

# 磷矿粉的微生物学转化

## ——氧化硫硫杆菌的利用

山东大学生物系\* 泰安地区农科所

利用微生物分解磷矿粉,优点很多,可以直接当肥料施用,不必经过化学加工,可节约酸和煤,避免公害。如采用综合利用的方式,把某些工业上的废酸与磷矿粉混合酸解可提高其有效性,既消除公害又能增辟肥源,兴利除害,一举两得。另外,还可以有效地把不适合于工业生产的中、低品位磷矿粉充分运用起来。

土壤中能作用于磷矿粉、解磷的微生物,主要是细菌和霉菌两大类。土壤中的溶磷细菌,以产酸细菌为主,pH值降低愈显著者溶磷能力愈强。氧化硫硫杆菌产酸力极为强大,氧化元素硫可以产生高达10%的浓硫酸,杂菌无法与之竞争,并能进行自养性生活,而只须供以少量硫磺即可大量生长,无需消耗粮食,颇适于在农村中推广。

我们通过一年来对霉菌(主要是黑曲)、异养细菌(主要是83—2)和氧化硫硫杆菌的反复试验,选定了氧化硫硫杆菌为重点,进一步作了一些试验,现将试验情况总结于下。

### 一、材料和方法

#### (一)菌种的来源、筛选、培养和扩大

本项研究,开始时采用中国科学院微生物研究所的氧化硫硫杆菌T·t·19号菌株,后来我们又分离出一批,经筛选采用其中的T·t·J号菌株。

分离筛选氧化硫硫杆菌(简称T·t菌,下同)时,采用瓦克斯曼无机盐基础培养基—其成分如下:

(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2克(原为0.2克)、MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.5克、FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.01克、CaCl<sub>2</sub> 0.25克、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 3克、蒸馏水1000毫升、硫磺(元素硫)10克,pH为4.0。高压灭菌30分钟,硫磺单独间歇灭菌。灭菌后以无菌操作按比例和其他成分混合。取供分离菌种用的样品少许接入上述培养基,在30°C温度下,丰富培养7—10天,硫磺下沉,pH下降,培养液混浊,经镜检有T·t菌生长后即进行平板分离。

固体培养基成分同上,只是把硫磺改为硫代硫酸钠(Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>),另加2%琼脂(尽可能洗去杂质)。Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>先配成10%浓度,过滤灭菌后,在倒平板时按比例和其他成分混合,pH5—5.5左右。划线法分离,培养5—7天,可出现圆形、微凸、微混浊水滴状单个菌落(菌落出现时外围发白,呈现云雾状),可在解剖镜下(25×)挑取,重复划线直至纯化。

镜检时用藻红染色(1克藻红溶于5%石碳酸溶液100毫升,过滤至清)。菌体杆形,两端钝圆,宽0.3—0.5微米,长1—1.5微米,其形态往往在不同培养基上和不同生长时间有

\* 本工作系生物系改隶山东农学院的一段时间所作。

所变化。在硫代硫酸钠培养基上，菌体细弱，着色较浅，而在硫磺液体培养基上，尤其在生长盛期，菌体较粗壮，着色深而均匀。

培养和扩大用培养基同上，按1%接种量逐级扩大，但应注意：(1) T·t菌对氮源要求严格，只能利用铵盐，对有机氮、硝态氮、亚硝态氮均不能利用；(2) 培养基中磷酸盐(一价)用量要比较大，通过它的缓冲性能，在氧化硫磺产酸过程中把pH调节在适当范围内，以利保种；(3) 硫磺细度要求在100目以上，以增加菌与硫磺接触面积。

菌种的扩大，根据具体情况，采用摇床振荡、浅层静止培养、深层通气培养、堆制培养等多种形式。一般以振荡培养为好，31°C培养5—7天菌数能达1—5亿个/毫升。如用静止培养，把硫磺粉末分批撒于液面，下沉后再撒上一批，重复几次，一般培养15天左右菌数也能达到0.5—0.9亿个/毫升左右。

