

中国农村居民生活源氮素流动数据集（2000–2020）

赵永强^{1*}, 田冬², 刘伟³

1. 郑州师范学院地理与旅游学院, 郑州 450044;
2. 南京大学城市规划设计研究院有限公司, 南京 210093;
3. 郑州师范学院经济与管理学院, 郑州 450044

摘要: 基于 2000–2020 年中国农村的基本信息数据, 通过物质流分析方法, 量化和评估了氮素在中国农村居民生活系统中的输入输出及其环境影响, 整理计算得到中国农村生活源氮素流动特征的数据集。该数据集内容包括: 2000–2020 年中国农村家庭食物、工业日用品和生活燃料消费氮量及其输入路径, 活性氮排放特征, NH_3 挥发, NO_x 和 N_2O 的来源及其排放量。该数据集存储为.xlsx 格式, 1 个数据文件, 数据量为 22 KB。

关键词: 农村居民; 生活源; 氮素流动; 可持续发展

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2023.04.02>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2023.04.02>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2024.01.08.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.01.08.V1>.

1 前言

氮既是资源, 也是一种难以消除的潜在污染物^[1]。目前, 过量活性氮 (Nr) 投入和排放引发的生态环境、人体健康和气候变化问题日益严重, 尤其在发展中国家^[2–4]。有研究指出, 人类生活消费是氮素流动的核心, 超过 70% 的氮足迹与居民生活密切相关^[5]。中国是世界上最大的发展中国家, 近年来城镇化的快速推进使得中国农村居民生活消费结构发生了巨大变化, 然而其对农村社会经济系统氮素流动和农村生态环境的影响还未明晰。定量核算和评估中国农村居民生活消费中氮的输入、输出及其环境影响, 是理解中国农村社会经济系统氮平衡和制定氮污染防治措施的关键。

目前, 居民生活氮循环方面的研究侧重于通过模型模拟的方法分析城市食品消费系统氮足迹的时空变化^[6–12], 而对氮素在农村家庭生活消费中的流动及其环境影响的研究较为缺乏。

收稿日期: 2023-09-23; 修订日期: 2023-12-10; 出版日期: 2023-12-24

基金项目: 河南省科学技术厅 (222102320122)

*通讯作者: 赵永强, 郑州师范学院, zyongqiang@126.com

数据引用方式: [1] 赵永强, 田冬, 刘伟. 中国农村居民生活源氮素流动数据集 (2000–2020) [J]. 全球变化数据学报, 2023, 7(4): 354–361. <https://doi.org/10.3974/geodp.2023.04.02>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2023.04.02>.

[2] 赵永强, 田冬, 刘伟. 中国农村居民生活氮素流动数据集 (2000–2020) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.01.08.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.01.08.V1>.

本研究主要从《中国农村统计年鉴 2001–2021》^[13]和《中国统计年鉴 2001–2021》^[14]采集 2000、2005、2010、2015 年和 2020 年中国 31 个省、自治区、直辖市（香港、澳门和台湾除外）的统计数据，结合公开发表文献的数据，核算和分析我国农村居民生活消费氮的输入输出及其变化特征，识别氮素对农村生态环境的影响并提出相应减缓措施，助力乡村振兴战略。

2 数据集元数据简介

《中国农村居民生活氮素流动数据集（2000–2020）》^[15]的名称、作者、地理区域、数据年代、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《中国农村居民生活氮素流动数据集（2000–2020）》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	中国农村居民生活氮素流动数据集（2000–2020）
数据集短名	NLivConRuralChina
作者信息	赵永强 E-1061-2018, 郑州师范学院地理与旅游学院, zhyongqiang@126.com 田冬, 南京大学城市规划设计研究院有限公司, nptd08@163.com 刘伟, 郑州师范学院经济与管理学院, liuwei@zznu.edu.cn
地理区域	中国 31 个省、自治区、直辖市（香港、澳门和台湾除外）
数据年代	2000、2005、2010、2015、2020 年
数据格式	.xlsx
数据量	22 KB
数据集组成	5 个表格，包括中国农村居民生活消费氮量、输入路径、活性氮排放特征及其排放量
基金项目	河南省科学技术厅（222102320122）
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[16]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

