

长期施肥与耕作对白浆土有机态氮组分的影响

富东英¹, 田秀平¹, 薛菁芳², 韩晓日²

(1.天津农学院农学系, 天津 300384; 2.沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110161)

摘要:采用长期定位研究方法,探讨了长期耕作与施肥对白浆土有机氮组分的影响。结果表明,白浆土耕层全氮含量为 1 840.8 mg·kg⁻¹。其中,非酸解总氮占土壤全氮 29.8%,其余为酸解氮。酸解氮 4 种组分含量高低顺序为,未知态氮>氨基酸态氮>酰胺态氮>氨基糖态氮。有机肥极大提高了土壤酸解总氮及其各组分含量(除酰胺态氮),化肥则以增加酰胺态氮为主,秸秆还田土壤酸解总氮及其各组分也有一定增加,长期不施肥土壤有机氮库处于严重消耗状态。土壤酸解总氮各组分对氮素营养贡献大小为,氨基酸态氮>酰胺态氮>未知态氮>氨基糖态氮。长期施入土壤中的化学氮素,主要向酰胺态氮转化,秸秆还田中氮向氨基糖态氮转化最多,有机肥中氮向氨基酸态氮转化率最大。长期免耕,不利于植物对氮素吸收以及有机态氮矿化,致使其比普通翻和深松更有利于土壤有机氮各组分的提高。

关键词:白浆土; 有机氮组分; 耕作; 施肥

中图分类号:S153.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2005)06-1127-05

Effects of Long-term Culture Fertilization and Tillage Patterns on the Speciation of Organic Nitrogen in Albic Soil

FU Dong-ying¹, TIAN Xiu-ping¹, XUE Qing-fang², HAN Xiao-ri²

(1. Department of Agriculture, Tianjin Agricultural College, Tianjin 300384, China; 2. Shenyang Agriculture University, Shenyang 100161, China)

Abstract: Effects of long term fertilization patterns (NP: chemical fertilizer, OM: organic fertilizer, TS: mulching straw, and CK: no fertilizer) on the speciation of organic nitrogen in albic soil were studied from 1992 to 2001. The crop rotation system used was winter wheat- winter wheat- soybean- canola - corn-soybean. The results also showed that the mean content of total nitrogen in albic soil was 1 840.80 mg·kg⁻¹, among of which the non-hydrolyzable nitrogen accounted for 29.8% and the rest was hydrolyzable nitrogen in albic soil. And the 4 kinds of hydrolyzable nitrogen were in the order: unidentified hydrolyzable nitrogen > amino acid nitrogen > ammonium nitrogen > amino sugar nitrogen. In this 10-yr field experiment, NP, OM, TS application resulted in the increase of total hydrolyzable nitrogen content in soil in different ways (NP, 1.8%; OM, 15.6%; TS, 7.0%), while CK application caused the organic nitrogen pool was depleted during these 10 years (CK, -11.8%). In NP treatment plot, most of the increase level of total hydrolyzable nitrogen was ammonium nitrogen fraction (8.8%), with unidentified hydrolyzable nitrogen (0.9%), amino acid nitrogen (-0.4%) and amino sugar nitrogen (-2.9%). In OM treatment plot, it was amino sugar nitrogen (30.8%), with amino acid nitrogen (23.4%)unidentified hydrolyzable nitrogen (9.9%) and ammonium nitrogen fraction (3.6%). In TS treatment plot, it was amino sugar nitrogen (17.7%), with amino acid nitrogen (6.7%), unidentified hydrolyzable nitrogen (5.4%) and ammonium nitrogen fraction (3.4%). Moreover, compared the plough-based tillage, conservation tillage (no-plough soil tillage) and no tillage effects on the speciation of organic nitrogen in albic soil, the highest organic nitrogen content in soil was measured in the no tillage treatment plot.

