

海河流域土壤中氮的库存量与流通量研究*

刘全友 孙建中 林舜华** 杨文襄

(中国科学院生态环境研究中心, 北京, 100085)

** (中国科学院植物研究所, 北京, 100044)

5154.1

A

摘要 本文通过对海河流域土壤中氮及其形态含量的研究分析结果, 得出该流域土壤中氮的库存量为 $5.96 \times 10^{10} \text{ kg}$ 。以成土母质、人畜粪、化肥施入量和径流带入量, 大气降尘及植物的残留量等作为对土壤中氮的输入因子, 同时以径流的带出, 大气的扬尘量及植物体茎、叶作为氮的迁出因子, 得到海河流域土壤中氮的进出量分别为 $4.02 \times 10^9 \text{ kg/a}$ 和 $3.46 \times 10^9 \text{ kg/a}$, 研究了土壤中氮输入与输出的流通关系。

关键词: 氮, 土壤, 库存量, 流通量。

环境中的氮既是生命元素, 也是环境的主要污染因子。氮广泛存在于大气、岩石、水圈及生物4个圈中^[1], 主要交换在土壤、大气及生物圈之间。氮循环的模式很复杂, 在循环中氮的主要形态有氨氮、硝氮、亚硝氮及有机氮。本文着重讨论氮在土壤圈中各形态的转化及其库存量, 并以土壤圈为中心, 结合循环模式讨论其它几个主要介质的输出与输入关系及其量的测定。

1 海河流域土壤中氮的库存量

不同类型土壤中氮的含量各不相同。在自然植被下土壤有机质和氮素含量的消长, 主要取决于生物物质累积和分解作用的相对强弱, 因此, 不同植被类型以及影响植物生长的微生物活动等因素, 特别是水热条件, 对于氮素含量都有显著的影响。海河流域土壤中各形态氮在不同土壤类型及不同层次的含量各不相同, 表层含量高于下层, 尤以有机氮表现比较明显; 从纵剖面看, 表层氮的含量有积累现象, 主要与表层质地细性粘, 腐殖质多, 生物活动强烈, 人为施肥以及以根菜和豆类植物等为主的植物固氮作用使氮的含量增加有关^[2]。

各形态分析方法为: $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 用 N-1 萘-乙二胺比色法; $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 用锌粉还原-偶氮比色法; $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 用蒸馏法; OR-N 用蒸馏法(差减法测有机氮)。根据 N 的各种形态含量平均值及土壤厚度(30m), 得到本流域土壤中氮各种形态的库存量列于表 1。

表 1 海河流域土壤中各形态氮的库存量
Table 1 The storage of Nitrogen in Haihe basin

项目 Item	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	OR-N	Total Nitrogen
含量($\mu\text{g/g}$) Content	0.020	5.02	2.67	458.0	465.72
库存量(kg) Storage	4.4×10^6	6.3×10^8	3.58×10^8	5.86×10^8	5.96×10^{10}

2 海河流域土壤中氮的流通量

2.1 母质对土壤中氮的贡献

氮在地壳中的含量远不如大气圈(75.51%)含量丰富, 只

有 0.002%。氮的行为正如斯蒂文森总结的那样, 是以 NH_4^+ 离子形式广泛分布在地壳的硅酸盐相及地幔中^[3]。就本区而言, 母质对土壤中氮的影响并不明显, 现取地壳克拉克值为 $20 \mu\text{g/g}$,

* 中国科学院“七·五”重大基金课题。

收稿日期: 1992 10 14, 修改稿收到日期: 1993 02 20。

母质比重为 $2.0\text{t}/\text{m}^3$, 厚度为 30cm , 面积为 256869km^2 , 本区母质中氮的含量为 $3.08 \times 10^9\text{kg}$ 。

2.2 人、畜粪尿对土壤中氮的影响

我国在有机肥料的使用方面, 人畜粪尿仍占有主要的地位。有机肥料与化学肥料的配合使用, 是我国在长期生产实践中形成的一种施肥措施。根据[4]中方法, 按本区人口 8.2718×10^7 人计*, 每人每年排粪 18.45kg , 排尿 26.60kg , 全区每年共排粪尿 $3.4 \times 10^8\text{kg}$, 折合氮为 $1.39 \times 10^8\text{kg}$, 残留量为 $5.31 \times 10^5\text{kg}$, 损失量为 $8.59 \times 10^5\text{kg}$ 。

