

有机、无机肥料施用后土壤生物量 C、N、 P 的变化及 N 素转化^{*}

王 岩 沈其荣 史瑞和

(南京农业大学资环学院, 南京 210095)

黄 东 迈

(江苏农业科学研究院土肥所, 南京 210095)

摘 要 研究表明, 有机、无机肥施用后, 土壤微生物量 C、N、P 开始增加很快, 随着时间的推移, 土壤微生物量 C 又有所降低, 但生物量 N 和 P 则基本保持稳定。硫铵施入土壤后, 微生物对肥料¹⁵N 的生物固持 10 天后达到最高峰, 以后被固持在体内的¹⁵N 有一部分被逐渐释放出来, 但一个月后仍有 17% 左右的¹⁵N 被固持在微生物体内。硫铵与有机肥配合施用时, 微生物对硫铵¹⁵N 固持比例有所增加。有机肥中的¹⁵N 被微生物固持的比例也较大, 在肥料施入 20 天左右达到最大值, 一个月后仍有 19—25% 存在于微生物体内。硫铵施用一个月后¹⁵N 损失高达 18%, 有机肥中的 N 也有少量被损失。

关键词 土壤微生物量, 同位素¹⁵N, N 素损失, N 的生物固持

无机 N 肥施入土壤后首先被土壤微生物和土壤粘土矿物固定, 但随着作物的生长, 这些被固定的养分又有很大部分释放出来供作物吸收利用^[1,2]。当 N 肥作为基肥施用时, 由于作物苗期从土壤中吸收的 N 素非常少, 易导致 N 素损失, 而此时土壤中发生的微生物和土壤粘土矿物对 N 的固定具有非常重要的实际意义^[1]。无机 N 肥的生物固定和有机肥的矿化, 是土壤中同时发生在 N 素转化过程中两个极其重要的过程, 这两个过程进行的方向和强弱影响到植物的 N 素营养状况、土壤 N 素肥力的保持以及 N 肥的利用率。以往的研究^[3]表明, 这二个过程主要受土壤中易分解的有机碳源和无机 N 源数量的影响。N 素从无机形态转化成土壤有机 N, 中间要经历一系列的过程, 这些过程大多数发生在土壤微生物细胞内。因此阐明土壤微生物量或微生物 N 的消长过程有利于揭示土壤 N 素固定和矿化的本质。

1 材料与方法

试验在南京农业大学资环学院网室内进行, 土壤采自江苏省句容县农科所, 土壤为黄

* 本研究由国家自然科学基金重点项目支持(编号: 39430090)。

收稿日期: 1997-02-11; 收到修改稿日期: 1997-08-25

棕壤,土壤及所用试验材料基本性状见表 1。土壤风干后磨细过 20 目筛,称 4kg 土与肥料混匀后装入塑料桶内,加水湿润,以后通过定量加水使各盆内水分保持一致,直到试验结束。试验设三次重复,土壤样品分别于施肥后第 5、10、20、30 天采集。试验处理及肥料用量(每公斤土计):1. 对照(CK);2. 100mg ¹⁵N 标记硫铵 N(F-N);3. 100mg ¹⁵N 标记稻草 N(ST-N);4. 100mg ¹⁵N 标记猪粪 N(P-N);5. 硫铵与稻草交叉标记,各 50mg N(F + ST-N);6. 硫铵与猪粪交叉标记,各 50mg N(F + P-N)。

土壤微生物 C、N 采用氯仿灭菌-K₂SO₄提取法^[4],土壤微生物量 P 采用氯仿灭菌-NaHCO₃提取法^[5],其它均采用常规方法测定。

表1 土壤及所用试验材料基本性状表

Table 1 Characteristics of the soil and materials used in experiment

材料	pH	全C	全N	全P	无机N	粘土矿物固定态 NH ₄ ⁺ -N	C/N 比
Material		Total C	Total N	Total P	Inorganic N	N-NH ₄ ⁺ fixed by soil clay	C/N ratio
		(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg soil)	mineral (mg/kg soil)	
黄棕壤	6.05	9.860	1.410	6.410	39.40	188.5	6.99
¹⁵ N标记稻草		383.0	10.46	1.510			36.6
稻草		350.0	9.250	1.450			37.8
¹⁵ N标记猪粪		391.0	20.70	11.47			18.8
猪粪		390.0	30.00	14.18			13.0
¹⁵ N标记硫铵			212.0				

