

玉米秸秆对棕壤中可溶性无机氮和有机氮的影响

薛菁芳^{1,2}, 陈书强², 汪景宽¹

(1. 沈阳农业大学 土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110161; 2. 黑龙江省农业科学院 佳木斯水稻研究所, 黑龙江 佳木斯 154026)

摘要:在(30±2)℃条件下对3种不同有机肥施用量(中量、高量和不施肥)耕层土壤和土壤母质(40~60 cm)及其加入玉米秸秆的相应土壤培养100 d,研究了玉米秸秆对不同有机肥施用量棕壤水溶性无机氮和有机氮的影响。结果表明:所有处理可溶性有机碳(DOC)含量表现相同的趋势,先增加后降低而后达平稳状态,玉米秸秆对土壤DOC含量影响主要在培养初期。所有处理可溶性有机氮(DON)含量表现为随时间先增加而后下降趋势,在培养后期玉米秸秆和有机肥施用量对DON含量的影响较大。有机肥施用量和玉米秸秆相互作用对浸提液中NO₃含量在整个培养期间都有显著影响(P<0.05)。高量有机肥施用量条件下无玉米秸秆的浸提液中NO₃含量最高。加入玉米秸秆的母质土壤浸提液中NO₃含量最低。随培养试验进行有机肥高施用量的土壤DOC/DON值变宽,有玉米秸秆加入的土壤相对于原土DOC/DON值变窄。加入玉米秸秆后,水浸提液中NO₃-N占总可溶氮的比例显著降低,水浸提的DON占总可溶氮的比例增加。DON比例表现为随土壤肥力增加而降低。有机肥中高施用量土壤DON与DIN呈极显著负相关,有玉米秸秆加入的土壤相对于原土相关系数降低。在中高量有机肥土壤上DON比DOC优先分解,DON易矿化部分可能主要为氨基酸N,NO₃含量增加。玉米秸秆的加入后土壤水溶有机质C/N变窄和相关系数降低表明有机物料影响水溶性有机质的分解速率。

关键词:玉米秸秆;水溶性无机N;水溶性有机N

中图分类号:S158.3

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2011)04-0041-05

溶解有机质(DOM)在土壤的碳氮磷的生物地球化学作用中起着非常重要的作用^[1]。它影响着土壤中成土作用、固定作用和污染物质的转化^[2]。尽管土壤中的DOM库占土壤有机碳库的比例仅为0.04%~0.22%^[3],但却代表着土壤中最活跃的部分。因此DOM可以作为影响碳、氮循环过程的有用指标。通常,DOM是通过分析土壤中溶解性有机碳(DOC)来定量的,但对DOM中氮组分即可溶性有机氮(DON)研究较少。为了充分理解可溶性有机碳的动态,对可溶性有机氮的研究也是非常有用的。

我国东北地区表层有机碳库较大,而这个地区对全球变化十分敏感。棕壤是东北地区主要的耕作土壤,向棕壤中增施有机肥料的研究很多,但主要集中于有机肥料对有机质和养分含量、腐殖质组成和结合形态、土壤微生物活性、土壤物理性

质、土壤有机质周转与平衡、有机无机复合状况及复合体性质、微团聚体组成、胡敏酸和富里酸结构性质的影响方面,而施有机物料后土壤中可溶性有机氮变化的研究还鲜见报道。为此,利用在3种不同有机肥施用量的棕壤上获得的玉米秸秆,将其在相应的土壤上归还,研究了施用玉米秸秆对不同有机肥施用量土壤中可溶性无机氮和有机氮在土壤中动态变化的影响,为增施有机肥以提高土壤质量,促进农业的持续发展和气候变化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品

试验所用土壤均采自辽宁省棕壤长期定位试验站的玉米试验田,至少连续种植18 a。在田间取上部耕层20 cm,土样风干过2 mm筛,去除根系和较大的植物碎片,进一步拣出>2 mm的有机质。有机肥的施用量分别为:不施肥CK,中量有机肥M2(含氮135 kg·hm⁻²),高量有机肥M4(含氮270 kg·hm⁻²)。不施肥土壤全土有机碳和全氮分别为9.80和1.03 mg·g⁻¹;中量有机肥土壤全土有机碳和全氮分别为11.36和1.07 mg·g⁻¹。高量有机肥土壤全土有机碳和全