3 数据研发方法

3.1 数据来源

本文研究对象为 2000–2020 年中国农村生活源氮素输入和活性氮排放情况。所需源数据可分为两类，一类是有关中国农村居民生活的基本信息数据，如农村人口数、各类食物消费量、工业日用品消费等数据，主要来自《中国农村统计年鉴 2001–2021》^[13]和《中国统计年鉴 2001–2021》^[14]。另一类数据是用于计算农村居民食物消费氮、工业日用品消费氮和生活燃料消费氮量、氨（NH₃）、氧化亚氮（N₂O）和氮氧化物（NO_x）排放及排入水体氮的转换系数，主要来自公开发表的相关文献^[3–5,17–20]。

3.2 算法原理

采用物质流方法分析中国农村生活源系统氮的输入输出及其流动特征^[5,18]。其所依据的基本原理是质量平衡定律,即系统内部储存量的变化量等于输入与输出系统物质量之差。用公式表达,即为:

$$\sum_{h=1}^m IN_h = \sum_{g=1}^n OUT_g + \sum_{k=1}^p AC_k \quad (1)$$

式中, IN_h 和 OUT_g 分别表示氮的输入和输出, AC_k 表示氮的变化量; $h=1-m$ 表示系统氮输入项,例如,食物消费、工业日用品消费等; $g=1-n$ 表示氮输出项,如 NH_3 挥发、 N_2O 排放等; $k=1-p$ 表示氮的积累项。

3.3 研究方法

本研究以汇集的中国农村居民生活消费的基本信息数据和通过相关研究文献获取的氮转换系数为基础,参考蔡祖聪等^[18]、Gu 等^[5]和 Zhao 等^[17]的相关研究方法,建立农村生活源氮分析框架,运用物质流分析的方法,自下而上地对 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年和 2020 年中国农村生活源系统氮输入、活性氮排放量进行核算和评估。计算中所需数据获取及排放系数来源见 3.1。本研究中农村居民生活氮输入包括食物氮(包括粮食、肉禽产品、蔬菜、瓜果以及水产品)、农村居民消费的工业日用品氮以及农村居民生活用燃料氮(包括天然气、煤气以及生物质燃料);氮的输出包括农村居民食物消费后经人体代谢、生活垃圾处理以及燃料燃烧排放后排放的 NH_3 、 N_2O 、 NO_x 以及排入地表水体和地下水体的活性氮。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

数据集存储为.xlsx 格式,数据主要包括中国农村居民食物消费氮结构及其产生量、中国农村居民工业日用品消费氮结构及其产生量、中国农村居民家庭燃料消费氮结构及其产生量、中国农村居民生活消费活性氮排放量、中国农村居民生活消费 NH_3 挥发、 NO_x 和 N_2O 来源及其排放量。

4.2 数据结果

(1) 2000、2005、2010、2015、2020 年中国农村居民食物消费氮结构及其产生量。结果表明(表 2),食物消费氮占比为 43.2%,呈逐年下降趋势,2020 年相较 2000 年减少了 36.5%。从消费结构来看,粮食消费占比为 65.9%,表现出逐年下降趋势,而肉禽蛋奶类产品和水产品消费氮却表现出逐年增加的趋势,年均增长率分别达到 8.0%和 14.2%。

(2) 中国农村居民工业日用品消费氮结构及其产生量。结果表明(表 3),农村居民工业日用品消费氮占比为 31.5%;正经历快速增长期,2020 年相较 2000 年增加了 572.6%。从消费结构看,人工合成类工业产品氮占比高达 89.5%,而生物合成类仅占 10.5%。目前,中国农村居民人均工业氮产品的消费量已超过人均食物氮消费量。鉴于工业氮产品富含碳氮元素的特点,对其加以回收利用和无害化处理的力度还需加大。

表 2 中国农村居民食物消费氮结构及其产生量（Tg）统计表

食物种类	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
粮食	2.37	1.88	1.47	1.18	1.11
肉禽蛋奶类	0.43	0.48	0.44	0.55	0.57
水产品	0.09	0.10	0.09	0.11	0.14
蔬菜	0.26	0.23	0.19	0.16	0.15
瓜果	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04

