

# 施肥对黄土旱塬区黑垆土土壤肥力及硝态氮累积的影响

赵云英<sup>1</sup>, 谢永生<sup>1,2\*</sup>, 郝明德<sup>1</sup>

(1 西北农林科技大学资源环境学院, 中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100;

2 西安理工大学, 陕西西安 710048)

**摘要:** 本文以长期定位试验为依托, 研究了黄土高原旱塬区黑垆土大田对比试验和长期定位施肥对土壤肥力及硝态氮累积和淋溶的影响。结果表明: 长期施用有机肥能够明显增加土壤养分, 氮磷和有机肥配施效果显著; 和 1984 年土壤养分状况相比, 大田对比试验土壤有机质增加了 27.1%, 全氮和全磷提高了 84.2% 和 34.8%, 有效氮、有效磷和速效钾增加了 46.9%、540.0% 和 10.2%, 养分水平与长期定位试验中氮磷配施相近。长期定位试验中氮磷配施或与有机肥配施能够有效地减少土壤剖面中硝酸盐的累积和淋溶, 氮肥单施硝态氮累积量最大, 为 1006.4 kg/hm<sup>2</sup>, 大田对比试验土壤硝态氮总累积量较长期定位试验中施用氮肥处理的总累积量少。

**关键词:** 施肥; 黑垆土; 土壤肥力; 硝态氮累积

中图分类号: S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2009)06-1273-07

## Effect of fertilization on fertility and nitrate accumulation of black loessial soil of dry land in Loess Plateau

ZHAO Yun-ying<sup>1</sup>, XIE Yong-sheng<sup>1,2\*</sup>, HAO Ming-de<sup>1</sup>

(1 The Resources and Environment College of Northwest A & F University, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100 China; 2 Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** Based on a 22 years long-term experiment of applying fertilizers on continuous wheat, the effect of fertilization on soil fertility and nitrate accumulation of black loessial soil of dry land in Loess Plateau was studied. The results showed that long-term application of manure (M) and combination applying of NPM could significantly increase soil fertility. Compared to the soil nutrient content in 1984, the farmland under current fertilization increased the contents of soil organic matter, total N, total P available N, available P and available K by 27.1%, 84.2%, 34.8%, 46.9%, 540.0% and 10.2%, respectively. The soil fertility status was similar to the soil under NP treatment in the long-term experiment. Combination applying NP or NPM could reduce nitrate accumulation and leaching. The highest nitrate accumulation (1006.4 kg/ha) was found under the treatment of solo N application. Soil nitrate accumulation in field was lower than that under long-term experiment.

**Key words:** fertilization; black loessial soil; soil fertility; nitrate accumulation

自 20 世纪 80 年代以来, 人们通过大量施用化肥来提高作物产量, 同时施肥也逐渐成为旱作区培肥土壤的主要措施。随着我国化肥工业的发展, 农田有机肥的投入逐年减少<sup>[1]</sup>, 化肥, 尤其是氮肥已在农业生产中占据了主导地位。随着施肥量的增加,

农田生产力虽然得到提高, 但土壤深层水分的胁迫加重<sup>[2-3]</sup>。同时由于作物并不能完全利用当季肥料中的氮素<sup>[4-5]</sup>, 使部分氮素淋溶至地下水<sup>[6-7]</sup>, 对生态环境造成潜在危害<sup>[8-9]</sup>; 或在土壤深层累积<sup>[10-14]</sup>, 造成肥料浪费。因此, 科学施肥一直受到众多学者

收稿日期: 2008-07-01

接受日期: 2009-05-28

基金项目: 国家科技支撑项目(2006BAD05B10); 中国科学院重大项目(KSCX1-YW-09-07); 中国科学院农业项目(KSCX1-YW-N15-04)资助。