收稿日期:2011-01-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40571089)

第一作者简介:薛菁芳(1978-),女,黑龙江省大庆市人,博士,助理研究员,从事土壤肥力方面研究。E-mail: xuejingfang147@163.com。

通讯作者:汪景宽(1963-),男,满族人,博士,教授,从事土壤肥力方面研究。E-mail: jkwang@syau.edu.cn。

氮分别为 11.83 和 1.31 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

1.2 培养试验

盆栽试验在沈阳农业大学免疫室温室进行。在 3 种不同有机肥施用量的土壤上栽种玉米。玉米栽培品种为丹玉 35。每盆装土 9 kg, 随机排列, 6 次重复。在孕穗期收获秸秆。在 105℃ 杀青 30 min, 在 75℃ 温度下烘干至恒重。分别称干物质重, 粉碎备用。

新取 4 个处理土壤(母质土壤 MZ、不施肥土壤 CK、中量有机肥土壤 M2、高量有机肥土壤 M4)。其中下层土壤归还的有机物料与高量有机肥土壤 M4 归还的有机物料相同, 其余处理均归还相应肥力水平土壤上收获的有机物料。每个处理重复 2 次。同时每个处理作空白对照, 重复 2 次。每盆装土 1.5 kg。玉米秸秆用量为 2%。粉碎过 40 目土壤筛, 与过 2 mm 筛的土壤混匀后将含水量调至 60% 田间持水量, 用可透气塑料薄膜封口, 放入培养箱中, 在 $(30\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 恒温条件下培养 100 d, 培养过程中损失的水分通过称重法给予补充。

1.3 测定项目及方法

水溶性有机碳、有机氮(DOC、DON): 称取 25 g 新鲜土样, 加入 50 mL 蒸馏水, 于室温下振荡 30 min, $4\ 500\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$, 离心 10 min, 上清液过 0.45 μm 的滤膜, 滤液中的有机碳用 TOC 测定。滤液用连续流动分析仪(AA-3, Brawn Lubby, 德国)测出无机氮的含量, 然后吸取滤液 5 mL, 加入等体积 3% ($0.15\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\ \text{NaOH}$) 碱性过硫酸钾氧化剂, 试管加塞, 用胶带密封, 摇匀后在 100℃ 水浴中加热 1 h, 取出冷却后, 再上流动分析仪测定溶液中的水溶性无机氮(DIN)含量。差减获得 DON 含量。

1.4 数据分析

采用 Excel2003, SPSSV11.5 对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 水溶性 DOC、DON 和 DIN 变化

从图 1a 中可以看出所有处理 DOC 含量基本表现相同的趋势, 先增加后降低而后达平稳状态或略有增加。除加秸秆的高量有机肥处理 DOC 含量在第 14 天达最高值外, 其余处理 DOC 含量均在第 7 天达最高值。加秸秆处理与不加秸秆处理比较前期个别时期 DOC 含量存在差异, 而在后期 DOC 含量没有差异(见表 1)。

从图 1b 中可以看出, 所有处理基本而随时间先增加而后下降, 并且降低的幅度随有机肥施用量增加略有差异。不加秸秆的所有处理 DON 含量均在第 7 天达最高值, 加秸秆的处理除母质外其它 3 种处理 DON 含量最高值均拖后在第 14 天出现。加秸秆的处理母质土壤和不施肥土壤 DON 含量后期较平稳, 中量有机肥尤其是高量有机肥土壤 DON 含量后期仍显著下降。加秸秆的处理与不加秸秆的处理 DON 含量在后期存在显著差异(见表 1)。

从图 1c 中可以看出, 所有处理的 NO_3 含量均随培养时间增加而增加, 后期 NO_3 含量增加较高。加玉米秸秆的所有处理 NO_3 含量各个时期均显著低于不加玉米秸秆的处理。不加玉米秸秆处理土壤的 NO_3 含量均表现在各个时期有机肥施用量上存在显著差异, 随有机肥施用量增加 NO_3 含量显著增加。加玉米秸秆的处理在各个时期有机肥施用量上差异显著性不同(见表 1), 在同一时期随有机肥施用量增加前期 NO_3 含量降

