

城镇化对我国食物消费系统氮素流动 及循环利用的影响

魏 静, 马 林, 路 光, 马文奇*, 李建辉, 赵 路

(河北农业大学资源与环境科学学院, 河北 保定 071001)

摘要:城镇化的快速发展,在改变养分氮素流动模式的同时带来了巨大的生态环境压力和严重的污染问题。以 1982 年、1992 年和 2002 年我国城镇与农村居民食物消费系统氮素流动为对象,采用物质流分析方法,探讨了城镇化对氮素流动特征及循环利用的影响。结果表明:2002 年我国城镇居民人均消费氮量为 4.770kg,高于农村居民(4.314kg)10%。1982 年到 2002 年,随着城镇化率的提高,城镇居民消费的食物氮提高了 145.3%,农村减少了 8.1%;城镇排入水体环境的氮增加了 18.4 倍,而氮素循环利用率只有 13.0%,降低了 40 个百分点。情景分析结果表明,如果在人口增加的同时,食物结构达到国家营养纲要的标准,到 2010 年我国植物性氮消费量比 2002 年将增多 142.3 万 t,增加了 37.6%,动物性氮消费量将增多 53.8 万 t,增加了 27.1%,城镇产生的粪尿和垃圾中氮将增加 126 万 t。因此,伴随城镇化快速发展,在带来食物氮素需求和环境排放氮素大幅度增加的同时,也会对动植物生产带来巨大压力。

关键词:城镇化;氮素流动;循环利用率;中国

文章编号:1000-0933(2008)03-1016-10 中图分类号:F205 文献标识码:A

The influence of urbanization on nitrogen flow and recycling utilization in food consumption system of China

WEI Jing, MA Lin, LU Guang, MA Wen-Qi, LI Jian-Hui, ZHAO Lu

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

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 1016 ~ 1025.

Abstract: The fast development of urbanization has brought the huge ecological pressure and serious environmentally pollution by changing nitrogen flux pattern. This article studied the nitrogen flux characteristics in food consumption system of household between the rural and the urban inhabitants of China in 1982, 1992, 2002 and explored the influence of urbanization on nitrogen flux and utilization by recycling through the material flow analysis method. The results showed that the average nitrogen consumption per capita of urban inhabitants in 2002 was 4.770kg, which was higher 10% than that of the rural inhabitants (4.314kg). From 1982 to 2002, nitrogen consumption with food by the urban inhabitants was increased by 145.3%, but reduced by 8.1% by the rural. With urbanization in china as meantime, the nitrogen dispersed into the water body from urban households in 2002 was increased by 18.4 times as much as that in 1982. In 1982, the difference in nitrogen recirculation ratio between urban and rural household was not big and both ratio were above 50%, but

基金项目: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:2007-08-11; **修订日期:**2008-01-20

作者简介:魏静(1963~)女,河北赵县人,博士生,副教授,主要从事养分资源管理研究. E-mail: weijing_199@163.com

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

Foundation item: The project was financially supported by NSFC project(No. 30571087) and "948" project from Ministry of Agriculture (No. 2006-G60)

Received date: 2007-08-11; **Accepted date:** 2008-01-20

Biography: WEI Jing, Ph. D. candidate, Associate professor, mainly engaged in nutrient cycling and balance of China. E-mail: weijing_199@163.com

in 2002, nitrogen recirculation ratio in urban reduced to 13.0%, which was lower 40 percentage points compared to that of the rural. It was indicated that the nitrogen utilization by recycling would decrease significantly with increase of the urbanization ratio and the change of lifestyle.

The scenario analysis showed that nitrogen consumption in 2010 will be increased by 37.6% (net increase of 1.423 million tons) through plant produce, and by 27.1% (net increase of 538000 tons) through animal husbandry over 2002, if food constitute for chinese reaches the standard issued by National Nutrition Council. At same time, the nitrogen in urban waste and garbage in 2010 will increase by 1.26 million tons, compared to 2002. Therefore, the fast development of urbanization can not only results in large scale increase of nitrogen flux and environmental emissions, but also lead the huge pressure to the animal and crop production.

Key Words: urbanization; nitrogen flux; recycling; China

随着经济的发展,我国城镇化水平快速提高,从 1980 年的 19.4% 提高到 2004 年的 41.8%, 而到 2010 年将达到 47%^[1]。大量研究表明,城镇化的快速发展,将带来巨大的生态环境压力和污染问题^[2~4],特别是由于生活方式的改变而引起的水体富营养化^[5,6]。这一问题引起了人们广泛关注^[7],并逐渐形成城市生态学等学科研究领域^[8,9]。氮素作为食物蛋白质的重要成分,随着食物生产和消费而流动,其流动模式和流量与生态环境质量密切相关^[10]。伴随我国城镇化的发展,氮素流动变化带来的生态环境问题已经显现,如东部发达地区河水中由于高浓度的氨氮引起了严重的水体富营养化问题,是未经处理的人畜排泄物及生活污水的大量排放造成的^[11],但仍然缺乏全国尺度的定量研究。为此,本文采用物质流分析的方法,通过比较不同年代农村和城镇食物消费氮素的流动特点,初步探讨城镇化对我国氮素流动及循环利用的影响,为解决城镇化过程中的生态环境问题提供依据。

