植物营养与肥料学报 2001,7(3):249～254
Plant Nutrition and Fertilizer Science

长期定位施肥对黑垆土剖面养分分布特征的影响

樊　军，郝明德，党廷辉
（中国科学院水利部水土保持研究所，西北农林科技大学水土保持研究所，陕西杨陵 712100）

摘要：对黄土高原旱地15年连续施肥后土壤剖面养分分布的研究发现，施化肥对土壤剖面有机质、全N、全P含量的影响深达100cm以下，所有施肥处理有机质、全N、全P、NO_3^--N、有效P含量在耕层(0～20cm)都有不同程度增加；40～60、60～80cm土层有机质、全N、全P都低于长年不施肥处理，造成土壤下层养分的亏缺。长期大量施用氮肥造成N素养分下淋累积；长期大量施用磷肥土壤耕层有效P显著提高，而20cm以下土层变化不大。

关键词：黑垆土；剖面养分含量分布；长期施肥
中图分类号：S153.6　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2001)03-0249-06

近年来，土壤肥料研究者应用长期定位试验对化学肥料的培肥增产作用进行了大量的研究，证实合理施用化学肥料对改善土壤的养分状况有很大作用。有些学者提出“稍过量”的施肥来建立土壤养分的“库”，进一步改善土壤质量达到增产、增收的目的[1]。但是，许多研究着重在土壤的耕层[2～6]。长期施用化肥不仅影响土壤耕层养分的数量变化，而且由于养分的下移与根系的作用也影响土壤中养分的垂直分布，在干旱地区更为明显[7]。我们利用黄土高原旱地15年的长期试验对土壤剖面的养分状况进行研究，深入探讨化肥对土壤剖面养分含量分布的影响，以期为本区施肥增产提供科学依据。

1　材料与方法

试验布置在黄土高原中南部陕西省长武县十里铺村无灌溉条件的塬面旱地上，年均气温9.1℃，无霜期171d。年平均降水量为584mm，季节性分布不均，7～9月降水占全年降水量的55%。供试土壤为黄盖黑垆土，肥力水平较低，K素丰富，N、P均缺。1984年秋播时分析0～20、20～40cm土层分别为有机质10.5、9.2 g/kg，全N 0.80、0.50 g/kg，全P(P_2O_5)1.62、1.52 g/kg；碱解N 37.0、38.0 mg/kg，有效P(P_2O_5)4.58、6.87 mg/kg，速效K(K_2O)129.3、123.3 mg/kg，pH(H_2O)8.24、8.27。

长期定位试验以氮、磷肥为基本供试因子，设对照(CK，长年不施肥)；N(N_1、N_2、N_3、N_4)与P(P_1、P_2、P_3、P_4)配比共17个处理(下标1、2、3、4分别代表施45、90、135、180 kg/hm² N或P_2O_5)。试验小区面积22.2 m²，3次重复，顺序排列。试验从1984年开始连续种植冬小麦(品种1984、1985年用秦麦4号，1986～1995年用长武131，1996年后用长武134)，试验期内播种期为9月12日～9月25日。氮肥用尿素，磷肥用过磷酸钙，肥料在播种前一次性施入土中，田间管理同大田。

收稿日期：2000-04-17
基金项目：国家自然科学基金重大项目(49890330)资助。
作者简介：樊 军(1974—)，男，陕西府谷县人，硕士研究生，主要从事植物营养化学方面的研究。
本研究得到田梅霞副研究员在室内分析上的帮助，特致谢意。

本研究选择其中9个处理:CK、P_2、P_4、N_2、N_2P_2、N_2P_4、N_4、N_4P_2、N_4P_4 于1999年9月3日分层采集0～400cm土样,新鲜样用1 mol/L KCl (25℃,30min) 浸提,用连续流动分析仪测定 NO_3^--N 和 NH_4^+-N。风干样用常规方法测定0～180cm(分为9层)的有机质、全N、全P、有效P含量。

