

尿素配施有机物料时土壤不同氮素形态的动态及利用

巨晓棠^{1,2*} 刘学军^{1,2} 张福锁¹

(1 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

(2 中国科学院沈阳应用生态研究所陆地生态过程开放实验室, 沈阳 110015)

摘要 用盆栽试验研究了尿素配施有机物料时土壤不同氮素形态的动态和利用特征。结果表明: 尿素与 C/N 比高的小麦秸秆配施时, 降低了作物吸氮量; 与 C/N 比低的鸡粪配施时, 增加了作物的吸氮量。但尿素单施, 尿素与小麦秸秆配施, 与鸡粪配施的生物量并没有显著的差异。尿素的水解和硝化在 14 d 以前完成。与单施尿素相比, 尿素配施秸秆降低了土壤中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的含量, 而配施鸡粪增加了它们的内容, 这与作物吸氮量的变化是一致的。土壤中微生物氮也参与了对作物的供氮过程。作物对“老固定态铵”的利用能力很弱, 施肥会显著的增加土壤固定态铵的含量, 这些“新固定态铵”在作物生长期能被吸收利用。几种处理氮肥利用率顺序为: 尿素 > 尿素与鸡粪配施 > 尿素与秸秆配施。

关键词 尿素; 有机物料; $\text{NH}_4\text{-N}$; $\text{NO}_3\text{-N}$; 固定态铵

中图分类号 S143.1

Dynamics of Various Nitrogen Forms in Soil and Nitrogen Utilization Under Application Urea and Different Organic Materials

Ju Xiaotang^{1,2} Liu Xuejun^{1,2} Zhang Fusuo¹

(1 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

(2 Laboratory of Terrestrial Ecological Process, Institute of Applied Ecology, CAS, Shenyang 110015, China)

Abstract The dynamics of various nitrogen forms in soil and characteristics of nitrogen utilization under application of urea and different organic materials were studied with pot experiment. The results showed that crop nitrogen uptake decreased when urea (U) applied with high C/N ratio of wheat straw (WS) and increased when urea applied with low C/N ratio of poultry manure (PM). There were no significant difference in crop biomass among U, U + WS, U + PM treatments. Urea hydrolysis and nitrification completed within 14 days. Compared with U treatment, the application of high C/N ratio of wheat straw significantly decreased amount of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ in soil while the application of low C/N ratio of poultry manure increased their content, which were consistent with crop nitrogen uptake. Soil microbial biomass-N also involved in nitrogen supply to crop. The utilization of earlier fixed NH_4^+ by crop was weak. Soil fixed NH_4^+ was increased after application of nitrogen fertilizers, and this kind of fixed NH_4^+ could be uptake by crop during growth period. The order of nitrogen recovery rate by crop was: U > U + PM > U + WS.

Key words urea; organic materials; $\text{NH}_4\text{-N}$; $\text{NO}_3\text{-N}$; soil fixed NH_4^+

收稿日期: 2001-09-18

* 巨晓棠, 博士, 副教授, 研究方向为土壤氮素转化及去向。北京圆明园西路 2 号

尿素与秸秆和有机肥配合施用是生产上经常采用的措施,不同肥料配施对作物生长的影响以及肥料在土壤中的行为是评价氮肥利用及损失的关键问题。尽管国内外对尿素配施有机物料条件下不同氮素形态的动态和去向已进行了大量研究^[1,2],但由于氮素转化的各个过程是相互联系的,氮肥施入土壤后,与原有的土壤氮库发生着复杂的生物化学过程,对各个土壤氮库的动态进行系统的研究对理解氮素行为具有重要的意义。本研究利用盆栽试验,研究尿素配施有机物料条件下小麦苗期对氮素的利用和土壤不同形态氮素的动态,为理解有机无机氮肥在土壤中的行为提供参考。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

试验土壤采自中国农业大学科学园试验地,壤质草甸褐土,容重 $1.32 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, pH (H₂O) 8.2, 有机质 $26.7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 全氮 $1.43 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 有效磷 P $41.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效钾 K $95.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验方法

试验设 4 个处理,以磷酸二氢钙和硫酸钾作肥底,土壤中施用量分别为 P₂O₅ $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 K₂O $150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,具体处理如下:

- 1) CK, 不施氮肥。
- 2) U, 按 N $150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 施入尿素。
- 3) U + WS, 施入 N $150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的尿素和 $5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的小麦秸秆,小麦秸秆含氮量为 0.37%, 碳氮比为 110。
- 4) U + PM, 施入 N $150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的尿素和 $5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的风干鸡粪,鸡粪含氮量为 2.81%, 碳氮比为 4。