Keywords: albic soil; form of organic nitrogen ; tillage; fertilization

收稿日期:2005-07-08

作者简介:富东英(1966—),女,讲师,从事农业生态环境保护教学工作。

联系人:田秀平 E-mail:tian5918@sohu.com

土壤有机态氮是土壤氮素的主要成分,耕层土壤中约有 85%以上的氮素为有机态氮^[1],它是氮素循环中的一个重要枢纽站。土壤有机氮包括固定态氨基酸、游离氨基酸、氨基糖和其他未明的组分氮等。试验证明,这些形态氮在土壤中的含量消长及生物分解具有复杂性^[2]。Keeney 等^[3]的试验结果表明,即使是同一形态的有机氮,其分解性在不同土壤之间也有很大差异。目前,国内外学者虽然对土壤有机氮组分进行大量研究,但多集中在不同土类,对长期耕作施肥白浆土中有机氮的研究尚未见报道。黑龙江省白浆土总面积 331 万 hm²。吉林省 196 万 hm²,在山东、河南、江苏和安徽等省也有分布。据联合国粮农组织报道^[4],类似白浆土的土壤遍布五大洲,在 32 个国家和地区均有分布。为此,全面深入研究白浆土有机氮组分及其有效性非常必要。本文以定位 16 a 的白浆土为研究对象,系统地探讨了长期耕作与施肥对白浆土有机氮组分的影响,为改善白浆土的氮素状况和持续农业中氮肥的合理施用提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

土样采自黑龙江省密山市白浆土长期定位试验地,其有机质 35.0 g·kg⁻¹,全氮 2.3 g·kg⁻¹,全磷 0.5 g·kg⁻¹,碱解氮 274.0 mg·kg⁻¹,有效磷 5.5 mg·kg⁻¹,有效钾 89.7 mg·kg⁻¹,pH(H₂O) 6.0。

1.2 试验设计

试验小区面积为 79.2 m²,共设 4 次重复。1987 年

开始采用春小麦-春小麦-大豆-油菜-玉米-大豆 6 区轮作制。施肥处理分为对照区(CK),有机肥区(OM),秸秆还田区(TS)和化肥区(NP),均采用普翻耕法;耕作处理分为普翻区(CT),深松区(DT)和免耕区(NT),均施用化肥(NP)。有机肥为牛粪厩肥,其 N 和 P 含量分别是 15.8 和 4.9 g·kg⁻¹,施用量 25 200 kg·hm⁻²;化肥用量大豆、小麦和玉米分别为纯 N 45.0、54.0 和 66.0 kg·hm⁻²,纯 P 67.5、57.0 和 33.0 kg·hm⁻²;秸秆还田是在秋收后将新鲜秸秆粉碎(10 cm 左右)撒于地表,翻入土中,施用量 2 220 kg·hm⁻²;免耕为耙茬 0~10 cm;深松是深松 0~35 cm,间隔 30 cm,秋深松春起垄;普翻为秋翻耕层 0~20 cm。

1.3 取样

于 1992 年和 2001 年秋后,用土钻在每个小区内取耕层(0~20 cm)5 点混合土样。

1.4 分析方法

土壤全氮采用凯氏定氮法^[5],土壤有机态氮分组采用 Bremner 法^[6]。

2 结果分析

2.1 白浆土有机氮分布特征

从表 1 看出,本试验白浆土全氮平均含量为 1 840.8 mg·kg⁻¹,低于黑龙江省平均水平的 2 000~2 500 mg·kg⁻¹^[7],按照本地区土壤肥力分级标准属于中等水平,全氮中酸解总氮平均为 1 292.7 mg·kg⁻¹,占全氮的 70.2%,其余为非酸解氮,占全氮的 29.8%。酸解总氮中,以未知态氮含量最高,平均 465.0 mg·kg⁻¹,占土壤

