	秸秆 Straw	29.5	34.3	42.2	62.2	59.2	54.3
The average cropland load of nitrogen (kg/hm ²)	人粪尿 Human manure	125.8	60.5	28	32.5	33.8	33.6
	畜禽粪尿 Animal manure	181.1	111.6	116.6	113.7	117.9	116.9
	总计 Total	336.4	206.4	186.8	208.4	210.9	204.7

3 结论与讨论

3.1 黄淮海区食物链氮素养分生产与消费平衡状况及其盈缺分析

2005 年, 黄淮海区化肥氮素和食物氮素分别盈余 356.7 万 t 和 106.2 万 t, 而饲料氮素亏缺 355.2 万 t, 这部分饲料氮素需要从外地区调入, 化肥、饲料、植物食物和动物食物氮素盈缺率分别为 33%、-120%、38% 和 65%。黄淮海区历年来都是我国重要的农产品生产基地, 粮食单产持续增长, 已成为“北粮南调”的重要保障基地, 该地区的氮肥生产供应成为必要条件; 但是黄淮海区氮肥过渡生产将会给该地区能源带来压力。在经济发展和国民需求拉动下, 特别是处在京津都市圈周边, 在京津市场的拉动下, 黄淮海区畜牧业迅速发展; 但是, 本研究结果表明该区饲料资源氮量不足以供应该地区饲料的需求量, 2005 年饲料氮素需求缺口达到 436.3 万 t, 相当于 22963 万 t 玉米的缺口, 而该区 2005 年玉米产量仅为 4363 万 t。如果该地区畜牧业过渡发展必然导致该区人畜争粮现象, 而长期从其它地区调入饲料氮一方面对于运输压力增大, 同时由饲料氮转化为畜禽粪尿氮长期在该区域累积, 会造成严重的环境问题。由此可见, 氮素在区域间流动的研究对于从宏观

层面调控种植业结构、农牧结构和产业布局意义重大。

3.2 黄淮海区食物链氮素养分势、养分势差及区域养分流动的影响因素

近现代物理学创立了“场”学思维,谷树忠等把场论引入资源流动研究^[22],认为资源场势是资源流动的内在本质,资源场力是推动资源流动的本质力量,徐增让等把资源场的理论应用于我国煤炭资源在区域间的流动研究^[23]。本研究把“场”论引入养分流动研究。养分势是区域食物链养分流动的原动力,养分势 >0 ,即养分生产大于消费,说明该区域是养分输出区;养分势 <0 ,即养分生产小于消费,说明该区域是养分输入区;养分势差是两个地区食物链养分流动的最主要因素。2005年,黄淮海区化肥、饲料和食品氮素养分势分别为356.7、-436.3万t和106.2万t,是该区食物链氮素流动的原动力,该区为化肥氮素和食品氮素的输出区,饲料氮素的输入区。在黄淮海区各省之间,养分势有很大差别,导致了氮素养分在区域内各省间的流动,北京化肥、饲料和食品氮素养分势均为负值,是氮素养分输入区,也是黄淮海区各省间养分流动的主要驱动力。2005年北京市从外地区调入化肥、饲料、食品氮素分别为6.4、19.7、3.9万t。以食物氮素为例,河北省与北京食物氮素势差为34.2万t,这就意味着河北省可能成为北京的食物氮素供应基地。此外,运输距离和运价也是区域间氮素流动的影响因素。为保障化肥养分的运输,化肥铁路运输长期享受国家号外运价的优惠,而且每年化肥使用旺季,政府要求铁路部门优先安排车皮。另外,养分在区域间流动属于社会经济系统,人口数、城镇化率、耕地面积、GDP、市场价格、政府调控等也是影响食物链氮素养分在区域间流动的重要因素。

