

云南农田生态系统中的锌及其调控*

姚天全 张世玉 赵恒康 王 先

(中国科学院昆明分院生态研究室)

本文仅就微量元素锌在生态环境中的迁移、累积、转化规律及人为的不合理耕作造成生态系统中锌的失调进行研究讨论,为合理开发管理土地资源和施肥提供科学依据。

一、样品的采集与测定方法

(一)样品的采集与制备 土样系用铁铲挖掘剖面,按野外观察划分自然发生层,取土1—2公斤,用布袋分层盛装,经室内风干,挑去植物根及大于1毫米的石砾后,用玛瑙研钵磨细过20和100目尼龙筛孔,混合均匀。共采集193个剖面,419个土样。其中包括砖红壤、赤红壤、红壤、黄棕壤、棕壤、红色石灰土、黑色石灰土、沙土、水稻土等。

(二)测定方法 用高氯酸、王水消化土壤、岩石样品,用原子吸收法测定。土壤中的有效态锌,酸性土壤用0.1NHCl提取;中性、硷性土壤用DTPA提取,用原子吸收法测定。

二、云南主要土类及成土母质中的锌含量

云南土壤含锌量是根据现有193个剖面419个样品的分析资料,结果列于表1。

表1结果表明,云南土壤全锌含量为17.8—312ppm,平均含量为119ppm,高于世界各国土壤的含锌量50ppm(Виноградов,1957),略高于我国土壤的含锌量100ppm(刘铮,1978)。有效态锌的含量为0.01—16.78ppm,平均含量为1.80ppm,高于临界值1.0ppm。

表1 云南主要土类的锌含量

土 类	全量含量范围	平均值	有效态含量范围	平均值
砖 红 壤	45.5—88.6	61	0.19—1.67	1.09
赤 红 壤	50.8—127	81	0.31—2.22	0.87
红 壤	33—174.5	82.5	0.06—16.78	1.6
棕 壤	45.7—278	144	1.45—3.55	2.59
黄棕壤	41—130	88.9	0.46—3.33	1.58
红色石灰土	152—195	194	1.01—4.17	2.14
黑色石灰土	251—312	281	1.24—10.1	4.06
水稻土	73.5—181	108	0.08—10.5	1.64
沙 土	17.8—42.1	31.2	0.01—2.23	0.66

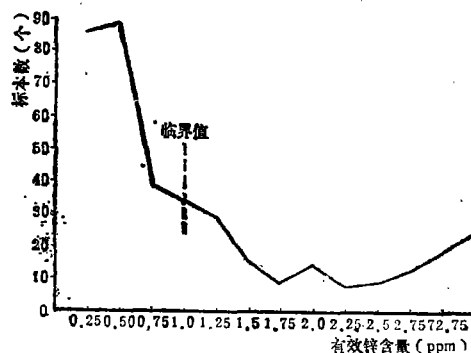


图1 云南土壤中有效锌的含量

* 参加田间试验及部分分析工作的还有 柴闾、刘方林、李生德、傅国民。

收稿日期: 1984年12月25日。

图1说明了这种情况。但因成土母质及土类的不同,含量变幅很大,其中有20%左右的样品有效态锌含量低于缺锌临界值,其中绝大部分是砂岩、冲积物发育的沙土和石灰性土。土壤的含锌量与成土母质的关系最为密切,以红壤土为例,玄武岩、闪长岩、蛇纹岩发育的全锌含量最高,片岩、红色粘土、花岗岩发育的次之;千枚岩、砂页岩、紫砂岩发育的全锌含量最低。按成土母质红壤土中锌的平均含量可排列成以下顺序,括号中的数字是平均含量。

玄武岩(174ppm) > 闪长岩(127ppm) > 蛇纹岩(108ppm) > 片岩(86.6ppm) > 红色粘土(61.9ppm) > 花岗岩(50ppm) > 紫砂岩(34ppm)。

其他土类也有类似情况(图2)

