

长期耕作和施肥对白浆土氮素矿化的影响

田秀平¹, 薛菁芳², 韩晓日²

(1 天津农学院农学系, 天津 300384; 2 沈阳农业大学, 沈阳 110161)

摘要: 好气培养条件下, 白浆土有机 N 矿化量随培养时间延长而增长, 但增加速度趋于下降, 两者之间的数量关系遵从化学反应一级方程式。不同处理之间 N 矿化位势值高低排列顺序为: 有机肥(403.55 mg/kg) > 秸秆还田(365.36 mg/kg) > 化肥(335.25 mg/kg) > 免耕(328.05 mg/kg) > 深翻(324.74 mg/kg) > CK(268.65 mg/kg)。N 矿化位势值在 3 种耕法中未表现出明显差异。有机 N 矿化半衰期与施肥有关, 有机肥处理的矿化半衰期最长, CK 处理最短, 有机肥比 CK 处理多 4.12 周。各施肥处理之间 N 矿化速率常数相差不大。

关键词: 白浆土; 耕作; 施肥; 氮素矿化

中图分类号: S147.2

土壤 N 素是农作物 N 素营养的主要来源, 是土壤肥力的重要组成部分, 也是农业生产中影响作物产量的最主要的限定因子。据报道, 世界粮食增产的 50% 取决于土壤 N 素肥力^[1], 而且高产作物与土壤供 N 能力之间的依赖性更强, 即土壤供 N 能力愈高, 作物对土壤 N 素的依赖性就愈强, 而 N 肥的增产效果和利用率就愈低^[2-3]。因此根据土壤供 N 能力, 合理施用 N 肥是提高 N 肥利用率和作物产量及改善作物品质的核心问题。土壤供 N 能力的变化取决于土壤有机 N 矿化分解。供 N 能力的高低不仅与土壤性质有关, 而且与施肥、耕作等措施密切相关。然而土壤 N 素无论分解还是积累都是十分缓慢的, 短期的试验很难看出差异。因此多年来许多学者利用长期定位试验来研究土壤的供 N 能力, 在不同地区土类上取得了一定的成果^[4-5]。但对白浆土供 N 能力的研究尚未见报道。白浆土是黑龙江省东部山区一类主要耕作土壤, 该土质地黏重, 耕作层下存在一滞水滞气的黏化淀积层, 严重影响了土壤物质的转化^[6]。为此, 我们以定位 16 年的白浆土为研究对象, 系统地探讨了长期耕作与施肥对白浆土 N 素矿化的影响, 为改善白浆土的 N 素状况和持续农业中 N 肥的合理施用提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

土样采自黑龙江省密山市白浆土长期定位试验地, 其有机质 35.00 g/kg, 全 N 2.30 g/kg, 全 P 0.52 g/kg, 碱解 N 274 mg/kg, 有效 P 5.47 mg/kg, 有效 K 89.70 mg/kg, pH(H₂O) 6.25。

1.2 试验设计

试验小区面积为 79.2 m², 共设 4 次重复。1987 年采用春小麦-春小麦-大豆-油菜-玉米-大豆 6 区轮作制。施肥处理分为对照区 (CK), 有机肥区 (OM), 秸秆还田区 (TS) 和化肥区 (NP), 均采用普翻耕法 (CT); 耕作处理分为普翻区 (CT), 深松区 (DT) 和免耕区 (NT), 均施用化肥 (NP)。有机肥为牛粪厩肥, 其 N 和 P 含量分别是 15.80 g/kg 和 4.86 g/kg, 每公顷施用量 25200 kg; 化肥用量大豆、小麦和玉米分别为纯 N 45.00、54.00 和 66.00 kg/hm², 纯 P 67.50、57.00 和 33.00 kg/hm²; 秸秆还田是在秋收后将新鲜秸秆粉碎 (10 cm 左右) 撒于地表, 翻入土中, 每公顷施用量 2220 kg; 免耕为耙茬 0~10 cm; 深松是深松 0~35 cm, 间隔 30 cm, 秋深松春起垄; 普翻为秋翻耕层 0~20 cm。

