

氮素 产量 环境



陈子明 主编

中国农业科技出版社



氮素产量环境

陈子明 主编

编委(以姓氏笔画为序)

王家玉	毛炳衡	孙宏德	吕殿青
陈子明	宝德俊	袁锋明	

中国农业科技出版社

(京) 新登字 061 号

图书在版编目 (C I P) 数据

氮素、产量、环境/陈子明主编. —北京: 中国农业科技出版社, 1996. 6

ISBN 7-80119-207-9

I. 氮… I. 陈… II. 土壤氮素-研究 IV. S153.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 09224 号

责任编辑	王涌清
技术设计	王涌清
出版发行	中国农业科技出版社 (北京海淀区白石桥路 30 号)
经 销	新华书店北京发行所发行
印 刷	北京怀柔王史山胶印厂
开 本	787×1092 毫米 1/32 印张: 7
印 数	1—1000 册 字数: 157 千字
版 次	1996 年 9 月第一版 1996 年 9 月第一次印刷
定 价	9.50 元

编者的话

从1992~1994年先后在不同农区、不同气候带和不同土类的吉林黑土、北京褐潮土、河南潮土、陕西黄绵土、四川紫色土和浙江水稻土六个土壤肥力监测基地的6套养分渗滤设施216个池子共376.82m²面积上,种植2~4年作物,每年一季或每年两季共31茬的小麦、玉米或水稻;共测定分析土壤或溶液中NH₄-N、NO₃-N或土壤全氮、全磷、全钾、速效氮、磷、钾和植株、籽粒的氮、磷、钾等4万余项次,取得大量的数据资料。三年的结果概括为:(1)初步摸清了施用氮肥后土壤中NH₄-N和NO₃-N的变化移动和分布规律。(2)通过氮素变化移动和¹⁵N的示踪研究,对氮素特别是NO₃-N的移动对土壤环境和地下水的污染程度提出了科学依据。(3)通过氮素在土壤中的变化和分布规律以及作物吸收利用情况,对氮素的利用率和持续利用提供了科学的数据资料。(4)研究了氮素同产量和品质以及后效的关系。现将研究论文编写成册,由于水平有限,错误难免,希读者多提宝贵意见。

目 录

1. 氮肥施用对土体中氮素移动及其对环境质量
和产量的影响 陈子明 袁锋明等 (1)
2. 北京潮土土体中 $\text{NO}_3\text{—N}$ 的移动特点
及其淋失动态 陈子明 袁锋明等 (32)
3. 潮土硝态氮的淋失及预防
措施研究 宝德俊 张鸿程等 (53)
4. 陕西塿土中 $\text{NO}_3\text{—N}$ 运移特点
及其影响因素研究 吕殿青 杨学云等 (63)
5. 长期定位施用不同氮肥品种对土壤剖面 $\text{NO}_3\text{—N}$ 和
 $\text{NH}_4\text{—N}$ 分布的影响 杨学云 吕殿青等 (79)
6. 稻田土壤中氮素淋失的研究 ... 王家玉 王胜佳等 (89)
7. 水稻生育期间紫色土氮素动态
变化研究 刘洪斌 周则芳等 (103)
8. 冬小麦生育期间紫色土氮素转化
与移动的研究 刘洪斌 周则芳等 (111)
9. 黑土中硝态氮移动与施肥
关系的研究 孙宏德 李 军等 (119)
10. 稻麦轮作条件下紫色土氮素
转化特点的研究 饶义平 刘洪斌等 (125)
11. 潮土施氮肥对作物利用氮素和
产量的影响 宝德俊 皇甫湘荣等 (134)
12. 应用缓效氮肥提高氮肥
利用率的研究 王家玉 王胜佳等 (139)

13. 黑土中硝态氮的淋失及提高氮肥
利用率的研究 孙宏德 李 军等 (150)
14. 陕西省几种主要农业土壤的硝化作用
特征及其影响因素 张树立 杨学云等 (157)
15. 大型原状土柱渗透计的建造及其在稻田
养分渗漏研究中的应用 王胜佳 陈 义等 (167)
16. 土壤氮素移动规律和氮肥合理
施用关系的研究 陈子明 袁锋明 (177)
17. 土壤中的氮素淋洗 (综述)
..... 袁锋明 陈子明等 (191)

