

旱改水对砂姜黑土中锌含量的影响研究*

丁维新 朱其清 刘元昌 汪金舫

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要 本文用连续分级浸提法,研究了旱改水对砂姜黑土中锌的含量、赋存形态和有效性的影响。砂姜黑土中的锌绝大部分以残留态存在,晶形铁结合态约占 10%,其余形态锌一般小于 3%。这些形态锌可以分为三类:一类为土壤锌的强度因子,即代换态锌;另一类是土壤锌的容量因子,即有机态、无定形铁结合态和晶形铁结合态锌;第三类为残留态锌。土壤中有效态锌主要来自代换态。旱改水后,晶形铁结合态锌向有机态和无定形铁结合态锌转化,使得土壤中锌的活动性提高,增加了土壤中锌遭受淋溶损失的机率,从而导致土壤中全锌和有效态锌含量降低。

关键词 耕作制度,赋存形态,土壤锌,有效性

中图分类号 S143.7

砂姜黑土分布于我国古老的旱耕农作区。历史上由于沟渠河流不配套,易涝易旱,粮食产量长期低而不稳。自从兴修水利,种植水稻,实行水旱轮作以来,作物单位面积产量稳步提高。随着产量增加和化肥的大量使用,某些地区锌的缺乏日趋严重,现已成为水稻生产过程中仅次于氮、磷、钾的限制因子。本项研究系在田间试验研究的基础上,对不同耕作制度下砂姜黑土中锌的形态及其有效性进行了研究。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

试验地点选择在位于江苏省泗洪县的中国科学院砂姜黑土综合改良实验区,本区地势平坦,尚未受到现代工业的污染。土壤均由古河湖相沉积物发育而成。在方圆 15km²范围的新老试验区内,旱作和水旱轮作田呈穿插状分布。按照均匀布点的原则,在试验区采集多点混合耕层土壤样品 64 个,另采集 3 个剖面的土样,剖面 I、II 为旱作土壤,但剖面 II 在 70 年代曾种过水稻 8 年;剖面 III 为水旱轮作土壤,已有 40 多年的植稻历史。

1.2 分析方法

土壤中锌的全量和有效态含量分别用高氯酸-氢氟酸消化法和 DTPA 溶液提取,原子吸收分光光度法测定,全钛含量用等离子发射光谱法测定。

* 本文系江苏省重点研究项目“泗洪农业综合开发研究”的部分内容

收稿日期:1998-03-05;收到修改稿日期:1999-05-25

土壤中锌的形态用连续分级浸提法区分,本法的优点及试剂的专一性已有专文给予讨论^[1],具体操作步骤列于表1。操作温度为25℃,液土比为10:1,所有待测液直接用原子吸收分光光度法测定。当每一级形态浸提完毕后,用称重法测出残留液的体积,并在结果计算时扣除残留液带入的锌量。

表1 土壤不同形态锌的连续分级方法

Table 1 The sequential fractionation of Zn in soils

形态 Form	提取液 Extracting solution	操作条件 Operational condition
代换态锌(Ex-Zn)	1mol/L NH ₄ Ac(pH7.0)	振荡2hr
碳酸盐结合态锌(Carb-Zn)	1mol/L NaAc-HAc(pH5.0)	振荡5hr
氧化锰结合态锌(MnO-Zn)	0.1mol/L NH ₂ OH·HC ^l (pH2.0)	振荡30min
有机质结合态锌(OM-Zn)	A. 30%H ₂ O ₂ (pH2.0) B. 1mol/LNH ₄ Ac(pH7.0)	用A在沸水浴上提取30min 重复一次,再用B振荡2hr
无定形铁结合态锌 (AFeO-Zn)	0.2mol/L (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ ⁻ 0.2mol/L H ₂ C ₂ O ₄ (pH3.0)	在黑暗条件下振荡4hr
晶形铁结合态锌(CFeO-Zn)	在步骤5的提取液中加入0.1mol/L抗坏血酸	在沸水浴上提取30min
残留态锌(Res-Zn)	HClO ₄ -HF	