表 1 白浆土有机氮各组分含量

Table 1 Contents and fractions of organic nitrogen in albic soil

处理	年份	酸解总 N		氨基酸 N		氨基糖 N		酰胺态 N		未知 N		非酸解 N		全氮
		a	b/%	a	b/%	a	b/%	a	b/%	a	b/%	a	b/%	
CK	1992	1 261.3	68.4	371.1	20.1	187.6	10.2	283.6	15.4	441.9	24.0	583.8	31.6	1 845.1
	2001	1 099.3	66.7	295.4	17.9	172.0	10.4	255.4	15.5	401.5	24.3	549.8	33.3	1 649.1
TS	1992	1 313.3	71.0	400.8	21.7	172.9	9.3	276.7	15.0	464.1	25.1	537.2	29.0	1 850.5
	2001	1 379.6	70.3	429.6	21.9	184.7	9.4	285.5	14.4	482.8	24.6	583.8	29.7	1 963.4
OM	1992	1 371.9	75.1	434.8	23.8	191.4	10.5	284.5	15.6	486.3	26.6	454.4	24.9	1 826.3
	2001	1 574.8	75.9	488.8	23.6	224.5	10.8	319.1	15.4	542.4	26.2	499.3	24.1	2 074.1
NP	1992	1 258.1	73.1	372.0	21.6	182.4	10.6	258.8	15.0	444.9	25.8	464.1	27.0	1 722.2
	2001	1 226.5	67.9	345.8	17.1	175.6	9.7	269.1	14.9	436.0	24.1	579.8	32.1	1 806.3
DT	1992	1 244.6	68.5	338.8	18.7	174.0	9.6	269.9	14.9	462.0	25.5	571.2	31.5	1 815.8
	2001	1 247.7	67.5	337.0	18.2	164.4	8.9	274.7	14.9	471.6	26.4	601.9	32.5	1 849.6
NT	1992	1 265.7	70.5	360.1	20.1	172.3	9.6	258.7	14.4	474.5	25.0	528.6	29.5	1 794.3
	2001	1 270.0	67.1	361.1	19.1	167.0	8.8	269.4	14.2	472.4	25.3	623.2	32.9	1 893.1
		1 292.7	70.2	377.9	20.5	180.7	9.8	275.2	15.0	465.0		548.1	29.8	1 840.8
平均 Sd		114.1		52.6		4.6		17.0		34.1		53.4		107.6

注:a 为某组分含量(mg·kg⁻¹);b 为该组分占全氮的百分比含量(%)。

全氮的 25.3%,其次是氨基酸态氮,平均为 377.9 mg·kg⁻¹, 占土壤全氮的 20.5%, 酰胺态氮平均含量为 275.2 mg·kg⁻¹, 占全氮的 15.0%, 氨基糖态氮含量最少,平均为 180.7 mg·kg⁻¹,仅占土壤全氮 9.8%。

2.2 长期施肥对土壤有机氮组分的影响

本试验结果得出,长期不施肥 CK 处理土壤酸解总氮及各组分氮处于消耗状态,酸解总氮 10 年下降 183.0 mg·kg⁻¹,降低了 5.4%。其他各组分氮的降幅顺序为,氨基酸态氮(15.7%)>酰胺态氮(14.5%)>氨基糖态氮(12.8%)>未知态氮(11.1%)。土壤非酸解氮也有下降,但降幅很小,10 年降低 0.02%,见表 2。Ivarson 研究得出,6 mol·L⁻¹ HCl 水解后的残渣氮是可以被微生物分解的^[8];NP 处理酸解总氮略有上升,但升幅很小,仅为 1.8%。其中氨基酸态氮和氨基糖态氮略有下降,10 年分别下降了 0.4%和 2.9%。酰胺态氮和未知态氮各自增加了 8.8%和 0.9%。这说明长期氮磷单施在维持土壤氮库平衡时,也维持了土壤酸解有机氮库基本平衡。尤其是酰胺态氮提高较多,原因可能是长期施

入土壤中的尿素在脲酶作用下,分解成铵态氮,使土壤中交换铵和固定态铵含量增加。文启孝认为,固定态铵是酸解酰胺态氮的主要来源^[9]。沈其荣等(1990)也发现,土壤酸解性铵态氮中 1/4~1/3 来自于土壤固定态铵^[10];OM 处理酸解总氮及其各组分增加显著,2001 年测定结果比 1992 年酸解总氮增加 199.6 mg·kg⁻¹,上升了 15.6%,其他的各组分含量增加顺序为:氨基酸态氮(88.9 mg·kg⁻¹)>氨基糖态氮(56.3 mg·kg⁻¹)>未知态氮(45.1 mg·kg⁻¹)>酰胺态氮(9.3 mg·kg⁻¹)。说明长期施用牛粪对土壤氨基酸态氮增加最显著。土壤中的氨基糖态氮和未知态氮也有较大提高,但牛粪对提高酰胺态氮的作用较小;TS 处理中酸解有机态氮也有一定增加,其他各组分含量增加顺序是:氨基糖态氮(28.0 mg·kg⁻¹)>氨基酸态氮(24.7 mg·kg⁻¹)>水解未知态氮(23.6 mg·kg⁻¹)>酰胺态氮(10.8 mg·kg⁻¹)。另外 TS、OM 和 NP 处理非酸解氮都有一定增加,说明土壤采用有机和无机培肥对提高土壤非酸解氮也有作用。