采用直径 8 cm 高为 10 cm 的培养钵作试验用盆,每盆装过 2 mm 筛的风干土 250 g。先将肥料与土壤混匀,分 2 次装盆,开始在盆中装风干土 235 g 左右,加水 50 mL 使土壤湿润,均匀播种 20 粒催芽小麦(农大 518)种子,播种后在上面撒上 15 g 的风干土。将播种后的培养钵随机放在温室中进行培养,用重量法控制土壤水分在田间持水量的 70% 左右,1 周后每盆匀至 12 株苗。生育期中进行 6 次动态取样(施肥后 2, 4, 7, 14, 21, 28 d),重复 3 次。

每次取样时把植株根系与土壤分离,冲洗后分成地上部和根系 2 部分烘干、称重、记录生物量、测定含氮量;土壤立即揉碎,用新鲜土样测定 NO₃-N、NH₄-N 和微生物氮的含量;其余样品迅速风干,用于测定土壤固定态铵。

1.3 测定方法

1) 土壤 NO₃-N、NH₄-N 的测定 称取 12.00 g 的新鲜土样于 250 mL 的塑料瓶中,加入 50 mL $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 KCl 溶液,振荡 1 h,过滤,滤液冷冻保存,随后采用连续流动分析仪法 (TRACCS-2000 Continuous Flow Analysis, CFA) 测定滤液中铵态氮 (NH₄-N)、硝态氮 (NO₃-N) 含量。

- 2) 微生物氮的测定 氯仿熏蒸- $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ K₂SO₄ 浸提^[3]。
- 3) 土壤固定态铵的测定 采用 Silva-Bremner 法^[4]。
- 4) 土壤、植物全氮 采用开氏法。

2 结果与分析

2.1 尿素配施有机物料对小麦苗期生物量及吸氮量的影响

生长期从第7天开始,将地上部和根系分开测定生物量和含氮量,计算小麦吸氮量(图1)。U、U+WS、U+PM处理的生物量没有显著的差异,但3者在14d后均高于CK处理,说明14d后土壤供氮已不能满足作物生长需要,不施肥处理造成生物量的显著下降。从吸氮量曲线可以看出,14d以前,各施肥处理的吸氮量只与对照有显著差异,施肥处理之间没有显著差异。14d以后,CK处理的小麦吸氮量不再增加,与U处理相比,U+WS处理的吸氮量14d后增加缓慢,可见,加入碳氮比高的小麦秸秆的短期效应是使一部分有效氮固定,发生与作物争氮的现象。在生产中,施入碳氮比高的秸秆需适当增加氮肥的投入量,否则,会影响作物的前期生长。U和U+PM处理的吸氮量随时间迅速增加,U+PM增加更多,这种含氮量高的鸡粪对作物的供氮很强。在生产上,施入粪肥需适当降低氮肥施用量,否则,有可能产生过量施氮的问题。

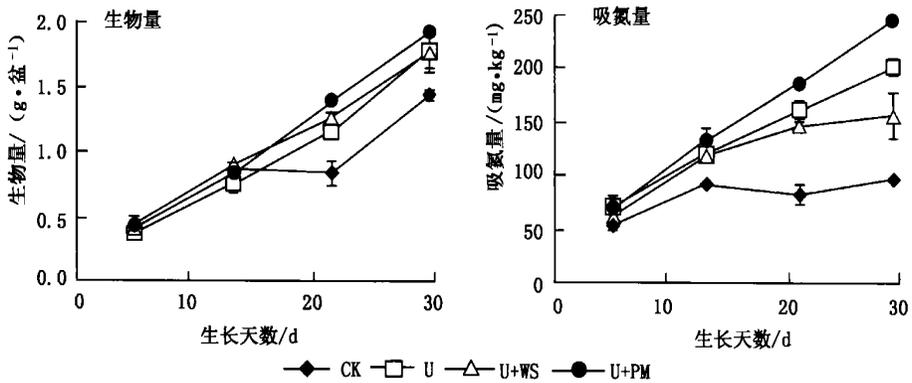


图1 不同施肥处理小麦的生物量和吸氮量

施肥处理在没有影响到生物量的情况下,首先对吸氮量产生显著影响,其主要原因是影响了植株的含氮量。因此,含氮量在反映植株氮水平方面更加敏感。

2.2 尿素配施有机物料时土壤 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的动态

CK处理的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 始终很低(图2),U和U+WS处理的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 在14d后降低到CK水平。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的降低一方面是由于作物吸收;另一方面是由于硝化作用。本试验条件下,尿素水解和硝化作用在14d前完成。U+WS处理的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 低于U处理,也是由于秸秆对氮素固定造成的。U+PM处理的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 始终较其他处理高,14d后依然有一定量的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 存在,说明有机肥的分解过程继续进行,至28d $\text{NH}_4\text{-N}$ 达到对照水平。