1 研究方法

1.1 研究对象

本文构建了与家庭食物消费有关的氮素流动和去向的基本模式(图 1),并以此模式为基本模板,分别分析了农村居民家庭和城镇居民家庭的氮素流动状况,进而探讨城镇化对氮素流动及循环利用的影响。

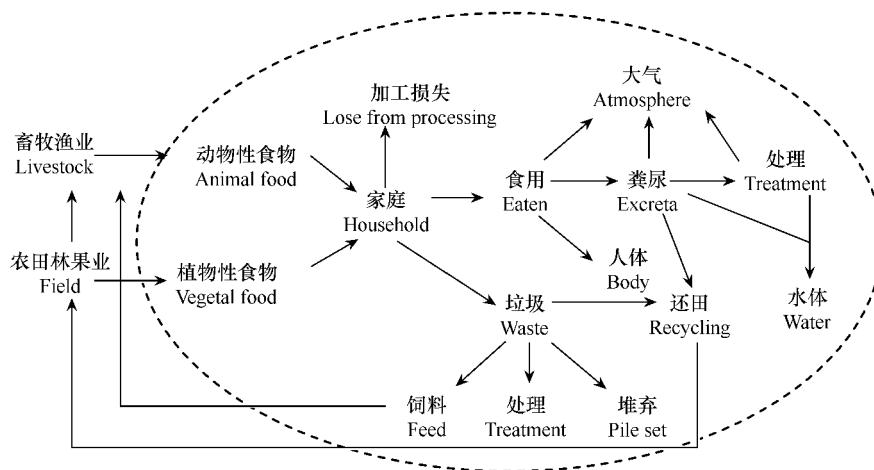


图 1 居民家庭食物消费和环境系统氮素流动模式

Fig. 1 The nitrogen flow model in food consumption and environment system

1.2 数据来源

1982 年、1992 年和 2002 年城镇和农村居民食物消费结构,2002 年大城市、中小城市、一类农村、二类农

村、三类农村、四类农村共 6 类地区居民食物消费结构数据来源于中国居民营养与健康状况调查之二^[12];各种食物氮素含量参数和去向比例来源于文献资料^[13,14]及实地调查。

1.3 计算方法

根据家庭食物消费特点,在食物消费体系中,输入项主要是食物,输出项主要为食用、加工损失、厨余垃圾等。

1.3.1 居民家庭食物消费氮量的计算

氮的输入主要来自食物消费,食物消费氮量与人口数量、食物消费结构、食物的氮素含量等有关。人均食物消费氮量和总消费氮量的计算公式如下:

$$N_p = \sum (C_i \times N_i) \quad (1)$$

$$N_t = N_p \times P/1000 \quad (2)$$

式中, N_p ,人均消费氮量(kg/人); i ,食物种类; C_i , i 种人均食物消费量(kg); N_i ,食品中氮含量,来源于文献^[14]; N_t ,总消费氮量(万 t); P ,人口数(万人)。

1.3.2 食物氮素去向

进入家庭的食物氮逐级分配最终流向环境(图 1),即每一级氮都有几个去向,而每个去向里面又分成下一级的几个去向,例如食物氮有食用、厨余垃圾、加工损失等去向,而其中食用氮又可进一步分为大气损失、粪尿、人体吸收等去向;某个去向(如粪尿氮)的数量与其上一级氮量(如食用氮)及其分配比例(如粪尿氮占食用氮的比例)有关。因此,某一氮素去向的计算公式如下:

$$N_k = N_j \times R_k \quad (3)$$

式中, N_k 是第 k 去向的氮素数量, N_j 是 k 去向上一级的氮素数量; R_k ,是 N_j 向 k 去向的分配比例, $\sum R_k = 100\%$ 。

食物氮具体比例通过调查与查阅文献获得^[14,15]。各类食品中食用占 85%~90%,厨余 4%~5%,加工损失 6%~10%,食用氮大约 2%被保存在人体,88%通过粪尿排出,7%进入大气^[16],其它占 3%。粪尿中的氮约 25%进入大气,城镇粪尿氮除部分还田外,通常通过“厕所-化粪池-城市下水道”系统直接排入水体和进入污水处理厂处理,农村粪尿氮还田率在 60%以上^[17],其余进入大气和水环境^[18~21],城镇农村粪尿还田率、垃圾处理率、污水处理率见表 1。城市的厨余等废物进入生活垃圾,目前我国城市垃圾的主要处理方式包括堆置、集中处理(填埋、堆肥处理、焚烧处理)^[15,21,22],1982 年、1992 年和 2002 年农村厨余垃圾的具体去向因无相关统计,在此以 50%做饲料、25%作堆肥、25%作堆置来考虑,垃圾处理方式见表 2。

