

关于土壤氮素矿化势作为 有效氮指标的研究

李生秀

K. A. Smith

(农化系)

(爱丁堡大学农学院)

摘 要

以2种作物, 12个质地、有机质、全氮及碳氮比不同的土壤进行的盆栽和培养试验表明, 利用土壤氮素矿化势计算得出作物生长期间的矿化氮量与作物吸收氮量有密切关系, 且两者间有稳定比值。根据土壤氮素矿化势计算作物生长期间可利用的氮素有较为合理的依据, 值得重视。用KCl煮沸法所浸取的氮素与短期培养所矿化的氮素呈高度正相关, 且回归系数接近1, 说明二者在表示土壤供氮能力方面有同样价值。

关键词: 矿化率; 土壤有效氮指标; 短期培养; 盆栽试验

为了确定土壤供氮能力, 70年代前一些科学工作者^[1-5]提出了各种生物和化学测定方法。但这些方法仅仅测定土壤中某种形态的氮素数量, 没有反映土壤中的氮素动态; 测定值与作物对氮肥的反应亦无一致结果。此后的研究表明, 土壤的供氮能力与全氮并无密切关系, 而与有机质中部分可矿化的氮素密切相关。基于这一认识, Stanford et al.^[6]提出了土壤氮素矿化势的概念和测定方法。通过长期培养所测算出来的土壤氮素矿化势对预报土壤可矿化氮数量有重要价值, 但费工、费时, 不易应用。为解决这一问题, 测定矿化势的短期培养法随后问世^[7]。尽管Stanford et al.报道, 短期与长期培养的结果有良好的一致性, 但迄今仍无验证的生物试验资料。

本文旨在根据盆栽和短期培养的试验结果, 论证氮素矿化势及以此计算出的作物生长期间的矿化氮, 作为土壤有效氮指标的可能性, 并比较短期培养法与一种可测定土壤潜在矿化氮的化学方法。

1 材料和方法

供试土壤: 从苏格兰东南部选取质地、pH、有机质、全氮及碳氮比不同的12种耕层土壤(表1), 土壤通过3 cm²筛孔, 剔除石块、茎干和根茬后, 混匀, 装入塑料袋中, 贮于-5℃的冷藏室中。装盆前解冻, 通过直径6 mm筛孔, 再次混匀。

盆栽试验: 采用底嵌尼龙纱布的硬质塑料盆。每盆装土1200~1600 g。装土过程中轻叩数次, 使达自然紧实度。土表距盆顶1 cm。用多年生黑麦草及大麦作指示作物。重复3次。

——本文于1986年12月11日收到。

土表覆盖一层蛭石。随第一次灌水加入由 KH_2PO_4 , K_2SO_4 , MgCl_2 组成的营养液。每次每盆加入的营养液含有40mg P, 20mg S, 100mg K, 100mg Mg, 大麦在生长期间补加一次, 黑麦草刈割后均加。试验盆置于温室中, 随机排列, 定期换位。室温由自动记温仪记录。采用重量法灌水, 每周3~7次, 保持10KPa张力时的水分。黑麦草刈割4次, 最后一次刈割后冲洗根系。大麦于乳熟期(生长阶段75^[8])收获。植物样品取得后, 立即烘干、称重、粉碎, 然后分别测定植株及根系含氮量。

表1 供试土壤的一些理化特性

%

土 样 编 号	质地分类	颗 粒 分 析			土壤水分 ¹⁾	有机质	全氮量	C/N比	pH (H ₂ O)
		砂粒	粉粒	粘粒					
1	粉砂粘壤	9	63	28	39.3	3.0	0.21	8.4	7.0
2	砂质粘壤	68	12	20	29.2	5.4	0.22	14.2	6.6
3	砂质壤土	60	25	15	25.0	3.8	0.16	13.8	6.5
4	砂质壤土	66	22	14	32.5	7.9	0.37	12.4	6.7
5	粉砂粘壤	17	53	30	46.8	4.8	0.25	11.2	6.7
6	砂质壤土	63	22	15	27.6	4.3	0.25	10.1	6.4
7	砂质壤土	65	20	15	22.3	2.6	0.18	8.3	6.7
8	砂质粘壤	63	10	27	25.1	4.0	0.21	11.0	6.1
9	壤 土	48	30	22	34.9	5.1	0.27	10.9	6.4
10	壤质砂土	85	8	7	15.9	2.4	0.14	10.1	5.4
11	砂质壤土	66	20	14	27.1	4.7	0.25	10.8	6.3
12	砂质粘壤	67	10	23	32.6	4.5	0.23	11.5	6.2