注: ¹⁵N标记稻草、猪粪、硫铵的原子百分超分别为5.678、2.065和41.065。

2 结果与讨论

2.1 土壤中微生物 C 的变化

施用有机肥可使土壤生物量 C 大量增加^[2,6]。在本实验中,自试验开始至第五天各处理中土壤微生物量 C 已有较大增加(见图 1),如在对照中土壤微生物量 C 由原来的 77.9mg/kg 增加到 455.2mg/kg,增加了 5.8 倍;但在单施硫铵处理中土壤微生物量 C 只加到了 388.2mg/kg,为原来的 4.98 倍,低于对照处理,这可能是由于施用硫铵改变了土壤 pH,从而抑制了微生物的活性。在稻草和猪粪处理中由于大量 C 源的投入,土壤微生物量增加最多。稻草处理中达到 746.1mg/kg,增加了近 9.58 倍;猪粪处理中增加到 570.4mg/kg,为原土壤的 7.3 倍。在有机无机配合处理中,土壤微生物量 C 则低于单施稻草和猪粪的,但要高于单施硫铵和 CK 处理。

从第 5 天起到第 10 天,各处理中土壤微生物量 C 都有所下降。其中施用硫铵加稻草处理的下降幅度最大,达 20.9%;其次为单施硫铵的,为 18.6%;单施稻草和 CK 处理则分别下降了 13.99% 和 10.76%;而单施猪粪和硫铵加猪粪的下降最少,分别为 1.6% 和 3.2%。处理中土壤微生物量 C 的下降,说明从施肥到第 5 天,微生物能利用的易分解有机 C 源已耗尽,很快转入利用较难分解的有机 C;到了第 20 天,除了 CK 和单施硫铵处理中土壤微生物量 C 有所上升外,其它均继续下降,但到第 30 天时各处理中土壤微生物量 C 又有所上

升。造成土壤微生物量 C 的这一变化趋势的原因除有机 C 源外,外界气温的变化也是一个重要原因。网室内温度从 11 月 1 号到 11 月 7 号基本稳定在 6—21℃ 左右,从 11 月 8 号起气温开始下降到 2—18℃,到了 11 月 26 号继续下降到 0—14℃,但随后气温又回升到 4—18℃。气温的这一变化趋势与土壤微生物量 C 的变化有相似之处。因此可以说明在一段时间内,温度变化也是造成土壤微生物量 C 上下波动的一个重要原因。

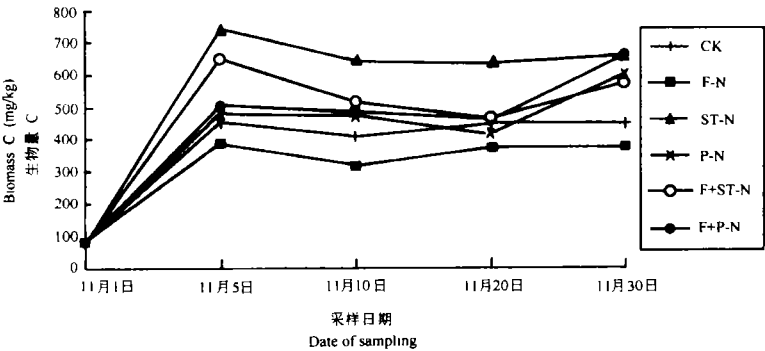


图 1 土壤微生物量 C 的变化

Fig.1 Changes in the soil microbial biomass C

2.2 土壤中微生物量 N 的变化

土壤微生物量 N 的变化也与微生物量 C 变化有所相似 (见图 2), 从开始到第五天 CK 处理中, 土壤生物量 N 从 10.7mg/kg 增加到 40.5mg/kg。各处理相比, 单施猪粪处理增加最多, 达 65.0mg/kg; 其次为单施稻草处理的, 为 58.1mg/kg; 有机无机配合的则处于有机肥单施和硫铵单施处理之间; 施用硫铵的处理中, 土壤微生物量 N 仅高于 CK。造成各处理间差异的原因主要是各处理中投入的 C 源不同, 使得土壤微生物对肥料 N 和土壤矿质 N 的生物固持也不同。在施用稻草处理中, 由于所施稻草 C/N 比较大, 土壤微生物则从土壤中吸收了一部分矿质 N, 这可从土壤速效 N 的大量下降得到证明 (见后述)。