表 1 1982、1992、2002、2010 年城镇农村粪尿还田率、垃圾处理率、污水处理率^[15,17,18~22]

Table 1 The field rate,garbage processing rate ,sewage processing rate of urban and rural in 1982, 1992, 2002, 2010

城乡类别 Item	年份 Year	粪尿还田率(%) Field rate	垃圾处理率(%) Garbage processing rate	污水处理率(%) Sewage processing rate
城镇 Urban	1982	90	2.0	2.0
	1992	50	28.3	8.0
	2002	20	54.2	22.3
	2010	10	60.0	60.0
农村 Rural	1982	90	—	—
	1992	80	—	—
	2002	70	1	1
	2010	60	2	2

1.3.3 城镇化发展对食物氮需求和循环利用影响的情景分析

以 2002 年城镇化率(39%)、人口(12.8 亿)与食物结构(2002 年营养调查的数据)作为对照情景(S1),在假设 2010 年城镇化率达到 47%^[1]、人口数量达到 13.65 亿基础上,将城镇化发展分成 4 种不同情景:(S2)

2010 年仍保持目前食物结构;(S3)食物结构达到中国食物与营养发展纲要^[24]中的食物消费数量要求;(S4)走大城市优先发展道路:人口比例按大城市 28%、中小等城市 14%、镇 5%、农村 53%^[25],而食物结构按照 2002 年营养调查数据;(S5)走小城市优先发展道路:人口比例按大城市 12%、中小城市 19%、镇 16%、农村 53%^[24],食物结构按照 2002 年营养调查数据。

在上述 5 种情景下,分析食物氮素消费和循环状况。其中食物氮素消费是根据各种情景下食物结构和人口按照公式 1 和 2 计算得来;氮素总产生量主要包括粪尿氮和垃圾氮;循环利用氮包括还田和饲用氮,循环利用率是采用循环利用氮占食物消费总氮量的百分比来计算。

2 结果与分析

2.1 城镇和农村膳食消费中氮素的差异

2.1.1 我国城镇和农村居民平均膳食及其氮素消费比较

我国居民传统的膳食结构是以谷物为主,加以适量的蔬菜和少量的肉类食物(猪肉为主)。改革开放 20 年来,随着我国国民经济的持续健康发展,这种传统的膳食模式正在改变,表现在谷类食物的摄入量在迅速的减少,肉类食物的摄入量在迅速的增加(表 3)。肉类食品中,我国居民以猪肉消费为主,占总消费量的 42%~46%,牛羊肉、鸡鸭肉、鱼及水产品消费量的总和仅仅占到 54%~58%。城镇居民谷类食物消费量 20a 间下降了 25.4%,动物性食品增加了 126.4%,农村居民谷类食物消费量 20a 间下降了 27.7%,动物性食品增加了 202.2%。农村居民动物性食品消费增加的比例虽然比城镇居民高很多,但是其人均消费数量仅仅是城镇居民的 37.3%~49.8%,与城镇居民的消费量还有很大的差距。可见,城镇化的发展将大大增加动物性食品的消费比重。

表 3 1982 年、1992 年和 2002 年平均每人每年主要食物消费量(kg)

Table 3 Quantities of food consumption per capita per year of China in 1982, 1992 and 2002

食物 Food	城镇 Urban			农村 Rural		
	1982	1992	2002	1982	1992	2002
大米 Rice	79.21	81.40	79.57	79.21	93.44	89.79
面粉 Flour	79.57	60.23	48.18	64.61	68.99	52.56
其它谷类 Other cereals	8.76	6.21	5.84	50.01	14.97	9.49
薯类 Potatoes	24.09	16.79	11.68	83.22	39.42	20.44
猪肉 Pork	13.58	22.12	23.00	5.04	8.30	15.11
牛羊肉 Flocks and herds	3.39	5.53	5.75	1.26	2.10	3.78
鸡鸭肉 Chicken and duck	5.66	9.22	9.58	2.10	3.50	6.30
鱼及水产品 Aquatic product	8.03	16.06	16.43	2.56	6.94	8.76
蛋类 Egg	5.84	10.59	12.05	1.46	3.29	7.30
牛奶 Milk	3.65	13.14	24.09	2.56	1.46	4.02
大豆及制品 Soya product	5.11	4.75	5.85	4.75	3.65	5.85
蔬菜 Vegetable	110.23	116.44	91.98	117.53	112.06	104.39
水果 Fruit	24.82	29.20	25.19	8.76	11.68	13.14

