

腐殖质对白浆土中 Fe、Mn、Al 形态转化 及磷生物有效性的影响*

吴龙华[†] 高子勤

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

摘 要 在三江平原布置长期试验, 研究连年施用有机肥后土壤腐殖质变化及其对白浆土 Fe、Mn、Al 形态转化及磷生物有效性的影响。结果表明, 施用牛粪后土壤腐殖质含量升高, 且以松结态腐殖质的增长为主; 土壤的 DTPA 提取态和有机络合态 Fe、Mn、Al 含量上升, 使土壤有效态磷含量上升。因此, 生物措施是治理白浆土, 促进土壤磷素养分有效性上升, 增大土壤缓冲容量和抗逆性的有效措施。

关键词 白浆土, 腐殖质, Fe, Mn, Al 形态, P, 有效性

中图分类号 S158.3

早在三十年代, 前苏联学者 И. В. 丘林即开始研究腐殖质组成及特性, 为腐殖质研究奠定了基础, 五十年代科诺诺娃系统地研究了腐殖酸分组及其方法^[1]; 而 Schnitzer^[2,3] 等则全面地研究了腐殖酸与金属离子的相互作用及其环境效应; Stevenson^[4,5] 也对金属离子与土壤中有机的相互作用作了非常深入的研究, 并已形成了专著; Huang^[6] 对土壤有机—Al 复合体的化学行为及其影响因子作了非常深入、细致的研究; Fox^[7] 认为有机酸钙影响灰化土剖面中 P、Al 的释放; Lindsay^[8] 报导有机质对铁氧化物的溶解作用可影响土壤中铁的有效性; Huang 和 Singer^[9] 认为腐殖酸对铝水氧化物结晶作用有影响。

国内在这方面的研究也非常多, 保学明^[10] 认为金属—有机络合物的稳定性与有机物质的类型及聚合程度有关; 刘志光^[11] 认为土壤中的铁、锰氧化物颗粒或包膜可以被植物残体分解的某些有机物质所还原、络合和溶解, 从而增加了铁和锰的活性和生物有效性。

我国白浆土的分布较为广泛, 在黄河以南地区主要与棕壤或黄棕壤成复区分布。在东北地区主要与黑土、草甸土或暗棕壤成复区存在。经过近半个世纪的研究, 我们已在白浆土的成土过程, 剖面分化特征, 肥力状况^[12~14], 微形态特征, 酸度状况, 氧化物特性和有机—无机复合体、磷素特征^[13] 等方面做了大量系统的工作。

本文旨在研究生物措施对白浆土中腐殖质结合状况、Fe、Mn、Al 形态转化的影响及其与土壤磷素变化的关系, 以揭示白浆土有机—金属络合作用效应及由此产生的土壤磷素活化机制, 为白浆土的生物改良, 持续稳产提供理论依据。

* “八五”国家科技攻关项目 (85-005-01-04) 的一部分

[†] 现工作单位: 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008

收稿日期: 1999-05-07; 收到修改稿日期: 1999-08-11

1 材料和方法

1.1 供试土壤

供试土壤为白浆土,采自黑龙江省宝清县八五三农场二分场四队,属半水成土纲,第四纪河湖相粘土沉积母质,其基本理化性状见表1。牛粪中全量 N、P、K 分别为 6.72、2.01、3.92g/kg,全量 Fe、Mn、Al 分别为 1.08、0.0462 和 0.433g/kg。

1.2 试验设计与实施

试验于 1991~1994 年在八五三农场二分场四队进行,分为 2 个处理,分别为 I) 对照;II) 施牛粪 (27600kg/hm²)。微区面积为 4m²,三次重复,随机区组排列。

