

农田养分再循环研究

I. 作物秸秆养分的利用率

时正元 鲁如坤

(中国科学院南京土壤研究所)

农田养分再循环是建立符合我国国情的持续农业的重要内容^[1]。秸秆还田则是养分再循环的主要方式之一。

我们认为,研究养分再循环,除了研究有机肥料外,还应注意以下两个方面:一是研究如何正确确定化肥用量,逐步建立符合持续农业要求的施肥制度;二是研究养分再循环可能带来的环境问题。本文研究了作物秸秆中养分的利用率。过去许多工作似乎多侧重于研究作物秸秆养分的一季利用率。为了较充分地利用秸秆中的养分,我们采用了修改的幼苗法并连续种植两次,以此作为秸秆当季所能供给的养分最大量。

一、材料和方法

(一)作物秸秆种类及制备

选用稻草和盛花期的紫云英、萝卜菜、油菜和蚕豆5种作物的秸秆作为有机肥源。它们均采自江西鹰潭。各种秸秆先剔除杂质,风干后在70—80℃鼓风干燥箱烘干,经磨碎,过0.5mm筛,混匀后备用。

(二)供试土壤

为发育于第四纪红色粘土的红壤和红壤性水稻土的耕层表土,其基本性质列于表1。

(三)生物试验

盆栽试验每盆装土500克,供试作物红壤为小麦,水稻土为水稻。各种秸秆有机物的用量每盆5克,化肥折N、 P_2O_5 、 K_2O 用量为0.08克/盆。另设不施肥和NPK处理作对照,3次重复。小麦和水稻都连续种植2次。每次收获物烘干称重,并测定全磷量,计算植株吸收的磷量。

盆栽试验处理:(1)0,(2)NPK,(3)秸秆+NK,(4)秸秆+PK,(5)秸秆+NP。

表1 供试土壤的基本性质

土 壤	地 点	pH	有机质		全氮 (N)		全磷 (P)		Olsen-p mgkg ⁻¹	交换钾 (K) mgkg ⁻¹
红壤	江西鹰潭	4.9	8.8	0.51	0.22	1.1	79			
红壤性水稻土	江西鹰潭	5.8	18.0	1.40	0.32	6.0	101			

二、结果和讨论

(一)几种作物秸秆的养分含量特征

表2列出了几种秸秆的养分含量。从表中可以看出,稻草的C/N比通常所认为的偏低

秸秆	Cgkg ⁻¹	C/N	N		P ₂ O ₅			K ₂ O		
			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
紫云英*	400	15.5	25.8	T	4.3	2.6	60	19.2	16.7	87
萝卜菜*	386	11.9	32.4	T	10.2	7.8	76	39.9	32.8	83
油 菜*	367	23.2	15.8	T	8.4	6.4	76	37.6	32.0	85
蚕 豆*	383	11.8	32.4	T	7.1	5.0	70	34.8	29.3	84

*均采于盛花期

(33.6),但在文献报道的范围^[2]。结合其他方面的材料,这是否是因为近年来水稻氮肥施用量较多,大大增加了秸秆中氮素的含量造成的。表中其他几种秸秆似乎也有类似趋向。

和预料一致,秸秆中几乎不存在水溶性氮素。这一点与厩肥不同,厩肥中常常含有一定量的水溶性氮素。

秸秆中水溶性磷也很高(50—70%),这似乎出乎意料。在所见到的文献上,稻草水溶性磷占全磷的18%^[4],可能稻草中水溶性磷也有一个较大的变幅。秸秆中水溶性钾高(80%以上),这是大家都知道的。

(二)作物秸秆中不同养分对产量的作用

在幼苗盆栽试验中,随不同有机物加入的养分量列于表3。

表3 随秸秆(5克/盆)施入的养分量(毫克/盆)

秸秆	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
稻草	56	7.5	186
紫云英	129	22	96
萝卜菜	162	51	198
油菜秸	79	42	188
蚕豆秆	162	36	174
NPK	80	80	80

结果表明,数量相同(5克)的有机物所带入土壤中的养分量是不同的。萝卜菜和蚕豆秆可供给较多的氮和钾,稻草和油菜秸秆主要供给钾,而紫云英主要供给氮。

表4 秸秆作为不同养分来源时的增产作用(克/盆)

处理	秸秆供应的养分	稻草	紫云英	萝卜菜	油菜秸	蚕豆秆
红壤,小麦						
NK	P	1.1	2.0	2.6	2.3	1.7
PK	N	-0.1	2.2	2.8	1.4	2.7
NP	K	3.3	3.8	5.1	3.8	4.2
红壤性水稻土,水稻						
NK	P	2.6	2.5	3.4	3.3	3.3
PK	N	1.9	1.9	1.9	1.9	1.4
NP	K	6.6	5.8	6.3	6.5	6.2