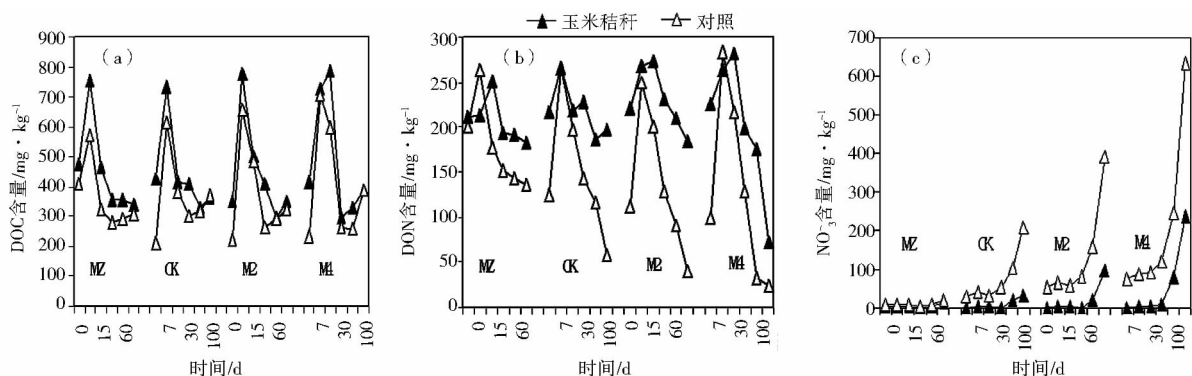


图 1 在培养 100 d 过程中有秸秆加入和无秸秆加入的 4 种不同肥力水平棕壤水浸提液中可溶性有机碳(a)、可溶性有机氮(b)和 NO_3 含量(c)比较

表 1 不同处理对 DOC、DON 和 NO₃ 产生的影响

培养时间 /d	DOC				DON				NO ₃			
	MZ	CK	M2	M4	MZ	CK	M2	M4	MZ	CK	M2	M4
0	a,a,A	b,a,B	a,a,B	b,a,B	b,a,A	b,a,B	b,a,BC	b,a,C	b,a,D	b,a,C	b,a,B	b,a,A
7	b,a,C	b,a,BC	b,a,AB	a,a,A	a,b,A	a,a,A	b,a,A	a,a,A	b,a,D	b,a,C	b,a,B	b,a,A
15	b,a,B	a,a,AB	a,a,AB	a,a,A	b,a,A	a,a,A	b,a,A	a,a,A	b,a,D	b,a,C	b,a,B	b,a,A
30	a,a,A	b,a,A	b,a,A	a,a,A	a,aA	b,a,A	b,a,A	b,a,A	b,a,D	b,a,C	b,a,B	b,a,A
60	a,a,A	a,a,A	a,a,A	b,a,A	b,a,A	b,a,AB	b,a,B	b,a,C	b,a,D	b,a,C	b,a,B	b,a,A
100	a,a,C	a,a,AB	a,a,BC	a,a,A	b,a,A	b,a,B	b,a,C	b,a,D	b,a,D	b,a,C	b,a,B	b,a,A

注:有机肥施用量和培养时间内的不同大小写字母表明处理间在 P=0.05 水平存在显著差异。第一个位置的小写字母为对照处理,第二个位置的小写字母为加秸秆处理,第三个位置的大写字母为有机肥施用量。如培养 100 d 的中量有机肥 DON 含量,加秸秆与对照存在显著差异,与其它有机肥施用量比较存在显著差异。

低,后期 NO₃ 含量增加。

2.2 水溶性 DOC/水溶性 DON 的变化

从表 2 中可以看出,随着培养过程的进行,不同肥力土壤的水浸提有机质 C/N 发生了变化。

表 2 培养前后不同肥力土壤水溶性 DOC/水溶性 DON 的变化

处理	初始 C:N	最后 C:N	处理	初始 C:N	最后 C:N
MZ	2.06a	2.25b	CS+MZ	2.23a	1.87b
CK	1.67a	6.40b	CS+CK	1.96a	1.85a
M2	1.96a	8.20b	CS+M2	1.59a	1.90a
M4	2.32a	16.18b	CS+M4	1.84a	5.40b

