

太湖地区作物体内微量元素 的分布及其再循环*

林心雄 文启孝 钟 霆 吴顺龄

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

在利用作物秸秆还田时,应考虑不同作物秸秆中微量元素含量的特点。如稻秆中的 Zn 含量约占其吸取总 Zn 量的 53%,但麦秆中仅为 20%左右;秸秆中的 B 含量占其总吸取 B 量的比例,以油菜秆的为高,约 83%。提高微量元素再循环率,有可能维持太湖地区土壤中微量元素的平衡。

微量元素是维持作物正常的生长和发育所必需的^[1,2]。虽然作物对微量元素的需要量很少,但在缺乏微量元素的土壤上,将影响作物的生长,甚至造成较大幅度的减产。

农业生产过程中,每年均有大量的作物残体需要处理,随着作物产量的提高,残体的数量也在增加。在 80 年代初期,在太湖地区仅稻麦和油菜收获的茎秆数量已达 1700 万吨。因此,如何充分利用这些农业废弃物,增加营养元素的循环,已成为人们十分关心的问题^[4~6]。有关作物从土壤中移走的 N P K 元素量已有一些研究,但微量元素方面,还未见报道。本文就太湖地区主要作物的微量元素含量及其从土壤中移走的微量元素量等方面作一讨论。

一、材料与amp;方法

(一)供试样品

在太湖地区不同土壤类型上,选择 11 个采样点;在每一采样点的一般施肥水平的田块上,采集包括水稻、小麦、棉花、油菜和绿肥等作物样品。除绿肥在盛花期采集外,其余的在作物成熟期时采集。绿肥样分地上部和根,根样用去离子水洗净;作物样品分为籽粒、茎秆和根,根样也用去离子水洗净。

植株样品经 60℃ 烘干后,用不锈钢高速粉碎机磨细备用。

(二)测试方法

植株样品经湿法消化^[1],B、Mn、Cu 和 Zn 的含量用等离子体放射光谱法测定,Mo 用石墨炉原子吸收光谱法测定**。

每批待测样品均用植物标样(国家计量局 GBW 08501)进行从样品开始的全过程跟踪,以监测待测样分析结果的可靠性。跟踪监测结果列于表 1。由表可见,B 等 4 种元素的监测值为标样值的 84—120%。其中锰的测定值偏低,锌的测定值偏高,而硼与铜的测定值与相应的标样值相近。

* 国家自然科学基金资助项目。

** 由本所沈壬水、刘兆礼测定。

表 1 用植物标样的监测结果

	监测值(A) μg/g	标样值(B) μg/g	A/B·%
B	42.4±3.3(n=9)	45.8	93
Mn	69.1±12.9(n=9)	75.4±5.4	92
Cu	11.2±2.8(n=9)	10.4±1.6	108
Zn	28.1±2.5(n=9)	22.8±2.5	123
Mo	1.14±0.43(n=5)	—	—

表 2 主要作物体内(成熟期)的微量元素含量
(mg/kg干物质)

作物	B	Mn	Cu	Zn	Mo
水稻	2.63	183	3.65	30.7	0.741
小麦*	0.745	32.3	4.97	20.7	0.799
油菜	25.4	32.4	8.53	33.5	0.928
棉花	20.3	15.6	10.2	22.0	1.49
绿肥**	23.1	49.0	10.9	40.8	1.24

* 包括大、元麦; ** 为紫云英盛花期。

二、结果与讨论

(一)作物体内的微量元素含量

1. 含量: 不同作物体内微量元素的含量列于表 2。从元素的含量多少看, 作物体内各种元素的含量大体上按以下次序排列, 即 $Mn > Zn > Cu > B > Mo$ 。同一种元素则因作物种类的不同, 其含量也有较大的差异。

