

# 肥料氮在蔬菜地中的去向及平衡

庄舜尧 孙秀廷

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

## 摘 要

通过<sup>15</sup>N标记示踪试验,研究了氮肥施入蔬菜地后的氮素分布、氮肥去向、氮肥利用率以及氮素平衡。试验共种植了甘蓝和大白菜两季蔬菜,以5个不同氮肥用量为处理,4个重复。<sup>15</sup>N微区设置于相应的小区中。试验结果表明,氮肥用量与蔬菜产量之间的关系可用一元二次方程表示;<sup>15</sup>N示踪结果表明,大白菜试验中下层土壤中来自肥料的氮素含量较高,且这种趋势和氮肥用量相关,表明随氮肥用量的增加氮素淋失的可能性明显增加,而甘蓝试验中却不明显;同时,随着氮肥用量的增加,肥料利用率明显下降,总的氮肥损失量也随之增加。

**关键词** 氮肥; 蔬菜地; 氮素去向及平衡

施用氮肥带来的环境问题已为人们所日益关注<sup>[1]</sup>。大量损失的氮素自农田进入水体和大气环境,造成地下水NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量超标、地表水体的富营养化以及释放的氮氧化物引起同温层O<sub>3</sub>的破坏等给生态环境构成了严重的潜在威胁。蔬菜尤其是叶菜类蔬菜需氮量很高,菜农为获得高产而大量施用化学氮肥,缺少磷钾肥的合理配施,使蔬菜积累高量的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N,影响人们健康;氮肥用量过高不仅没有获得高产,反而导致大量氮肥损失,造成经济上的浪费,加重了对环境的潜在威胁。本文就蔬菜—土壤系统中的氮素平衡问题作一探讨。

## 1 材料与方法

田间试验在南京市郊区西善桥镇中国科学院南京土壤研究所蔬菜中试基地进行,共种植两季蔬菜,第一季甘蓝,于1994年1月定植,至5月收获。第二季为大白菜,1994年8月至12月。土壤为长江冲积物发育的砂壤土,pH为6.31,有机质17.73gkg<sup>-1</sup>,全氮1.20gkg<sup>-1</sup>,全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)1.42gkg<sup>-1</sup>,速效磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)8.93mgkg<sup>-1</sup>,速效钾(K<sub>2</sub>O)118.2mgkg<sup>-1</sup>。氮肥用量分别为0、6、12、18和24kgN/亩,磷钾用量按每亩6kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、8kg K<sub>2</sub>O施用,3个重复共15个小区,小区面积为24m<sup>2</sup>。同时在每个小区中设一微区,微区是用面积约0.0001亩(φ29×30cm)的塑料圆桶埋入土中而成。微区中施入相应于该小区尿素用量的<sup>15</sup>N标记尿素以及同样比例的磷钾肥。甘蓝试验中尿素<sup>15</sup>N丰度为7.37%,大白菜试验中为8.54%。肥料施用方法是先将2/3氮肥于定植前作基肥施入,另1/3于中期作追肥,磷钾肥全部一次性作基肥施入。试验期间进行土壤NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N测定;在蔬菜收获后进行土壤分层取样测定全氮和<sup>15</sup>N丰度以及蔬菜的产量、含氮量和<sup>15</sup>N丰度。甘蓝和大白菜试验设计相同,在甘蓝试验后,菜地进行了翻耕、休闲了3个月,大白菜试验时重新进行了小区划分,微区

也重新布置埋设。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮肥对蔬菜产量的影响

氮素是构成生命物质——蛋白质的主要成分，是植物生长必不可少的营养元素。缺氮往往使植物生长速率缓慢，植株瘦弱，茎干细小，叶片小且黄，老叶过早脱落；然而过量的施用氮肥也会带来一系列的问题，对植物、环境都会有影响。试验结果表明，氮肥用量对蔬菜产量有很大的影响，与以往大量的研究结果相同，这种氮肥用量与产量之间的关系可以用一元二次方程表示，甘蓝的产量方程为： $Y = 2213.1 + 93.1X - 2.5X^2$ ，大白菜为： $Y = 2267.0 + 206.8X - 5.2X^2$ 。方程表明蔬菜产量有一最大值，达到该值时的氮肥用量即为最佳用量，这就是说，如果氮肥用量过高，蔬菜产量不会得到提高，反而造成更大的浪费。