培养结束后原土浸提液中 DOC/DON 的值均变宽,中量和高量有机肥土壤的 DOC/DON 值较宽。加入秸秆后,不同土壤浸提液的 DOC/DON 值变化不同。加秸秆的深层土壤和不施肥土壤的 DOC/DON 值变窄,而中量和高量有机肥土壤的 DOC/DON 值变宽,且以高量有机肥土壤的

DOC/DON 比值较宽。

2.3 土壤浸提液中氮形态的含量和组成

秸秆中大量有机碳(C)的介入,使土壤氮矿化-固持过程的强度和时间发生重大变化,从而影响土壤无机氮的动态变化,对土壤可溶氮中氮组分的含量和组成产生了显著影响。NH₄⁺ 占总可溶氮比例非常低,平均为 0.2% 左右。NO₃ 占总可溶氮比例平均为 19.3%。DON 占总可溶氮比例平均为 80.5%。从表 3 可以看出 4 种不同肥力原土 NO₃ 含量在土壤水浸提总可溶性氮中所占比例不同,随肥力水平增加呈现增加趋势, DON 占总可溶氮比例随肥力水平呈现明显的降低趋势。在加入秸秆后,NH₄⁺ 占总可溶氮比例基本没有变化,NO₃ 占总可溶氮比例显著降低,对总可溶氮贡献减少,DON 占总可溶氮比例增加,在 4 种处理中仍表现与原土相同的变化规律。

表 3 土壤水浸提液中不同氮组分占总可溶氮的比例

处理	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ -N	DON	处理	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ -N
MZ	0.3	4.7	95.0	CS+MZ	0.2	2.2
CK	0.2	33.3	66.5	CS+CK	0.1	4.8
M2	0.2	51.2	48.6	CS+M2	0.3	8.1
M4	0.2	61.5	38.3	CS+M4	0.2	21.4
平均	0.2	37.7	62.1	平均	0.2	9.1

2.4 DIN 与 DON 相关分析

从表 4 中可以看出,4 原土不同处理水浸提液中 DIN 与 DON 之间呈现负相关,且不施肥和

表 4 土壤水浸提液中 DIN 与 DON 相关分析

处理	相关系数	处理	相关系数
MZ	-0.37	CS+MZ	-0.17
CK	-0.70**	CS+CK	-0.55*
M2	-0.89**	CS+M2	-0.60**
M4	-0.95**	CS+M4	-0.92**

中高量有机肥土壤的水浸提液中 DIN 与 DON 呈现极显著的负相关。加入秸秆的处理,不施肥和中高量有机肥土壤呈现显著或极显著的负相关。原土和加秸秆的土壤水浸提液中 DIN 与 DON 负相关系数均随肥力水平增加而升高。其中以高量有机肥及相应的加秸秆处理负相关系数最高。

3 结论与讨论

从图 1 可以看出初始时水溶性 DON 以母质最高,CK 土壤居中,M2 和 M4 相差不多且最低。

初始时不同处理土壤水溶性 DON 含量上的差异可能与采集土样的时期有关,培养取土的时间是在 4 月份,土壤耕层中的水溶性 DON 可能在一定程度上淋溶到了下层。也可能由于高肥力土壤含有较多的有机质,占据了土壤矿物质更多的活性部位,降低了对水溶性有机质的吸着,使更多的水溶性有机质淋溶,从而高肥力土壤中水溶性 DON 含量较少。培养第 7 天时出现最高值可能是由于土壤重新湿润后微生物体的作用^[4],同时由干燥而使水溶性有机质解析所引起的物质的变化也可能进行部分解释。研究表明对耕地土壤^[5]和森林土壤^[6]的干土样重新湿润后均观察到了矿质氮和可浸提 DON 含量的显著增加。在培养后期由于母质土壤中微生物相对较少,水溶性 DON 含量与其它处理比较起来相对降低较少,而其它处理降低非常明显。

