

有机物料对砂姜黑土的改良效应及其机制*

詹其厚 袁朝良 张效朴

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 通过田间定位试验、温室培育试验和一系列物理、化学性质的测定, 探讨了三种有机物料对淮北低产土壤—砂姜黑土的改良效果及机理。结果表明, 有机物料回归土壤能增加土壤孔隙度, 降低容重, 改善土壤通透性和保水保肥性能, 提高土壤的缓冲性。同时提供多种有效养分, 培肥土壤, 并表现为增加作物产量。其机理不仅在于所提供的腐殖质能降低砂姜黑土中含量过高的蒙脱石矿物的剪切应力, 抑制其胀缩性, 而且还在于它们能提供形成有机无机复合团聚体所必须的活性有机胶体, 及其有机酸能溶解土中原有的 CaCO_3 成为活性的 Ca^{2+} 离子, 后者是形成复合团聚体的桥梁, 从而改善了土壤的结构性能等。

关键词 有机物料, 砂姜黑土, 改良效应

中图分类号 S153.6

砂姜黑土是淮北平原主要中低产土壤, 低产原因主要与土壤所含的以蒙脱石为主的粘土矿物所引起的一系列物理、化学等不良性状, 特别是土壤结构性不良有关。表现为质地粘重、干缩湿胀、易旱易涝、耕性差、土壤瘠薄等^[1]。由于成土过程中干湿交替频繁, 脱氢脱水作用强烈, 土壤有机质碳氢比值高^[2], 碳原子缩合度大, 芳化度高, 含有较多的共轭双键等呈色基团, 染色能力强, 土色虽深, 有机质含量却较低(一般只有 $10\sim 15\text{ g kg}^{-1}$), 质量差, 活性低, 不能提供形成有机无机复合体所需的有机基团。研究表明, 增施有机肥, 可降低蒙脱石的剪切应力, 抑制其胀缩性, 改善土壤干缩湿胀性能, 是改良砂姜黑土的重要措施之一^[3]。为此, 在怀远县典型砂姜黑土进行了有机物料回归土壤的定位试验和温室培养试验, 进一步研究它们对砂姜黑土的改良效果和机理, 本文就部分结果进行总结讨论。

1 材料与与方法

1.1 田间试验

供试土壤为本所怀远实验站较典型的砂姜黑土, 试验前土壤养分状况为: 全 N 0.91 g kg^{-1} , 碱解 N 82.0 mg kg^{-1} , 全 P 0.42 g kg^{-1} , 速效 P 10.9 mg kg^{-1} , 全 K 14.1 g kg^{-1} , 速效 K 154.4 mg kg^{-1} , 有机质 13.0 g kg^{-1} 。土壤含游离 CaCO_3 , 40 cm 以下土层中有较多白果状砂姜结核。

试验设计: 田间小区面积 24 m^2 , 重复三次, 随机区组排列, 小麦、玉米轮作。试验时间 1992 年 6 月至 1999 年 10 月。小麦处理为: (1) 处理 1(对照 CK): N 187.5 kg hm^{-2} + P 42.6 kg hm^{-2} ; (2) 处理 2: (1) + 秸秆(粉碎后直接还田) 3750 kg hm^{-2} ; (3) 处理 3: (1) + 秸秆堆肥(含水量 50%) 15000 kg hm^{-2} ; (4) 处理 4: (1) + 牛粪(含水量 50%, 秸秆过腹还田) 15000 kg hm^{-2} 。玉米处理为: (1) 处理 1(对照 CK): N 225.0 kg hm^{-2} + P 19.6 kg hm^{-2} ; (2) 处理 2: (1) + 秸秆(粉碎后直接还田) 7500 kg hm^{-2} ; (3) 处理 3: (1) + 秸秆堆肥 15000 kg hm^{-2} (含水量 50%); (4) 处理 4: (1) + 牛粪(含水量 50%, 秸秆过腹还田) 15000 kg hm^{-2} 。

1.2 培育试验

取多点田间试验的 0~ 25 cm 土壤, 风干粉碎过 5 mm 筛, 按土重的 5% 加入秸秆、堆肥、牛粪三种有机物料, 混匀后加水, 使土壤含水量为 0.4 g kg^{-1} 进行培育, 另设一不加有机物料的对照处理。