分别于 1991、1994 年作物收获时采集土壤样品,取样深度为 0~20cm 耕层,挑除草根,风干,过筛、备用。

表1 供试土壤基本性状

Table 1 Basic properties of tested soil

发生层 Horizon	pH (H ₂ O)	有效磷	有效铁	有效锰	有效铝	全碳 Total C	全铁 Total Fe	全锰 Total Mn	全铝 Total Al	全磷 Total P	质地 Texture
		Olsen P	DTPA-Fe	DTPA-Mn	DTPA-Al						
		mg/kg				g/kg					
表层	5.80	14.0	73.6	162.8	5.54	25.1	30.1	1.44	7.27	0.884	壤土
白浆层	5.88	2.76	—	—	—	5.88	—	—	—	0.279	壤土

1.3 测定方法

土壤全碳采用 K₂Cr₂O₇—外加热法^[15]。结合态腐殖质分组参照《土壤胶体(二):土壤胶体研究法》^[16]并借鉴徐建民改进法⁽¹⁾,具体方法是:准确称取过 60 目风干土样 2.00g,以土液比 1:10 的比例加入 0.1 mol/L NaOH 溶液,常温下振荡 1 小时,放置过夜,次日加入少量饱和 Na₂SO₄ 溶液并离心,提取液倒入 100ml 容量瓶,如此反复多次,直至提取液接近无色,定容,这部分腐殖质(松结态)用 H₁ 表示,并区分成胡敏酸(HA₁)和富里酸(FA₁);继续用 pH 近 13 的混合液(0.1mol/L NaOH + 0.1mol/L Na₄P₂O₇)连续提取,操作过程同上,用 H₂ 表示这部分腐殖质(稳结态),也分成胡敏酸(HA₂)和富里酸(FA₂);残渣中的腐殖质(即胡敏素)含量用 H₃ 表示。测定两次提取液中胡敏酸和富里酸含量及铁、锰、铝、磷等元素含量,总碳量与(H₁ + H₂)之差为 H₃ 含量。土壤有效态 P 用 Olsen 法提取^[15],土壤无机磷形态分组采用 Chang-Jackson 法^[15],同时测定铝磷,铁磷提取液中 Fe、Mn、Al 含量。土壤有效态 Fe、Mn、Al 用 DTPA 浸提^[15],土壤有机络合态 Fe、Mn、Al 采用 pH9.8 的 0.1mol/L Na₄P₂O₇ 提取^[15],土壤矿质全量采用三酸(HNO₃、HClO₄、HF)消煮。各形态腐殖质全碳含量均采用 K₂Cr₂O₇—外加热法测定,所有样品中磷采用磷钼蓝比色法测定,土壤全量铁、锰采用原子吸收法测定,全量铝采用比色法测定,其余样品中铁、锰、铝均采用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP)测定。土壤 pH(土水比 1:2.5)用 pHs-3 型酸度计测定^[15]。

2 结果与讨论

2.1 土壤结合态腐殖质的分布

(1) 徐建民. 土壤中钙型和铁铝型有机无机复合体的研究. 浙江大学土化系博士论文. 杭州:1990

2.1.1 土壤有机碳总量 如图 1 所示,施用牛粪使土壤有机碳总量显著增加,施用牛粪 4 年后土壤有机碳总量极显著高于对照 ($P < 0.01$)。不施有机肥的对照,4 年后土壤有机碳含量下降了 1.45g/kg。

2.1.2 结合态腐殖质 表 2 为微区试验土壤腐殖质组分状况。牛粪处理一年后土壤松结态腐殖质各组分含量高于对照,而稳结态比对照略低。加入的新鲜碳源腐解产生的可能多为简单有机酸或是芳构化程度较小的成分,它们可能对松结态腐殖质增加的贡献较大。连续施用牛粪四年后,松结态腐殖质含量继续上升,土壤松结态、稳结态腐殖质动态平衡向稳结态腐殖质积累的方向发展,稳结态腐殖质含量上升,并高于对照, H_1/H_2 值 1994 年的比 1991 年的低。

从 H/F 值看,施牛粪处理一年后,松结态腐殖质的比对照的低,而稳结态则相反;施牛粪处理四年后二者均高于对照,表明牛粪处理在腐殖酸各组分均增加的同时,土壤中结合态腐殖质以分子量较大、芳构化程度较高的 HA 的增加量大于小分子量的 FA,这将有助于土壤有机碳总量的增加。