数据来源:中国居民营养与健康状况调查报告 2002

食物消费的变化也带来氮素摄入数量和来源结构的改变。从不同年代城镇和农村居民氮素消费情况(表 4)可以看出,2002 年与 1992 年、1982 年相比,氮素总消费量城镇增加了 49.9% 和 145.3%,农村氮素总消费量变化不大,2002 年与 1992 年基本持平,与 1982 年相比减少了 8.1%。农村与城镇相比,1982 年农村消费的食物中的总氮是城市 3.8 倍,1992 年为 2.3 倍,2002 年减少为 1.4 倍。这和城镇化率及人民生活水平的提高是分不开的。

表 4 1982、1992 和 2002 年中国城镇与农村居民氮素消费量的比较

Table 4 The nitrogen consumed by urban and rural residents of China in 1982, 1992 and 2002

年份 Year	城镇 Urban		农村 Rural	
	总氮量(×万 t) Total N quantity	人均氮量(kg) N kg per capita	总氮量(×万 t) Total nitrogen quantity	人均氮量(kg) N kg per capita
1982	97.65	4.632	367.13	4.604
1992	159.74	4.965	369.69	4.349
2002	239.51	4.770	337.53	4.314

从城镇和农村居民人均消费氮量看,2002 年城镇居民人均消费氮量与 1992 年相比略有下降,但与 1982 年相比有所上升。2002 年农村居民与 1992 年相比变化不大,与 1982 年相比有所下降。下降的主要原因是我国居民近 20a 谷类食物的消费量明显下降,而使居民植物性氮的消费量下降。在经济转型国家均有相同的趋势,而在发展中国家和工业化国家呈持续上升的趋势^[26]。城镇和农村居民人均消费氮量相比,1982 年两者相差无几,而到了 1992 年和 2002 年,城镇高于农村分别为 14.1%、10.6%,主要原因是城镇居民谷类的摄入量在迅速的减少,肉类的摄入量在迅速的增加。随着城镇居民生活条件的改善,来源于动物性食物氮占总输入氮的比例由 1982 年、1992 年的 23.4%、38.4% 上升到 2002 年的 43.4%,20a 上升了 20 个百分点。农村居民的生活条件较城镇居民存在一定的差距,1982 年、1992 年和 2002 年来源于谷类食物的氮比例分别占 91.8%、83.7% 和 72.0%,来源于动物性食物的氮仅仅占到 8.2%、16.3% 和 28.0% (图 2)。

2.1.2 不同城乡居民食物氮素消费的比较

城市规模和农村富裕程度也影响食物氮素消费。表 5 是根据食物消费数量计算的人均消费氮量,结果表明,人均消费氮量大城市最高,中小城市 and 一类农村其次,三类农村再次,二类、四类农村最低,其中大城市人均氮素消费数量比农村高出 9.4%~21.6%,比中小城市高 7.5%。但从氮素消费总量看,中小城市和二类农村在我国还仍然是氮素消费的主体,两者之和达到全国总量的 56.8%。

表 5 2002 年 6 类地区居民氮素消费情况

Table 5 Nitrogen consumption by different residents in 2002

类型 Type	人均氮量 N kg per capita(kg)	消费总氮量 Total N quantity(10000t)(×万 t)
大城市 Big city	5.002	56.48
中小城市 Small and medium city	4.651	123.19
一类农村 The first type countryside	4.572	87.80
二类农村 The second type countryside	4.194	199.70
三类农村 The third type countryside	4.459	43.99
四类农村 The fourth type countryside	4.112	57.52

2.2 城镇和农村居民氮素流动去向的比较

2.2.1 城镇和农村居民食物消费氮的流动去向

本研究计算的城镇和农村居民食物消费氮的流动去向见表 6。就城镇而言,2002 年比 1982 年、1992 年食用的氮分别增加了 142.1%、62.0%,加工损失与垃圾中的氮绝对数量上虽然增加不多,但也分别增加了 170.7%、53.1%,足以引起人们的重视。可见,随着食物消费结构变化,城镇食用、加工损失及垃圾中的氮都

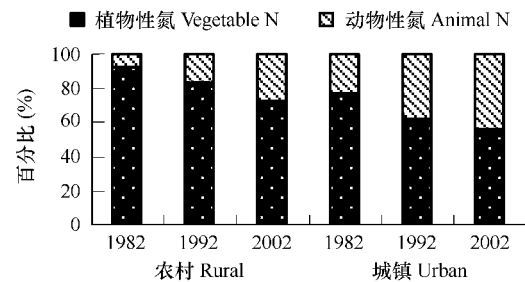


图 2 城镇和农村居民来源于植物与动物性食物的氮素比例

Fig. 2 Nitrogen ratio of the cereal and the animal food consumed by urban and rural inhabitants

将增加;而农村食用中的氮有所减少,加工损失、垃圾中的氮变幅不大。

表 6 1982、1992 和 2002 年进入城镇与农村家庭居民食物氮的流动去向(×万 t)

Table 6 Nitrogen flow in urban and rural food consumption system in 1982,1992 and 2002

