

连续淹水培养条件下土壤氮素的矿化过程

李生秀 艾绍英 何 华

(西北农业大学资源与环境科学系, 陕西杨凌 712100)

摘 要 在淹水条件下, 采用每隔一定时间取样分析的连续培养方法, 研究了土壤有机氮的矿化过程。试验表明, 与间歇淋洗相比, 连续培养条件下有机氮矿化过程较慢, 矿化累积量较少, 且达一定程度后明显降低。但该法在反映不同土壤矿化量高低、不同有机质矿化难易、不同土壤对加入有机物的矿化速率与间歇淋洗法有同样功效; 两种培养方法 32 d 的矿化量也有密切线性关系。

关键词 氮素矿化, 连续淹水培养, 间歇淋洗

分类号 S158.2

淹水培养是研究土壤氮素矿化和土壤供氮指标时广泛应用的一种方法, 首先由 Warning 等^[1]提出。这一方法以迅速、简便(不需考虑培养过程中水分和空气调节; 培养结束后仅测定矿化出来的铵态氮), 克服了好气培养的缺点(如难以维持理想的培养条件, 仅测定硝态氮而不测定存在的铵态氮等)而倍受重视。问世后, 不少人从不同角度、用不同土壤进行了研究, 证明了其良好效果^[2,3]。淹水培养始用于稻田, 1982 年美国土壤学会建议同时在旱地应用后, 旱地研究日益增多。用作衡量土壤供氮能力的短期淹水培养确实简便、迅速, 但用作确定土壤氮素矿化过程的长期淹水培养需多次淋洗, 每次淋洗又反复多遍, 甚为费工。间歇淋洗能否用连续培养、定期取样来代替, 本研究旨在对此进行探讨。

1 材料和方法

1.1 供试土壤和添加物料

选用高、低两种肥力的红油土。高肥力土壤采自西北农业大学菜园, 全氮 1.02 g/kg; 低肥力土壤采自西北农业大学农化试验站, 全氮 0.64 g/kg。土样采回后立即过 3 mm 筛孔, 用过筛后的新鲜土样装管。每管装入相当于 20.0 g 干重的鲜土。培养在每个土壤均设鲜土, 及在鲜土分别加入含 0.001 g N 玉米茎叶(含氮 8.71 g/kg)、苜蓿茎叶(含氮 16.9 g/kg)、有机肥料(含氮 7.46 g/kg) 4 个处理。所加物料与供试土壤混匀后装管。

采用 Warning 等^[1]的淹水培养法, 以间歇淋洗和连续培养两种方式进行。间歇淋洗时, 将上述 8 个处理的土壤分别置于容积为 80 mL 的离心管中, 每处理 3 管, 然后加入 40 mL 蒸馏水, 加塞, 40℃ 恒温箱中培养。从培养之日起, 分别在第 4, 11, 18, 32, 46, 67, 88, 106 天淋洗。淋洗时, 摇动离心管 0.5 min, 置入离心机中离心 5 min (6 000 r/min), 后将上部清亮溶液倾入 250 mL 容量瓶中; 再向离心管加入 1 mol/L 的 KCl 40 mL, 搅匀, 离

收稿日期 1998-01-14

课题来源 国家自然科学基金资助项目, 39770425 和 49890330

作者简介 李生秀, 男, 1936 年生, 教授, 博导

心 10 min, 上部清亮溶液仍倾入容量瓶中, 如此反复 2 次。此后, 改用蒸馏水淋洗 2 次, 清亮溶液仍倾入容量瓶中。淋洗后的土壤加水至原体积, 继续培养; 淋洗液定容。

1.2 淹水培养及矿化氮测定

连续培养时, 将 8 个处理的土壤分别置于容积为 60 mL 的注射管中, 每处理装 24 管; 然后加入 40 mL 蒸馏水, 加塞, 置于 40℃ 恒温箱中培养。从培养之日起, 在第 4, 11, 18, 32, 46, 67, 88 和 106 天, 分别由每个处理取出 3 管, 以上法淋洗。淋洗后的土壤弃去, 不再继续培养; 淋洗液定容。

淋洗液中的铵态氮用连续流动分析仪测定^[4]。

2 结果分析

2.1 两种培养方式矿化过程之差异

连续培养所淋洗的铵态氮是由培养之日起到淋洗之日止所矿化的氮素总量, 不同时间的淋洗量代表着这一期间的矿化氮累积量。间歇淋洗法每次所淋洗的氮素是两次淋洗期间的矿化量; 其矿化氮累积量是从培养之日到给定时间各次矿化量之和。两种方式矿化氮累积量列于表 1。