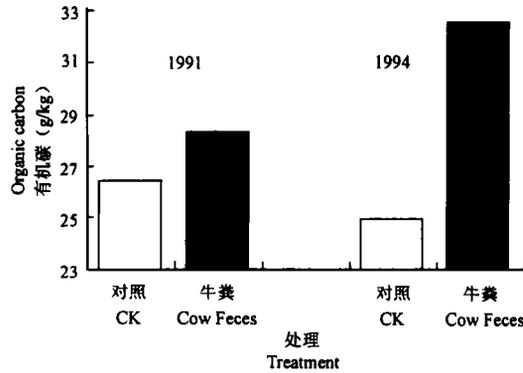


图1 微区试验土壤有机碳含量变化(g/kg)

Fig.1 Change in organic carbon content of soil in experimental plots (g/kg)

表2 微区试验土壤腐殖质组分全碳含量(g/kg)

Table 2 Total carbon content of humus component of soil in experimental plots

年份 Year	处理 Treatment	HA ₁	FA ₁	H ₁	H ₁ /F ₁	HA ₂	FA ₂	H ₂	H ₂ /F ₂	H ₁ /H ₂	胡敏素 Hummin
1991	I(CK)	6.05 ^{bb}	4.83 ^b	10.9 ^{bb}	1.25	2.26	2.11	4.36	1.07	2.49	11.2
	II	6.75 ^{aa}	5.78 ^a	12.5 ^{aa}	1.17	2.21	1.90	4.11	1.16	3.05	11.7
1994	I(CK)	5.88 ^b	4.24	10.1 ^b	1.39	2.47 ^{ab}	1.66	4.13 ^b	1.49	2.45	10.7
	II	7.66 ^a	5.20	12.9 ^a	1.47	2.97 ^{AB}	1.77	4.74 ^a	1.68	2.71	14.9

注:用新复极差法(SSR法)统计,表中小写字母为5%差异显著性水平,大写字母为1%差异显著性水平。

2.2 腐殖质对土壤铁、锰、铝形态变化的影响

2.2.1 腐殖质结合的 Fe、Mn、Al 0.1mol/L NaOH 提取的腐殖质是活性态腐殖质,是游离有机质以及与活性铁铝氧化物结合的腐殖质的总和^[16]。由表 3 可见,牛粪处理一年后土壤松结态腐殖质提取液中 Fe 的含量高于对照,四年后则低于对照。这是由于土壤松结态腐殖质含量的上升导致土壤活性铁铝氧化物含量增加,而大田情况下的降水淋溶则可导致这部分铁铝的迁移,在短时间内,施用有机物料后松结态腐殖质结合的 Fe 上升,随着培肥时间的延长,活化的铁被淋失,或是有向稳结态转化。铝则可能处于动态平衡之中,变化不大。

表 4 为腐殖质(H₁、H₂)每克碳结合的 Fe、Mn、Al 总量,它可以更明确地表示有机物料改良后土壤腐殖质络合的土壤金属元素。由表中可见,施用牛粪处理一年后,与对照比较,松结态腐殖质结合的 Fe 略增,Mn 的变化不大,Al 略降,但未达到 5% 显著性水平;四年后则是 Fe 极

显著下降, Mn 显著下降, Al 略下降但差异不显著。这是由于 NaOH 提取液的 pH 高达 12.4, 在这样的溶液中即使 NaOH 能提取与铁结合的腐殖质, 铁也不大会以离子的形式存在于溶液中; 根据 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的溶度积 (K_{sp}) 为 1.1×10^{-36} , 铁能以氢氧化物的形式生成沉淀, 而两性的铝则不存在这种现象。然本实验结果表明, 无论松结态腐殖质或稳结态腐殖质, 其铁的含量均高于铝, 可能是土壤铁含量高于铝、腐殖酸-铁络合物的溶解性较大所致。