根据氧化硫磺杆菌能产生大量硫酸并能在pH0.6时生存的特点，除保存菌种外，扩大过程均不灭菌。

### (二) 磷矿粉与硫源

供试磷矿粉为两种：(1) 徂徕磷矿粉(山东徂徕)属硅酸盐型磷矿，磷灰石占4%，多呈单体出现，结晶良好，所用精矿粉是由磷矿石球磨、浮选而得，含全磷(以P计，下同)8.22%、水溶磷8.0ppm、枸溶磷0.2%；(2) 摩洛哥磷矿粉属非结晶型，含有较多碳酸钙，含全磷13.2%、水溶磷25.0ppm、枸溶磷3.68%。所用硫磺，一为升华硫磺，化学纯，含硫99.5%；一为市售土硫磺，杂质含量较高(试验中未注明者均为土硫磺)。

### (三) 供试土壤

宁阳黑土与省庄黑土，其共同点是：发育于石灰性沉积物，受水作用强烈，表土无石灰反应，质地粘重，结构不良，通透性差，严重缺磷，肥力瘠薄，农作物产量低(表1)。

表1 供试土壤基本农化性状

土 壤	项 目	深度 (厘米)	pH	石 灰 反 应	有机质 %	全 氮 %	全 磷 %	速 效 磷 ppm(P)	代 换 性 钾 ppm(K)
宁 阳 黑 土		0—20	6.8	0	0.82	0.089	0.035	3.2	17837
省 庄 黑 土		0—20	7.0	0	1.42	0.090	0.038	5.0	—

注：宁阳黑土采自宁阳县乡饮公社五厂学校；省庄黑土采自泰安市省庄公社羊娄洼。

### (四) 化学分析方法

pH用1:5水浸出液，酸度计(甘汞—玻璃电极)或精密试纸测定；酸量用标准NaOH滴定，以N(当量)或重量百分浓度表示；水溶磷用1:20水浸提，振荡30分钟，抗坏血酸钼蓝显色，光电比色计或分光光度计比色；土壤速效磷用0.5M NaHCO<sub>3</sub>浸提，显色比色同水溶性磷；全磷用混合酸法，钼蓝比色(水溶磷、速效磷、全磷均按P计算)。

## 二、试验结果

### (一) T·t菌产酸能力及其影响因素

产酸能力是筛选T·t菌种的主要依据。在培养条件一致〔种子状态(种龄)、接种量、硫磺量、硫磺的纯度与细度、培养基成分、pH、温度、时间、摇床振幅、频率等〕的情况下，以T·t(19)为标准，测定了筛选菌株在培养10天、20天、30天的产酸量。结果表明，两菌株

产酸略有差异, T·t(J)在初期生长繁殖稍快, 产酸高峰均在培养20天左右, 产酸量约达到6%, 20天以后上升缓慢。菌株的产酸能力除受培养温度、种龄、接种量等因素的影响, 还与硫磺的用量、纯度以及细度有很大关系(表2)。硫磺的用量在1—4%范围内, 产酸量随着硫磺量而增加。培养时间在10—20天范围内产酸量直线上升, 至20天达到高峰。硫磺纯度高, 粒度细, 产酸量也高。

表2 硫磺量、纯度、细度与培养时间对 T·t 菌产酸量的影响(当量)

天 数	硫 磺 量				硫 磺 类 别		硫 磺 细 度			
	1 %	2 %	3 %	4 %	土硫磺	升华硫磺	64目	80目	100目	200目
10	0.35	0.38	0.43	0.47	0.39	0.52	0.10	0.14	0.14	0.16
15							0.20	0.23	0.24	0.26
20	0.51	0.72	0.92	1.04	0.54	1.16	0.24	0.33	0.32	0.32
25							0.36	0.45	0.42	0.42
30	0.53	0.75	0.92	1.03	0.55	1.18	0.47	0.51	0.57	0.55
48							0.81	0.83	0.91	1.00