作者简介: 赵云英(1982-), 女, 河南新乡, 硕士研究生, 主要从事土壤化学与环境化学方面的研究。E-mail: zhaoyy8108@163.com

\* 通讯作者 Tel: 029-87012871, E-mail: ysxie@ms.iswc.ac.cn

的关注。国内外大量研究表明,长期施用化肥或有机肥均能提高土壤有机质含量,尤以施用有机肥或有机无机肥配施的效果显著<sup>[15]</sup>。有机肥料在土壤中大多有明显的净残留,因此有助于土壤全氮含量的提高<sup>[16]</sup>。长期施用化肥和有机肥都能不同程度地提高土壤全磷、有效磷等含量,当化肥与有机肥配施时,作用更为明显<sup>[17-18]</sup>。在一些长期试验中,都以施有机肥料区的土壤含氮量为最高,而化肥区仅略高于不施肥区<sup>[19-21]</sup>。有机肥与无机肥配施既能快速提高土壤有效氮的含量,又能长久保存土壤氮素<sup>[22-23]</sup>。氮肥与磷肥在石灰性土壤中配施可显著降低有效磷水平<sup>[24]</sup>。雷永振等研究发现,连续施用钾肥可提高土壤速效钾含量,施用有机肥或秸秆还田有利于土壤速效钾含量的增加<sup>[25]</sup>。本文以长期定位试验为依托,研究了黄土高原旱塬区大田施肥试验和长期定位施肥对黑垆土土壤肥力和硝态氮累积的影响,为指导该区农业生产和合理施肥,培育土壤和农业可持续发展提供参考依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

试验区位于黄土高原中南部高原沟壑区的陕西省长武县,属暖温带半湿润大陆性季风气候,农业生产全部依赖天然降水,为典型的旱作农业区。海拔 1200 m,昼夜温差较大,多年平均降水 578.5 mm, > 10℃ 积温 3029℃,平均气温 9.1℃,无霜期 171 d。试验区地势平坦,土壤为黄盖粘黑垆土,母质为深厚的中壤质马兰黄土,剖面通透性好,肥力中等,地下水位 60 m 左右。

### 1.2 试验设计

长期定位试验始于 1984 年,当年土壤基本养分状况为:有机质含量 10.5 g/kg,全氮 0.57 g/kg,全磷 0.66 g/kg,速效氮 37.0 mg/kg,速效磷 3 mg/kg,速效钾 129 mg/kg,pH 8.3。本研究选取长期定位试验中小麦连作施肥的 8 个处理:1) CK; 2) P(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60 kg/hm<sup>2</sup>); 3) N(N 120 kg/hm<sup>2</sup>); 4) M(有机肥 75 t/hm<sup>2</sup>); 5) PM(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60 kg/hm<sup>2</sup>,有机肥 75 t/hm<sup>2</sup>); 6) NM(N 120 kg/hm<sup>2</sup>,有机肥 75 t/hm<sup>2</sup>); 7) NP(N 120 kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60 kg/hm<sup>2</sup>); 8) NPM(N 120 kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60 kg/hm<sup>2</sup>,有机肥 75 t/hm<sup>2</sup>)。氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,有机肥为厩肥。试验小区面积 66.7m<sup>2</sup>,3 次重复,随机区组设计,肥料在冬小麦播种前撒施,翻入土中。

大田对比试验地为长期定位试验地相邻田块,

2006 年 9 月布设,在试验前一直为大田耕种,传统施肥方式,通常为氮磷配施,氮肥用量为 90~110 kg/hm<sup>2</sup>,磷肥用量为 80~100 kg/hm<sup>2</sup>,无有机肥投入。播种前采样进行了土壤养分分析,其有机质含量为 13.4 g/kg,全氮 1.05 g/kg、速效氮 54.4 mg/kg、全磷 0.89 g/kg、速效磷 19.2 mg/kg、速效钾 142.5 mg/kg。大田对比试验设 8 个处理,同长期定位试验,小区面积为 30 m<sup>2</sup>,三次重复。供试小麦品种均为长武 134,播种量为 180 kg/hm<sup>2</sup>。

### 1.3 样品采集及分析方法

2006 年 9 月小麦播种前,用土钻在每个小区随机采集土壤样品,耕层(1—20 cm)取 3 个点,0—300 cm 土层剖面取 1 个点,每 20 cm 为一层,各层混合均匀,自然风干,磨碎过 1 mm 和 0.25 mm 筛,测定耕层土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、速效钾和土壤剖面样品的硝态氮含量。

土壤有机质采用重铬酸钾外加热法;全氮采用开氏定氮法;全磷采用酸溶—钼锑抗比色法;速效氮采用碱解扩散法;速效磷采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法;速效钾采用火焰光度法测定;硝态氮用 1 mol/L KCl 溶液提取—流动注射分析仪测定,测定结果以土样风干基表示。

### 1.4 数据处理

土壤剖面不同土层硝态氮累积量:

$$A = h \times d \times p \times 10/100$$

式中: A 为硝态氮累积量(kg/hm<sup>2</sup>), d 为土壤容重(g/cm<sup>3</sup>), h 为土层厚度(cm), p 为硝态氮浓度(mg/kg)。

试验数据采用 Microsoft Excel 和 DPS 处理软件进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 施肥对耕层土壤养分的影响

