

427-432

5886(13)

第15卷 第4期
1995年12月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 15, No. 4
Dec., 1995

海河流域作物-土壤系统中作物氮的输出

黄银晓 林舜华 蒋高明 韩荣庄 高雷明

(中国科学院植物研究所, 北京, 100044)

5154.4
5181

A

摘要 本文研究了海河流域地区作物-土壤系统中作物氮素的输出归还量及土壤库存量。结果指出:不同作物氮的输出量和归还量差异很大, 15 种作物中以谷子的输出量最大, 每年达 $1151\text{kg}/\text{hm}^2$, 水稻和苡麦最低, 每年输出约 31 和 $6.2\text{kg}/\text{hm}^2$ 。氮的归还量也以谷子最高, 达 $68.73\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$, 向日葵最低, 只 $2.74\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ 。大部分作物都是输出量高于归还量, 两者的比值不同作物有显著差异, 大豆、棉花、谷子氮的输出量分别为归还量的 21、20、17 倍, 其余作物输出量一般为归还量的 2—6 倍, 说明本区作物-土壤系统输出的氮素较多, 归还的氮素较少。本区耕作土壤的平均库存量为 $1749.43\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$, 以种植马铃薯、白菜、高粱的土壤的氮库存量较高, 分别为 3037.5 、 2027.0 、 $2317.5\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$; 小麦土、芝麻土氮的库存量较低, 只 $1192.5\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ 。不同作物土壤氮的库存量都高于作物的输出量, 土壤氮的库存量为作物输出量的 8 倍。但作物从土壤中吸收的有效氮是有限的, 必需通过施肥补充土壤因作物带走、氮挥发、淋失等被损失的氮。根据上述研究结果, 提出维持本区作物-土壤系统氮素的平衡的意见, 为本区合理利用氮肥, 提高氮肥利用率和作物产量提供依据。

关键词: 海河流域, 氮, 输出量, 库存量, 作物-土壤系统。

氮是主要的生命元素之一, 它在生物地球化学循环中起着重要作用, 国内外对陆地生态系统有关营养元素循环方面的工作以氮素循环研究得较透彻, 而陆地生态系统中又以农田生态系统的氮素循环研究得较多。从一个流域的角度来研究氮素的输出、归还量和土壤的库存量的工作还未见报道。海河流域是华北平原人类活动最频繁, 农业集约程度较高的地区, 研究氮素在本区作物-土壤系统中的生物循环就显得更为重要。从理论上可揭示该流域作物-土壤系统氮生物循环的规律, 实践上对该区土地合理利用, 合理施肥、用地养地等提供依据。

1 研究方法

在海河流域范围内, 根据不同植被、土壤类型结合不同的地貌类型和不同水平调查选点, 在生长盛期和成熟期调查生长状况, 测定生物量, 同时采集作物、土壤样品, 作物按根、茎、叶、果实, 风干后粉碎; 土壤按 0—10cm, 10—20cm 两层, 风干后过筛, 磨碎, 用靛酚蓝比色法测定植物含氮量。

2 海河流域作物中氮素的输出、归还和吸收的数量特点

2.1 不同种类作物氮的输出量

农田生态系统中氮的输出途径很多, 主要有氮挥发、硝化和反硝化作用, 淋失和流失、生物产品输出等^[6], 作物收获物的输出在农田生态系统中起着较重要作用。作物输出的氮量与其生物量和作物体氮素含量有直接关系, 它相当于生物量乘以元素百分含量, 从表 1 看出, 不同作物氮素的输出量有很大差异, 15 种作物中以谷子输出量最大。每年输出氮 $1151\text{kg}/\text{hm}^2$, 水稻和苡麦最低, 每年只输出氮 31 和 $6.2\text{kg}/\text{hm}^2$ 。不同作物输出量的大小顺序如下: 粮食作物—谷

收稿日期: 1994 03 23, 修改稿收到日期: 1994 11 04。

子>白薯>玉米>高粱>小麦>水稻>苡麦;经济作物 棉花>花生>芝麻>大豆>向日葵;蔬菜类 白菜>马铃薯>油菜(表1)。不同作物类型的输出量(平均值)以蔬菜类>粮食作物>经济作物。