表 3 中国农村居民工业日用品消费氮结构及其产生量（Gg）统计表

类别	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年	
人工合成类	塑料	14.4	27.3	52.4	98.8	148.1
	涂料/油漆	72.8	135.9	343.0	652.1	1,036.5
	化学纤维	146.6	315.3	584.6	978.3	1,376.8
	合成橡胶	1.1	2.4	3.8	6.8	10.6
	合成染料	6.8	7.7	9.1	11.7	15.8
	化学药品	6.9	15.0	26.7	42.4	41.0
	炸药	58.0	101.0	149.6	167.3	226.7
	试剂	7.9	11.6	33.0	95.1	158.7
	化学农药	8.0	13.6	26.4	47.3	30.2
	合成洗涤剂	3.9	6.1	8.9	16.6	16.1
	硝酸盐	47.9	81.8	122.6	154.1	143.6
生物合成类	农产品原料	13.1	13.8	13.7	13.6	12.5
	畜禽产品原料	61.8	67.4	73.8	92.8	111.3
	林产品原料	65.1	68.7	99.6	95.1	132.3

（3）中国农村居民家庭燃料消费氮结构及其产生量。家庭生活燃料消费氮占比为 25.3%，其以 1.5%的速度在逐年增加（表 4）。从消费结构来看，秸秆和畜禽粪便是生活燃料消费氮的主要来源，二者高达 97.9%；其他仅占 2.0%。可见，加大清洁能源在农村居民生活中的使用比例对农村大气氮污染防治至关重要。

表 4 中国农村居民家庭燃料消费氮结构及其产生量（Gg）统计表

种类	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
化石燃料_NH ₃	1.8	1.9	1.9	0.8	0.4
化石燃料_NO _x	9.7	11.3	14.1	12.9	12.8
秸秆燃料	825.8	862.2	881.2	907.8	974.2
薪柴	12.7	12.9	13.4	16.1	24.6
畜禽粪便燃料	549.8	514.8	469.9	505.5	469.9

（4）中国农村居民生活消费活性氮排放量。结果表明（图 1），中国农村居民生活消费氮产生量的 25.4%以 Nr 的形式排入大气和水体环境，年排放量约为 1.43 Tg。活性氮排放中，最主要的排放源为 NH₃ 挥发（50.1%），第二的为排入地表水体氮（31.0%），其次为 NO_x（15.8%）和 N₂O（2.0%），排入地下水体的氮仅占 1.1%。Nr 排放量以年均 1.3%的速

度波动下降。这些表明，中国农村居民生活消费结构的变化已经极大地缓解了农村环境氮负荷。

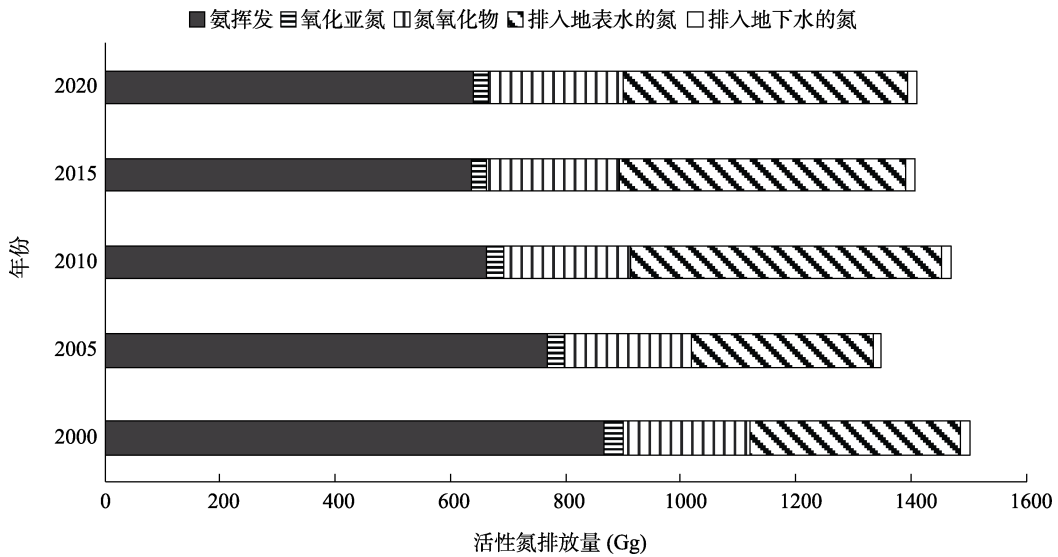


图 1 中国农村居民生活消费活性氮排放量 (Gg) 对比图

(5) 中国农村居民生活消费 NH_3 挥发、 NO_x 和 N_2O 来源及其排放量。 NH_3 排放的最大来源是人体食物代谢后的排泄物，年均 513.1 Gg N，约占 72.0%，其他约占 28.0% (图 2)。因此，提高人粪尿排泄物的处置能力在农村居民生活 NH_3 挥发防控中至关重要。

