

稻田土壤氮矿化类型与氮肥效应*

高家骅 章云 黄东迈

(江苏省农科院土壤肥料研究所)

吴敬民 潘遵谱

(太湖地区农科所)

近年来许多研究工作指出:水稻一生所需的氮素主要来自土壤。一些研究还注意到,土壤有机氮的矿化强度、容量及矿化类型与水稻生长有密切的关系^[1,4]。只有弄清土壤的供氮特征,才能通过施肥技术,协调土壤供氮和水稻需氮之间的供求关系,达到合理施肥和稳产高产的目的。

本工作希望用实验室培养方法,测定土壤氮素矿化量及其累积曲线类型,研究其与田间试验中水稻产量、吸氮量及氮肥效应的关系,为预测土壤供氮水平和因土施肥技术提供依据。

一、方法与材料

土壤氮素矿化研究采用淹水密闭培养法^[6-8]:称取通过1毫米孔径筛的风干土样10克,放入 $\phi 18 \times 100$ 毫米的平底试管中,徐徐加入10毫升蒸馏水,并赶去土样中气泡,水面约高出土面1厘米左右,用橡皮塞密封管口,然后将此装有土样的试管置于恒温30°C的培养箱中。每个土样称14管,分别于0、1、2、4、6、8、10、12周测定土壤代换性 NH_4^+-N 量。每次测定取二管,以2N KCl提取,振荡半小时,过滤后吸取定量滤液加氧化镁蒸馏进行平行测定。

供试土样采自苏州地区早稻氮肥试验网和土壤供氮水平试验各田块,包括苏州地区几种主要水稻土类型。各试验土壤的性状列于表1。

氮肥试验和土壤供氮水平试验的具体试验设计已另有报告^[1,4,9]。

二、结果与讨论

(一) 土壤氮素矿化量与早稻吸氮量和产量的关系

应用培养法测得各培养时期的矿化氮量(减去原始土样矿质氮含量),可代表土壤潜在的供氮能力^[3,10]。现将用淹水密闭培养法测得的各试验田土壤1至12周各期的氮素矿化量,与各试验田的无氮肥区早稻吸氮量(未包括根系在内)和稻谷产量的相关系数列于表2和3。

* 本工作的田间试验与原苏州地区化肥试验网有关县、社、队共同进行;整个工作得到省农科院农业现代化研究所的支持和省土肥所化肥研究室的协助。

表 1 土壤性状

Table 1 Soil characteristics

年份 Year	代号 No.	地点 Locality	土壤 Soils	粘粒 Clay		pH 值 (H ₂ O)	有机质(%) O.M.	全氮(%) Total nitrogen	碱解氮(毫克/100克土) Alkali hydrolyzable-N
				<0.01mm	<0.001mm				
1980	80-1	苏州地区	所黄泥土	58.80	27.77	6.30	2.84	0.170	22.5
	80-2	吴县 望亭	白 土	53.66	20.39	6.80	2.67	0.151	18.5
	80-170	无锡 东亭	黄泥土	50.06	22.55	5.84	2.54	0.166	20.7
	80-171	无锡 埭桥	黄泥土	43.34	11.99	7.22	1.80	0.139	15.2
	80-172	无锡 友谊	黄泥白土	46.46	14.51	6.16	2.21	0.137	17.7
	80-173	吴县 夏家	青泥土	56.48	28.55	5.76	2.71	0.173	20.1
	80-175	昆山 茜灯	青黄土	36.62	8.41	7.90	1.79	0.123	13.1
	80-176	常熟 大义	小粉白土	41.42	20.65	5.58	2.21	0.127	13.4
	80-179	江阴 桐岐	乌山土	48.94	13.85	7.45	3.00	0.182	20.2
	80-180	沙洲 乐余	沙壤土	30.52	12.69	8.26	1.66	0.096	10.2
1981	81-10	无锡 东亭	黄泥土	48.95	21.49	6.25	2.02	0.106	13.3
	81-11	无锡 埭桥	黄泥土	47.38	12.43	7.21	2.35	0.125	13.5
	81-12	无锡 友谊	黄泥土	45.73	12.52	6.52	2.74	0.143	17.0
	81-13	无锡 张泾	白 土	46.21	12.53	6.29	1.81	0.118	14.1
	81-14	吴县 陆墓	黄泥土	50.74	12.44	7.11	3.28	0.200	21.8
	81-15	吴县 越溪	黄泥土	59.70	25.59	6.26	2.64	0.159	18.9
	81-16	吴县 夏家	青黄土	53.32	23.99	6.26	3.09	0.173	22.1
	81-17	吴县 望亭	白 土	48.06	14.35	6.40	2.44	0.155	18.3
	81-18	吴县 金山	黄泥白土	51.10	18.39	6.26	2.50	0.168	19.3
	81-19	常熟 兴隆	黄泥土	56.72	5.64	6.88	2.62	0.174	17.7
	81-20	江阴 桐岐	乌山土	49.22	2.67	7.20	2.37	0.164	17.3
	81-21	沙洲 乐余	沙壤土	30.21	3.93	8.20	1.34	0.099	10.1
	81-22	吴江 震泽	青紫泥	43.36	4.11	5.54	3.29	0.200	21.6
	81-23	吴江 铜罗	青紫泥	56.06	16.07	6.24	3.69	0.218	20.6
81-24	吴江 八都	青泥白土	44.42	18.27	6.22	2.90	0.168	19.6	