注: 1) 在10KPa张力下的土壤水分。

短期培养试验: 采用Stanford et al.^[8, 7]的方法。预培1周, 淋失矿化氮后再培养2周

化学分析: 土壤及植物全氮用凯氏法^[9], 土壤有机质用Tinsley法^[10], 土壤潜在可矿化氮用KCl煮沸法^[11]。短期培养淋洗液及KCl煮沸浸取液中的 NH_4^+-N 及 NO_3^--N 用连续流动分析仪测定^[12]。

2 结果与分析

2.1 作物吸收氮与短期矿化氮的关系

回归分析表明, 作物吸收的氮素与培养2周所矿化的氮素(表2)有密切关系。用全部土壤计算, 大麦及黑麦草地上部分氮素, 黑麦草地上地下部分总氮素与矿化氮之间的相关系数分别为0.70, 0.88, 0.87, 均达1%显准。在供试土壤中10号为砂土, 矿化氮较少, 但可能由于生长在这种土壤上的作物根系发达(黑麦草根重远超过其它土壤), 吸收氮素较多而表现异常。为把10号抽掉计算, 则其间的相关系数分别为0.90, 0.93, 0.92, 表明了此种短期培养法对于预测土壤供氮能力的意义。

2.2 吸收氮与生长期间矿化氮的关系

作物生长期间可利用的氮素仅是生长期间矿化的氮素。后者可用氮素矿化势乘以矿化率计算出来。

土壤氮素矿化势(N₀)指按照一级化学反应动力学 $-dN/dt = KN$, 进行的易于矿化

表2 植株吸收的氮素及土壤有效氮

mg/盆

土 壤 编 号	植株中的氮素					土壤有效氮			
	大 麦	黑 麦 草			KCl法	短 期 培养法	氮 素 矿化势	矿化氮 ¹⁾	
		茎 叶	根	茎叶+根				大 麦	黑麦草
1	12.5	26.1	3.2	29.3	34.4	25.7	251.0	36.6	83.6
2	14.2	28.3	5.7	34.0	37.4	22.1	216.2	31.6	71.9
3	15.1	26.0	5.8	31.8	37.6	20.7	202.2	29.5	67.3
4	30.7	64.7	10.6	75.3	63.2	48.9	477.8	69.8	159.1
5	21.8	44.6	6.4	51.0	42.1	28.2	373.2	54.7	124.2
6	23.4	39.8	10.3	50.1	40.8	30.8	300.9	43.9	100.2
7	16.1	31.1	7.7	38.8	33.3	19.0	185.6	27.1	61.8
8	17.9	33.8	7.0	40.8	37.8	31.2	304.8	44.5	101.5
9	25.1	47.2	9.2	56.4	45.8	37.8	369.3	53.9	122.9
10	28.6	47.1	8.3	55.4	41.0	26.3	257.0	37.5	85.6
11	18.7	36.9	9.9	46.8	40.4	28.4	277.5	40.5	92.4
12	24.7	54.1	10.4	64.5	50.4	39.7	387.9	56.6	129.2

注: 1) 大麦、黑麦草矿化率分别用0.146, 0.333乘以氮素矿化势求得。

的有机氮。它反映了土壤供氮的潜在可能性, 是一种容量因子。为便于计算, 一般用其积分式

$$\log (N_0 - N_t) = \log N_0 - Kt / 2.303$$

式中: N_t ——经过一段时间(t)所矿化的氮素; K ——每周矿化率常数。

采用短期培养法时, 可把测得的 N_t 及 Stanford et al 通过长期培养求得的 N_0 值 (在35℃时为0.054) 代入上式求解, 得

$$N_0 = N_t / (1 - 10^{-Kt} / 2.303)$$

本试验在35℃培养2周 ($t = 2$), 故 $N_0 = 9.77$ 。用上式求出的土壤氮素矿化势见表2。

矿化率随温度和水分而改变^[13, 14]。本次盆栽维持了最适于矿化的土壤水分, 故氮素矿化率主要取决于温度。为符合实际情况, 我们根据实测温度, 应用 Arrhenius^[7] 方程 [$\log K = 7.71 - 2758 (1/T)$], 式中 K 为矿率, T 为绝对温度, 先计算出温室条件下每周矿化率 (表3); 再根据两种作物生长期分别算出其总矿化率。在本试验中, 大麦于第12周收获, 总矿化率为0.146; 黑麦草最后一次于第29周刈割 (实际生长28周), 总矿化率为0.333。

根据氮素矿化势及矿化率计算出的作物生长期间的矿化氮见表2。回归分析表明, 后者与作物吸收氮之间的关系更为密切; 用全部土计算, 大麦及黑麦草地上部分氮素, 黑麦草地上地下总氮素与其之间的相关系数为0.75, 0.89, 0.87; 抽掉10号土样, 则为0.91, 0.95, 0.92。这表明, 以这种方法计算出的作物生长期间的矿化氮, 能更好地反映土壤供氮水平。

