

土壤微生物量氮的动态及其生物有效性研究

王淑平^{1,2},周广胜¹,孙长占²,姜亦梅²,姜岩²,刘孝义³

(1 中国科学院植物所,北京 100093;2 吉林农业大学,长春 130118;3 沈阳农业大学,沈阳 110161)

摘要:采用盆栽试验和¹⁵N示踪技术对玉米生长期间不同施肥处理黑土土壤微生物量氮的动态变化及其与土壤氮素组分、玉米吸氮量之间的关系进行研究。结果表明,在玉米生长期间,施肥并没有影响土壤微生物量氮的变化趋势,但不同施肥处理土壤微生物量氮的含量明显不同。玉米植株残体的加入,增加了土壤微生物量氮的数量,降低了土壤微生物对肥料¹⁵N的释放率。土壤微生物量氮与土壤全氮含量呈极显著的正相关($r=0.727^{**}$),与土壤碱解氮及玉米吸氮量之间均呈显著正相关(相关系数分别为 0.528^{*} 和 0.536^{*})。土壤微生物量氮和土壤氮素组分对作物吸氮量的通径分析表明,土壤微生物量氮的有效性近于土壤矿质态氮、高于土壤酸解有机氮和非酸解氮。土壤微生物量氮是作物吸收氮素的有效来源。

关键词:施肥;土壤微生物量氮;通径分析;¹⁵N示踪

中图分类号:S154.36

文献标识码:A

文章编号:1008-505X(2003)01-0087-04

The dynamics of soil microbial biomass nitrogen and its biological availability

Wang Shu-ping^{1,2}, Zhou Guang-sheng¹, Sun Changzhan², Jiang Yimei², Jiang Yan², Liu Xiao-yi³

(1 Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Beijing 100093; 2 Jilin Agricultural University, Changchun 130118; 3 Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161)

Abstract: Based on pot experiment and isotope ¹⁵N tracer, the dynamics of soil microbial biomass nitrogen during different corn growing stages in black soil was investigated and its biological availability was discussed. The results indicated that the content of soil microbial biomass nitrogen of different treatments was different and its changes followed the similar trend during corn growing period. Corn stalk and stubble rationing application of chemical fertilizer, in comparison with single application of chemical fertilizer, would result in the increase of the rate of fertilizer ¹⁵N immobilization and decrease of the rate of release of fertilizer ¹⁵N by microbes. There existed significant correlations between soil microbial biomass nitrogen and soil total nitrogen, alkali-hydrolysable N, corn uptake N (correlation coefficient were respectively 0.727^{**} , 0.528^{*} and 0.536^{*}). Path analysis showed that the availability of soil microbial biomass nitrogen was similar to soil mineral nitrogen, above acid-hydrolyzed organic nitrogen and acid-insoluble nitrogen. The soil microbial biomass nitrogen was an available pool corn absorbing nitrogen from soil.

Key words: fertilization; soil microbial biomass nitrogen; path analysis; isotope ¹⁵N tracer

土壤微生物量氮占土壤全氮 0.5% ~ 15.3%^[1]。土壤微生物量氮对环境条件非常敏感,环境条件、施肥以及耕作、栽培等技术措施都会影响土壤微生物量氮的数量^[2~3]。土壤微生物量氮的矿化率较高^[4~6],在土壤中很快发生矿化作用而释放出有效态氮。Bonde 和 Myrold 等研究认为土壤易矿化氮主要来自土壤微生物量对氮的释放^[7,8]。

国内的一些研究也表明了土壤微生物量氮对作物的有效性^[9~10]。但也有学者持不同观点,认为土壤微生物量氮在土壤氮素供应中的作用仍需进一步进行研究^[11~13]。黑土是东北地区农田的主要土壤类型,有关黑土区土壤微生物量氮的动态及其在氮素供应中的作用报道很少。因此,我们设置了黑土玉