表 2 各周的土壤氮素矿化量与早稻吸氮量间相关系数(r 值)Table 2 Correlation coefficients (r) between amount of soil N mineralized during different period of incubation and the N uptake by early rice

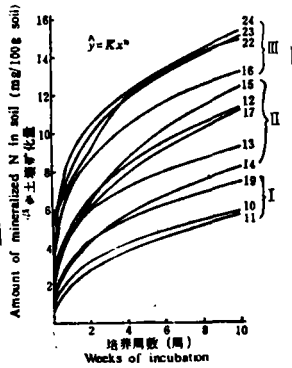
年份 Year	土 壤 Soils	样品数 (n) No. of samples	培 养 周 数 Weeks of incubation						
			1	2	4	6	8	10	12
1980	囊水型和非囊水型水稻土	10	0.7916**	0.7282*	0.7258*	0.7601*	0.7587*	0.7181*	0.7098*
	囊水型和非囊水型水稻土	14	0.0166	0.1536	-0.0095	0.1040	0.0962	0.1244	0.0563
1981	非囊水型水稻土	10	0.5558	0.7070*	0.5305	0.5552	0.5595	0.4773	0.4723
	囊水型水稻土	3	0.2691	0.9999**	0.9375	0.9002	0.9870	-0.8125	0.6573
1980	非囊水型水稻土	20	0.6777***	0.7164***	0.6903***	0.7067***	0.6831**	0.6524**	0.6511**
1981	囊水型水稻土	3	0.2691	0.9999**	0.9375	0.9002	0.9870	-0.8125	0.6573

注(1) 1981年夏家青泥土属过渡类型,未统计在内; (2) *为 $P < 0.05$ 相关显著; (3) **为 $P < 0.01$ 相关显著; (4) ***为 $P < 0.001$ 相关极显著。

差些,对非囊水型水稻土来说,其中亦以培养 1、2 及 8 周的矿化量与水稻产量间的相关性较好。通过土壤有效积温的概念(培养温度 $T - 15^{\circ}\text{C}$ 的日累积量),将矿化培养期与大田水稻生育期联系起来(表 4),可以清晰地看出:室内土壤矿化培养 1 和 2 周的有效积温,分别相当于大田早稻的分蘖盛期及幼穗分化期的田间土壤有效积温;土壤矿化培养 8 周的有效积温,则接近于大田早稻整个生育期的土壤有效积温。骤看起来,似乎这正好说明土壤矿化氮量,特别是培养 1、2 周时的矿化氮量为何与水稻吸氮总量或产量密切相关,因为众所周知,前期土壤供氮量的多少,对早稻早发和增穗增粒,提高产量有着重要的意义。但是应当注意到,由于本试验中采用的是风干土,因此,培养的矿化氮量与有效积温的关系与大田情况下并不完全相同。无论如何,上述结果表明,用培养 1 周的土壤氮素矿化量作为评价土壤氮素有效肥力的指标是可行的,近期一些学者也曾得到类似的结果^[3,9]。当然,对于囊水型水稻土来说,这一点还有待验证。