表 1 两种培养方式不同时间的累积矿化氮量 μg/g

土壤特性	培养时间/ d	鲜 土		土+ 玉米茎叶		土+ 苜蓿茎叶		土+ 有机肥	
		连续	间歇	连续	间歇	连续	间歇	连续	间歇
低肥土壤	起始	6.8		5.1		2.1		9.1	
	4	3.2	16.4	14.7	7.6	23.6	29.5	11.1	15.8
	11	3.7	18.5	20.5	17.0	29.0	28.6	17.2	25.9
	18	11.4	36.2	27.5	35.5	35.8	52.6	26.9	46.5
	32	24.1	58.6	27.4	59.5	35.3	88.9	28.5	65.5
	46	13.9	67.9	31.0	70.0	36.6	99.7	21.6	75.6
	67	13.5	71.4	39.2	73.8	47.9	103.5	21.2	79.5
	88	7.5	75.7	27.9	78.4	17.2	108.0	13.0	84.1
	116	1.9	78.1	17.4	80.6	14.9	110.2	1.9	86.5
	起始	5.2		4.7		1.6		11.5	
高肥土壤	4	2.6	14.6	18.8	11.7	31.0	25.4	12.6	11.3
	11	11.1	20.2	24.6	23.0	28.2	29.3	18.5	32.7
	18	24.4	40.0	34.1	44.3	49.6	60.6	36.2	57.1
	32	28.2	76.9	35.7	78.3	51.0	106.8	39.8	94.8
	46	27.0	92.7	37.3	106.5	63.0	135.7	32.7	116.7
	67	22.7	96.6	60.0	110.8	65.2	139.8	32.0	120.5
	88	11.3	101.2	28.8	115.6	32.2	144.5	22.3	125.1
	11	2.5	103.0	18.3	118.1	27.2	146.7	10.4	127.6

从表 1 可以看出, 两种培养方式矿化过程有明显差异。间歇淋洗法, 开始矿化快, 速率高, 而后逐渐降低; 矿化累积量与矿化速率一致, 开始增长很快, 以后趋于平缓, 呈指数曲线持续上升。整个矿化过程可大致分为速增、过渡、平缓三个阶段。连续培养法亦开始矿化快, 速率高, 矿化累积量持续上升; 但矿化速率及矿化累积量多比同期间歇淋洗培养低。培养到一定时间后, 矿化累积量不但不持续增加, 反而迅速下降, 整个矿化累积曲线呈抛物形而中间平缓。全部矿化过程可大致分为速增、平缓、速降三个阶段。由升到降的培养

时间, 即矿化累积量出现高峰的培养时间, 有着明显的规律性: 在高、低两种肥力的土壤上, 未施和施有机肥的处理, 均在培养了 32 d 之后; 施用玉米、苜蓿茎叶的处理, 均在培养 67 d 之后。两种土壤无一例外, 证明这不是一种偶然结果。

2.2 两种培养方式在反应供氮能力方面之意义

多年来, 人们一直寻求一种能反映土壤供氮能力的指标。几十年的探索使人们认识到这种指标是相对的, 而不是绝对的。所谓相对, 就是说只能反映土壤供氮水平的相对高低, 而不是供应数值的绝对大小。各个方法的不同测定结果, 究竟孰大, 孰小, 孰适, 虽无数量上的客观标准, 但可以通过生物试验或与标准方法进行相关研究和评价。间歇淋洗法已被证明能反映土壤的供氮能力^[2,3], 故本文将连续培养法的测定结果与其进行比较。

间歇淋洗法的累积矿化氮量随培养时间延长而增高, 但矿化 32 d 之后, 逐渐趋于稳定, 因此, 取 32 d 以后的任何一段时间的累积矿化氮都可作为指标。连续培养方式却不同, 培养一定时期后, 累积矿化氮量迅速下降, 因此用其高峰值进行比较更为合理。但由于高峰值出现时间并不一致, 当添加玉米、苜蓿茎叶的土壤高峰出现之时, 未加和加入有机肥料的土壤已处于下降阶段。因此, 用添加玉米、苜蓿茎叶高峰期的矿化量与未加和加入有机肥料的土壤进行比较显然不当; 如果均用高峰值与间歇淋洗进行对比, 由于时间因子不一, 又造成了同一培养方式内部等级的变化, 也难说明问题。基于这种考虑和我国南方稻田采用 35 d 培养时间, 笔者选用培养 32 d 后矿化量来与同期间歇淋洗方式比较。在这种情况下, 未施与施有机肥的处理矿化量均达高峰; 施用玉米、苜蓿茎叶的处理, 矿化量也处在上升阶段, 测定的结果能反映各处理供氮的相对差别。比较结果表明, 尽管在这一时期连续培养的累积矿化量远低于间歇淋洗的累积矿化量, 但两者的结果有许多一致之处:

第一, 连续培养方式也能反映土壤本身供氮能力的高低。在低、高两种肥力土壤上, 间歇淋洗培养 32 d 后, 低、高肥力土壤上的矿化氮量分别为 58.6 和 76.9 $\mu\text{g/g}$, 两者之比为 1 : 1.31; 连续培养分别为 19.8 及 28.2 $\mu\text{g/g}$, 两者之比为 1 : 1.43, 也反映出了土壤肥力的这种差别。

第二, 连续培养也能反映出加入物料的矿化难易。豆科茎叶碳氮比低, 氮素很易矿化; 玉米茎叶碳氮比高, 又有较多的纤维素, 氮素较难矿化; 有机肥料经过一段时间的堆腐, 矿化比玉米茎叶容易, 但比豆科茎叶困难。这种情况在两种培养方式的矿化量上得到了明确反映。加入等氮量的这些物料, 用间歇淋洗方式培养 32 d 后, 矿化氮量以加入苜蓿茎叶者最高, 有机肥料者次之, 玉米茎叶者最低。在低肥力土壤上, 三者的矿化率(矿化出来的氮素占加入氮的百分数)依次为 60.6%, 13.9% 和 2.0%; 在高肥力土壤上依次为 59.8%, 35.9% 和 2.9%。连续培养所得结果与此一致, 在低肥力土壤上, 依次为 22.5%, 8.8% 和 6.6%; 在高肥力土壤上, 依次为 45.6%, 23.3% 和 14.9%。值得提出的是, 采用连续培养, 不施与施有机肥的矿化氮累积高峰出现在同一时期, 而加入苜蓿、玉米茎叶者出现在另一时期, 在确定不同物料矿化难易及时间方面, 似乎更能给出清晰概念。

土壤的肥沃程度影响着土壤微生物的群体和数量, 因而影响着加入物料的矿化难易和快慢。一般情况, 肥沃土壤的微生物数量大, 有机物矿化快, 而瘠薄者反之。这种情况在两种培养方式中都得到了客观反映, 虽然它们的绝对值并不相等。采用间歇淋洗法培养 32 d 后, 低、高肥力土壤上三种物料平均矿化的氮素分别为加入总氮量的 25.5%,

32. 9%, 两者之比为 1 1. 29; 采用连续培养, 两者的相应值分别为 12. 6% 和 27. 9%, 比值为 1 2. 21. 由此值可以看出, 后者在反映土壤对有机物料矿化的影响上更为注目。

第三, 特别重要的是, 把两种土壤 4 个处理矿化量的大小按顺序排列起来, 两种培养方式均以同一顺序变化: 施苜蓿茎叶土壤> 施有机肥土壤> 施玉米茎叶土壤> 不施肥土壤。用两种土壤 8 个处理的成对数据进行相关分析, 结果表明, 两种培养方式 32 d 的矿化氮量有密切线性关系, 相关系数为 0. 939*, 超过 1% 的显著水准; 回归方程为 $y = 15. 3 + 1. 88x$ (式中 y, x 分别为间歇淋洗和连续培养方式所矿化的氮量)。由方程的回归系数可以看出, 间歇淋洗方式的矿化氮量几乎是连续培养的 2 倍。

2. 3 累积矿化量增长期间两种方式测定值之间的关系

上述分析从表观的各个方面说明, 采用 35 d 连续培养与间歇淋洗所得结果, 在反映土壤供氮能力方面有一致趋势。但这种趋势是否可靠, 在 35 d 以内的培养是否可用连续方式代替, 可以从两者在 32 d 以内不同时期的累积量之间的关系进一步分析。

为减少误差, 使测定值包含更多的信息和具有更大的代表性, 用每种培养方式各个培养时期两种土壤 8 个处理的平均值来进行计算(表 2)。由于方案是均衡的, 即每个平均数皆包含 8 个处理, 因而计算是合理的。计算结果表明, 在 32 d 培养期间, 两种培养方式的矿化累积量同样有密切线性关系, 相关系数为 0. 937, 超过 5% 的显著水准; 回归方程为: $y = 7. 98 + 0. 37x$ (式中 y, x 分别为连续培养和间歇淋洗所得到的矿化氮累积量)。