氮肥施用对土体中氮素移动 及其对环境质量和产量的影响^{*}

陈子明 袁锋明 姚造华
周春生 付高明 李小平 王丽霞

(中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081)

摘要 利用养分渗滤设施对氮素变化、移动及其对环境质量和作物产量的影响进行了三年 6 茬的试验研究。结果表明, 施用铵态氮和尿素肥料之后, 首先是以铵态氮和酰胺态氮聚集于 0~10cm 土层, 并部分下移到 20~40cm 土层。20 天左右逐步转化为硝态氮并滞留在 0~10cm 土层, 在春季降雨或灌水时可淋洗到 40~60cm 土层, 灌水超过 50 方可淋洗到 100cm 土层以下。夏秋季节降雨较多, 硝态氮在 0~10cm 土层减少, 40~60cm 土层增多, 80cm 土层以下也大量增加, 以致造成地下水和土壤环境污染。氮素流失量的顺序是施氮素 15kg>10kg>5kg, 单施氮肥>氮+有机肥。

施肥的经济效益顺序是每亩施氮素 5kg>10kg>15kg, 但生物量和籽粒产量的顺序是 10kg>15kg>5kg。10kg 的施氮量比较合适。

经用标记¹⁵N 测定, 施肥量为 10kg 氮的尿素和硝酸铵的利用率, 第一茬约为 35%, 第二茬约为 12%, 第三茬约为 5%, 第四

^{*} 农业部重点项目和北京市自然科学基金资助项目的部分研究结果, 参加工作的还有宋永林、刘燕菁、杨海顺

茬约为 3%。

关键词 渗滤设施 氮素移动 氮肥利用率 环境污染

本课题的目的是研究施用氮肥对土壤环境和地下水以及提高作物产量的影响。国内外许多研究者认为,氮肥利用率一般是 20%~30%,因此,研究氮肥的去向,提高氮肥利用率已成为研究的重点。氮素淋洗流失,污染土壤环境和地下水资源已引起广泛关注。我们利用养分渗滤设施研究氮素在土壤中的变化及其在土体中的立体移动和分布状况,根据氮素变化规律并结合作物吸收利用以及产量的经济效益,为减少氮素损失,减少氮素对土壤环境和地下水的污染,提高氮肥利用率和提高作物产量提出科学依据。

1 基本条件和设计方案

1.1 土壤和气候

试验是设置在全国土壤肥力和肥料效益昌平监测基地上,地处北京西北郊昌平区京昌公路西侧,土壤类型属潮土,土壤理化性状如表 1、表 2 所示。

在华北平原约有 2 亿亩以上的潮土和褐潮土,是华北地区的主要农作物基地。

这里的年降雨量为 600mm 左右,集中在 7、8、9 三个月,冬春干旱少雨,旱季时地下水位在 150cm 以下,雨季时水位可上升到 100cm 甚至 60~70cm。因此,肥料的利用和氮素流失同这有密切关系。

1.2 试验设计方案

表 1 试验土壤基本农化性状

深度 cm	全氮 g · kg ⁻¹	全磷 g · kg ⁻¹	全钾 g · kg ⁻¹	速效氮 mg · kg ⁻¹	速效磷 mg · kg ⁻¹	速效钾 mg · kg ⁻¹	缓效钾 mg · kg ⁻¹	有机质 g · kg ⁻¹	CaCO ₃ g · kg ⁻¹	C. E. C. cmol(+) · kg ⁻¹	pH
0~27	0.691	1.62	17.0	49.1	5.2	52.0	329	11.37	34.6	13.84	8.6
27~55	0.567	1.39	17.3	37.6	2.9	62.2	294	10.77	39.4	19.32	8.8
55~80	0.691	1.37	17.4	38.3	2.6	63.5	224	14.27	23.5	23.17	9.0
80~	0.277	1.11	19.0	24.2	3.4	61.2	270	4.30	6.8	21.08	8.8

表 2 养分渗滤池中试验土壤的几个物理性状

深度 cm	容 量 10 ³ kg · m ⁻³	总孔隙度 %	毛管孔隙度 %	饱和净水率 mm/h
0~20	1.32	50.2	42.4	41.2
20~40	1.41	46.8	38.8	21.4
40~	1.40	41.2	39.8	43.1

试验安排三个氮肥品种和三种用量，七个处理、四次重复。其中，尿素氮和硝铵氮有两个重复用标记氮，三种用量是低量、常规用量和高量，每季播前一次性撒施并翻入土中。具体处理如下：