### 2.2 氮素在土壤中的分布

氮素在土壤相关系统中的空间分布从一定角度反映了氮素的循环行为，研究植物—土壤体系中氮素的分布，对合理施氮和提高氮肥利用率有着一定的意义。从同位素示踪结果来看， $^{15}\text{N}$  标记尿素在土壤中的残留量也是随着土壤深度的增加而降低(表1、表2)，氮肥用量越高则残留量越多，在0—5cm表土中，两试验中施氮量24kg/亩的处理要比6kg/亩处理高近47—63%。从 $^{15}\text{N}$ 丰度值来看，甘蓝试验中大于30cm已不再有肥料氮的残留(其值接近于自然丰度)，大白菜试验中随氮肥用量的增加还有相当部分 $^{15}\text{N}$ 残留，这可能是由于秋季种植大白菜时降雨较多导致部分氮素向下淋移，而使底层氮素含量较高；甘蓝于冬季种植，降雨很少，氮素向下淋移强度弱，这样使肥料迁移至底层中的量就少。从两组数据来看，肥料氮大部分主要还是残留在0—30cm土壤范围内。

表1 甘蓝收获后不同土层中 $^{15}\text{N}$ 丰度(%)

土壤深度 (cm)	氮肥用量 (Nkg/亩)			
	6	12	18	24
0-5	0.491	0.476	0.733	0.801
5-15	0.444	0.473	0.494	0.584
15-30	0.402	0.396	0.409	0.408
30-40	0.374	0.380	0.380	0.386

表2 大白菜收获后不同土层中 $^{15}\text{N}$ 丰度(%)

土壤深度 (cm)	氮肥用量 (Nkg/亩)			
	6	12	18	24
0-5	0.533	0.676	0.712	0.811
5-15	0.446	0.476	0.599	0.688
15-30	0.390	0.491	0.525	0.521
30-40	0.379	0.443	0.499	0.501

### 2.3 氮素在土壤中的迁移

氮肥对环境影响的一个主要方面就是经过地表径流、土壤侵蚀或地下淋失进入水体造成对水体的污染<sup>(2)</sup>。许多研究表明施入土壤中的氮肥(包括化学氮肥和人畜粪便)有相当一部分会以 $\text{NO}_3^-$ -N形式进入河流、湖泊和地下水，可能导致水体 $\text{NO}_3^-$ -N含量的超标<sup>(3-5)</sup>，而大量施用氮肥的蔬菜土壤上这种淋失的可能性也大。

以往许多研究表明<sup>(4-6)</sup>，土壤中硝态氮淋失与其在土壤中的浓度相关，即土壤中硝态氮浓度越高则氮素淋失的可能性越大。表3为大白菜试验收获后的土壤硝态氮分布情况，从表中可以看出，0—18kg氮处理中，硝态氮浓度随土壤深度的增加而逐渐降低，而在24kg氮处理中，最高浓度出现在5—15cm处；另一方面，从相同层次的比较发现，随氮用量的提高，硝态氮浓度也相应明显提高，在底层24kgN/亩处理的各层土壤硝态氮含量比其他处

理高许多，尤其比对照高了几倍，这也进一步说明，高的氮肥用量会导致土壤中高的硝态氮含量，且有一定量的下移，因而也增加了氮素淋失的可能性。

表3 大白菜收获后土壤中的NO<sub>3</sub>-N浓度(mg/kg)