2 结果与讨论

2.1 旱改水对土壤中锌含量的影响

砂姜黑土中全锌的含量范围是38.92~101.51mg/kg,平均为55.19mg/kg,大约是我国土壤锌平均含量的一半^[2],属于低锌含量的土壤。

砂姜黑土旱改水种植水稻后,土壤中锌的含量与旱作土壤比较,平均降低了7.88%(表2),但尚未达到显著水平,可见淹水种稻加速了土壤耕层中锌向下淋溶转移。锌在溶液中的浓度受吸附作用及碳酸锌、氧化锌和磷酸锌等的溶解度的影响,淹水为上述形态锌的溶解和迁移创造了条件,因此淹水初期溶液中锌的含量迅速增多,但到半月至一个月左右即行减少,并稳定在一定数值^[3]。表3为锌的迁移系数和迁移累积率,从表可知,旱作土壤耕层中锌呈富集状态,水旱轮作土壤则相反,有下移的趋势,并在犁底层积聚。

表2 耕作制度对砂姜黑土中锌含量的影响(mg/kg)

Table 2 Influence of cropping system on Zn content of soils

耕种方式 Cropping system	样本数 Total samples	含量范围 Range	平均值 Average	增加 Increment(%)	标准差 Standard deviation	变异系数 Variation coefficient
旱作	11	41.91~81.19	58.09a	—	12.49	0.22
水旱轮作	19	38.82~101.51	53.51a	-7.88	15.74	0.29
总计	30	38.82~101.51	55.19a	-4.99	14.58	0.26

2.2 旱改水对砂姜黑土中锌有效性的影响

从表4结果来看,1993年砂姜黑土有效态锌的含量介于0.07~5.94mg/kg之间,平均

表3 砂姜黑土剖面中锌的分布特征(mg/kg)

Table 3 Zinc distribution in soil profiles

耕种方式 Cropping system	深度 Depth (cm)	含量 Content	增加 Increment (%)	迁移系数 ¹⁾ Transport coefficient	迁移累积率 ²⁾ Transport rate
旱作土	0~15	60.76	—	1.23	0.23
	15~40	150.64	147.93	3.23	2.23
	40~	50.65	-16.78	1.00	—
水旱轮作土	0~12	74.05	—	0.41	-0.59
	12~24	210.83	184.73	1.16	0.16
	24~54	68.44	-7.57	0.41	-0.59
	54~	171.49	131.60	1.00	—

1) 迁移系数=[(土层中Zn含量/土层中Ti含量)/(母质中Zn含量/母质中Ti含量)]

2) 迁移累积率=迁移系数-1, +为累积, -为迁移, 计算方法见参考文献[4].

为 0.69mg/kg, 不仅高于 DTPA 浸提液的缺锌临界值 0.50mg/kg, 而且也远高于 1980 年对试区土壤的测定结果。若按新老试区分别进行统计, 发现老试区(1988 年启动)土壤有效态锌的含量分布在 0.20~5.94mg/kg, 平均为 0.95mg/kg, 而新试区(1992 年启动)土壤有效态锌的含量范围是 0.07~0.75mg/kg, 平均 0.45mg/kg, 前者无论含量范围或平均值都明显高于后者, 看来经过我们多年大力推广锌肥, 在老试区土壤上发生缺锌的可能性已大为降低。

为了消除在老试区因施锌可能造成的干扰, 对不同试区不同耕作方式下土壤有效态锌的含量分别予以统计。由表 4 可知, 不论在新试区还是在老试区, 旱改水加速了耕层土壤中有效态锌降低, 降幅为 8.33~16.88%, 使得砂姜黑土缺锌更严重。产生这种现象的原因除与作物产量提高从而带走较多的锌有关外, 尚与土壤中锌的形态转化相关联。