作物体内硼的含量一般在 0.75—25mg/kg 间, 禾本科作物的硼含量较低, 尤以小麦的含量更低。十字花科、锦葵科和豆科作物的硼含量要较禾本科的高出许多倍, 其中以十字花科油菜的含硼量最高。作物体内锰的含量在 16—183mg/kg 之间, 包括紫云英在内的旱地作物, 锰的含量较之水稻的要低, 旱地作物中紫云英的锰含量较高, 小麦和油菜的次之, 棉花体内的锰含量最低。由于作物主要吸收 Mn^{2+} [2], 在渍水条件下, 土壤中含锰化合物易呈还原态 Mn^{2+} , 有利于植物的吸收利用, 因而水稻体内锰含量远高于旱地作物的含量。作物体内铜的含量范围为 3.7—11 mg/kg, 油菜、棉花和紫云英的铜含量差异不大。禾本科稻麦作物的铜含量明显较低。作物体内锌的含量范围在 21—41mg/kg 间, 其中小麦和棉花的含量较低; 水稻和油菜的锌含量较高; 豆科作物紫云英的锌含量最高。作物体内钼的含量一般在 0.75—1.5 mg/kg 间, 稻麦中的含量较低, 油菜的次之, 豆科作物紫云英中的含量较高, 钼含量最高的为棉花作物。

即使同一种类的作物, 也因品种的不同, 其微量元素的含量也有一定的变异。以水稻为例, 早稻、后季稻和单季晚稻的 B 含量分别为 2.65、2.12 和 3.11mg/kg; Mn 的含量分别为 214、154 和 189mg/kg; Mo 的含量分别为 0.852、0.857 和 0.548mg/kg; Cu 的含量分别为 4.20、3.56 和 3.35mg/kg; Zn 的含量分别为 34.8、31.5 和 26.8mg/kg。与种类不同作物的含量差异相比较, 不同品种间含量的变异并不很大, 因此采用大量材料的测定平均值, 仍然可以代表该类作物的含量特征。

如按太湖地区各类作物的平均亩产计, 不同作物每亩吸收的微量元素量, 仍决定于其体内的含量。从总体上看, 每亩作物从土壤吸取的各种微量元素中仍以 Mn 量最多, 其次为 Zn, 再次为 Cu 和 B, 吸收量最少的为 Mo。同一种微量元素, 每亩作物的吸收量也因作物种类不同而异。棉花作物以吸收 B、Cu 或 Mo 的量最大; 水稻则以吸收 Mn 或 Zn 的量最大。

由上述可见, 作物体内微量元素含量的多少, 反映了分类系统上不同的作物对微量元素选择吸收性能的差异; 不同种类的作物在同一类型土壤上的含量, 大体上有其相似的含量特征, 即 $Mn > Zn > Cu > B > Mo$ 。

2. 成土母质的影响: 土壤中微量元素的含量深受成土母质的制约。已有报道, 太湖地区

土壤中微量元素的有效平均含量依次为： $Mn > Zn > Cu > B > Mo$ ^[3]，这与本区作物体中微量元素含量的次序大体上相一致，由此可见，土壤中微量元素的有效含量，是影响作物体中各种微量元素多少的主要原因。

表3列出不同成土母质的土壤上稻麦作物的微量元素含量。由表3可见，除长江冲积物的外，在红土、下蜀黄土和黄土状母质的土壤上，水稻体内铜的含量低于一般下限含量5mg/kg的水平，尤以下蜀黄土母质为最低；看来，它与下蜀黄土母质发育土壤的有效铜含量常低于临界值^[3]有关，小麦体内的铜含量也以下蜀黄土母质发育土壤上的为最低。

黄土状母质、红土和下蜀黄土发育的土壤上，小麦体内的硼含量均在0.58 mg/kg以下，该值远低于一般下限含量1mg/kg的水平。据报道^[3]下蜀黄土发育的土壤，其水溶态B的含量低于临界值^[3]，硼的供应可能不足，这与该区小麦体内硼含量较低的情况相一致。