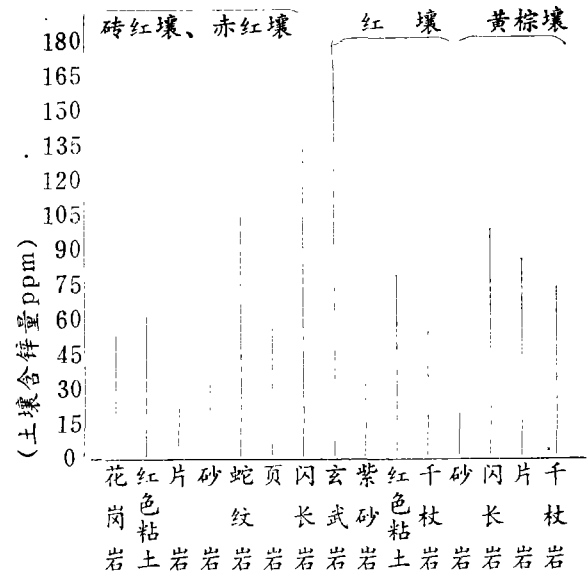


图2 土壤含锌量与成土母质的关系

表2 云南几种土壤中锌的迁移、累积量

采集地点	土壤名称	成土母质	发生层次 (深度厘米)	锌含量 (ppm)	迁移系数	迁移累积率	迁移累积量 (毫克/公斤)
景洪	砖红壤	红色粘土	A(3-15)	56.0	0.91	-0.09	-6.03
			B(35-100)	64.6	0.98	-0.02	-1.34
景洪	" "	花岗岩	A(0-20)	43.1	0.89	-0.11	-5.79
			B(45-80)	53.4	0.99	-0.01	-0.53
勐腊	" "	片岩	A(0-20)	41.1	0.93	-0.07	-3.68
			B ₁ (45-75)	45.9	0.96	-0.04	-3.40
富宁	赤红壤	闪长岩	A(0-9)	142	0.84	-0.16	-17.3
			B(9-30)	133	0.98	-0.02	-2.16
元江	" "	蛇纹岩	A(0-20)	97.8	1.10	+0.01	+0.9
			B(20-60)	114	0.97	-0.03	-2.69
富宁	" "	灰砂岩	A(0-15)	55.0	0.58	-0.42	-35.49
			B ₁ (24-63)	54.9	0.64	-0.36	-30.42
砚山	红壤	红色粘土	A(0-12)	76.7	0.70	-0.30	-27.4
			B ₁ (12-22)	90.4	0.85	-0.15	-137
昆明	" "	玄武岩	A(0-20)	165	0.84	-0.16	-33.6
			B(20-65)	120	0.99	-0.01	-2.1
昆明	" "	砂页岩	A(0-11)	39.3	1.02	+0.02	+0.8
			B(23-36)	24.5	0.60	-0.40	-16.1
澄江	水稻土	冲积物	A(0-13)	108	1.35	+0.35	+32.7
			P(13-24)	95.3	1.07	+0.07	+6.55

表3

云南几种土类剖面中的锌的分布

采集地点	剖面号	土壤名称	母 岩	发 生 层 次 (深度厘米)	pH	全 锌 含 量 (ppm)	有效态锌含量 (ppm)
景 洪	滇 6	砖 红 壤	花 岗 岩	A (0—20)	5.64	43.1	3.59
				AB (20—45)	5.66	41.9	0.76
				B (45—80)	5.53	53.4	0.36
				BC (80—150)	5.55	58.4	0.05
				C(150以下)	6.9	52.6	0.36
富 宁	滇 12	赤 红 壤	灰 砂 岩	A (0—15)	5.09	55.0	0.45
				AB (5—24)	4.85	56.4	0.31
				B ₁ (24—63)	5.22	54.9	0.27
				B ₂ (63—113)	5.2	47.8	0.30
				BC (113—160)	5.5	84.5	0.24
砚 山	滇 16	红 壤	红色粘土	A (0—12)	6.08	76.7	0.91
				B ₁ (12—22)	6.08	90.4	0.13
				B ₂ (22—150)	5.9	86.5	0.05
				BC (150—300)	5.02	91.4	0.05
景 东	004	黄 棕 壤	坡 积	A (3—42)	4.38	81.9	4.59
				AB (42—65)	4.79	93.8	1.12
				B (65—171)	4.84	126	2.0
				BC (171—267)	4.90	100	0.6
				C (267以下)	4.90	125	0.57
澄 江	035	水 稻 土	冲 积 物	A (0—13)	8.07	108	2.10
				P (13—24)	8.01	95.3	0.55
				G (24—60)	8.07	101	0.18
				C (60—85)	7.90	93.2	0.38

