

# 基于 GIS 技术的中国农田氮素养分收支平衡研究

方玉东<sup>1,2</sup>, 封志明<sup>2\*</sup>, 胡业翠<sup>2</sup>, 王霖琳<sup>3</sup>

(1. 国家自然科学基金委员会, 北京 100085; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;  
3. 中国矿业大学(北京)土地复垦与生态重建研究所, 北京 100083)

**摘要:** 该文基于统计数据、调查数据、图形数据以及已经公开发表的文献资料中的数据, 详细研究了中国 2000 多个县域单元农田氮素养分的收支平衡状况, 并将研究结果利用 GIS 技术进行了空间表达。研究发现, 中国农田氮素投入总量为  $34.22 \times 10^6$  t, 农田氮素支出总量为  $31.57 \times 10^6$  t, 农田氮素处于盈余状态, 盈余总量为  $2.65 \times 10^6$  t; 在县域层面上, 农田氮素处于亏缺的县域单元数占全部县域单元数的 37.68%, 其耕地面积占全国总耕地面积的 43.10%, 农田氮素处于盈余的县域无论在数量上还是在耕地面积上都占有绝对优势, 亏缺的县域单元离散分布在几乎全国的每个省份; 在全国层面上, 化学氮肥、有机氮肥、生物固氮、其他来源的氮素养分投入分别占全部氮素投入的 76.54%、16.26%、3.10%、4.09%, 化学氮肥在所有氮肥总投入中占有绝对优势; 人畜粪尿是有机氮肥投入的主要来源; 全国农田氮素生物产出总量为  $19.87 \times 10^6$  t, 占农田氮素总支出的比重为 62.85%, 在省域水平上, 黑龙江省农田氮素生物产出占全部氮素生物产出的比例最高, 达 85%。

**关键词:** 农田; 氮素; 养分收支平衡; 县域

中图分类号: S152.7 文献标识码: A 文章编号: 1002-6819(2007)7-0035-07

方玉东, 封志明, 胡业翠, 等. 基于 GIS 技术的中国农田氮素养分收支平衡研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 35-41.

Fang Yudong, Feng Zhiming, Hu Yecui, et al. Balance of field nitrogen nutrient input/output using GIS technology in China [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(7): 35-41. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

农业的持续发展要求必须加强对养分循环和平衡的研究<sup>[1]</sup>, 改进土壤-作物系统内养分的调控, 使循环向有利于人类需要的方向发展。但是农田养分收支平衡的研究是比较复杂的, 它是作物、土壤、肥料三者之间的一个动态平衡过程<sup>[2]</sup>。影响这个平衡过程的因素很多, 诸如土壤的性质和土壤的供肥能力、不同作物的营养要求及其地区性差异、不同肥料的性质、种类及其利用率等<sup>[3]</sup>。农田养分收支平衡的本质是养分被作物消耗(生物退化过程)和施肥投入(养分重建过程)之间的平衡, 它关系着人类最大的两大课题: 粮食和环境, 其研究有助于从宏观上观察农田养分退化和重建过程的时间变化和可能存在的问题<sup>[4]</sup>。

目前研究农田养分收支平衡一般是从宏观和微观两个层面上进行研究。养分收支平衡微观层面的研究主要是指通过土壤肥料等相关的田块试验或者是根据某一或几个农场的投入产出数据, 找出某些点上的养分变

化规律来反推区域或者国家水平上的农田养分收支平衡状况<sup>[5-7]</sup>。通过微观的试验研究来反推宏观层面上的问题, 如果研究区域农业耕作措施基本一致, 土壤类型相差不大且投入产出的数量差异很小, 那么这种从微观到宏观的反推研究将是比较准确并且是高效率的。但是现实情况是在某一区域内耕作类型多样, 土壤类型变化很大, 那么在这种情况下以田块水平的试验研究来反推大尺度的养分变化情况将很难实现<sup>[8-11]</sup>。而农田养分收支平衡宏观研究的意义在于能够从整个系统的角度把握事物运行的规律与特点, 从而为事物的进一步发展提出战略性的对策。就农田养分收支平衡的宏观研究来说, 其研究结果对中国肥料资源的区域优化配置具有重要的指导价值。1976 年在荷兰阿姆斯特丹举行的“矿质养分在农业生态系统中的循环”讨论会, 首次正式提出进行宏观层面养分收支平衡研究, 将农业生态系统由低级到高级进行分类, 系统提出了代表一个国家、地区、农场的农业生态系统养分转移流程。

本文以县域为研究单元分析了中国农田 N 素养分的收支平衡状况, 并在此基础上研究农田养分 N 的产投结构、养分投入与养分生物产出的关系及有机肥对农田 N 素养分收支平衡的影响。

## 1 数据来源与 GIS 应用

### 1.1 数据来源

收稿日期: 2007-01-18 修订日期: 2007-06-12

作者简介: 方玉东, 研究领域为土壤养分资源的宏观管理、环境污染风险评价等。北京 国家自然科学基金委员会, 100085。

Email: fyd003@163.com

通讯作者: 封志明, 研究员, 主要从事国土资源开发与区域可持续发展综合研究及资源科学研究理论与方法的探讨。北京 中国科学院地理科学与资源研究所, 100101。Email: fengzm@igsnrr.ac.cn