(二) 土壤氮素矿化量累积曲线与氮肥效应曲线的关系

通过培养法,获得土壤氮素矿化量累积曲线及其回归方程。经验公式(1)为 $y_1 = Kx^n$, 其中 K 和 n 是常数项, x 为培养周数, y_1 为各周矿化氮累积量(减去原始土样矿质氮含量),各土壤的曲线如图 1 所示。



注:图中数字为土样代号
图 1 土壤氮素矿化量累积曲线(1981)
Fig. 1 Accumulation curve of N mineralization in soil

曲线表征土壤氮素的矿化强度(即曲线斜率,尤其是初始期的斜率)和矿化容量(即曲线上升高度),其中矿化强度尤为重要^[3,10]。Harmsen 等曾把曲线划分为四种类型。从图 1 可见:在苏州地区,非囊水型水稻土大都属于氮素矿化强度和容量较低的(代号 I)或适中的类型(代号 II);而囊水型水稻土(青紫泥)则属于偏高的类型(代号 III)。但是,如前所述,图 1 中的矿化曲线都包括了土样的风干效应在内,因此,在据以评价土壤时应予以充分注意。

出井和鬼鞍等在上述回归方程(1)中引入土壤有效积温概念^[7,8],经验公式(2)为 $y_2 = K[(T-15)D]^n$, 其中 T 为培养时温度($^{\circ}\text{C}$), D 为培养天数, y_2 为各期培养累积矿化氮量,实测矿化量需减去预培处理(2—4 周)的矿化氮量^[6-8](本文大部份土壤采用减去二周预培处理,青紫泥为四周预培处理),如图 2 所示。应用这种公式及其曲线能较好地评定土壤供氮的早发和晚发性。

土壤氮素矿化类型的不同,必然会影响到水稻的生产,以往文献大都局限于土壤矿化氮量与无氮区水稻吸氮量、产量间关系的论述,对与氮肥的水稻产量效应关系研究甚少。潘遵谱等曾将氮肥的早稻产量效应曲线(以下简称氮肥效应曲线)分成良效高限型(I)、低效低限型(II)及良效低限型(III)等三大类^[5]。仔细研究图 1 及 2 与三类氮肥效应曲线相对应,可见图 1 的土壤氮素矿化量累积曲线($y_1 = Kx^n$)也可划分成三个组合;而图 2 与氮肥效应曲线则无明显的对应关系。三个组合中三种曲线的常数项变异系数的统计表明(见表 5),氮肥效应曲线的三组类型中常数项变异系数在 6—29% 之间; $y_1 = Kx^n$ 矿化量累积曲线的常数项变异系数在 5—37% 之间,与氮肥效应曲线相似; $y_2 = K[(T - 15)D]^n$

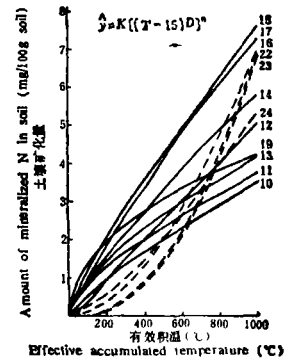
曲线的常数项变异系数却为 16—167%。因此, 下面我们将着重考查土壤氮素矿化量累积曲线 ($\hat{y}_1 = Kx^n$) 与氮肥效应曲线间的联系, 进而探讨土壤供氮及其与因土施肥的关系。

氮肥效应曲线以式(3) $\hat{y}_2 = a + bx + cx^2$ 表达, 其中 a 值为水稻基础产量, 表明该土壤自然供氮的生产力; b 值的大小, 表明水稻在该土壤供氮状况下, 对增施氮肥的效应大小; c 值为负数, 表明施氮水平增大时, 由于其他生长因素的不平衡, 影响其增产效益上升的程度; 极限施肥量 $x_{max} = -\frac{b}{2c}$, 如超过这一施肥

量, 产量趋于下降。

兹将 1981 年试验田的矿化量累积曲线与氮肥效应曲线相对应的三类组合各常数平均值制作成图 3。

图 3 (I) 类的组合, 矿化量累积曲线属于强度和容量都比较低, ($K = 2.772 \pm 1.027$, 培养 8 周的 $\hat{y}_1 = 5.88 \pm 0.95N$ 毫克/100 克土), 表示土壤供氮能力较差的类型。其对应的氮肥效应曲线



注: 图中数字为土样代号

图 2 土壤氮素矿化量累积曲线(1981)