2.1.1 土壤有机质的变化 土壤有机质是作物有机营养和矿物质营养的重要来源,是形成良好土壤结构的重要因素,同时直接反映土壤的肥力状况。经过 22 年的连续种植,长期定位试验地土壤有机质含量均有很大的变化(表 1),长期施用化肥或有机肥均能提高土壤有机质含量,与前人研究结果相同<sup>[26-27]</sup>,不同施肥处理有机质增加了 8.2%~83.8%,且差异显著。有机质含量以 NPM 处理最高,为 19.30 g/kg,比对照增加 69.9%,比 NP 处理增加 34.8%; PM、NM 处理的效果仅次于 NPM 处理,与对照相比增幅分别为 62.8%、57.7%;有机肥单

表 1 施肥对土壤耕层养分含量的影响(2006 年)

Table 1 Effect of application of fertilizer on soil nutrient (2006 yr)

处理 Treatment	有机质 OM (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	速效 N Avail. N (mg/kg)	全磷 Total P (g/kg)	速效磷 Avail. P (mg/kg)	速效钾 Avail. K (mg/kg)
NPM	19.30 a	1.30 a	80.93 a	0.97 a	45.74 b	381.89 c
NP	14.32 d	0.94 d	59.28 c	0.80 c	14.52 f	147.68 e
NM	17.92 bc	1.26 ab	70.82 b	0.65 e	27.54 d	410.01 b
PM	18.49 ab	1.29 a	69.35 b	0.95 a	54.56 a	356.72 d
M	17.10 c	1.19 b	68.64 b	0.75 d	31.66 c	462.12 a
N	11.68 e	0.89 de	52.79 d	0.60 f	5.17 g	144.58 e
P	11.49 e	0.86 e	45.96 e	0.78 cd	28.82 cd	148.41 e
CK	11.36 e	0.87 de	43.12 e	0.53 g	4.87 g	145.43 e
大田 Field	13.35 d	1.05 c	54.37 d	0.89 b	19.20 e	142.46 e
试验前 Before experiment (1984 yr)	10.5	0.57	37.0	0.66	3.00	129.00

注(Note): 同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column mean significant at 5% level.

施处理(M)的增幅为 50.5%,效果明显,氮(N)、磷(P)肥单施对有机质含量的影响不大。说明长期施用有机肥有利于土壤有机质的积累。

大田对比试验地土壤有机质含量较 1984 年试验开始前增加了 27.1%,与长期定位试验相比,效果不如长期施有机肥的处理,较 NPM、PM、NM 和 M 处理分别低 30.8%、27.8%、25.5% 和 21.9%,但较单施 N、P 处理则提高 14.3% 和 16.2%,与 NP 配施处理相比差异不大。

**2.1.2 土壤全氮、有效氮的变化** 与 1984 年试验开始时相比,长期定位施肥处理的土壤全氮、有效氮含量均有增加,增加幅度分别为 50.9%~128.1% 和 16.5%~118.7%; NPM 处理的全氮、有效氮含量增幅最大,分别增加了 0.73 g/kg 和 43.93 mg/kg。与对照相比,氮、磷单施不如有机肥单施,单施有机肥的土壤全氮、有效氮增加了 36.8% 和 59.2%; PM 处理全氮、有效氮增加了 48.3% 和 44.8%; NM 处理增加了 60.8% 和 64.2%。NPM 处理土壤全氮、有效氮含量增加显著,较 NP 分别增加 0.36 g/kg 和 21.65 mg/kg,增幅为 38.3% 和 36.5%,说明有机肥与无机肥配施对于提高土壤氮素含量具有重要意义,既能快速提高土壤有效氮含量,又能长久维持土壤氮素于较高水平<sup>[18-19]</sup>。NP 处理不如有机肥处理,但较单施氮、磷处理全氮和有效氮均有增加;单施氮肥对土壤全氮含量影响不大,但使有效氮含量提高了 22.4%,这是由于长期施用氮肥可提高根茬和根分泌物的量,亦增加了归还土壤的有机氮量,这部分土壤氮的矿化作用明显,因此有利于土壤有效氮的提

高,而在提高土壤全氮含量中的作用并不明显。单施氮、磷处理不如单施有机肥,单施有机肥的土壤全氮、有效氮增加了 36.8% 和 59.2%,由于有机肥在土壤中大多有明显的净残留,有助于土壤全氮含量的提高<sup>[16]</sup>;长期单施磷的处理对土壤全氮和有效氮的影响不明显。