注: 1. 硫磺量(%)处理为升华硫磺。培养条件: 种龄7天, 接种量1%, 温度30°C, 摇床振幅4厘米, 频率220次/分, 装液量50毫升/250毫升。

2. 硫磺类别处理的硫磺量为4%, 其培养条件同注1。

3. 硫磺细度处理, 其种子由冰箱取出后未经活化, 25—27°C 间歇振荡培养, 振幅3厘米, 频率220次/分。

## (二) T·t 菌对磷矿粉的解磷能力

我们探讨 T·t 菌对磷矿粉的解磷能力时, 一方面为摸清磷矿粉用量(表3、图), 同时希望了解解磷能力与产酸量之间的关系(表4、5)。

表3 T·t 菌对摩洛哥磷矿粉的解磷效果

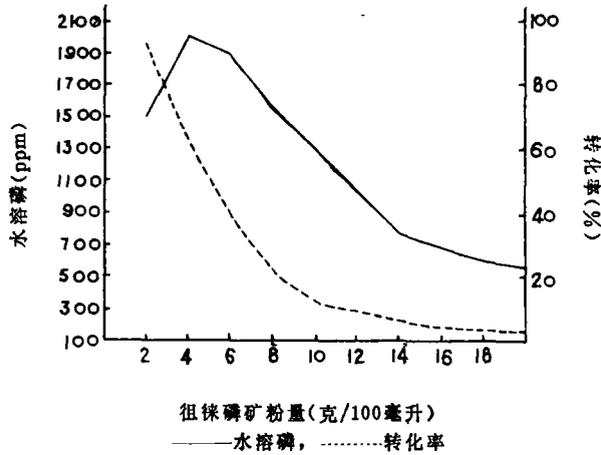
加 入 量 (克/100毫升)	培 养 后 溶 液			转 化 率 (%)
	水 不 溶 磷 含 量 (克/100毫升)	水 溶 磷 浓 度 (ppm)	水 溶 磷 含 量 (克/100毫升)	
1	0.132	1320	0.132	100.0
2	0.264	2640	0.264	100.0
4	0.528	3480	0.348	65.9
6	0.791	3510	0.351	44.4
8	1.055	2925	0.293	27.7
10	1.320	2438	0.244	17.0

注: 用无磷基础培养基, 硫磺1%, 加入不同量摩洛哥磷矿粉, 接菌后于31°C 振荡培养15天。

表4 不同酸度的菌液对摩洛哥磷矿粉的解磷效果

菌 酸 浓 度 (当量)	磷 矿 粉		浸 出 液		转 化 率 (%)
	加 入 量 (克/100毫升)	全 磷 量 (克/100毫升)	水 溶 磷 浓 度 (ppm)	水 溶 磷 含 量 (克/100毫升)	
0.40	5	0.66	5000	0.50	75.7
	10	1.32	4333	0.43	32.8
	20	2.64	3333	0.33	12.6
0.78	5	0.66	6480	0.65	98.2
	10	1.32	9066	0.91	68.7
	20	2.64	8266	0.83	31.3

注: 磷矿粉加进培养好的菌液中于31°C 振荡培养24小时。



T·t 菌对徂徕磷矿粉的解磷效果图

注：培养基为土硫磺 2 克，硫铵 0.2 克，菌液 50 毫升，初始 pH1.5，初始酸度 0.0748N，25—30°C 摇床间歇振荡培养 27 天。

表 3 表明，当摩洛哥磷矿粉的用量为 1% 和 2% 时，磷矿粉中水不溶性磷的转化率为 100%，随着磷矿粉用量的增加转化率逐渐降低。当磷矿粉用量为 4% 时，转化率为 65.9%，这时水溶磷全量达到 0.348 克/100 毫升。用较难溶解的徂徕磷矿粉试验，具有同样的趋势（见图），当徂徕磷矿粉的用量为 2% 时，转化率达到 92.8%，磷矿粉用量为 4% 时，转化率为 62.6%，这时溶液中水溶磷浓度达 2057ppm，全量达到 0.21 克/100 毫升。

表 5 同酸度的菌液（灭菌和不灭菌）与硫酸浸溶能力的比较

项 目	酸 液		浸 后 溶 液		增 减 (+ -)		转 化 率 (%)
	酸 度 (当量)	水 溶 磷 (ppm)	酸 度 (当量)	水 溶 磷 (ppm)	酸 度 (当量)	水 溶 磷 (ppm)	
硫酸 50 毫升 + 徂徕磷矿粉 3 克	0.506	2	0.304	4057	-0.202	+4055	82.2
灭菌菌液 50 毫升 + 徂徕磷矿粉 3 克	0.506	670	0.319	4500	-0.187	+3830	77.7
不灭菌菌液 50 毫升 + 徂徕磷矿粉 3 克	0.506	670	0.319	4501	-0.187	+3831	77.7