不同成土母质上稻麦作物的锌含量，除下蜀黄土发育的土壤，其小麦的锌含量为14.9 mg/kg外，其它的均在一般含量或大于一般含量20mg/kg的水平。

土壤中锰的有效性有随pH的增高而降低，小麦体内的锰含量正是反映了这一变化趋势。如在长江冲积物上发育的石灰性土壤，其小麦的锰含量均低于在其它母质上的含量。

在太湖地区下蜀黄土、黄土状母质以及长江冲积物上发育的水稻土，其有效态铝含量均较低^[3]。表3的结果表明，以黄土状母质的土壤上，水稻体中的铝含量显著地低于其它母质上水稻的铝含量；不同成土母质对小麦铝含量的影响，表现在黄土状母质、湖积物以及长江冲积物的小麦铝含量均低于下蜀黄土的，更低于红土母质发育的土壤上小麦的铝含量。

(二)微量元素在作物体内的分市

测定的作物各器官的微量元素含量结果列于表4。

1. 硼：水稻、油菜和棉花等作物的茎秆部分的硼含量与根内的含量相近或差异不大。但麦秆和麦根的硼含量差异很大。稻麦籽粒中的硼含量均相应地低于其它器官的硼含量。由于硼素多集中在花器和叶片中^[2]，因而油菜和棉花的残落物中的硼含量较高，其含量分别达45.1和39.2mg/kg。

2. 锰：稻麦作物各器官的锰含量大多均高于油菜或棉花作物相应部位的含量。油菜秆和根中的锰含量均较低。棉秆的锰含量则更低，仅为9.46 mg/kg，棉根中的含量也仅为9.85mg/kg。

3. 铜：稻麦作物茎秆中的铜含量均较根部的含量要低得多。稻谷的铜含量虽高于稻秆却远低于稻根中的含量；麦粒中的铜含量稍高于麦根中的含量，而较麦秆中的含量要高得多。油菜和棉花作物与稻麦作物不同，其茎秆部分的铜含量均显著地高于根部的含量。油菜和棉花作物的另一明显特征是，残落物中的铜含量比较高。

4. 锌：稻麦和棉花根部的锌含量均高于其茎秆中的含量，但油菜根的锌含量却显著地低于其茎秆部分的含量。稻麦籽粒部分的锌含量均较高，尤以麦粒中的含量为高。油菜和棉花

表3 不同母质土壤上作物体内的微量元素含量 (mg/kg干物质)

成土母质	B	Mn	Cu	Zn	Mo
水稻					
红土	3.37	106	3.47	33.5	0.651
下蜀黄土	2.81	192	2.85	20.1	0.814
黄土状母质	2.01	162	3.98	24.8	0.281
长江冲积物	3.21	166	7.82	39.4	0.831
小麦					
红土	0.215	67.1	6.16	19.7	1.43
下蜀黄土	0.192	31.3	4.37	14.9	0.944
黄土状母质	0.579	38.5	5.17	20.6	0.620
长江冲积物	1.25	21.4	5.06	27.4	0.609
湖积物	2.28	26.4	7.17	32.7	0.658