大田对比试验地的土壤全氮、有效氮含量较 1984 年增幅较大,分别为 84.2% 和 46.9%;与长期定位试验相比,其效果不如有机肥与化肥配施,全氮含量较长期定位施肥中施用有机肥(NPM、PM、NM、M)的处理降低了 11.8%~19.2%,有效氮含量降低了 21.6%~32.8%;大田试验与 NP 相比全氮含量增长了 11.7%,有效氮含量降低了 8.2%;与氮、磷单施和对照相比,全氮、有效氮含量增加幅度分别为 18.0%~22% 和 3.0%~26.1%。

**2.1.3 土壤全磷、有效磷的变化** 长期定位试验中土壤全磷含量与 1984 年时相比,变幅为 -0.13~0.31 g/kg,速效磷含量均显著增加,增幅为 1.87~51.56 mg/kg。NPM 处理,土壤全磷、速效磷分别增加了 47.0% 和 42.74 mg/kg。与对照相比,NPM 处理的全磷含量提高 83.0%,较 NP 增加了 21.3%;施有机肥(M、PM、NM)对提高全磷、有效磷含量效果明显,其中 PM 的全磷比对照增加了 79.2%,速效磷含量最高,增加 10 倍多,效果显著。施有机肥增加土壤有效磷的原因在于有机肥本身含有一定数量的磷,且以有机磷为主,这部分磷易于分解释放,另一方面有机肥施入土壤后可增加土壤的有机质含量,而有机质可减少无机磷的固定,并促进无机磷的溶

解<sup>[28]</sup>。由于磷肥长期投入,单施磷肥土壤全磷、有效磷分别增加了47.2%和491.8%,效果明显;单施氮肥对土壤全磷和有效磷含量有一定程度的影响,其增幅分别为13.2%和6.2%,氮磷配施较氮肥单施全磷含量增长33.3%,速效磷增长180.9%。

大田对比试验地经过20余年的连续种植,土壤全磷、有效磷含量增加明显,与试验前(1984年)相比,分别提高了34.8%和540.0%。与长期定位试验相比,全磷较NPM、PM低8.2%和6.3%,较NP提高了11.3%;速效磷含量较施用有机肥的处理低30.3%~64.8%,比NP处理高32.2%;大田对比试验地全磷、有效磷含量较对照和单施氮肥处理增加,与单施磷肥相比,全磷含量提高了14.1%,有效磷则降低了33.4%。

**2.1.4 土壤速效钾的变化** 长期定位试验中土壤速效钾含量较1984年均有所增加,增加量为15.28~332.82 mg/kg。与对照相比,单施有机肥的土壤速效钾含量最高,增幅为217.8%,其次为NM、NPM和PM,增幅分别为181.9%、162.6%和145.3%,这可能是有机肥本身所含的钾素较多,且不断施入,以及有机胶体在其交换表面具有较强吸附能力的缘故<sup>[27]</sup>。NP配施或单施N、P对土壤有效钾含量影响不大。同样,由于大田对比试验地多为化肥投入,使得土壤有效钾含量比1984年的仅增加10.2%,增幅不大,与长期定位试验相比,速效钾含量有所下降,降低幅度为1.5%~69.2%。

## 2.2 施肥对土壤硝态氮的影响

**2.2.1 土壤硝态氮剖面分布** 长期施肥0—300 cm土层NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量差异显著(图1)。对2006年土壤剖面硝态氮含量分析发现,对照(CK)和单施磷肥(P)的土壤NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N集中分布在0—80 cm土层,最大含量为7.87 mg/kg和6.19 mg/kg,80—300 cm因无氮肥的补充以及作物的吸收利用而含量很低;单施有机肥(M)出现氮素表聚现象,0—20 cm土层出现最大值20.09 mg/kg,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N主要集中在0—80 cm处,主要是因为有机肥对氮的吸附性较强,其含有的氮在土壤中下移较缓,所以累积深度相对较浅<sup>[29]</sup>,同时,施用有机肥能改善土壤理化性质,促进作物的深层吸收,有机肥单施(M)的深层土壤NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量极少,有机肥与磷肥配施(PM)后表聚现象减弱,20—40 cm土层出现最大值16.07 mg/kg,随后NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量持续下降,无深层淋溶现象,其他各长期施氮处理NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量均高于对照,且呈明显的双峰变化趋势,对比试验地在140 cm上层以下含量呈逐渐增

