

# 长期施肥对晋西北农田硝态氮累积与分布的影响

黄学芳<sup>1</sup>, 池宝亮<sup>1</sup>, 张冬梅<sup>1</sup>, 张 健<sup>1</sup>, 王改兰<sup>2</sup>

(1. 山西省农业科学院 旱地农业研究中心, 山西 太原 030031; 2. 湖南农业大学 资源环境学院, 湖南 长沙 410128)

**摘要:** 在 19 年长期定位施肥试验的基础上, 研究了施肥后  $\text{NO}_3^-$ -N 在晋西北土壤中的残留效应, 结果表明: 单施低量有机肥后,  $\text{NO}_3^-$ -N 不会在土壤中累积, 在土壤剖面的分布呈直线型; 其他施肥处理都造成了  $\text{NO}_3^-$ -N 在土壤中的累积, 且呈倒“S”型分布, 在 20~ 80, 140~ 200 cm 土层出现了 2 个  $\text{NO}_3^-$ -N 累积层, 在 80~ 140 cm 土层形成了  $\text{NO}_3^-$ -N 累积的低值区域。单施氮肥大幅度提高了  $\text{NO}_3^-$ -N 的累积量, 配施磷肥后, 可显著减少  $\text{NO}_3^-$ -N 在土壤中的累积; 配施低量有机肥后,  $\text{NO}_3^-$ -N 的累积量基本上与单施氮肥处理持平; 配施高量有机肥后, 加重了  $\text{NO}_3^-$ -N 在土壤中的累积。

**关键词:** 长期施肥; 晋西北; 硝态氮

中图分类号: S147.2 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091(2008) 04- 0204- 04

## Effects of Long-term Fertilization on Distribution and Accumulation of $\text{NO}_3^-$ -N in Agricultural Land in Northwestern Shanxi Province

HUANG Xue-fang<sup>1</sup>, CHI Bao-liang<sup>1</sup>, ZHANG Dong-mei<sup>1</sup>, ZHANG Jian<sup>1</sup>, WANG Ga+lan<sup>2</sup>

(1. Dryland Agriculture Research Center, Shanxi Academy of Agricultural Sciences,

Taiyuan 030031, China; 2. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** Residue of  $\text{NO}_3^-$ -N in soil by fertilizer application under site-specific fertilization experiment about 19 years in Northwestern Shanxi Province was carried out. Results showed:  $\text{NO}_3^-$ -N wasn't accumulate in the soil with low organic fertilizer application, and appear linear type in soil profile distribution. "S" type was appeared of  $\text{NO}_3^-$ -N accumulation in soil under other fertilizer treatments. Two  $\text{NO}_3^-$ -N accumulation layer were shown in 20- 80 and 140- 200 cm, and formed  $\text{NO}_3^-$ -N lower accumulation area in 80- 140 cm. Nitrogen fertilizer improved  $\text{NO}_3^-$ -N accumulation on a large scale. However, combined phosphorus fertilization reduced  $\text{NO}_3^-$ -N accumulation significantly; accumulation of  $\text{NO}_3^-$ -N was about the same as application of nitrogen fertilizer combined with low amount fertilizer; accumulation of  $\text{NO}_3^-$ -N in soil rised with application of high amount of organic fertilizer.

**Key words:** Long-term fertilization; Northwestern Shanxi province;  $\text{NO}_3^-$ -N

要想获得更多的粮食, 就必须投入肥料, 但不合理的施肥常常会造成肥料利用率降低, 甚至造成环境污染。如大量施用氮肥后, 残留于土壤中的硝态氮会对地下水造成污染<sup>[1]</sup>, 以往研究者对降水较多地区或灌区的硝态氮淋溶给予了高度重视<sup>[2,3]</sup>。晋西北属于黄土丘陵沟壑区, 生态环境脆弱, 雨季来临后, 土壤中的肥料会随着水土流失而流失, 同时也造成了土壤中硝态氮的淋失。随着当地农业经济的发展, 化肥的施用量也在不断增加, 以晋西北的河曲县为例, 2005 年化肥的施用量达到了 23 551 t<sup>[4]</sup>。我们利用设立于该区的长期施肥试验, 探讨研究硝态氮