2.3 旱改水对砂姜黑土中锌赋存形态的影响

表4 耕作制度对砂姜黑土中有效态锌含量的影响(mg/kg)

Table 4 Influence of cropping system on available zinc content of soils

试区 Test area	耕种方式 Cropping system	样本数 Total samples	含量范围 Range	平均值 Average	增加(%) Increment	标准差 Standard deviation	变异系数 Variation coefficient
老试区	旱作	13	0.20~5.94	1.06	—	1.63	1.54
	水旱轮作	22	0.32~2.70	0.89	-16.04	0.67	0.75
	合计	35	0.20~5.94	0.95	-10.38	1.10	1.15
新试区	旱作	10	0.22~0.75	0.48	—	0.17	0.36
	水旱轮作	19	0.07~0.62	0.44	-8.33	0.20	0.45
	合计	29	0.07~0.75	0.45	-6.25	0.19	0.41
全试区	旱作	23	0.20~5.94	0.77	—	1.15	1.51
	水旱轮作	41	0.07~2.70	0.64	-16.88	0.52	0.81
	总计	64	0.07~5.94	0.69	-10.39	0.86	1.16

2.3.1 砂姜黑土中锌的赋存形态 砂姜黑土中锌的赋存形态列于表 5。从表可见,砂姜黑土中几乎没有锌与碳酸盐特别是氧化锰相结合。砂姜黑土中代换态锌、有机态锌和无定形铁结合态锌的含量也很少,一般都不到全量的 3%,绝大部分的锌以残留态存在,即存在于硅酸盐矿物的晶格中或间被硅酸盐矿物强烈地专性吸附着。大约还有 10%~20%的锌进入了氧化铁晶体或专性吸附于其表面。

表5 耕作制度对土壤中锌形态的影响(mg/kg)

Table 5 Effect of cropping system on Zn forms in the soils

耕种方式 Cropping system	深度 Depth (cm)	代换态锌 Ex-Zn		碳酸盐态锌 Carb-Zn		氧化锰态锌 MnO-Zn		有机态锌 OM-Zn		无定形铁态锌 AFeO-Zn		晶形铁态锌 CFeO-Zn		残留态锌 Res-Zn	
		C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R
旱作 (剖面I)	0~17	0.59	0.97	Nd	0.00	Nd	0.00	0.50	0.82	1.48	2.43	12.18	20.00	46.15	75.78
	17~30	0.17	0.09	Nd	0.00	Nd	0.00	0.10	0.06	0.42	0.23	6.59	3.64	173.74	95.98
	30~40	0.00	0.00	Nd	0.00	Nd	0.00	0.06	0.03	0.25	0.14	3.54	2.03	170.22	97.79
	40~	0.00	0.00	Nd	0.00	Nd	0.00	0.10	0.05	0.22	0.10	0.21	0.10	212.16	99.75
旱作 (剖面II)	0~15	0.34	0.56	Nd	0.00	Nd	0.00	1.61	2.65	1.33	2.19	10.01	16.47	47.47	78.13
	15~40	0.10	0.07	Nd	0.00	Nd	0.00	0.28	0.19	0.11	0.07	6.73	4.47	143.42	95.21
	40~	0.19	0.38	Nd	0.00	Nd	0.00	0.18	0.36	0.14	0.28	8.84	17.5	41.22	81.51
水旱轮作 (剖面III)	0~12	0.64	0.86	Nd	0.00	Nd	0.00	2.12	2.86	2.41	3.25	12.90	17.4	55.98	75.61
	12~21	0.20	0.09	Nd	0.00	Nd	0.00	1.01	0.48	1.62	0.77	11.56	5.48	196.44	93.18
	21~54	0.00	0.00	Nd	0.00	Nd	0.00	0.00	0.00	0.41	0.60	8.51	12.4	59.52	86.97
	54~	0.00	0.00	Nd	0.00	Nd	0.00	0.00	0.00	0.40	0.23	6.87	4.01	164.22	95.76