注：磷矿粉加入酸液中于 31°C 摇床振荡浸溶 92 小时。

从表 4、表 5 可知：当菌液浸溶一定量磷矿粉时，其酸度高的菌液转化率也高，且与相同酸度的硫酸效果大致相当。这说明 T·t 菌的解磷效果可能主要取决于菌体产酸量。

### (三) 磷矿粉的固体堆制(堆肥)

#### 1. 原料配比及堆制条件(表 6)：

表6 堆肥原料配比及堆制条件

料 堆 号	名 称	磷 矿 粉 (%)	硫 磺 (%)	硫 酸 铵 (%)	麦 秆 草 (%)	细 土 (%)	水 (%)	接 种 量 (%)	pH 值	堆 制 温 度 (°C)	堆 制 时 间 (天)	备 注
I		32 (徂徕)	2	2	64 (粉碎)	—	125	1	6	20—29	50 (7/4—27/5)	小堆
II		44 (摩洛哥)	3	2	7 (粉碎)	44	50	1	6.5	22—30	40 (10/5—20/6)	小堆
III		85.4 (徂徕)	4.2	1.9	8.5 (未粉碎)	—	20	1	6.5	27—35	30 (9/8—8/9)	大堆
IV (对照)		85.4 (徂徕)	—	1.9	8.5 (未粉碎)	—	20	—	6.5	25—32	30 (9/8—8/9)	大堆 (对照)

2. 堆制方法：先将磷矿粉和硫磺粉充分拌匀，并将硫酸铵溶于水，接入菌种，然后将二部分混匀疏松堆制，厚1市尺左右，最后覆盖潮湿草席，每天在草席上泼适量的水，十天翻堆一次，保湿、保温(20—35°C)、疏松通气。

3. 堆肥的pH与溶磷变化(表7)：堆制试验结果表明，利用T·t菌和硫磺、磷矿粉等混合堆制后pH下降，水溶磷显著增加。摩洛哥磷矿粉和徂徕磷矿粉都可以被转化。

表7 堆肥的解磷情况

堆 号	最 终 pH	湿 堆 肥 水 溶 磷 (ppm)	含 水 率 (%)	干 堆 肥 水 溶 磷 (ppm)
I	2.5	733	60	1833
II	2.5	2400	36	3744
III	2.0	750	26	1125
IV(对照)	5.5	20	20	25

#### (四)盆栽试验结果

T·t菌对磷矿粉的转化作用除用化学分析法进行测定外，还进行了生物试验。

##### 1. 堆肥对玉米苗期生长的影响：

土培试验(宁阳黑土)于七月三十日至九月二十七日之间进行三次，每次三个重复。土培(1)，每盆装土1250克，种玉米4株。处理设加I号堆肥40克/盆；对照(加同量磷矿粉)。土培(2)，每盆装土3000克，处理和对照均同土培(1)。土培(3)，每盆装土1250克，处理加III号堆肥40克/盆，对照加同量IV号堆肥。试验结果见(表8)。

结果表明，未经接种堆制的磷矿粉，施在极度缺磷的宁阳黑土上，肥效不大，作物苗期显出“缺磷症状”，而经接种并堆制后施用，则能够促进玉米苗期的生长和干物质积累，表现苗色深绿，根系发达，生长旺盛。

##### 2. 在砂培条件下磷矿粉的菌酸浸出液对玉米苗期生长的影响：

试验共设四个处理：(1)过磷酸钙：1.25克/盆(含水溶磷0.1克)；(2)菌酸浸出液(简称“磷水”)142毫升/盆(含水溶磷0.1克)；(3)徂徕磷矿粉：2.36克/盆(即浸制142毫升浸出液所用磷矿粉的量，含全磷0.2克)；(4)无磷对照。重复二次。玉米品种为自交系南55，3月23日播种，每盆定苗两株，克诺普培养液(除去磷酸盐)培养，生长67天。结果见表9。