本区牲畜及禽类有 3.232583×10^5 头(只)*, 排粪量为 $2664\text{kg}/\text{头(只)} \cdot \text{a}$ (累积), 其中养分 N, 按鲜肥经熟化后 N 损失率(粪尿均值)为 61.8% ⁽⁴⁾, 得到全区牲畜、禽类肥料中的 N 为 $4.43 \times 10^8\text{kg}/\text{a}$, 残留量为 $1.92 \times 10^8\text{kg}/\text{a}$, 损失量为 $3.11 \times 10^8\text{kg}/\text{a}$ (见表 2)。

表 2 海河流域牲畜禽排粪含氮量
Table 2 The content of Nitrogen in the excretion
of livestock in the Haihe river basin

项目 Item	头($\times 10^5$) Number	排粪量 Amount of excrement ($\text{kg}/\text{Ind} \cdot \text{a}$)	总排粪量 Total amount of excrement (kg)	折合氮 Amount of manure converted into nitrogen (kg/a)
牛 Cattle	227.98	9000	2.05×10^{10}	8.41×10^7
马 Horse	81.42	5000	4.07×10^8	3.58×10^7
驴 Ass	207.2	4000	8.29×10^8	6.71×10^7
骡 Mule	105.03	3000	3.15×10^8	3.70×10^7
猪 Pig	1898.6	2200	4.18×10^{10}	1.80×10^8
羊 Sheep	168.6	750	1.25×10^8	1.28×10^7
鸡 Chicken	23300	5	1.17×10^5	1.91×10^7
鸭 Duck	6211	10	6.21×10^4	6.83×10^7
鹅 Goose	128	14	1.79×10^7	9.85×10^4
合计 Total	32325.83	2664*	8.12×10^{10}	5.043×10^8
残留 Remainder				1.92×10^8
迁移 Remove				3.11×10^8

2.3 化肥对土壤中氮的贡献

土壤中氮的另一个来源是化肥的施用。进入 80 年代以来, 我国有许多大型化肥厂投产, 氮肥施用量迅速增加, 全国化肥施用量已达 5 千多万吨。本区 1988 年使用化肥 $1.55 \times 10^4\text{t}$ (按纯量计), 其中含氮肥料为 $1.08 \times 10^4\text{t}$, 占化肥量的 70%, 这有可能是造成本区土壤中氮含量偏高的主要原因。况且流失现象严重, 易挥发。另外, 1988、1989 年正是雨水多、气温高的年份, 这一水热条件有利于微生物的生长和氮的转化。因此, 本区有机氮的含量也

比较突出。按化肥使用量 $6.89 \times 10^8\text{kg}/\text{a}$ 化肥折纯量 $1.89 \times 10^8\text{kg}/\text{a}$, 每年向本区输入总氮量为 $2.55 \times 10^8\text{kg}/\text{a}$, 损失量为 $4.67 \times 10^7\text{kg}/\text{a}$ (表 3)。

2.4 径流对土壤中氮的影响

径流是元素迁移的一个重要途径, 尤其是对于化肥施入土壤后的流失更为明显。同时, 通过植物的吸收以及水汽的蒸腾等, 都是各介质间元素交换的重要方式。本流域各水系年总径流量为 $2.09 \times 10^{10}\text{m}^3/\text{a}$, 每年通过径流而携带土壤中氮的迁移量约为 $1.12 \times 10^8\text{kg}/\text{a}$ (表 4)。

以各水系地下径流($96.8 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$), 及太行山源头含氮量为参数, 得到每年通过地下水补给土壤中氮量为 $1.47 \times 10^7\text{kg}$ (表 5)。

2.5 降尘飘尘对土壤中氮的影响

土壤的风化与剥蚀以及沙暴的扬起与降落, 还有水热动力学条件及人为因素的影响等, 必将会带来元素与大气的交换, 如煤碳的燃烧, 工业排放等, 都给土壤带来元素的迁移和重新分

