

# 关于腐肥的改土作用

中国科学院南京土壤研究所腐肥组

近年来,我国腐肥发展很快,施用面积不断增加,在提高作物产量、改良土壤上起了一定作用,也积累了不少经验。现在,全国各地都在开展试验研究和推广施用。从现有的材料来看,凡是常年合理施用的社、队和田块,不但当年可以获得一定的增产效果,而且可以改良低产土壤的一些不良性质,在其它农业技术措施的配合下,逐步把低产田改良过来。例如,在盐碱地上,河北省唐山地区丰润县高铺公社西魏庄大队第一生产队,从1970年起,先后用泥炭改良四块盐碱地(共91亩),亩施泥炭45车,粮食产量较未施前有很大幅度的增加,土壤中的硫酸盐含量也有所降低。山西省交城县义望公社阳渠大队第四生产队,从1965年开始,年年季季施用腐肥,过去很难捉苗的盐碱地,如今变成年年全苗的丰产田。在非盐碱地的低产土壤上,新疆乌鲁木齐县天山公社东沟大队,连续十年施用风化煤粉(每年每亩约2000斤),使低产潮土的主要农化性状有了明显的改善,小麦亩产由200—250斤提高到400斤以上。河北省崇礼县麻地营大队,在过于粘重的淤粘土上,连续四年施用腐肥,土壤变得疏松多孔,改变了原来紧实坚硬、耕后坷垃多影响出苗的情况。吉林省榆树县小乡生产队,有250亩白浆土亩产原仅200—300斤,连续四年大量施用草炭后,土壤肥力显著提高,1975年在其它措施配合下,亩产高达1727斤。在南方红壤地区,不仅有很好用腐肥改良低产红壤的例子,而且湖南等地广大贫下中农还积累了用风化煤粉改良矿毒田的经验。即使在长江下游地区,虽然土壤肥力较高,但近年来由于耕作制度改革后,一些相应的技术措施未能跟上,土壤常变得紧实而不易耕作,在这种土壤上,腐肥也有一定的改土效果。据吴县农业局报导,该县的太平、唯亭、长桥等公社施用腐肥后,土壤耕作较易而省力,田土也变得“活络”(即疏松)了。

现将几年来,各地对腐肥改土作用的有关资料初步汇总如下。

## 一、腐肥为什么能改土

腐肥的原料主要是泥炭(土)、风化煤和褐煤,它们都是由植物物质变来的。各种原料煤中由于混杂的泥沙量多少不同,其有机物质的含量差异很大。根据现有资料,总的来看,泥炭(土)中的有机物质含量较低,除东北等地的现代泥炭外,一般在6.9—56.0%间,平均约23.5%;风化煤、褐煤中的有机物质含量较高,分别在13.8—72.9%和25.7%—85.2%之间,平均分别约56.5%和52.0%。这些有机物质,由于形成条件的不同,它们彼此之间,以及它们与土壤有机质之间,一方面有许多不同的特点,另一方面却有一个共同之处:它们的主要成分都是腐殖酸。风化煤、褐煤中的腐殖酸含量一般占有有机物质总量的45—100%,平均分别为73.9%和70%,泥炭(土)占44.0—72.9%,平均为57.2%,土壤有机质中的腐

殖酸含量一般则在28.7—59.3%间,平均约43.9%。同时风化煤、褐煤的腐殖酸中黑腐酸占的比重最大,一般占腐殖酸总量80—90%之间,分子较为复杂、稳定。泥炭(土)中黑腐酸一般占腐殖酸总量70%左右,相对来说分子略为简单。土壤中黑腐酸一般占总量10—68%之间,分子最为简单。原料煤中腐殖酸的存在,是腐肥具有改土作用的最主要原因。

此外,从各种原料煤中整个有机物质部分来看,风化煤、褐煤中碳水化合物没有或含量很少,含碳量高而含氮量低,C/N比值很大,分别在27—90和33—62之间,平均分别为53.8和51.1。泥炭(土)中的碳水化合物在7—30%间,含氮量略高,C/N比值较少,一般在17—27之间,平均19.30。碳水化合物是微生物的食物。C/N比值是反映有机物质为作物提供氮素养分可能性的一個指标,比值愈大,愈不能提供氮素养分。泥炭中含有较简单的物质,较易被微生物分解,而且C/N比值较小,所以相对来说,泥炭还能够更有效地促进土壤微生物的活动,加速土壤中的物质转化,并通过微生物形成的某些物质,象腐殖酸一样,改善土壤的物理性质。此外,它本身中的部分氮素和磷素还能够在稍后一些时间供给作物吸收利用。