- (1) 无肥区
- (2) PK 底肥（过磷酸钙 5kg P/亩，氯化钾 3kg K/亩）
- (3) 尿素 5kg N/亩+PK
- (4) 尿素 10kg N/亩+PK（标记氮丰度为 15.34%）
- (5) 尿素 15kg N/亩+PK
- (6) 硝铵 10kg N/亩+PK（标记氮丰度为 10.34%）
- (7) 硫铵 10kg N/亩+PK

第一茬种春小麦, 3月5日播种, 6月20日收获, 6月下旬种植夏玉米, 品种为中单120, 9月下旬收获, 9月下旬种冬小麦, 品种为8693, 再后是冬小麦、夏玉米轮作。

1.3 样本采集与分析测定

试验是利用渗滤设施模拟自然条件进行的, 渗滤池的长度为200cm, 宽度为100cm, 深度为130cm。整个设施属半地下式类型, 池中土体是按原状土分层回填, 每隔20cm埋设与地面平衡的细孔陶瓷头, 并有软管引出池体与抽真空泵的导管相连, 池子底部多余的水分可以直接排到池外的盛水容器中。取样时, 0~10cm、20~40cm土层采用土钻取土, 而40cm以下土层则用真空泵抽取土壤原液。土壤样本用0.5% $\text{Ca}(\text{OAC})_2$ 溶液浸提 NO_3-N , 用硝酸试粉法比色测定。 NH_4-N 用2mol KCl 溶液浸提, 用纳氏法比色测定。标记氮的土壤经过浸提处理使总氮量达到0.5mg以上, 用质谱仪测定。结果多进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 土壤中 NH_4-N 变化的特点

这里主要是按季节在春(冬)小麦和夏玉米期间对0~10cm和20~40cm土层的 NH_4-N 进行测定, 从时间和土体空间研究 NH_4-N 的时空变化。

2.1.1 春小麦期间土体中 NH_4-N 的变化

在春小麦播种以后的3月初到3月中旬, 在不同施肥量的情况下, 0~10cm土层的 NH_4-N 变化如图1所示, 每亩施10公斤氮素的 NH_4-N 为50~60mg/kg, 每亩施15公斤

氮素的达 70mg/kg 左右，形成第一峰期，无肥区和底肥区 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量在 20mg/kg 左右。但施肥后 15 天左右则迅速降低到 5mg/kg 左右，随后在 4 月中旬又回升，10 公斤用量的上升到 30mg/kg，15 公斤用量可上升到 38mg/kg 以上，这是施肥后形成的第二个高峰，这可能是由于尿素形成的酰胺态氮经尿酶分解逐步转化为 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的缘故，而无肥区和底肥区的只有 10mg/kg 左右。施肥区和对照区相比差异达到极显著。种麦期间的中后期 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的含量虽有起伏，但差异都不显著。从图 2 可以看到，这期间肥料品种之间的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 变化差异也不显著。

在这一期间，由于 $\text{NH}_4\text{-N}$ 移动较慢，因此，20~40cm 土层的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量要比 0~10cm 土层少得多，施用量 10kg 和 15kg 氮素的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 变化，即使在 3 月中旬到 4 月下旬的高峰期也只有 15mg/kg 左右，但随着上层的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 减少，这一层次的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量也相应减少，因此，其余时间都在 10mg/kg 以下。

2.1.2 夏玉米期间土体中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的变化

6 月下旬种植夏玉米并施肥以后，在 0~10cm 土层内除施硫酸 20kg 氮在开始时的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量为 60mg/kg 之外，其余处理的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量都在 20~30mg/kg，这一峰值维持 25 天左右，如图 2 所示。随后由于作物吸收利用和转化，在 7 月底 8 月初迅速下降到 10mg/kg 以下，但过后又继续下降，到 9 月中下旬 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的含量只有 5mg/kg 左右。玉米生育期间，20~40cm 土层的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量，最高是施 10kg 和 15kg 氮的处理，但都不超过 28mg/kg，如图 4 所示。在高峰之后的 7 月下旬到 9 月下旬， $\text{NH}_4\text{-N}$ 的含量只有 5mg/kg