* 各省统计年鉴(1988 年资料)

布的途径。由于交换种类多,排放途径复杂,以及传输方式不一,扬起沉降范围不易确定等因素,给交换量的测定带来困难。

表 3 海河流域化肥中氮的施用量

Table 3 The content of nitrogen in the chemical fertilizer applied in the Haihe river basin

化肥施用量(kg/a) Appliment of chemical fertilizer	折纯量(kg) Net amount of chemical fertilizer	每年折纯(g/m ²) Annul net amount of fertilizer per year (g/m ²)	化肥挥发量(kg) Volatilized amount of Nitrogen in chemical fertilizer	化肥残留量(kg) The remains of chemical fertilizer (kg)	氮挥发量(kg) Total volatilized amount of Nitrogen	氮残留量(kg) The amount of Nitrogen in remainder
6.89×10^9	1.55×10^9	8.38	2.40×10^8	1.31×10^8	2.55×10^8	4.67×10^7

表 4 海河流域径流输出氮量

Table 4 The capacity of runoff in the Haihe river basin

子流域 Basin	北三运河 Noth canal	永定河 Yongding river	大清河 Daqing river	子牙河 Ziya river	黑龙江东河 Heilong- gang river	漳卫南运河 Zhangwei canal	海河干流 A tribt ary of the Haihe river	徒骇马颊河 Tuhai majia river
径流量 * Runoff($10^8 \cdot m^3/a$)	41.61	20.29	41.70	40.41	9.21	38.81	1.57	15.24
含量($\mu g/ml$)Content *	4.8815							
径流输出量(kg/a) Runoff output	1.12×10^8							

* 摘自《海河流域水资源保护规划纲要》讨论稿,水利部海河委员会,1989。

* * 均值 Average

表 5 海河流域地下水氮的库存量

Table 5 The storage capacity of underground water in the Haihe river basin

流域 Basin	径流量 Runoff ($10^8 m^3$) *					氮含量($\mu g/ml$) The centent of nitrogen	地下水径流量(kg/a) Underground runoff
	河川基流 Bedflow	山前测渗 Leakage	河床潜流 Underflow	山前泉水 Spring	开采消耗 Mining		
海河北系 Nothpart of Haihe river basin	20.8	9.2		0.30	1.76		
海河南系 Southpart of Haihe river basin	53.14	11.27	1.57	1.17	1.76	1.52	1.47×10^7
全流域 Whole basin	73.32	20.47	1.57	1.47	3.53	1.52	1.47×10^7

* 摘自《海河流域水资源保护规划纲要》讨论稿,水利部海河委员会,1989。

2.5.1 飘尘输氮量的测定 气体飘尘干沉降量的测定有一定难度,其过程与地表特征、植物种类、沉降物组成,颗粒物大小和微气象变化等都有关。Chambealain 定义于沉降速率与沉降通量成正比与大气中某种气体或颗粒物的浓度成反比,其表示式如下:

$$-F = V_d \cdot C$$

已知 V_d 和 C 及参考高度(陆地高出地面 1.5m),得到每年通过飘尘的本区输出量为 $3.76 \times 10^5 kg/a$ 。现将测得值列于表 6。

2.5.2 干沉降输入氮量的测定 根据 1988、1989 年测得定州和忻州降尘中氮含量,得出由降尘向本区输入氮量为 $2.51 \times 10^8 kg/a$ (表 7)。

表 6 海河流域飘尘输氮量
Table 6 The content of nitrogen of fly ash in the Haihe River Basin

沉降速度 V_d (cm/s) Deposition Velocity	通量 $Flux$ ($g/m^2 \cdot a$)				不同覆盖面所占全流域面积的百分比 Percentage of different cover in whole basin area(%)
	廊坊 Long Fang	南皮 Nai Pi	定州 Ding Zhou	忻州 Xin Zhou	
0.005	0.0004	0.0018	0.0023	0.0035	34.8 叶面 Blage (89373km ²)
1	0.0808	0.3732	0.4665	0.6997	25.8 草地 Grass (6625km ²)
7	0.5660	2.612	3.265	4.898	39.3 农田 Field (100851km ²)
输入氮量(kg/a) The content of phosphorus of input					3.76×10^6