加的趋势,无明显峰值。

长期定位试验中施用有机肥的处理表层(0—20 cm)NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量明显增加,NM配施和NPM配施高于单施N肥和NP配施。单施N肥和NM配施NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量在60—80 cm土层出现较大峰值,分别为33.14 mg/kg和26.34 mg/kg;NP配施和NPM配施在20—40 cm处含量较低,随后出现峰值20.68 mg/kg和20.70 mg/kg,但较N肥单施或NM处理低。80 cm以下NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量减少,120—160 cm土层各处理均出现低谷,含量维持在1.09~7.15 mg/kg之间,但仍以单施N处理含量最高;之后NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量持续增加,200 cm以下出现第二个峰,但不同处理峰值大小和出现深度不同;单施N肥的处理氮素淋失最为明显,峰出现在260—280 cm土层,峰值为52.07 mg/kg,NM配施的峰出现在220—240 cm土层,峰值为46.90 mg/kg,NPM配施在200—220 cm处出现峰,土层深度最浅,且峰值较小,为27.50 mg/kg,较N肥单施降低了47.2%,NP配施峰值最小,为25.26 mg/kg,较N肥单施降低了51.5%;300 cm处土壤NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量仍较大,说明300 cm以下仍存在NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N淋溶,N肥单施最为突出。

大田对比试验与长期定位试验相比NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量较少,40—60 cm出现第一个峰,但峰值较小,120—140 cm处NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量最小,与长期定位试验中的NPM处理相当,140 cm以下又逐渐增加,300 cm处达最大,较长期定位试验中氮肥配施各处理均高,但低于N肥单施处理。

**2.2.2 不同施肥对土壤硝态氮累积的影响** 长期连续施用氮肥会使土壤氮素向下淋溶,造成NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N的深层累积。不同土层NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N累积量不同(表2),各施氮处理在200—300 cm土层累积量最高,其次是0—100 cm,100—200 cm土层最少;不施氮的处理的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N的累积也存在明显差异。M、P、PM和CK在0—100 cm土层累积量最高,占总累积量的71.2%~87.6%。

0—100 cm土层,长期定位试验中单施氮(N)的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N累积量最高,较对照增加了351.5%,NM配施后累积量有所降低,但与N处理的差异不明显,NPM处理累积量较单施氮(N)减少了28.0%,NP配施累积量最低,较N处理减少了35.9%,且差异显著。M和PM处理差异不大,分别较对照增加147.7%和139.1%,P处理较CK降低了23.8%。100—200 cm NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N的累积规律与0—100 cm大致

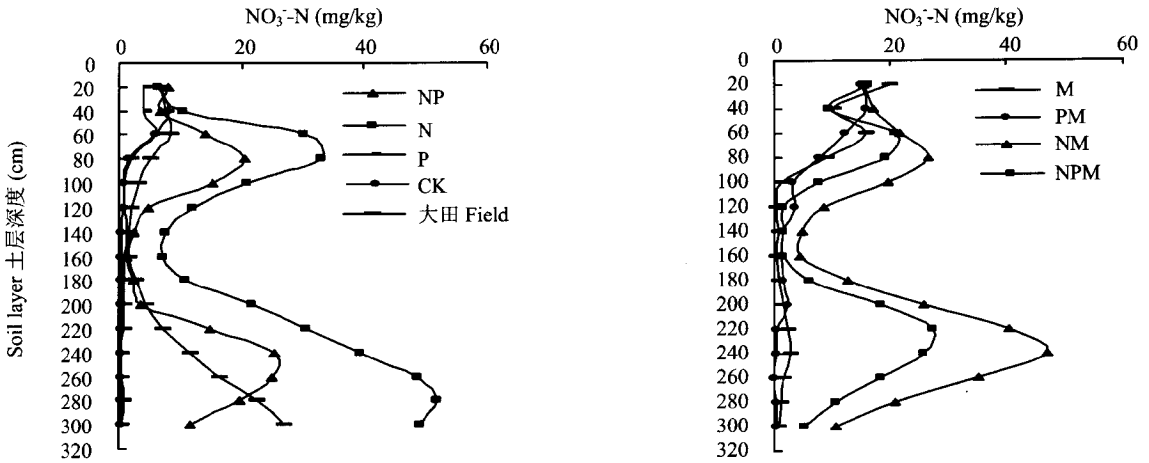


图 1 不同施肥处理土壤剖面硝态氮分布

Fig.1 Nitrate distribution of different soil layers of different fertilizer treatments

[注(Note): 经方差分析,不同处理间  $\text{NO}_3^-$ -N 含量差异达 5% 显著水平 The difference is significant among treatments at 5% level.]