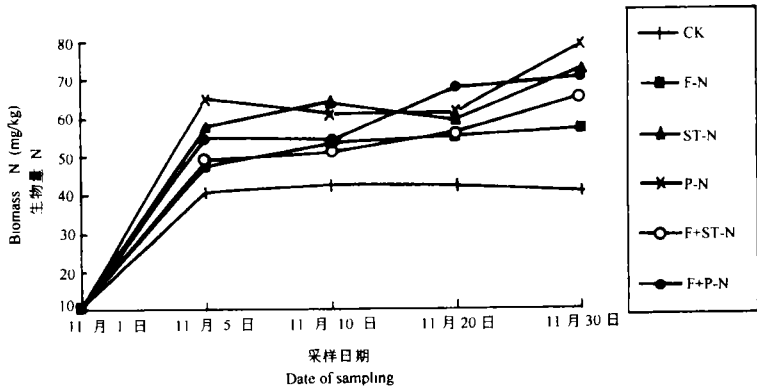


图 2 土壤微生物量 N 的变化

Fig.2 Changes in the soil microbial biomass N

土壤微生物量 N 的变化与 C 变化趋势有所相似,但也有些不同。CK 处理中土壤微生物量基本保持稳定,而其它处理中从第 5 天到第 20 天内除有少量波动外变化不大。但从第 20 天到 30 天土壤微生物量 N 又有所增加,有的增加还较多,如单施猪粪处理中增加了近 20mg N/kg。

2.3 土壤微生物量 P 及土壤速效 P 的变化

同样,各处理中,土壤微生物量 P 自加水湿润到第 5 天都增加较多(图 3),其中单施猪粪处理增加最多,其次为有机无机配合处理的,再次为单施稻草的,而 CK 和单施硫铵的增加较少。处理中单施猪粪的土壤微生物量 P 高主要因为猪粪中分解的有机 P 含量高的原因所致。自第 5 天到第 30 天除有机肥单施的处理外,土壤微生物量 P 变化较小,如在 CK 和单施硫铵处理中土壤微生物量 P 基本保持稳定,到试验结束时仍为第 5 天的水平。土壤微生物量 P 的变化不同于土壤微生物量 C 和 N 的变趋势的原因较为复杂,有待进一步研究。

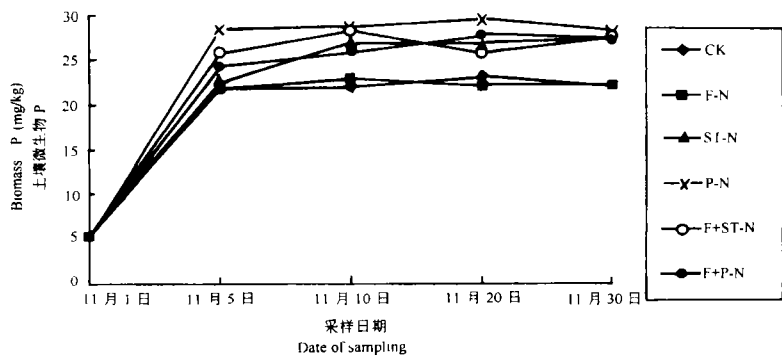


图 3 土壤微生物量 P 的变化

Fig.3 Changes in the soil microbial biomass P

在试验中由于施用了有机无机肥,土壤速效 P 也发生了变化(见表 2)。在对照和单施

表2 土壤速效P的变化 (mg/kg)

Table 2 The changes of soil available P

处理项目	处理代号	土 壤 速 效 P				
		soil available P				
		11月1日	11月5日	11月10日	11月20日	11月30日
Item	Treatment	Nov.1	Nov.5	Nov.10	Nov.20	Nov.30
对照	CK	18.0	18.1	18.0	18.0	18.0
硫铵	F+N	18.0	18.1	18.0	18.4	18.4
稻草	ST+N	18.0	16.3	16.8	17.2	17.2
猪粪	P-N	18.0	27.6	26.8	25.2	26.4
硫铵+稻草	F+ST-N	18.0	16.1	18.6	18.4	18.4
硫铵+猪粪	F+P-N	18.0	22.1	23.8	22.6	23.2
		LSD0.05=1.88		1.45	1.52	2.14
		LSD0.01=2.68		20.6	2.16	3.04

