

旱地土壤氮素矿化强度及数量 预报模式的检验*

巨晓棠 李生秀

(西北农业大学资源与环境科学系, 陕西杨陵 712100)

摘 要 应用玉米、小麦田间试验检验了土壤氮素矿化强度及数量的预报值。土壤氮素矿化势 N_0 用培养试验所得的一级反应动力学方程求得, 对矿化常数 K 的温度校正, 比较了笔者建立的间歇淋洗加砂模型和间歇淋洗不加砂模型的适用性, 对矿化量的水分校正采用 Stanford 等人的研究结果。研究表明, 间歇淋洗不加砂模型能很好地预报玉米生长季的土壤氮素矿化强度及数量, 两种模型预报小麦生长季中的氮素矿化强度及数量均不理想, 这与小麦生长季土壤温度变化大、返青拔节期吸氮量剧增有关。

关键词 氮素矿化, 矿化强度, 矿化数量, 预报模式, 检验

中图分类号 S143.1, S158.3

定量研究土壤氮素矿化过程的主要目的是预测作物生长期土壤氮素的矿化强度及数量, 并将其纳入施肥量的考虑之中, 以防对施氮量估计过高^[1]。预报的可靠与否最终要通过生物试验来检验, 以往的研究主要用盆栽或模拟田间情况的方法, 虽简单易行, 但结果与田间情况难免有出入^[2,3]。本文用笔者建立的温度与矿化速率常数 K 的模式及一级动力学方程求得的土壤氮素矿化势 N_0 , 校正土壤水分因素后, 计算生育期内某段时间的氮素矿化总量, 并对预报结果用田间实测值进行检验, 为合理施用氮肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

土样采自西北农业大学农一站试验田。所采鲜样过 6 mm 筛, 充分混匀, 取分析样风干过 2 mm 筛, 分析其化学性质(表 1), 其余样品装入塑料袋在 -5℃ 冰柜中暂存, 用作培养试验。

表 1 供试土壤化学性质

样号	采样深度 (cm)	作物	化学性质				
			有机质 (g/kg)	全 氮 (g/kg)	C/N	硝态氮 (mg/kg)	铵态氮 (mg/kg)
1-1	0~20	小麦	12.5	1.09	6.67	6.70	—
1-2	20~40		10.4	0.98	6.17	5.58	0.76
1-3	40~60		7.6	0.71	6.22	4.43	—
2-1	0~20	玉米	13.0	1.01	7.48	13.63	5.61
2-2	20~40		10.1	0.97	5.99	7.19	0.91
2-3	40~60		7.6	0.78	5.66	0.35	3.04

收稿日期: 1995-06-30, 修改稿收到日期: 1996-05-15

* 国家自然科学基金资助项目。

1.2 田间试验

在西北农业大学农一站中等肥力土壤上进行,用于检验预报值与田间作物吸氮量和残留氮的附合程度。玉米试验于 1992 年 6 月 19 日播种,分别于 7 月 19 日(苗期),8 月 5 日(小喇叭口期),8 月 25 日(灌浆期),9 月 29 日(成熟期),10 月 7 日(收获期)均匀采取植株样品,按茎秆、籽粒分开称取鲜重和干重并取分析样,测定籽粒及茎秆含氮量;在采取植株样品的同时,按每 20 cm 分层采取 0~100 cm 的土样,用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KCl 溶液浸提,用连续流动自动分析仪测定鲜土中的硝态氮、铵态氮;生育期中每 3 d 用烘干法测定 0~20 cm 土壤含水量,计算周平均含水量;用地温计于每天早晨 9:30~10:00 测量 10 cm 处土温,计算周平均土温。小麦试验于 1992 年 10 月 12 日播种,按 $90 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 施 P_2O_5 (为保证播种均匀,采用点播法),分别于 1992 年 12 月 15 日,1993 年 2 月 15 日,3 月 14 日,4 月 13 日,5 月 17 日和 6 月 8 日均匀采取植株样及 0~60 cm 分层土样,测定小麦吸氮量及土壤硝态氮、铵态氮;土壤水分含量及土温的测定同玉米试验。玉米、小麦试验均重复 2 次,播前和试验中不施氮肥,不灌水。