表3 土壤腐殖质结合态铁、锰、铝量 (mg/kg)

Table 3 Contents of Fe, Mn, Al in form combined with humus

年份 Year	处理 Treatment	松结态 Loosely combined (H _i)			稳结态 Steady combined (H ₂)	
		Fe	Mn	Al	Fe	Al
1991	I(CK)	974.3	31.9 ^b	563.6	224.5	101.2
	II	1128.5	36.9 ^a	581.9	209.5	94.3
1994	I(CK)	1054.8	29.0 ^b	556.7	199.5	89.6
	II	969.2	26.1 ^a	578.5	221.1	113.4

注: 用新复极差法 (SSR法) 统计, 表中小写字母为5%差异显著性水平, 大写字母为1%差异显著性水平。

表4 土壤腐殖质结合态铁、锰、铝量 (mg/g)

Table 4 Contents of Fe, Mn, Al combined by per gram humus

年份 Year	处理 Treatment	松结态 Loosely combined (H _i)			稳结态 Steady combined (H ₂)	
		Fe	Mn	Al	Fe	Al
1991	I(CK)	89.6	2.93	51.8	51.5	23.2
	II	90.1	2.95	46.5	51.0	23.0
1994	I(CK)	104.3 ^{ab}	2.87 ^a	55.0	48.3	21.7
	II	75.4 ^{AB}	2.03 ^b	45.0	46.7	23.9

注: 用新复极差法 (SSR法) 统计, 表中小写字母为5%差异显著性水平, 大写字母为1%差异显著性水平。

稳结态腐殖质结合的铁铝较之松结态的要低, 仅为前者的 1/5 左右 (表 3), 因而相对于对照来说降低量较大。两个处理间几乎没什么差别, 也就是说它仅随着 H₂ 量的消长而消长 (表 2, 3, 4)。

2.2.2 土壤有效态 Fe、Mn、Al 由表 5 可见, 牛粪处理一年后的土壤应用 DTPA 提取的 Fe、Mn 高于对照, Al 则低于对照, 连续施用牛粪四年后 Fe 仍高于对照, Mn、Al 均略低于对照。施用牛粪使土壤腐殖质含量上升, 有机质腐解过程中 Eh 下降所导致的 Fe、Mn 溶解性的增大可能是土壤 Fe、Mn 上升的主要原因。

表5 微区试验土壤DTPA提取态Fe、Mn、Al (mg/kg)

Table 5 Contents of DTPA-extractable Fe, Mn, Al of soil in experimental plot

年份 (Year)	处理 (Treatment)	Fe	Mn	Al
1991	I(CK)	74.8 ^b	156	6.70
	II	101 ^a	168	4.32
1994	I(CK)	57.4 ^{bb}	124 ^a	2.60
	II	82.6 ^{aa}	95.8 ^b	1.85

注: 用新复极差法 (SSR法) 统计, 表中小写字母为5%差异显著性水平, 大写字母为1%差异显著性水平。

2.2.3 土壤有机络合态 Fe、Mn、Al 牛粪处理一年后土壤有机络合态 Fe、Mn 高于对照,这与其土壤腐殖质含量上升的规律一致;牛粪处理四年后土壤有机络合态 Fe 仍显著高于对照,而 Mn 则已没有差异。无论牛粪处理一年或四年,土壤有机络合态 Al 均略低于对照(表 6)。牛粪分解时产生的低分子有机酸对铝的络合,加之水的淋溶作用使铝向下迁移而含量略降,但下降量与对照没有显著差异。