硫铵处理中土壤速效 P 在试验期间仍为 18.0mg/kg 左右;而在单施稻草和硫铵与稻草配合处理中,由于发生了土壤微生物对 P 的生物固持,土壤速效 P 下降,但一个月后又有所恢复;猪粪含 P 量高且又易于分解,因此在施用猪粪处理中土壤速效 P 一直保持较高的水平。试验结束时,单施猪粪或猪粪与硫铵配合处理与其他处理相比,土壤速效 P 相差较大,达 1% 显著水平,而对照、单施硫铵、单施稻草和硫铵与稻草配合处理间差异不显著。

2.4 土壤微生物对肥料¹⁵N 的生物固持

土壤微生物量 N 自开始到第 30 天增加了很多,这些增加的 N 来源和比例如何? 表 3 列出了微生物固定肥料¹⁵N 的比例,表明微生物在施肥后第五天就固定了相当比例的肥料¹⁵N。如单施硫铵处理中,微生物固持了所施 N 肥的 17.8%;与有机肥配合施用后,固定硫铵¹⁵N 的比例有所增加。在单施稻草处理中也有 27.5% 的稻草 N 被微生物固持,稻草与硫铵配合施用时,稻草¹⁵N 被固持的比例降低为 20.9%,差异达 1% 显著水平,这一结果与 Ocio^[4]的结果相似。Ocio 在其试验中发现,在单施稻草时,第五天就有 30% 的稻草 N 被固持在微生物体内,在与无机 N 肥配施时其比例降为 25%。

单施猪粪时,猪粪¹⁵N 被微生物固持的比例 30.4%;同样在与硫铵配合后被固定的猪粪¹⁵N 比例也有所降低。硫铵与稻草或猪粪配施后,硫铵¹⁵N 被微生物固持的比例均低于稻草或猪粪中¹⁵N 被固持的比例,说明有机肥 N 可能比化肥 N 更容易被土壤微生物所利用。

从表 3 中还可以看出,随着时间推移,微生物固定肥料¹⁵N 的比例也都发生了变化。单施硫铵处理中,微生物固持的¹⁵N 在施肥后第 10 天达到高峰,之后逐渐降低。这就表明在单施无机 N 肥时,生物固持很快达到最高峰,随后又逐渐释放出所固定的 N。单施稻草处理中,微生物对稻草¹⁵N 的固持到第 20 天才达到高峰;单施猪粪时,微生物对猪粪¹⁵N 的固持达到高峰的时间要早于对稻草¹⁵N 的固定。这主要是由于猪粪 C/N 比较小,易于分解之故。这两种有机肥与硫铵配合施用时,微生物对其¹⁵N 的固定达到高峰的时间与其单施时相近;但在与这两种有机肥配合处理中,硫铵¹⁵N 被微生物固持达到高峰的时间都有所推迟,即施肥后 20 天才达到最高峰,并且随后降低的速度较慢。如到了第 30 天时,微生物

表3 微生物固定肥料¹⁵N比例(%)
Table 3 The proportion of ¹⁵N immobilized by soil micro-organism(%)

处理代号 Treatment	¹⁵ N源 ¹⁵ N source	固定 ¹⁵ N比例(%) Percentage of ¹⁵ N fixed by soil microbial biomass(%)			
		11月5日 Nov.5	11月10日 Nov.10	11月20日 Nov.20	11月30日 Nov.30
F-N	硫铵-N	17.8	23.8	18.9	16.3
ST-N	稻草-N	27.5	29.6	32.7	25.1
P-N	猪粪-N	30.4	32.5	23.8	21.1
F+ST-N	硫铵-N	19.9	22.1	23.3	21.9
F+ST-N	稻草-N	20.9	22.5	24.2	23.4
F+P-N	硫铵-N	18.9	20.9	21.7	20.4
F+P-N	猪-粪N	24.6	27.4	22.6	19.0
		LSD0.05=2.21	1.81	3.43	1.35
		LSD0.01=3.10	2.53	4.81	1.84