表 2 连续培养与间歇淋洗各矿化期的矿化累积氮量 μg/ g

培养方式	培养时间/ d				
	0	4	11	18	32
间歇淋洗	5. 8	16. 5	24. 4	46. 6	78. 1
连续培养	5. 8	14. 7	19. 1	30. 7	33. 7

以上结果从另一方面支持了连续培养法与间歇淋洗法具有同样效果的结论。

3 讨 论

在研究土壤供氮能力的生物学方法中, 淹水培养是一种重要手段。后者抑制了硝化细菌的活动, 创造了适于有机氮氨化的条件, 矿化的最终产物是铵态氮, 占矿质氮的 95% ~ 100%^[5~7], 在密闭条件下不会挥发损失; 而且, 有机物矿化速率快, 很快能达到平稳状况, 即能够反映土壤供氮潜力的状况^[8]。但其矿化量却与培养方式有关: 间歇淋洗, 累积矿化量高; 连续培养相应降低, 后期尚出现矿化氮下降现象。

有机氮氨化过程是微生物作用过程, 而其实是微生物通过酶所促使的一种化学反应。根据化学平衡原理, 只有不断移去生成物, 反应才能持续进行。否则, 生成物达到一定浓度后, 就会抑制反应的进行而使其处于平衡。间歇淋洗模拟作物对铵态氮的吸收, 不断淋洗, 因而生成物不能累积, 累积矿化量持续增加。连续培养法未能及时移去生成物, 使矿化的铵态氮不断累积起来。累积的铵态氮既影响了酶促反应, 又是微生物的分解产物。当其达到一定浓度后, 就会抑制氨化微生物的活动。土壤微生物是一个多群体的组合, 氨化微生物受到抑制, 其他微生物就会大量繁殖起来。这些微生物以未矿化的有机物为碳源, 以矿化出来的铵态氮为氮源, 繁衍生息, 大量繁殖, 导致了矿化出来的铵态氮下降。

参 考 文 献

- 1 Warning S A, Bremner J M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature*, 1964, 201: 951 ~ 952
- 2 Keener D R, Bremner J M. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. *Agron J*, 1966, 58: 498 ~ 503
- 3 Sims J L, Wells J P, Tackett D J. Predicting nitrogen availability to rice . Comparison of methods for determining available nitrogen to rice from field and reservoir soils. *Soil Sci Soc Am Proc*, 1967, 31: 672 ~ 680
- 4 Smith K A, Scott A. Continuous-Flow and Discrete Analysis. In: Smith K A ed. *Soil Analysis*. New York, Basel, Marcel Dekker: INC., 1983. 115 ~ 164
- 5 胡田田, 李生秀. 土壤供氮能力测试方法的研究 . 几种测氮方法的测定值与作物吸氮量的关系. 干旱地区农业研究, 1993, 11(增刊): 62 ~ 67
- 6 艾绍英, 李生秀. 不同培养条件下土壤及有机物料的氮素矿化过程. 西北农业学报, 1995, 4(增刊): 73 ~ 76
- 7 李良漠. 土壤硝化作用研究概况. 土壤学进展, 1984(5): 1 ~ 9
- 8 付会芳, 李生秀. 土壤氮素矿化与土壤供氮能力 . 旱地土壤氮素矿化两种培养方法之比较. 西北农业大学学报, 1992, 20(增刊): 48 ~ 52

Soil's Nitrogen Mineralization Processes under Continuously Waterlogged Incubation Conditions

Li Shengxiu Ai Shaoying He Hua

(*Department of Resources and Environmental Science, Northwestern*

Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract Under continuously waterlogged incubation conditions, soil samples were taken for determination of mineralized N at an interval time without leaching during the incubated period to study the mineralization processes of soil's organic N. The results showed that as compared with the mineralized N by intermittent leaching, the N mineralization processes of this procedure were much slow, and the cumulatively mineralized N became less and decreased obviously when reached a certain extent. However, the continuously waterlogged incubation played the same function as the intermittent leaching procedure in reflection of soil's mineralized N level, mineralization degree and rate of different organic matter added to soils with different fertilities. In addition, the mineralized N amounts during 32 day's incubation by the two procedures were linearly related closely.

Key words N mineralization, continuously waterlogged incubation, intermittent leaching of mineralized N