本文所用数据有统计数据、调查数据、图形数据以及已经公开发表的文献资料中的数据。调查数据主要是用于确定有机肥回收利用情况。本研究立足于宏观层面,对全国 2000 多个县域单元进行研究,研究单元越多,地区差异也就随之越多,因此在调研的同时,还需要广泛搜集已经公开发表的文献上的数据作为补充。图形数据主要指县域行政区划图。统计数据和图形数据来源于“中国自然资源数据库”,数据时间主要为 2000 年,部分不全的数据由 2003 年数据补充。

## 1.2 GIS 技术应用

地理信息系统(GIS)是以地理空间数据库为基础,在计算机软硬件的支持下,对空间相关数据进行采集、管理、操作、分析、模拟和显示,并采用地理模型分析方法,适时提供多种空间和动态的地理信息,为地理研究和地理决策提供服务的计算机技术系统。在本研究中,运用 GIS 技术,将地理学的观点引入农田氮素养分的收支平衡研究中,强调研究结果的地理空间差异性,所用 GIS 软件是 ARCGIS9.0。具体方法是,首先应用 EXCEL、Visual Foxpro 建立基础数据库,然后以县域行政代码作为公共字段将数据库与县域行政区划图进行联接,生成 GIS 空间数据库,在此基础上可进行各个属性数据的地图表达及空间数据分析。同样方法,可对研究模型计算结果,即农田氮素养分收支状况、产投结构等进行地图空间表达及系列数据分析。

## 2 农田氮素养分收支平衡研究

分析农田氮素收支平衡的影响因素<sup>[12]</sup>,并参考农田养分收支平衡模型的建立过程<sup>[13]</sup>,农田氮素养分收支平衡模型如下所示

$$BA_N = (N_{t-in} - N_{t-out}) / LA \quad (1)$$

$$N_{t-in} = F_N + ORG_N + N_{FIX} + IR_N + PRE_N \quad (2)$$

$$N_{t-out} = BI_N + FGL_N + ORGGL_N + LE_N \quad (3)$$

式中  $BA_N$ ——单位耕地上氮素盈亏量,  $t/hm^2$ ;  $N_{t-in}$ ——农田氮素的总投入量,  $t$ ;  $N_{t-out}$ ——农田氮素的总支出量,  $t$ ;  $LA$ ——某一区域的耕地面积,  $hm^2$ ;  $F_N$ ——化肥氮投入量,  $t$ ;  $ORG_N$ ——有机氮肥的投入量,  $t$ ;  $N_{FIX}$ ——氮的生物固定量,  $t$ ;  $IR_N$ ——通过灌溉携入的氮量,  $t$ ;  $PRE_N$ ——降水携入的氮量,  $t$ ;  $BI_N$ ——农田氮素的生物产出量,  $t$ ;  $FGL_N$ ——农田化学氮肥的气体损失量,  $t$ ;  $ORGGL_N$ ——有机氮肥的气体损失量,  $t$ ;  $LE_N$ ——通过径流渗漏损失的氮素量,  $t$ 。

根据式(1)计算可知,中国农田氮素投入总量为  $34.22 \times 10^6 t$ ,农田氮素支出总量为  $31.57 \times 10^6 t$ ,农田氮素盈余总量为  $2.65 \times 10^6 t$ ,单位耕地氮素盈余  $0.027$

$t/hm^2$ 。在国家层面上,农田氮素盈余总量巨大,巨大数量的氮素盈余,有一部分将会贮存在土壤当中,丰富了土壤氮库,为下一个生长季作物的氮素需求提供补充。

按照国家统计局对东、中、西部的划分标准,东部地区即北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、广西、海南 12 个省(市),中部地区包括山西、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南 9 个省,西部地区包括四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、重庆、青海、宁夏、新疆 10 个省、区、市。中国东、中、西部农田氮素盈余量分别为  $0.051$ 、 $0.015$ 、 $0.018 t/hm^2$ ,即东部氮素盈余量是中部的 3.4 倍,是西部的 2.83 倍,中部氮素盈余量略低于西部。

在省域层面上,农田氮素盈余量在  $-0.050 \sim 0.264 t/hm^2$  之间,黑龙江、新疆、江西、云南、湖南、四川与内蒙古农田氮素处于亏缺状态(氮素总投入减去总产出小于 0),但是亏缺量不大,即使单位耕地亏缺量最多的黑龙江省也仅仅为  $0.050 t/hm^2$ ;单位耕地氮素盈余最多的省份是天津市,达  $0.264 t/hm^2$ 。

在县域层面上,农田氮素处于亏缺的县域单元数占全部县域单元数的 37.68%,其耕地面积占全国总耕地面积的 43.10%,也就是说农田氮素处于盈余的县无论在数量上还是在耕地面积上都占绝对优势。在全国层面上,农田氮素盈余量巨大,在省域层面上,有部分省份农田氮素处于亏缺状态,在县域层面上后,有 37.68%的县域农田氮素处于亏缺状态(投入总量减去产出总量小于 0),这说明研究的区域越小,农田氮素的盈亏状态差异越大,同时也说明了本文基于县域单元进行农田养分收支平衡研究的重要意义。