2.2 不同作物氮的归还量

作物的归还量是指作物根系所含元素总量,在农田生态系统中作物根茬是归还在土壤中有机质的重要来源。归还量的计算是根系生物量乘以根部氮素含量。从表1看出,不同作物氮的归还量差异很大,11种作物的归还量以谷子最高,每年归还氮达68.7kg/hm²,向日葵最低,每年只归还氮约3kg/hm²,不同作物氮归还量的大小顺序是:粮食作物 谷子>高粱>玉米>水稻>小麦>苡麦;经济作物 棉花>芝麻>大豆>向日葵。

2.3 不同作物对氮素的吸收量**

农田生态系统的生物循环以作物的“吸收量=输出量+归还量”来表示。从表1可以看出,本区主要作物氮的吸收量以谷子最高,每年吸收氮约1000kg/hm²,水稻的吸收量较少,每年可吸收氮约44kg/hm²;经济作物以棉花吸收量最高,每年可吸收氮约300kg/hm²,其次为芝麻和大豆;蔬菜中油菜吸收量每年约60kg/hm²(表1)。与北京地区的碳酸盐褐土同种作物对氮的吸收量比较,海河流域的玉米、小麦、高粱每年吸收的氮比北京地区偏低,但基本上同属一个数量级(表2)。

表1 海河流域不同作物氮的输出量、归还量和吸收量(kg/hm²·a)

Table 1 The nitrogen output, revert and absorption amount of different crops in Haihe Basin

作物种类 Crop	样品数 Samples	输出量 Output amount	归还量 Revert amount	吸收量 Absorption amount	输出量与归还量比值 Rate of output and revert amount
粮食作物 Grain crop					
谷子 <i>Panicum miliaceum</i>	9	1150.985	68.731	1219.7	16:1
玉米 <i>Zea mays</i>	36	227.52	19.811	247.33	6:1
小麦 <i>Triticum aestivum</i>	2	90.079	12.894	102.97	7:1
高粱 <i>Sorghum vulgare</i>	11	164.50	38.414	202.91	4:1
水稻 <i>Oryza sativa</i>	1	31.038	13.946	44.98	2:1
苡麦 <i>Avena nuda</i>	1	(6.191)*	7.42	(13.61)*	0.8:1
白薯 <i>Ipomoea batatas</i>	3	235.216	—	—	—
经济作物 Economic crop					
棉花 <i>Gossypium hirsutum</i>	15	307.921	15.212	323.133	20:1
芝麻 <i>Sesamum indicum</i>	1	147.703	13.781	161.48	11:1
花生 <i>Arachis hypogaea</i>	4	153.56	—	—	—
大豆 <i>Glycine max</i>	20	89.264	4.147	93.41*	21:1
向日葵 <i>Helianthus annuus</i>	3	(10.346)*	2.740	(13.09)	4:1
蔬菜作物 Vegetable crop					
马铃薯 <i>Solanum tuberosum</i>	3	173.59	—	—	—
油菜 <i>Brassica juncea</i>	2	53.252	7.26	60.51	7:1
白菜 <i>Brassica pekinensis</i>	2	648.1	—	—	—

* ()内数值缺少果实部分,数字偏低。

Note: The figures in brackets are abit smaller than the actual ones because the output and absorption amount of the fruit is not included.

* * 由于在调查研究过程中未能将降水、施肥、淋失、凋落物损失等资料搜集在内,故吸收量比实际吸收的偏低。

除豆科植物可以通过根瘤菌的共生固氮作用直接从空气中吸收 N_2 外,大部分植物都必需从土壤中吸收无机氮^[3]。植物主要吸收铵和硝酸根形式的氮,施入铵态氮后,在土壤中很快成为 NO_3^- ,因此, NO_3^- 是旱地作物主要的氮来源^[3],海河流域地区农田化肥以施尿素和碳酸氢铵为主,作物吸收的氮也是以 NO_3^- 形式为主。