2 结果与分析

2.1 土壤有机质

表1看出,CK处理经15年后有机质含量变化不大,仅降低了0.1%。各施肥处理耕层(0～20cm)有机质含量均有增加,分别提高了3.8%～20.4%。最高施肥处理(N_4P_4)比试验开始时的有机质含量增加了20.4%,比CK高20.5%;单施 $P_2O_5$180 kg/hm^2 的处理其有机质也比CK高7.3%。从剖面分布看,0～20、20～40cm土层有机质含量各处理均较CK高。20～40cm有机质含量明显低于耕层,40～60、60～80cm土层有机质含量又逐渐增加,但各施肥处理有机质含量却低于CK,以单施磷肥的2个处理尤其明显。P_2、P_4 40～60cm土层分别比CK低1.7、1.96 mg/kg;60～80cm低1.61、1.56 mg/kg。造成这种现象可能是长年不施肥处理小麦根系生长不良对土壤深层养分利用少,施肥处理则相反。80cm以下土壤有机质含量逐渐减小(图1a)。表明施用有机肥料能显著提高土壤有机质含量,改善土壤理化性状,而施用化肥的作物根系及地上部分生长较好,土壤有机质也有不同程度的增加,投入肥料多、配比合理,则增加幅度大。

表1 不同处理土壤有机质含量

Table 1 Organic matter contents of different treatments

土层 Depth (cm)	有机质含量 (g/kg) Organic matter contents								
	CK	P_2	P_4	N_2	N_2P_2	N_2P_4	N_4	N_4P_2	N_4P_4
0～20	10.49	11.20	11.26	10.90	11.56	11.34	11.75	11.60	12.64
20～40	8.34	8.50	9.05	8.95	9.43	9.56	9.68	8.64	9.70
40～60	10.49	8.79	8.53	9.19	9.72	9.19	9.14	8.49	9.40
60～80	12.00	10.39	10.44	10.51	10.73	11.22	11.14	11.50	11.08
80～100	11.62	11.00	11.09	10.70	10.83	11.13	11.44	11.35	12.02
100～120	10.29	11.32	11.40	10.96	9.69	11.11	11.00	10.98	10.52
120～140	9.11	9.31	9.30	9.23	9.26	9.46	9.05	9.32	8.96
140～160	7.94	7.83	7.84	7.45	8.20	8.21	7.78	7.77	7.50
160～180	6.96	7.10	6.95	6.82	7.43	7.24	6.96	7.01	7.04

2.2 土壤N素

2.2.1 土壤全N 试验表明,土壤全N与有机质含量有很好的相关性 $y=0.027+0.062x$ $R=0.97^{**}$(y为全N含量,x为有机质含量)。耕层各施肥处理全N含量均高于CK处理。单施磷肥平均比CK高0.049mg/kg,单施氮肥和氮磷配施平均比CK高0.106g/kg,最大施肥处理(N_4P_4)比CK高0.144 g/kg(表2)。但与试验开始相比,土壤全N含量无明显变化,这与其它长期试验结果一致[8]。土壤剖面全N含量的分布与有机质相似(图1b)。

各施肥处理 0～40cm 土层全 N 含量大于 CK，40～80cm 小于 CK;但单施 N180 kg/hm^2 处理(N_4)0～180cm土层全 N 含量各层均大于相应 CK 的含量,因为这一处理的施肥量超过了作物的吸收量,有较多的氮肥残留在土壤中,这也是造成旱地土壤 NO_3^--N 下淋累积的直接原因。尽管如此,N_4 处理在 40～60cm 土层与其它处理一样出现了谷值,说明作物生长期间对这一土层的氮素有较多的吸收利用,这可能是在干旱条件下作物在旺盛的生长期对这一层水分利用多,从而利用的养分也多,长期表施肥料不易补充这种消耗而造成。

表 2　不同处理土壤全 N 含量

Table 2　Total N contents of different treatments

土层 Depth (cm)	全 N 含量 (g/kg) Total N contents								
	CK	P_2	P_4	N_2	N_2P_2	N_2P_4	N_4	N_4P_2	N_4P_4
0～20	0.727	0.766	0.786	0.800	0.802	0.815	0.849	0.863	0.871
20～40	0.586	0.635	0.626	0.674	0.659	0.691	0.708	0.630	0.691
40～60	0.663	0.643	0.566	0.660	0.633	0.658	0.684	0.640	0.634
60～80	0.714	0.681	0.651	0.646	0.679	0.676	0.729	0.684	0.691
80～100	0.691	0.698	0.693	0.686	0.657	0.681	0.729	0.684	0.704
100～120	0.620	0.618	0.658	0.646	0.583	0.636	0.703	0.650	0.615
120～140	0.569	0.591	0.560	0.595	0.580	0.571	0.619	0.572	0.570
140～160	0.520	0.496	0.509	0.476	0.543	0.554	0.533	0.498	0.520
160～180	0.480	0.494	0.428	0.505	0.455	0.446	0.487	0.404	0.441

