

农田养分再循环研究

I. 某些有机物料养分的有效系数

鲁如坤 时正元

(中国科学院南京土壤研究所)

前文^[1]提到养分再循环是建立持久农业的重要内容。在这方面至少需要解决两大问题：即建立以养分再循环为基础的施肥制度和农业废物施用时的环境问题。在建立以养分再循环施肥制度中，一个重要问题是如何确定在有机无机肥料配合施用，化肥的合理用量。本文希望在这方面进行一些探索。为了能有一个大体的数量指标，为此我们提出“有机肥养分有效性系数”的概念(Nutrients Availability Index of Organic Manure)，简称NAI。它的定义是：每提高一个单位的土壤有效养分所需要加入的有机肥料养分总份数。即

$$NAI = \frac{Q}{A - B} \dots\dots\dots(1)$$

式中 Q——随有机肥加入的养分总量 (mgkg⁻¹)；A——加有机肥后土壤中有效养分水平(mgkg⁻¹)；B——原土不加有机肥培育时的土壤有效养分水平(mgkg⁻¹)。

这一系数需要通过实验室培育试验得到。根据这一系数，就有可能计算出有机无机肥料配合施用化肥的适宜用量。

一、材料和方法

(一)有机物料种类及制备

选用稻草、花生藤、油菜秸及籽实加工榨油后的花生饼、菜籽饼等5种有机物。它们均采自江西鹰潭。各种有机物先剔除杂质，风干后在70—80℃鼓风干燥箱中烘干。经干燥的样品磨碎，过筛(孔径0.5mm)，混匀后备用。

(二)供试土壤

为酸性的红壤和石灰性的潮土耕层表土，基本农化性质列于表1。

表1 供试土壤的基本农化性质

土 壤	采集地点	pH	有机质	全氮(N) (gkg ⁻¹)	全磷(P)	Olsen-P	NH ₄ OAc-K (mg kg ⁻¹)
红 壤	江西鹰潭	4.9	8.8	0.51	0.22	1.1	79
潮 土	河南封丘	8.8	8.7	0.57	0.63	3.0	75

(三) 培育试验

称取100克通过1mm筛的风干土于100ml烧杯中，再按试验处理加入供试有机肥1克，充分混匀，在60%田间持水量条件下室温培育。另设不施肥和NPK处理(N、P₂O₅、K₂O量为0.016克/杯，即160mgkg⁻¹)作对照。培育至1、3、6个月时采样，分别测定土壤的有效养分量(氮用2molL⁻¹KCl浸提，磷用Olsen法，钾用NH₄OAc法)。

试验处理如下：

(1) 0, (2) NPK, (3) 稻草, (4) 花生藤, (5) 花生饼, (6) 油菜秸, (7) 菜籽饼。

供试有机物的养分含量列于表2。可以看出,各种有机物的水溶性钾占全钾的70%以上,而水溶性磷除两种饼肥在10%左右外,其他秸秆类有机物中水溶磷占全磷的50%以上。

按试验条件,随有机物加入的养分量列于表3。

表 2 供试有机物料的养分含量

有机物料	有机碳	C/N	氮		磷			钾		
			全N	水溶N	全P ₂ O ₅ (A)	水溶P ₂ O ₅ (B)	B/A	全K ₂ O(A)	水溶K ₂ O(B)	B/A
-----gkg ⁻¹ -----										
稻草	376	33.6	11.2	T	1.5	0.7	47	37.1	31.0	84
花生藤	369	23.0	16.1	T	3.0	1.7	57	21.3	15.5	70
花生饼	388	7.7	50.3	T	34.9	3.8	11	14.8	10.8	74
油菜秸	420	70.0	6.0	T	2.6	1.9	73	23.5	16.7	71
菜籽饼	434	7.8	55.3	T	26.8	2.3	8.5	18.3	15.0	82

表 3 随有机肥加入的养分量(mgkg⁻¹)

肥 料	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	总 量	水 溶	总 量	水 溶	总 量	水 溶
化肥(NPK)	—	160	—	160	—	160
稻草	112	T	6.5	3.1	310	260
花生藤	161	T	13.1	7.5	177	124
油菜秸	60	T	11.3	8.2	195	139
花生饼	503	T	152	16.7	123	91
菜籽饼	553	T	117	10.0	152	125

二、不同有机物料的养分有效系数

(一) 氮

培育过程中,可提取氮的动态变化如表4。表4表明,秸秆(稻草、花生藤、油菜秸)所能提供的有效氮量是很少的。在一些情况下还可固定土壤中有有效态氮,虽然花生藤略好。这说明在施用秸秆时,从当季作物来看可以不考虑秸秆带入的氮量,而且在秸秆C/N>30时还应配施一定量的氮素^[1],以免造成作物暂时性的缺氮。当然,连续施用秸秆是可以提高土壤氮素含量的^[2]。