注: C为含量,R为该形态锌含量占土壤全锌含量的百分比; Nd为含量未被测出。

综上所述,砂姜黑土中锌的赋存形态按量的大小呈如下规律:残留态>晶形铁结合态>无定形铁结合态>有机态>代换态,而氧化锰结合态和碳酸盐结合态未测出。

2.3.2 砂姜黑土中有效态锌的赋存形态 砂姜黑土中有效态锌和各形态锌的相关分析结果表明(表 6),有效态锌的含量不仅与代换态和无定形铁结合态锌间存在着极显著的相关性,而且与有机态锌和晶形铁结合态锌之间也存在显著的关系,因此如用相关分析来判断土壤有效态锌的赋存形态,那么上述诸形态都可被认为是土壤中有效态锌的来源。然而从表 6 还可以看到用连续分级方法所得 5 种形态锌之间也存在一定的相关性,有的甚至达到极显著水平,致使它们所提供的土壤锌的信息发生重复,无法正确判断。为此用主组元分析方法将 5 种形态锌的含量换算成几个无量纲的彼此相对独立的综合指标,这些指标排除了信息的重叠,又几乎全部反映了土壤中锌形态原有的信息。图 1 为依据指标绘制的主组元载荷量图,图 2 则是 5 种形态锌之间的主组元分析二维因子标记模式图。从图 1 可知,所研究的土壤有效态锌和 5 种形态锌分属于三个不同的组别:有效态锌和代换态锌的关系最密切,被归为一组;有机态、无定形铁结合态和晶形铁结合态锌之间的关系也很密切,被归入第二组;残留态锌则单独成为一组。由此可见,DTPA 浸出的有效态锌主要来源于代换态。多元线性回归分析方法获得的回归方程 $Avail-Zn = 0.22 + 0.72Ex-Zn - 0.10OM-Zn + 0.17AFeO-Zn - 0.03CFeO-Zn$ ($r = 0.97^{**}, n=11$) 提供了相似的信息。

假如图 2 中主组元因子 W 和 Z 分别表示土壤中锌的容量因子和强度因子,那么土壤

表6 砂姜黑土中有效态锌与各形态锌之间的关系

Table 6 Correlation between various Zn forms and available Zn in the soils

形态 Forms	有效态锌 Avail-Zn	代换态锌 Ex-Zn	有机态锌 OM-Zn	无定形铁态锌 AFeO-Zn	晶形铁态锌 CFeO-Zn	残留态锌 Res-Zn	全锌 Total-Zn
Avail-Zn	1						
Ex-Zn	0.9294**	1					
OM-Zn	0.6648*	0.7568**	1				
AFeO-Zn	0.8257**	0.8469**	0.8887**	1			
CFeO-Zn	0.6886*	0.8211**	0.7233*	0.8534**	1		
Res-Zn	-0.4266	-0.5833	-0.374	-0.3316	-0.5143	1	
Total-Zn	-0.4084	-0.5839	-0.3523	-0.3063	-0.4904	0.9996**	1

*和**分别表示相关性达到显著和极显著水平

中 5 种锌的形态可被划分为三类: 代换态锌易被植物吸收利用, 是强度因子; 有机态锌、无定形铁结合态锌和晶形铁结合态锌是土壤中锌的容量因子的主要组分, 在调控土壤有效态锌的储量方面起着重要作用; 残留态锌既不是强度因子, 也不是容量因子, 很难为植物直接吸收利用。据此, 砂姜黑土中可供植物吸收利用的锌大约仅为 11%~13%。