* 中国科学院重大项目(KN-95-01-04)研究内容的一部分

收稿日期: 2001-05-08; 收到修改稿日期: 2002-09-17

1.3 分析方法

一般化学、物理分析用土壤常规分析法; 土壤水分蒸发量测定: 铝盒法; CO_2 测定: 采用微生物培养法; CaCO_3 含量的测定: 中和滴定法; 缓冲性测定: 采用平衡法; 土壤养分保蓄能力测定: 采用电导法 (DDS-11 型电导仪测定), 即用电导法测试一定浓度 NH_4Cl 溶液在加入不同有机物料处理的土壤后电导率的变化; 有机质测定: 采用重铬酸钾氧化—稀释放热法测定; 差热分析: 系用日本产品岛津 DTA-30 分析仪测定^[4]; 有机质氧化稳定性按文献[5]提供的方法测定。

2 结果与讨论

2.1 不同有机物料对砂姜黑土物理性质的影响

2.1.1 对土壤孔隙度、通透性及保水性能的影响

从表 1 和图 1、图 2 的结果可以看出, 有机物料还田后土壤物理性质有明显改善。首先, 总孔隙度增加, 容重降低, 田间饱和持水量提高, 使土壤不良通透性和僵硬性状得到改善。与 CK 相比, 有机物料处理的土壤总孔隙度提高 5~8.9 个百分点, 以牛粪处理效果最好, 既增加了毛管孔隙, 又增加了非毛管孔隙。而秸秆和堆肥则主要增加非毛管孔隙度, 原因是它们在土壤中不易腐解 (有机残体含量: 对照 1.5 g kg^{-1} , 秸秆 18.6 g kg^{-1} , 堆肥 14.2 g kg^{-1} , 牛粪 3.0 g kg^{-1}), 有较多未分解完全的有机残体残存下来使土壤架空, 形成许多细小裂隙, 增加了非毛管孔隙。同时土壤容重降低 $0.12 \sim 0.27 \text{ g cm}^{-3}$, 饱和持水量增加了 2.5%~11.1%。其次, 提高了土壤保水性能。图 1 显示, 4 处理中对照水分蒸发损失最快、最大, 6 h 已蒸发损失达 21.5%, 而有有机物料处理只损失 16% 左右。有机物料间相比, 以牛粪处理的保水效果最好, 秸秆处理效果较差, 这是因秸秆直接还田使土体与空气接触面增大, 水分较易蒸发所致。第三, 改善了土壤的透水性能。图 2 显示, 有机物料处理土壤的水分渗透率皆显著高于 CK, 表明有机物料还田后有利于水分渗透, 改善了土壤的透水性能, 从而能降

表 1 有机物料对土壤孔隙度和含水量的影响 (田间定位试验, 7 年, 1999 年 10 月测定)

Table 1 Influence of organic material on soil porosity and moisture content
(Field fixed location experiment, 7 years, measured in October 1999)

处 理	含水量 ¹⁾	容重	总孔隙度	毛管孔隙度	非毛管孔隙度	饱和持水量
Treatment	Moisture content (g kg^{-1})	Bulk density (g cm^{-3})	Total porosity (%)	Capillary porosity (%)	Non-capillary porosity (%)	Saturated moisture capacity (g kg^{-1})
对 照	265	1.35	49.4	37.0	12.4	406
秸 秆	259	1.08	58.3	35.0	23.3	517
堆 肥	268	1.23	53.4	36.0	17.4	431
牛 粪	284	1.21	54.0	39.0	15.0	479