土壤深度 (cm)	氮肥用量 (N, kg/亩)				
	0	6	12	18	24
0-5	2.03	3.12	3.21	3.14	3.36
5-15	0.64	1.80	1.92	2.56	4.08
15-30	0.23	0.39	0.66	0.81	1.23
30-40	0.12	0.46	0.49	0.60	0.85

一般蔬菜根系大部分集中在30cm以内的土层中，作物从30cm以下的土层中吸收的养分较少，所以用30-40cm处的氮量来表征氮素向下迁移的情况具有一定的意义。

本文采用<sup>15</sup>N标记氮肥的田间微区试验方法，从试验结束时<sup>15</sup>N标记肥料氮在土壤中的分布(图1、图2)，来估计氮素向下淋移和淋失的程度。图中<sup>15</sup>N量的结果计算公式为:

$$Q = (^{15}N_s - ^{15}N_o) \times C_N \times V_s \times \rho$$

式中：<sup>15</sup>N<sub>s</sub>为土壤中<sup>15</sup>N丰度(%)；<sup>15</sup>N<sub>o</sub>为土壤背景<sup>15</sup>N丰度(%)；C<sub>N</sub>为土壤中氮素含量(%)；V<sub>s</sub>为土壤体积(cm<sup>3</sup>)；ρ为土壤容重(g/cm<sup>3</sup>)。

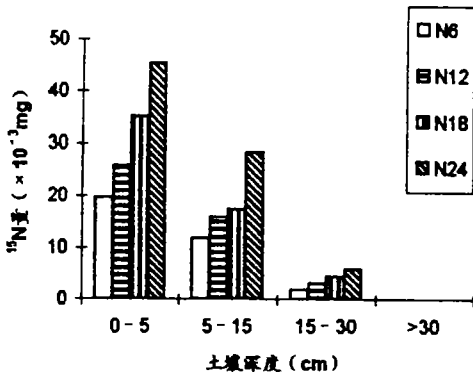


图1 甘蓝试验中<sup>15</sup>N在土壤中的分布

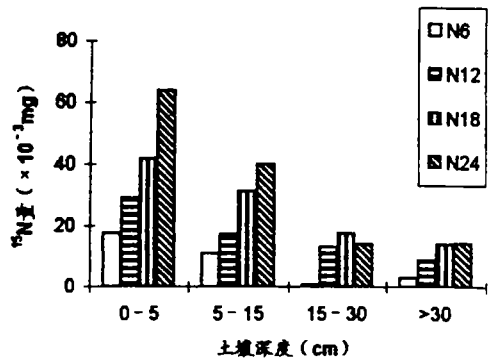


图2 大白菜试验中<sup>15</sup>N在土壤中的分布

可以看出，同一深度土层不同的氮肥用量所导致的<sup>15</sup>N量相差很大；甘蓝试验中，在超过30cm时，没有来自肥料的氮素，而在大白菜试验中则发现这部分的氮量与15-30cm土层中的氮量相近，这充分说明秋季大白菜种植过程中有一定量的肥料氮迁移离开了根系的吸收范围而损失。

另外，根据所得试验结果可以计算出30-40cm处的氮素含量。在甘蓝试验中，该值都几乎一样，因为<sup>15</sup>N丰度值都接近于背景值即自然丰度，大白菜试验结果表明，30-40cm处的<sup>15</sup>N量和氮肥用量之间有很好的相关性，可用一元二次方程表示： $Y = 5.9 - 4.44X + 1.42X^2 (R = 0.9904^*)$ ，其中Y表示30-40cm处的<sup>15</sup>N量，X表示氮肥用量。由此可见，在秋季种植大白菜的条件下，氮肥用量的提高使氮素淋失的可能性呈直线上升。

### 2.4 氮肥利用率及氮素平衡

提高氮肥利用率始终是氮肥研究中的一个重点。氮肥利用率高高低取决于诸多因素，包括氮肥用量、施用技术、田间管理措施以及作物种类等等。本试验结果表明，氮肥用量对氮肥利用率有很大的影响。