表 4

作物成熟期各器官的微量元素含量

mg/kg 干物质

作物	B	Mn	Cu	Zn	Mo	
水稻	籽粒	1.61 ± 1.27(21)	83.5 ± 28.7(21)	4.08 ± 1.36(22)	22.7 ± 2.9(21)	0.379 ± 0.323(21)
	茎秆	3.43 ± 2.35(19)	312.8 ± 120.3(15)	2.02 ± 0.99(21)	32.7 ± 41.7(21)	0.787 ± 0.622(21)
	根	3.60 ± 3.24(22)	213.2 ± 122.1(119)	11.9 ± 6.9(22)	49.2 ± 21.6(22)	1.25 ± 0.63(20)
麦	籽粒	0.0789 ± 0.221(15)	29.7 ± 13.2(15)	7.98 ± 1.30(15)	40.4 ± 8.3(15)	0.333 ± 0.231(14)
	茎秆	1.06 ± 1.27(13)	19.0 ± 10.5(12)	3.36 ± 2.00(13)	11.0 ± 10.0(13)	0.938 ± 0.897(8)
	根	3.79 ± 2.06(13)	113.2 ± 56.2(15)	6.99 ± 2.80(15)	32.9 ± 15.4(15)	2.79 ± 2.32(14)
油菜	籽粒	7.81 ± 3.85(5)	37.5 ± 12.7(5)	4.29 ± 1.20(5)	45.3 ± 10.4(5)	0.239 ± 0.079(5)
	茎秆	28.8 ± 15.0(10)	17.0 ± 11.3(10)	9.79 ± 4.40(10)	28.0 ± 23.6(10)	0.638 ± 0.330(6)
	残落物	45.1 ± 15.3(5)	85.0 ± 72.6(5)	8.77 ± 2.88(5)	55.4 ± 17.9(5)	1.70 ± 0.24(5)
	根	21.1 ± 4.1(5)	29.6 ± 18.7(5)	6.23 ± 2.06(5)	16.6 ± 8.3(4)	4.19 ± 1.81(3)
棉花	花衣	5.28 ± 2.84(3)	4.08 ± 0.72(3)	3.04 ± 2.46(3)	11.1 ± 1.2(3)	0.0629(2)
	籽粒	12.0 ± 7.0(3)	8.56 ± 1.44(3)	9.18 ± 1.59(3)	29.2 ± 3.8(3)	0.532 ± 0.400(3)
	茎秆	12.2 ± 4.4(3)	9.46 ± 7.04(3)	9.37 ± 6.92(3)	11.1 ± 7.2(3)	0.572(2)
	残落物	39.2 ± 10.6(4)	51.1 ± 29.6(4)	14.3 ± 8.36(4)	31.1 ± 19.1(4)	1.25(2)
	根	16.1 ± 3.3(3)	9.85 ± 3.73(3)	7.16(2)	22.3 ± 9.5(3)	5.92(2)

注：(1) 表中的麦，包括小麦、大麦和元麦；(2) 括号内为测定样品的个数。

表 5

作物茎秆中微量元素含量分别占其全株吸取总量的%

作物	B	Mn	Cu	Zn	Mo
早稻	52.5(4)*	73.2(5)	24.1(5)	57.8(5)	42.3(4)
后季稻	60.2(5)	65.2(2)	27.7(5)	60.0(5)	66.0(5)
中稻	69.6(4)	59.4(2)	29.4(4)	55.9(3)	58.8(4)
单晚	68.6(6)	75.5(6)	28.5(7)	45.3(8)	60.1(8)
小麦	62.7(4)	47.7(4)	20.1(3)	20.0(4)	65.3(2)
大、元麦	67.3(9)	54.5(8)	33.2(10)	22.5(9)	52.0(6)
油菜	83.2(5)	46.8(5)	81.3(5)	55.6(5)	50.7(3)

* 括号内为测定样品的个数。

的残落物中的锌含量仍较其它部分的要高。

5. 钼：钼在稻麦、油菜和棉花等作物各器官的含量均呈有规律的变化。一般说，以作物地下部的钼含量最高，其次是残落物或茎秆部分，籽粒中的钼含量则较低。

根据上述，将作物茎秆中微量元素的含量占其全株吸取总量的比例列于表5。由表5可见，油菜秆中铜的含量约占其吸取总铜量的81%；而稻麦茎秆中的铜含量仅占24—33%。不同水稻品种的茎秆中锌的含量约为其吸取总锌量的45—60%，平均为55%；油菜秆的相应值与该值相近，为56%；但麦秆中锌的含量所占的比例则低得多，仅在20%左右。油菜秆中的硼含量占其吸取总量的比例最高，为83%；稻麦茎秆的约在53—70%间。稻秆中锰的含量约占其吸取总锰量的59—76%，平均为68%，麦秆和油菜秆的较低些，分别占其吸取总锰量的51%和47%。稻麦茎秆和油菜秆中钼的含量分别占其吸取总钼量的一半左右。