1.3 取样

于 2001 年秋后, 用土钻在每个小区内取耕层 (0~20 cm) 5 点混合土样。

1.4 分析方法

取过 2 mm 孔筛土样 15.00 g 和等量石英 (1~2 mm) 混匀, 加少量蒸馏水 (2.8~3.2 ml), 湿润后充分混匀, 使形成具有良好结构的土砂混合物, 然后小心翼翼地转入预先装有一个玻璃珠和 20 g 石英砂上垫一层玻璃丝的 60 ml 塑料注射器中。铺少量玻璃丝和 20 g 石英砂的目的是以免淋洗时洗液直接冲击土砂混合物使其分离。注意装好后轻振几下。用 100 ml 的 0.01 mol/L CaCl₂ 溶液分 4 次淋洗土壤, 淋洗后加入 25 ml 无 N 营养液, 营养液由 0.002 mol/L CuSO₄·2H₂O, 0.002 mol/L MgSO₄, 0.005 mol/L Ca(H₂PO₄)₂·2H₂O 和 0.0025

mol/L K_2SO_4 组成。多余的营养液在 60 cm Hg 柱的负压下抽空之后，用 parafilm 封口后置于 35℃ 恒温培养箱中进行培养，于培养后 2、4、6、8、10、12、15、18 和 21 周时，用 0.01 mol/L $CaCl_2$ 淋洗。淋洗液中矿化 N 测定方法是，吸取淋洗液 10 ml 加于扩散皿外圈中，内圈加 2 ml 含 20 g/kg 硼酸指示剂，再向外室加 0.2 mol/L $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ，并加 4 ml 120 g/L MgO 悬浊液，盖严，于 40℃ 下恒温培养箱中放置 24 h 后，用 H_2SO_4 滴定。

2 结果与讨论

2.1 长期施肥和耕作土壤 N 素矿化与培养时间的关系

据 standford 等^[7]建议，土壤经干湿交替处理后，会产生一些不稳定的、极易矿化的 N 素，因而不能反映土壤 N 素的正常矿化过程，必须通过预培(1~2 周)和淋洗排除这部分 N 素的干扰。本试验测定的可矿化 N 为扣除两周预培矿化 N 量。从图 1 可以看出，土壤有机 N 累计矿化量随培养时间的延长而不断增加，且曲线随时间加长逐渐变缓。也就是说随着培养时间的增加，单位时间内矿化的有机 N 数量将逐渐减少。表 1 数据说明，土壤 N 矿化量与培养时间 (t) 的平方根呈良好的线性关系 ($N_t = a + bt^{1/2}$)。各处理的相关系数均在 0.99 以上，达极显著相关水平。室内 35℃ 培养累积矿化 N 量的结果 (图 1) 还表明，以施牛粪处理曲线的起点最高，斜率也最大。其次是秸秆还田处理。3 种耕法的变化基本一致，略低于秸秆还田。CK 的起点最低，斜率最小。曲线起点的高度代表有机态 N 矿化速率的容量，斜率代表矿化强度。所以各施肥耕作处理供 N 能力的强弱是，OM>TS>NP≈DT≈NT>CK。另外，从曲线上看同一类型土壤尽管采用了不同施肥和耕作处理，但其 N 素矿化过程具有共性。

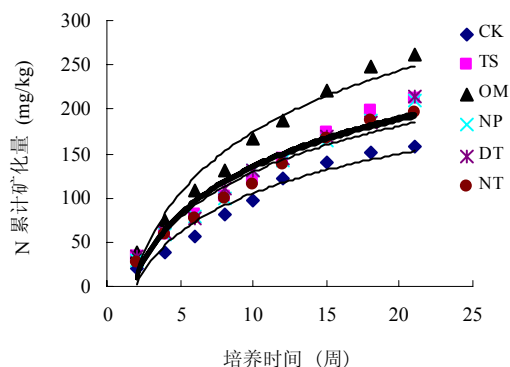


图 1 有机 N 累计量与培养时间关系

Fig. 1 Relationship between cumulative nitrogen mineralization and incubation time

表 1 土壤氮矿化量 (N_t) 与培养时间 ($t^{1/2}$) 的关系

处理	回归方程	r
CK	$N_t = -51.89 + 47.41 t^{1/2}$	0.992**
TS	$N_t = -58.42 + 58.80 t^{1/2}$	0.996**
OM	$N_t = -71.02 + 74.02 t^{1/2}$	0.998**
NP	$N_t = -56.18 + 57.41 t^{1/2}$	0.998**
DT	$N_t = -54.45 + 57.64 t^{1/2}$	0.997**
NT	$N_t = -55.44 + 55.74 t^{1/2}$	0.997**

2.2 不同施肥耕作处理土壤 N_0 值及其相应参数变化

根据不同时期土壤矿化 N 素来看有机 N 的矿化，这一反应过程符合化学动力学反应原理，因为可矿化 N 素因矿化而递减时，反应速度相应降低。即，

$$N_t = N_0[1 - \exp(-kt)] \quad (1)$$

式中： N_t 为时间 t 内土壤有机 N 的累积矿化量 (mg/kg)， t 为培养时间 (周)， k 为矿化速率常数 (1/周)。由上式可见当 $t \rightarrow \infty$ 时，有 $N_t = N_0$ ， N_0 值为一定条件下，无限时间内可矿化出累积 N 量，也被称作土壤 N 矿化位势。