左右。只是在9月下旬种植冬小麦施肥之后，0~10cm土层的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量才骤然上升，如图1、2、3和4所示，施用15kg氮的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量可高达140mg/kg以上，施10kg氮素的也都在100mg/kg左右，10月下旬以后逐步减少。同样，这一时期20~40cm土层的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量也相应增加，但最高不超过35mg/kg。

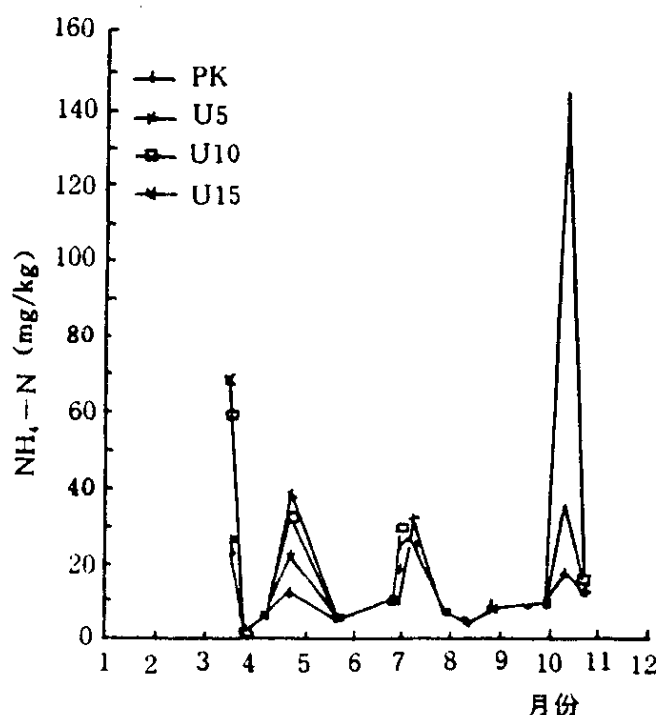


图1 0-10cm 土层 $\text{NH}_4\text{-N}$ 变化
(1992.3.15~1992.10.22)

从图1、2、3、4可以看到，1992年 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的变化情况，3月初、6月下旬和9月下旬在施用肥料之后，0~10cm和20~40cm土层的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 形成相应的峰期，其中3月份和9月份的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 峰值都比较高，而7月份比较低。分析原因，3月初春麦才播种，植物无法利用骤然施入的 $\text{NH}_4\text{-N}$ ，另外，气温土温比较低， $\text{NH}_4\text{-N}$ 不易转化为 $\text{NO}_3\text{-N}$ ，9月下旬以后也有类似情况，这时温度低湿度大， $\text{NH}_4\text{-N}$ 比较容易保存在土中。7月温度比较高，微生物活跃， $\text{NH}_4\text{-N}$ 很容易转化为 $\text{NO}_3\text{-N}$ ，同时也易于挥发损失，加上作物吸收利用，因此，7月份土壤中的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量就比较少。

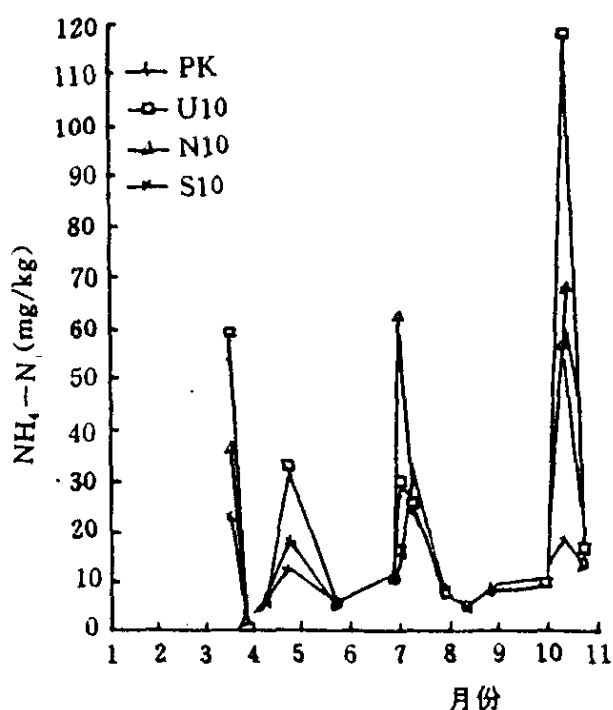


图2 0—10cm 土层 $\text{NH}_4\text{-N}$ 变化
(1992. 3. 15~1992. 10. 22)