一些研究认为随不同作物残茬的加入土壤水浸提的 DON 含量在 $-1 \sim 6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 变化^[7]。有研究表明只有较高 C/N 的作物残茬加入时才可能出现负值,负值主要归因于微生物的固定。Asmar 等^[8]发现在添加外源 C(葡萄糖)培养试验中,可溶性总氮减少与微生物氮增加这一现象同时发生,同时氮有效性的增加提高了培养试验后期 DON 的释放。这些不同的反映可以用 2 种不同的机制解释:加碳源的处理由于微生物对氮的高度需求可能降低了 DON 的含量,一方面从土壤有机质氮库中进行直接氮固定,或者是从 DOM 中有选择性地吸收了有效的氮化合物。Neff 等^[9]人也发现了在磷贫乏的地点可溶性有机磷的减少,从而证实了养分控制机制。对加氮处理的 DON 含量的增加可能是由于氮引起了有机质不完全分解产生了很多的水溶性含氮化合物^[10-11]。

有研究表明土壤浸提液中有机氮相对于有机碳有较高的稳定性^[12]。如果这种结论正确的话,该试验培养后原土浸提液 C/N 变宽就可以得到非常好的解释,尤其是中高量有机肥土壤浸提液显著变宽。如果富碳的物质(碳水化合物)优先分解的,那么水溶性有机质的 C/N 应当变窄,而 C/N 变宽可能是富氮的化合物优先分解,水溶性有机质中贫氮的化合物相对增加。相对于不施有机肥的土壤来说,施有机肥土壤中可溶氮化物应当更能抵制生物的降解,那么不施肥土壤水溶性有机质的 C/N 应当高于有机肥土壤,而试验中不施

肥土壤的 C/N 低于有机肥土壤。同时加入玉米秸秆后水溶性有机质的 C/N 又显著变窄。这可能是由于原位土壤溶解有机质的化学行为与土壤浸提液的 DOM 生物降解之间存在着不同,在实际的田间条件下,可溶性有机质可能被粘粒吸附或是与作物来源的有机质和正在分解的有机质配位,因此改变了溶解性有机质的分解速率。同时土壤浸提的过程和土壤的有机质含量也影响了可溶性有机质 C/N 的变化^[12]。

土壤原土水浸提的有机氮与浸提液中的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量呈极显著负相关,可能表明水浸提的无机氮库的增大来源于水浸提中有机氮活性部分的微生物的分解,因为土壤有机物的分解会导致有机化合物的产生,这些化合物可溶但不会被微生物进一步降解^[13],可能仅有一部分 DON 会被矿化,氮的矿化与 DON 的活性部分密切联系,一些研究表明^[14]可溶性氨基氮库大小的减少恰好与 SMB 和 N 矿化增加量相当,氨基-N 与净氮矿化之间显著相关^[15]。有研究表明施用猪粪以后显著增加了氨基酸的含量,明显促进了氨基酸氮的相对积累,并且认为与猪粪的施用量有关^[16]。该试验中高有机肥土壤为常年施用猪粪,因而可以认为这 2 个处理水浸提的 DON 中与净氮矿化相关的活性部分主要为氨基酸氮。

参考文献:

- [1] Kalbitz, K., Sollinger, S., Park, J. H., et al. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review[J]. Soil Science, 2000, 165: 277-304.
- [2] Marschner B. Sorption von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen(PAK) und polychlorierten Biphenylen in Boden[J]. Journal of Plant and Nutrition Soil Science, 1999, 162: 1-14.
- [3] Zsolnay A. Dissolved humus in soil waters[M]//Piccolo A. Humic Substances in Terrestrial Ecosystems. New York: Elsevier, 1996: 171-223.
- [4] Sparling G P, Ross D J. Microbial contributions to the increased nitrogen mineralization after air-drying of soils[J]. Plant and Soil, 1988, 105: 163-167.
- [5] Appel T. Non-biomass soil organic N-the substrate for N mineralization flushes following soil drying-rewetting and for organic N rendered CaCl_2 -extractable upon soil drying[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1998, 30: 1445-1456.
- [6] Williams B L. Nitrogen dynamics in humus and soil beneath Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) planted in pure stands and in mixture with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) [J]. Plant and Soil, 1992, 144: 77-84.
- [7] Murphy D V, Macdonald A J, Stockdale E A, et al. Soluble organic nitrogen in agricultural soil[J]. Biol. Fertil. Soils,