因上式不是直线型公式，所以不能直接用最小二乘法求出式中参数 N_0 和 k ，只能先把上式变为：

$$N_0 - N_t = N_0 \exp(-kt) \quad (2)$$

对上式积分后得：

$$\ln(N_0 - N_t) = \ln N_0 - kt \quad (3)$$

积分后的公式虽然是一直线公式，但由于等式两端均含有欲求参数 N_0 ，所以需要先估算 1 个 N_0 代入公式左端后，用最小二乘法计算出公式右端的 N_0 和 k ；再把新求出的 N_0 代回公式左端进行第二次计算，……。如此反复迭代计算，直到前后两次求出的 N_0 值相对误差 < 0.0001 时，迭代出的 N_0 和 k 即为一级反应方程参数。

从表 2 看出，白浆土有机 N 矿化也遵循上述一级反应动力学原理，即所测累积矿化 N 量与培养时间的关系可用 $N_t = N_0[1 - \exp(-kt)]$ 来表达。不同施肥耕作处理土壤中所测值建立的方程模型均达极显著水平。

长期施肥和耕作白浆土中 N_0 值变化在 268.65 ~ 403.55 mg/kg 之间，平均 337.60 mg/kg，占土壤全 N 的 18.71%，各处理 N_0 值由高到低的排列顺序为，OM(403.55 mg/kg) > TS(365.36 mg/kg) > NP(335.25 mg/kg) > NT(328.05 mg/kg) > DT(324.74 mg/kg) > CK(268.65 mg/kg)。 N_0 值同土壤的基础肥力密切相关。把 N_0 值与土壤有机质和全 N 进行显著性测验发现， N_0 值与全 N 量 ($r = 0.926$, $n = 12$) 和有机质含量 ($r =$

表 2 一级动力学方程的模拟结果

Table 2 Simulated results of one-order dynamic models

处理	N_0 (mg/kg)	k (1/周)	$t_{0.5}$ (周)	F 值	模型显著水平
CK	268.65	0.045	5.91	508.86	1E-07
TS	365.36	0.042	7.51	2637.61	1E-07
OM	403.55	0.051	10.03	3128.06	1E-07
NP	335.25	0.046	7.54	2424.13	1E-07
DT	324.74	0.049	7.76	1473.76	1E-07
NT	328.05	0.045	7.22	1915.26	1E-07

0.896, $n = 12$)呈极显著正相关。施牛粪土壤中由于每年加入的有机质和 N 累积量比秸秆还田多,使其 N_0 值高于秸秆还田。CK 处理由于长期不施任何肥料,作物主要吸收土壤原有 N 素,使 N 库消耗很大,土壤有机 N 矿化潜能下降。3 种耕法土壤中 N_0 值差异不大,可能是土壤经风干过筛处理后,改变了原有土壤结构,而使土壤中 N 矿化重新受新建立环境及土壤总 N 的影响所致。

矿化速率常数 k 值的意义是单位时间内矿化 N 量占土壤可矿化总 N 量的比值。从表 2 可见, k 值变化在 0.042 ~ 0.051/周之间,平均为 0.046/周,变异系数为 6.91%,即各处理 k 值差异较小。说明,如果用风干土进行培养测定土壤 N 素矿化量时,排除 2 周预培养无机 N 后,所测定的 N 素矿化速率常数在不同肥力水平上差异不大。但施肥处理中仍以 OM 略大。原因是在外界提供丰富的营养条件下,土壤微生物活性增强,有机 N 分解速率随之加快。另外,每年新鲜有机物料的加入,对总有机 N 产生启爆效应,使土壤供 N 能力增强。

矿化半时数(周)是指矿化到 N_0 值一半时所需要的时间,也可以说是土壤可矿化有机 N 的半衰期,即 $t_{0.5} = 1/2 N_0 (1 - e^{-k})$,根据本试验于 35°C 时取其 k 的平均值得 $t_{0.5} = 7.66$ 周,即经过近 8 周培养后,就可能有该土壤 N 素矿化势的一半被释放出来。了解到这一点,对于定量地估计土壤无机 N 释放进程起到非常重要的作用。不同处理土壤有机 N 矿化的 $t_{0.5}$ 大小顺序为, OM(10.03) > DT(7.76) > NP(7.54) > TS(7.51) > NT(7.22) > CK(5.91)。从中看出,施牛粪处理土壤矿化半衰期最长。进一步证实了有机肥对于改善白浆土供 N 能力及延长持续供 N 时间等方面有很大作用。长期不施肥不但土壤可矿化 N 含量下降,而且持续供 N 的时间也很短,使作物 N 素营养受到明显限制。长期秸秆还田与 3 种耕法的土壤 N 矿化半衰期差异不大。