邢光熹等^[17]应用穆斯堡尔谱学研究认为 pH3.0 时铁以高价态与胡敏酸形成稳定络合物, pH1.0 时才有相当数量的 Fe³⁺ 被还原。在土壤中, Eh 和 pH 是互相关联的,所以衡量铁的可给性,应以 pe + pH 表示,当土壤 Eh 低于 200mV 时,可溶性的 Fe²⁺ 大量增加,当 pe + pH 在 12.0 以上时,氧化还原作用对可溶性铁的数量影响很小^[8]。微区试验土壤 pH 在 5.8 左右,土壤腐殖酸络合的 Fe 可能以 Fe³⁺ 态存在,而这种腐殖酸—Fe³⁺ 有机络合物的移动性较 Fe²⁺—有机络合物小得多,因而表现为土壤有机络合态铁的上升,有机络合态 Mn 的上升可能与之相似。

表6 微区试验土壤有机络合态Fe、Mn、Al含量(mg/kg)

Table 6 Contents of organo-chelated Fe, Mn, Al of soil in experimental plot

年份 Year	处理 Treatment	Fe	Mn	Al
1991	I(CK)	452.5 ^{bb}	372.5	325.0
	II	547.5 ^{aa}	407.5	265.0
1994	I(CK)	477.5 ^b	342.5	322.5
	II	512.5 ^a	342.5	217.8

注:用新复极差法(SSR法)统计,表中小写字母为5%差异显著性水平,大写字母为1%差异显著性水平。

2.3 腐殖质对土壤磷素形态变化的影响

2.3.1 土壤有效态磷及无机磷 牛粪处理一年后土壤有效磷比对照高 7.5mg/kg,增率达 59.5%(表 7)。四年后,对照因连年种植作物但不施磷,有效磷下降了 1.1mg/kg;牛粪处理土壤则相反,土壤有效磷达 33.2mg/kg,比对照高出近 2 倍。

表7 微区试验土壤有效磷及无机磷组分(mg/kg)

Table 7 Available P and inorganic P fractions of soil in experimental plot

年份 Year	处理 Treatment	有效P Available P	铝磷 P-Al	铁磷 P-Fe	钙磷 P-Ca	闭蓄态磷 P-O
1991	I(CK)	12.6 ^{bb}	14.2 ^{bb}	106 ^{bb}	21.5 ^b	142
	II	20.1 ^{aa}	21.8 ^{aa}	139 ^{aa}	25.6 ^a	147
1994	I(CK)	11.5 ^{bb}	12.9 ^{bb}	112 ^{bb}	22.5 ^{bb}	170
	II	33.2 ^{aa}	74.1 ^{aa}	189 ^{aa}	30.7 ^{aa}	186

注:用新复极差法(SSR法)统计,表中小写字母为5%差异显著性水平,大写字母为1%差异显著性水平。

从土壤无机磷各组分看(表 7),影响最大的是铝磷;牛粪处理一年后土壤铝磷含量比对照高 53.5%,四年后其效应持续增大,土壤铝磷含量比对照高出 4 倍多。土壤铁磷的结果与铝磷相似,只是增率较铝磷小;1991 年测定结果,牛粪处理土壤铁磷含量比对照高 31.1%,1994 年高 68.9%。统计分析表明,土壤有效磷的变化与土壤中的铝磷、铁磷的变化是极显著正相关($r = 0.965^{**}, 0.967^{**}, n = 6$),多重比较表明,施牛粪处理土壤有效态磷、铝磷、铁磷均显著或极显著地高于对照(表 7)。白浆土是一种弱酸性土壤,钙磷不是其主

要形态,其含量仅为铁磷、闭蓄态磷的 1/5~1/6。从表 7 中可以看出施用牛粪使土壤钙磷含量明显上升,但绝对量增加不大,土壤闭蓄态磷则无变化。郭智芬等^[18]应用同位素示踪法研究土壤中无机磷各形态对作物磷营养的贡献后发现:非晶质 P—Fe 盐的有效性与 P—Al 盐基本相当,而钙磷的贡献比前二者要低。可见施用有机物料使土壤中铝磷、铁磷、有效态磷的增加,对植物磷素吸收具有重要意义。