在国家与某些省域层面上,农田氮素存在大量盈余,致使人们在谈到氮素时首先想到的是中国氮素盈余,施用氮肥要加以控制。但是具体到县域单元后,情况存在巨大差异,如果仍然持这种认识必然影响氮素养分资源的区域宏观配置与合理施肥。

为评价氮素盈亏的严重程度,笔者提出农田氮素平衡盈亏率的概念,所谓农田氮素平衡盈亏率是指单位耕地上的氮素盈亏量占单位耕地上的氮素支出量的比率,以百分数表示,其计算公式为

$$N\omega = BA_N / \left( \frac{N_{t-out}}{LA} \right) \quad (4)$$

式中  $N\omega$ ——农田氮素盈亏率,以百分数表示;其他字母表示同公式(1)。

根据相关研究<sup>[14]</sup>,当氮素有 20% 的亏缺时,可引起土壤有机质的分解,使土壤黏着力增加,耕作困难,同时影响作物产品质量,如蛋白质降低、品质变坏等;当氮素有 10% 的盈余时,也可引起一系列问题,如引起土壤交

换性钾的淋失, 加剧土壤钙镁的淋失, 导致土壤酸化, 以及使饲料和粮食中氮素积累, 品质变坏等。基于这个研究结果, 结合专家意见与氮素平衡盈亏率的变化特点, 将其分为 5 个级别:

< - 10% 为不足, 这部分县域单元数占全部县域单元数的 23. 17%, 其耕地面积占全国总耕地面积的 27. 19%;

- 10% ~ 10% 之间的为合理, 这部分县域单元数占全部县域单元数的 28. 60%, 其耕地面积占全国总耕地面积的 28. 35%;

10% < Nw < 30% 之间的为轻度过量, 这部分县域单元数占全部县域单元数的 21. 17%, 其耕地面积占全国总耕地面积的 20. 30%;

30% < Nw < 60% 之间的为中度过量, 这部分县域单元数占全部县域单元数的 14. 34%, 其耕地面积占全国总耕地面积的 14. 86%;

> 60% 的为重度过量, 这部分县域单元数占全部县域单元数的 9. 59%, 其耕地面积占全国总耕地面积的 9. 30%。

氮素投入处于亏缺、合理、过量及严重过量的县域单元在中国东南部地区都有分布, 这种情况说明东南部地区氮肥的平衡情况比较复杂, 在进行肥料资源的区域配置时要做深入的调查分析(图 1)。

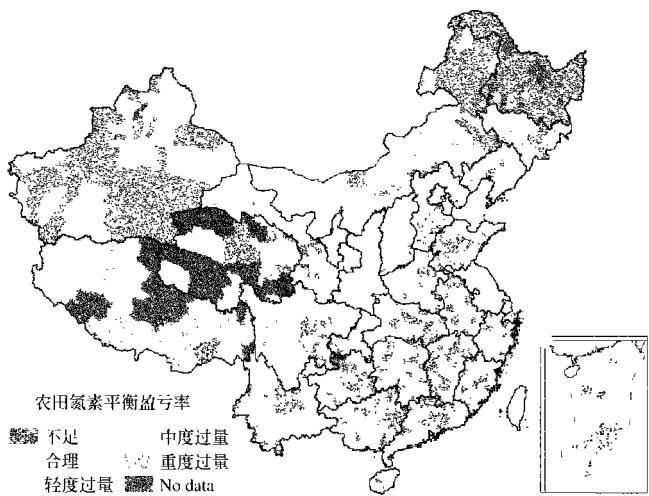


图 1 县域农田氮素平衡盈亏率

Fig. 1 Ratio of profit and loss of nitrogen nutrient of farmland on county level

### 3 农田氮素养分的产投结构分析

#### 3.1 农田氮素养分的投入结构分析

在全国层面上, 化学氮肥、有机氮肥、生物固氮、其他来源的养分投入分别占全部氮素投入的 76. 54%、16. 26%、3. 10%、4. 09%, 化学氮肥在所有氮肥总投入

中占有绝对优势。

从大区来看, 东中西部化学氮肥占氮肥总投入的比例分别为 78. 62%、76. 23% 与 72. 66%。在省域层面上, 仅西藏与黑龙江农田化学氮肥的投入占氮肥总投入的比例不足 50%, 西藏化学氮肥的比例仅为 14. 68%, 而有机氮肥的比例高达 79. 47% (表 1)。黑龙江省农田氮素的投入结构中, 生物固氮的比例占该省氮素总投入的比例高达 30. 22%。青海省农田化学氮肥的投入占氮肥总投入的比例也仅稍过 50%。灌溉降水所携入的氮素在各省市区农田氮素总投入中所占有的比例普遍不高, 一般都处于 5% 以下的水平, 对农田氮素的养分收支平衡与循环影响不大。化学氮肥占氮肥总投入的比例的总体趋势是东多西少。