2 结果及分析

2.1 旱地土壤氮素矿化预报参数及模式

土壤氮素矿化速率与氮素矿化势 N_0 成比例,可用一级反应动力学模式表示:

$$\frac{dN}{dt} = KN$$

上式积分取对数得 $\log(N_0 - N_t) = \log N_0 - Kt/2.303$

式中, N_t 为不同时间累积净矿化量; t 为矿化时间; K 为矿化速率常数。

Stanford 及后来的众多研究者用各自的实验数据对上式进行回归分析,在选定合适的 N_0 后, $\log(N_0 - N_t)$ 与 t 呈很好的直线关系,用不同时间所得的 N_t 与 t 值按一级动力学反应求 K 值,所得 K 为常数。从而证明了一级反应动力学模型描述土壤氮素矿化过程的正确性,为在理论上探讨土壤氮素矿化规律打下基础。用一级反应动力学模型对培养试验实验数据进行回归分析^[6](表 2),相关系数均达到 1% 的显著水准。

表 2 供试土壤氮素矿化量及矿化参数

样号	不同时间的累积矿化量(mg/kg)								矿化参数		
	7 d	14 d	28 d	42 d	63 d	84 d	112 d	140 d	N_0 (mg/kg)	K (d^{-1})	r
1-1	13.9	19.2	30.8	42.8	53.9	64.3	82.7	98.3	126.51	0.01008	0.9876
1-2	8.2	11.1	16.9	21.8	28.7	34.9	51.4	62.4	88.06	0.00812	0.9753
1-3	2.6	3.3	5.6	7.0	9.5	11.7	13.7	18.7	24.17	0.00922	0.9663
2-1	6.3	9.8	23.3	36.7	43.2	50.1	62.9	77.8	159.85	0.00491	0.9926
2-2	10.8	12.6	17.5	21.4	27.0	29.6	37.6	46.4	55.28	0.01089	0.9658
2-3	4.0	4.6	5.5	6.0	6.8	7.5	10.3	15.7	17.94	0.01078	0.8548

预报田间土壤氮素矿化时,必须用田间土壤温度校正矿化速率常数。Stanford^[7]采用间歇淋洗加砂培养法建立了温度与矿化速率常数 K 的关系,但此法给土壤微生物提供了良好的通气条件,在田间并不存在加砂情况。因此在建立温度与矿化速率常数 K 的关系时,本研究同时采用了间歇淋洗加砂培养和间歇淋洗不加砂培养,其模式为:

$$\text{间歇淋洗加砂培养} \quad \log K = 6.80 - 2497/T \quad (1)$$

$$\text{间歇淋洗不加砂培养} \quad \log K = 4.19 - 1817/T \quad (2)$$

式中, T 为绝对温度。

通过上式可求出周矿化速率 K 值。对这两种模式的预报结果与田间实测值的符合程度进行比较,表明模型(2)能很好的预报玉米生长季中的土壤氮素矿化强度及数量。

矿化氮量的土壤水分校正采用 Stanford 等人的结论^[8],相对矿化氮量与相对水分含量的关系接近 $y=x$,即:

$$\frac{\text{某一水分含量下的矿化氮量}}{\text{最适水分含量矿化氮量}} = \frac{\text{某一水分含量}}{\text{最适水分含量}}$$

据此可求出某一水分含量下的矿化氮量。

知道了 N_0 、周矿化速率常数 K 及周相对湿度,就可应用一级动力学方程的麦克劳伦展开式 $N_t = N_0 \cdot Kt$,求出周矿化氮量,即:

$$\text{第1周矿化氮量} = N_0 \cdot K_1 \cdot (B_1/A)$$

$$\text{第2周矿化氮量} = (N_0 - N_1) \cdot K_2 \cdot (B_2/A)$$

$$\text{第3周矿化氮量} = (N_0 - N_{1+2}) \cdot K_3 \cdot (B_3/A)$$

$$\text{余类推} \quad \dots\dots$$

式中, B_1, B_2, B_3 分别为第1,2,3周的土壤含水量; A 为最适水分含量。最后把几周的矿化氮相加,即为这段时间矿化氮的预测值(表3)。

表3 玉米小麦田间氮素矿化预测值

mg/kg

玉 米						小 麦					
日期 (日/月)		0~20 cm		20~60 cm		日期 (日/月)		0~20 cm		20~60 cm	
A	B	C	D	A+C	B+D	A	B	C	D	A+B	C+D
19/6				22.8	22.8	12/10*				16.7	16.7
19/7	13.9	6.6	5.4	43.1	32.4	15/12	6.9	4.6	6.2	29.8	25.5
5/8	8.9	4.1	4.1	56.2	38.4	15/2*	1.4	1.0	1.2	32.4	27.4
25/8	8.1	4.1	3.7	68.0	44.4	14/3	2.3	1.6	2.0	36.7	30.4
29/9	11.0	6.4	5.1	84.1	53.8	13/4	3.5	9.3	3.1	43.3	34.8
7/10	1.6	1.0	0.7	86.3	55.3	17/5	5.3	3.0	4.6	53.2	40.4
						8/6	3.7	2.1	3.3	60.2	44.4

注: A, C 为(1)式计算值; B, D 为(2)式计算值; * 为 1992 年的数值, 其余为 1993 年数值。

2.2 田间氮素矿化实测值的计算

在不施氮肥条件下种植作物,氮素输入主要包括土壤起始矿质氮,测定期间降雨带入的矿质氮以及土壤净矿化氮。氮素输出主要包括植物吸收的氮,淋洗出一定土层的矿质氮和测定时土壤残留的矿质氮。以一定土层深度的土体为研究对象,输入氮量应等于输出氮量^[9]。据李生秀等人的研究^[10,11],生育期降雨带入 0~60 cm 土体中的氮素约 0.53 mg/kg,与起始矿质氮和净矿化氮量相比,可以忽略不计。在旱作条件下,淋洗到 60 cm 以下的矿质氮量也很少,土壤矿质氮主要贮存在 0~60 cm 的土层中,因此得出下式:

$$N_{\text{净矿化量}} = N_{\text{植物吸收}} + N_{\text{剩余}} - N_{\text{起始矿质氮}} \quad (3)$$

式(3)右边 3 项田间试验时已测定,故可求出作物某段生育时间的净矿化氮量(表4)。

表 4 玉米小麦田间氮素矿化实测值 mg/kg

玉 米				小 麦			
日期 (日/月)	0~100cm 残留氮	吸氮量	Σ实测	日期 (日/月)	0~100cm 残留氮	吸氮量	Σ实测
19/6	22.8	0	22.8	12/10*	16.7	0	16.7
19/7	27.7	0	27.7	15/12*	12.4	17.9	30.3
5/8	28.2	10.2	38.4	15/2	26.7	21.5	48.2
25/8	21.8	27.7	49.5	14/3	30.4	26.7	57.1
29/9	20.4	31.1	55.3	13/4	17.8	65.0	82.8
7/10	19.8	28.9	48.7	17/5	5.5	60.5	66.0
				8/6	7.5	47.8	55.3

注：* 为 1992 年测定值，其余为 1993 年测定值。

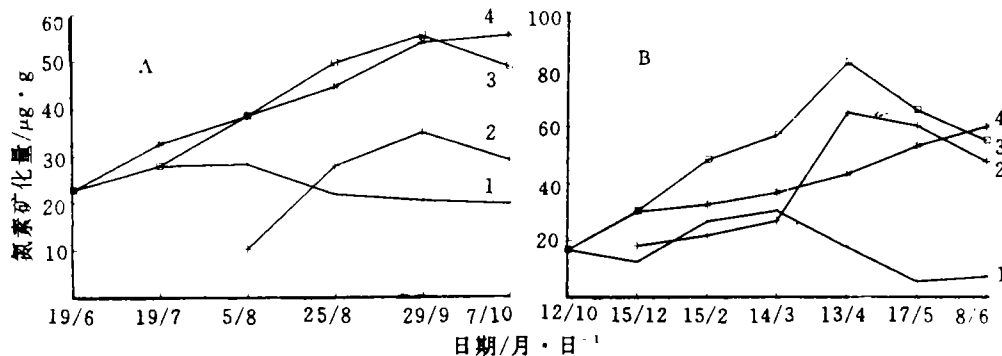
2.3 玉米田间氮素矿化预报值的检验

比较表 3,4 玉米田间氮素矿化预报值和实测值,进行回归分析得:

加砂培养模型 $N_{\text{实测}} = 10.02 + 0.51N_{\text{预测}}$ $r = 0.954^{**}$

不加砂培养模型 $N_{\text{实测}} = 0.078 + 0.98N_{\text{预测}}$ $r = 0.946^{**}$

可以看出,模型(1)的预报值(B+D)与实测值(E+F)虽然相关性很好,但绝对值显著高于实测值。模型(2)预报值与实测值的回归方程不仅常数很小,而且斜率接近于1(附图)。附图中(2)式计算的预报值与实测值吻合程度良好。原因在于(1)式在培养试验中加砂,加速了有机氮的矿化,通过地温计算的 K 值偏大,导致预报值过高,而(2)式的培养试验不加砂,计算的矿化速率符合玉米生长季节土壤氮素矿化的实际情况。



附图 玉米、小麦预测值与实测值比较

A. 玉米; B. 小麦; 1. 残留氮; 2. 吸氮; 3. 实测值; 4. 预测值

2.4 小麦田间氮素矿化预报值的检验

比较表 3,4 小麦田间氮素矿化预报值与实测值,进行相关分析得出下式:

加砂培养模型 $N_{\text{实测}} = 9.01 + 1.08N_{\text{预测}}$ $r = 0.721^{*}$

不加砂培养模型 $N_{\text{实测}} = -4.22 + 1.72N_{\text{预测}}$ $r = 0.750^{*}$

可见模型(1),(2)在预报小麦生育期的氮素矿化时,相关系数仅达到 5%的显著水准。这与小麦生育期长及生育期中土壤温度变化大有关。残留氮加小麦吸氮量远高于模

型(1)计算的预报值(附图),尤其在小麦拔节期(4月13日左右)偏差更大,该时期正是小麦吸氮的高峰期。如何正确地预报小麦生育期的土壤氮素矿化还需进一步探讨。

参 考 文 献

- 1 Stanford G. Assessment of soil nitrogen availability. in: Stevenson J F ed. Nitrogen in Agricultural Soil. Madison: Wisconsin, 1982
- 2 Stanford G, Legg O J, Smith J S. Soil nitrogen availability evaluations based on nitrogen mineralization potential of soils and uptake of labeled and unlabeled nitrogen by plants. Plant Soils, 1973(39):113~114
- 3 Smith S J, Yang L B, Miller G E. Evaluation of soil nitrogen mineralization potential under modified conditions. Soil Sci Soc Am J, 1977, 41:74~76
- 4 Stanford G, Smith S J. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci Am Proc, 1972, 36: 465~472
- 5 Marian G, Kummerow M J, Miller P C. Predicting nitrogen mineralization in Chaparral soils. Soil Sci Soc Am J, 1981, 41:951~961
- 6 巨晓棠, 李生秀. 土壤氮素矿化势(N_0)与土壤全氮的关系. 西北农业学报, 1995, 4(增刊):69~72
- 7 Stanford G, Frere M H, Schwaninger D H. Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization. Soil Sci, 1973, 115:321~323
- 8 Stanford G, Epstein E. Nitrogen mineralization water relations in soils. Soil Sci Soc Am Proc, 1974, 38:103~106
- 9 Saito M, Ishii K. Estimation of soil nitrogen mineralization parameters. Soil Sci Plant Nutr, 1987, 33:555~566
- 10 李生秀, 寸待贵, 高亚军等. 黄土旱塬降水向土壤输入的氮素. 干旱地区农业研究, 1993, 11(增刊):83~91
- 11 胡田田, 李生秀. 土壤剖面中的起始 NO_3^- -N——可靠的土壤氮素有效性指标. 干旱地区农业研究, 1993, 11(增刊):74~82

Checking upon Models of Predicting the Intensity and Quantity of Nitrogen Mineralization on Dryland

Ju Xiaotang Li Shengxiu

(Department of Natural Resources and Environment Protection, Northwestern Agriculture University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract The predicting values of the intensity and quantity of nitrogen mineralization were checked up with maize, winter wheat plot experiment in fields. The soil mineralizable nitrogen potential(N_0) was calculated from first-order dynamic equation. The suitability of two models of nitrogen mineralization ratio constant (K) affected by soil temperature that we have set had been compared. The results of Stanford et al. for quantity of nitrogen mineralization affected by soil moisture were used. As the results showing, the model of leaching at intervals without sands was good for predicting the intensity and quantity of nitrogen mineralization in maize growing season and both of the models were not good for winter wheat because the variation of soil temperature was big and the quantity of nitrogen uptaking sharply increased in the period of returning growth.

Key words N mineralization, the intensity of mineralization, the quantity of mineralization, predicting models, checking upon.