生物试验表明,这些秸秆作为不同养分的给源时,它们的增产作用是不同的(表4)。

(1)在旱地红壤种小麦时,所有秸秆都能供应较多的钾,从而得到较高产量(在NP由化肥供给,秸秆提供钾时)。秸秆提供的氮和磷,其增产作用远小于钾。氮增产量只相当于钾的44%(5种秸秆平均),磷相当于钾的48%。在施用稻草的情况下,小麦还略有减产,这显然是由于稻草对土壤有效氮的固持作用造成了有效氮的减少所致。

(2)在红壤性水稻土种植水稻时,其基本趋势与上述相一致,但施用稻草未发生水稻减产现象,这可能是在嫌气环境下,微生物活动所需要的氮素较少。一般认为,水田土壤有效氮的固持作用比旱地低得多^[2]。在水田条件下,氮的增产为钾的28%,磷为钾的48%,与旱作类似。可见秸秆中的氮的有效性降低了,这可能是因为在嫌气条件下,氮素释放减慢的原

因。

(三)作物秸秆中氮的利用

1. 秸秆中氮的利用率与秸秆C/N的关系:表5列出了秸秆中氮的利用率和秸秆C/N的关系。由C/N和氮利用率得出以下回归线。

对于旱地的小麦回归线为:

$$y(\text{氮利用率, \%}) = 47.4 - 1.34x(\text{C/N})$$

$$n = 5, r = -0.976^{**} \quad \text{当 } y = 0 \text{ 时, } x = 35.4$$

可以看出,在旱地红壤上,种小麦时秸秆的氮利用率主要受其C/N所制约。上述回归线还说明,在C/N $\geq$ 35.4时,秸秆对当季作物不能供应氮,甚至会有负数。Sharpley^[3]认为,当秸秆C/N $>$ 30—35时,则出现净的有效氮固持作用,本试验的结果与之相一致。

对于水稻土上种水稻时回归线为:

$$y = 22.9 - 0.45x; \quad r = -0.34(\text{不显著})$$

这表明,在淹水条件下似乎C/N对秸秆供氮影响并不太明显。

2. 秸秆中氮的利用率:表5结果表明,旱地条件下秸秆氮的利用率通常高于水田。只有C/N高的稻草例外,前者在20—30%,后者10—20%。这可能是因为,在好气情况下,秸秆的分解较充分的缘故。

表5 作物秸秆C/N和秸秆中氮的利用率

项 目	供试作物	稻草	紫云英	萝卜菜	油菜秸	蚕豆秆
加入N量mg/盆		56	129	162	79	162
两次吸收总量	小麦	0	37.6	47.2	15.6	48.6
地上部分mg/盆	水稻	17.5	20.0	19.3	15.7	10.2
利用率, %	小麦	0	29.1	29.1	19.7	30.0
	水稻	31.3	15.5	11.9	19.9	6.3
C/N		33.6	15.5	11.9	23.2	11.8

表6的结果表明,不同秸秆所能提供的氮量(修改的幼苗法连续种植两次作物所吸收的氮量,被认为是秸秆在一般情况下可能提供的最大氮量)分别为每吨风干秸秆可提供10—20kgN(在旱作情况下)和15—17kgN(在水田情况下)。如果按一般方法只把地上部分吸收的氮作为依据,则不同秸秆可提供的氮量(Nkg/吨秸秆)在旱地情况下为7—17kg,平均为13.2kg,在水田情况下为12kg

左右,平均为12.8kg。按通常用量5吨/公顷计,则施秸秆时,每亩可提供氮(N),旱地4.4kg,水田4.3kg,即无论旱地或水田大体在4kg左右。

(四)作物秸秆中磷的利用

秸秆中磷含量较少,其利用率也低(表7)。在旱地红壤种旱作时,紫云英、萝卜菜、蚕豆秆的利用率在10%以下。只有稻草和油菜秸这两个C/N大的秸秆,磷的利用率达到20%。

在水稻土淹水种植时,磷的利用率有增加的趋势。这可能是淹水条件下磷的有效性增加所致。从相关分析看,水稻的吸磷量与加入磷量有较好相关($r = 0.89^*$, 5%显著)。在旱地种小麦情况下,若将表现异常的油菜秆数据除外,它们的相关可达显著程度($r = 0.92^*$, 5%显著)。

表8结果表明,每吨风干秸秆可提供的磷量(实际被吸收的量,包括地上和地下部分),分别为3.1kg(旱地)和5.0kg(水田)。这比氮少得多。如果不考虑地下部分,则这一数字只有2.4kg(旱地)和3.9kg(水田)。按秸秆的通常用量为5吨/公顷计,则不同秸秆提供的磷量(可被吸收的量)为每亩0.7kg(旱地)和1.3kg(水田)。