Fig. 2 Accumulation curve of N mineralization in soil

表 5 不同曲线常数项的变异系数比较

Table 5 Comparison of the variation coefficients derived from different parameters

组合类型 Combination patterns	项目 Item	氮肥效应曲线 Nitrogen efficiency for early rice ($\hat{y}_2 = a + bx + cx^2$)				土壤氮素矿化量累积曲线 Accumulation curve of N mineralization in soil							
		a	b	c	$-\frac{b}{2c}$	$\hat{y}_1 = Kx^n$				$\hat{y}_2 = K[(T-15)D]^n$			
						K	n	培养 8 周矿化量(毫克/100 克土)		K	n	培养 8 周矿化量(毫克/100 克土)	
								实测值	计算值			实测值	计算值
I	平均值(\bar{x})	535.7	6.61	-0.0406	81.8	2.722	0.368	5.81	5.88	0.070	0.650	3.62	3.40
	标准差(S)	34.4	1.40	0.0089	5.20	1.027	0.089	0.89	0.95	0.071	0.581	0.41	0.43
	变异系数(CV%)	6.42	21.10	21.92	6.40	36.80	24.18	15.33	16.17	110.00	89.38	11.33	12.65
II	平均值(\bar{x})	690.1	2.42	-0.0219	59.1	4.691	0.350	9.90	9.60	0.0211	0.853	5.10	5.15
	标准差(S)	54.7	0.53	0.0059	6.4	0.771	0.100	1.34	1.09	0.0151	0.139	1.35	1.26
	变异系数(CV%)	7.93	21.90	26.94	10.82	16.44	28.57	13.56	11.33	71.56	16.07	26.47	24.47
III	平均值(\bar{x})	633.6	4.62	-0.0412	56.3	8.219	0.247	14.45	13.77	0.0000436	2.004	4.87	4.78
	标准差(S)	40.1	1.32	0.0118	5.6	0.692	0.013	0.80	0.89	0.000073	0.838	0.43	0.20
	变异系数(CV%)	6.33	28.57	28.64	9.95	8.42	5.22	5.54	6.45	167.43	19.16	8.83	4.18

为低基础良效高限型,即 a 值较小(535 斤/亩左右), b 值大;极限施肥量高(81.8 ± 5.2 斤/亩硫酸左右)。白土、砂壤土以及中等偏下的黄泥土(包括黄泥白土)大都属此类。

图 3 (II) 类的组合,矿化量累积曲线属土壤氮素矿化强度和容量都适宜 ($K = 4.691 \pm 0.771$, 培养 8 周的 $\hat{y}_1 = 9.596 \pm 1.087N$ 毫克/100 克土),表示土壤供氮能力优良的类型。其对应的氮肥效应曲线为高基础低效低限型,即 a 值大(690 斤/亩左右), b 值小;极限施肥量也较低(59.1 ± 6.4 斤/亩硫酸左右);且 c 值最小,表明稳肥性能较好,容易达到少肥高产。黄泥土、青黄土以及肥力较高的黄泥白土,鱗血白土等大都属此类。

图 3 (III) 类的组合,从矿化量累积曲线看属于土壤氮素矿化强度和容量都偏高的类型,但由图 2 可见,这类土壤具有晚发特性。所以,其对应的氮肥效应曲线表现为高效低限特殊型。由于前期土壤供氮能力较差,所以它的 a 值偏低(633 斤/亩左右), b 值较(II)类的大;又由于其后期土壤供氮过猛,因此极限施肥量偏低(为 56.3 ± 5.6 斤/亩硫酸左右),且 c 值最大(当施肥稍有超过极限量,稻谷产量即陡降),是早稻高产栽培中较难调节

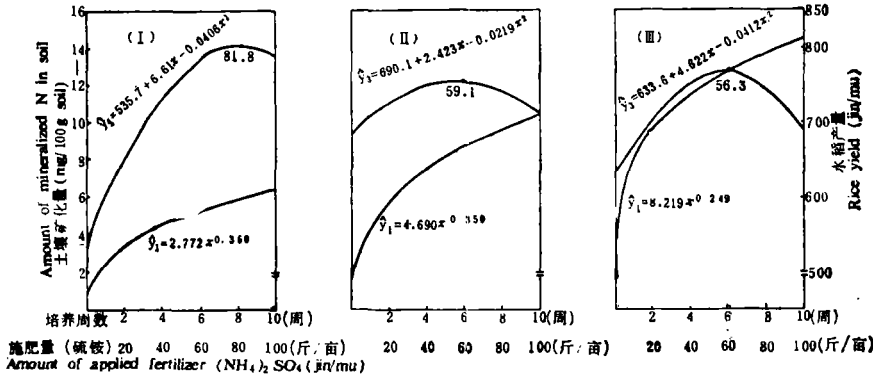


图 3 土壤氮素矿化量累积曲线(y_1)与早稻氮肥效应曲线(y_2)