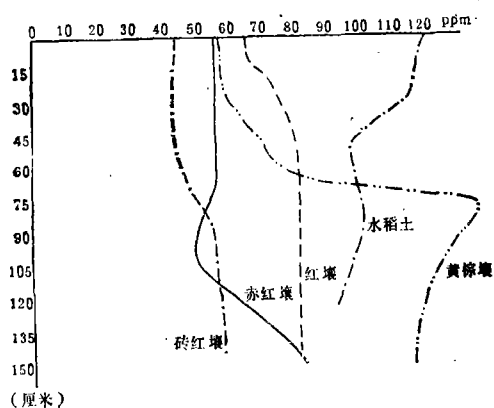


图3 几种土壤中锌的分布

三、锌在土壤中的迁移规律

要正确判断锌在土壤各层次中淋失与累积,简单比较母质与各层次中的含量是不够的。我们假定在成土过程中钛几乎不被淋失,

其含量视为一定的,并以半风化母岩或成土风化壳中元素含量为基础,对剖面各层次中锌的淋失累积率进行计算,得出累积量表2及表3,负值表示淋失,正值表示累积,各计算公式如下:

某种土壤中元素锌的迁移系数 K_{mti}

$$K_{mti} = \frac{\frac{\text{某层土壤中锌含量ppm}}{\text{某层土壤中钛含量ppm}}}{\frac{\text{土壤母质中锌含量ppm}}{\text{土壤母质中钛含量ppm}}}$$

迁移累积率 = 某层土壤的 $K_{mti} - 1$

迁移累积量(毫克/公斤土)

= 迁移累积率 × 母质中锌含量

从图3锌的剖面分异看,砖红壤、赤红壤、红壤由于其风化壳层深厚,受强烈化学风化淋溶作用时间长,且多经侵蚀、搬运、堆积影响,目前生物累积作用也并不强盛,因此,锌在土壤剖面中的垂直分布比较均匀,只有因

粘粒下移造成元素在下层有一定的聚积；黄棕壤剖面中的锌在B层淀积明显。水稻土因受人为耕作的影响，表层往往高于底层。从表2结果看，砖红壤、赤红壤、红壤中锌的迁移规律以淋失为主，A层较B层淋失量更大。水稻土中的锌以累积为主，且A层高于B层。各类土壤的有效态锌明显地表现出表层高于底层，这是共同的特点，就同一剖面而言，凡是表土有机质含量高的，其有效态锌在表土有相对富集的趋势。

四、农田生态系统中锌的调控措施

土壤是作物生长发育的基地，也是生态系统中各种物质进入、迁移、转化、积累的重要场所。在自然土壤上，土壤肥力的演变及土壤形成受自然植被的影响。在某种意义上讲，不同植被类型反映着土壤类型。而在农田土壤上土壤肥力的演变除主要受人为耕作措施影响外，农作物的类型和不同农作物生物循环特点赋予农田土壤元素平衡以重要的影响。在农田生态系统的物质循环中，有机肥和化肥的施用，作物的收获物和根茬的归还还是物质循环最大量和最活跃的因素，现仅就人为干预造成的生态失调和平衡进行讨论。

1. 施用白沙引起玉米诱发缺锌及施锌效果

施用白云石风化物——白沙改良瘦红壤是丘北县农业措施中的一条经验，而且有显著的增产效果，特别第一、二年施用增产效果更为明显。白沙富含碳酸钙和碳酸镁，是天然的石灰质肥料，一般每亩用量在万斤左右。连续施用七、八年后，土壤的一些化学性质就发生了变化（表4），与此同时，玉米大面积出现了“花白苗病”，产量下降，严重地块颗粒无收，甚至丢荒轮歇。

表4的结果表明，由于农田系统中施入了硷性白沙，使土壤中的钙、镁含量由原来的0.39%、0.18%增至3.23%和1.34%；pH值由5.89提高到8.41；有效态锌却由原来的

4.3ppm（指未用过白沙的土壤）降到0.16—0.39ppm，玉米出现缺锌症状。我们选用这种地块进行了田间施锌对比试验，试验小区面积0.05亩，重复三次，随机排列，结果列于表5。

