植物营养与肥料学报 2000,6(1):3～10
Plant Nutrition and Fertilizer Science

长期施肥对石灰性潮土氮素形态的影响①

梁国庆　林　葆　林继雄　荣向农
(中国农业科学院土壤肥料研究所,北京 100081)

摘要:采用 Bremner 1965 年提出的土壤氮素分级方法,对 16 年肥料长期定位试验中的耕层以及剖面各层次土壤的氮素形态进行了分级。结果表明,施用化肥不能提高耕层土壤各形态氮的含量,对土壤氮素的组成也无明显的影响;有机肥和化肥配合施用,耕层土壤各形态氮的含量都有不同程度的提高,其中氨基酸态氮的增加最为明显。有机无机肥配合施用,可提高土壤氮素的储量和质量,不仅对耕层土壤氮素的含量和组成有影响,而且对耕层以下土壤各形态氮的含量也有一定的影响。一般随着有机肥用量的增加,下层土壤各形态氮含量的增加幅度也越大,而且影响深度也更深。在本试验条件下,施肥对氮素形态的最大影响深度为 30cm 左右。

关键词:氮素形态;施肥;长期施肥定位试验;土壤剖面
中图分类号:S147.2

本世纪 50 年代开始,人们对土壤氮素的形态、转化及耕作施肥的影响等方面进行了大量的研究,但所取得的结果很不一致。一些研究认为,耕作施肥虽然对土壤各形态氮的绝对含量有很大影响,但土壤氮素的组成(各形态氮占土壤全氮的比例)却变化不大[1~3];另一些研究结果则表明,施肥不但对土壤各形态氮的含量,而且对土壤氮素组成有很大影响[4,5]。我国关于土壤氮素形态方面的研究报道较少,且多集中在不同地区、不同土壤氮素的组成[6~8]、各形态氮与作物产量的相关性[9,10]以及开垦种植后土壤氮素形态的变化[11,12]等方面。很少涉及施肥对土壤氮素形态的影响。而且,土壤氮素无论是分解还是积累,都是十分缓慢的,短期的试验往往很难看出其差异。为此,我们利用已有的肥料长期定位试验,研究在不同施肥条件下土壤氮素的分布和转化规律。

1　材料与方法

供试土壤为肥料长期定位试验不同施肥处理的土壤,该长期定位试验始于 1978 年,到 1994 年取样时,试验已进行了 16 年。试验选取其中的 8 个处理,即:CK, N, P, NP, M_1NP, M_2NP, M_3NP, M_4NP。化肥用量为:氮肥(N)180kg/hm^2,磷肥(P_2O_5)150 kg/hm^2,磷肥隔年施用 1 次。M_1、M_2、M_3、M_4 分别代表 4 个水平的有机肥用量分别为 37.5、75.0、112.5 和 150.0t/hm^2。该有机肥为牛马粪、麦秸与猪厩肥混合堆沤而成,含水量为 50%左右,风干后有机质的含量为 1.205%、全氮为 0.50%。

试验地作物轮作方式为小麦-玉米轮作,一年两熟。小麦施肥按以上设计进行。玉米种植时,各处理均追施一次氮肥,用量为 N 120kg/hm^2,此外不再施任何肥料。

供试土壤为轻壤质潮土,每一处理的土壤剖面在 30cm 以下,几乎都有粘土层分布,但粘土层的位置及厚度并不一致。表 1 是供试土壤的基本农化性状及剖面中粘土层的分布情况。

---

① 本研究在农业部植物营养学重点实验室完成。
作者简介:梁国庆(1963—　),男,中国农科院土壤肥料研究所博士,从事土壤及植物营养研究。
收稿日期:1998-12-24

在土壤剖面层次的划分上,重点考察了耕层和15～30cm土层土壤氮素形态的变化情况。为此,对这一范围内的土壤层次作了更细的划分,具体的取样层次是0～15、15～20、20～25、25～30、30～50、50～70和70～100cm。

土壤氮素形态分级采用Bremner法[13],其它项目测定均按常规方法进行。

表1 供试土壤的基本农化性状(1994)