在土壤中的残留情况, 旨在为晋西北的合理施肥及农业的可持续发展提供科学依据。

### 1 材料和方法

长期施肥试验布置在晋西北河曲县沙坪村窑家嘴梁顶平地上。试验区属暖温带大陆性季风气候, 年平均气温 8.8℃, 全年  $\geq 10^\circ\text{C}$  的积温 3 000~ 3 360℃, 无霜期 140 d 左右。多年平均降雨量 447.5 mm, 63% 以上的降雨集中在 6~ 8 月, 年际间降水变率达 60%。试验田海拔高度 1 089 m。试验地土壤为轻壤黄土质淡栗褐土, 试验前耕层土壤有机质含

量 5.64 g/kg, 全氮含量 0.45 g/kg, 全磷含量 1.23 g/kg, 碱解氮含量 34.90 mg/kg, 速效磷含量 2.69 mg/kg, pH8.2。

试验设 8 个处理: CK, N, NP, M<sub>1</sub>, NM<sub>1</sub>, NM<sub>2</sub>, NPM<sub>1</sub>, NPM<sub>2</sub>, 其中 CK 为不施肥, N 指 N 120 kg/hm<sup>2</sup>, P 指 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg/hm<sup>2</sup>, M<sub>1</sub> 指施低量有机肥 22.5 t/hm<sup>2</sup>, M<sub>2</sub> 指施高量有机肥 45.0 t/hm<sup>2</sup>。试验小区面积 4 m×6 m, 随机区组排列, 重复 3 次。氮肥用含 N 46% 的尿素, 磷肥用含 4% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的过磷酸钙, 有机肥用当地圈肥, 圈肥的纯氮含量为 2.36 g/kg (以鲜基表示), 肥料在每年春耕时一次性施入。供试作物为糜子和马铃薯, 采取轮作方式, 偶数年份为糜子, 奇数年份为马铃薯, 耕作管理措施与大田相同, 收获按小区单独计产。

在试验第 19 年糜子收获后, 用土钻每 20 cm 采集各处理 0~200 cm 的分层土壤样品, 样品风干后, 用 2.0 mol/L 的 KCl 溶液搅拌浸提 (土液比为 1:5, 温度 25℃) 30 min, 过滤后用流动注射分析仪测定土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量。

数据处理、绘图与分析采用 Sigmaplot 10.0 和 Excel 软件。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的累积

由于土壤本身的矿化作用, 土体中会存在少量 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N。表 1 数据显示, 不施肥处理经连续 19 年耕作后, 0~200 cm 土层中还含有 28.41 kg/hm<sup>2</sup> 的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, 而其他施肥处理, 土体中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量发

生了显著变化。从表 1 可以看出, 单施低量有机肥 (M<sub>1</sub>) 与 CK 相比, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量没有太大的变化, 仅比 CK 减少 6.89 kg/hm<sup>2</sup>。单施氮肥 (N) 大幅度提高了 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的累积量, 达 217.05 kg/hm<sup>2</sup>, 比 CK 增加 188.64 kg/hm<sup>2</sup>, 累积量是 CK 的 7.64 倍。在单施氮肥的基础上增加有机肥, 有机肥没有降低 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 在土体中的累积量, 氮肥配施低量有机肥 (NM<sub>1</sub>) 处理比 N 处理增加了 10.52 kg/hm<sup>2</sup>, 变化不大; 氮肥配施高量有机肥 (NM<sub>2</sub>) 处理比 N 处理增加了 156.93 kg/hm<sup>2</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量明显上升。在 NP 处理基础上配施有机肥 (M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>), 也有类似的结果。增施磷肥能降低相应处理 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的累积量, 其中在单施氮肥的基础上增施磷肥效果最明显, NP 处理比 N 处理 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量减少 69.56 kg/hm<sup>2</sup>, 减少近 1/3; 在有机肥氮肥基础上增施磷肥后, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量减少不明显, NPM<sub>1</sub> 和 NPM<sub>2</sub> 处理比 NM<sub>1</sub>, NM<sub>2</sub> 处理相应减少 18.3, 11.17 kg/hm<sup>2</sup>。