表4 蔬菜地氮肥的去向及平衡(%)

蔬 菜	去 向	氮肥用量(N, kg/亩)			
		6	12	18	24
甘 蓝	蔬菜吸收	62.9	51.5	40.9	32.6
	土壤残留	17.7	15.4	14.5	13.9
	损 失	19.4	33.1	44.6	53.5
大白菜	蔬菜吸收	58.6	48.2	43.9	32.1
	土壤残留	16.6	17.4	17.5	18.1
	损 失	24.8	34.4	38.6	49.8

根据氮肥的平衡账(表4), 随氮肥用量的增加, 蔬菜的氮肥利用率明显下降。如甘蓝施氮量 6kgN/亩时, 其利用率为 62.9%, 24kgN/亩施氮时其利用率下降至 32.6%; 大白菜则由 58.6%降至 32.1%; 相反, 损失值明显增加, 如甘蓝由 19.4%增加至 53.5%, 大白菜由 24.8%增加至 49.8%, 而土壤残留, 甘蓝和大白菜的试验结果其趋势不一致, 尚待进一步研究。

统计表4中的数据还发现, 肥料氮的损失量与其用量之间有很好的相关性, 甘蓝的相关系数  $R=0.9955$ , 大白菜上  $R=0.9870$ 。可见, 在相同的条件下, 氮肥用量的增加必然导致其损失量的增加, 但是如果没有相当量的肥料投入蔬菜就不可能有高的产量, 这就是说合理的氮肥用量是非常重要的, 同时必须采取综合管理措施才能有效地控制氮素损失。

### 3 结 论

(1)氮肥用量对蔬菜产量有很大的影响, 两者关系可用一元二次方程表示;

(2) $^{15}\text{N}$  标记的肥料试验结果表明, 0-15cm 是肥料残留的主要富集层; 甘蓝试验中没有发现肥料氮下移至 30cm 以下, 而在大白菜试验中表明有一定量的肥料氮进入了 30-40cm 土层, 并且这种量跟氮肥用量之间有一定的相关性, 也即用量越高下移的量越多;

(3)硝态氮在土壤中的分布随土壤深度而减少, 但与氮肥用量有很大的关系, 各相同层次的土壤中硝态氮浓度随氮肥用量的增加而增加, 高氮肥用量时下层土壤中的硝态氮可以超过上层土壤, 说明高氮肥用量可能导致高的氮素淋失;

(4)随着氮肥用量的增加氮肥利用率明显降低, 而氮肥的损失量却明显增加。总之, 要提高氮肥利用率降低氮肥损失, 合理控制氮肥用量是一种切实可行的技术措施。

### 参 考 文 献

- [1] Byrnes, B. H., 施用氮肥的环境后果—综述, 土壤学进展, 1994, 22(2): 29-32.
- [2] Chichester, F. W., Effects of increased fertilizer rates on nitrogen content of runoff and percolate from monoliff lysimeters. J. Environ. Qual. 1977, 6(2): 211-217.
- [3] Smith, S. J., Chopers, J. S. and Porter, L. K., Assessing and managing agriculture nitrogen losses to the environment. Advance in soil Science 1990, 14: 1-32.
- [4] Watts, C. A., Fowler, S. M. and Wilman D., Nitrogen leaching losses from irrigated Orchardgrass on sandy soil, J. Environ. Qual., 1991, 20(2): 355.
- [5] Narang, R. S. and Sarjit Singh,  $\text{NO}_3^-$ -N profiles in relation to irrigation and nitrogen levels in Indian mustard on deep alluvial soils, Indian J. Agric. Res. 1989, 23(2): 101-108.
- [6] Timmons, D. R., Nitrate leaching as influenced by water application level and nitrification inhibitors, J. Environ. Qual., 1984, 13(2): 305-310.