1) 含水量系在雨后 5 d 测定

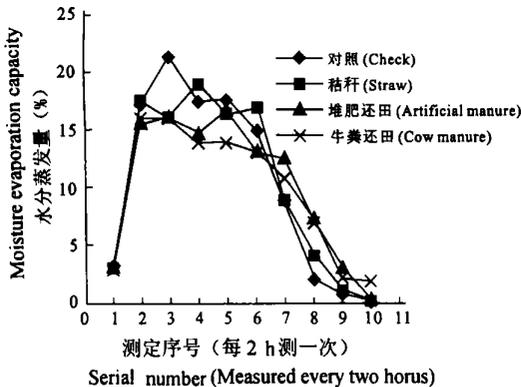


图 1 土壤水分蒸发量曲线

Fig. 1 Curve of soil moisture evaporation capacity

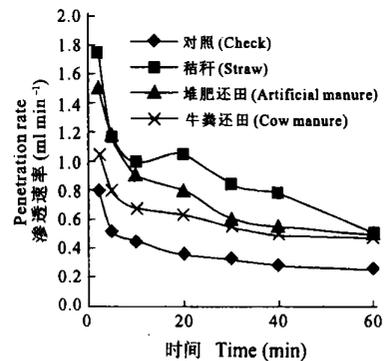


图 2 四个处理土壤的水分渗透速率

Fig. 2 Soil moisture penetration rate of four treatments

低涝渍灾害程度。这其中以秸秆处理水分下渗最快,而牛粪处理较均衡。这可能是牛粪还田后有利于土壤团粒结构的形成,使大小团粒间孔隙配合适当,从而渗透性能良好^[6],而秸秆直接还田使土壤有较大裂隙,甚至空洞,造成渗漏。

2.1.2 有机物料对土壤 CaCO_3 含量的影响 温室培育试验测试结果,土壤 CaCO_3 含量分别为:对照处理 37.0 g kg^{-1} 、秸秆处理 28.0 g kg^{-1} 、堆肥处理 25.0 g kg^{-1} 、牛粪处理 18.8 g kg^{-1} 。表明加入有机物料后,土壤 CaCO_3 含量均有不同程度降低,其中以牛粪处理最低。 CaCO_3 含量降低的原因可能是有机物料在腐解过程中产生的各种有机酸可溶解土壤中的部分 CaCO_3 ,形成活化 Ca^{2+} 离子,这与以往的研究结果很相似^[7]。而活性 Ca^{2+} 离子可在有机胶体和无机胶体之间起桥梁和胶结作用,利于形成有机矿物质复合体,进而促进土壤微团聚体和团聚体的形成。同时 Ca^{2+} 离子还能影响胶粒的定向排列,减少土粒间的接触点^[8-10],可在一定程度上改善砂姜黑土僵、粘特性。

2.2 有机物料对砂姜黑土化学性质的改良效果及机理

2.2.1 对土壤养分含量与保蓄的影响 连续7年施用有机物料后,土壤养分有了很大提高(表2),与对照相比,有机质、全氮、速效P和速效K分别提高了50.9%~67.1%、20.8%~23.8%、11.5%~39.9%和27.3%~75.8%。特别是速效K,在多年未施化学钾肥的情况下,仍有较大幅度的提高,表明有机物料回归土壤有良好的补钾能力。因此,连续施用有机物料对土壤养分含量的提高有良好作用。

表2 有机物料对土壤养分含量的影响(田间定位试验,1999年分析)

Table 2 Influence of organic material on nutrients content of soil

处理	有机质		全氮	碱解氮	速效P	速效K
Treatment	O. M(g kg^{-1})	C/N	Total N(g kg^{-1})	Alkali-hydrolyzable N(mg kg^{-1})	Available P(mg kg^{-1})	Available K(mg kg^{-1})
对照	15.5	7.16	1.30	145.9	28.92	131.9
秸秆	23.4	6.91	1.57	174.1	35.06	231.9
堆肥	24.5	9.42	1.60	177.6	32.26	199.9
牛粪	25.9	9.78	1.61	181.2	40.47	167.9

同时土壤对养分的保蓄能力增强。由表3的电导率的变化结果可见,纯 NH_4Cl 溶液随着浓度增大,导电离子 NH_4^+ 的增多,电导率也增大。但加入有机物料处理的土壤,其电导率都有不同程度的下降,表明 NH_4Cl 溶液中导电离子 NH_4^+ 部分被土壤吸附了,因此土壤保蓄养分的能力增强了。土壤吸附 NH_4^+ 的机理,可能一方面由于砂姜黑土含较多的蒙脱石,具有比较大的表面积($687 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$)和较多的负电荷($53.4 \text{ cmol kg}^{-1}$)能直接吸附 NH_4^+ ,降低了离子浓度,使电导率下降。另一方面可能是有机物料腐解后增加了腐殖质含量,而其带有的多功能团,在本地区土壤偏碱性的条件下,羧基和羟基中的质子发生解离,产生负电荷,可以吸附 NH_4^+ ,从而产生了保蓄养分的功能。