以上数据说明, 不同处理之间土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量存在着很大的差异, 这种差异主要和施入土壤的总氮量以及作物的吸氮量有关。相关研究表明, 土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量和施氮量成正相关<sup>[5]</sup>, 与作物吸氮量成负相关<sup>[6]</sup>。在本试验中, 施入土壤的总氮量和种植作物后土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的累积量存在显著的非线性正相关 (r=0.964 7, 图 1), 说明施肥是造成土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积的主要因素。但施氮量相同的处理之间 (N 和 NP, NM<sub>1</sub> 和 NPM<sub>1</sub>, NM<sub>2</sub> 和 NPM<sub>2</sub>), 其 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量存在着差异, 主要和作物吸氮量的大小有关。

表 1 不同施肥处理 19 年后 0~200 cm 土体中硝态氮累积量

Tab. 1 Amount of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N in soil under different fertilization after 19 years

| 项目 Items   | CK    | M <sub>1</sub> | N      | NP     | NM <sub>1</sub> | NM <sub>2</sub> | NPM <sub>1</sub> | NPM <sub>2</sub> |
|--|-------|----------------|--------|--------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| 硝态氮累积量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Amount of NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | 28.41 | 21.52          | 217.05 | 147.49 | 227.57          | 373.98          | 209.27           | 362.81           |

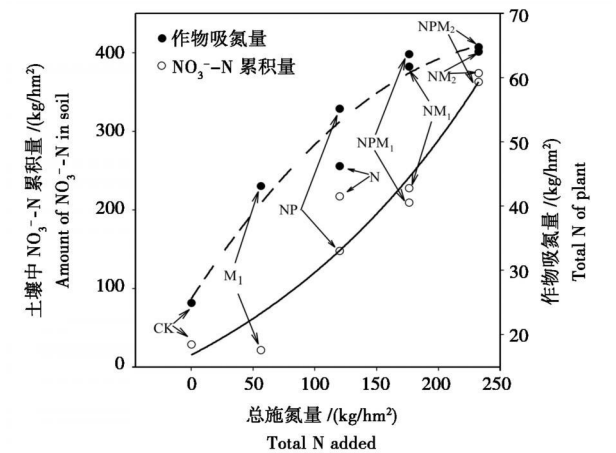


图 1 施氮对作物吸氮量和土壤硝态氮累积量的影响  
Fig. 1 The response of total of plant and amount of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N in soil to application of nitrogen

从图 1 可以看出, NP 处理的作物吸氮量明显高于 N 处理, 而土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量却低于 N 处理。NPM<sub>1</sub> 和 NM<sub>1</sub>, NPM<sub>2</sub> 和 NM<sub>2</sub> 也有类似的结果。作物吸氮量对土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量的影响还表现在不同施氮量处理之间。图 1 还显示, 作物吸氮量和施氮量之间存在显著的非线性正相关 (r=0.974 5), 作物吸氮量随施氮量的增加呈抛物线型递增趋势, 而土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量随施氮量的增加呈指数型递增趋势。M<sub>1</sub> 与 CK 相比, 增施氮量 56.25 kg/hm<sup>2</sup> 后, 作物吸氮量增加幅度很大, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量变化不大。NM<sub>1</sub>, NPM<sub>1</sub> 与 N 处理之间, 也表现出同样的现象。NM<sub>2</sub>, NPM<sub>2</sub> 比 NM<sub>1</sub>, NPM<sub>1</sub> 处理, 增施氮量也为 56.25 kg/hm<sup>2</sup>, 作物吸氮量增加幅度很小, 但 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积

量却大幅度的上升。作物吸氮量对土壤中  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  累积的影响, 主要是因为  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  是作物吸收氮素的主要形式之一, 通过作物对土壤中  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  的有效吸收, 减少了土壤中  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  的积累。