随着作物的生长,各处理的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量均降低,CK处理在14d接近于0,与作物在14d以后吸氮不再增加是一致的。施肥处理的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 在4~7d达到高峰,说明硝化作用在7d前较强烈。U+WS处理至21d达到对照水平,与21d后该处理作物吸氮增加很少也是一致的。U和U+PM处理的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 在28d后达到对照水平(图4)。U+WS处理的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 低于U处理,是由于秸秆对氮素固定造成的。U+PM处理的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 较其他处理的高,且 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的持续供应与吸氮量的增加是一致的。土壤中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的动态变化反映了不同时间土壤有效氮的状况。

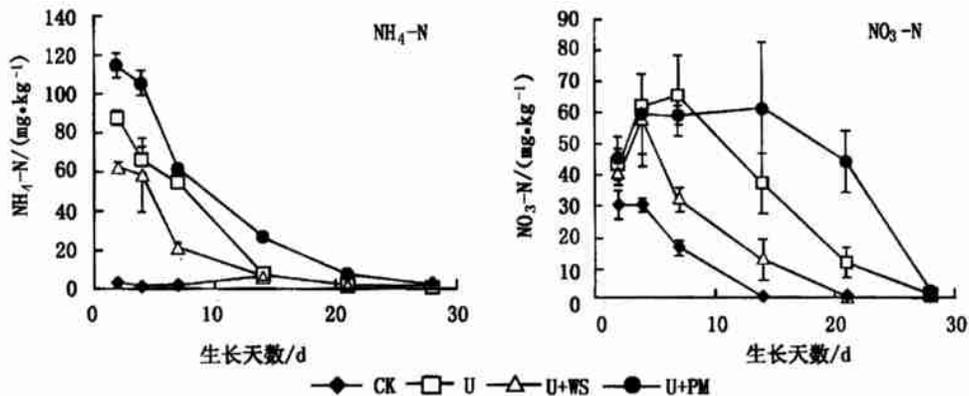


图 2 土壤 NH₄-N 和 NO₃-N 的动态变化

2.3 土壤微生物氮的动态

处理之间微生物氮呈现不规则的变化。CK 处理的微生物氮开始下降, 随后逐渐上升到原来的水平, 可能是由于在没有施肥的条件下, 前期生长消耗了微生物氮, 后期根系活动又有利于微生物的培育(图 3)。U 处理的微生物氮在生长过程中呈下降趋势,U + W S 处理略有上升, 说明该处理微生物活动在逐渐加强。U + PM 处理的微生物氮呈现先升高后降低的趋势, 该处理由于加入的有机肥本身含有微生物, 所以前期微生物氮的升高可能主要来自于有机肥, 随后由于作物的吸收, 微生物氮迅速下降, 最终降低到与 U 同一水平, 与前面讨论的这 2 个处理在后期吸氮量依然增加是一致的。

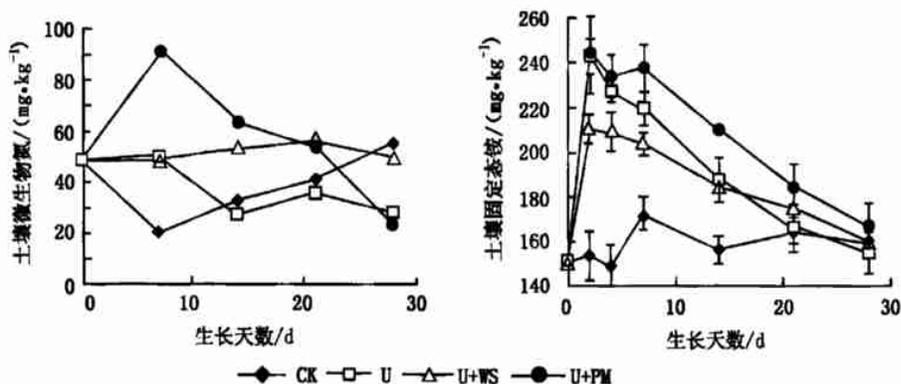


图 3 土壤微生物氮和固定态氮的动态变化

2.4 土壤固定态氮的动态

CK 的固定态氮在整个生长期变化不大(图 3), 播种前后土壤固定态氮并没有显著的差异(表 1), 说明作物首先利用土壤中的 NH₄-N 和 NO₃-N 而对“老固定氮”的利用能力很弱。施肥会显著增加土壤固定态氮的含量, 称为“新固定氮”, 从试验结果看, 这些“新固定氮”在作物生长期间能够被吸收, 至 28 d 各施肥处理降低到对照水平。3 种施肥处理的变化趋势相同, 但土壤固定态氮含量有所差异, 其顺序为: U + PM > U > U + W S。统计检验表明, 土壤固定态氮在播前和收获后并没有显著差异(表 1)。肥料氮在施肥初期进入固定态氮库, 避免了以氨挥发的形式损失, 后期又能被作物吸收, 说明本研究所选土壤对氮的固定与释放具有“保氮调节”机制。