Table 1 Some agro-chemical properties of the soil tested(1994)

处理 Treatments	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	碱解氮 Avail.N (mg/kg)	速效磷 Olsen P (mg/kg)	pH	粘土层分布 Clay-layer (cm)
CK	12.27	0.808	0.549	65.4	2.1	8.2	40～58
N	12.37	0.800	0.499	57.4	1.9	8.4	56～86
P	12.65	0.816	0.663	57.4	15.5	8.5	40～60
NP	12.60	0.822	0.599	60.4	6.8	8.3	—
M_1NP	18.52	1.126	0.702	96.7	32.5	8.0	30～40,56～70,90～100
M_2NP	25.45	1.537	0.792	143.2	58.0	8.3	58～64,78～86
M_3NP	30.96	2.114	0.915	150.4	84.2	8.5	58～64
M_4NP	35.43	2.353	1.017	179.4	123.7	8.3	78～86

2 结果与讨论

2.1 长期施肥对耕层土壤氮素形态含量及分布的影响

2.1.1 对耕层土壤氮素形态含量的影响 从表2可以看出,不施肥处理和单施化肥的处理,16年后,土壤全氮及各形态氮的含量都有所减少,说明土壤各形态氮都能矿化分解,为植物提供氮素营养,但氨基酸态的减少幅度最大,平均为26.4%。说明这一形态氮的植物有效性相对较高,其次是铵态氮、氨基糖态氮和未知态氮,分别减少了15.3%、14.5%和13.8%,非水解氮的减少幅度最少,仅为9.6%,因而它是植物有效性相对较低的一种土壤氮素形态。从表2还可以看出,在本试验条件下,单施氮肥或氮磷配施均不能维持土壤氮素的平衡,特别是单施氮肥的处理,该处理的作物产量在试验的5年后,和不施肥的作物产量水平相当或更低。说明所施的氮肥已大大超过作物所能吸收利用的量,但是,这部分多余的氮并不能在土壤中积累,和不施肥的对照相比,单施氮处理耕层土壤的全氮及各形态氮的含量均无明显的差别。

有机肥与化肥配合施用,土壤全氮以及各形态氮的含量都有较明显的提高,并且随着有机肥用量的增加,全氮及各形态氮含量的增加幅度也越大。说明有机肥与化肥配合施用,是提高土壤氮素肥力的重要措施。

2.1.2 对耕层土壤氮素组成的影响 施肥不仅对土壤各形态氮的含量有影响,同时土壤氮素的组成也发生了变化。从表3可以看出,在不施肥或只施用化肥的情况下,土壤氮素处于消耗状态,此时,氨基酸态氮的相对含量有所减少,从处理前的36.4%减少到31.5%～

表 2　施肥 16 年后不同处理耕层土壤各种形态氮的含量(mg/kg)

Table 2　Contents of nitrogen forms in surface soil of different treatments after 16-year fertilizer application

处　理 Treatments	铵态氮 Ammonium N	氨基酸态氮 Amino acid N	氨基糖态氮 Amino sugar N	未知态氮 HUN[1)]	非水解氮 nonhydrolizable N	全　氮 Total N
原土	237	360	31	150	210	988
CK	201	265	26	125	191	808
P	195	266	27	134	194	816
N	201	252	27	131	189	800
NP	206	277	26	128	185	822
M_1NP	252	423	37	171	243	1126
M_2NP	290	601	53	222	341	1537
M_3NP	381	869	91	310	464	2114
M_4NP	389	978	109	349	528	2353

1) HUN:未知态氮 Hydrolyzable unidentified nitrogen

33.7%,而非水解氮的相对含量则有所增加,从处理前的 21.3%增加到 22.5%～23.8%,其它形态氮的相对含量变化不大。有机肥与化肥配合施用,土壤氮素处于积累状态。此时,氨基酸态氮的相对含量明显提高,且随有机肥用量的增加,其相对含量增加的幅度也越大。铵态氮的相对含量则明显减少,且施肥水平越高,铵态氮相对含量减少的幅度也越大。氨基糖态氮,未知态氮及非水解氮的相对含量则基本不变。