在三个类型组合中对应图(1981 年)

Fig. 3 The curve of the effect of fertilizer N on early rice (y_2) and the curve of accumulation of mineralized N in soil (y_1) for three groups of paddy soils

掌握的土壤。一般囊水型水稻土如青紫泥、青泥土、青泥白土等都属此类。

鉴于上述两种曲线间具有相对应的关系,我们对此二个回归方程中某些常数项进行了相关分析。根据 1981 年的资料, K 值与 a 值呈直线正相关,其中非囊水型水稻土经验公式为 $a = 396.9 + 59.2K$, $r = 0.7836^*$; 囊水型水稻土为 $a = 295.6 + 41.1K$, $r = 0.7005$ 。而土壤培养 8 周矿化氮量(计算值)与极限施肥量间呈极显著负相关,其经验公式为 $x_{max} = 91.04 - 2.7y_c$ (y_c 代表土壤培养 8 周矿化氮累积量计算值) $r = 0.7425^{**}$ 。这说明进一步探讨二个回归方程中常数项间的关系,将有可能通过测定氮素累积矿化量求得氮肥效应的有关参数项,为测土施肥提供新的途径。

(三) 土壤氮素矿化过程与土性评价及其与早稻穗肥施用的关系

土壤氮素矿化过程不同,施肥方法及其效果将因之而异。出井和鬼鞍指出,根据经验式(2)中指数“ $n < 1$ ”或“ $n > 1$ ”来判断某种土壤属于早发或晚发性。然而,这尚未阐明土

壤氮素矿化过程中的全部函数,将经验式(2)微分,即获得土壤氮素矿化速率公式(4)为 $l = K \cdot n[(T - 15)D]^{n-1}$,在双对数纸上绘成直线图象(图 4),其直线回归方程(5)为:

$$\lg l = (\lg K + \lg n) + (n - 1) \lg [(T - 15)D]$$

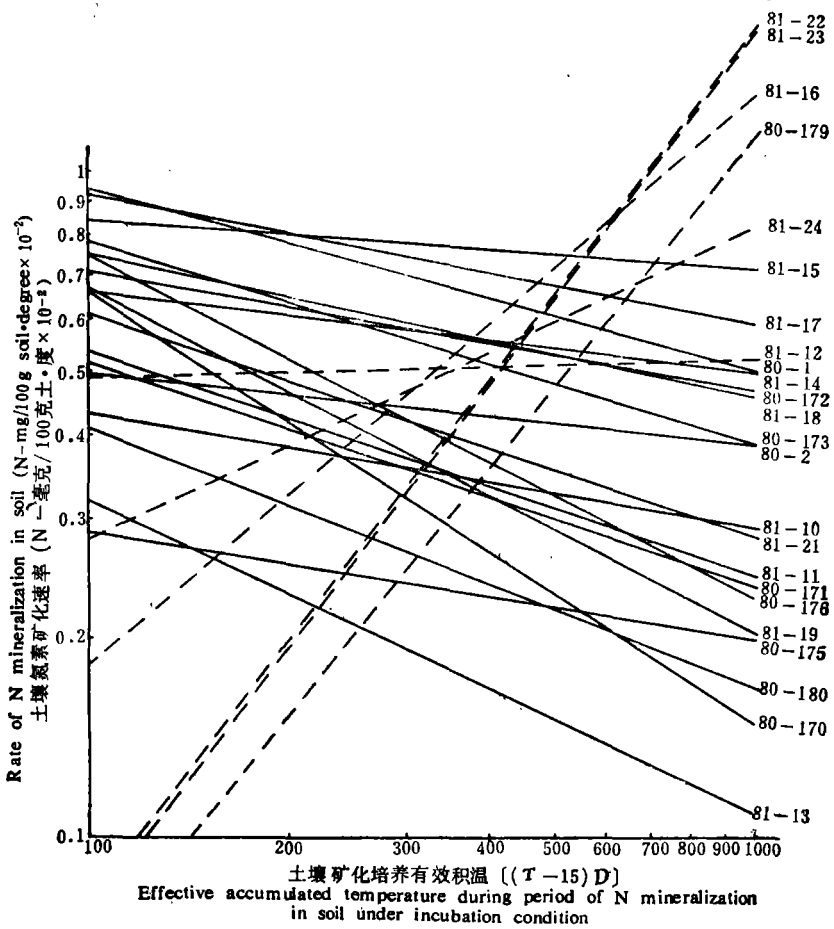


图 4 土壤氮矿化速率(图中 81-22 等分别为年分和土样代号)

Fig. 4 Rate of N mineralization in soil

由此可知, $(n - 1)$ 为直线方程的斜率,它不仅决定土壤的早发或晚发性,而 $|n - 1|$ 值则指出速率强度。至于土壤初期土壤氮矿化强度是否能满足早稻早发的需要,还要视(4)式中常数项 $(K \cdot n)$ 的乘积,即矿化速率起始点的大小而定。

根据两年来多点测定结果(见图 4),可以清楚地将苏州地区主要水稻土按氮素矿化过程分为两大类型。大多数平田地区的黄泥土、黄泥白土、白土、青黄泥及沿江砂壤土等属于早发田 $(n < 1)$ 。而囊水型的青紫泥、青泥土,青泥白土及乌山土等,都属于晚发田 $(n > 1)$ 。生产经验表明,穗肥的效果在早发田和晚发田上有所不同。从 1981 年的氮肥试验结果来看(表 6),虽然,在早发型 $(n > 1)$ 土壤上,施用穗肥有增加水稻产量的趋势,在晚发型 $(n < 1)$ 土壤上则有减产的趋势,但是,产量差异大都未达显著水准。可能穗肥

表 6 土壤氮素过程类型(n 值)与早稻施穗肥的关系(1981年)

Table 6 Patterns of soil N mineralization process in relation to the response of early rice to N dressed at panicle differentiation stage

地 点 Locality	土 壤 Soil	n 值 n value	稻谷产量(亩) Yield (mu)		产量增减 (斤/亩) Increase or decrease in yield	矿化过程类型 Patterns of mineralization process
			基施硫酸 40斤/亩	基施硫酸 40斤/亩+ 穗肥硫酸 10斤/亩		
东 亭	黄泥土	0.821	780.8	808.3	+27.5	$n < 1$
埭 桥	黄泥土	0.652	782.8	780.0	-2.8	
张 泾	白 土	0.662	810.0	800.0	-10.0	
陆 墓	黄泥土	0.852	740.0	732.3	-7.7	
越 溪	黄泥土	0.923	722.3	746.7	+24.4	
望 亭	白 土	0.800	696.0	723.0	+27.0	
金 山	白 土	0.766	766.8	816.0	+49.2	
兴 隆	黄泥土	0.476	664.0	709.2	+45.2*	
乐 余	砂壤土	0.661	712.3	800.0	+87.7 [△]	
友 谊	鱗血黄泥土	1.027	841.7	818.6	-23.1	$n > 1$
夏 家	青黄土	1.848	722.3	704.3	-18.0	
桐 岐	乌山土	1.344	700.8	683.9	-16.9	
铜 罗	青紫泥	2.317	790.8	750.8	-40.0	
震 泽	青紫泥	2.316	846.8	842.8	-4.0	
八 都	青泥白土	1.536	730.8	757.2	+26.4	

注: *为均数的差数,大于 LSR5% 为差异显著。

效果不仅与土壤供氮特点有关,而且还和前期氮肥施用量和管理措施有关。

小 结

本试验测定并探讨了苏州地区水稻土壤氮素矿化曲线回归方程与早稻氮肥效应曲线有关参数项间的相互关系,目的在于为评价土壤氮素肥力与合理施肥提供依据。

通过对土壤氮素矿化量累积曲线($y_1 = Kx^n$)与氮肥效应曲线($y_2 = a + bx + cx^2$)的比较,发现两种曲线均可分成三种类型的对应组合。相关分析指出,上述两个经验式中的参数“ K ”与“ a ”间存在着显著正相关;土壤培养 8 周的矿化氮量与氮肥效应曲线中的极限施肥量 $\left| -\frac{b}{2c} \right|$ 之间存在极显著的负相关。这表明有希望通过土壤矿化量累积曲线的测定,预测田间早稻的氮肥效应曲线类型、基础产量及其极限氮肥施用量。