表3 不同有机物料处理的土壤加入 NH_4Cl 后电导率的变化

Table 3 Variations in electric conductivity of soil after addition of NH_4Cl

处理	不同 NH_4Cl 溶液的浓度(%)下的电导率(S m^{-1})			
	Electric conductivity			
Treatment	10	20	30	40
未加土前	9.70	9.90	10.50	10.95
对照	8.00	8.20	8.40	8.60
秸秆	7.30	7.50	7.60	7.60
堆肥	7.30	7.40	7.50	7.60
牛粪	6.80	6.95	7.05	7.15

2.2.2 对有机质积累的影响 从腐解培养试验 CO_2 释放量测定结果可以看出(图3),对照释放的 CO_2 量很少。秸秆直接还田的土壤在培育开始时有大量的 CO_2 释放出来,10 d后释放的 CO_2 竟达

0.18%, 以后便逐步下降, 90 d 后已很少。堆肥处理的分解速率介于中间, 牛粪处理的土壤分解最慢, 腐解 5 d 后的 CO_2 释放量仅为 0.06%, 90 d 后 CO_2 释放量明显高于其它处理, 表明牛粪处理的土壤中仍保留着一定数量的有机质。因此土壤中有有机质积累的顺序是: 牛粪还田 > 堆肥还田 > 秸秆还田 > 对照。其原因可能与有机物料的组成有关。牛粪是秸秆经牛体内生化作用后的产物, 堆肥则是秸秆经生物腐解而形成的产物, 它们都是质量良好的重组有机物质, 品质较高, 不易再分解, 能在土壤中存留较久。而秸秆直接还田, 由于其含有大量易于微生物分解的有机物和直接还田后土壤空洞裂隙较多利于好气性微生物繁殖, 故而分解较快, 不利于有机质的积累^[3, 11]。但三种有机物质还田都能有效增加土壤有机质, 为建立良好的土壤结构提供物质基础。

2.2.3 对土壤缓冲性能的影响 从图4可以看出, 土壤中加入不同浓度碱后, 有机物料处理的土壤 pH 变化都低于对照土壤, 表明土壤缓冲能力增强了, 以牛粪处理的效果最好, 尤其在 pH 8.5~9.5 的范围内缓冲性最强, 其次为秸秆和堆肥处理。其原因是由于土壤溶液中含有许多弱酸及其盐类, 组成了一个缓冲体系, 当有强酸加入土壤中, H^+ 离子就很快与其它阳离子起交换作用, H^+ 离子则被吸附, 使土壤中 H^+ 离子浓度不致增加; 反之如有强碱加入, 则 Na^+ 离子就与胶粒上吸附的 H^+ 离子起交换作用, 被交换出的 H^+ 与 OH^- 结合成水, 所以 H^+ 离子浓度仍保持不变。另外有机质各种酸基中质子的吸附与解吸作用也是提高土壤缓冲性的一个重要原因。总之, 土壤缓冲性的提高为作物生长提供了一个良好安全的环境, 以保证作物正常生长。