表8 土培条件下堆肥对玉米苗期生长的影响

土培号	处 理	苗 龄 (天)	株 高 (厘米)	地 上 部 (单株)		地 下 部 (单株)	
				鲜 重 (克)	干 重 (克)	鲜 重 (克)	干 重 (克)
(1)	堆肥Ⅱ	20	53.9	9.90	1.65	5.40	0.61
	对照 (磷矿粉)	(30/7—19/8)	41.1	4.25	0.63	3.25	0.38
(2)	堆肥Ⅱ	30	70.0	18.45	2.70	16.30	2.36
	对照 (磷矿粉)	(2/8—1/9)	54.0	6.45	1.38	7.35	0.95
(3)	堆肥Ⅲ	28	42.5	5.15	0.63	4.13	0.38
	对照 (堆肥Ⅳ)	(30/8—27/9)	33.7	2.43	0.34	2.18	0.18

注：堆肥Ⅱ、Ⅲ及Ⅳ，见本文(三)堆肥部分。

表9 “磷水”对玉米苗期生长的影响

处 理 项 目	株 高 (厘米)	茎 粗 (厘米)	单 株 叶 片 数	地 上 部 (单株)		地 下 部 (单株)	
				鲜 重 (克)	干 重 (克)	鲜 重 (克)	干 重 (克)
过磷酸钙	74.0	1.1	9.5	41.2	5.5	11.8	2.2
“磷水”	81.3	1.3	9.5	48.9	6.8	17.4	3.0
磷矿粉	40.1	0.6	7.5	7.6	1.7	7.5	0.8
无磷	41.3	0.5	7.5	10.4	1.7	5.7	0.7

表9说明，徂徕磷矿粉直接施用结果与无磷处理类似，基本上不显肥效，经菌酸浸提后，肥效显著提高，幼苗生长旺盛，株高、茎粗高一倍，干物质高四倍左右，甚至胜过等磷量的过磷酸钙。

3. 在土培条件下，T·t菌、硫磺与磷矿粉混合后不经堆制施用，对玉米苗期生长及土壤pH、速效磷的影响：

土壤为泰安省庄黑土，每盆装土1200克，共设七个处理：(1)对照，不施磷肥(CK)；(2)硫磺1克(S)；(3)摩洛哥磷矿粉6克(P)；(4)T·t菌液12毫升(T)；(5)硫磺1克+T·t菌液12毫升(S·T)；(6)硫磺1克+磷矿粉6克(S·P)；(7)硫磺1克+磷矿粉6克+T·t菌液12毫升(S·P·T)。

用全层混合施肥法，将试验材料临时混合施用。施肥后十天播种，品种为玉米自交系南55，每盆两株，播后47天调查，结果见表10。

从表10看出：T·t菌与硫磺、磷矿粉一起混合施入土壤，有利于玉米苗期生长，生长势愈长愈强，茎叶浓绿，干物质积累多；土壤pH下降，速效磷含量提高。与单施磷矿粉的处理比较，株高高60%，干物质大5.5倍，土壤pH降低1.17，速效磷增加26.5ppm。与不接菌的硫磺、磷矿粉混施比较，株高增加10%左右，干物质增加近一倍；速效磷增加5.7ppm，足见T·t菌的作用是明显的。

4. 在土培条件下，堆肥对小麦冬前生长的影响：

土壤为宁阳黑土，栽培盆30×30厘米 每盆装土20市斤，试验以堆肥为主共设八个处

表 10 T·t 菌硫磺与磷矿粉直接混合施用对玉米苗期生长及土壤 pH、速效磷的影响

处 理 代 号	株 高 (厘米)	单 株 叶 片 数	干 物 质 克/株	土 壤 pH	土 壤 速 效 磷* (ppm)
CK	21	6.8	0.39	7.30	5.5
S	25	6.5	0.48	6.93	5.5
P	25	7.3	0.35	7.50	6.0
T	25	7.3	0.43	7.50	5.0
S.T	26	7.3	0.62	6.90	6.0
S.P	36	8.3	1.25	6.65	26.8
S.P.T	40	10.0	2.25	6.33	32.5

\* 测定标本为干土。

理,重复 4 次。1. 不施磷肥(CK); 2. 徂徕磷矿粉(P); 3. 硫磺(S); 4. 磷矿粉+硫磺, 施用时混合(P+S,混); 5. 磷矿粉+硫磺+T·t 菌, 施用时混合(P+S+T,混); 6. 磷矿粉+硫磺+T·t 菌, 堆制(P+S+T,堆); 7. 过磷酸钙(过-P); 8. 磷矿粉+硫磺+T·t 菌颗粒(P+S+T,颗粒)。