表 3　施肥 16 年后各处理耕层土壤的氮素组成(占全 N %)

Table 3　Percentage contents of nitrogen forms in surface soil of different treatments after 16 year fertilizer application(% of Total N)

处理 Treatments	铵态氮 Ammonium N	氨基酸态氮 Amino acid N	氨基糖态氮 Amino sugar N	未知态氮 HUN	非水解氮 Nonhydrolyzable N
原土	24.0	36.4	3.1	15.2	21.3
CK	24.9	22.8	3.2	15.5	23.6
P	23.9	32.6	3.3	16.4	23.8
N	25.1	31.5	3.4	16.4	23.6
NP	25.1	33.7	3.2	15.6	22.5
M_1NP	22.4	37.6	3.3	15.2	21.6
M_2NP	18.9	39.1	3.4	14.4	22.2
M_3NP	18.0	41.1	4.3	14.7	21.9
M_4NP	16.5	41.6	4.6	14.8	22.4

2.1.3　各形态氮对植物氮素营养的贡献　在本试验条件下,不施肥以及单施化肥的各个处理,土壤氮素均不能维持平衡。和处理前相比,土壤全氮及各形态氮的含量均有减少,但各形态氮的减少量占土壤全氮减少总量的比例,即各形态氮对植物氮素营养的贡献率却有很

大的差别。表 4 表明,植物吸收的氮主要来自氨基酸态氮,约占土壤氮素损失总量的53.7%,其次是铵态氮,约占氮素损失总量的 20.6%,未知态氮和非水解氮的贡献率差不多,约为 11%左右,氨基糖态氮的贡献率最低,仅为 2.6%左右。由此可见,氨基酸态氮无论是从其含量或对植物营养的贡献来说,都是土壤中最重要的氮素形态。有研究表明[14],在 120 ℃水解 12 小时的条件下,某些氨基酸(如色氨酸)将完全分解,某些氨基酸(丝氨酸、苏氨酸和胱氨酸)也会部分分解,而碱性氨基酸(组氨酸、赖氨酸、鸟氨酸和精氨酸)中的非 α-氨基氮以及脯氨酸中的氨基氮均不能用茚三酮-氨法测得[15~17]。这些氨基酸态氮要么被归入铵态氮,要么被归入水解未知态氮。如果把以上的因素考虑在内,氨基酸态氮对植物营养的贡献可能还会更大。

表 4 土壤各形态氮对植物氮素营养的贡献率(%)

Table 4 Contribution rate of different forms of nitrogen forms to plant nutrition

处理 Treatments	铵态氮 Ammonium N	氨基酸态氮 Amino acid N	氨基糖态氮 Amino sugar N	未知态氮 HUN	非水解氮 Nonhydrolyzable N
CK	20.0	52.8	2.8	13.9	10.6
P	24.4	54.7	2.3	9.3	9.3
N	19.1	57.4	2.1	10.1	11.1
NP	18.7	50.0	3.0	13.3	15.1
平均 Average	20.6	53.7	2.6	11.7	11.5

2.1.4 积累氮在土壤中的转化 有机肥与化肥配合施用,土壤氮素有所积累,但积累的土壤氮素不会平均地分配于各形态的氮素中。积累的土壤氮素主要转化成氨基酸态氮,约占积累氮的 45%左右,其次是非水解氮,其转化率约为 23.4%;转变成未知态氮和铵态氮分别占积累总氮的 14.3%和 11.1%,转变成氨基糖态氮的比例最低,仅占积累氮的 4.8%。另外,各形态氮的转化率基本保持稳定,不会因为施肥量的不同而有很大的改变(表 5)。

表 5 积累氮向各形态氮转化的转化率(%)

Table 5 Transformation rate of accumulated N to different forms of nitrogen

处理 Treatments	铵态氮 Ammonium N	氨基酸态氮 Amino acid N	氨基糖态氮 Amino sugar N	未知态氮 HUN	非水解氮 Non-hydrolyzable N
M_1NP	10.9	45.7	4.3	15.2	23.9
M_2NP	9.7	43.9	4.0	13.1	23.9
M_3NP	12.8	45.2	5.3	14.2	22.6
M_4NP	11.1	45.3	5.7	14.6	23.3
平均 Average	11.1	45.0	4.8	14.3	23.4