注:各地大气飘尘浓度 $C(\mu g/m^3)$: 廊坊 0.26, 南皮 1.20, 定州 1.50, 忻州 2.15

表 7 海河流域降尘输入氮量
Table 7 The content of nitrogen of import fall dust in the Haihe river basin

降尘中氮含量 ($t/km^2 \cdot a$) Nitrogen content in fall dust				总面积 Total area (km ²)	N 输入量(kg/a) N input amount
定州 Ding Zhou (1988)	忻州 Xin Zhou (1988)	定州 Ding Zhou (1989)	忻州 Xin Zhou (1989)		
1.80	0.17	1.53	0.51	256869	2.57×10^6

2.5.3 湿沉降输入氮量的测定 降雨量是从大气中向土壤洗脱元素的主要途径。作者于 6—9 月分别在忻州、定州雨季采集雨样,对若干组进行分析测定,忻州点按平均值降雨量为 433.6mm,雨水组分 NO_2^- 为 0.0015mg/l, NO_3^- 为 0.144mg/l, 测湿沉降氮量为 0.283g/m²a; 定州点年降雨量为 516.0mm,雨水组分 NO_2^- 为 0.066mg/l, NO_3^- 含量为 0.214mg/l, 则湿沉降氮量为 0.326g/m²·a, 本区湿沉降贡献氮量为 8.37×10^4 kg/a。

2.6 植物对土壤中氮的影响

植物对土壤中氮的影响较大。不同种类的植物(包括农作物)对土壤中氮的吸收能力是不同的。据报道,一般氮在植物干物质中约占 2%—4%,富集氮的植物主要在温带的草原区、落叶阔叶林区的黄土母质的钙质土壤及某些栽培植物^[5]。本区处于温带落叶阔叶林区,大多数植物含氮量在 2%左右,最高可达 4%以上,这与本区土壤中含氮量普遍偏高是一致的。

本文主要测定了各种植物中不同根、茎、叶、果中氮含量的残留与迁移量。通过对 62 种植物进行分析,其含量列于表 8。

作物的不同部位含量也有差异,根的含氮量明显的低于茎、叶、果。大多数作物都以茎或叶的平均含氮量最高,如向日葵茎的最高含氮量达 4.4%,平均含量为 3.1%,为根部平均含氮量的 3.4 倍,为叶含量的 2 倍等,根据本流域植物部位含量统计,它们根:茎:叶:果的比值为 1:1.5:1.7:1.5。

为了得到土壤中氮通过植物进行转换的通量,分别测定了植物地上部分茎、叶、果和地下部分根的生物量。其输出量和残留量是植物各器官中 N 元素含量与植物各器官生物量的乘积,其中生物量的多寡起着决定性作用。本流域植物携带部分输出氮量为 3.216×10^9 kg, 植物残留部分的氮量为 3.18×10^9 kg。

表 8 海河流域植物含氮量
Table 8 The content of nitrogen in the plants of the Haihe river basin

植物类别 Kinds of plants	植物种数 Number of plants	N 含量(%) Content N	标准差 Standard deviation	植物类别 Kinds of plants	植物种数 Number of plants	N 含量(%) Content N	标准差 Standard deviation
粮食作物 Grain crops	7	1.77	0.03	常绿针叶乔木 Evergreen coniferous tree	2	1.74	—
经济作物 Economic crops	7	2.38	0.04	灌木半灌木 Shrubs semishrubs	3	1.86	—
蔬菜作物 Vegetable plants	3	3.14	—	草本植物 Herb	15	1.61	0.81
水果类 Fruit	5	1.55	—	水生植物 Aquatic plants	2	1.94	—
落叶阔叶乔木 Deciduous tree	14	2.26	0.92	蕨类苔藓植物 Pteridophyte and bryophyte	4	1.44	—

* 均值 Average value

3 海河流域氮的流通量

上述讨论了土壤中氮的库存量以及其它主要存库的库存量,但由于这些库存量的确立只是从几个主要因素方面考虑的,况且它的输入与输出量很难准确得到,如本流域理论边界与实际物质交换边界的确立等,因此,研究其主要界面间的流通关系就更加复杂。现将各介质与土体的库存量和流通量及流通关系以图示之。