表 2 不同施肥处理土壤剖面硝态氮累积 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )

Table 2 Nitrate accumulation of different fertilizer treatments in soil layer

土层深度 (cm) Soil depth	N	NM	NPM	NP	M	PM	CK	P	大田 Field
0—100	274.47 a	268.71 a	197.58 b	175.86 c	150.58 d	145.33 d	60.79 f	46.33 g	83.83 e
100—200	158.51 a	148.70 b	76.70 c	38.29 d	10.97 f	29.28 e	4.86 f	11.24 f	33.68 de
200—300	573.43 a	399.65 b	226.62 d	249.89 c	22.62 e	4.30 f	3.72 f	7.51 f	220.87 d
0—300	1006.41 a	817.06 b	500.89 c	464.03 d	184.18 f	178.91 f	69.37 g	65.08 g	338.38 e
最大值 Max. ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	135.37 a	121.95 b	71.50 c	65.68 c	52.23 d	41.77 e	20.46 f	17.33 f	70.27 c
最大值土层 (cm) Layer for max.	260—280	220—240	200—220	220—240	0—20	20—40	20—40	40—60	280—300

注(Note): 同行数据后不同字母表示在 0.05 水平差异显著 Values followed by different letters within a row are not significantly different at 0.05 level.

相同,但较 0—100 cm 的累积量减少了 42.2%~92.7%,其中 M、P、PM 和 CK 降幅较大。200—300 cm 土层施氮的各处理的  $\text{NO}_3^-$ -N 累积量最高,较 0—100 cm 累积量增加了 14.7%~108.9%。0—300 cm 土层  $\text{NO}_3^-$ -N 的总累积量以氮肥单施(N)最高, NM 较 N 总累积量减少了 18.8%, NP 和 NPM 总累积量较少,比 N 处理减少了 53.9% 和 50.2%; 有机肥单施(M)总累积量为  $184.18 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ,与 PM 差异不显著, P 与 CK 的累积量最低,但二者之间也无显著差异。

大田对比试验的土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 在各土层中的累积量均比长期定位试验中施用氮肥的各处理的累积量少; 0—100 cm 土层累积量比对照显著增加, 100—200 cm 土层的累积量与 NP 处理相当, 200—300 cm 土层的与 NPM 处理较为接近, 0—300 cm 土

层的总累积量与长期施用氮肥各处理有明显差异, 较 NP 配施降低了 27.1%, 且其峰值出现的土层深度最大, 峰值与 NPM 处理相当。

综上, CK 和单施磷(P)处理  $\text{NO}_3^-$ -N 无淋溶现象, 有机肥单施(M)处理  $\text{NO}_3^-$ -N 表聚现象明显, 0—100 cm 土层  $\text{NO}_3^-$ -N 累积较多, 深层较少; 有机肥与磷肥配施(PM)累积量减少, 氮肥单施(N)各层累积量均较高, 且峰值最大, 淋溶严重; 说明施用有机肥能明显减轻土层  $\text{NO}_3^-$ -N 的淋溶程度, 施用氮肥处理中 NP 处理  $\text{NO}_3^-$ -N 累积量最少。

### 3 结论

1) 长期定位试验土壤耕层养分含量与 1984 年相比有明显变化, NPM 配施效果显著, 土壤有机质增加了 83.8%, 全氮和全磷增加了 128.1% 和

47.0%,有效氮、有效磷和速效钾分别增加了 43.93 mg/kg、42.74 mg/kg 和 252.59 mg/kg。与对照相比,长期施用有机肥能够明显增加土壤养分,氮磷和有机肥配施效果最好,单施氮肥有利于土壤有效氮的提高,对有机质和全氮影响不大;长期单施磷肥的土壤全氮和有效氮变化较小,全磷和有效磷明显增加。

2)大田试验地土壤养分含量较 1984 年增加明显,有机质增加了 27.1%,全氮和全磷分别提高了 84.2%和 34.8%,有效氮、有效磷和速效钾分别增加了 46.9%、540.0%和 10.2%。由于大田试验为氮磷配施,多年施肥水平与长期定位试验中 NP 处理用肥量接近,因此土壤肥力水平与 NP 处理也大致相同。

3)氮磷配施或与有机肥配施能有效改善土壤的理化性状,促进作物的生长,增加深层氮素的消耗,减少土壤中  $\text{NO}_3^-$ -N 的累积淋溶;氮肥单施  $\text{NO}_3^-$ -N 淋溶程度最强,且累积量最大,有机肥、磷肥单施和 PM 配施土壤深层  $\text{NO}_3^-$ -N 含量较少,不易发生深层累积;大田对比试验地的  $\text{NO}_3^-$ -N 累积量较长期定位试验中施氮各处理的累积量大幅减少,但最大峰值出现的土层较深,且 300 cm 以下  $\text{NO}_3^-$ -N 淋溶程度有增大的可能。