收稿日期:2002-06-05

基金项目:国家自然科学基金项目(30070642,30028001)和吉林省科委项目的资助。

作者简介:王淑平(1964—),女,吉林人,博士,副教授。主要从事植物营养生态学和全球变化的研究。

米盆栽实验,借助¹⁵N示踪技术研究了玉米生长期间不同施肥处理土壤微生物量氮的动态变化及其对肥料氮的固持与释放,并采用相关分析和通径分析的方法进一步分析了土壤微生物量氮与土壤氮素组分、作物吸氮量之间的关系,为黑土区肥料的合理使用及正确评价土壤微生物量氮的生物有效性提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 盆栽试验

盆栽试验是在吉林农业大学资源与环境学院温室进行的。供试土壤为黑土,pH值为6.26,土壤有机质为26.1 g/kg,全氮为1.143 g/kg,碱解氮为119 mg/kg,有效磷为19.2 mg/kg,有效钾为118.9 mg/kg。供试玉米秸秆和根茬全碳分别是423.2 g/kg和429.3 g/kg,全氮分别是7.70 g/kg和7.03 g/kg。供试玉米品种为改良本育九。试验设4个处理,分别是(1)CK(对照,不施肥);(2)NPK(施化肥,即尿素500 mg/kg土,重过磷酸钙(含P₂O₅ 46%)250 mg/kg,硫酸钾(含K₂O 50%)225 mg/kg);(3)NPK+秸秆(在处理(2)的基础上配施玉米秸秆10 g/kg土);(4)NPK+玉米根茬(在处理(2)的基础上配施玉米根茬10 g/kg土)。试验中的施肥量(包括化肥、秸秆和根茬量)均为前期试验获得的该土壤上玉米的最适施用量,装盆时一次性施入。本试验选用30 cm×25 cm搪瓷培养盆。每盆装土12 kg,N肥选用上海化工研究院研制的¹⁵N标记尿素,含N 43.9%,¹⁵N丰度为20.19%,重复12次(每次取样3次重复)。5月10日播种,9月23日收获,分别于玉米不同生育时期:苗期、拔节期、大喇叭口期和成熟期采集土壤、植株样本,供室内分析。

1.2 测定项目和方法

1.2.1 土壤全氮的测定:采用半微量凯氏法。

1.2.2 土壤有效氮的测定:加还原剂,碱解扩散法。

1.2.3 土壤矿质氮的测定:采用新鲜土样2 mol/L KCl溶液浸提,MgO-Devarda合金蒸汽蒸馏法。

1.2.4 土壤有机氮的测定:先用6 mol/L HCL水解24 h(120℃),然后采用凯氏法依次测出水解液中有有机氮各组分。

1.2.5 土壤微生物量氮的测定:采用氯仿熏蒸,0.5 mol/L硫酸钾溶液提取,凯氏法定氮^[14]。土壤微生物量氮 $B_N = 2.22E_N$ (式中 E_N 为灭菌土壤与未灭菌土壤0.5 mol/L K₂SO₄溶液提取的全氮之差)。

1.2.6 植株全氮的测定:加还原剂,硫酸、过氧化氢消煮,凯氏法定氮。

1.2.7 ¹⁵N测定:待测¹⁵N的蒸馏液浓缩后用¹⁵N质谱仪(中国农科院原子能农业应用研究所)测定。

2 结果与分析

2.1 玉米生长期间土壤微生物量氮的动态及其对肥料氮的固持与释放

2.1.1 玉米生长期间土壤微生物量氮的动态变化

土壤微生物量氮的含量是土壤微生物对氮素矿化与固持作用的综合反映。因此,凡是影响土壤氮素矿化与固持过程的因素都会影响土壤微生物量氮的含量。图1是玉米生长期间不同施肥处理土壤微生物量氮的动态变化曲线。可以看出,玉米不同生育时期土壤微生物量氮的含量明显不同。在玉米大喇叭口期有一个相对高峰,以后随着作物吸氮量的增加及外界温度的降低,土壤微生物量氮含量明显下降,所有处理均表现出一致的变化趋势。但不同处理土壤微生物量氮的含量不同。玉米植株残体的施入,为土壤微生物提供碳源和能源,增加土壤微生物数量的同时也增加了对氮的固持。因此,玉米植株残体配施化学氮肥处理土壤微生物量氮的含量高于化肥单施处理;而NPK+玉米根茬处理高于NPK+秸秆处理,这可能与玉米根茬的C/N高于玉米秸秆有关;所有施肥处理土壤微生物量氮的含量均高于对照。由此可见,土壤微生物量氮含量可能是作物、施肥、气候等因素综合作用的结果。