表 1 省域农田氮素养分投入结构

Table 1 Input structure of nitrogen nutrient of farmland on province level %

行政区名称	化学氮肥	有机氮肥	生物固氮	其他	合计
北京	78.72	15.80	1.68	3.80	100
天津	89.71	6.48	1.00	2.81	100
河北	74.39	18.85	2.09	4.68	100
山西	70.90	16.18	4.50	8.42	100
内蒙古	66.80	14.89	8.11	10.20	100
辽宁	79.37	14.75	2.44	3.44	100
吉林	85.02	8.62	4.29	2.07	100
黑龙江	49.81	14.09	30.22	5.88	100
上海	87.75	9.14	0.24	2.86	100
江苏	83.29	11.01	2.20	3.50	100
浙江	77.23	16.11	2.96	3.70	100
安徽	80.98	13.00	3.48	2.54	100
福建	81.14	14.63	1.63	2.61	100
江西	71.05	21.57	2.32	5.06	100
山东	79.79	15.22	1.67	3.32	100
河南	77.07	16.87	2.40	3.66	100
湖北	82.06	12.65	2.24	3.05	100
湖南	73.36	20.43	2.06	4.15	100
广东	78.41	17.76	1.02	2.81	100
广西	67.86	25.88	2.26	4.00	100
海南	72.78	23.12	0.82	3.28	100
重庆	77.37	16.48	2.70	3.44	100
四川	72.71	21.56	2.07	3.66	100
贵州	71.14	22.66	2.83	3.36	100
云南	71.01	20.79	3.72	4.48	100
西藏	14.68	79.47	1.23	4.62	100
陕西	81.99	10.27	2.21	5.53	100
甘肃	68.48	17.20	4.06	10.25	100
青海	51.92	33.39	4.57	10.12	100
宁夏	78.11	10.21	1.43	10.26	100
新疆	69.30	17.30	2.60	10.80	100
全国	76.54	16.26	3.10	4.09	100

在全国层面上, 由人畜禽粪尿提供的氮占全部有机氮肥投入的比重为 81. 42% (表 2), 由作物秸秆提供的氮占全部有机氮肥投入的比重为 18. 58% (秸秆部分仅

考虑了小麦、玉米与水稻三大类作物的秸秆还田情况, 情况稍微偏低)。实际还田秸秆的种类比较多, 因此这个比值可能比实际

表 2 省域农田有机氮肥投入结构

Table 2 Input structure of organic fertilizer of farmland on province level

%

省 份	总有机氮肥	秸秆	人畜禽粪尿	人畜禽粪尿					合计
				大牲畜	猪	羊	家禽	人	
北 京	100	13.59	86.41	12.42	30.90	9.81	8.89	37.99	100
天 津	100	16.11	83.89	26.55	12.55	7.02	8.96	44.93	100
河 北	100	16.70	83.30	37.25	19.22	10.44	11.33	21.75	100
山 西	100	13.32	86.68	29.91	14.37	13.67	5.17	36.87	100
内 蒙 古	100	16.67	83.33	22.68	23.84	21.98	3.41	28.09	100
辽 宁	100	6.37	93.63	36.58	23.12	4.64	11.62	24.04	100
吉 林	100	12.57	87.43	50.27	22.02	4.73	9.12	13.85	100
黑 龙 江	100	16.78	83.22	42.09	21.77	5.23	6.40	24.51	100
上 海	100	21.67	78.33	3.36	26.81	7.72	15.44	46.66	100
江 苏	100	31.76	68.24	6.51	28.17	11.00	14.56	39.76	100
浙 江	100	28.90	71.10	3.16	31.99	4.73	4.72	55.40	100
安 徽	100	20.72	79.28	22.57	25.54	4.59	6.85	40.45	100
福 建	100	25.06	74.94	16.58	33.25	1.88	7.37	40.93	100
江 西	100	25.68	74.32	27.37	31.78	0.83	3.27	36.75	100
山 东	100	19.85	80.15	35.56	16.72	11.84	12.16	23.72	100
河 南	100	20.97	79.03	31.85	24.95	9.02	7.92	26.26	100
湖 北	100	22.34	77.66	22.77	32.78	1.60	7.07	35.79	100
湖 南	100	24.07	75.93	21.43	41.17	2.46	4.00	30.95	100
广 东	100	21.25	78.75	28.79	29.82	0.33	2.15	38.91	100
广 西	100	15.28	84.72	45.88	27.60	1.93	0.82	23.77	100
海 南	100	13.31	86.69	56.48	20.46	3.89	0.84	18.33	100
重 庆	100	11.93	88.07	9.28	47.30	2.28	3.35	37.78	100
四 川	100	19.93	80.07	19.48	42.94	4.29	3.93	29.36	100
贵 州	100	9.35	90.65	30.72	34.48	2.58	0.71	31.51	100
云 南	100	13.76	86.24	30.42	38.31	4.35	0.70	26.23	100
西 藏	100	0.11	99.89	91.01	0.73	5.48	0.02	2.76	100
陕 西	100	14.37	85.63	15.96	27.49	3.92	5.94	46.69	100
甘 肃	100	7.70	92.30	32.97	20.26	7.91	1.65	37.21	100
青 海	100	1.40	98.60	52.45	8.45	16.79	0.56	21.76	100
宁 夏	100	11.18	88.82	25.12	21.18	12.40	5.47	35.84	100
新 疆	100	8.83	91.17	41.02	5.34	26.05	2.78	24.81	100
全 国	100	18.58	81.42	29.96	27.19	6.68	6.39	29.78	100