表 2 海河流域与北京地区不同作物氮吸收量
Table 2 The comparison of absorption of different crops in Haihe Basin and Beijing areas

	海河流域地区 Haihe Basin area	北京地区 ^(?) Beijing areas
玉米	144.24	155.03
小麦	102.97	164.97
高粱	121.71	183.1

的氮素较少。

2.4 不同作物输出量与归还量的比值

不同作物的输出量与归还量比值也有显著差异,从表 1 看出,大部分作物都是输出量高于归还量,如大豆、棉花、谷子输出量分别为归还量的 21、20、17 倍,其余作物一般输出量都为归还量的 2—6 倍左右。这说明本区农田生态系统中作物收获带走的氮素较多,而通过作物根部归还到土壤库

表 3 海河流域耕作土壤氮库存量和作物氮的输出量($kg/hm^2 \cdot a$)

Table 3 The nitrogen reserve amount in cultured soil and output amount of plant in Haihe Basin

土壤名称 Name of soil	土壤 N 的库存量 N reserve amount of soil	作物 N 输出量(地上部分) N output amount of crops(aboveground)
谷子土 Soil of millet	1800.0	1150.99
玉米土 Soil of corn	1732.5	124.43
小麦土 Soil of wheat	1102.5	90.08
高粱土 Soil of sorghum	2317.5	83.29
水稻土 Paddy soil	1602.0	31.04
莜麦土 Soil of naked oats	1845.0	6.19
白薯土 Soil of sweet potato	1462.5	235.22
棉花土 Soil of cotton	1665.0	307.92
芝麻土 Soil of sesame	1192.5	147.70
花生土 Soil of peanut	1957.5	153.56
大豆土 Soil of soybean	1507.5	89.26
向日葵土 Soil of sun flower	1507.5	10.35
马铃薯土 Soil of potato	3037.5	173.54
油菜土 Soil of rape	1485.0	53.25
白菜土 Soil of chinese cabbage	2027.0	648.1
平均 Average	1749.43	220.33

* 指种植谷子的土壤(下同)

The soil that planted millet(the same below)

3 海河流域作物-土壤系统的氮及其平衡状况

影响本区作物-土壤系统氮素循环和平衡的因素很多。氮的输出、输入与生物链有密切关系,一切影响生物活动的因子如土壤水分、温度、pH 值、有机质等都不同程度地影响着氮素平衡,而不同土壤类型的水分、有机质含量等差别都较大,因此,不同土壤氮素转化的条件不同,作物对氮素的吸收利用量各异。

从表 3 可看出海河流域作物-土壤系统中氮生物循环的一些特点。海河流域耕作土平均氮的库存量为 $1749.43 kg/hm^2 \cdot a$ 。由于不同的轮作制度种植的作物不同,土壤施肥、灌溉等条件

也差别较大,作物吸收氮素的要求也有别,造成种植不同作物的土壤库存量的差异,以种植马铃薯、白菜、高粱的土壤氮的库存量较高,分别为 3037.5, 2027.0, 2317.5 kg/hm² · a; 小麦土、芝麻土氮的库存量较低,只有 1102.5 和 1192.5 kg/hm² · a, 种植其他作物的土壤,氮的库存量在 1400—1900 kg/hm² · a 左右。

从表 3 还可看出,本区不同作物的土壤氮的库存量都大大高于作物的输出量,氮的库存量为作物输出量的 8 倍左右。但这并不说明土壤中氮素能满足作物营养的需要,因为植物从土壤吸收的氮主要为无机氮,以 NO₃⁻ 和交换性的 NO₃⁻ 为主要形式,而土壤中无机氮一般仅占总氮 10% 左右,其余 90% 为有机态的氮,NO₃⁻ 和 NO₃⁻ 常常只占全氮的 1% 左右^[6],非交换性的 NH₄⁺ 不易被植物所吸收,因此,土壤总氮中能被作物吸收的氮是有限的。