同样可以从图中看到 $\text{NH}_4\text{-N}$ 主要分布在 0~10cm 土层, 而 20~40cm 较少, 根据测定愈往下愈少, 形成上层多下层少的趋势。

2.2 土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 变化的特点

华北潮土地
区, 冬春干旱、夏秋
雨水集中, 在不同
季节、不同作物条

件下, 施肥之后土壤中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的变化具有它自己的特点。

2.2.1 冬春作物期间 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的变化

(1) 0~10cm 土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的变化 1992 年播种春小麦, 施用的是尿素、硝铵和硫铵, 因此, 在土壤中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 大量增加, 随着土壤吸附固定、作物吸收利用、硝化作用和挥发作用, $\text{NH}_4\text{-N}$ 逐步减少, 而 $\text{NO}_3\text{-N}$ 大量增加, 但增加的硝态氮是滞留在表层还是淋洗到下层主要取决于降雨或灌水对土壤含水量的影响。这里冬春干旱, 特别是小麦生长的 3、4、5、6 月份正是干旱季节, 土壤含水量一般都小于 17%, 0~10cm 土层的含水量有时只有 10% 左右。这时土壤硝态氮的变化和分布如图 5 和 6 所示, 底肥处理的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 变化不

大，高峰期 为 20mg/kg 左右，施用量每亩 5kg 氮的 NO_3-N 含量最高可达 45mg/kg 左右，施用量每亩 10kg 的三个常量尿素、硝铵和硫酸铵的 NO_3-N 含量为 70~80mg/kg，高的可达 150mg/kg，高施肥量 15kg 的为 100mg/kg 左右。

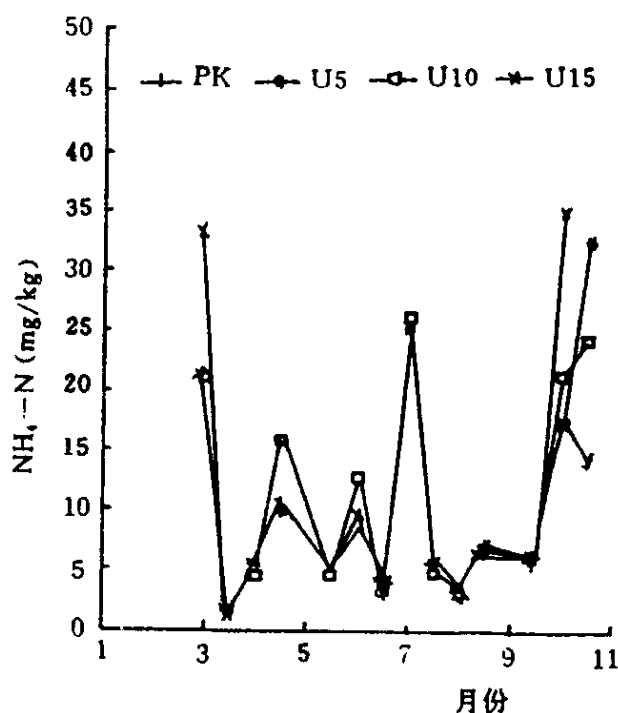


图 3 20—40cm 土层 NH_4-N 变化
(1992. 3. 15~1992. 10. 22)

(2) 20~40cm 土层 NO_3-N 的变化 在小麦整个生育时期，底肥处理的 NO_3-N 含量只有 10mg/kg 左右，低量氮的 NO_3-N 含量为 10~15mg/kg 之间，三个常量在 20mg/kg 左右，最高的是硝铵可达 30mg/kg，高施肥量的 NO_3-N 含量都超过 20mg/kg，高时可达 40mg/kg。但总的来说，同 0~10cm 土层相比， NO_3-N 在 20~40cm 土层是比较少的。从统计分析的结果看，两土层之间差异显著，从 3 月 15 日到 4 月 21 日测定的结果都达到显著或极显著，只是在降雨或灌水之后两层之间 NO_3-N 含量的差异才不显著，说明这时期土壤的硝态氮主要聚集在 0~10cm 土层。同时，还可以看到，各施肥处理同对照底肥相比， NO_3-N 含量的差异达显著或极显著。