所固持的硫铵¹⁵N的比例仍为高达 22% 左右。这也许就是有机无机肥配合施用能降低化肥 N 的损失的原因所在。

2.5 土壤中矿质 N(NH₄⁺+NO₃⁻)的变化

试验中土壤矿质 N(NH₄⁺+NO₃⁻)的变化较大(见图 4)。从图中可以看出,CK 处理中土壤矿质 N 从试验开始一直降低,到第 10 天时达到最低点,以后又有所上升。单施硫铵处理中,在第 5 天时土壤矿质 N 为 92.3mg N/kg,到第 20 天时下降了 36mg N/kg,到了第 30 天时又上升为 62.0mg N/kg。土壤矿质态 N 的增减变化趋势,反映了土壤微生物对肥料 N 的生物固持与释放等一系列复杂变化。硫铵在与有机肥配合施用,矿质 N 的变化情况与所施有机肥的性质有关。硫铵与稻草配施时,开始时土壤矿质 N 大量下降;20 天以后由于微生物所固持 N 的部分释放又有所上升;当与猪粪配施时,土壤矿质 N 一直处于上升趋势,到第 30 天时仍在增加。这两种变化趋势的不同主要在于稻草 C/N 比高于猪粪,因而稻草处理中有较多的矿质 N 被微生物所固持。这也可从(表 3)微生物固定肥料¹⁵N 的比例得到证明。

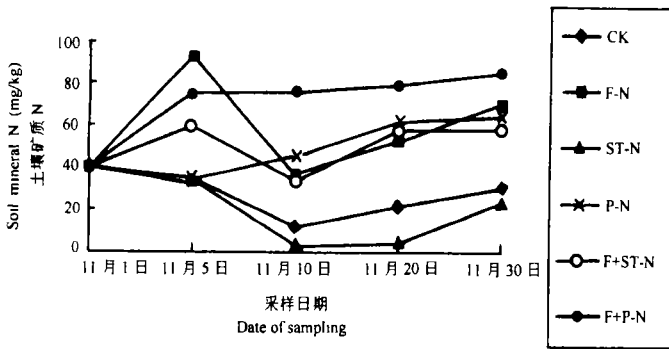


图 4 土壤矿质态 N(NH₄⁺+NO₃⁻)的变化

Fig.4 Changes in the soil mineral N (NH₄⁺+NO₃⁻)

2.6 肥料¹⁵N施用后 N 素转化的平衡帐

从表 4 中可以看出,肥料¹⁵N施用一个月后有相当一部分被土壤微生物和土壤粘土矿物所固定。硫铵施用一个月后有 16.3% 的¹⁵N被微生物固持,与有机肥(稻草或猪粪)配合后,由于增加了微生物所利用的 C 源,促进了微生物的活动,其¹⁵N的固定比例增加明显,达 1% 显著水平。稻草和猪粪单施时,¹⁵N也分别有 25.1% 和 21.1% 的¹⁵N被土壤微生物所固持,两处理相比差异也达 1% 显著水平;当它们与硫铵配合施用时,其¹⁵N被微生物固持的比例都有所降低;在两种配合处理中,稻草中¹⁵N固持比例与稻草单施时相比下降较小,仅达 5% 显著水平,而猪粪中¹⁵N固持比例与其单施时相比下降较多,达 1% 显著水平。

肥料¹⁵N被粘土矿物固定的比例也很高,如硫铵单施时,其固定比例高达 42.4%;当与有机肥稻草和猪粪配合时固定比例有所下降,就这两种配合而言,与稻草配合时硫铵¹⁵N的固定比例要低于与猪粪配合的,两者相比差异达 1% 极显著水平。这可能与稻草含较丰富的 K 有关,因为这些 K 几乎都是水溶性的,它将与铵离子竞争固定位点。此外稻草和猪粪中的¹⁵N也分别有 6.37—7.51 和 10.8—15.6% 被土壤粘土矿物所固定。

表4 ¹⁵N肥料施后N素转化的平衡帐

Table 4 The balance sheet of fertilizer ¹⁵N in the soil one month after application.