城乡类别 Item	年份 Year	食用 Eaten	加工损失 Loss	垃圾 Waste
城镇 Urban	1982	86.95	5.70	5.00
	1992	140.82	10.45	8.47
	2002	210.54	16.19	12.77
农村 Rural	1982	330.06	18.86	18.21
	1992	330.54	20.39	18.76
	2002	299.64	20.46	17.43

2.2.2 城镇和农村家庭食用氮的流动去向

从表 7 可以看出,随着城镇居民生活水平的提高,城镇居民人体吸收、进入大气及水环境中的氮都在增加,尤其是进入水环境中的氮增加了 18.4 倍。1982 年、1992 年从城镇家庭系统排出的氮约有 6%、29% 进入水环境,而 2002 年从城镇家庭系统排出的氮约有 44% 进入水环境。2002 年还田的氮比 1982 年、1992 年分别减少 39%、9%,20a 减少了 20.0 万 t。2002 年农村家庭系统排出的氮有 19% 左右进入水环境,45% 左右还田利用,还田的氮 2002 年比 1982 年减少了 53.4 万 t,进入大气环境的氮有 35%,其余 1% 堆置、做饲料。

表 7 1982、1992 和 2002 年城镇与农村食用氮的主要流动去向(×万 t)

Table 7 Nitrogen fate from eaten food in urban and rural area in 1982,1992 and 2002

城乡类别 Item	年份 Year	水环境 Water	大气 Atmosphere	还田 Recycling	吸收 Absorb
城镇 Urban	1982	5.71	30.93	51.68	1.74
	1992	45.54	51.57	46.89	2.82
	2002	104.97	79.55	31.69	4.21
农村 Rural	1982	21.73	114.59	200.63	6.60
	1992	43.52	116.27	179.26	6.61
	2002	59.18	107.40	147.20	5.99

2.2.3 城镇和农村家庭食物垃圾中氮的流动去向变化

从表 8 可以看出,城镇食物垃圾填埋、焚烧及堆肥的氮都在提高,2002 年填埋、堆肥的氮分别是 1982 年的 104 倍和 62 倍,用作饲料的氮也增加了 3 倍多;同时堆置的氮也在增加,2002 年比 1982 年增加了 49.9%。2002 年比 1982 年农村食物垃圾中饲用和堆置的氮量都有所减少。

表 8 1982、1992、2002 年城镇和农村家庭食物垃圾中氮的流动去向(×万 t)

Table 8 Nitrogen fate from food rubbish in urban and rural area of 1982,1992,2002

城乡类别 Item	年份 Year	饲料 Feed	堆置 Pile set	填埋 Landfill	焚烧 Burn	堆肥 Compost
城镇 Urban	1982	0.25	4.66	0.08	0.00	0.01
	1992	0.46	6.08	2.45	0.00	0.13
	2002	0.86	6.98	8.31	0.33	0.62
农村 Rural	1982	9.12	4.56	—	—	4.56
	1992	9.42	4.71	—	—	4.71
	2002	8.77	4.39	—	—	4.39

2.2.4 城镇和农村居民氮素循环利用的差异

从全国看,2002 年还田氮比 1982 年减少 73.4 万 t(表 7),说明氮素循环利用率下降了。2002 年城镇氮循环利用率仅为 13.0%,农村氮循环利用率 2002 年与 1982 年相比也下降了 12 个百分点,1982 年城镇和农村的氮循环利用率相差不大,到 1992 年城镇比农村低 21 个百分点,而到了 2002 年氮循环利用率差距更加明显,城镇比农村要低 32 个百分点(表 9)。可见,目前随着城镇化率提高及人们生活方式的改变,氮循环利用

率将大幅度下降。

表 9 1982、1992、2002 年城镇与农村家庭氮的循环利用率

Tabal 9 Nitrogen circulation utilization ratio of urban and rural area in 1982, 1992, 2002

年份 Year	城镇氮循环利用率(%) Nitrogen circulation utilization ratio of urban	农村氮循环利用率(%) Nitrogen circulation utilization ratio of rural
1982	53.2	57.1
1992	29.6	51.0
2002	13.0	44.9

2.3 城镇化发展对氮素流动数量及其循环利用的影响

2.3.1 不同情景下动植物氮素的消费数量

图 3 表明,与 2002 年对照(S1)相比,2010 年如果食物结构不变,只是人口增加(S2, S4, S5),氮的需求总量将增加 37 到 99 万 t;如果在人口增加的同时还要改善食物结构,达到国家营养纲要的标准,则植物性氮消费量增多 142.3 万 t,增加了 37.6%,动物性氮消费量增多 53.8 万 t,增加了 27.1%,增加的植物性氮相当于 7115 万吨面粉,增加的动物性氮相当于 33228 万头猪。在食物结构和人口增加相同下,发展中小城市(S5)比发展大城市(S4)氮的需求总量要少 60 万 t 左右。可见,提高城镇化率、改善食物结构及发展大城市等均会增加食物氮的消费,进而对动植物生产带来压力。