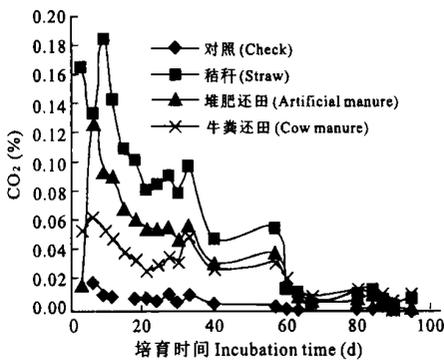


图3 土壤有机质的矿化曲线

Fig. 3 Mineralization curve of soil organic matter

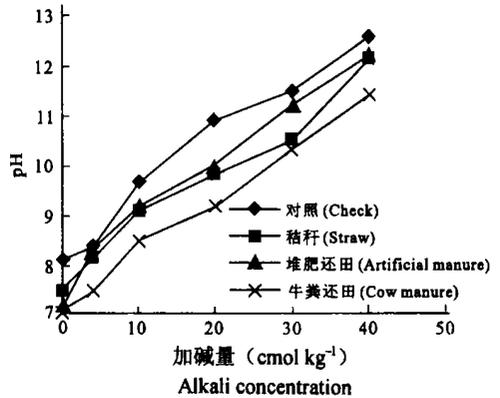


图4 不同处理土壤的缓冲曲线

Fig. 4 Soil buffer curve of different treatments

2.2.4 对土壤矿质有机复合体的稳定性的影响 (1) 化学稳定性, 团聚体中有机质在氧化剂作用下的稳定性(即氧化稳定性)测定结果表明(表4), 有机物料处理的土壤, 经长时间培育后, 在一系列化学和生化作用下, 不同有机质所形成的复合体, 其抗氧化的性能也不同。牛粪中难氧化的有机碳含量都高于其它处理, 说明牛粪中的腐殖质与矿质部分结合较牢固, 因而由它所形成的土壤结构也比较稳固; 同时, 牛粪中易氧化有机碳也高, 即活性腐殖质高, 活化的腐殖质易于分解, 能提供更多的营养元素, 因此才有以上所述施用牛粪土壤的一系列良好的物理、化学性状。(2) 热稳定性, 反映有机质与土壤矿质部分结合的程度。差热分析(图5)表明, 4个处理的土壤, 均在低温区(85~95℃)有一吸热谷, 在中温区(325~345℃)有明显的放热峰。DTA曲线的相似性说明不同处理的土壤, 其胡敏酸的基本化学组成和结构是相似的。在低温区85~95℃的吸热反应与吸湿水的损失有关。DTA曲线中牛粪处理的土壤在95℃时出现吸热谷, 其它处理分别在85℃和90℃时出现, 说明牛粪处理土壤对水分的吸持力较强, 有较强保水性能。在中温325~345℃的放热反应则表示有机分子被破坏, 这可能是氧化作用所致。但牛粪处理土壤有机质被破坏温度为345℃, 其它处理为325℃和330℃。这可能与有机矿质复合程度有关, 表明牛粪已改变有机质或与土壤结合的性质。化学稳定性和热稳定性测定结果显示, 有机物料都能提高复合体中有机质的稳定性, 其中以牛粪最佳, 为改善土壤结构的品质和提高土壤肥力打下了良好的基础。

表 4 土壤中加入不同有机质后的氧化稳定性

Table 4 Soil organic matter oxidation stability after applying organic substance

处理 Treatment	有机碳含量(g kg^{-1}) Organic carbon content			C/C_T (%)
	有机碳总量(C_T) Total C	易氧化的有机碳 Easily oxidizable Organic C	难氧化的有机碳(C) Inoxidizable organic C	
	对 照	6.00	5.46	
秸 秆	16.08	13.50	2.56	16.0
堆 肥	15.54	—	—	—
牛 粪	19.35	14.70	4.65	24.0

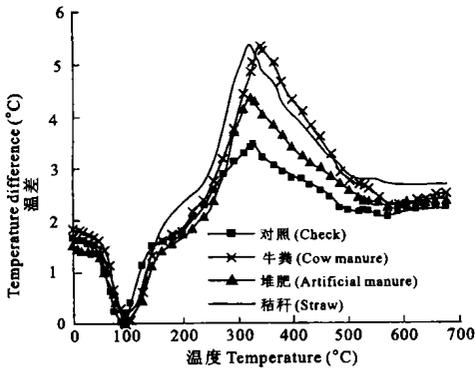


图 5 不同有机物料对土壤 DTA 的影响

Fig 5 The influence of organic material on soil DTA

2.3 秸秆不同还田方式对作物产量的影响

田间定位试验产量结果显示(表 5), 三种有机物料还田都有不同程度的增产效果, 以牛粪的增产效果最大, 其次是堆肥, 秸秆直接还田的增产效果相对较小。原因可能是秸秆经过腹或堆沤处理后, 调整了 C/N 比, 释放出的有机养分有利于作物吸收, 以及对土壤结构等物理性质的改良效果较明显有关; 而秸秆直接还田易引起病害和漏风跑墒, 因此增产幅度较小。有机物料还田的增产效果玉米要大于小麦, 特别是牛粪和堆肥还田更显著, 主要原因是在砂姜黑土区玉米比小麦对钾素更敏感^[12], 而三种有机物料还田都是在施有足量 N、P 化肥基础上增施的, 这样有机物料提供的 N、P 养分的效果, 就可能被化学 N、P 肥所掩盖, 而提供的钾素效果在玉米上就凸