2.3.2 土壤腐殖质组分与 P 素形态的关系 施用牛粪,铁磷含量均明显高于对照,与前人的结果一致^[13]。本试验结果经统计分析显示,随着土壤松结态胡敏酸的增加土壤有效态磷含量极显著增加 ($r = 0.920^{**}, n = 6$)。而其中铝磷增加的贡献最大。其次是铁磷,土壤铝磷的变化与 HA_1 、 HA_2 显著正相关 ($r = 0.905^* (HA_1), 0.832^* (HA_2), n = 6$); 土壤铁磷的相关性则没有铝磷那样显著,仅与稳结态腐殖质含量变化显著相关 ($r = 0.895^*, n = 6$),这与其活性低于铝磷相一致。

无论施用牛粪一年或四年,土壤松结态腐殖质结合的磷含量均高于对照(图 2)。施用牛粪处理一年后土壤松结态腐殖质结合的磷显著高于对照 ($P < 0.05$),四年后已达到极显著水平 ($P < 0.01$),可见施用牛粪年限越长,其差异也越显著。单位腐殖质碳结合的磷也是这个趋势(图 3),只是变幅略小,牛粪处理一年后与对照差异达 5% 显著水平,四年后无显著差异,表明土壤中松结态腐殖质含量的增长快于其结合的磷的递增,这与其它元素的规律一致(表 3)。

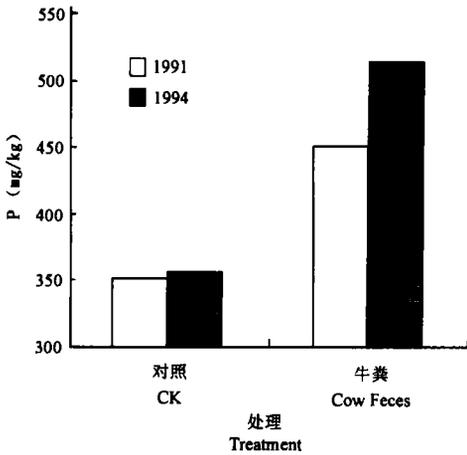


图2 土壤松结态腐殖酸(H_1)结合态磷含量 (mg/kg土)

Fig.2 Content of phosphorus associated with loosely combined humic acid (H_1) of soil (mg/kg soil)

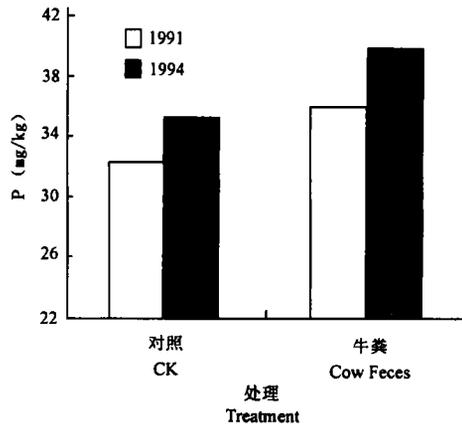


图3 单位松结态腐殖酸(H_1)碳结合态磷含量 (mg/g H_1)

Fig.3 Content of phosphorus associated with loosely combined humic acid (H_1) of soil (mg/g H_1)

进一步分析表明,微区试验土壤有效磷含量与其土壤中 H_1 结合的磷量显著正相关 ($r = 0.855^*, n = 6$); 土壤有效磷与其有机络合态铝含量是极显著负相关 ($r = -0.919^{**}, n = 9$); 而土壤有机络合态铝则随着牛粪的施用而下降,表明有机物料可通过降低土壤有机络合态铝量而增大土壤磷素活性。