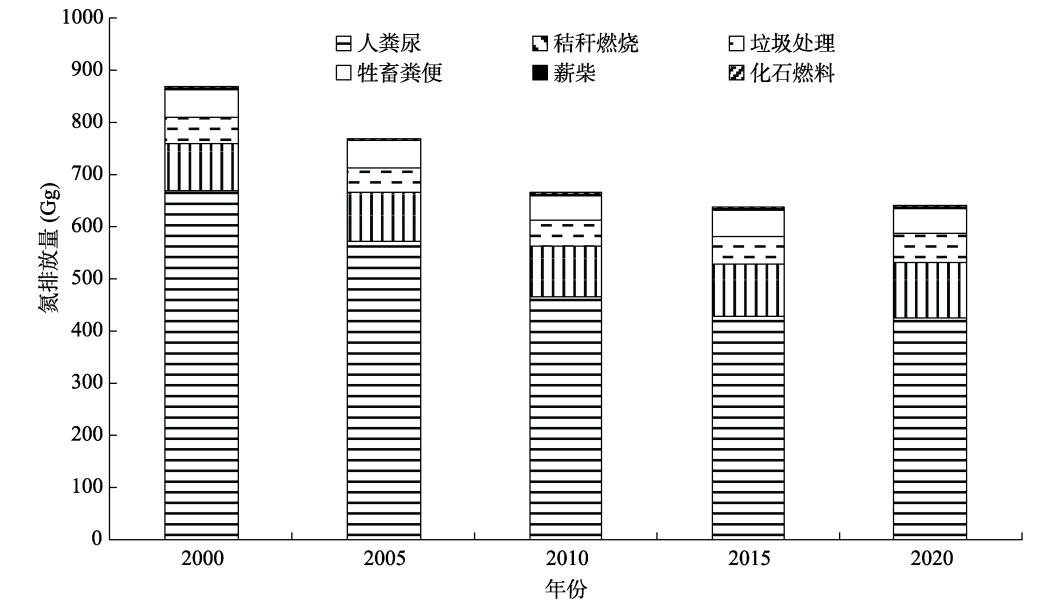


图 2 中国农村居民生活消费 NH_3 挥发来源及其排放量 (Gg) 对比图

由图 3 可见，农村居民生活 NO_x 排放中，最大的贡献源是秸秆燃烧 (51.4%)，其次为

畜禽粪便燃烧(33.4%)、垃圾处理排放(8.7%)、家用化石燃料燃烧(5.4%)，薪柴仅占 1.1%。因此，农村居民生活中 NO_x 减排得到重点是提高化石燃料以及清洁能源的消费比重。