此外,从本区农田氮素输入途径来看,生物固氮、干、湿沉降输入到农田生态系统的氮,数量相对的比施有机肥和化肥输入的氮量少一些。据报道^[4],自生固氮产生的固氮量不高,N 量不超过 30 kg/hm² · a; 共生固氮,像花生这样的豆科植物,固氮量为 50 kg/hm² · a^[7]。通过雨水输入的氮就更少,陆地上硝酸盐的雨水沉积氮量一般为 0.5—3 kg/hm² · a, 铵盐为 0.5—5 kg/hm² · a。我国太湖地区降雨氮输入为 12—25 kg/hm² · a^[6],而本区降雨量低于太湖地区,通过降水输入的也不会太多。从本区施肥水平看,化肥平均每年每亩施 48—80 kg,土杂肥每年每亩施 1500—2000 kg (1987),与张家口地区坝下各县和黄土高原地区相比属中等水平,平均每亩耕地施入 N 肥约 32 kg^[9,10]。

另外,作物-土壤系统输出的氮化合物中,除植物收获带走较大量的氮外,还可通过氮的挥发、硝化、反硝化作用,淋失、流失等途径消耗土壤库的氮。据测定^{*},本区廊坊地区施用的尿素,可通过氮挥发损失的氮达 14%—36%。本区土壤 pH 值为 7—8,属碱性土,氮的挥发损失量也较大,特别是在土壤含水量低于饱和水量时。可见,本区土壤中氮的损失,氮挥发是主要途径。硝化和反硝化作用可损失一部分氮。一般在土壤中无机氮有 10%—15%,由反硝化作用而损失,淋失和流失也损耗一部分氮,特别是植物吸收的主要是 NO₃⁻,而氮化合物中,NO₃⁻、NH₄⁺ 和有机氮易淋失,这些对作物利用土壤库中有效氮都是不利的。

本区不同作物的含氮量一般为 2%—3%,只有少数作物达 4%^[11],大多数作物含氮量偏低,说明本区作物-土壤系统中作物所需的有效氮是不足的,必需通过施肥补充土壤因作物收获、氮挥发、淋失等造成氮素的损失。

5 对海河流域氮素平衡的几点意见

5.1 本区土地大部分开垦为农地,农田生态系统氮素平衡对提高土地肥力,发挥生产潜力是重要的一环。而合理施用是补充土壤氮素不足,维持氮素平衡的主要途径,要做到科学施肥,首先要提高本区使用有机肥的数量和质量,根据作物对肥料的适应特性,一般植物都能吸收 NO₃⁻ 和 NH₄⁺,施用 NO₃⁻ 比 NH₄⁺ 较安全,NH₄⁺ 可使根系急剧酸化,但有些作物对 NH₄⁺ 较敏感,只少量供应可明显改善作物生长状况^[12],因此,最好多种绿肥,充分利用现有资源,做到秸秆还田。

5.2 施氮肥要适量。根据不同土壤、作物的需要和不同的环境条件,选用化肥的种类和用量。

* 陈冠雄等,褐土与潮土氮素转化与土壤水分关系的研究,1989,中国科学院沈阳应用生态研究所。

一般在生长良好的全生育期吸收的总氮量可作为估计作物最适宜氮肥施用量的指标^[12],本区缺氮的瘠薄土壤上,施用氮肥的量应高于作物吸收的总氮量。施用氮肥与土壤含水量有很大关系,含水量不同,氮肥的最佳使用量不同,作物产量也各异,尤其在干旱、半干旱地区的条件下,水分是氮肥效应的限制因素^[8],玉米在土壤水分最佳的情况下用 $80\text{kg}/\text{hm}^2$ 氮产量最高,而在水分较好的情况下用 $200\text{kg}/\text{hm}^2$ 氮产量最高。

5.3 提高氮肥利用率,也是本区氮素平衡的重要环节,据报道^[9],目前氮肥利用率一般只 30%—50% 左右,而氨挥发是本区氮肥损失的主要途径之一,因此,要缓解化肥释放氮的速度,提高土壤对 $\text{NH}_3(\text{NH}_4)$ 的吸附,可以减少 NH_3 的挥发。本区施用尿素较普遍,它可被植物直接吸收,可被土壤中尿酶转化为 NO_3-N ,比 NO_3 吸收速率低^[12],可施用长效尿素和碳酸氢氨等,抑制硝化作用,可提高 N 肥利用率。