## 2.2 $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$ 在土壤剖面中的分布规律

长期施肥 19 年后, 不同处理的  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  在 0~ 200 cm 的土壤剖面中分布不同(图 2), 形成了 2 种分布形状。CK 和  $\text{M}_1$  处理呈直线型,  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  含量通体变化不大,  $\text{M}_1$  与 CK 相比, 除 0~ 20 cm 略高于 CK 外, 20~ 200 cm 都低于 CK, 没有造成  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  的淋溶, 其主要原因和有机肥促进了作物对土壤氮素的吸收以及有机氮的矿化速率有关。其余处理均呈倒“S”型, 从上到下形成了明显的“峰-谷-峰”3 个层次。在 20~ 80 cm 土层内形成了第一个累积峰, 累积峰值最小的是 NP 处理, 达 13.5 mg/kg, 峰值最大的是  $\text{NM}_2$  处理, 高达 34.8 mg/kg。80~ 140 cm 土层形成了较明显的低值区域,  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  含量变化在 0.7~ 5.4 mg/kg 范围内, 与第一个累积峰值相比, 相差 10 倍以上。在 140~ 200 cm 区域内,  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  含量又逐渐上升, 在 180 cm~ 200 cm 处形成了第二个累积峰值,  $\text{NPM}_2$  处理的峰值最大,  $\text{NM}_2$  次之, 分别达到了 25.6 和 18.6 mg/kg。由于所取土样深度只有 200 cm, 200 cm 以下  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  没有测定, 从  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  含量的变化趋势看, 累积峰值出现的层次可能在 200 cm 以下。

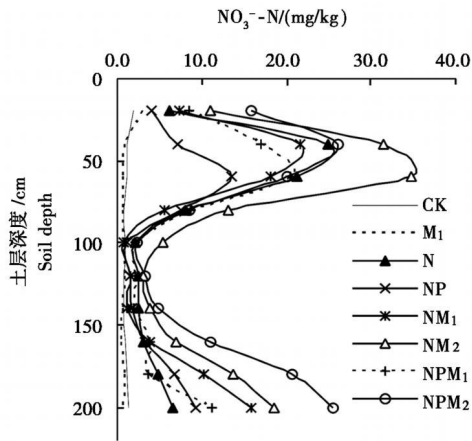


图 2 不同施肥处理土壤剖面  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  分布

Fig. 2  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  distribution in soil profile under different fertilization

$\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  分布呈倒“S”型的施肥处理, 在 80~ 140 cm 土层中, 其  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  含量与 CK 相差不大, 特别是 NP 和  $\text{NM}_1$  处理基本上接近 CK, 表明试验作物能利用淋移至 80~ 140 cm 土层的  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$ , 这可能与当地的降雨量以及试验作物对土壤水分的利用深度有关。据王改兰等<sup>[7]</sup>在该流域的研究, 糜子对土壤水分的利用深度可达 150 cm, 因此 150 cm 以上的

$\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  可以被作物利用, 而淋移到 150 cm 以下的  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  将很难利用。研究资料表明,  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  淋移深度随地面接水量的增加而增大<sup>[8]</sup>, 每 2~ 3 mm 的降水可使土壤中的  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  下移 1 cm<sup>[9]</sup>。降水是试验区唯一的水分来源, 在 19 年内, 平均年降雨量为 369.4 mm, 其中丰水年 3 年, 常态年 4 年, 干旱年 12 年, 因此可能在少数的年份里,  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  被淋移到 150 cm 以下, 并在 150 cm 以下形成第二个累积层。而在多数年份由于降雨量低,  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  不易淋移到土壤深层, 被积累在土壤上层, 形成第一个累积层。

## 3 结论和讨论

在半干旱区, 长期施肥造成了  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  在土壤中的累积, 大部分处理其累积量都超过了单年的施氮量, 说明旱地  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  的累积是多年积累形成的。不同施肥处理影响  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  的累积量, 单施低量有机肥不会增加  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  在土壤中的累积, 且在土壤剖面中分布均匀; 单施氮肥明显增加了  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  的累积, 配施磷肥后, 可显著的减少  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  在土壤中的累积; 氮肥配施低量有机肥后, 没有降低  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  的累积量, 基本上与单施氮肥处理持平, 在配施高量有机肥后, 反而加重了  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  在土壤中的累积, 虽然施用有机肥能提高土壤肥力, 但过量施用有机肥, 不仅不能提高土地生产力, 反而造成  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  在土壤中的淋失, 这在生产中应引起重视。