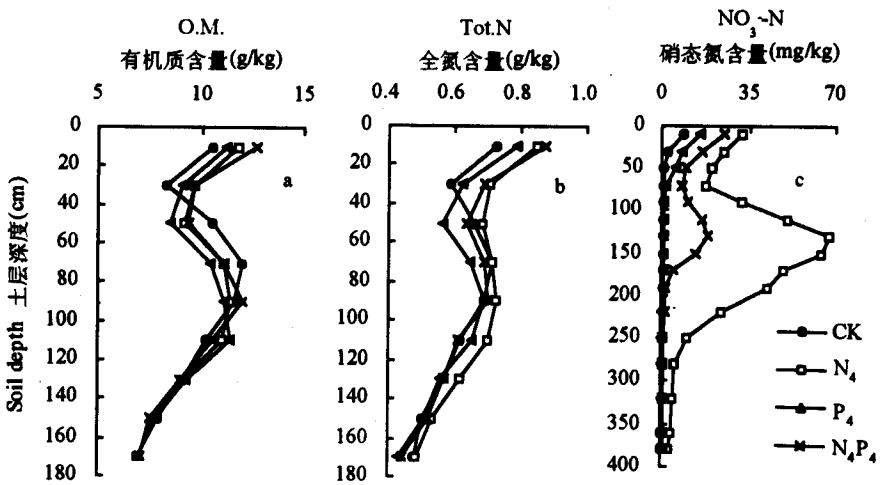

图 1　不同施肥处理土壤剖面有机质、全 N、NO_3^--N 含量分布特征

Fig 1　Distribution of organic matter, total N and NO_3^--N contents in the soil profiles

2.2.2　土壤 NH_4^+-N 与 NO_3^--N　旱地土壤施氮肥后易转化成 NO_3^- 而随水分移动。土壤表层 NO_3^--N 的增加可满足作物生长前期对 N 素的需要,养分的适度下移还可以丰富底土

养分数量,对培育土壤肥力有利[9]。但是长期大量施用氮肥会使土壤N素含量超过植物的吸收利用量,未被利用的N素以NO_3^-的形式下移到土壤深层[10,11],使土壤剖面NO_3^--N分布特征发生变化。施N处理在100～260cm间形成NO_3^--N累积层,而施P能显著降低深层土壤NO_3^--N含量(图1c)[12]。而NH_4^+-N在整个剖面变化不大,含量在0～3 mg/kg,处理之间相差也较小,说明旱地农田施N对土壤中的NH_4^+-N影响不明显。

2.3 土壤P素

2.3.1 土壤全P 根据党廷辉的研究,黑垆土P素自然供应能力平均为7.31 kg·hm^{-2},小麦吸收P平均28.7%来源于肥料,71.3%来源于土壤[13]。土壤含P量的多少对小麦的生长发育有重要意义。施磷肥使土壤耕层全P含量有一定提高,尤其是单施磷肥处理由于作物在缺N条件下生长状况不好,对P吸收利用少,其本身又不易在土壤中移动,过量的磷肥被土壤固定转化,使土壤全P含量增加。表3看出,P_2、P_4处理耕层(0～20cm)全P含量分别比CK提高了28%、44%;CK与单施氮肥处理,由于P素主要依靠土壤提供,使土壤全P含量有降低趋势。CK、N_2、N_4处理全P(P_2O_5)含量比试验前的1984年分别降低了0.12、0.04、0.08 g/kg;60～80、80～100cm土层的全P量则表现为所有施肥处理均小于CK。从整个土壤剖面看,0～60cm是逐渐减小,60～120cm又逐渐增加,在40～60cm处出现谷值,120cm以下基本稳定在1.4 g/kg左右(图2a)。