各省市农田有机氮肥的投入结构中, 由人畜禽粪尿提供的氮素占有绝对优势, 普遍处于 70% 以上的水平。在西北地区, 畜牧业比较发达, 畜禽粪尿提供的氮素占有有机氮肥投入的比重很大是比较正常的, 在东部地区, 尤其是畜牧业不发达的地区, 秸秆还田提供的氮素在有机氮肥总投入中的比重则显得过低, 而秸秆所含有的养分是农田生态系统养分循环的重要部分, 因此各地应该加强秸秆还田的力度。

全国化学氮肥投入总量为  $26.20 \times 10^6$  t, 单位耕地投入氮肥  $0.27$  t/hm<sup>2</sup>, 其中单一化学氮肥投入  $22.52 \times 10^6$  t, 复合肥提供氮肥  $3.68 \times 10^6$  t, 单一氮肥与复合氮肥的投入比例为 1 0.16。根据国家统计局对东中西部的划分来看, 中国东部地区化肥投入最多, 达到 11.47

$\times 10^6$  t, 中部地区次之, 为  $9.81 \times 10^6$  t, 西部地区最少, 为  $4.9 \times 10^6$  t, 单位耕地化肥投入东部为  $0.37$  t/hm<sup>2</sup>, 中部与西部都是  $0.23$  t/hm<sup>2</sup>, 中国东、中、西部地区单一氮肥与复合氮肥提供的氮肥比例分别为 1 0.18、1 0.16与 1 0.13。

在全国层面上, 农田化学(无机)氮肥的平均投入从黑龙江省的  $0.05$  t/hm<sup>2</sup> 到上海市的  $0.64$  t/hm<sup>2</sup> 变化不等, 农田氮素的平均投入在空间分布上具有明显差异, 从东部省份向西部省份逐渐递减, 浙江省、山东省、江苏省、湖北省、广东省、天津市、福建省与上海市农田无机氮肥单位耕地投入都超过了  $0.4$  t/hm<sup>2</sup>, 西藏自治区与青海省单位耕地无机氮肥平均投入为  $0.06$  t/hm<sup>2</sup> 与  $0.07$  t/hm<sup>2</sup>, 黑龙江省是中国重要的大豆生产大省, 生

物固氮量极多, 致使单位耕地所投入的氮肥相对较少。

将单位耕地化学氮肥的投入分为 4 级, 0 ~ 0.1 t/hm<sup>2</sup> 之间为 1 级, 0.1 ~ 0.3 t/hm<sup>2</sup> 之间为 2 级, 0.3 ~ 0.5 t/hm<sup>2</sup> 之间的为 3 级, 大于 0.5 t/hm<sup>2</sup> 为 4 级。中国农田单位耕地氮素投入具有非常明显的空间分异, 处于 1 级区的县域单元数占全部县域单元数的 19.60%, 处于 2 级区的县域单元数占全部县域单元数的 36.95%, 处于 3 级区的县域单元数占全部县域单元数的 30.21%, 处于 4 级区的县域单元数占全部县域单元数的 11.54%。1 级区集中分布在西部与北部地区的县域单元内, 2 级区与 3 级区集中分布在中国的东部与东南部地区的县域单元内, 4 级区几乎全部分布在中国的东部地区的县域单元内, 仅在西部省份的个别县域单元内零星分布(图 2)。

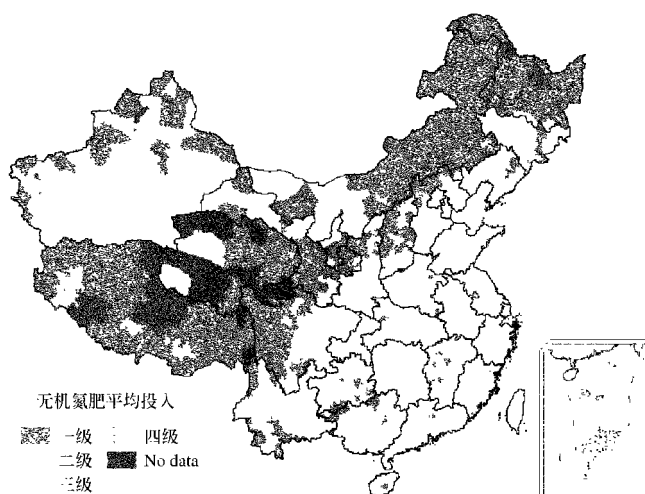


图 2 县域农田耕地化学氮肥投入情况  
Fig. 2 Quantum of chemic fertilizer input of farmland on county level

### 3.2 农田氮素养分的支出结构分析

全国农田氮素生物产出总量为  $19.87 \times 10^6$  t, 占农田氮素总支出的比重为 62.85%, 在省域水平上, 黑龙江省农田氮素生物产出占全部氮素生物产出的比例最高, 达 85%, 氮素生物产出占农田氮素总支出的比例最低的是西藏自治区。黑龙江省是大豆的主产区, 大豆是高含氮量作物, 大豆籽实部分的氮含量高达 5.3%, 秸秆部分的氮含量 1.8%, 与其他作物相比, 大豆的氮素含量水平是最高的。