作物生长期间,通过有机态氮矿化作用释放出来

表 2 长期施肥土壤中有有机态氮变化量(mg·kg⁻¹)
Table2 The changes of the organic nitrogen under long-term fertilization (mg·kg⁻¹)

处理	酸解总 N		氨基酸 N		氨基糖 N		酰胺态 N		未知 N		非酸解 N	
	A	R/%	A	R/%	A	R/%	A	R/%	A	R/%	A	R/%
CK	-141.0	-11.8	-53.8	-15.7	-22.4	-12.8	-32.9	-14.5	-33.9	-11.1	-11.2	-0.02
TS	87.1	7.0	24.7	6.7	28.0	17.7	10.8	3.8	23.6	5.4	3.8	0.01
OM	199.6	15.6	88.9	23.4	56.3	30.8	9.3	3.6	45.1	9.9	56.3	10.2
NP	21.3	1.8	-1.1	-0.4	-5.1	-2.9	23.6	8.8	4.0	0.9	3.3	0.01

注:A 表示绝对变化量(增减量),A=2001 年某测定项目值 - 1992 年某测定项目值; R 表示相对变化量(升降幅度),R(%)=A/1992 年某测定项目值×100%,下同。

的氮是作物重要的氮素来源。以上分析说明,在白浆土上,长期保证有机肥和秸秆还田都可提高土壤供氮能力,长期氮磷化肥单施也可维持土壤供氮水平。

2.3 耕层土壤各形态有机态氮的贡献率及转化率

长期耗氮情况下,土壤酸解有机态氮各组分的相对变化量,反映出不同形态氮对作物氮素营养的贡献。图 1 表明,CK 处理植物吸收的氮素来自酸解总氮的占 92.6%,来自非酸解氮的占 7.4%。酸解总氮中氨基酸态氮的贡献率最大,为 35.4%,其次是酰胺态氮,贡献率为 21.6%,未知态氮和氨基糖态氮贡献率分别为 21.0%和 14.6%。氨基酸态氮无论从其含量或对植物营养的贡献来说,都是土壤中最重要氮素形态。试验证明,通过茚三酮反应测定 6 mol·L⁻¹ HCl 酸解液中的氨基酸量很不完全,原因在于酸解过程中一些氨基酸将被破坏,其中部分氮以铵形式释出,被归于

铵态氮中,部分可能与酸解液中其他化合物反应,形成含氮杂环化合物,而进入未知态氮,还有一些氨基酸态氮不能被茚三酮检测^[11-13]。如果把上述因素权衡在内,氨基酸态氮对植物营养的贡献可能还会更大。氨基糖态氮虽然也较易矿化分解,但因其其在土壤含量较少,对植物氮素营养的贡献低于酰胺态氮。

从图 2 可见,长期氮磷化肥单施,土壤中氮素主要向酰胺态氮转化,转化率为 95.8%,其次是未知态氮(16.1%)。没有向氨基酸态氮和氨基糖态氮转化。长期秸秆还田土壤中氮素向氨基糖态氮转化率最高,为 30.8%,这可能与秸秆中富含糖分有关。氨基酸态氮和未知态氮的转化率相差不大,都在 25.0%以上,向酰胺态氮转化的较少,为 11.9%;长期施用有机肥,土壤中累积的氮素也不平均地分配于各形态氮素中,其积累的土壤氮素主要转化成氨基酸态氮,转化率为