2.3.2 不同情景下氮素产生和循环利用状况

从表 10 可以看出,与 2002 年对照(S1)相比,2010 年如果食物结构不变,只是人口增加(S2, S4, S5),氮的总产生量将增加 42~101 万 t,而城镇氮素产生量增加 64~123 万 t,高于总产生量,按照目前的氮素去向比例,循环利用氮的数量要减少 17~31 万 t,没有循环也就是需要处理的氮量增加 59~125 万 t。如果在人口增加的同时还要改善食物结构,达到国家营养纲要的标准(S3),则总产生量要增加 179 万 t,其中城镇增加 126 万 t;没有循环利用的氮增加 167 万 t。无论那种情景,氮素循环利用率都下降 5~7 个百分点。优先发展大城市(S4)氮素产生量高于优先发展中小城市(S5),但不同类型城市需要负担的待处理氮量差异很大(图 4),对城镇建设中污水和垃圾处理都将带来巨大的压力。

表 10 不同情景下氮素产生及其循环利用状况

Table 10 Nitrogen in excreta and waste and its recycling ratio in 2010 at different scenario

情景 Scenario	总产生量(×万 t) Nitrogen in excreta and waste	城镇产生量(×万 t) Nitrogen in excreta and waste from urban	循环的数量(×万 t) Recycled Nitrogen	没有循环的数量(×万 t) Non-recycled Nitrogen	循环利用率(%) N recycling ratio
S1	484	202	184	300	31.7
S2	530	270	153	377	24.2
S3	663	328	196	467	24.7
S4	585	325	160	425	23.4
S5	526	266	167	359	27.1

3 讨论

城镇化对养分流动的影响主要表现在以下几个方面。首先,城镇化改变食物养分消费的空间位置,增加城市养分负荷。从本文情景分析结果可以看出,2010 年城镇氮素产生量将大幅度增加,其中情景 3(S3)是营

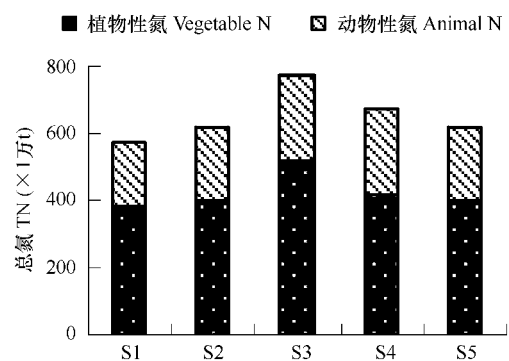


图 3 不同情景下需求动物性氮植物性氮比较

Fig. 3 Nitrogen of the cereal food and the animal food consumption in different scenario

养纲要规划的目标,也是最可能实现的,这一情景仅城市产生氮比 2002 年就要增加 126 万 t(图 4),这一数量分别相当于 2002 年总产生氮量和城市产生氮量的 26% 和 62%。还有一个典型例子是流动人口的影响,按照本文农村居民人均氮素消费数量 4.314kg(表 4)估算,每年 1 亿农村流向城市的人口消费的氮量将达到 430 万 t,排放的氮量也接近 400 万 t,相当于我国氮肥生产量的十分之一;不但减少了农田氮素投入量,也对城镇污水和垃圾处理带来巨大的压力。其次,城镇化改变食物消费结构,增加养分需求并对动植物生产带来压力^[10]。从本文结果可以看出,农村和城市食物消费结构存在巨大差异,2002 年人均食物消费氮城镇居民高出农村居民大约 10%,特别是动物性氮,增加更多。通常,消费 1kg 鸡肉,意味着要消费 2kg 粮食;消费 1kg 猪肉,要消费 4kg 粮食,这也使得对粮食的需求不断增长^[27];同样是情景 3(S3)的结果,植物性氮消费量增多 142.3 万 t,增加了 37.6%,动物性氮消费量增多 53.8 万 t,增加了 27.1%,增加的植物性氮相当于 7115 万 t 面粉,增加的动物性氮相当于 33228 万头猪。另外还有一个很重要的影响是城镇化改变养分流动去向^[10],降低养分循环利用率,增加环境养分排放。本文结果表明,2002 年城镇氮素养分循环利用率比农村低近 32 个百分点。可见,在城镇化过程中必然带来氮素养分的大量产生和排放,而由于我国城镇污水和垃圾处理率较低^[21,22],这些氮素将直接排入水体和大气而产生环境污染。我国从 1982 年到 2002 年进入水环境中的氮增加了 18.4 倍和近年来城镇污水对水体污染贡献上升也说明了这一点。因此,在我国城镇化进程不可逆转的情况下,研究城镇化过程中养分流动变化规律、食物结构优化途径以及家庭食物消费后养分去向的调控措施等已经成为急需开展的重要工作。