自从 Bremner 土壤氮素形态分级的方法发表以后,围绕着施肥对耕层土壤氮素形态的

影响,曾有过不少研究。Smith 等指出[2],不管是施用化肥还是有机肥,也无论土壤全氮是亏是盈,土壤各形态氮的相对含量都保持相对稳定。Khan 则认为[5],施用化肥对土壤氮素组成无明显影响,但施用有机肥,则可明显提高土壤氨基糖态氮的相对含量。Camppell 的研究结果也支持 Khan 的观点[18],但他同时认为,长期施用有机肥还可以明显提高氨基酸态氮的相对含量,而未知态氮的相对含量则有所降低。我们的研究结果则表明,长期施用化肥,对土壤各形态氮的含量及组成均无明显影响,但有机肥与化肥配合施用,各形态氮均有明显积累,并导致土壤氮素的组成发生变化,主要是氨基酸态氮的相对含量明显提高,而铵态氮的相对含量则明显降低。

2.2　长期施肥对土壤剖面氮素形态含量及分布的影响

2.2.1　对土壤剖面全氮含量分布的影响　表 6 看出,土壤全氮含量的剖面分布都遵循以表层土壤含量最高,随着土层深度增加而逐渐减少的分布规律;同时可以看出,在有粘土层的土层,土壤全氮含量都较高,即土壤氮素有在粘粒富集的现象。和对照相比,施用化肥对耕层土壤全氮的含量没有明显的影响。施用化肥的 3 个处理(P、N、NP),耕层以下各层次土壤全氮的含量也没有明显的差异,即施用化肥对整个土壤剖面土壤全氮的含量均无明显影响。有机肥与化肥配合施用,不仅表层土壤全氮含量有较大幅度的提高,而且表层以下的土壤全氮含量也有不同程度的提高,一般随着有机肥用量的增加,下层土壤全氮含量的增加幅度也越大,而且影响的深度也越深。中低量有机肥(37.5～75.0t/hm^2)和化肥配合施用,只有耕层以下 15～20cm 土层土壤全氮含量有较明显的增加,中高量有机肥(112.5～150.0t/hm^2)与化肥配合施用,深达 30cm 土层土壤全氮的含量也有明显的提高。

表 6　不同施肥处理土壤全氮含量的剖面分布

Table 6　Profile distribution of total N in different treatments (N, mg/kg)

深度 Depth (cm)	CK	P	N	NP	M_1NP	M_2NP	M_3NP	M_4NP
0～15	808	816	800	822	1126	1537	2114	2353
15～20	699	664	591	720	847	855	1430	1233
20～25	578	583	490	668	597	782	1187	1063
25～30	513	539	415	615	614	552	906	959
30～50	730	751	420	572	637	511	552	578
50～70	552	690	493	591	831	559	538	482
70～100	295	353	552	524	538	448	480	365

2.2.2　对土壤剖面各形态氮含量分布的影响　表 7 为不同施肥处理土壤剖面不同层次土壤铵态氮、氨基酸态氮、氨基糖态氮、未知态氮和非水解氮的含量变化。从表中可以看出,各形态氮的含量都有以耕层土壤含量最高,随着剖面深度的增加而逐渐减少的剖面分布特征。另外各形态氮都有在粘土层中积聚的现象,其中尤以非水解氮最为明显。

目前人们虽然对非水解氮的物质组成尚存在着很多争议[16,19,20],但普遍认为,土壤中固定态铵是非水解氮的重要组分。研究表明[21],土壤中固定态铵占非水解氮的份额受土壤

表 7 不同施肥处理不同形态氮在土壤剖面的分布(N, mg/kg)

Table 7 Distribution of different N forms in soil profile with different treatments