饼粕类有机物可以提供相当数量的有效氮。在试验条件下,花生饼提供的有效氮在红壤上第1个月就相当于其总氮量的27%,到6个月时达38%。在潮土上第1个月相当于总氮量的35%,到6个月时相当于61%。这再一次证明,饼粕类有机物是一种很好的氮源,虽然在生产上目前大多施在经济作物上或用作饲料间接还田。上述结果表明,在施用饼粕肥时必须考

表 4 培育过程中可提取态氮的动态变化*(Nmgkg⁻¹)

有机物料	1个月		2个月		3个月	
	红壤	潮土	红壤	潮土	红壤	潮土
稻草	—	-62	13	-21	13	20
花生藤	33	2	-47	31	-20	17
油菜秸	8	-25	10	-15	-25	-69
花生饼	138	175	124	214	191	311
菜籽饼	170	150	309	201	201	289

* 表中数字为公式1中(A-B)

意义。特别是当施用C/N大的秸秆时,由于土壤有效氮被固定,系数也失去意义。这都表明,施用秸秆时,它们不仅不能提高土壤有效氮水平,反而可能减少土壤有效氮。这时要考虑的不是减少氮肥用量,而是根据秸秆C/N等因素合理增施氮肥。因此,表5只列出了饼粕类的氮素有效系数,而将秸秆类氮素有效系数略去。从表5可以看出,氮的有效系数随时间延长而变小,这说明饼粕的氮素释放是比较缓慢的。不过按一季作物对有机肥中氮素的利用率估计,3—6个月培育中所释放的氮素可以认为大体上已相当于对一季作物所能提供的有效氮量。

(二)磷

表6表明,施用秸秆所能提高的土壤有效性磷(Olsen-P)也是极为有限的,绝大部分

表6 培育过程中土壤有效磷的动态变化(Pmgkg⁻¹)

有机物料	1个月		2个月		3个月	
	红壤	潮土	红壤	潮土	红壤	潮土
稻草	-0.7	1.3	0.3	0	0.2	-1
花生藤	0.3	0.1	1.2	0	0.2	0.7
油菜秸	0.6	0.1	0.5	-0.1	0.1	0.8
花生饼	3.9	4.3	2.5	8.8	2.5	20
菜籽饼	2.5	12.9	2.5	13.8	2.5	17.9

有98%的磷(花生饼)不能用Olsen法提取(培育6个月测定)。在潮土上,饼粕能较明显地提高土壤有效磷水平。按全磷计,被固定的磷(培育6个月),花生饼为87%,菜籽饼为85%。

表7的结果还表明,按水溶磷计算,有效系数多在4—6之间。这说明提高土壤有效磷水平主要靠饼粕的水溶磷部分。有意思的是,在潮土上,培育3个月后,按水溶磷计算的有效系数变得<1。这说明在这种情况下,不仅水溶磷而且一部分非水溶性磷在提高土壤有效磷方面也发挥了一定作用。

表 7 饼粕肥料的磷有效系数

土 壤	饼粕种类	1个月		3个月		6个月	
		全磷计	水溶磷计	全磷计	水溶磷计	全磷计	水溶磷计
红 壤	花生饼	39	4.4	60.8	6.7	60.8	6.7
	菜籽饼	46.8	4.0	46.8	4.0	46.8	4.0
潮 土	花生饼	35.3	3.9	17.3	1.9	7.6	0.83
	菜籽饼	9.1	0.78	8.5	0.72	6.5	0.56

表 5 饼粕类肥料的氮素有效系数

土 壤	饼粕种类	1个月	3个月	6个月
		红 壤	花生饼 3.6	4.0
	菜籽饼	3.3	1.8	2.7
潮 土	花生饼	2.8	2.4	1.6
	菜籽饼	3.7	2.8	1.9

虑它们所提供的氮量。

由于秸秆类有机物能提供的氮量很少,

这类有机物的氮有效系数很大,已失去实际意义。因此,施用秸秆时在一季作物上的情况与氮素类似,可以不考虑秸秆所带入的磷量,虽然它在连续长期施用中可能提高土壤有效氮磷水平。

饼粕的情况有些不同。在红壤上饼粕可以提高土壤有效磷水平,但磷的有效系数较大(表7)。很明显这是由于红壤具有巨大的固定磷的能力所致。比如按加入的全磷计,

(三) 钾

表 8 结果表明, 不论是秸秆类还是饼粕类有机物都能显著地提高土壤有效钾水平。其中稻草最明显, 它不仅含钾高, 而且水溶钾部分也较高(84%), 所以能有效地提高土壤有效钾水平。另外, 花生藤和花生饼对提高土壤有效钾水平相对说来幅度较小。这可能是因为在等量基础上含钾较低, 且水溶钾部分也较低(70%)。