家庭系统本身是一个自然、经济和社会子系统的有机复合体,其氮素流动过程也十分复杂并受到社会、经济和文化的影响。养分流动估算中涉及的参数繁多,同时参数的来源也很广泛,这给参数的确定带来了一定困难。本研究虽然尽量采用较权威的数据来源,但仍存在一些不确定性,比如,农村家庭垃圾的去向参数缺失,本文不得不按照饲料 50%、堆肥 25% 和堆置 25% 进行估计。

References:

- [1] Zhang Y L. Expert's interview of China's urbanization problem: The urbanization is not the sooner the better. *Guangming Daily*, 2006, 3. 27.
- [2] Shen Q J. City environment. In: Shen Q J ed. *City ecology and environment*. Shanghai: Tongji University Press, 1998. 234—238.
- [3] Jiang A L. The development and ecological environment construction of cities and towns. *China Geology & Mining Economic*, 2001, 5: 14—20.
- [4] Chen C D, Bao S X. Urbanization in China and the trends of its development. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 14(1): 84—89.
- [5] Valiela I and Bowen J L. Nitrogen sources to watersheds and estuaries: role of land cover mosaics and losses within watersheds. *Environmental Pollution*, 2002, 118: 239—248.
- [6] Vaalgamaa S. The effect of urbanisation on Laajalahti Bay, Helsinki city, as reflected by sediment geochemistry. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 48: 650—662.
- [7] Liu J G, Daily G C, Ehrlich P R, *et al.* Effects of household dynamics on resource consumption and biodiversity. *Nature*, 2003, 421(30): 530—532.
- [8] Yan S Y. Analyses and exploration to contents, definition and methods of urban ecology study. *Ecological Science*, 2001, 20(11): 96—105.
- [9] Wu Q, Wang R S, Li H Q, *et al.* The indices and the evaluation method of eco-city. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2090—2095.
- [10] Ma W Q, Ma L, Li J H. Nutrient resource comprehensive management and social development. In: Zhang F S ed. *Introduction to the theory and technology of integrated nutrient resource management of China*. Beijing: China Agricultural University Press, 2006. 298—306.
- [11] Xiong Z Q, Xing G X, Shen G Y, *et al.* Non-Point Source N Pollution of Lakes, Rivers and Wells in the Taihu Lake Region. *Rural Eco-*

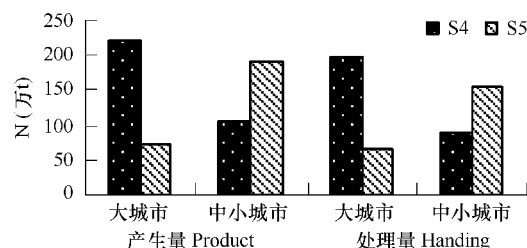


图 4 不同城市发展模式下 2010 年氮素产生量和需要处理量
Fig. 4 Forecasted nitrogen in excreta and waste at different scale of city in 2010

Environment, 2002, 18(2): 29—33.

- [12] Zhai FY, Yang XG, He Y N, *et al.* Average intaking amount of all kinds of food of Chinese urban and rural residents. In: Zhai FY ed. Chinese residents nutrition and health survey report 2002. Beijing: People's Medical Publishing House, 2006. 101—104.
- [13] Yang Y X, He M, Pan X Ch, *et al.* Food Composition. In: Yang Y X ed. China Food Composition 2004. Beijing: Peking University Medical Press, 2005. 75—217.
- [14] Xu S W. Food consumption and waste analysis in China. Food and Nutrition in China, 2005, (11): 4—8.
- [15] Li J, Hua L, Wang X J. The Analyzed and Compared About Disposal Status of Urban Domestic Garbage at Home and Aboard. Journal of Capital Normal University, 2004, (3): 73—80.
- [16] Liu X L, Xu J X, Wang F H, *et al.* Estimation parameters of nitrogen balance in stock farming system of China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(3): 417—423.
- [17] Chen Z L, Tang Y Z. Study on sustainable use of urban night-soil in China. Urban Environment and Urban Ecology, 1999, 12(2): 42—45.
- [18] State Environmental Protection Administration. Urban sanitary sewage disposal situation. In: State Environmental Protection Administration ed. China's environmental annual report 2002. Beijing: Environmental Science Press, 2003. 15—20.
- [19] State Environmental Protection Administration. Environmental state. In: State Environmental Protection Administration ed. China's environmental situation bulletin. Beijing: Environmental Science Press, 2003. 30—32.
- [20] Chen N W, Zhang L P, Hong H S, *et al.* Estimates of household wastewater loads from Jiulong river watershed. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2004, 8(43): 249—252.
- [21] Wang J Q, Wang Y B, Xue J R, *et al.* Discharge&disposal status on domestic garbage and sewage in countrysides. Chinese Journal of Public Health Engineering, 2004, (4): 202—204.
- [22] Le X Q, Zhang Y Y. The probe of ecological pathway of refuse from urban sources. Journal of Hubei University(Natural Science), 1994, 16(2): 220—224.
- [23] Du W P, Gao Q X, Zhang E S, *et al.* The Treatment and Trend Analysis of Municipal Solid Waste in China, Research of Environmental Sciences, 2006 19(5): 115—120.
- [24] Office of the State Council. China food and nutrition development program (2001—2010). Acta Nutrimenta Sinica, 2002, 24(4): 337—341.
- [25] Cai J M. Speeds up the urbanized advancement take the big city as the backing. People's Political Consultative Conference Newspaper, 2005, (2005/07/18)
- [26] White I R. The level of alcohol consumption at which all-cause mortality is least. J Clin Epidemiol, 1999, 52: 967—975.
- [27] Ren X Q. On the security of food supply in China. Journal of China Agricultural University(Social Sciences Edition), 2006, (1): 44—48.