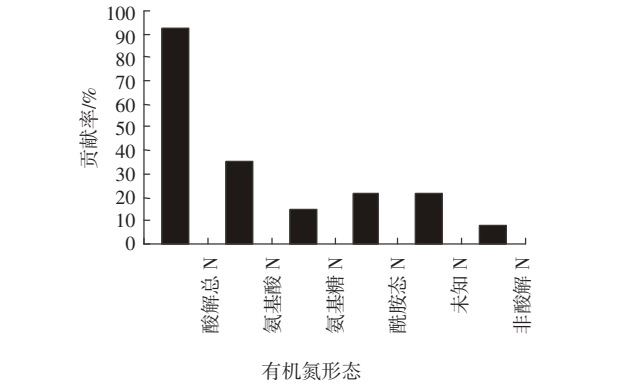


图 1 土壤有机氮组分的贡献率

Figure 1 Contribution made by each fraction to the total decrease of organic nitrogen in soil after long-term CK treatment

贡献率(%)=(10 a 某形态元素的减少量/该元素总量减少量)×100%

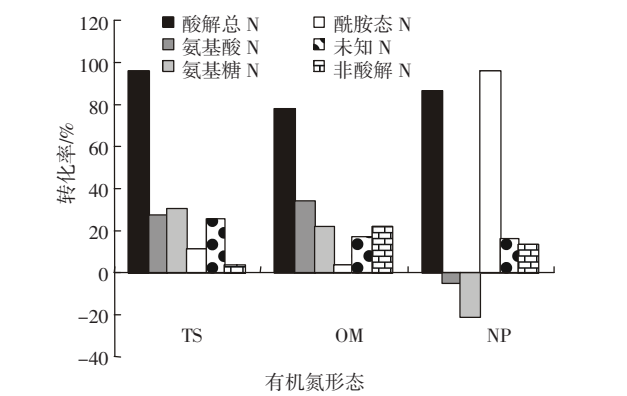


图 2 长期施肥土壤有机氮的转化率

Figure 2 Contribution made by each fraction to the total increase of organic nitrogen in soil after long-term TS, OM and NP treatment

转化率(%)=(10 a 某形态元素的增加量/该元素总量增加量)×100%

41.2%。氨基糖态氮和未知态氮分别为 26.8%和 20.9%,转变成酰胺态氮的比例最低,仅为 4.3%。

2.4 长期耕作土壤有机态氮组分变化

从表 3 可见,施等量氮肥情况下,长期不同耕作对白浆土有机态氮各形态也产生了一定影响。其中,

酸解总氮绝对和相对增加顺序均为, NT (43.3 mg·kg⁻¹,3.6%)>CT (21.3 mg·kg⁻¹,1.8%)>DT (8.3 mg·kg⁻¹,0.7%)。非酸解氮为,NT(25.9 mg·kg⁻¹,0.04%)>DT(7.5 mg·kg⁻¹,0.01%)>CT(3.3 mg·kg⁻¹,0.01%)。

免耕土壤增加较大的原因可能是一方面由于 NT 处理通气性差,土壤微生物活性比 CT 和 DT 低,有机态氮分解能力弱所致。另一方面,免耕耙茬使有机物集中分布在 0~10 cm 内,致使耕层有机态氮聚积。而深松和普翻会把有机物质带到土层 20 cm 以下,尤其是深松处理,所以它的酸解总氮含量最低。3 种耕法酸解总氮中,各形态氮组分年份变化也基本相同,表现为未知态氮和酰胺态氮含量 2001 年测定结果比 1992 年高,而氨基糖态氮和氨基酸态氮变化较小。未知态氮的增加量以 NT 最高,CT 和 DT 相差不大,而酰胺态氮含量则以 CT 最高,NT 最小。CT 处理 10 年增加 23.6 mg·kg⁻¹,上升了 8.8%。土壤酸解酰胺态氮有一部分来自土壤固定态铵(前已叙述)。高亚军等研究得出,耕翻土壤中酰胺态氮含量似有高于免耕土壤的趋势,原因是土壤的搅拌和扰动或许有助于铵态氮的矿物固定^[14]。