表 8 还说明, 花生藤、花生饼在 1 个月时间内只提高土壤交换性钾 $14-21\text{mgkg}^{-1}$ (红壤), 比潮土上低得多(潮土为 90mgkg^{-1}), 而且随着时间的延续不断增加。这是否意味着花生藤和花生饼在红壤上分解较慢, 这一点还难于肯定。另外, 其他有机物处理的土壤有效钾都有随时间逐渐下降的趋势。这可能说明两点: 一是有机物料中钾的释放是很迅速的(花生藤和花生饼在红壤上可能例外), 二是在土壤存在着钾的固定过程。这后一点可从图 1 中化学钾肥加入土壤培育后土壤交换性钾的动态变化情况得到证实。可以看到, 不论是在红壤还是潮土, 土壤交换性钾都随着时间的延续不断下降。土壤对钾的固定, 可能是主要原因。从图中还可看到, 潮土中在施入同量钾的条件下, 土壤交换态钾水平明显低于红壤, 这可能是潮土中 2:1 型粘粒矿物含量较高而固钾能力较大的缘故。

表 8 培育过程中土壤有效钾的动态变化*
(Kmgkg^{-1})

土 壤	有机物料	1 个月	3 个月	6 个月
红壤	稻 草	226	192	210
	花生藤	21	80	98
	花生饼	120	92	107
	油菜秸	14	76	87
	菜籽饼	128	96	117
潮土	稻 草	201	146	169
	花生藤	91	67	77
	油菜秸	95	74	76
	花生饼	89	60	63
	菜籽饼	97	72	79

*已减去土壤供钾量。

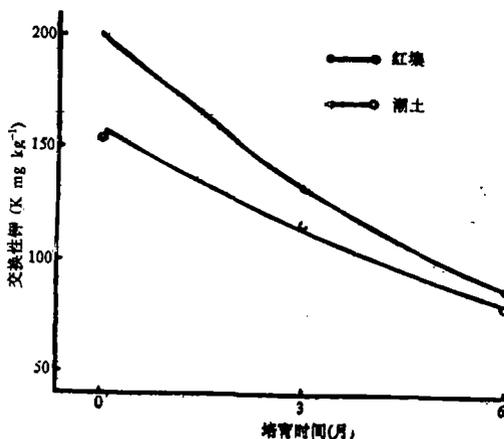


图 1 化学钾肥在培育过程中的动态变化

表 9 不同有机物料的钾素有效系数

土 壤	有机物料	钾素有效系数		
		1 个月	3 个月	6 个月
红 壤	稻 草	1.4	1.6	1.5
	花生藤	8.4	2.2	1.8
	油菜秸	1.6	2.1	1.8
	花生饼	8.8	1.6	1.4
	菜籽饼	1.2	1.6	1.3
潮 土	稻 草	1.5	2.1	1.8
	花生藤	1.9	2.6	2.3
	油菜秸	2.1	2.6	2.6
	花生饼	1.4	2.1	2.0
	菜籽饼	1.6	2.1	1.9

表 9 列出了不同有机物在两种土壤上经不同培育时间的钾素有效系数变化情况。可以看出, 除去在红壤上, 花生藤和花生饼的钾有效系数开始较高以后变小以外, 其他不同有机物料在不同培育时间的有效系数大体在一个较小的范围内变化, 其总平均为 $1.84 \pm 0.40 (n=28)$ 。这可能意味着对钾素来说, 经 1 个月的培育时间, 有机物料的钾已经与土壤的交换态钾达到某种平衡(只有花生藤和花生饼例外)。

从平均数来看, 在红壤条件下钾有效系数平均为 $1.6 \pm 0.29 (n=13)$, 而潮土上的平

均数为 2.0 ± 0.38 ($n=15$)比红壤高。这与图1所显示的规律是一致的,即在潮土上钾被固定的数量高于红壤。

三、有机物料养分有效系数的应用

(一)钾有效系数的应用

根据有机肥的钾有效系数,可以建立以下的模型来计算在有机无机配合施用的条件下(有机指秸秆和饼粕肥料)的化肥用量:

$$K_r = 0.15A - \frac{C_k}{K_c} \dots\dots\dots(2)$$

式中 K_r ——在有机—无机配合施肥时,化肥钾的用量(K公斤/亩); A ——需要提高的土壤交换性钾量($Kmgkg^{-1}$); C_k ——随有机肥加入到土壤中的钾量(K公斤/亩); K_c ——钾有效系数; 0.15 ——由 $mgkg^{-1}$ 换算到公斤/亩。