表4 红土施石灰质肥料(白沙)与土壤pH、钙镁和有效锌关系

处 理	分 析 项 目	pH	钙 (%)	镁 (%)	有效态锌 (ppm)	备 注
施白沙5000斤/亩		8.09	3.23	1.34	0.39	
施白沙10000斤/亩		8.41	3.57	1.40	0.33	
施白沙15000斤/亩		8.17	4.44	1.64	0.16	
不 施 白 沙		8.08	1.12	0.66	1.40	曾施过白沙
生 荒 地		5.89	0.39	0.18	4.30	从未施过白沙

注：有效锌用0.1N HCl提取。

表5 锌对玉米的增产效果

试验地点	处 理 项 目	籽实产量 (斤/亩)	每亩增产 (斤)	增产 (%)
丘北县	NP+土杂肥2000斤(对照)	218	—	—
	NP+土杂肥2000斤+1斤ZnSO ₄	310	92	42.2**
	NP+土杂肥2000斤+3斤ZnSO ₄	372	154	70.6**
	NP+土杂肥2000斤+0.15%ZnSO ₄	540	322	147.7**
	NP+土杂肥2000斤+鲜绿肥3000斤	304	86	39.9**
江 川 县	NP (对照)	249.3	—	—
	NP+喷0.2%ZnSO ₄ 三次	764	514.7	206.5**
	NP+3斤ZnSO ₄ 作基肥	788	538.7	216**

** 极显著

结果表明每亩施用1—3斤硫酸锌作基肥或用0.15%硫酸锌水溶液喷三次，以及每亩施用3000斤的鲜绿肥——光叶紫花苕，均可消除病症获得每亩增产86—322斤的效果。应当特别指出的是，处理中的鲜绿肥仍可增产39.9%。光叶紫花苕植株含锌量31ppm，一般每亩光叶紫花苕可收鲜草四千至五千斤，它所富集的锌就可以满足1—2亩玉米所需的锌量。这一研

究结果已广泛在生产中采用，四万多亩缺锌的玉米，连续种植三年绿肥，缺锌的问题已得到根除，不再施用化肥锌肥。这一生物措施失去的平衡又重新建立起来。相反，另一缺锌严重的江川县，虽然已向系统中连续七年补施 $ZnSO_4$ ，至今锌的平衡仍未建立，还需要继续增施锌肥。

2. 水生态因子的改变引起水稻缺锌发红
澄江县是一个三面环山，一面临水的冲积坝子。早在六十年前，抚仙湖的水位较高，夏季稻田常受湖水淹没，一年栽种一次，亩产200—300斤。这类稻田水稻移栽15天后，叶片上开始出现褐色斑点，不返青，不分蘖，后期

恋青晚熟，严重者亩产仅100—200斤，甚至无收。群众把这种症状称为“发红”、“坐秋”，对这类田曾先后采取过开沟排涝、施用磷肥、改良土壤等措施，虽取得了一些效果，但发红症状仍未消除，其原因是没有从土壤生态系统的角度来分析问题，没有找到限制水稻生长的关键。从1968年起，历经三年的土壤调查分析及大量的田间试验，研究了土壤形成过程中与环境条件的关系，特别是因水稻土在长期淹水潜育化过程中，大量钙镁离子聚积、土壤pH提高，土壤还原性增强，导致土壤有效态锌含量降低。不解决向系统中补充锌，即使施用大量的氮、磷、钾肥料，也不能获得高产。问题明

表6 发红田施锌对水稻的增产作用

试验地点	土壤种类	成土母质	pH (H ₂ O)	处 理	亩产 (斤)	增 产 (斤/亩)	增产 (%)
高西三队	冷浸田	冲积物	7.4	腐PK	296.7	—	—
				腐PKZn	868.3	571.6	192.7**
				NPK	333.3	—	—
				NPKZn	913.3	580	174**
许家村	发红田	冲积物	7.7	NP	815	—	—
				NPZn	1144.7	329.4	40.4**
				腐P	862	—	—
				腐PZn	1114	252	29.2**
奚旧六队	胶泥田	冲积物	8.6	N	428	—	—
				NZn	576	148	34.6*
				NP	1034.7	—	—
				NPZn	1098.7	64	6.2*
大白洋	发红田	冲积物	8.54	N	822	—	—
				NZn	950	128	15.6*
				N+ZnO沾秧根	970	148	18.0*
				不施锌	1089	—	—
龙街三队	发红田	冲积物	8.43	秧田施锌	1220	131	12
				大田施锌	1264	175	16.1*
				秧田大田施锌	1317.3	228.5	20.8**