3.3 黄淮海区食物链氮素养分源汇分析及其区域间协同管理战略

区域养分流动过程中,不同区域的角色是不同的:产销盈余的区域必然要向外输出资源,该区域称为养分输出的“源”;相反,产销亏损的区域势必从区外进口养分资源,该区域称为养分“汇”;既无养分输入,也无养分输出的区,称为“无流区”。养分载体不同,其源汇关系也不同。2005年,黄淮海区是化肥、食物氮素的源,而是饲料氮素的汇。北京地区,无论化肥、饲料和食物氮素都为汇,据本研究估算,2005年北京地区单位耕地承载外地区调入的氮素养分势为 872 kg/hm^2 ,根据养分平衡原理,这些氮素养分以化肥、饲料、食品为载体进入北京地区,被作物、畜禽和人吸收利用,最终必将以人畜粪尿和生活垃圾等废弃物为载体流出整个体系,即使被作为有机肥投入农田,也远远超过了欧盟规定的农田氮素养分投入标准($145\sim 275\text{ kg/hm}^2$)^[24]。北京作为我国政治、经济、文化中心,每年有400万流动人口进入北京;而北京地区的人均食品消费量也高于全国平均水平;此外,北京地区城镇化率高达84%;这些因素势必导致北京地区各种氮素资源供不应求,而为了满足需求必须大量从外地去调入。长此以往,北京将变成大的“垃圾制造厂”。从单位耕地有机废弃物氮素养分承载量分析,北京地区为 336.4 kg/hm^2 ,远远高于黄淮海区的平均值 204.7 kg/hm^2 ,即使这些养分全部在本区域返还农田还存在很大的环境风险。因此,应该把北京做为有机废弃物氮素输出的源,促使废弃物养分商品化,并作为商品有机肥反馈到化肥、饲料、食品调入源区;而河北、山东、河南作为养分源,输出了大量的产品,为保持自然平衡,应该引进销纳北京地区的有机废弃物养分,不仅有利于环境,还可以缓解化肥和饲料需求;因此,对环北京都市圈食物链氮素养分应该进行区域间协同管理。

4 展望

养分流动分析方法作为产业生态学衍生的分析方法,能够定量表达自然与社会经济系统之间的关系,但是具体到食物链养分流动分析上,本文只是构建了一个区域食物链养分流动分析的理论框架,从食物链角度对氮素在区域间流动建模,以黄淮海区为例,对该区食物链氮素管理问题进行了探讨。由于国内对于养分在国家和区域尺度的研究起步较晚,参考文献及参数不系统,给参数的确定带来了一定困难,未来食物链区域食物链养分管理研究应该建立系统的参数数据库,进一步对参数进行校正,并进行参数的敏感度分析和模型的不确定性分析。

本文定义了养分势作为表征区域食物链养分流动驱动力的指标,可以作为区域养分规划管理的依据。但是区域尺度的食物链系统养分流动分析,属于社会经济系统,其发展的各个环节必然受到社会、经济等因素的强烈影响。由于缺乏大量的中观和微观的社会、经济实证数据来揭示食物链生产与消费各环节与所产生的自

然、经济效应的关系,因此本文对于氮素区域间流动的驱动力只是给出了一个理论指标。未来养分区域流动研究还应该考虑区域功能、地理条件、气候等自然因素和 GDP、市场价格、政府调控等社会经济因素的影响,那么分析的结果将更接近现实,更可靠。

References:

- [1] Ma W Q, Zhang F S. Nutrient Management in Human Food Chain: The Challenge for Sustainable Development of China. *Science & Technology Review*, 2008, 1: 68 — 73.
- [2] Bashkin V N, Park S U, Choi M S, Lee C B. Nitrogen budgets for the Republic of Korea and the Yellow Sea region. *Biogeochemistry*, 2002, 57/58: 387 — 403.
- [3] Boyer, Elizabethw, Christine L Goodale, Norbert A Jaworsk, Robertw. Howarth. Anthropogenic nitrogen sources and relationships to riverine nitrogen export in the northeastern U. S. A. *Biogeochemistry*, 2002, 57/58: 137 — 169.
- [4] Xing G X, Zhu Z L. Regional nitrogen budgets for China and its major watersheds. *Biogeochemistry*, 2002, 57/58: 405 — 427.
- [5] Zhu W X, Noah D. Dillard And Nancy B. Grimm. Urban nitrogen biogeochemistry: status and processes in green retention basins. *Biogeochemistry*, 2004, 71: 177 — 196.
- [6] Oenema O. Governmental policies and measures regulating nitrogen and phosphorus from animal manure in European Agriculture. *Journal Animal Sciences*, 2004, 82: 1 — 11.
- [7] Oenema O, Van Liere E, Plette S, Prins T C, Van Zeijts H, Schoumans O. Environmental effects of manure policy options in the Netherlands. *Water Science and Technology*, 2004, 49: 101 — 108.
- [8] Huang H P, Bi J, Zhang B, *et al.* A critical review of material flow analysis (MFA). *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 368 — 379.
- [9] Hou M T, Mao R Z, Wu S S. A discussion on sustainable agricultural development in the different ecological districts in Huang-Huai-Hai plain. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 20(3): 156 — 159.
- [10] Zhang S D, Zhang W F, Wang L, *et al.* The Status of Fertilizer Supply-Demand and the Strategy for Management in Huang Huai-Hai of China. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2007, 23(2): 75 — 78.
- [11] National bureau of statistics of China. *China statistics yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2006.
- [12] Editorial Department of China. *Animal Husbandry Yearbook China Animal Husbandry Yearbook*. Beijing: China Agricultural Press, 2006.
- [13] Lu R K, Shi T J. *agriculture chemistry handbook*. Beijing: Science Press, 1982.
- [14] Li J H. Estimation and Evaluation of Nutrient Flow in the Staple Grain Crop Production-Consumption System in China. Baoding: College of Resources and Environmental Sciences Agriculture University of Hebei, 2007.
- [15] Service Centre of National Agricultural Technological Popularization. *Records of Nutrients in Organic Fertilizer in China*. Beijing: China Agricultural Press, 1999.
- [16] Gao X Z, Ma W Q, Ma C B, *et al.* Analysis on the Current Status of Utilization of Crop Straw in China. *Journal of Huazhong Agricultural*, 2002, 21(3): 242 — 247.
- [17] Liu D. Evaluation of NH₃ Emission from Pig and Dairy Cow Manure in China. Baoding: College of Resources and Environmental Sciences Agriculture University of Hebei, 2007.
- [18] Wang F H. The study of Strategy base on the Nutrient Flows Analysis of China's Animal Agriculture Development. Beijing: College of Resources and Environmental Sciences China Agriculture University, 2008.
- [19] Liu X L. Nitrogen Cycling and Balance in "Agriculture-Livestock-Nutrition-Environment" System of China. Baoding: College of Resources and Environmental Sciences Agriculture University of Hebei, 2005.
- [20] Wang G Y. *China food composition 2004*. Beijing: People's medical publishing house, 2004.
- [21] Wei J, Ma L, Lu G, *et al.* The influence of urbanization on nitrogen flow and recycling utilization in food consumption system of China. *Acta Ecologica Sinica*, 28(3): 1016 — 1025.
- [22] Gu S Z. Resource Potenciality — A measure of resource spacial use. *Territory & Natural Resources Stuty*, 1993, 1: 56 — 61.
- [23] Xu Z R. Mechanism, Spatial-Temprol Process and impact of Coal Resource Flowing in China. Beijing: Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, 2007.
- [24] Third Dutch Action Programme (2004 — 2009) Concerning the Nitrates Directive; 91/676/EEC.

参考文献:

- [1] 马文奇, 张福锁. 食物链养分管理——中国可持续发展面临的挑战. *科技导报*, 2008, 1: 68 ~ 73

- [8] 黄和平,毕军,张炳,等. 物质流分析研究评述. 生态学报,2007,27(1):368~379.
- [9] 侯美亭,毛任钊,关素霞. 黄淮海平原不同生态类型区农业可持续发展策略研究. 干旱地区研究,2006,20(3):156~159
- [10] 张四代,张卫峰,王利,等. 我国黄淮海省市化肥供需状况及调控策略. 磷肥与复肥,2007,23(2):75~78.
- [11] 国家统计局,中国统计年鉴. 北京:中国统计出版社,2006
- [12] 中国畜牧业年鉴编辑委员会. 中国畜牧业年鉴·2005. 北京:中国农业出版社,2006
- [13] 鲁如坤,史陶钧. 农业化学手册. 北京:科学出版社,1982.
- [14] 李建辉. 中国主要粮食作物生产——消费体系养分流动分析与评价研究. 保定:河北农业大学资源与环境学院,2007.
- [15] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分资源. 北京:中国农业出版社,1999.
- [16] 高祥照,马文奇,马常宝,等. 中国作物秸秆资源利用现状分析. 华中农业大学学报,2002,21(3):242~247.
- [17] 刘东. 中国猪和奶牛粪尿 NH_3 挥发的评价研究. 保定:河北农业大学资源与环境学院,2007.
- [18] 王方浩. 基于养分流动分析的中国畜牧业发展战略研究. 北京:中国农业大学资源与环境学院,2008.
- [19] 刘晓利. 我国“农田-畜牧-营养-环境”体系氮素养分循环与平衡. 保定:河北农业大学资源与环境学院,2005.
- [20] 王光亚主编. 中国食物成分表 2004. 北京:人民卫生出版社,2004.
- [21] 魏静,马林,路光,等. 城镇化对中国区域土壤氮素流动及其环境效应的影响. 生态学报,28(3):1016~1025.
- [22] 谷树忠. 资源势——资源空间利用的测度. 国土与自然资源研究,1993,1:56~61.
- [23] 许增让. 中国煤炭资源流动的机理、过程及效应研究. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所,2007.