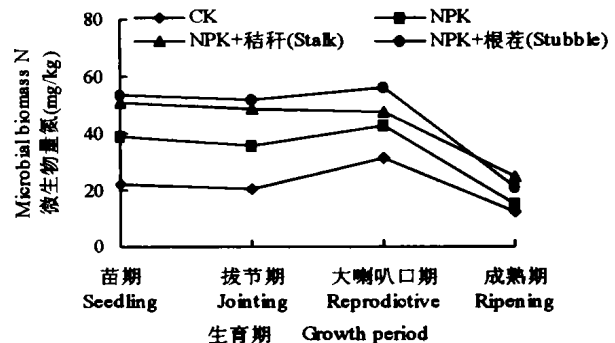


图1 玉米生长期间土壤微生物量氮的变化

Fig.1 Change of soil microbial biomass N

2.1.2 土壤微生物对肥料氮的固持与释放 肥料施入土壤后,有一部分氮素被土壤微生物固持在体内,其固定比例见表1。单施化肥处理,玉米苗期有9.54%左右的氮被土壤微生物固定;玉米根茬和秸秆的施入增加了土壤微生物对肥料氮的固定比例,其固定比例分别是11.6%和11.28%。土壤微生物固定的氮在玉米生长发育过程中,随着作物对氮素的吸收利用又被释放出来。到玉米收获时,单施化肥处理土壤微生物固持的¹⁵N有71.1%左右又被释放出来。玉米根茬和秸秆配施化肥处理的最大释放率较化肥单施相对低,分别为52.16%和56.74%。土壤微生物释放的氮虽然也有可能损失、被固定等情况的发生,但由于此时作物处于生长旺期,吸肥强

度大,所以这部分氮利用率较高。玉米成熟时仍有部分氮被土壤微生物所固持,并且玉米根茬和秸秆

的加入较化肥单施固定率高,其固定率与施入的植物残体的种类和性质有关^[15]。

表 1 玉米不同生育时期土壤微生物量氮中¹⁵N的比例(%)

Table 1 Percentage of ¹⁵N in soil microbial biomass N

处理 Treatments	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	大喇叭口期 Reproductive growth stage	成熟期 Ripening stage	最大释放率(%) Maximum releasing rate
2	9.5	8.8	8.6	2.7	71.7
3	11.3	7.9	6.2	4.9	56.7
4	11.6	8.5	10.5	5.6	52.2

2.2 土壤微生物量氮与土壤全氮、碱解氮及作物吸氮量的相关分析

土壤微生物量氮是土壤微生物体中所固定的氮素,其含量与土壤全氮、土壤碱解氮含量成极显著的正相关关系^[16-17]。本试验结果表明,玉米生长期土壤微生物量氮(Nm)与土壤全氮(Nt)含量成极显著的正相关,与土壤碱解氮(Na)及玉米吸氮量(Nc)之间均成显著正相关,相关系数及方程见表 2。

2.3 土壤微生物量氮和土壤氮素组分对作物吸氮量的通径分析

在玉米生长期,土壤中各形态氮处在不断转化和循环过程中,为了进一步说明黑土土壤微生物量氮的生物有效性,我们进行了土壤微生物量氮和土壤氮素组分对作物吸氮量的通径分析,通径系数列于表 3。

表 2 土壤微生物量氮与土壤全氮、碱解氮及玉米吸氮量的相关

Table 2 Relationships between soil microbial biomass N (Nm) and soil total N (Nt), alkali-hydrolyzable N (Na), N uptake of corn (Nc) respectively

项目 Item	相关方程 Regression equation	相关系数 r Correlation coefficient
土壤微生物量氮(Nm)与土壤全氮(Nt)	$N_t = -134.67 + 0.128N_m$	0.735* * (n=16)
土壤微生物量氮(Nm)与土壤碱解氮(Na)	$N_a = 3.165 + 0.216N_m$	0.528* (n=16)
土壤微生物量氮(Nm)与玉米吸氮量(Nc)	$N_c = 20.803 + 9.313N_m$	0.536* (n=16)