(五)作物秸秆中钾的利用

表9列出了主要秸秆中钾的利用率。鉴于根系中含钾量很少,这里主要讨论按地上部分

表 6

作物秸秆所能提供的氮量

作物秸秆	供试作物	地上部分		地下部分		总 量	
		mg/盆	kg/t秸秆	mg/盆	kg/t秸秆	mg/盆	kg/t秸秆
稻 草	小麦	35.9	7.2	14.8	3.0	50.7	10.1
	水稻	64.6	12.9	19.6	3.9	84.2	16.8
紫云英	小麦	73.9	14.8	19.0	3.8	92.9	18.6
	水稻	67.1	13.4	18.0	3.6	85.1	17.0
萝卜菜	小麦	83.5	16.7	21.5	4.3	110.2	22.0
	水稻	66.4	13.3	20.4	4.1	86.8	17.4
油菜秸	小麦	51.9	10.4	18.6	3.7	70.5	14.1
	水稻	62.8	12.6	15.3	3.1	78.1	15.6
蚕豆秆	小麦	84.9	17.0	20.9	4.2	105.8	21.2
	水稻	59.3	11.9	18.2	3.6	77.5	15.5
平 均	小麦	66.0	13.2	19.0	3.8	86.0	17.2
	水稻	64.0	12.8	18.3	3.7	83.3	16.5

表 7

作物秸秆中磷的利用率

项 目	供试作物	稻 草	紫云英	萝卜菜	油菜秸	蚕豆秆
加入 P_2O_5 mg/盆	小 麦 水 稻	7.5	22	51	42	36
总吸收量	小 麦	1.6	2.0	3.7	8.9	2.2
(地上部分mg/盆)	水 稻	2.4	2.2	7.4	4.6	5.6
	小 麦	21	9.1	7.2	21	6.1
利用率%	水 稻	32	10	15	11	16

吸钾量计算的秸秆钾的利用率。表 9 表明,在旱地条件下,秸秆钾的利用率均较高,在74—106%范围内,平均87.2%。此时化学钾的利用率为103%。钾的利用率之所以超过100%,这是因为用差异法计算利用率往往低估了施肥区从土壤中吸收的钾量。在水田情况下,秸秆钾的利用率普遍降低,在37—70%范围内,平均为52.9%,但此时化学钾的利用率仍然超过

表 8

作物秸秆所能提供的磷(P_2O_5)量

作物秸秆	供作	试物	地上部分		地下部分		总 量	
			mg/盆	kg/t	mg/盆	kg/t	mg/盆	kg/t
稻 草	小	麦	9.9	2.0	3.2	0.64	13.1	2.6
	水	稻	17.5	3.5	4.7	0.94	22.2	4.4
紫云英	小	麦	10.4	2.1	3.5	0.7	13.9	2.8
	水	稻	17.3	3.5	5.3	1.1	22.6	4.5
萝卜菜	小	麦	12.0	2.4	4.0	0.8	16.0	3.2
	水	稻	22.5	4.5	6.3	1.3	28.8	5.8
油菜秸	小	麦	16.2	3.2	3.4	0.7	19.6	3.9
	水	稻	19.7	3.9	6.1	1.2	25.8	5.2
蚕豆秆	小	麦	10.5	2.1	3.7	2.1	14.2	2.8
	水	稻	21.0	4.0	5.4	1.1	26.4	5.3
平 均	小	麦	12.0	2.4	4.3	0.9	15.3	3.1
	水	稻	19.4	3.9	5.6	1.1	25.2	5.0

表 9

作物秸秆中钾的利用率

项 目	供试作物	稻 草	紫云英	萝卜菜	油菜秸	蚕豆秆
加入钾量	小 麦					
K ₂ O mg/盆	水 稻	186	96	138	188	174
吸收钾量	小 麦	138	102	182	152	144
(地上部分)	水 稻	69.9	54.3	121	131	69.2
K ₂ O mg/盆						
总吸收钾量	小 麦	139	101	183	152	143
K ₂ O mg/盆	水 稻	76.3	59.1	24.3	140	106
地上部分	小 麦	74.4	106	91.7	81.0	82.8
利用率%	水 稻	37.6	56.5	61.0	69.8	39.8
地下部分	小 麦	75.0	105	92.4	80.9	82.2
利用率%	水 稻	41.0	61.6	62.8	74.5	60.9