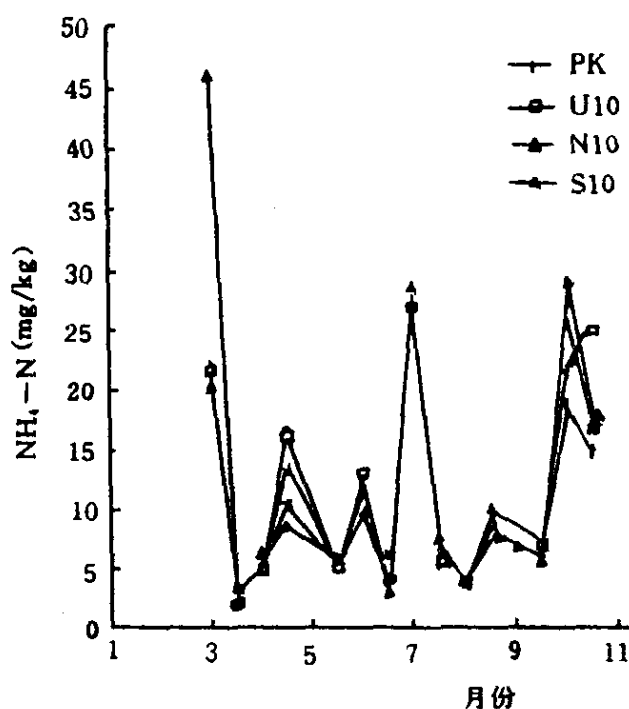


图4 20—40cm 土层 $\text{NH}_4\text{—N}$ 变化
(1992. 3. 15~1992. 10. 22)

(3) 40~60cm

土层 $\text{NO}_3\text{—N}$ 的变化 在日降雨量超过 40~50mm 或灌水量超过 50m^3 以上时有较多 $\text{NO}_3\text{—N}$ 由上层淋洗到这一层次之外,一般情况下,这一层次的 $\text{NO}_3\text{—N}$ 含量都少于 10mg/kg 。因此,在冬春干旱的华北潮土地区,即包括华北大平原的广大地区,

在冬(春)小麦生长季节,土壤中的 $\text{NO}_3\text{—N}$ 主要分布在 0~10cm 土层,其次是少量分布在 20~40cm 土层,而在 60cm 以下则含量很少,这一时期的小麦根系也正是集中分布在 0~60cm,因此,冬春季节施用氮肥对小麦生育非常有利。

2.2.2 夏玉米生育期间 $\text{NO}_3\text{—N}$ 的变化

夏玉米生育期间是在 6 月下旬到 9 月下旬,正值高温多雨季节,土壤的水热条件同冬春季节相比有很大差异,这对土壤硝态氮的变化产生影响。

(1) 0~10cm 土层 $\text{NO}_3\text{—N}$ 的变化 自 6 月下旬施肥以后,无肥区的 $\text{NO}_3\text{—N}$ 含量都小于 5mg/kg ,只是在 7 月份才超过 10mg/kg ,最高时可达 21mg/kg ,而施 5 公斤氮素的处理

理在7月份可达40~60mg/kg,如图5、6所示,高时达98.1mg/kg。三个常量肥料的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量都在60~90mg/kg,而硝铵的高达207mg/kg。但8月下旬以后,这一层次的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量则迅速降到2mg/kg左右,这是由于作物的吸收利用,同时又是降

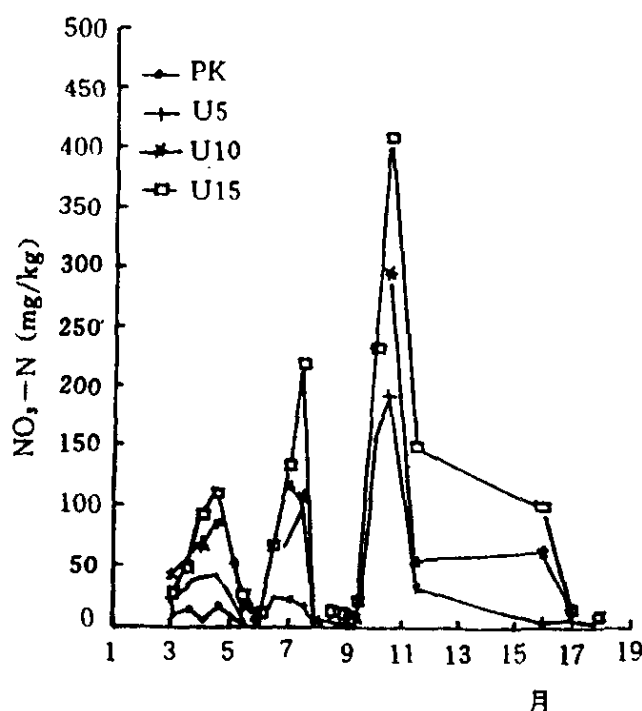


图5 0~10cm 土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 变化
(1992. 3. 15~1993. 6. 19)