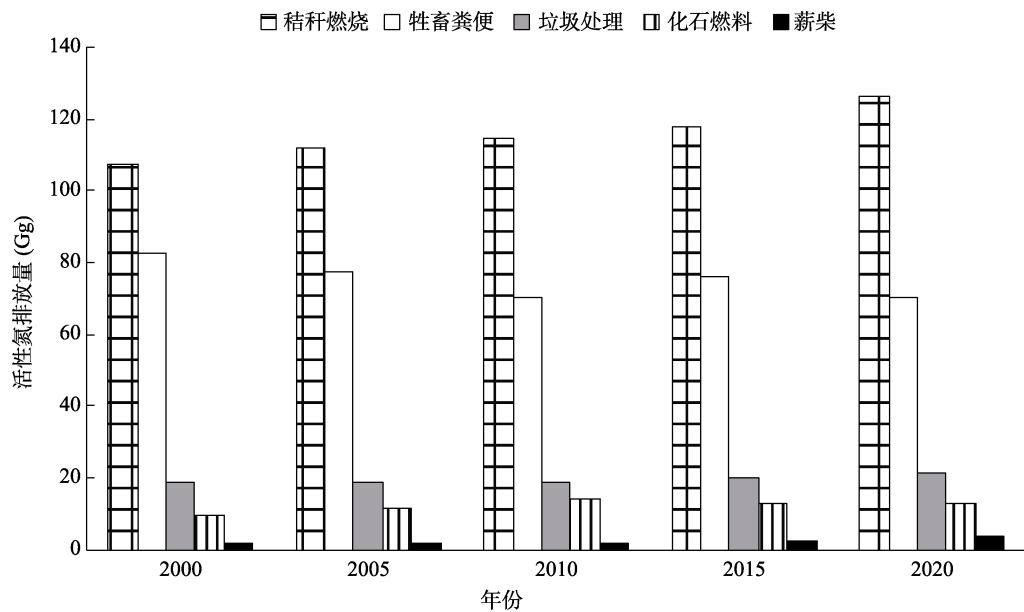


图 3 中国农村居民生活消费 NO_x 来源及其排放量 (Gg) 对比图

图 4 表明，人粪尿排泄在 N_2O 排放中的占比为 37.3%，其次为秸秆燃烧，达到 31.0%，粪便燃烧和垃圾处理分别占 17.5%和 13.7%，薪柴占比不足 1.0%。可见，农村居民生活中 N_2O 温室气体的减排重点是提高人粪尿排泄处理能力和减少秸秆燃料使用量。

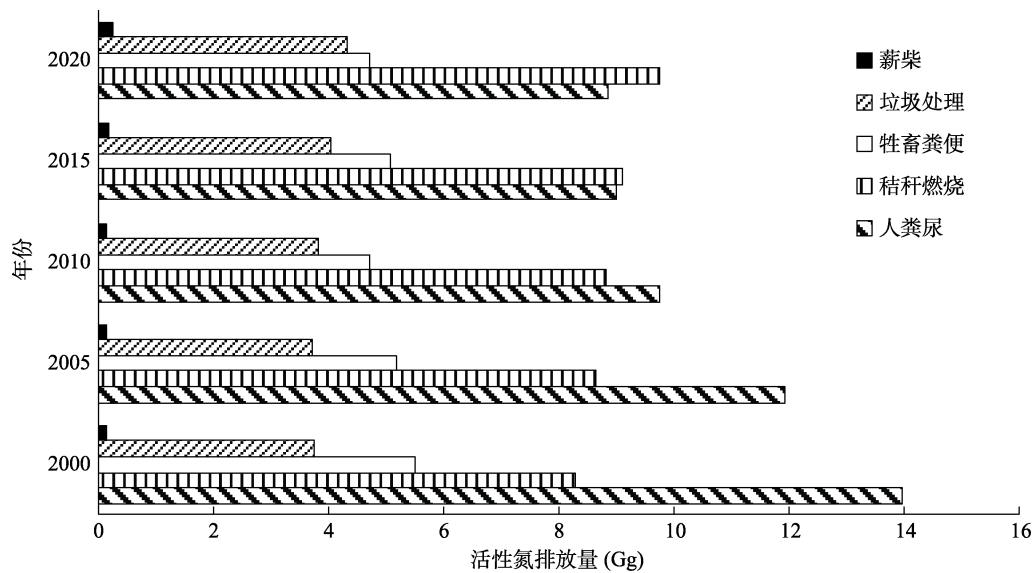


图 4 中国农村居民生活消费 N_2O 来源及其排放量 (Gg) 对比图

排入水体的 Nr 主要来自人类粪尿和生活残余物, 其年排放量约为 458.5 Gg N, 占到 Nr 排放总量的 32.1%; 约 96.6%排入地表水体中, 其余排入地下水体中。

4.3 数据结果验证

参考 Gao 等^[10]的方法对 2000–2020 年食物消费氮、工业产品消费氮、生活燃料消费氮以及活性氮排放量进行了数据验证, 结果表明计算误差在 7.1%至 22.5%之间, 均在可接受的范围内。另, 本研究中农村居民食物消费氮量与已发表相关文献^[12]的估算结果较为接近, 表明本研究核算结果的可靠性有所保证。

5 讨论和总结

本研究基于物质流分析和质量平衡定律, 建立了农村生活源氮流动分析框架, 以国家层面的统计资料数据为基础, 自下而上地计算得到 2000–2020 年中国农村生活源氮流动数据集。经不确定性分析, 与已有相关研究数据对比, 表明数据结果的可信度较高。本数据集对了解我国农村居民生活消费氮素的输入输出特征及制定农村氮污染管理调控策略具有很强的参考意义。