表3 不同处理土壤全P含量

Table 3 Total P contents of different treatments

土层 Depth (cm)	土壤全P含量(P_2O_5,g/kg) Total P contents								
	CK	P_2	P_4	N_2	N_2P_2	N_2P_4	N_4	N_4P_2	N_4P_4
0～20	1.50	1.92	2.16	1.58	1.69	1.95	1.54	1.77	2.09
20～40	1.19	1.46	1.50	1.36	1.39	1.61	1.35	1.36	1.41
40～60	1.09	1.26	1.20	1.12	1.00	1.05	1.12	1.13	1.09
60～80	1.30	1.23	1.15	1.27	1.18	1.14	1.17	1.31	1.25
80～100	1.43	1.35	1.29	1.34	1.34	1.29	1.31	1.35	1.31
100～120	1.47	1.39	1.47	1.47	1.37	1.31	1.40	1.42	1.48
120～140	1.41	1.41	1.51	1.49	1.36	1.35	1.37	1.40	1.45
140～160	1.36	1.36	1.37	1.36	1.38	1.36	1.36	1.37	1.38
160～180	1.35	1.35	1.34	1.36	1.36	1.36	1.36	1.37	1.37

2.3.2 土壤有效P 土壤有效P水平是直接决定土壤P素供应的一项指标,也是磷肥施用的基本依据。长期试验表明,单施磷肥不但可以使土壤耕层全P增加,而且耕层有效P也显著提高。每年单施P_2O_5 180kg/hm^2,表层土壤有效P达67.37 mg/kg是CK的9.7倍;配施N 180 kg/hm^{2}后,由于植物吸P量增加,有效P含量降低;单施氮肥对土壤P消耗大,有效P含量接近CK。从剖面分布看,从20～40cm开始,施肥处理有效P在0～180cm土层均高于CK,但施肥处理间差别不大(图2b)。这可能是CK处理冬小麦根系对P的消耗,而各施肥处理冬小麦根系分泌物中P含量增加,同时它的根系腐解释放的P较CK多而造成。不同施肥处理对土壤深层的有效P的影响不大。

在连续施磷肥的情况下,土壤耕层全 P、有效 P 含量显著增加,除了被当季作物吸收利用外,对恢复和建立较大容量的土壤有效磷库有巨大作用[14]。但是在本地区磷肥增产效果不明显,经济效益差,应注意配合氮肥施用。

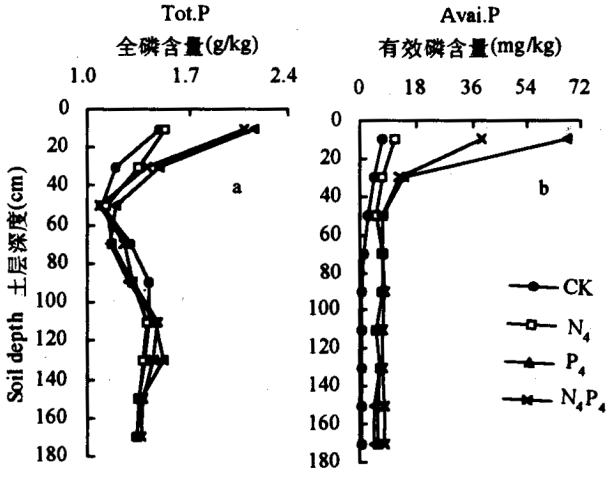

图 2　不同施肥土壤剖面全 P、有效 P 含量分布特征

Fig 2　Distribution of total P and Olsen-P contents in the soil profiles

3　讨论

3.1　旱地农田长期施用化肥有较好的增产培肥作用,施肥处理土壤耕层有机质、全 N、NO_3^--N、全 P、有效 P 等均有增加,土壤表层养分状况得到改善。施肥对土壤有机质、全 N、全 P 的影响可达 100cm 以下。单施氮肥对土壤 P 素消耗大,单施磷肥对土壤 N 素消耗大,应配合施用。