表 10

作物秸秆所能提供的钾(K₂O)量

秸 秆	供试作物	地上部分		地下部分		总 量	
		mg/盆	kg/t	mg/盆	kg/t	mg/盆	kg/t
稻 草	小 麦	184	36.8	6.5	1.3	190	38.1
	水 稻	104	20.8	10.1	2.0	114	22.8
紫 云 英	小 麦	150	30.0	6.4	1.3	156	31.2
	水 稻	88	17.6	8.9	1.8	96.9	19.4
萝 卜 菜	小 麦	229	45.9	8.6	1.7	238	47.6
	水 稻	155	30.9	11.9	2.4	166	33.3
油 菜 秸	小 麦	200	39.9	7.9	1.6	208	41.5
	水 稻	165	33.0	12.3	2.5	177	35.4
蚕 豆 秆	小 麦	192	38.4	6.3	1.3	198	39.6
	水 稻	133	26.5	11.0	2.2	144	28.7
平 均	小 麦	191	38.2	7.2	1.4	214	42.9
	水 稻	129	25.8	10.9	2.2	140	27.9

100%。淹水条件下秸秆钾的利用率较低的原因还有待探讨。

秸秆是最重要的钾肥资源^[2]。从表10中可以看到, 每吨风干秸秆可提供能被作物吸收的钾量, 在旱地情况下平均为42.9kg, 在水田情况下为27.9kg, 分别是氮的2.5和1.7倍, 是磷的13.8和5.6倍。值得提出的是, 在江西一带广泛栽种的绿肥作物萝卜菜, 它每吨风干物能提供的钾量(旱作时为47.6kg)比稻草还高。

通过以上的讨论, 我们可以知道秸秆在养分再循环中的巨大作用, 特别是作为钾源更为宝贵。这是因为我国钾矿资源不足, 化学钾肥几乎全靠从国外进口, 每年要花大量外汇去购买。为什么我们不能把这部分肥源尽可能地重新回到田里去呢? 这是一个既简单而又重大的问题, 希望得到各地的重视。

参 考 文 献

- [1] 鲁如坤、时正元、钱承梁, 我国农田养分再循环, 中国农业科学(刊印中)。
 [2] Ponnampetuma, F. N., Straw as a Source of Nutrients for Wetland rice, Paper Presented to Intern. conf. on Organic Matter and Rice, 1982.

(下转第314页)

- [10] Xuan Jia-xiang et al., *Pedosphere*, 1: 97—108, 1991.
- [11] Kirk, G. J. D. et al., *Transactions XIV. Congress of international Soil Sci.*, Vol. II: 153—157, 1990.
- [12] Nye, P. H. *Adv. Plant Nutr.* 2: 129—153, 1986.
- [13] Junk, A. et al., *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 149: 411—427, 1986.
- [14] Junk, A. et al., *Plant and Soil*, 124: 175—182, 1990.
- [15] Mullins, G. L. et al., *J. Plant Nutr.* 12: 485—496, 1989.
- [16] Seward, P. et al., *Plant and Soil*, 124: 303—307, 1990.
- [17] Seeling, B. et al., *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 153: 301—303, 1990.
- [18] 宜家祥, 钾离子向稻根迁移的数学模型, *土壤学报*, 19: 296—303, 1982.
- [19] Kaselowsky, J. et al., *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 153: 81—91, 1990.
- [20] Silberbush, M. et al., *Comm. Soil Sci. and Plant Anal.*, 14: 286—296, 1986.
- [21] Kuchenbuch, R. et al., *Plant and Soil*, 95: 221—231, 1986.
- [22] Barber, S. A. et al., *Plant and Soil*, 124: 183—186, 1990.
- [23] Hoffland, E. et al., *Transactions XIV. Congress of the international Soil Sci.*, Vol. II: 170—175, 1990.
- [24] Barber, S. A. et al., *Transactions XIV. Congress of the international Soil Sci.*, Vol. II: 136—140, 1990.
- [25] Mullins, G. L. et al., *Soil Sci. Soc. An. J.*, 50: 1245—1259, 1986.

~~~~~

(上接第285页)

- [3] Sharpley, A. N. et al., *Root extraction of nutrients associated with long-term soil management*, *Adv. Soil Sci.*, 19, 151—200, 1992.
  - [4] 莫淑勋等, 猪粪、紫云英、稻草分解过程中氮磷转化的初步研究, *土壤通报*, NO.5, 21~25, 1976.
- ~~~~~

(上接第303页)

- [7] Tarafdar, J. C., *Aust. J. Soil Res.*, 19: 181—184, 1981.
- [8] Tarafdar, J. C., Chhonkar, P. K., *Z. pflanzernaehr. Bodenk.* 141: 347—351, 1978.
- [9] Haussling, M., Marschner, H., *Biol. Fertil. Soils*, 8: 128—133, 1989.
- [10] Amann, C., *Z. pflanzernaehr. Bodenk.* 152: 181—189, 1989.
- [11] Chhorkar, P. K., *J. of the Indian Society of Soil Sci.*, 32: 266—272, 1984.
- [12] Dodd, J. C., Burton, C. C., Burns, R. G., Jeffries, P., *New Phytologist*, 107: 163—172, 1987.