以土壤为母体,得到土壤及其它主要库中氮流通的输入与输出量:

输入: $1.92 \times 10^8 + 3.08 \times 10^9 + 5.31 \times 10^5 + 4.67 \times 10^7 + 1.12 \times 10^5 + 2.57 \times 10^8 + 3.18 \times 10^8 = 4.01 \times 10^9 (\text{kg})$ 。

输出: $3.11 \times 10^8 + 8.59 \times 10^5 + 2.55 \times 10^8 + 1.47 \times 10^7 + 3.76 \times 10^5 + 3.22 \times 10^9 = 3.79 \times 10^9 (\text{kg})$ 。

以上得到的结果,海河流域土壤中氮的总收入量略大于总支出量,出现这一不平衡主要是由于实际土壤母质风化是个极缓慢的过程,其经风化释放出的氮量不易测定而忽略不计,土壤母质中氮的含量近似为 $3.08 \times 10^9 \text{kg}$ 。因此,本流域土壤中氮的流通量基本是平衡的。实际上,地球大陆上土壤层的含氮量基本上是恒定的,地球各介质间保持一个良好的生态平衡。即使某一因子出现变动值,如随着工业的不断发展,电力工业的增长,化肥施入的增加,则各介质的输入量和输出量如大气沉降物的参数也随之变动,但还不足以导致土壤中氮总库存量($1.96 \times 10^{10} \text{kg}$)的更大变动。

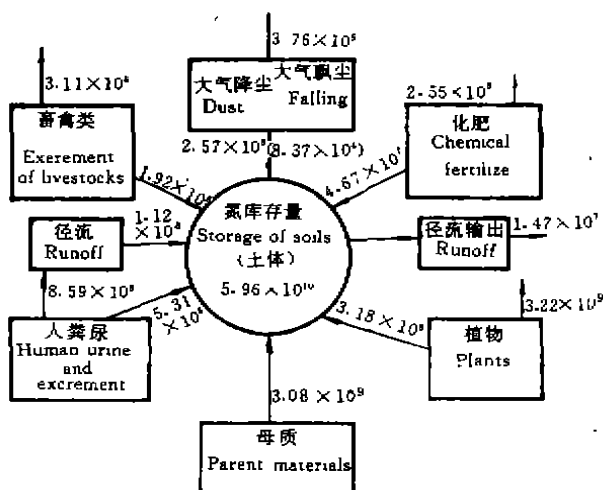


图 1 海河流域土壤中氮的流通示意图

Fig.1 Nitrogen circulate in the soil of the Haihe river basin

参 考 文 献

- 1 Sterenson F J. *Cycles of soil Carbon, Nitrogen, phosphorus, Sulphur, Mlicronutrients*. A Wileg-Interscience Publication, JOHN Wiley and Sons, 1986, 210
- 2 刘全友等. 海河流域土壤中氮的分布特征. 环境科学学报, 1992, 12(4), 487
- 3 刘英俊. 元素地球化学. 北京: 科学出版社. 1984, 435
- 4 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国肥料概论, 上海: 上海科学技术出版社. 1962, 46
- 5 侯学煜. 中国植被地理及优势植物化学成分, 北京: 科学出版社. 1982, 78

INVENTORY AND FLUXES OF NITROGEN IN
SOIL IN THE HAIHE RIVER BASIN

Liu Quanyou Sun Jianzhong Lin Shunhua Yang Wenxiang

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085)

The inventory of nitrogen in soil in the Haihe River Basin was estimated at 5.96×10^{10} kg, based on the analytical results available for each of the possible species of nitrogen present. The input rate of nitrogen into the river basin was estimated at 4.02×10^9 kg/a, including those from the parental materials of soil, the excrement of human body and animal, other living things, application of chemical fertilizers, inflow by run-off, air deposit and plant residues as the sources of nitrogen in soils. The output rate of nitrogen from the river basin was estimated at 3.46×10^9 kg, including those brought away from soils by run-off, dust blowing, plant uptake and others.

Key words: nitrogen, inventory (sink), fluxes, soil.