生物产出有两个组成部分, 籽实与秸秆。而追求最大数量的籽实产量是人们进行农业生产活动的根本目的。因此, 籽实部分的氮素生物产出对人们来说是有效的, 我们称之为农田氮素的有效生物产出。全国农田籽实氮素产出为  $10.91 \times 10^6$  t, 秸秆氮素产出为  $8.97 \times$

$10^6$  t, 二者之比约为 1 : 1, 籽实部分的氮素生物产出稍大于秸秆部分的氮素生物产出。

在省域水平上, 东中部地区大多数省的农田氮素生物产出结构中, 秸秆氮素生物产出与籽实氮素生物产出比例基本一样, 但是在西部地区的青海省、西藏自治区、新疆维吾尔自治区农田氮素生物产出结构中籽实氮素生物产出都占有绝对比重。究其原因, 在这几个省份主要作物为油料、豆类等, 而油料与豆类的氮素多集中分布在籽实部位, 所以在这些省份籽实部分的生物产出比重较大。

全国农田单位耕地氮素生物产出为 0.21 t/hm<sup>2</sup>, 按照国家统计局对东中西部的划分, 中国东部地区氮素生物产出总量为  $7.97 \times 10^6$  t, 单位耕地氮素生物产出为 0.25 t/hm<sup>2</sup>; 中部地区氮素生物产出总量为  $7.96 \times 10^6$  t, 单位耕地氮素生物产出为 0.18 t/hm<sup>2</sup>; 西部地区氮素生物产出总量为  $3.95 \times 10^6$  t, 单位耕地氮素生物产出为 0.18 t/hm<sup>2</sup>。在省域层面上, 单位耕地氮素生物产出从西藏的 0.05 t/hm<sup>2</sup> 到上海的 0.37 t/hm<sup>2</sup> 之间变化。呈现出具有明显的区域分异, 从东部向西部逐渐减少, 东部地区的北京市、福建省、浙江省、山东省、湖北省、广东省与上海市氮素生物产出均超过了 0.3 t/hm<sup>2</sup>, 而西部的西藏自治区、宁夏回族自治区、青海省、内蒙古自治区、山西省与甘肃省的单位耕地生物产出不足 0.1 t/hm<sup>2</sup>。

粮食作物氮素生物产出占全部氮素生物产出的比例为 64%, 而小麦玉米和水稻三大类粮食作物氮素生物产出占全部氮素生物产出的 52%, 占粮食作物氮素生物产出的比例为 81%, 可见小麦玉米水稻三种作物不仅是粮食作物中氮素生物产出的主要部分, 而且也是农田全部氮素生物产出的重要组成部分。

将农田单位耕地氮素生物在 0 ~ 0.1 t/hm<sup>2</sup> 之间的分为 1 级, 0.1 ~ 0.15 t/hm<sup>2</sup> 之间的分为 2 级, 0.15 ~ 0.3 t/hm<sup>2</sup> 之间的分为 3 级, 大于 0.3 t/hm<sup>2</sup> 的为 4 级, 那么处于 1 级的县域单元数占全部县域单元数的 19.35%, 处于 2 级的县域单元数占全部县域单元数的 11.92%, 处于 3 级的县域单元数占全部县域单元数的 42.51%, 处于 4 级的县域单元数占全部县域单元数的 24.52%。县域农田单位耕地氮素生物产出在空间上具有明显的分异趋势, 1 级区主要分布在中国的西部与北部地区, 2 级区主要分布在西部北部与东北部的部分地区, 在东南部地区也有零星分布, 3 级区与 4 级区集中分布在东中部地区(图 3)。

中国东南部地区的县域单元氮素生物产出基本上都处于 200 kg/hm<sup>2</sup> 以上的水平, 这与中国东南部地区水资源丰富、复种指数高、土壤肥力较好以及良好的农