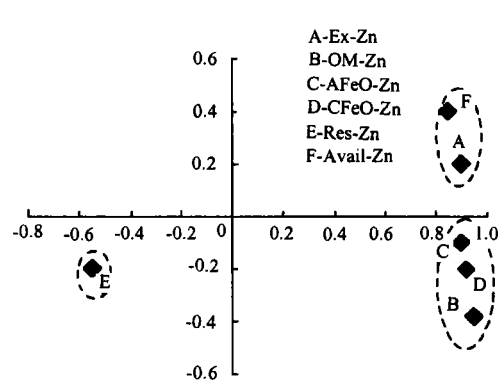


图1 土壤中锌形态和有效态锌主组元因子载荷图

Fig.1 Distribution of Zn forms and available Zn in the figure of principal component analysis

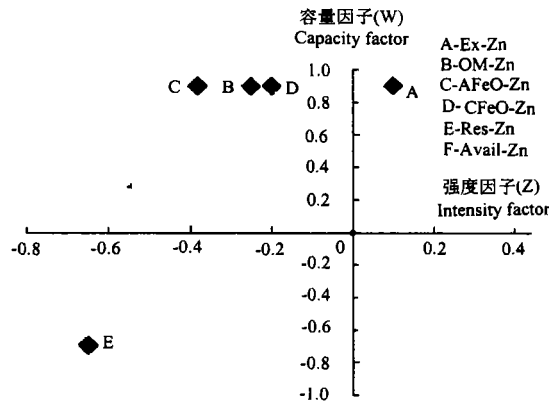


图2 土壤中锌形态的二维因子标记模式

Fig.2 Two dimensions of factor pattern of Zn forms

2.3.3 旱改水对砂姜黑土中锌形态的影响 旱改水后, 砂姜黑土中锌的形态又发生了变化(图 3), 但较其它微量元素如锰要弱得多。以有机态锌含量的变化较大, 由旱作土壤占全锌的 0.82% 增加到水旱轮作土壤的 2.41%, 增幅达到 2.5 倍。有机态锌的含量与有机质含量呈正相关($r = 0.77^{**}$, $n = 11$), 前者随后者增加而提高, 但有机态锌需经微生物分解转化后方能为植物吸收利用, 因此有机质含量高的水稻土中有效态锌的含量反而低, 水稻吸收锌量就相应减少^[5]。无定形铁结合态锌也呈上升的趋势, 变化幅度为 33.61%。与上相反, 晶形铁结合态锌和代换态锌的含量呈下降的趋势, 降幅分别为 12.90% 和 10.42%; 残留态锌则较少受耕作改制的影响, 主要受到土壤粘粒含量和粘粒矿物组成的制约。