水季节, $\text{NO}_3\text{-N}$ 被淋洗到下面的层次,但总体来说这段时间的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量比冬春季节要高出30~40mg/kg甚至100mg/kg,从施肥前后时间上比较以及同底肥相比较, $\text{NO}_3\text{-N}$ 的变化达到了显著差异。

(2) 20~40cm 土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的变化 在冬春作物时, $\text{NO}_3\text{-N}$ 在20~40cm土层变化不大,而夏秋季节的变化可从图7、8看到,在6月29日以后测定的结果,除底肥处理的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量增加不多之外,三个常量的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量都在100mg/kg以上,高施肥量的可高达174mg/kg,而冬春季节 $\text{NO}_3\text{-N}$ 高峰时只有24mg/kg,这说明夏季的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 已明显被淋洗到20~40cm土层,特别是高施肥量的处理一直

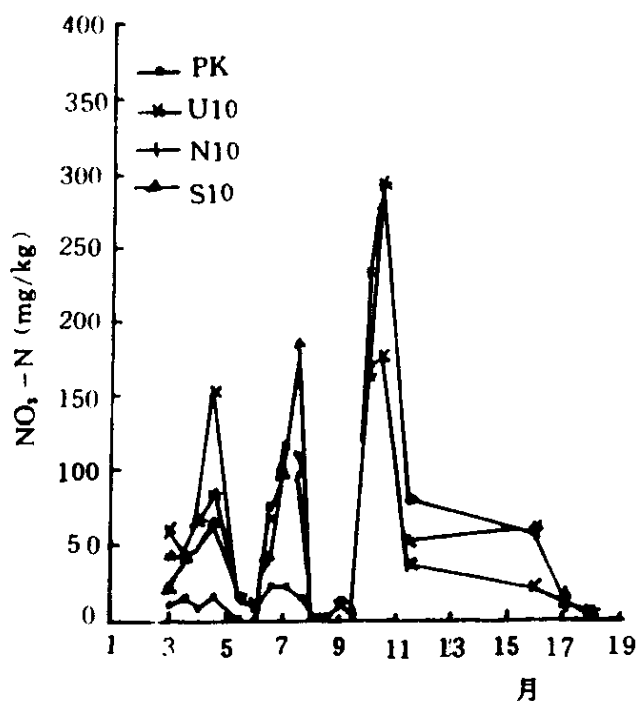


图 6 0~10cm 土层 NO₃-N 变化
(1992. 3. 15~1993. 6. 19)

到 8 月中下旬仍然有较高含量的 NO₃-N 被淋洗到这一层次。

(3) 40 ~ 60cm, 60 cm, 100cm 土层 NO₃-N 的变化 在冬春季节, 淋洗到 40cm 土层的 NO₃-N 含量以抽出液计算一般都小于 20mg/L。然而夏秋季节除 20~40cm 土层有大量的

NO₃-N 含量之外, 在 40cm 土层也有大量的 NO₃-N 存在, 特别是在大雨之后, 从图 9、图 10、图 11 可以看到变化的情况, 在降雨之前的 7 月 2 日, NO₃-N 主要集中在 40cm 土层以上, 从 7 月 2 日测定的结果看到, 施肥的 NO₃-N 含量在 40mg/L 以上, 高施肥量的接近 100mg/L。以 40cm 土层为界形成上部多下部少, 到 60cm 土层深度时, 施肥和底肥区的 NO₃-N 都小于 15mg/L。但随着 7 月下旬的几次大雨, NO₃-N 被淋洗到 40cm 土层以下, 并有大量的 NO₃-N 通过 60cm 土层。从图 10 可看到 8 月 10 日结果, 这时三个常量的 NO₃-N 含量都超过 100mg/L, 其中硝铵的达到 200mg/L, 高施肥量的达 270mg/L。雨量充沛时, NO₃-N 还将继续