3.2　黄土高原地区年降水量少,土壤贫瘠,严重限制了农业生产的发展。该地区全年降水的集中期在 7～9 月,多以暴雨形式出现,因而冬小麦生育期土壤表层经常处于干旱状态,影响作物对施入土壤的化肥吸收利用,这是旱地化肥利用效率低的一个原因。但是,土壤耕层以下含水量较高,作物根系可以吸收利用这些养分和水分,而耕层以下养分又不易因施用化肥而得到补充,致使 40～60cm 土层有机质、全 N、全 P 含量出现谷值,40～80cm 土层出现施肥处理养分含量降低现象。旱塬地区土壤耕层以下养分对作物生长有重要意义,由于长期采用表施化肥后翻耕造成的这种耕层以下养分相对贫乏且不易恢复,特别是磷素本身移动性弱,只有通过肥料的深施才能得到恢复,有利于作物在干旱环境条件下生长发育。

3.3　养分的适度下移可以丰富底土养分含量,在干旱条件下可以作物部分吸收这些养分。但是雨养区农田氮肥的大量投入会造成 NO_3^--N 下移在土壤深层的大量累积,累积层一般出现在土壤 100cm 以下,作物较难再利用,使氮肥的利用率降低,浪费资源。磷肥的大量投入使耕层含 P 量提高,对耕层以下土壤含 P 量影响不大。

参考文献:

[1] 沈善敏,陈欣. 中国土壤磷素肥力与农业中的磷管理[A]. 沈善敏. 中国土壤肥力[M]. 北京:中国农业出版社,1998.

[2] 李科江,张素芳,贾文竹,等. 半干旱地区长期施肥对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(1)21-25.

[3] 陈永安,陈典毫,游有文,等. 红壤旱地肥力变化及有效施肥技术[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(2):115-121.

[4] 王生录,陈炳东. 陇东旱塬施肥培肥效果研究[J]. 土壤通报,1999,30(4):171-173.

[5] 陈子明,Dieter Eich,Martin Korschens. 德国帕·劳斯特长期试验地的理化性状和产量结果研究[J]. 土壤肥料,1993,(4):5-8.

[6] Whithey D, Srone L, Janssen K and Long J. Comparative effects of nitrogen sources on soil chemical and physical characteristics[J]. Soil Sci. Soc. Am. J.,1991,55:1097-1100.

[7] 党廷辉,郝明德,李青,等. 定位施肥对黑垆土剖面养分的影响[J]. 水土保持通报,1995,15(6):28-34.

[8] 鲁如坤,等. 土壤-植物营养学原理和施肥[M]. 北京:化学工业出版社,1998. 102-110.

[9] 鲁如坤,时正元,赖庆旺. 红壤长期施肥养分下移特征[J]. 土壤,2000,(1):27-29.

[10] Bashir R,Norman R J,Bacon R K and Wellls B R. Accumulation and redistribution of fertilizer nitrogen-15 in soft red winter wheat[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997,61:1407-1412.

[11] Von Jolley 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, 41:373-377.

[12] 樊军,郝明德,党廷辉. 旱地长期定位施肥对土壤剖面硝态氮分布与累积的影响[J]. 土壤与环境,2000,9(1):23-26.

[13] 党廷辉,郭胜利,郝明德. 旱地冬小麦氮磷自然供给能力及其吸收氮磷来源的长期定位试验[J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(2):166-171.

[14] 田孝,曹季江. 磷肥残效研究[J]. 土壤,1997(5):251-253.

Effect of long-term fertilization on nutrient distribution in profiles of black loessial soil

FAN Jun, HAO Ming-de, DANG Ting-hui

(*Inst. of Soil and Water conservation, CAS, Northwestern Sci-tech Unev. YangLing, Shaanxi 712100, China*)

Abstract: Nutrient distributions of the profiles of black loessial soil were studied after N and/or P were applied for 15 years continuously. The results showed that organic matter, total N, total P, NO_3^--N, Olsen-P of fertilization treatments were increased in the 0～20cm soil layer and nutrient contents of 0～20cm and 20～40cm layers were higher than that of CK, which leads to lack of nutrient content. Higher N rate applied to result the accumulation of NO_3^--N leaching. Higher P applied to increase the Olsen-P content in the 0～20 soil layer remarkably, but not to effect on Olsen-P under the 20cm depth.

Key word: balck loessial soil; nutrient distribution in profile; long-term fertilization