表3 根据每周平均温度计算出的周矿化率

周次	周平均温度	周矿化率(K) ¹⁾	氮素矿化势 ²⁾	各周末 剩余的氮 素矿化势 ³⁾	周矿化量 ⁴⁾
1	13.7	0.012	100	98.8	1.2
2	13.6	0.012	98.8	97.6	1.2
3	13.3	0.012	97.6	96.4	1.2
4	13.5	0.012	96.4	95.2	1.2
5	13.6	0.012	95.2	94.1	1.1
6	13.2	0.012	94.1	93.0	1.1
7	15.3	0.014	93.0	91.7	1.3
8	16.3	0.015	91.7	90.3	1.4
9	15.0	0.014	90.3	89.0	1.3
10	15.0	0.014	89.0	87.8	1.2
11	14.5	0.014	87.8	86.6	1.2
12	15.0	0.014	86.6	85.4	1.2
13	16.5	0.015	85.4	84.1	1.3
14	16.4	0.015	84.1	82.8	1.3
15	15.2	0.014	82.8	81.6	1.2
16	19.4	0.019	81.6	80.0	1.6
17	19.8	0.019	80.0	78.5	1.5
18	19.0	0.019	78.5	77.0	1.5
19	17.6	0.017	77.0	75.7	1.3
20	16.0	0.015	75.7	74.6	1.1
21	17.6	0.017	74.6	73.3	1.3
22	16.5	0.015	73.3	72.1	1.1
23	15.9	0.014	72.1	71.1	1.0
24	13.9	0.012	71.1	70.2	0.9
25	11.6	0.010	70.2	69.5	0.7
26	12.9	0.012	69.5	68.7	0.8
27	13.3	0.012	68.7	67.9	0.8
28	17.2	0.017	67.9	66.7	1.2
29	17.1	0.017	66.7	65.6	1.1

注: 1) 根据每周平均温度, 利用公式 $\log K = 7.71 - 2758(\frac{1}{T})$ 求得。

2) 设起始土壤氮素矿化势为100, 其后行数值来自前行的3)列。

3) 由相应行中的2)-4)而得。

4) 由相应行中的1)×2)而得。

2.3 生长期间矿化氮与吸收氮的比值

多年来, 人们致力寻求一种测定值能够代表作物吸收值, 或与吸收值有确定关系的方法, 一直未能如愿。1981年, Whitehead^[11]发现, 用1MKCl煮沸法浸取出的铵、硝态氮之和与黑麦草6次刈割后所吸收的氮素数值相当, 并认为用此法可以定量地测出能被作物吸收利用的氮素。李生秀等^[15]的工作表明, 用此法测出的氮素虽与作物吸收氮有密切关系,

但其数值并不是1比1。很显然，在本试验中，作物吸收氮与计算出的矿化氮之间亦无此种关系，两者并不相等或近似。然而比较两种作物吸收氮（y）与计算出矿化氮（x）之间的相关方程（大麦为 $y = 5.62 + 0.35x$ ，黑麦草为 $y = 3.31 + 0.37x$ ），可以看出，其相关系数非常接近，说明其间有一种比较稳定的量的联系。这种联系还可从两种作物生长期间的矿化氮与吸收氮之间的比值（表4）看出：尽管两种作物生长期长短不同（黑麦草长达198天，大麦仅81天），吸收的氮素迥异（黑麦草吸氮量远大于大麦），计算出生长期间的矿化氮也差别很大，但矿化氮与两种作物吸收氮的比值却有着稳定性。就各个土壤来看，除个别外，同一土壤非常一致，不同土壤间也大多近似。就其平均值来看，大麦为2.23，黑麦草为2.12均接近2:1。各种土壤间比值的差异，很可能反映了土壤吸持养分的能力和作物由其上吸收养分的难易，也反映了影响作物根系发育、从而影响吸收量多寡的土壤物理性质。例如，

表4 矿化氮与作物吸收氮的比值

土壤编号	大 麦	黑 麦
1	2.93	2.85
2	2.23	2.11
3	1.95	2.12
4	2.27	2.11
5	2.50	2.44
6	1.88	2.01
7	1.68	1.59
8	2.49	2.49
9	3.01	2.18
10	1.31	1.55
11	2.17	1.97
12	2.29	2.00
平均	2.23	2.12

对黑麦草来说，比值最高的（2.85）是根系最少的（0.75g/盆）粘质1号土壤，最低的（1.55）却是根系最多的（1.75g/盆）砂质10号土壤。各土壤平均值接近2:1的事实似乎表明，作物吸收的氮素大约等于计算出的矿化氮的一半。这一结果为定量预报作物生长期利用土壤中的氮量提供了较为合理的计算依据。当然，本试验用的是两种吸收养分能力较强的作物，密度较大，会对矿化的养分充分利用，这与田间情况不同。在进一步肯定此种趋势后，还要根据田间的作物、温度、水分和根系分布的厚度来加以校正。