深度 Depth (cm)	CK	P	N	NP	M_1NP	M_2NP	M_3NP	M_4NP
铵态氮 Ammonium N								
0～15	201	195	201	206	252	290	381	389
15～20	185	184	163	176	188	190	264	249
20～25	154	180	144	181	167	190	250	233
25～30	154	160	136	164	167	141	177	219
30～50	159	161	136	161	155	122	149	154
50～70	155	163	151	179	166	145	140	124
70～100	106	109	156	161	155	117	127	109
氨基酸态氮 Amino acid N								
0～15	265	266	252	277	423	601	869	978
15～20	241	225	179	242	342	341	494	472
20～25	188	210	144	211	218	309	404	399
25～30	155	187	120	179	207	185	277	326
30～50	182	213	118	171	202	159	163	172
50～70	151	196	137	180	199	149	126	135
70～100	70	100	160	182	157	126	87	99
氨基糖态氮 Amino sugar N								
0～15	26	27	27	26	37	53	91	109
15～20	25	8	16	25	38	59	71	60
20～25	22	8	12	17	17	43	54	50
25～30	14	11	9	16	16	38	26	37
30～50	23	33	9	13	16	45	24	28
50～70	11	22	10	14	15	26	27	28
70～100	11	8	12	7	17	31	18	13
未知态氮 Hydrolyzable unidentified N								
0～15	125	134	131	128	171	222	310	349
15～20	116	96	96	85	61	117	176	175
20～25	71	65	73	85	49	63	212	157
25～30	51	40	69	92	45	48	104	190
30～50	65	70	68	64	23	39	68	142
50～70	64	63	81	33	43	22	77	91
70～100	41	52	45	47	27	14	82	67
非水解氮 Nonhydrolyzable N								
0～15	191	194	189	185	243	341	464	528
15～20	132	151	137	192	218	148	425	279
20～25	142	120	117	174	146	177	267	224
25～30	139	135	81	164	179	140	322	187
30～50	301	274	89	163	241	146	148	81
50～70	171	246	114	185	408	217	168	104
70～100	67	84	179	128	182	160	166	77

粘土矿物类型的影响很大,一般变动在1.8%～47.0%。本研究中的土壤是由流经黄土高原和变质岩地区的河流冲积物发育而成,并由于分选作用,砂粘成层,质地粘重的土层中以2:1型的蒙脱石和蛭石为主,固定态铵的含量较高,这些原先固定的固定态铵在水解过程中很难释出,从而使粘土层中非水解氮的含量较高。另外,在水解过程中,粘土较易发生喷溅现象,部分土被喷溅到瓶壁上,影响到土壤的水解,这可能也是造成粘土中非水解氮测定值较高的原因之一。

施用化肥的处理,和不施肥的对照相比,剖面各层次土壤各形态氮的含量没有明显的差异。有机肥与化肥配合施用,不仅表层土壤各形态氮的含量有明显的提高,而且表层以下土壤各形态氮的含量也有一定程度的提高,一般随着有机肥用量的增加,下层土壤各形态氮含量的增加幅度也越大,而且影响的深度也越深。有机肥用量在37.5～75.0t/hm^{2}范围内,其影响的深度只有20cm左右,但有机肥用量在112.5～150.0t/hm^{2}水平下,影响深度可达30cm左右,即30cm深度范围内,各形态氮的含量都有较明显的提高。

综上所述,单施化肥,对土壤氮素的含量和组成没有明显的影响,多余的氮不会在土壤中积累;有机肥与化肥配合施用,耕层土壤氮素的含量有明显提高,且积累于土壤中的氮有近一半转化成氨基酸态氮,下层土壤各形态氮也有不同程度的提高。但在本试验条下,施肥的影响深度一般不会超过30cm的深度。

参考文献

1 王岩,蔡大同,史瑞和.肥料残留氮的有效性及其与形态分布的关系.土壤学报, 1993,30(1): 19～24.

2 Smith SJ and young LB. Distribution of nitrogen forms in virgin and cultivated soils. Soil Sci., 1975, 120(5): 354～360

3 Stevenson FJ. Dynamics of soil nitrogen transformation. In: Stevenson FJ(ed.). Humus Chemistry, Vienna, 1982, 93～119.

4 Keeny DR et al.. Effect of cultivation on the nitrogen distribution in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1964, 28: 653～656.