### 参考文献:

- [1] 郭胜利,郝明德,党廷辉.黄土高原沟壑区小流域土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 的积累特征及影响因素[J].自然资源学报,2003,18(1):37-43.  
Guo S L, Hao M D, Dang T H.  $\text{NO}_3^-$ -N accumulation and its affecting factors in small watershed in gully region of Loess Plateau [J]. J. Nat. Res., 2003, 18(1): 37-43.
- [2] 张仁陟,李小刚,胡恒觉.施肥对提高旱地农田水分利用效率的机理[J].植物营养与肥料学报,1995,5(3):221-226.  
Zhang R Z, Li X G, Hu H J. The mechanism of the fertilization in increasing water use efficiency [J]. Plant Nut. Fert. Sci., 1995, 5(3): 221-226.
- [3] 樊军,郝明德,党廷辉.旱地长期定位施肥对冬小麦水分利用的影响研究[J].土壤,2000,(6):315-318,322.  
Fan J, Hao M D, Dang T H. Study on the effect of long-term fertilization on water use efficiency of wheat in dry land [J]. Soil, 2000, (6): 315-318, 322.
- [4] 朱兆良.农田中氮肥的损失与对策[J].土壤与环境,2000,9(1):1-6.  
Zhu Z L. Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction[J]. Soil Environ. Sci., 2000, 9(1): 1-6.
- [5] 党廷辉,蔡贵信,郭胜利,郝明德,王百群.用 $^{15}\text{N}$ 标记肥料研究旱地冬小麦氮肥利用率与去向[J].核农学报,2003,17(4):280-285.  
Dang T H, Cai G X, Guo S L, Hao M D, Wang B Q. Study on nitrogen efficiencies of dry land wheat by  $^{15}\text{N}$  labeled fertilizer [J]. J. Nucl. Agric. Sci., 2003, 17(4):280-285.
- [6] Jaynes D B, Dinnes D L, Meek D W *et al.* Using the late spring nitrate test to reduce nitrate loss within a watershed [J]. J Environ. Qual. 2004, 33:669-677.
- [7] Spalding R F, Exner M E. Occurrence of nitrate in groundwater: A review [J]. J. Environ. Qual., 1993, 22: 392-402.
- [8] 刘晓宏,田梅霞,郝明德.黄土旱塬长期轮作施肥土壤剖面硝态氮的分布与积累[J].土壤肥料,2001,(1):9-12.  
Liu X H, Tian M X, Hao M D. Distribution and accumulation of nitrate in soil profile of Long-term rotated fertilization of dry land [J]. Soil Fert., 2001, (1):9-12.
- [9] 樊军,郝明德.旱地农田土壤剖面硝态氮累积的原因初探[J].农业环境科学学报,2003,22(3):263-266.  
Fan J, Hao M D. Nitrate accumulation in soil profile of dry land farmland [J]. J. Agric. - Environ. Sci., 2003, 22(3):263-266.
- [10] Benbi D K, Biswas C R, Kalkat J S. Nitrate distribution and accumulation in an Ustochrept soil profile in a long term fertilizer experiment [J]. Fert. Res., 1991, 28:173-177.
- [11] Hooker M L, Gwin R E, Herron G M, Gallagher P. Effects of long-term, annual applications of N and P on corn grain yields and soil chemical properties[J]. Agron. J., 1983, 75:94-99.
- [12] Jolley Von D, Pierre W H. Profile accumulation of fertilizer-derived nitrate and total nitrogen recovery in two long-term nitrogen-rate experiments with corn [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1977, 41: 373-378.
- [13] 石玉,于振文.施氮量及底追比例对小麦产量、土壤硝态氮含量和氮平衡的影响[J].生态学报,2006,26(11):3662-3669.  
Shi Y, Yu Z W. Effects of nitrogen fertilizer rate and ratio of base and topdressing on yield of wheat content of soil nitrate and nitrogen balance [J]. Acta Ecol. Sin., 2006, 26(11):3662-3669.
- [14] 王春阳,周建斌,郑险峰,李生秀.不同栽培模式对小麦-玉米轮作体系土壤硝态氮残留的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(6):991-997.  
Wang C Y, Zhou J B, Zheng X F, Li S X. Effects of different cultivation methods on soil residual nitrate under winter wheat-summer maize cropping system[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(6): 991-997.
- [15] Govi M, Francioso O, Giavatta C *et al.* Influence of long-term residue and fertilizer applications on soil humic substances: A study by electro focusing [J]. Soil Sci., 1992, 154(1): 8-13.
- [16] 关焱,宇万太,李建东.长期施肥对土壤养分库的影响[J].生态学杂志,2004,23(6):131-137.  
Guan Y, Yu W T, Li J D. Effects of long-term fertilization on soil nutrient pool [J]. Chin. J. Ecol., 2004, 23(6): 131-137.
- [17] Mercik S, Nemeth K. Effects of 60 year N, P, K and Ca fertilization on EUF nutrient fractions in the soil and on yields of rye and potato crops [J]. Plant Soil. 1985, 83(1): 151-159.
- [18] 刘杏兰,高宗,刘存寿,等.有机、无机肥配施的增产效应及对