腐殖酸是一类复杂的含有羧基和酚基等的高分子化合物,由于有这些羧基和酚羟基,所以它一方面易与土壤中的矿质部分结合,促进土壤团聚体的形成,改善土壤的物理性质;另一方面,又能增强土壤的保肥能力、缓冲性能等,改善土壤的化学性质。此外,通过改善土壤的物理性质和化学性质,为微生物的活动提供了较好的条件,也就改善了土壤的生物学性质。各地有关改土的材料较多,现在我们只把苏打盐土、低产红壤、矿毒田的材料整理如下。说明腐肥改土作用的上述几个方面。

## 二、腐肥改良苏打盐土的作用

苏打盐土是一种低产土壤,新疆、东北松辽平原及华北平原等地都有。它的主要问题在于土体内含有较多的苏打(碳酸钠)和交换性钠,使土壤碱性过高,pH值(酸碱度)一般在9.0左右,从而导致土粒高度分散,土壤结构性差。“干时一把刀,湿时一团糟”,通气透水性不良,耕作不易。另外,盐分也将危害作物。所以,无论种植旱作或者水稻都不易出苗和保苗。坚持长期施用腐肥,可以逐步改变这种土壤的上述不良性质。

首先,腐铵或者原煤粉,作为一种胶结剂,施入土壤以后,能将土粒彼此粘接起来,形成水稳性团粒或微团聚体。微团聚体与微团聚体之间的排列不象小土粒那样密实,中间孔隙略较大,团粒与团粒之间的孔隙更较大。腐肥颗粒与土壤的掺合,也可增多土壤的孔隙。因此,无论在种植水稻或旱作的条件下,施用腐肥均能不同程度地使土壤的水稳性团粒或微团聚体含量增多,孔隙度增大,容重降低,也就是说,使土壤变为较疏松多孔,易耕易耙。增多的孔隙主要是非毛管孔隙,这种孔隙增多,一方面使得土壤的通气性和透水性相应增强,因此,即使在淹水条件下,施腐肥的土壤,其氧化还原电位和土壤溶液中的氧气含量都较高,不致形成强烈的还原条件而影响水稻的生长;另一方面,还可增强土壤的蓄水保墒能力。例如,新疆米泉县春光大队的苏打盐化水稻土,在连续施用三年腐铵以后,土壤中大于0.25毫米的水稳性团粒的含量,明显地高于未施腐肥的土壤,前者达68.8%,后者仅16.9%。土壤的空气含量,施腐肥的为16.0%,不施的为13.2%。水分的渗透速度也是施腐肥的快,每分钟为1.33毫升,不施的仅为每分钟0.8毫升。种植水稻期间,在同一时间测

定,施腐肥的土壤,其氧化还原电位比不施的高40毫伏,土壤溶液中的氧气含量比不施的多10ppm,前者为39ppm,后者仅为29ppm。

第二,腐肥对苏打盐土(和盐土)有减缓土壤盐分的表土积累,降低表土含盐量的作用,即起一种“隔盐”的作用。河北省张北县盘城坊大队的春麦试验表明,每亩沟施200斤腐铵,0—5厘米的表土中,全盐量较不施的少三分之一,施腐铵的为0.285%,不施的为0.407%,其中以 $\text{CO}_3^{2-}$ 降低最为显著, $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 等离子也有明显下降。宣化县顾家营大队的试验结果也与此类似。

由于腐肥有“隔盐”作用,所以能减轻盐碱对作物的危害,提高作物的出苗率,减少弱苗和死苗,增加基本苗和壮苗,从而为增产打下良好的基础。上述盘城坊大队施腐铵的春麦,基本苗比不施的每亩多5.4万,出苗率比不施的高20%。顾家营大队在轻、中、重三种苏打盐土上的试验结果,每亩穴施500斤腐铵的玉米,其出苗率都比对照的高。盐碱较重,这种效果也愈明显。在较重的苏打盐土上,施腐铵的出苗率较对照提高70%,在中度苏打盐土上,较对照提高24.8%,在轻度苏打盐土上,比对照提高7%。玉米产量分别比对照高25.7%,17.3%和11.2%。河北省坝上农科所在盐土上用莜麦进行试验,每亩沟施原煤粉300斤的,无论基本苗和存活苗数也都比对照高,产量较对照高52.6%。

第三,腐肥具有较强的阳离子交换能力,它的阳离子交换量约相当于一般土壤的10—20倍。所以,施入腐肥将不同程度地提高土壤的阳离子交换量。这样就使得土壤对 $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$ 等二价阳离子的吸附能力显著增大,在有适当水分淋洗的条件下,相应地加速了土壤溶液中 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 等离子的淋洗速度,在土壤盐分含量逐渐减少的同时,盐分组成将发生较为明显的变化,不但苏打量减少,而且土壤的碱化度也降低。新疆米泉县春光大队在苏打盐化水稻土上施用腐铵,两年后,土壤中的苏打含量比不施的减少了约三分之一,施腐铵的为0.045%,不施的为0.071%。碱化度也由不施的11.9%降低至5.7%。新疆生物土壤沙漠研究所用荒漠碱土所做的小麦盆栽试验也表明,施用风化煤粉,可使土壤的阳离子交换量显著增大,钠碱化度和镁碱化度都大幅度降低。