3 讨论

Stanford 和 Smith^[7] 利用好气培养和间歇淋洗法,建立了一个比较完善测定土壤 N 矿化过程的培养技术。并以培养试验得到的数据为基础,依据一级反应动力学方程估算土壤 N 素矿化的两个基本参数—土壤 N 矿化势 (N_0) 和矿化速率常数(k)。并应用它测定美国不同类型土壤的 N_0 值,证明可作为评价土壤 N 肥力指标。周鸣铮^[8]认为, N_0 值不但是土壤 N 肥力在容量方面的重要指标,且因矿化速率常数(k)的变化不大,同时也是供 N 强度的一个因子,使矿化率法提高到更可靠的理论基础上来。本试验测得不同施肥处理水平之间 N_0 值变化很大,但同一施肥水平下,免耕、深松和普翻耕法间 N_0 值和 k 值变化非常小。而我们对田间不同生育期 NO_3^- -N 含量测定发现,免耕土壤 NO_3^- -N 含量低于深松和普翻。这说明,应用 N_0 值预测同一施肥水平,但不同耕法土壤供 N 量上存在偏差。土壤潜在可矿化 N 是易被土壤微生物分解的那部分有机 N 数量。土壤微生物活性受控于土壤条件。在进行 N 矿化培养时,因对土样进行统一处理,并控制同一温度和水分条件,必然改变了原有土壤微生物存在的条件,使其在新建立起的环境下对土壤 N 素进行分解。这样影响 N_0 值高低的主要因素应是土壤全 N 含量以及有机 N 素组成。

因此,应用 N_0 值预测不同肥力水平土壤供 N 能力有一定意义。但在预测同一肥力水平采取不同耕作处理土壤时,应考虑田间试验条件,对 k 和 N_0 值进行校正,方可得到预期效果。

参考文献:

- [1] 佩德罗, A 桑切兹·约翰, 丁尼科雷迪斯. 发展中国家植物营养与土壤限制因素. 联合国粮食及农业组织技术咨询委员会秘书处, 1983: 1-17
- [2] 朱兆良. 关于土壤氮素研究中的几个问题. 土壤学进展, 1989, (2): 1-9

- [3] 唐耀先, 张继宏, 须湘成, 佟国良. 土壤基础供氮能力和肥料氮素利用率及其应用的研究. 土壤通报, 1986, 27 (5): 204-208
- [4] 闫德智, 王德建, 林静慧. 太湖地区氮肥施用量对土壤供氮、水稻吸氮和地下水的的影响. 土壤学报, 2005, 42 (3): 440-446
- [5] Zhang QC, Wang GH, Xie WX. Soil organic N forms and N supply as affected by fertilization under intensive rice cropping system. *Pedosphere*, 2006, 16 (3): 345-353
- [6] 田秀平, 马艳梅, 韩晓日. 长期耕作、施肥对白浆土无机磷组分的影响. 土壤, 2003, 35 (4): 344-346
- [7] Stanford G, Smith SJ. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 72, 36: 465-472
- [8] 周鸣铮. 中国的测土施肥. 土壤通报, 1987, 18 (1): 7-13

Effect of Long-Term Cultivation and Fertilization on Nitrogen Mineralization of Albic Soil

TIAN Xiu-ping¹, XUE Jing-fang², HAN Xiao-ri²

(1 *Department of Agronomy, Tianjin Agricultural College, Tianjin 300384, China* ; 2 *Shenyang Agricultural University, Shenyang 100161, China*)

Abstract: The amount of organic nitrogen mineralization increased but the increasing speed descended with incubation time in aerobic condition, and their relationship followed chemical first-order reaction equation. The order of nitrogen mineralization potential of different treatments was: Organic manure (403.55 mg/kg) > Straw returning back to field (365.36 mg/kg) > Chemical fertilizers (335.25 mg/kg) > No-tillage (328.05 mg/kg) > Deep harrowing (324.74 mg/kg) > CK (268.65 mg/kg), and no significant difference was found among the three tillage ways. The half-time of the organic nitrogen mineralization related with fertilization, and the half-life of the organic manure treatment was longest, 4.12 weeks longer than CK's (the shortest). No significant difference in mineralization rate constant was found among all treatments.

Key word: Albic soil, Cultivation, Fertilization, Nitrogen mineralization