- 土壤肥力影响的定位研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(2): 138-147.
- Liu X L, Gao Z, Liu C S *et al.* Effect of combined application of organic manure and fertilizer on crop yield and soil fertilizer in a located experiment [J]. *Acta Pedol. Sin.*, 1996, 33(2): 138-147.
- [19] 张夫道. 长期施肥条件下土壤养分的动态和平衡. II 对土壤氮的有效性和腐殖质氮组成的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(1): 39-48.
- Zhang F D. Dynamic and balance of soil nutrients under long-term fertilization conditions II. Effect on N availability and composition of humus N [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 1996, 2(1): 39-48.
- [20] 林葆, 林继雄, 李家康. 长期施肥的作物产量和土壤肥力的变化[J]. 植物营养与肥料学报(试刊), 1994, (1): 6-18.
- Lin B, Lin J X, Li J K. The changes of crop yield and soil fertility with long-term fertilizer application [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 1994, (1): 6-18.
- [21] 梁国庆, 林葆, 林继雄, 等. 长期施肥对石灰性潮土氮素形态的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(1): 3-10.
- Liang G Q, Lin B, Lin J X. Effect of long-term fertilization on the forms of nitrogen in calcareous fluvoaquic soil [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2000, 6(1): 3-10.
- [22] 劳秀荣, 孙伟红, 王真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618-622.
- Lao X R, Sun W H, Wang Z *et al.* Effect of matching use of straw and chemical fertilizer on soil fertility [J]. *Acta Pedol. Sin.*, 2003, 40(4): 618-622.
- [23] 孙聪姝, 王兆荣, 金明花, 等. 长期培肥定位试验耗竭阶段各培肥物质对土壤氮库持续效应的研究[J]. 东北农业大学学报, 1998, 29(3): 209-218.
- Sun C S, Wang Z R, Jin M H *et al.* The sustainable effect of fertilizing matters on soil nitrogen content during fertility exhausting stage of long-term location test [J]. *J. Northeast Agric. Univ.*, 1998, 29(3): 209-218.
- [24] Wang H Y, Zhou J M, Chen X Q *et al.* Interaction of NPK fertilizers during their transformation in soils III. Transformations of monocalcium phosphate[J]. *Pedosphere*, 2004, 14(3): 379-385.
- [25] 刘荣乐, 金继运, 吴荣贵, 等. 我国北方土壤作物系统内钾素循环特征及秸秆还田与施钾肥的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(2): 123-132.
- Liu R L, Jin J Y, Wu R C *et al.* Study on the characteristics of potassium cycling in different soil-crop systems in northern China[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2000, 6(2): 123-132.
- [26] Govi M, Francioso O, Ciavatta C *et al.* Influence of long-term residue and fertilizer applications on soil humic substances: A study by electro focusing [J]. *Soil Sci.*, 1992, 154(1): 8-13.
- [27] Sommerfeldt T G, Chang C, Entz T. Long-term annual applications increase soil organic matter and nitrogen and decrease carbon to nitrogen ratio[J]. *Soil Sci Soc. Am. J.* 1988, 52(6): 1668-1672.
- [28] 史吉平, 张夫道, 林葆. 长期施用氮、磷、钾化肥和有机肥对土壤氮、磷、钾养分的影响[J]. 土壤肥料, 1998, (1): 7-10.
- Shi J P, Zhang F D, Lin B. Effects of long-term applying of N, P, K and manure on soil nutrient [J]. *Soil Fert.*, 1998, (1): 7-10.
- [29] 党廷辉, 郭胜利, 樊军, 郝明德. 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, 4(8): 1265-1268.
- Dang T H, Guo S L, Fan J, Hao M D.  $\text{NO}_3^-$ -N leaching and distribution in soil profile in dry highland of Loess Plateau under long-term fertilization [J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2003, 4(8): 1265-1268.