- 2000,30:374-387.
- [8] Asmar F, Eiland F, Nielsen N E. Effect of extracellular-enzyme activities on solubilization rate of soil organic nitrogen[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1994, 17: 32-38.
- [9] Neff J C, Hobbie S E, Vitousek P M. Nutrient and mineralogical control on dissolved organic C, N and P fluxes and stoichiometry in Hawaiian soils[J]. *Biogeochemistry*, 2000, 51: 283-302.
- [10] Fog K. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter[J]. *Biological Reviews*, 1988, 63: 433-462.
- [11] Zech W, Guggenberger G, Schulten H R. Budgets and chemistry of dissolved organic carbon in forest soils: effects of anthropogenic soil acidification[J]. *The Science of the Total Environment*, 1994, 152: 49-62.
- [12] Gregorich E G, Beare M H, Stoklas U, et al. Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils[J]. *Geoderma*, 2003, 113: 237-252.
- [13] Smolander A, Veikko Kitunen, Outi Pnha, et al. Nitrogen transformations in limed and nitrogen fertilized soil in Norway spruce stands[J]. *Plant Soil*, 1995, 172: 107-115.
- [14] Deluca T H, Keeney D R. Soluble carbon and nitrogen pools of prairie and cultivated soils: seasonal variation[J]. *Soil Sci. Soc Am*, 1994, 58: 835-840.
- [15] Mengel K, Schneider B, Kosegarten J. Nitrogen compounds extracted by electrodialysis (EUF) or CaCl_2 solution and their relationships to nitrogen mineralization in soils[J]. *Plant Nutr Soil Sci*, 1999, 162: 139-148.
- [16] 张旭东, 须相成, 陈恩凤. 施用猪粪培肥土壤后土壤氨基酸含量的变化[M]//张继宏, 颜丽, 窦森. 农业持续发展的土壤培肥研究. 沈阳: 东北大学出版社, 1995: 159-163.

Effect of Maize Residues on Dissolved Organic Nitrogen and Dissolved Inorganic Nitrogen in Brown Earth

XUE Jing-fang^{1,2}, CHEN Shu-qiang², WANG Jing-kuan¹

(1. Soil and Environment College of Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161; 2. Jiamusi Rice Research Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi, Heilongjiang 154026)

Abstract: The effect of maize residues on water extracted dissolved inorganic and organic nitrogen in Brown earth with different amount of manure application was studied over the period of 100 d at $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$. The experiment was composed of different types of treatments: four fertilization level soil and addition of corn straw. Water extractable dissolved organic carbon (DOC) displayed the same trend with time in all treatments that soil DOC content increased immediately and returned rapidly to background level. DOC showed a little response to maize straw amendment at initial stages of incubation. Water extractable dissolved organic nitrogen (DON) displayed the same trend with time in all treatments that soil DON content increased significantly and decreased. DON showed great response to maize straw amendment and manure amounts at the end of incubation. Manure application amounts and the presence of maize straw interacted to have a significant effect on the concentration of NO_3^- in extracts. Highest concentration was observed in extract of high fertilization soil without corn straw, whereas lowest concentration was observed in extract of subsoil with corn straw. The C:N ratios of the extracts widened in manuring treatments as the incubation progressed, indicating that the soluble organic matter was rich in labile organic N. Maize straw amendments made DOC/DON ratios relatively narrow. After application of organic material, the ratios of NO_3^- to total dissolved nitrogen (TDN) decreased distinctively, and DON made a greater contribution to TDN. The ratios of DON to TDN decreased with application amount increase of manure. DON had remarkably negative correlation with DIN in medium and high fertilization soil. Maize straw amendments made coefficient relatively decrease. These results suggested that DON was decomposed preferentially in medium and high fertilization soil. Readily mineralizable N of DON was dominantly amino acid-N maize straw amendment affect the rate at which it was decomposed.

Key words: maize straw; dissolved inorganic nitrogen; dissolved organic nitrogen