2.5 肥料氮的利用及损失

利用氮素平衡法计算的全生长期肥料氮的利用与损失如表2。经过28 d作物的生长,各处理残留的 N_{min} 数量很低。CK土壤的净矿化量为 $N\ 72.6\ mg\cdot kg^{-1}$,折合 $N\ 163.4\ kg\cdot km^{-2}$ 。在这种根系密集分布的

盆栽试验中,土壤氮素的矿化量是相当大的。表观氮肥利用率的顺序 $U > U + PM > U + WS$,损失和固定率顺序 $U + WS > U + PM > U$ 。尿素与秸秆配施的短期效应可能是增加了氮素的固定而降低了氮肥利用率,但长期效应不一定是这样。尿素与鸡粪配施氮肥利用率降低的原因可能是施氮量部分包括了有机肥的含氮量,有机肥中的氮素比化肥中氮素的利用程度低造成的。也可能是由于过量供氮,损失率增加引起。

表1 播种前和收获后土壤固定态铵的变化(N) $mg\cdot kg^{-1}$

处 理	播种前	收获后	收获后—播种前
CK	150.9 a	159.7 a	8.5
U	150.9 a	155.9 a	5.0
U + WS	150.9 a	160.2 a	9.3
U + PM	150.9 a	167.3 a	16.4

表2 肥料氮的利用及损失

(N) $mg\cdot kg^{-1}$

处理	施氮量	播种前 N_{min}	收获后 N_{min}	吸氮量	净矿化	表观氮肥利用 /%	损失与固定率 /%
CK	0	27.2	6.2	93.6	72.6		
U	150	27.2	5.2	198.5		70.0	30.7
U + WS	168	27.2	3.0	153.2		35.5	64.5
U + PM	290	27.2	9.6	242.1		51.2	48.8

生育期的净矿化量= 对照区作物吸氮+ 对照区土壤残留 N_{min} - 对照区土壤起始 N_{min}

表观氮肥利用率= $\frac{\text{施氮区作物吸氮量} - \text{对照区作物吸氮量}}{\text{施氮量}} \times 100\%$

氮肥的表观损失与固定率= $(100 - \text{表观氮肥利用率}) \times 100\%$

3 讨 论

土壤中加入高C/N比作物秸秆和低C/N比的有机肥后,与土壤原有的C库和N库发生着复杂的生物化学和物理化学过程。这些过程会极大地改变土壤中的C、N循环,对土壤中 NH_4-N 、 NO_3-N 、微生物氮、固定态铵氮、有机结合态氮从暂时到长远都会产生深刻的影响。朱兆良等总结了这方面的研究后指出^[5],尿素与有机物料配合施用,有机肥和化学氮肥在土壤中的矿化和生物固持状况,决定了配合施用肥料氮的总的供应特点和去向。不同的有机肥料,其分解的能源物质和有机氮的含量不同,当与化肥配合施用,肥料氮的总的供应特点和去向各不相同;同一有机肥料和化学氮肥配合施用,肥料氮的总的供应特点和去向,又因二者配合比例的不同而异。本研究探讨在一般化学氮肥用量、秸秆用量和有机肥用量的条件下,氮素的供应特点和去向。重点探讨了土壤各个氮库的动态变化,对理解有机无机配合施用条件下土壤氮素的行为具有一定的参考价值。

参 考 文 献

- 1 李光锐,郭毓德,陈培森. 尿素在石灰性土壤中的移动、分解和转化的初步探讨. 中国农业科学, 1985, (1): 73~ 76
- 2 王秀君,罗盛国. 尿素肥效的影响因素及其施肥技术. 土壤学进展, 1995, (1): 21~ 26
- 3 Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. Soil Biol Biochem, 1985b, 17, (6): 837~ 842
- 4 Silva J A, Bremner M J. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. 5. Fixed Ammonium. Soil Sci Soc Am Proc, 1966, 30: 587~ 594
- 5 朱兆良,文启孝. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学出版社, 1992. 255~ 266