现出来(对照区后期玉米上已出现明显缺钾症状)。有机肥配合 N、P 化肥使每 hm^2 作物年产量平均稳定在 13 200~14 500 kg 的高产水平, 也表明对原本低产的砂姜黑土而言, 增施有机肥可造成一个无机促有机、以有机保无机的良好土壤生态系统, 这是快速培肥、提高生产力的有效措施之一。

表 5 有机物料对小麦、玉米产量的影响(单位: kg hm^{-2})

Table 5 Influence of organic material on wheat and maize yields

		对照	秸秆	堆肥	牛粪
		Check	Straw	Artificial manure	Cow manure
1993	小麦	5235.0	5085.0	5115.0	5055.0
	玉米	9028.5	9396.0	10678.5	9486.0
1994	小麦	5062.5	5091.0	5133.0	5439.0
	玉米	7021.5	7176.0	7959.0	8809.5
1997	小麦	6300.0	6690.0	6765.0	6615.0
	玉米	7590.0	7830.0	8280.0	9060.0
1998	小麦	3900.0	3925.5	4333.5	4333.5
	玉米	5556.0	6195.5	6528.0	7056.0
1999	小麦	6625.5	7410.0	6900.0	7057.5
	玉米	7632.0	7992.0	7890.0	8742.0
平均	小麦	5420.0	5640.0	5649.0	5700.0
	玉米	7365.0	7716.0	8266.0	8631.0
比对照增产(%)	小麦	—	3.9	4.2	5.1
	玉米	—	4.8	12.2	17.2

参考文献

1. 张俊民. 论砂姜黑土的生产潜力和综合治理. 见: 张俊民等主编. 砂姜黑土综合治理研究. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1988. 2~ 11
2. 陆长青, 刘世芬, 陶祖胎. 砂姜黑土腐殖质某些结构特征的研究. 见: 闫晓明, 张效朴等主编. 砂姜黑土地区农业持续发展研究. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 137~ 147
3. 陆长青, 廖海秋. 农牧结合改良砂姜黑土的理论与实践. 见: 周明枞, 姚培元主编. 淮北地区水土资源开发与治理研究. 北京: 科学出版社, 1992. 74~ 86
4. 刘光崧主编. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996
5. 袁可能, 张友全. 土壤腐殖质氧化稳定性的研究. 浙江农业科学, 1964, (7): 345~ 349
6. 邢雪荣, 李法云. 有机物料对白浆土微团聚体组成及其养分含量的影响. 应用生态学报, 1999, 10(1): 42~ 44
7. 石元亮, 王晶, 姜淑华. 有机物料改良苏打盐渍土机制的研究. 土壤通报, 1989, 20(4): 156~ 157
8. 姚贤良. 土壤物理学. 北京: 农业出版社, 1983. 84~ 85
9. 熊毅. 土壤结构的性态研究. 土壤学报, 1965, 13(4): 411~ 413
10. Greenland D J. Interaction between clays and organic compounds in soil. Part I. Mechanisms of interaction between clays and defined organic compounds. Soil and Ferts., 1965, 28: 415~ 425
11. 张为政. 作物茬口对土壤酶活性和微生物的影响. 土壤肥料, 1993, (5): 12~ 14
12. 张效亮, 詹其厚, 尹楚良. 砂姜黑土连续施肥对作物生长及土壤肥力的影响. 土壤学报, 2000, 37(1): 131~ 135.

AMELIORATIVE EFFECT AND MECHANISM OF ORGANIC MATERIALS ON VERTISOL

Zhan Qi-hou Yuan Chao-liang Zhang Xiao-pu

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

Summary

Through field fixed location experiment and greenhouse incubation experiment, as well as a series of determinations of soil physical and chemical properties, the ameliorative effect and mechanism of three kinds of organic material on vertisol—the middle-low yield soil of Huaibei area have been explored. The results indicated that returning organic material to soil can increase soil porosity, reduce soil bulk density, improve soil perviousness and soil retention of water and fertilizer, raise soil buffer capacity, supply multi-nutrients, and increase crops yields. The mechanism involved not only the reduction of shear stress of montmorillonite was reduced by humus, and restraint of its expansibility and shrinkage, but also supplying active organic colloid to form organo-mineral composite aggregate. In addition, organic acid can dissolve CaCO_3 in soil and release active Ca^{2+} , which formed the bridge of composite aggregate, thereby, improved soil pedality etc.

Key words Organic material, Vertisol, Ameliorative effect