上述结果表明, 土壤中有效态锌主要来自代换态, 无定形铁结合态略有贡献。旱改水

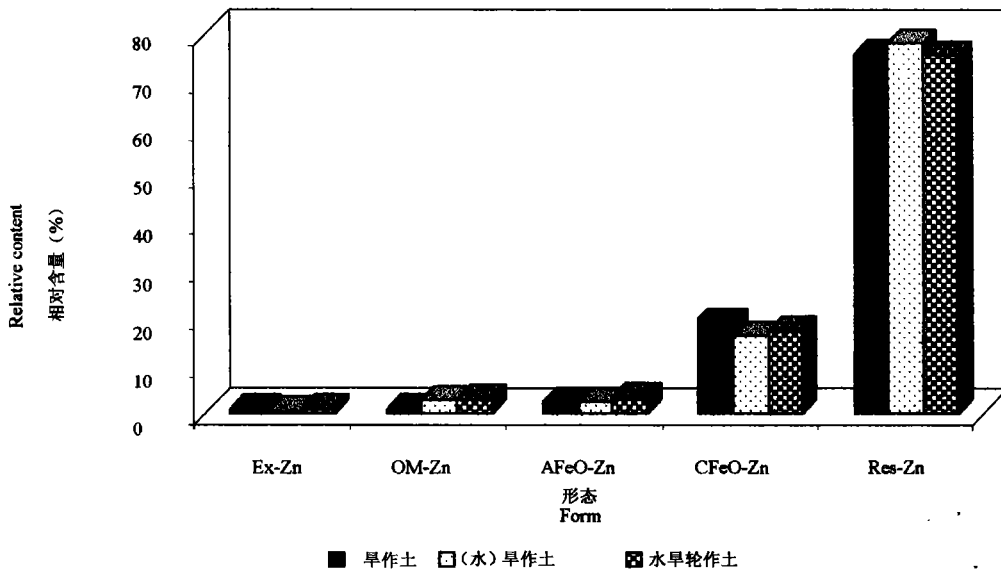


图3 耕作制度对土壤锌形态的影响

Fig.3 Effect of cropping system on distribution of soil Zn forms

所引起的土壤代换态锌占全锌含量比例的降低无疑是导致水田土壤中有效态锌含量低的直接原因。据报道, 锌与有机酸特别是富里酸形成的络合物相当稳定^[5], 并且与无定形铁结合态锌一样, 活动性远大于晶形铁结合态锌, 但砂姜黑土中腐殖质以胡敏酸为主, 腐殖质与粘土矿物形成的复合体使粘土矿物负电荷增多, 带负电荷的有机无机复合体中的有机态锌极易随粘粒和水迁移至下层, 并在犁底层富集, 这就是砂姜黑土早改水后耕层土壤全锌和有效态锌含量降低的一个重要原因。

3 结 论

1. 早改水后砂姜黑土中锌的全量和有效态锌的含量呈下降的趋势。
2. 砂姜黑土中有效态锌主要来自代换态, 无定形铁结合态锌略有贡献。
3. 早改水后砂姜黑土中锌的形态发生了变化, 代换态锌和晶形铁结合态锌的含量和比例下降, 有机态锌和无定形铁结合态锌含量和比例增加。

参 考 文 献

1. 丁维新. 土壤和污泥中微量元素形态的分级研究法. 国外农业环境保护, 1989, (4): 22~24
2. 刘铮等. 我国主要土壤中微量元素的含量与分布的初步总结. 土壤学报, 1978, 15(2): 138~150
3. Yoshida S, Tanaka S. Zinc deficiency of rice plant in calcareous soils. Soil Science, 1969, 15: 75~80
4. 龚子同等. 土壤地球化学的进展和应用. 北京: 科学出版社, 1985
5. Mikkelsen D S, Shiou Kou. Zinc fertilization and behavior in flooded soils. Special publication No. 5, Commonwealth Bureau of Soils, Harparden, 1977

EFFECT OF CROPPING SYSTEM ON ZINC CONTENT IN SHAJIANG BLACK SOILS

Ding Wei-xin Zhu Qi-qing Liu Yuan-chang Wang Jin-fang

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Summary

The paper deals with the influence of changes of cropping system from upland farming to rotation of rice and upland farming on the total content, form and availability of zinc in Shajiang black soils studied by using the sequential-extraction method in combining with the mathematical analysis methods of principal component analysis and linear regression. The residual, crystalline iron oxide-bound, amorphous iron oxide-bound, organically bound and exchangeable Zn of soils accounted for 75.60%~78.13%, 16.47%~20.00%, 2.19%~3.27%, 0.82%~2.86% and 0.56%~0.97% of the total Zn, respectively. These forms could be divided into three groups. The first group was exchangeable Zn, which the available Zn mainly came from, being the intensity factor of available Zn in soils. Organically bound Zn, amorphous iron oxide-bound Zn and crystalline iron oxide-bound Zn belonged to the second group which was the capacity factor of available Zn in soils. The third group was the residual Zn, which was unavailable to plants but could be activated under artificial cultivation. Under the rotation of rice and upland crops, the ratios of exchangeable Zn and crystalline iron oxide-bound Zn to total Zn decreased, but those of organically bound Zn and amorphous iron oxide-bound Zn to total Zn increased, which enabled Zn in soils to be activated and be more movable, and thus reduced the contents of total Zn and available Zn in cultivated layer of soils.

Key words Cropping system, form, Soil Zn, Availability