除  $\text{M}_1$  处理外的所有施肥处理  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  都呈倒“S”型分布, 出现了两个累积层(20~ 80, 140~ 200 cm)和一个含量很低的层次(80~ 140 cm), 而不是一个累积层<sup>[10]</sup>, 各处理的  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  累积峰基本上处于同样的层次。试验期间年平均降水量仅有 369.4 mm 情况下,  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  在 200 cm 土层甚至更深处还大量存在, 无论是单施氮肥还是氮磷有机肥配施, 都造成了  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  在土体中的深层淋失, 但过量的施肥更加严重, 如  $\text{NM}_2$  和  $\text{NPM}_2$  处理。因此, 合理的无机有机配施及施肥量非常重要, 从不同处理的作物吸氮量看,  $\text{NM}_1$  和  $\text{NPM}_1$  处理达到了最高值的 95.4%~ 98.4%, 而两处理的  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$  累积量只有最高值的 56.0%~ 60.9%, 是较为理想的施肥处理, 两处理施氮量水平(包括有机氮和无机氮)达到了 176 kg/hm<sup>2</sup>, 这个施氮量可以成为当地大面积生产的“平均适宜施氮量”<sup>[11]</sup>, 但在缺少有机肥的情况下, 生产中一定要注重氮磷配合施用。另外, 如何利用淋移到 150 cm 土层以下的  $\text{NO}_3^- \text{--} \text{N}$ , 需进一步深入研究。

## 参考文献:

- [1] 刘光栋, 吴文良. 高产农田土壤硝态氮淋失与地下水污染动态研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(1): 91–93.
- [2] 高亚军, 李生秀, 李世清, 等. 施肥与灌水对硝态氮在土壤中残留的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 61–64.
- [3] 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 灌溉与降水对土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 累积的影响[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 71–74.
- [4] 山西省统计局. 山西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006: 694–695.
- [5] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 冬小麦/夏玉米轮作中  $\text{NO}_3^-$ -N 在土壤剖面的累积及移动[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 538–546.
- [6] 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 施用磷肥对土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 397–403.
- [7] 王改兰, 段建南, 张进峰, 等. 砖窑沟流域旱地土壤水分状况与糜子耗水特征[J]. 水土保持通报, 1990, 10(6): 30–33.
- [8] 吕殿青, 杨学云, 张航, 等. 陕西(土娄)土中硝态氮运移特点及影响因素[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(4): 289–296.
- [9] 彭琳, 彭祥林, 卢宗藩. (土娄)土旱地土壤硝态氮季节性变化与夏季休闲的培肥增产作用[J]. 土壤学报, 1981, 18(3): 212–222.
- [10] 党廷辉, 郭胜利, 樊军, 等. 长期施肥条件下黄土旱塬土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 的淋溶分布规律[J]. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1265–1268.
- [11] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992: 235–236.

## 欢迎订阅 2009 年《特种经济动植物》

《特种经济动植物》是由中华人民共和国农业部主管、中国农业科学院特产研究所主办的全国唯一的特种经济动植物专业性国家级科技类期刊, 全国邮发报刊重点推荐杂志。公开发行, 月刊, 大 16 开, 56 页, 每月 10 日出版。欢迎订阅、欢迎刊登广告、欢迎投稿。本刊面向生产和用户, 为科技兴农、振兴农村经济、农民科技致富服务, 奉行科学、适用、及时的办刊方针, 介绍特产农业、特色农业新技术、新成果、新品种、新经验、新信息, 努力成为广大读者买得起、读得懂、用得上的好刊物, 是您选项致富的好帮手。

栏目 ① 特种经济动物 毛皮动物、经济(野生)动物、经济昆虫、珍(野)禽、观赏动物、国内外畜禽优良品种、肉用犬、各地特有水(海)产动物、各地特有动物。② 特种经济植物 经济植物、野生(名特)果树、药源、观赏、油料、饲料、蜜源、园林草坪、海(水)生、防风固沙(氮)等植物, 高产作物、野生蔬菜、名特蔬菜、各地名产、牧草、食用菌等的栽培、加工、植物保护等。③ 信息荟萃 国内毛皮市场及世界毛皮拍卖会行情, 全国十大中药材市场特种经济动、植物类中药材市场行情、发展前景及其权威预测等。

全国各地邮局(所)订阅, 邮发代号 12–183, 每期 4 元, 全年 48 元(含邮费)。可随时从邮局汇款至编辑部订阅。未能从邮局订阅的读者, 全年都可随时直接汇款至编辑部订阅, 同时欢迎投稿和发布广告

地址: 吉林省吉林市左家镇鹿鸣大街 15 号 邮编: 132109

单位: 中国农业科学院特产研究所《特种经济动植物》编辑部

联系人: 包秀芳 电话: (0432) 6513067; 6512069(兼传真)

E-mail: tzjjdzw@126.com