3 讨论

植物营养三要素中,氮素是植物需要最多,土壤供应少,供求矛盾最突出的元素,因此,合理施肥,提高土壤供氮能力一直是国内外学者重点研究课题。从试验研究结果看出,供试白浆土中,全氮含量属于中等水平。长期不施肥土壤有机氮库处于消耗状态;长期氮磷化肥单施在维持土壤氮库平衡时,也维持了土壤酸解有机氮库基本平衡,尤其是酰胺态氮增加较多;长期保证有机肥和秸秆还田,对土壤氮素贡献很大,尤其是前者。但两者在提高水解氮中酰胺态氮的含量作用不大。目前,土壤酰胺态氮是否来自土壤固定态铵,不同学者所持观点不同。本试验测得土壤酰胺态氮与土壤有机质总量之间不相关($r=0.294,n=12$)。说明有一部分土壤酰胺态氮不全包括在有机态氮中。因此,土壤酰胺态氮也可能包括一部分固定态铵,这

表 3 长期耕作土壤有机态氮变化量(mg·kg ⁻¹)												
Table 3 The changes of the organic nitrogen under long-term tillage (mg·kg ⁻¹)												
处理	酸解总 N		氨基酸 N		氨基糖 N		酰胺态 N		未知 N		非酸解 N	
	A	R/%	A	R/%	A	R/%	A	R/%	A	R/%	A	R/%
CT	21.3	1.8	-1.1	-0.4	-5.1	-2.9	23.6	8.8	4.0	0.9	3.3	0.01
DT	8.3	0.7	-5.5	-1.6	-6.0	-3.1	16.4	6.2	3.3	0.9	7.5	0.01
NT	43.3	3.6	-6.2	-1.7	3.4	1.9	13.2	5.3	32.9	7.9	25.9	0.01

一部分氮可能存在于粘土矿物周围或和粘粒结合而成为有机粘粒复合物,或者存在于粘土矿物的晶层之间。在进行有机氮分组测定中,它们部分酸解出来。另外,各有机氮组分测定手续繁多,条件也难维持在一个相对稳定的水平,这些非可控因素可能会造成某一分析产生系统误差。

参考文献:

- [1] Schnitzer M, Khan S U. Soil organic matter.Elsevier scientific publishing company[M]. Amsterdam,oxford,New York. 1983.228–256.
- [2] 朱兆良.中国土壤氮素[M].南京:江苏科学技术出版社, 1992.37–59.
- [3] Keeney D R, J M Bremner. Effect of cultivation on the nitrogen redistribution in soils[J]. *Soil Soc Am Proc*, 1964.28:653–655.
- [4] 中国科学院林业土壤研究所.中国东北土壤[M].北京:科学出版社, 1978.78–82.
- [5] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社, 1999.
- [6] Bremer J M. Organic forms of nitrogen.In:Black C A.ed.Methods of Soil

Analysis.Agronomy 9.American Society of Agronomy Incorporation, Madison, Wisconsin,USA. 1965,1148–1178.

- [7] 曾昭顺,徐 琪,高子勤,等.中国白浆土[M].北京:科学出版社,1997.
- [8] Ivarson K C, M Schnizer. The biodegradability of the"unknown" soil–nitrogen[J]. *Can J Soil Sci*, 1979,59:59–67.
- [9] 文启孝.土壤氮素的含量和形态.中国土壤氮素.南京:江苏科学技术出版社,1992.3–26.
- [10] 沈其荣,史瑞和.不同土壤有机氮的化学组分及其有效性的研究[J]. 土壤通报, 1990,21(2):54–57.
- [11] Goh K M, Edmeades D C. Distribution and partial characterization of hydrolysable organic nitrogen in six Newzealand soil [J].*Soil Biol Biochem*, 1979,11:127–132.
- [12] Griffiths S M,Sowden F J, Schnitzer M. The alkaline hydrolysis of soil and humic residues[J]. *Soil Biol Biochem*, 1976,8:529–531.
- [13] Griffiths S M,Sowden F J, Schnitzer M. The alkaline hydrolysis of soil and humic residues[J]. *Soil Biol Biochem*, 1976,8:529–531.
- [14] 高亚军.稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对氮素肥力影响[J].土壤学报, 2000, 37(4):456–462.