2.4 短期矿化氮与KCl煮沸浸取氮的关系

虽然利用短期培养法测定、计算土壤氮素矿化势，及作物生长期间的矿化氮比长期培养法的时间明显缩短，工作量大大减少，但比化学浸取方法仍逊一筹。为寻求可代替的化学方法，我们研究了短期培养后所矿化的氮素与1M KCl煮沸法所浸取的氮素之间的关系。计算表明，它们之间呈高度正相关：用每克土中的微克数来计算，其回归方程为 $\hat{y} = 0.93x - 6.97$ （式中y，x分别表示培养法与煮沸法测定值），相关系数为0.95；用每盆土的毫克数计算，其回归方程为 $\hat{y} = 0.98x - 11.34$ ，相关系数为0.93。回归系数接近于1表明，如果由KCl法测定的数据中减去常数项（相当于截距），则两者的量接近1:1，以上结果充分证明了这两种方法有同样价值。

参考文献

- 1 Bremner J M. Nitrogen Availability Indexes. IN Black C A. ed. Methods of Soil Analysis. Amer Soc Agron Madison, Wisconsin. 1965: 1324—1345
- 2 Hartman G W. Kolenbrander G J. Soil Inorganic Nitrogen. In Bartholomew W V, Clark F E. ed. Soil Nitrogen. Amer Soc Agron Madison, Wisconsin. 1965: 43—92
- 3 Hartman G W, Van Schreven D A. Mineralization of Organic Nitrogen in Soil. *Adv Agron* 1955; 7: 299—331
- 4 Jenkinson D S. Chemical Tests for Potentially Available Nitrogen in Soil. *J Sci Fd Agric* 1968; 19: 160—169
- 5 Stanford G, Legg J O. Correlation of Soil N Availability Indexes with N Uptake by Plants. *Soil Sci* 1968; 105 (6): 320—326
- 6 Stanford G, Smith S J. Nitrogen Mineralization Potentials of Soils. *Soil Sci Soc Am Proc* 1972; 36 (3): 465—472
- 7 Stanford G, Carter J N, Smith K A. Estimates of Potentially Mineralizable Soil Nitrogen based on Short-term Incubation. *Soil Sci Soc Am Proc* 1972; 38 (1): 99—102
- 8 Zadoks J C, Chang T T, Konzak C F. A Decimal Code for the Growth Stages of cereals. *Weed Research* 1974; 14: 415—421
- 9 Bremner J M. Total Nitrogen. In Black C A. ed. Methods of Soil Analysis. Amer Soc Agron Madison, Wisconsin. 1965: 1149—1178
- 10 Bremner J M, Jenkinson D S. Determination of Organic Carbon in soil. 1. Oxidation by Dichromate of Organic Matter in Soil and Plant Materials. *J Soc Sci* 1960; 11 (2): 392—402
- 11 Whitehead D C. An Improved Chemical Extraction Method for Predicting the Supply of Available Soil Nitrogen. *J Sci Fd Agric* 1981; 32: 359—365
- 12 Henrikson A, Selmer-Olsen A R. Automatic Methods for Determining Nitrate and Nitrite in Water and Soil Extracts. *Analyst* 1970; 95 (1130): 514—517
- 13 Stanford G, Epstein E. Nitrogen Mineralization-Water Relation in Soils. *Soil Sci Soc Am Proc* 1972; 38 (1): 99—102
- 14 Stanford G, Frere M H, Schwanninger D H. Temperature Coefficient of Soil Nitrogen Mineralization. *Soil Sci* 1973; 115 (4): 321—323
- 15 Li S, Smith K A. Evaluation of a Chemical Extraction Method for the Estimation of Potentially Mineralizable Nitrogen in Soils (Ready for Publication), 1983

STUDY ON SOIL NITROGEN MINERALIZATION POTENTIAL AS AN INDEX OF SOIL NITROGEN AVAILABILITY

Li Shengxiu

K.A.Smith

(Northwestern Agricultural University) (Edinburgh School of Agriculture)

Abstract

A pot and a short-term incubation experiments carried out with 12 soils covering a range of texture, organic matter, total nitrogen contents and C: N ratios show that plant uptake N was very well correlated with either N mineralized after a 2-week incubation or N mineralized during plant growth periods with stable ratios, which was calculated from soil N mineralization potentials. And it is worth noticing that the stable ratios of mineralized N estimated during plant growth periods to plant uptake N were found both for barley and for ryegrass. Also, the N mineralized after a 2-week incubation was highly correlated with N extracted by KCl, and the regression coefficient was approximately to 1. Both the short-term incubation and KCl methods provide a reasonable estimation of the nitrogen supplying capacities of soils.

Key words: S mineralization potential, Nitrogen availability index,
Short-term incubation, pot experiment