5 Khan SV. Nitrogen fractions in a gray wooded soil as influenced by long-time cropping systems and fertilizers. Can. J. Soil Sci., 1971, 51: 431～437.

6 宋琦.我国几种土壤的有机氮构成和性质的研究.土壤学报, 1988,25(1): 95～110.

7 周克瑜,施书莲.我国几种主要土壤中氮素形态分布及其氨基酸组成.土壤, 1992,24(6): 285～288.

8 张晓华,杜丽娟,文启孝.几种水稻土不同粒级中有机质含量和组成.土壤学报, 1984,21: 418～425.

9 沈其荣,史瑞和.不同土壤有机氮的化学组成及其有效性的研究.土壤通报,1990,21: 54～57.

10 施书莲,文启孝,廖海秋,周克瑜.耕垦对土壤氮素形态分布和氨基酸组成的影响.土壤,1992,24(1):14～18.

11 施书莲,周克瑜.施肥对土壤含氮组分的影响.土壤,1995,27(3): 138～140.

12 许春霞、吴守仁.土壤有机氮构成及其在施肥条件下的变化.土壤通报,1991.22(2): 54～56.

13 Bremner JM. Organic forms of nitrogen. Black CA(ed.). Methods of soil analysis, Madiso Wisconsin, 1965, 1148～1178.

14 叶炜,程励励,文启孝.胡敏酸的氮素形态分布及其未知氮的部分鉴定.土壤, 1991,23(5):272.

15 Goh KM and Edmeades DC. Distribution and partial characterization of hydrolyzable organic nitrogen in six Newzealand soils. Soil Biol. Biochem., 1979, 11: 127～132.

16 Griffiths SM, Sowden FJ and Schnitzer M. The alkaline hydrolysis of acid-resistant soil and humic residues. Soil Biol. Biochem., 1976, 8: 529～531.

17 Sowden FJ, Griffiths SM and Schnitzer M. The distribution of nitrogen in some highly organic tropical soil. Soil Biol. Biochem., 1976, 8: 55～60.

18 Camppell CA Schnitzer M and Stewart JWB et al.. Effect of manure and P fertilizer on properties of a Black Chernozem in South Saskatchewan. Can. J. Soil Sci., 1986, 66: 601～613.

19 Asami T and Hara M. On the fractionation of soil organic nitrogen after the hydrolysis using HCl. Soil Sci. Plant Nutr.,

1971, 17: 222.

20 Ladd LN and Bulfer JHA. Comparison of Some properties of soil humic acids and synthetic phenolic polymeers incorporating amino derivatives. Aust. J. Soil Res., 1966, 4: 41~54.

21 文启孝等. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学技术出版社. 1992, 13.

EFFECT OF LONG-TERM FERTILIZATION ON THE FORMS OF NITROGEN IN CALCAREOUS FLUVO-AQUIC SOIL

Liang Guoqing Lin Bao Lin Jixiong Rong Xiangnong

(*Soils and Fertilizers Institute, CAAS, Beijing* 100081)

Abstract: In this research, method for soil nitrogen fractionation proposed by Bremner (1965) was adopted to study the transformation of nitrogen in the soil of long-term fertilization experiment which has lasted for 16 years. The main results are as follows: When only chemical fertilizer was applied, the content of forms of nitrogen was slightly decreased. Even in the N treatment that the amount of nitrogen application had largely exceeded that the plant could used, but the extra N couldn't accumulated in the soil. Neither chemical fertilizer application had the effect on the content of soil nitrogen, nor had the effect on the nitrogen composition. Application of manure with chemical fertilizer significantly increased the contents of all forms of nitrogen, especially the content of amino-acid N. The composition of nitrogen was also affected. Furthermore, application of manure with chemical fertilizer also affected the contents of forms of nitrogen in soil profile, as the amount of manure application increased, the contents of nitrogen forms increased, and the deeper layer of soil profile was affected. In the condition of our experiment, the deepest depth that fertilization affect was about 30 cm.

Key words: nitrogen forms; fertilizer application; manure application; long-term fertilizer experiment; soil profile