参 考 文 献

- 1 Clark F E and Rosswall T(eds). Terrestrial Nitrogen Cycles. Processes, ecosystem strategies and management impact, *Ecol. Bull.* (stockholm), 1981, 33
- 2 Hargreaves K J and Fowler D. The exchange of trace nitrogen gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere, *Report Institute of Terrestrial Ecology*, 1990—1991, 37—40
- 3 M. J. 福里赛尔主编,夏荣基等译. 农业生态系统中矿质养分的循环. 北京:农业出版社, 1981, 220—222
- 4 刘元昌、徐琪. 江苏省太湖地区养分平衡状况初探. 生态学杂志, 1984, 1(3), 12—16
- 5 王方楠. 上海郊区农田生态系统养分循环与施肥. 生态学杂志, 1985, 20(6), 26—28
- 6 秦祖平. 农田生态系统中氮素循环的研究概况. 生态学进展, 1988, 5(1), 221—228
- 7 陈佐忠, 黄德华. 北京地区耕地碳酸盐褐土不同农作物氮及灰分元素生物循环的比较研究. 植物生态学与地植物学丛刊, 1982, 26(3), 120—129
- 8 史瑞和等编著. 植物营养原理, 南京:江苏科学技术出版社, 1989, 217—268
- 9 王长跃等. 黄土高原水土保持林区遥感综合研究. 北京:中国科学技术出版社, 1990, 144—160
- 10 虞献平等. 生态与环境遥感研究. 北京:科学出版社, 1990, 306—311
- 11 黄银晓, 林舜华等. 海河流域地区植物、土壤氮、磷的含量特征. 生态学报, 1994, 14(3), 225—234
- 12 K. 蒙格尔, E. A. 克尔克贝, 张宜春译. 植物营养原理. 北京:农业出版社, 1987, 300—345

A STUDY ON N OUTPUT IN CROP-SOIL SYSTEM IN HAIHE BASIN

Huang Yinxiao Lin Shunhua Han Rongzhuang Jiang Gaoming Gao Leming

(Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, 100044)

This paper discusses the nitrogen output and revert amount in plant-soil system in Haihe Basin. The results show that the nitrogen output and revert amount of different crops are evidently different. Among the fifteen crops, *Panicum miliaceum* has the highest N output, which is $1151 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$, while *Oroza sativa* and *Avena nuda* are lower, which are 31 and $6.2 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$. The N revert amount in *Panicum milliceum* is also the highest, which is $68.73 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$, while the N revert. amount in *Helianthus annuus* is the lowest, which is only about $2.74 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$. In most of the crops, the N output amount is higher than the revert amount. The proportion of them is significantly different in different crops. The N output amount in soybeen, cotton and millet is 21, 20, 17 times higher than the revert amount respectively. In the other crops, the former is 2-6 timse higher than the latter. This shows that the N output is more than the N revert in the crop-soil system in Haihe Valley. The average N reserve in the cultivated soils of this area is $1749.43 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$. The soils in which potatoes, cotton and sorghum are planted have higher N reserve, which are $3037.5 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$, $2027.5 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$ and $2317.5 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$ respectively. But the soils in which wheat and sesame are planted have lower N reserve, which is only $1192.5 \text{ kgN/hm}^2 \cdot \text{a}$. We can see clearly that the N reserves in different soils are higher than the N outputs of the crops planted and the former is about 8 times of the latter. However, the available nitrogen which crops can absorb from the soil is limited, because nitrogen may volatilize or be carried away by the crops and water runoff. So we must supplement nitrogen by applying fertilizer. According to the above-mentioned results, a suggestion for the maintaining of the N balance in Haihe Basin was put forward which will provide a scientific basis for us to apply N fertilizer rationally, making a fuller use of it, and thus raise crop production.

Key words: Haihe Basin, output amount, reserve amount nitrogen, crop-soil system.