表 3 土壤微生物量氮和土壤氮组分对作物吸氮量(y)的通径系数

Table 3 Path coefficients of various forms N related to corn uptake N

项目 Item	X ₁ →Y	X ₂ →Y	X ₃ →Y	X ₄ →Y	X ₅ →Y	X ₆ →Y	X ₇ →Y
土壤微生物量氮(X ₁) Soil microbial biomass N	0.4412	0.2090	0.0002	-0.2227	0.0511	0.2002	-0.1429
土壤矿质态氮(X ₂) Soil mineral N	0.2158	0.4273	0.0002	-0.1229	0.0225	0.3883	-0.1102
土壤酸解氨态氮(X ₃) Acid-hydrolyzed ammoniac N	0.2973	0.3666	0.003	-0.1639	0.0782	0.3633	-0.1299
土壤酸解氨基糖氮(X ₄) Acid-hydrolyzed aminosugar N	0.3029	0.1618	0.0001	-0.3244	0.0859	0.1495	-0.0644
土壤酸解氨基酸氮(X ₅) Acid-hydrolyzed amino acid N	0.1049	0.0448	0.0001	-0.1297	0.2148	-0.0069	-0.0286
土壤酸解未知氮(X ₆) Acid-hydrolyzed unidentified N	-0.1342	-0.2521	-0.0002	0.0737	0.0023	-0.6581	0.1790
土壤非酸解氮(X ₇) Acid-insoluble N	0.2406	0.1797	0.0001	-0.0797	0.0234	0.4495	-0.2621

通径系数是表示各条通径对结果反应量的相对重要性大小的统计量。因此,土壤微生物量氮和土壤氮素组分对作物吸氮量的通径系数的大小是土壤微生物量氮和土壤氮素组分对作物吸氮量效应大小

的量度。从表 3 数据可以看出,土壤微生物量氮的直接通径系数(0.4412)近于土壤矿质态氮(0.4273)、高于土壤酸解有机氮各组分及土壤非酸解氮(0.0003,-0.3244,0.2148,-0.6581,-0.2621),

说明土壤微生物量氮的有效性近于土壤矿质态氮、高于土壤酸解有机氮和非酸解氮。土壤微生物量氮通过土壤氮组分的间接通径系数依次是 0.2090、0.0002、-0.2227、0.0511、0.2002 和 -0.1429,说明土壤微生物量氮对作物的有效性主要是通过土壤中矿质态氮、酸解氨态氮、酸解氨基酸态氮、酸解未知氮的正效应和酸解氨基糖氮、土壤非酸解氮的负效应来实现的。

3 讨论

土壤微生物量氮是土壤微生物躯体中所固定的氮素。土壤微生物量氮的多少决定于土壤中微生物的数量。不同的生态环境条件、不同的施肥和耕作等措施都会影响土壤微生物量氮的数量。从盆栽试验结果可以看出,在玉米生长期间,施肥并没有影响土壤微生物量氮的变化趋势,但不同施肥处理土壤微生物量氮的含量明显不同,所有施肥处理土壤微生物量均高于对照。而玉米植株残体的加入,为土壤微生物提供碳源和能源,增加土壤微生物数量的同时也增加了对氮素的固持。因此,玉米植株残体配施化肥处理土壤微生物量氮含量高于化肥单施处理,并且玉米根茬处理高于玉米秸秆处理。玉米植株残体配施化肥和化肥单施相比增加了土壤微生物对肥料¹⁵N的固持,降低了肥料¹⁵N的释放率。这与国内外其它土壤上的研究结果是一致的^[18~19]。

土壤微生物是土壤有机物质分解与合成的参与者,并通过其自身新陈代谢控制着土壤中氮素等养分的转化与循环,土壤微生物量氮是土壤氮素养分的源和库。本试验的结果表明,土壤微生物量氮与土壤全氮含量呈极显著的正相关($r=0.727^{**}$),与土壤碱解氮及玉米吸氮量之间均呈显著正相关,相关系数分别为 0.528* 和 0.536*。