处理	¹⁵ N 源	微生物固 定的 ¹⁵ N	粘土矿物 固定的 ¹⁵ N	速效N	其它	全N	损失
Treatment	Source of ¹⁵ N	¹⁵ N immobilized by microorganism	¹⁵ N fixed by soil clay mineral	available N	others	total N	loss of N
F-N	硫酸N	16.3	42.4	17.0	6.4	82.1	17.9
ST-N	稻草N	25.1	6.37	1.38	62.4	95.2	4.80
P-N	猪粪N	21.1	10.8	10.1	50.4	92.4	7.60
F+ST-N	硫酸N	21.9	32.0	14.4	18.9	87.2	12.8
F+ST-N	稻草N	23.4	7.51	9.00	57.6	97.5	2.50
F+P-N	硫酸N	20.4	35.9	18.2	10.0	84.5	15.5
F+P-N	猪粪N	19.0	15.6	9.75	51.5	95.8	4.20
		LSD _{0.05} =1.35	LSD _{0.05} =1.84	LSD _{0.05} =1.43			LSD _{0.05} =3.09
		LSD _{0.01} =1.84	LSD _{0.01} =2.50	LSD _{0.01} =1.95			LSD _{0.01} =4.22

肥料施用一个月后,在土壤中经过各种转化有一部分 N 以矿质 N(NH₄⁺+NO₃⁻)形态存在于土壤中。如硫酸¹⁵N 有 14.4%—18.2% 的 N 以矿质 N 存在。而有机肥经微生物作用后也有一部分 N 被矿化出来。稻草和猪粪相比,稻草中的¹⁵N 矿化量较低,只有 1.38%;而与硫酸配合后矿化量增加为 9.0%。猪粪由于 C / N 低,易于分解,所以一个月后有 10.1%—9.75% 的¹⁵N 被矿化出来。

肥料¹⁵N 经各种转化后,有一部分¹⁵N 被损失掉。就有机肥来讲,施用一个月后 N 损失的比例很小,如稻草¹⁵N 损失 2.5—4.8%,猪粪¹⁵N 有 4.2—7.6% 被损失。硫酸单施时,一个月后有 17.9% 的¹⁵N 被损失;与有机肥配合施用后,硫酸¹⁵N 损失率降低为 12.8—15.5%;两种配合相比,稻草降低硫酸损失明显,达 1% 显著水平。由此可见,无机肥作为基肥施用时,在作物尚未吸收前,N 的损失比例是很大的。为了防止 N 肥的前期损失,与有机肥配合施用,增加土壤微生物对 N 的生物固定,是防止 N 素损失的有效措施之一。

参 考 文 献

1. 文启孝,张晓华,杜丽娟,吴顺龄. 太湖地区主要土壤中的固定态铵及其有效性. 土壤学报,1988,25(1): 22—30

2. Shen Qirong, Xu Shouming, Shi Rihe. Effect of incorporation of wheat straw and urea into soil on biomass nitrogen and nitrogen-supplying characteristics of paddy soil. Pedosphere, 1993, 3(3):201—205

3. 沈其荣,沈振国,史瑞和. 有机肥氮素的矿化特征及其与化学组成的关系. 南京农业大学学报,1992,15(1): 59—64

4. Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D C. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. & Biochem., 1987, 19:703—707

5. Brookes P C, Powelson D S, Jenkinson D S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. Soil Biol. & Biochem., 1982, 14:319—329

6. Ocio J A, Martinez J, Brookes P C. Contribution of straw-derived N to total microbial biomass N following incorporation of cereal straw to soil. Soil Biol. & Biochem., 1991b, 23:655—659

CHANGES OF SOIL MICROBIAL BIOMASS C, N AND P AND THE N TRANSFORMATION AFTER APPLICATION OF ORGANIC AND INORGANIC FERTILIZERS

Wang Yan Shen Qi-rong Shi Rui-he

*(College of Natural Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University,
Nanjing 210095)*

Huang Dong-mai

(Institute of Soil and Fertilizer, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210095)

Summary

Experiments were carried out to study the changes of soil microbial biomass C, N and P and the transformation of N after application of organic and inorganic fertilizers by using isotope of ^{15}N . The results showed that the soil microbial biomass C, N and P increased greatly after application of organic manures at the beginning of the experiment, and thereafter the biomass C decreased, but the biomass N and P remained constant. The immobilization of ^{15}N rose to the highest about 10 days after application of ^{15}N -labelled $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and one month latter about 17% of the ^{15}N was still in the soil microbes; when combined with organic manures the immobilization of ^{15}N from $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ increased. About 19—25% of ^{15}N from the ^{15}N -labelled organic manures was also immobilized in the microbes at the 30th day after application. In case $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ was applied alone the loss of N was about 18%, however, when combined with organic manure the loss decreased.

Key words Soil microbial biomass, ^{15}N of isotope, Loss of N, Immobilization of N