腐肥对苏打盐土的第四个作用是降低土壤的酸碱度(pH值)。土壤pH值过高(9.0以上),将直接危害作物的生长,以至使作物死亡。另外,酸碱度的高低还和土壤中磷和铁、锰、硼、锌等微量元素的有效性有很大的关系。在pH7.0—8.5的范围内,这些养分元素的有效性随pH值的升高而降低。在这类碱性土壤上,施用酸性原煤粉或腐铵,其中的腐植酸可中和碱性,使土壤的pH值降低。pH值降低的幅度与原煤粉的性质、用量以及土壤的性质有关。实验室的结果表明,一般来说,酸性风化煤的施用量约为土重的十分之一时,即可使碱土、苏打盐土、花碱土等的pH值由9.0左右降低至8.0左右。减轻或消除了土壤的碱性,就为提高作物产量创造了较好的条件。新疆米泉县春光大队的风化煤改土试验结果就是这样的一个例子。不施风化煤的苏打盐化水稻土,pH值高达9.24,水稻插秧后,稻苗发僵,矮小发黄,根黑,保苗率仅20%左右。连续两年施用风化煤的土壤,pH值降低至8.62,而且钠碱化度下降,因此,水稻插秧后返青快,分蘖多,保苗率提高到80%。

当然,施用腐肥后,苏打盐土的上述某些性质并不是一下子就得到改善了的,它需要经历一定的时间,例如,团粒结构的形成需要经历反复的干湿交替过程,盐分含量和组成的改变需要一定的淋洗过程。也就是说,改土的效果需要一定的时间后才能充分显现出来。但是,有些性质的改善是比较快的,例如,大部分物理性质的部分改善、pH值的降低、

缓冲性能的增大等等。施用腐肥能较快地改善土壤的上述一些性质（以及“隔盐”作用），所以能在当年就获得明显的增产效果。

### 三、腐肥改良低产红壤(黄壤)和红壤性水稻土的作用

这些土壤在长江以南各省都有。它们的主要问题是酸性大、养分少、板结。遭受严重侵蚀地区的新开垦的旱地和水田表现尤其突出。

土壤酸性大，一方面作物将遭受土壤中大量 $Al^{+++}$ 的毒害，另一方面，土壤中可溶性磷素又易为游离的铁、铝离子所固定，降低了磷素的有效性。因此，降低土壤酸度，是改良这些土壤的一个十分重要的问题。腐植酸本身是酸，当然并不能降低土壤酸度。但是，施用大量含碳酸钙较多的原煤粉(pH7.0以上)，或加有适量石灰的其他原煤粉，可以既快又好地达到降低土壤酸度的目的。以江西省进贤县的红壤为例，室内试验表明，如每亩施用钙质风化煤10000斤，土壤pH值即由4.84升至5.42，施用20000斤，pH值可升至6.0左右。如采用集中施用的方法，则当年的效果将更好。云南省呈贡县乌龙大队在新平整的红壤上进行的改土试验，采用集中施用方法(大窝塘)，每亩施用pH7.0的泥炭20000斤，土壤pH值由原来的5.5升至6.8，完全消除了 $Al^{+++}$ 的危害。在施用大量泥炭所带来的其它有益作用的共同影响下，玉米亩产340斤，较对照增产139%，用同样方法、施同样数量褐煤粉的，由于褐煤粉呈酸性(pH5.5)，土壤酸度并未降低，亩产215斤，较对照增产51%。

红壤地处高温多雨地带，养分本来就较易淋失，加上它的保肥能力弱， $NH_4^+$ 、 $K^+$ 等养分离子就淋失得更多一些。所以增强红壤的保肥能力，也就在一个方面上提高了红壤的肥力。例如，江西进贤县的红壤，阳离子交换量原来只9.68毫当量/100克土，每亩分别施用10000斤不同的腐肥后，交换量分别提高到12.83—18.89毫当量/100克土。也就是说，土壤的保肥能力提高了20—80%。