参考文献:

- [1] 张玉玲. 中国城镇化问题专家访谈: 城镇化不是越快越好. 光明日报, 2006, 3. 27
- [2] 沈清基. 城市环境. 见沈清基主编: 城市生态与城市环境. 上海: 同济大学出版社, 1998. 234~238.
- [3] 姜爱林. 城镇化发展与城镇生态环境建设研究. 中国地质矿产经济, 2001, (5): 14~20.
- [4] 陈昌笃, 鲍世行. 中国城市化及其发展趋势. 生态学报, 1994, 4(1): 84~90.
- [8] 阎水玉. 城市生态学学科定义、研究内容、研究方法的分析与探索. 生态科学, 2001, 20(11): 96~105.
- [9] 吴琼, 王如松, 李宏卿, 等. 生态城市指标体系与评价方法. 生态学报, 2005, 25(8): 2090~2095.
- [10] 马文奇, 马林, 李建辉, 等. 养分资源综合管理与社会发展. 见张福锁主编: 养分资源综合管理的理论与技术概论. 北京: 中国农业大学出版社, 2006. 298~306.
- [11] 熊正琴, 邢光熹, 沈光裕, 等. 太湖地区湖、河和井水中氮污染状况的研究. 农村生态环境, 2002, 18(2): 29~33.
- [12] 翟凤英, 杨晓光, 何余纳, 等. 中国城乡居民各类食物平均摄入量. 见: 翟凤英主编: 中国居民营养与健康状况调查报告 2002. 北京: 人民卫生出版社, 2006. 101~104.
- [13] 杨月欣, 何梅, 潘兴昌, 等. 食物成分表. 见: 杨月欣主编: 中国食物成分表 2004. 北京: 北京大学医学出版社, 2005. 75~217.
- [14] 许世卫. 中国食物消费与浪费分析. 中国食物与营养, 2005, (11): 4~8.

- [15] 李晶,华璐,王学江. 国内外城市生活垃圾处理的分析与比较. 首都师范大学学报(自然科学版), 2004, (3): 73 ~ 80.
- [16] 刘晓利,许俊香,王方浩,等. 畜牧系统中氮素平衡计算参数的探讨. 应用生态学报, 2006, 17(3): 417 ~ 423.
- [17] 陈朱蕾,唐赢中. 中国城市粪便的可持续利用研究. 城市环境与城市生态, 1999, 12(2): 42 ~ 49.
- [18] 国家环境保护总局. 城镇生活污水处理情况. 见:国家环境保护总局主编:中国环境统计年报. 2002. 北京: 环境科学出版社, 2003. 15 ~ 20.
- [19] 国家环境保护总局. 环境状况. 见:国家环境保护总局主编:中国环境状况公报. 2002. 北京: 环境科学出版社, 2003. 30 ~ 32.
- [20] 陈能汪,张璐平,洪华生,等. 九龙江流域农村生活污水污染定量研究. 厦门大学学报, 2004, 8(43): 249 ~ 252.
- [21] 王俊起,王友斌,薛金荣,等. 乡镇生活垃圾与生活污水排放及处理现状. 中国卫生工程学报, 2004, (4): 202 ~ 204.
- [22] 乐晓虬,张延毅. 城市生活垃圾生态去向的探讨. 湖北大学学报(自然科学版), 1994, 16(2): 220 ~ 224.
- [23] 杜吴鹏,高庆先,张恩琛,等. 中国城市生活垃圾处理及趋势分析. 环境科学研究, 2006, 19(5): 115 ~ 120.
- [24] 国务院办公厅. 中国食物与营养发展纲要. 营养学报, 2002, 24(4): 337 ~ 341.
- [25] 蔡继明. 以大城市为依托加快城市化进程. 人民政协报, 2005, (2005-07-18)
- [27] 任雪琴. 浅析我国的粮食安全问题. 中国农业大学学报(社会科学版), 2006, (1): 44 ~ 48.