N: 40斤尿素，腐: 360斤草煤粉+40斤碳铵，P: 100斤普钙，K24斤氯化钾，Zn: 6斤硫酸锌，以上均指每亩用量。

确了，在保证其他农业措施的前提下，通过补施锌肥，使失去的平衡重新建立起来，水稻不再发红，并收到了显著的增产效果，试验结果列于表6。31个水稻小区试验，增产幅度5—10%的10个，11—20%的7个，21—30%的10个，31—40%的3个，100%以上的1个。从

表6所列的五个试验结果看，凡是施锌的处理都比对照取得了显著的增产效果，增产幅度为6.2—192.7%，每亩净增粮食44.4—571.6斤。

3. 植物中的微量元素锌

生物机体，特别是植物是地球表面进行地球化学作用的强大力量。植物体中锌的含量既

取决于土壤中有效态的含量和进入植物的化合物化学形式的数量，又取决于植物本身的种类。即使同种栽培的水稻的不同器官中锌的含量也不同（表7），以根中的含量最高，种子

中的含量最低。缺锌土壤上水稻施用锌肥与不施相比，根、茎、叶中聚积较多的锌，而种子中锌的含量变幅不大。

表7 水稻、玉米施锌对各器官吸收锌的影响

地 点	作 物 处 理	水 稻				玉 米			
		根		茎 叶		种 子		茎 叶	
		对 照	加 锌	对 照	加 锌	对 照	加 锌	对 照	加 锌
澄 江 许 家 村		45.9	46.3	20.7	32.7	13.4	13.5	—	—
澄 江 大 白 洋		54.7	79.1	32.5	47.2	13.2	15.7	—	—
丘 北		—	—	—	—	—	—	19.5	48.6
								24.6	25.2

结 语

1. 测定了云南193个剖面 and 419个土壤中锌的含量。全锌含量为17.8—312ppm，平均为119ppm；有效锌含量为0.01—16.78ppm，平均1.80ppm。

2. 土壤中锌的含量受成土母质的影响较大。

3. 锌在土壤中的迁移累积规律以淋失为主，水稻土以累积为主，有效态锌含量表层大于底层。

4. 人为不合理的耕作可造成土壤供锌失调，生态失去平衡。

5. 在系统中输入锌肥，证实了对玉米、水稻的增产作用，与分析结果一致。31个水稻小区试验中增产幅度5—10%的10个，11—20%的7个，21—30%的10个，31—40%的3个，100%以上的1个，每亩增产稻谷44.4—571.6斤，玉米锌肥试验的增产幅度为39.9—147.6%。

6. 不同植物种类的生物吸收系数不同，归还量也不一样，因此，种植绿肥及桔杆还田在平衡农田生态系统中的锌及用地养地十分重要。

7. 锌对改造云南省的冷浸田是一条投资少、收益大的有效措施。

（上接第58页） 每亩收入2,300元。于王庄大队刘美德8分菜园，春秋两季种菜花，冬季搞暖棚韭菜、蒜黄，全年纯收入3,000元，每亩收入3,700元。混种不仅在一般农业地区增产增收的效益显著，就是在已经高度集约的大城市郊区农业中也是如此。如上海市郊区农田已有的多种间种套作方式稍加改进，就能明显提高产量和增加收益。上海县七一、莘庄和青浦徐泾等地，有个别农民在瓜田沟的两边，点种黄豆或辣椒和甜玉米。黄豆株距1尺，辣椒株距2.4尺，距瓜行6寸，每亩瓜收入约200元，辣椒收入100多元（或收黄豆100多斤），三麦

实产300多斤，每亩总收入约330多元，比原来瓜、麦两种作物间作，增加收益43.5%。如果全郊区有一半瓜田，都能点种大豆，约可增产大豆550多万斤，相当于目前全郊区大豆面积不增加而增产一倍。同时，间作田里，瓜带约占土地面积的41.6—47.3%，这些瓜带直到种瓜前，约有180天的光能和地力未被利用，如果能点种一季短期蔬菜，并留有一定时间休闲，那末就可以增产蔬菜约110万担，可见郊区农田的立体利用，潜力是很大的。（待续）

（中国农村发展问题研究组 邓宏海供稿）