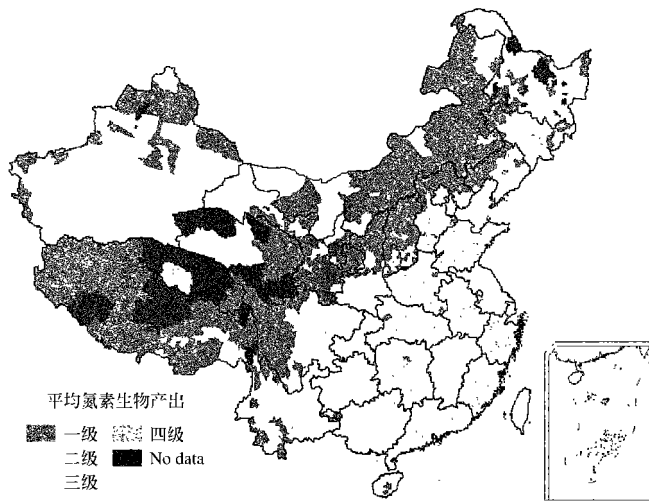


图3 县域农田耕地氮素生物产出空间分布

Fig. 3 Spacial distribution of biologic nitrogen output on county level

业耕作环境有着直接的关系。

南疆地区有很多县域单元农田氮素生物产出都处于3级水平上,这在西北部地区可以说是一个特例。造成这种分布特点的原因之一是,新疆农业的特点主要是绿洲农业,维持土壤肥力的环境很差,土壤比较脆弱,因此在历史上以轮耕制保持土壤肥力。在近50年来人为加大投入,特别是1990年以来绿洲农业进入迅速发展时期,尤其是在南疆地区,农业灌溉有天山雪水的补给,充分利用干旱区光热资源优势,使棉花面积由1985年的25.35万 $\text{hm}^2$ 增加到1996年的79.93万 $\text{hm}^2$ ,以占到总播种面积的26%。这样,逐渐引导绿洲农田在养分循环走上高投入高产出的阶段,绿洲农田的养分循环过程加快,所以南疆农田氮素养分的生物产出在西北地区处于比较高的水平上;在北疆地区由于受灌溉条件的制约,农业产出率很低<sup>[15]</sup>。

在西藏自治区,无论无机养分的投入还是其农田养分的生物产出都比较低,原因在于西藏自治区是一个比较特殊的地理单元,属于高寒气候,土壤贫瘠,农业生产方式仍然是传统粗放型,农业主要以畜牧业为主。这些都导致了西藏自治区农田养分生物产出低下。西藏自治区农田不仅农田生物产出低下,而且在县域分布上的差异也比较大,仅日喀则地区的粮食产量就占全西藏自治区粮食产量的三分之一。西藏地区农田氮素养分产出少,农业以畜牧业为主,畜牧业产生的大量养分当地农田难以消纳吸收,必然产生养分的大量盈余。

#### 4 结论

济统计数据、全国1:100万土壤图与GIS技术,从多个层面研究了我国农田氮素的平衡特征,并利用GIS技术对研究结果进行了空间表达与分析。研究表明:

1) 中国农田氮素投入总量为 $34.22 \times 10^6 \text{ t}$ ,农田氮素支出总量为 $31.57 \times 10^6 \text{ t}$ ,农田氮素处于盈余状态,盈余总量为 $2.65 \times 10^6 \text{ t}$ ,单位耕地氮素盈余 $0.027 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。东、中、西部农田氮素盈余量分别为 $0.051$ 、 $0.015$ 、 $0.018 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。

2) 在县域层面上,农田氮素处于亏缺的县域单元数占全部县域单元数的37.68%,其耕地面积占全国总耕地面积的43.10%,农田氮素处于盈余的县域无论在数量上还是在耕地面积上都占有绝对优势。亏缺的县域单元离散分布在几乎全国的每个省份,在中国中东部地区、东北地区以及新疆的南部地区农田氮素亏缺的县域单元数相对较多。因此必须摒弃一谈到中国农田氮素的投入情况就联想到在任何地区农田氮素的投入都是严重过量的错误认识。

3) 在全国层面上,化学氮肥、有机氮肥、生物固氮、其他来源的氮素养分投入分别占全部氮素投入的76.54%、16.26%、3.10%、4.09%,化学氮肥在所有氮肥总投入中占有绝对优势。空间上,化学氮肥的投入表现出非常明显的区域分异规律,总体趋势是以北方农牧交错带为分界线,分界线以南以东化学氮肥的投入明显高于分界线以北以西的化学氮肥投入。

4) 全国农田氮素生物产出总量为 $19.87 \times 10^6 \text{ t}$ ,占农田氮素总支出的比重为62.85%,在省域水平上,黑龙江省农田氮素生物产出占全部氮素生物产出的比例最高,达85%。

#### [参 考 文 献]

- [1] 鲁如坤. 红壤生态系统研究第二集[C]. 江西: 江西科学技术出版社, 1994: 8-15.
- [2] 黄健, 王爱文, 张惠琳, 等. 吉林省农田养分平衡的研究[J]. 吉林农业科学, 2001, 26(2): 36-40.
- [3] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国化肥区划[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1986: 1-31.
- [4] 鲁如坤, 时正元, 施建平. 中国南方6省农田养分平衡现状评价[J]. 中国农业科学, 2000, 33(2): 63-67.
- [5] Folmer E C R, Geurts P M H, Francisco J R. Assessment of soil fertility depletion in Mozambique[J]. Agriculture, Ecosystems and the Environment, 1998, 71: 159-167.
- [6] Harris F M A. Farm-level assessment of the nutrient balance in northern Nigeria[J]. Agriculture, Ecosystems and the Environment, 1998, 71: 201-204.
- [7] Shepherd K D, Soule M J. Soil fertility management in

west Kenya: dynamic simulation of productivity and sustainability at different resource endowment levels[J]. *Agriculture, Ecosystems and the Environment*, 1998, 71: 131– 145.

- [ 8] Stocking M. Soil erosion: breaking new ground. In: Leach, M., Mearns, R. (Eds.), *the Lie of the Land: Challenging Received Wisdom on the African Environment*[M]. 1996: 141– 154.
- [ 9] Smaling E M A, Stoorvogel J J, Windmeyer P N. Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales. II. district scale[J]. *Fertilizer Research*, 1993, 35: 237– 250.
- [ 10] Hashim G M, Coughlan K J, Syers J K. On-site nutrient depletion: an effect and a cause of soil erosion. In: Kerr,

J. (Eds.), *Soil Erosion at Multiple Scales: principles and methods for assessing causes and impacts* [M]. CAB International, 1998: 207– 221.