在利用作物秸秆还田时，尤其对于缺乏微量元素的田块，应该考虑到不同秸秆中各种微量元素含量的特点。

(三) 微量元素的再循环

太湖地区(1989年)主要作物每年从土壤中摄取的微量元素总量为5419吨，其中B为132吨，Mn 4233吨，Cu 138吨，Zn 892吨以及Mo 24吨(表6)。

进入土壤中的微量元素主要有两大类。一类为自然归还的，包括作物收获后残留在土壤

表 6

太湖地区作物吸取的微量元素总量及归还量(1989年)

	B	Mn	Cu	Zn	Mo
作物吸取总量(A), 吨	132	4233	138	892	24.4
作物茎秆中含量, 吨	100	2946	53.0	460	15.2
秸秆还田量(B) 吨	11.6	268	6.9	57.3	1.9
B/A%	8.8	6.3	5.0	6.4	7.8
自然归还量(C) 吨	39.7	829	32.4	172	6.8
C/A%	30.1	19.6	23.5	19.3	28.3

注: A: 以该区1989年稻、麦、油菜和棉花的产量计算;

B: 包括秸秆直接还田和部分用来垫圈后还田, 还田量以占秸秆总量的15%计;

C: 指根茬部分和作物残落物。

中的根茬部分以及作物在生长过程中的落花和落叶; 另一类为施入土壤中的肥料, 包括有机肥料和化学肥料中含有的微量元素。

由表 6 可见, 在太湖地区(1989年)仅作物秸秆还田包括部分秸秆垫圈后还田在内, 输入耕地土壤的 B 量约为 12 吨, Mn 268 吨, Cu 7 吨, Zn 57 吨和 Mo 2 吨左右。该量分别仅占作物秸秆中总量的 9—13%。它表明, 一方面作物秸秆中微量元素的再循环率较低; 另一方面, 提高该部分的再循环量的潜力却较大。

来自根茬及残落物补给土壤的硼、锌等 5 种微量元素的总量达 1000 多吨, 分别占作物吸取总量的 19—30%。

由此可见, 每年通过秸秆还田和根茬以及残落物输入土壤的微量元素量已占作物从土壤中吸取微量元素总量的 26%。

从本区土壤中微量元素的有效量看, Mn 的供应充足, 虽然作物从土壤中移走的微量元素中大部分为 Mn, 由于微量元素再循环的补充, 该区还末曾发现有缺 Mn 症状^[3]。作物从土壤中移走的 Zn 和 Cu 的数量也较大, 但本区土壤中 Zn 和 Cu 的有效供应都比较充足, 可能仅在个别土壤上出现缺 Zn^[3]。至于 Mo 和 B 则可能在本区出现某些缺素症状, 尤以在下蜀黄土母质发育的土壤或白土上出现, 以及在对 Mo 或 B 表现敏感的豆科作物或十字花科作物上表现出来。

为了本区持续农业发展的需要, 加强微量元素的再循环, 提高其再循环率, 有可能维持本区土壤中微量元素的平衡。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所, 土壤理化分析, 361—362页, 上海科技出版社, 1978。
- [2] 刘芷宇、罗质超、唐永良, 主要作物营养失调症状图谱, 22—39页, 农业出版社, 1982。
- [3] 刘铮、徐俊祥、邢光熹、孙秀廷、朱其清, 江苏土壤中微量元素供给情况以及与作物生长的关系 I. 苏南地区, 土壤, 1期, 28—37页, 1974。
- [4] Avnimelech, Y. Organic residues in modern agriculture. In "The Role of Organic Matter in Modern Agriculture" (Eds. Y. Chen and Y. Avnimelech), pp. 1—10, Martinus Nijhoff, Dordrecht, 1986.
- [5] Jenkinson, D. S., The fate of plant and animal residue in soil. In "The Chemistry of Soil Processes" (Eds. D. J. Greenland and M. H. B. Hayes) pp. 505—562, John Wiley and Sons Ltd, 1981.
- [6] Stevenson, F. J., Cycles of Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients. pp. 321—340, John Wiley and Sons Ltd, 1986.