土壤微生物量氮和土壤氮素组分对作物吸氮量的通径分析结果进一步表明,土壤微生物量氮的有效性近于土壤矿质态氮、高于土壤酸解有机氮和非酸解氮;土壤微生物量氮对作物的有效性是通过土壤中矿质态氮、酸解氨态氮、酸解氨基酸态氮、酸解未知氮的正效应和酸解氨基糖氮、土壤非酸解氮的负效应来实现的。有研究表明^[4],土壤微生物有机态氮组分不同于土壤,与土壤有机态氮相比,土壤微生物量氮中酸不溶态氮的比例较低,氨基酸态氮、酸解未知态氮的比例较高。由此可见,正是由于土壤微生物量氮的有机氮活性组分的比例较高,土壤微生物量氮的矿化率高于土壤氮的平均矿化率^[4],才使得

土壤微生物量氮成为作物吸收氮素的有效来源。

参考文献:

- [1] Anderson J P E, Domash K H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils [J]. *Soil Sci.*, 1980, 130: 211-216.
- [2] 李世清, 凌莉, 李生秀. 影响土壤中微生物体氮的因子 [J]. *土壤与环境*, 2000, 9 (2): 158-162.
- [3] 庞欣, 张福锁, 王敬国. 不同供氮水平对根际微生物量氮及微生物活度的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2000, 6 (4): 476-480.
- [4] Marumoto T, Anderson J P E, Domsch L H. Decomposition of ¹⁴C- and ¹⁵N-labelled microbial cells in soil [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1982, 14: 461-467.
- [5] Lthbridge G, Davidson M S. Microbial biomass as a source of nitrogen for cereal [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1983, 15: 375-376.
- [6] Zagal E, Persson J. Immobilization and remineralization of nitrate during glucose decomposition at four rates of nitrogen additions [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1994, 26: 1313-1321.
- [7] Bonde A T, Schniirer J, Rosswall T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable N in soil from long-term field experiments [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1988, 20 (4): 447-452.
- [8] Myrold D D. Relationship between microbial biomass nitrogen and nitrogen availability index [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1987, 51: 1047-1049.
- [9] 姚槐应, 何振立, 黄昌勇. 红壤微生物量氮的周转期及其研究意义 [J]. *土壤学报*, 1999, 36 (3): 387-394.
- [10] 田玉军, 林杉, 赵笃乐, 等. 长期不同施肥土壤微生物态氮作为土壤供氮指标的研究 [J]. *甘肃农业大学学报*, 1: 24-28.
- [11] 周建斌, 李生秀. 土壤微生物量氮与土壤可矿化氮的关系 [J]. *西北农业大学学报*, 1999, 27 (50): 147-151.
- [12] Paul E A, Juma N G. Mineralization and immobilization of soil nitrogen by microorganisms. In: Clark F E, Rosswall T (eds.) *Terrestrial Nitrogen Cycles* [A]. *Ecol. Bull. (Stockholm)*, 1981, 33: 179-195.
- [13] 周建斌, 陈竹君, 李生秀. 土壤微生物量氮含量、矿化特性及其供氮作用 [J]. *生态学报*, 2001, 21 (10): 1718-1725.
- [14] Sparling G P. Release of ninhydrin-reactive compounds during fumigation of soil to estimate microbial C and N [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1993, 25: 1803-1805.
- [15] 李世清, 李生秀. 有机物料在维持土壤微生物体氮库中的作用 [J]. *生态学报*, 2001, 21 (1): 136-142.
- [16] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物量碳、氮、磷的影响 [J]. *土壤学报*, 2002, 39 (1): 89-96.
- [17] 李香真, 曲秋皓. 蒙古高原草原土壤微生物量碳氮特征 [J]. *土壤学报*, 2002, 39 (1): 97-104.
- [18] 韩晓日, 郭鹏程, 陈恩风, 等. 土壤微生物对施入肥料氮的固持及其动态研究 [J]. *土壤学报*, 1998, 35 (3): 412-418.
- [19] Shen S M, Hart P B S, Powlson D S, et al. The nitrogen cycle in the broadbalk and experiment: ¹⁵N-labelled fertilizer residues in the soil and in the soil microbial biomass [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1989, 21 (4): 529-533.