从改良红壤的物理性质来说，除硝基腐植酸铵的效果较突出外，其它各种腐肥的效果彼此间并没有很大的差异，在大量施用的情况下，都能在一定程度上使土壤疏松。一般大田上腐铵的施用量每季作物约200—500斤/亩。它的改良土壤物理性质的效果随着连续施用会逐渐显示出来。腐铵对当季作物增产作用，是它能提高化学氮肥的利用率和刺激等作用。室内试验表明，在不同的土壤上，在种植水稻或旱作的条件下，腐铵中的 $NH_4-N$ ，比起硫铵或碳铵来，随水流失的量或挥发损失的量都要少得多。以湖南临武县的红壤为例(pH4.79)，在水田条件下，当硫铵中的氮素已淋失62.7%时，腐铵中的氮素仅淋失2.72%。在旱作条件下，当碳铵中的氮已挥发损失11.26%时，腐铵中的氮仅损失0.41%。

### 四、腐肥改良矿毒田(土)的作用

这里所谈的矿毒田(土)是指在某些有色金属矿的选厂或冶炼厂附近的土壤，受这些厂排放出来的废水、废渣污染，致使土壤中某些重金属元素(包括砷)的含量过高，从而毒害作物。毒害较轻的常常表现为作物生长受抑制，粮食品质降低；重的表现为作物不能生长。也有的并不显著影响作物产量，但污染产品。

在这类土壤中施用腐肥，首先，可以借助于腐殖酸能与各种重金属阳离子形成络合物这一特点，来降低土壤溶液中各种重金属离子的含量，减轻或者消除它们对作物的毒害。腐殖酸能络合多少重金属离子和络合的牢固程度，与土壤溶液的pH值和重金属离子的多

少有关。一般来说,在一定范围内,重金属离子愈多,单位腐殖酸所络合的该离子也愈多; pH值愈高,金属离子和腐殖酸络合得愈牢固。从泥炭中提取出的黑腐酸(pH3.1)和大同风化煤(pH4.3)所作的试验表明,在低pH值时,各重金属离子被络合的牢固程度大体上依下序列而递减:  $\text{Hg}^{++} > \text{Cu}^{++} > \text{Pb}^{++} > \text{Cd}^{++} > \text{Zn}^{++}$ 。重金属离子被络合得愈牢固,也就愈不易危害作物。

其次,可以利用腐肥在一定程度上能调节土壤的酸碱度这个特点,来降低土壤溶液中  $\text{Zn}^{++}$ 、 $\text{Cd}^{++}$ 、 $\text{Pb}^{++}$ 等离子的量。因为它们的氢氧化物,在pH7.0左右时溶解度较小。所以在这类土壤上施用腐肥,可获得解毒增产的效果。

完全纯的腐殖酸虽然并不能吸附阴离子,但各种腐肥中都含有相当量的无机物质。因此,它们能够吸附一定量的铬( $\text{Cr}_2\text{O}_7^-$ 、 $\text{CrO}_4^-$ )和砷( $\text{AsO}_4^-$ 、 $\text{AsO}_3^-$ )。例如,大同风化煤中的黑腐酸,它吸附铬的能力至甚较砖红壤略大。所以腐肥除了减轻一些重金属阳离子的毒害外,还能减轻铬和砷的毒害。

此外,被矿山尾砂、废水污染的土壤,一般有砂性较重的特点。施用腐肥还有改善这类土壤物理性质的显著作用。对于以砷为主要毒害物质的矿毒田来说,这一点更具有特殊的意义,因此土壤氧化还原电位的高低与砷的溶出量和毒性的大小关系很大,施用腐肥能改善土壤的通透性,提高土壤的氧化还原电位,从而能降低土壤溶液中的砷量,减轻它的危害。

湖南省临武县腊水大队长期来有用风化煤粉,改良以砷为主要毒害物质的矿毒田的经验,试验表明,施用腐肥,当季水稻可增产10%左右。长期施用原煤粉,可使土壤中砷的毒害显著降低。

以上介绍了腐肥在改良土壤物理性质和化学性质方面所能起的一些主要作用。除此以外,通过改善土壤的物理性质和化学性质,腐肥还能促进土壤微生物的活动。西北农学院、北京农业大学、河北省微生物研究所等单位的工作表明,施用腐肥的土壤,在微生物总数增多的同时,纤维分解菌等有益微生物的数量也增多,也就是说,施用腐肥可加速土壤中的物质转化。

从总体上讲,腐肥在所有土壤上都能够起上述改土的作用,以上只是一些例子。当然,能否起到这些作用、改土效果的大小如何,将因土壤和腐肥本身性质的不同而不同。首先,土壤性质将影响腐肥的改土效果。例如,在结构良好的土壤上,腐肥改善土壤物理性质的效果未必能显现出来,反之,在很粘或砂性很重的土壤上这种效果就会明显得多。其次,腐肥的性质也将影响改土效果。例如,用酸性原煤粉就不能降低土壤的酸度。可见,这里有一个因土、因肥制宜的问题。只有根据土壤的性质,合理的选择和施用腐肥,才能收到最好的改土效果。在这方面我们还有许多工作要做。