数据分析表明: (1) 食物和工业日用品是中国农村生活源氮的主要来源, 二者应是农村居民生活消费氮的管控制重点。(2) 中国农村居民食物消费氮仍以粮食消费为主, 但肉禽蛋奶类产品和水产品消费氮有逐年增加的趋势。(3) 目前, 农村居民生活燃料消费中化石燃料的占比较低。(4) 农村居民生活消费氮产生量的 25.4%以活性氮的形式排入周围环境。提高人粪尿排泄物的处置能力, 提高清洁能源的消费比重, 是农村氮污染防治的重点。本数据集可为中国农村社会经济系统氮平衡及进行可持续氮管理的相关研究和决策提供数据支持。

作者分工: 赵永强对数据集的开发做了总体设计; 田冬采集和处理了数据; 刘伟设计了模型和算法、做了数据验证; 全体作者撰写了数据论文等。

利益冲突声明: 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] Cassman, K. G., Dobermann, A. Nitrogen and the future of agriculture: 20 years on: This article belongs to Ambio's 50th Anniversary Collection. Theme: Solutions-oriented research [J]. *Ambio*, 2022, 51(1): 17–24.
- [2] Yu, C. Q., Huang, X., Chen, H., *et al.* Managing nitrogen to restore water quality in China [J]. *Nature*, 2019, 567(7749): 516–520.
- [3] Zhao, Y. Q., Zhou, Q. S., Hidetoshi, K., *et al.* Nitrogen flow characteristics of solid waste in China [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 208: 111596.
- [4] Gu, B., Zhang, L., Van Dingenen, R., *et al.* Abating ammonia is more cost-effective than nitrogen oxides for mitigating PM2.5 air pollution [J]. *Science*, 2021, 374(6568): 758–762.
- [5] Gu, B. J., Ju, X. T., Chang, J., *et al.* Integrated reactive nitrogen budgets and future trends in China [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112(28): 8792–8797.

- [6] Leach, A. M., Galloway, J. N., Albert, B., *et al.* A nitrogen footprint model to help consumers understand their role in nitrogen losses to the environment [J]. *Environmental Development*, 2012, 1(1): 40–66.
- [7] Martinez, S., Del Mar Delgado, M., Marin, R. M., *et al.* How do dietary choices affect the environment? The nitrogen footprint of the European Union and other dietary options [J]. *Environmental Science & Policy*, 2019, 101: 204–210.
- [8] 于洋, 崔胜辉, 赵胜男等. 城市居民食物氮消费变化及其环境负荷——以厦门市为例[J]. *生态学报*, 2012, 32(19): 5953–5961.
- [9] 冼超凡, 刘晶茹, 潘雪莲等. 典型移民城市食物氮足迹估算分析——以深圳市为例[J]. *生态学报*, 2020, 40(20): 7441–7450.
- [10] Gao, B., Huang, W., Wang, L., *et al.* Driving forces of nitrogen flows and nitrogen use efficiency of food systems in seven Chinese cities, 1990 to 2015 [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 676: 144–154.
- [11] 赵宇, 吝涛, 葛汝冰等. 中国食品源氮消费环境排放及其城乡差异[J]. *生态学报*, 2017, 37(13): 4573–4586.
- [12] Cui, S. H., Shi, Y. L., Malik, A., *et al.* A hybrid method for quantifying China's nitrogen footprint during urbanisation from 1990 to 2009 [J]. *Environment International*, 2016, 97: 137–145.
- [13] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴 2001–2021[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001–2021.
- [14] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2001–2021[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001–2021.
- [15] 赵永强, 田冬, 刘伟. 中国农村居民生活氮素流动数据集 (2000–2020) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.01.08.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.01.08.V1>
- [16] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策 [OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [17] 赵永强, 罗丽丽, 周庆生等. 中国生活源固体垃圾产生和处理及其 N_2O 排放[J]. *环境科学学报*, 2021, 41(6): 2487–2497.
- [18] 蔡祖聪, 崔胜辉, 高兵等. 中国氮素流动分析方法指南[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [19] Bai, Z. H., Ma, L., Jin, S. Q., *et al.* Nitrogen, phosphorus, and potassium flows through the manure management chain in China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 50(24): 13409–13418.
- [20] 韩智勇, 费勇强, 刘丹等. 中国农村生活垃圾的产生量与物理特性分析及处理建议[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(15): 1–14.