参 考 文 献

1. M. M. 科科诺娃, 周礼恺译. 土壤有机质. 北京: 科学出版社, 1966
2. 斯尼茨尔 SU. 吴奇虎译. 环境中的腐殖物质. 北京: 化学工业出版社, 1972
3. Schnitzer M. Binding of humic substances by soil mineral colloids. *In: Huang P M, Schnitzer M. eds. Interaction of Soil Minerals with Naturalorganics and Microbes. Madison, Wisconsin, USA, Soil Science Society of America, 1986. 77~101*
4. Stevenson F J. Organic matter-micronutrient reactions in soil. *In: Luxmoore R J. ed. Micronutrients in Agriculture. 2nd ed. Soil Science Society of America Book Series, No. 4. Madison, USA, Soil Science Society of America Inc. (SSSA). 1991. 145~186*
5. Stevenson F J, Fitch A. Chemistry of complexation of metal ions with soil solution organics. *In: Huang P M, Schnitzer M. eds. Interaction of Soil Minerals with Naturalorganics and Microbes. Madison, Wisconsin, USA, Soil Science Society of America, 1986. 29~58*
6. Huang P M, Schnitzer M. Influence of organic acids on crystallization and properties of precipitation products of aluminum. *In: Huang P M, Schnitzer M. eds. Interaction of soil minerals with naturalorganics and microbes, Madison, Wisconsin, USA., Soil Science Society of America, 1986. 159~222*
7. Fox T R *et al.* Phosphorus and aluminium release from a spodic horizon mediated by organic acids. *Soil Science Society of America Journal, 1990, 54(6):1763~1767*
8. Lindsay W L. Iron oxide solubilization by organic matter and its effect on iron availability. *Plant and Soil, 1991, 130(1~2):27~34*
9. Huang P M. Effects of humic acid on the crystallization of aluminium hydroxides. *Clays and Clay-Minerals, 1990, 38(1):47~52*
10. 保学明. 铁锰络合物的稳定常数与有机络合剂的分子量的关系. *土壤学报, 1987, 24(4):313~317*
11. 刘志光, 徐仁扣. 几种有机化合物对土壤中铁、锰的氧化物还原和溶解作用. *环境化学, 1991, 10(5):43~48*
12. 徐琪. 长江中下游白土的地理分布规律及其形成过程的特点. *土壤学报, 1962, 10(1):44~54*
13. 高子勤. 三江平原白浆土农林牧综合治理. 北京: 中国林业出版社, 1992
14. 曾昭顺. 关于白浆土的形成问题. *中国科学院林业土壤研究所集刊, 1958, (1):26~35*
15. 中国土壤学会土壤农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983
16. 熊毅. 土壤胶体(二): 土壤胶体研究法. 北京: 科学出版社, 1985
17. 邢光熹, 张汉辉, 韩勇. 应用穆斯堡尔 (Mössbauer) 谱学方法研究 Fe^{3+} , Fe^{2+} 与胡敏酸结合的性质. *土壤学报, 1987, 24(3):218~225*
18. 郭智芬, 涂书新, 李晓华等. 石灰性土壤不同形态无机磷对作物磷营养的贡献. *中国农业科学, 1997, 30(1):26~32*

EFFECT OF CHANGE IN HUMUS COMPOSITION ON OXIDES OF FE, MN, AL AND PHOSPHORUS IN ALBIC SOIL

Wu Long-hua Gao Zi-qin

(*Institute of Applied Ecology, the Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015*)

Summary

A long-term plot experiment was conducted in the Sanjiang Plain to study the effect of applying organic manure for years in row on soil humus composition, transformations of Fe, Mn and Al oxides and phosphorus availability. The results indicated that soil humus, mainly loosely combined humus were increased after 4 years of adding cow feces, because of the supply of lowmolecule organic acid released from the added cow feces. The contents of DTPA-extractable and organo-chelated Fe, Mn, Al was also related to organic acid corroding soil coating and solublizing soil oxide. Some half-products derived from the fresh material can supply H^+ , and can chelate or solublize soil Fe, Mn, Al or compete for adsorption site on soil colloid, and form Fe, Al-OM-P or soil colloid-OM-P compounds, thus bring about significant increase in soil available P. So the bio-measure is an effective strategy to ameliorate albic soil, enhance its nutrient, especially P, availability and its buffer capacity and stress-resistance.

Key words Albic soil, Humus, Fe, Mn, Al-form, P, Availability