根据出井和鬼鞍提出的土壤氮素矿化过程曲线经验公式 $y_3 = K[(T - 15)D]^n$, 评定了本区主要类型水稻土的土性,囊水型的青紫泥、青泥土及乌山土大都属于晚发型 ($n > 1$), 平田地区的黄泥土、黄泥白土、白土、青黄土及沿江砂壤土大都属于早发型 ($n < 1$)。这与农民的实际经验相符。

参 考 文 献

- [1] 朱兆良、陈荣业、徐永福、徐银华、张绍林, 1979: 苏州地区平田黄泥土氮素供应过程的特点及其与氮肥施用方法的关系。土壤学报第16卷2期, 218—233页。

- [2] 江苏省农科院土肥所、苏州地区农科所, 1981: 苏州地区氮素化肥合理施用研究, I. 前季稻氮肥用量和方法。江苏农业科学, 第 1 期, 1—9 页。
- [3] 周鸣琮, 1978: 土壤速氮测定的矿化率法。土壤农化参考资料, 第 5 期, 25—37 页。
- [4] 高家骅、黄东迈、吴敬民、潘遵谱, 1982: 太湖平田地区黄泥土、白土供氮特性研究。江苏农业科学, 第 7 期, 33—38 页。
- [5] 潘遵谱、尤德敏、万传斌, 1982: II 再论前季稻氮肥用量和用法。江苏农业科学, 第 5 期, 15—23 页。
- [6] 蔡贵信、张绍林、朱兆良, 1979: 测定稻田土壤氮素矿化过程的淹水密闭培养法的条件试验。土壤, 第 6 期, 234—240 页。
- [7] 出井 嘉光, 1975: 水田における有機物の集積と分解。日本土壤肥科学杂志, 第 46 卷第 7 号, 251—254 页。
- [8] 鬼鞍 丰、吉野 乔、前田 乾一, 1975: 稻作期における土壤窒素の有効化過程。日本土壤肥科学杂志。第 46 卷, 第 7 号, 255—259 页。
- [9] Chang, S. C., 1978: Evaluation of the fertility of rice soil. in "Soils and Rice", International Rice Research Institute, p 521-542.
- [10] Harmsen, G. W, Lindenbergh, D. J., 1949: Investigations on the nitrogen nutrition of plants. Plant and Soil, 2: 1—29.

NITROGEN MINERALIZATION PATTERN AND NITROGEN EFFICIENCY IN PADDY SOIL

Gao Jiahua, Zhang Yun and Huang Dongmai

(*Institute of Soil and Fertilizer, Jiangsu Academy of Agricultural Science*)

Wu Jingmin and Pan Zunpu

(*Tai Hu Institute of Agricultural Science*)

Summary

In this paper the relationship between the parameters of the regression equation of nitrogen fertilizer efficiency for early rice plant, $\hat{y}=a+bx+cx^2$, and those of the equation of accumulated mineralized nitrogen curve, $\hat{y}=Kx^n$, is discussed. Experimental results showed that there were three couples of curve derived from the equations which revealed similar trends in three groups of paddy soil. Results also showed that a significant correlation existed between the parameters "K" and "a", as well as between the amount of soil nitrogen mineralized through eight weeks incubation and the amount of maximum nitrogen application described by $-\frac{b}{2c}$. It is suggested that the

characteristics of N response curve and the maximum amount of N application for early rice could be predicted through the determination of nitrogen mineralization by incubation method.

From the equation of $\hat{y}=K[(T-15)D]^n$ proposed by Yoshino & Dei who introduced the concept of the summation of the effective temperature to the estimation of nitrogen mineralization, two patterns of N mineralization process were distinguished by the authors according to the exponent "n" smaller or greater than one, i.e. the soils such as permeable paddy soil and stagnating paddy soil with $n < 1$ on which the rice plant is well developed at early growing stage and those such as waterlogged paddy soil with $n > 1$ on which the rice plant is well developed at late growing stage. It seems that dressing at panicle differentiation stage for early rice plant on the soil with the exponent "n" smaller than one is advantageous.