例如,在一块农田上,本田秸秆量为300kg,秸秆含钾量为1%,钾有效系数为1.5,土壤有效钾为50 $Kmgkg^{-1}$,需提高到临界值100 $mgkg^{-1}$,计算秸秆全部还田时,化学钾肥用量(K公斤/亩)如下:

$$\begin{aligned} K_r &= 0.15 \times (100 - 50) - \frac{300 \times 0.01}{1.5} \\ &= 7.5 - 2 = 5.5 \text{ (K公斤/亩)} \end{aligned}$$

在一定条件下,为了实用的目的,不一定按每种秸秆求出钾有效系数,而可参考本文中钾系数的总平均值1.8来进行计算。也可分别按红壤(南方酸性土壤)和潮土(北方石灰性土壤)的平均钾有效系数计算。

(三)氮、磷有效系数的应用

在前面的讨论中已经提到,对于秸秆类有机物来说,在有机无机肥料配合施用时,在一季作物的时间内可以不考虑秸秆带入的氮、磷。即按总需肥量,全部以化肥形态施入。在这种情况下,还必须另加适量氮肥以克服暂时性土壤有效氮的固持(assimilation)。一些经验表明,每加100kg秸秆外加0.75kgN即可克服此一暂时性不良作用^[3]。

下面谈一下饼粕肥氮磷有效系数的应用。

氮素有效系数 因为大田确定合理氮肥用量是一个比较复杂的问题,尚没有一个大家都满意的“土壤有效氮”指标标准,因此在应用氮有效系数时,不能套用钾的办法。

饼粕肥是很好的氮源,在和无机肥配合施用时,其中的氮素必须考虑。我们提出下列计算公式供试用:

$$N_r = A - \frac{C_n}{N_c} \dots\dots\dots(3)$$

式中: N_r ——应施的化肥氮量(N公斤/亩);
 A ——用任何方法求得的施氮总量(N公斤/亩);
 C_n ——随饼粕施用的氮量(N公斤/亩);
 N_c ——饼粕氮素有效系数(可参考表5数据,对于饼粕建议用6个月的系数)。

磷素有效系数 对于饼粕类的磷素有效系数,可参考表7数据。从理论上说,根据磷素

有效系数可以计算出在和化学磷肥配合施用时代肥磷的合理用量:

$$P_r = C_{cp} \times 0.15 \times A - \frac{P_c}{C_p} \dots\dots\dots(4)$$

式中 P_r ——在有机无机配合时化学磷肥的用量(P公斤/亩); C_{cp} ——化学磷肥的磷素有效系数,即提高一单位土壤有效磷所需要加入的化学磷肥份数; A ——需要提高的土壤有效磷数($Pmgkg^{-1}$); P_c ——随饼粕加入的磷量(P公斤/亩); C_p ——饼粕磷有效系数。

据我们试验,供试两种土壤的化学磷肥有效系数(P_{cp})如表10。试验还表明,培育3个月即大体达到平衡。

表 10 化学磷肥的有效系数

土壤	化学磷肥加入量 mg/kg	3个月培育后土壤有 效磷(P)提高数(mg/kg)	有效系数
红壤	70	4.4	16
潮土	70	10.3	7

举例:如某红壤有效磷(P)水平为 $3mgkg^{-1}$,现在希望提高到 $10mgkg^{-1}P$,在施用菜籽饼100kg的情况下,尚需施多少化学磷肥?

根据公式计算如下:

$$\begin{aligned} P_r &= 16 \times 0.15 \times (10 - 3) - \frac{100 \times 1.17\%}{46.8} \\ &= 16.8 - 0.025 \\ &= 16.8 \end{aligned} \quad (P \text{ 公斤/亩})$$

从上述计算可知,饼粕肥在有机无机配合施用时代,对施肥量影响很小,故也可忽略不计。同时,红壤具有极大的固磷能力,按理论计算的施磷量很高,在这种情况下,国外有人主张分次达到,可以参考。

四、结 语

有机肥养分有效系数(也可用于无机肥)可以在有机无机肥料配合施用时代,得出化肥的合宜用量,以逐步建立起持续农业的施肥制度。

有效系数证明,在施用秸秆类肥料时代,可以不必扣除其带入的氮、磷数量。文中给出了计算秸秆类肥料钾素贡献的模型。

饼粕类肥料生产上施用较少,这里仍讨论了有效系数在饼粕类肥料上的应用。在有机无机肥料配合施用时代,要减去饼粕肥中的氮素,并给出了计算方法。饼粕中的磷可以不考虑,钾可按秸秆类的公式计算即可。

本文是这方面的一个尝试,尚有不少工作需进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 时正元、鲁如坤,农田养分再循环研究I。作物秸秆养分的利用率。土壤,第25卷,第6期,281—285页。
- [2] Ponnamperuma, F. N., Straw as a Source of Nutrients for Wetland Rice. The Internat. Conf. on Organic Matter and Rice. IRRI Phillipinc. 1982.
- [3] Cooke, G. W., Fertilizing for Maximum Yield P. 106 Granada, London. 1982.