- [ 11] Scoones I, Toulmin C. Soil nutrient balances: what use for policy [J]. *Agriculture, Ecosystems and the Environment*, 1998, 71: 255– 267.
- [ 12] 方玉东. 中国县域农田养分收支平衡研究[D]. 中国科学院地理科学与资源研究所, 2006.
- [ 13] 封志明, 方玉东. 甘肃省县域农田氮素投入产出平衡研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(2): 152– 158.
- [ 14] 师硕夫. 集约化农业条件下营养物质的合理循环和平衡[J]. *土壤学进展*, 1990, 18(1): 27– 31.
- [ 15] 王周琼, 李述刚, 程心俊. 荒漠绿洲农田生态系统中养分循环[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

## Balance of field nitrogen nutrient input/output using GIS technology in China

Fang Yudong<sup>1,2</sup>, Feng Zhiming<sup>2</sup>, Hu Yecui<sup>2</sup>, Wang Linlin<sup>3</sup>

(1. *National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China;* 2. *Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;* 3. *Institute of Land*

*Reclamation and Ecological Restoration, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China)*

**Abstract:** This study presents a detailed investigation of the supply and demand status of nitrogen for more than 2000 counties across the country. In the study, statistic data, field survey results, graphic data and a number of datasets published in the literature were analyzed and the spatial distribution of nitrogen balance was presented with GIS technology. Results show that the total national input of nitrogen for cropland is  $34.22 \times 10^6$  t, but only  $31.57 \times 10^6$  t of which has been used, inducing a net excess supply of  $2.65 \times 10^6$  t. Despite this overall excess, the number of counties with a deficit supply of nitrogen is 37.68% of the total and the cropland of these counties is 43.1% of national total cropland. These counties are located in each province. At national scale, chemical nitrogenous fertilizer, organic nitrogenous fertilizer, biological nitrogen fixation and other nitrogen supply occupy 76.54%, 16.26%, 3.10% and 4.09% of the total nitrogen supply, respectively. While the contribution of chemical nitrogenous fertilizer plays a dominant role in the overall supply, the excrement and urine of human and animals are the main sources in organic nitrogen supply. The biological output of nitrogen from national cropland amounts to  $19.87 \times 10^6$  t, weighting 62.85% of the total expenditure. Among provinces, the weight of the biological output of nitrogen in Heilongjiang Province is the highest, nearly 85%.

**Key words:** farmland; nitrogen; balance of nutrient input/output; county



方玉东, 等. 基于GIS技术的中国农田氮素养分收支平衡研究 (图1~3)

Fang Yudong, et al. Balance of field nitrogen nutrient input/output using GIS technology in China (Figure 1~3)

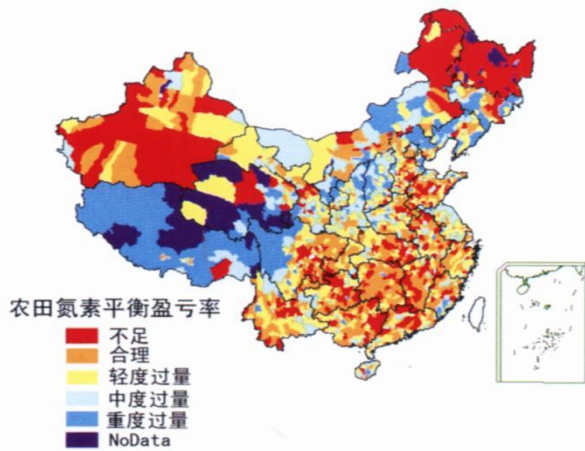


图1 县域农田氮素平衡盈亏率

Fig.1 Ratio of profit and loss of nitrogen nutrient of farmland on county level

图2 县域农田单位耕地化学氮肥投入情况  
Fig.2 Quantum of chemic fertilizer input of farmland on county level

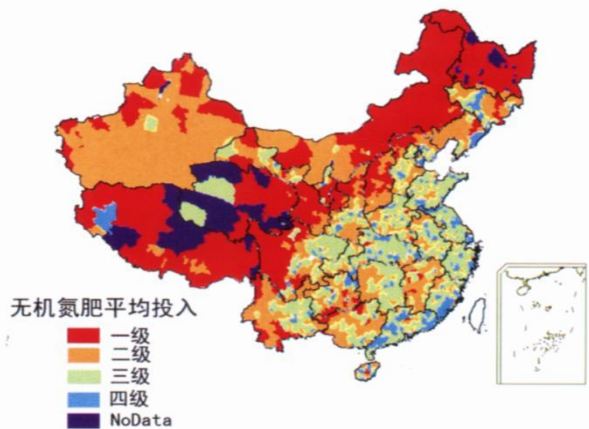


图3 县域农田单位耕地氮素生物产出空间分布  
Fig.3 Spacial distribution of biologic nitrogen output on county level