处理 6, 每盆施用堆肥(湿)625 克(堆制时按磷矿粉 500 克, 硫磺 15 克, 硫酸铵 5 克, 麦糠 40 克, T·t 菌液 5 毫升之比混合), 堆制 48 天, 含水溶磷 950ppm。其它处理中所施用的磷矿粉、硫磺、菌液的量均相同, 都补足同量的硫酸铵与麦糠。处理 7, 过磷酸钙用量为 150 克(与磷矿粉用量比为 3:10)。处理 8, 颗粒肥系将磷矿粉、硫磺、硫酸铵、T·t 菌按堆肥料比加水混合制成颗粒, 堆制 30 天而成。所有处理均用全层混合施肥法施用。小麦品种为反修四号。10 月 10 日播种, 每盆 12 粒, 10 月 19 日出苗, 定苗 10 株。12 月 12 日调查冬前分蘖。

从小麦冬前生长状况来看, 以过磷酸钙最好, 其次是堆肥处理, 二者表现叶片浓绿肥厚, 分蘖早而多; 再次, 为颗粒肥。临时混合施用稍好于单施。以对照最差, 表现分蘖晚, 分蘖少, 长势弱, 叶色开始变红发暗。冬前取土分析结果表明, 堆肥处理表现有增加速效磷含量的作用。

### (五)田间小区试验结果

田间小区试验于 1973 年在山东宁阳县乡饮公社五厂学校严重缺磷黑土上进行。试验分二组, 第一组试验: 主要是观察堆制磷肥的肥效。共设五个处理, 小区面积 8 米<sup>2</sup>, 每区穴播玉米 30 株。1. 堆肥 I, 每亩 300 斤; 2. 过磷酸钙, 每亩 10 斤; 3. “磷水”(徂徕磷矿粉菌酸浸出液), 每亩 770 斤; 4. 硫磺 3.5 斤/亩+徂徕磷矿粉 100 斤/亩; 5. 对照, 徂徕磷矿粉 100 斤/亩。第二组试验: 主要观察磷矿粉、硫磺、T·t 菌混合不经堆制直接施入土壤的肥效, 以判断是否需要接种。小区面积 41.7 米<sup>2</sup>, 重复四次, 设二个处理, 接菌: 每亩加摩洛哥磷矿粉 30 斤、麦糠 30 斤、硫磺 2 斤; 不接菌: 所用材料同上, 不接菌。两组试验肥料均在播种前作种肥穴施, 硫酸铵总用量均为 52 斤/亩, 其结果如下:

#### 1. 不同处理对玉米生长及土壤 pH、速效磷的影响:

从表 11 结果看出: (1) 各处理间土壤 pH 变化与盆栽试验结果基本一致。pH 均比对照有所下降, 速效磷明显提高。(2) 各处理都能不同程度促进玉米植株长势。对照和硫磺+磷矿粉处理, 幼苗有明显“缺磷”症状。如果把玉米全生育期分为前、中、后三期进行分析, 用综合评级作为长势指标, 则可看出, 不同处理长势消长不一, 堆制磷肥的全生育期生长茁壮, 与对照间差异显著, 并随生长期增加而扩大; 过磷酸钙的前期好, 中、后期较弱, 硫

表 11 不同处理对土壤 pH、速效磷及玉米生长的影响

处 理	土 壤 pH	土 壤 速效磷 (ppm)	31天		42天		48天		58天		80天 评级	96天		
			株 高 (厘米)	评 级		株 高 (厘米)	评 级							
第 一 组	堆制磷肥	6.8	5.4	78	2	121	2	155	2	204	1	1	219	1
	过磷酸钙	6.8	3.0	81	1	126	1	163	1	204	1	2	221	3
	“磷水”	6.9	5.4	67	3	116	3	149	3	196	2	2	221	2
	硫磺+磷矿粉	6.8	8.2	64	4	116	4	140	3	184	3	3	219	2
	对 照	7.1	2.0	61	5	101	5	128	5	165	4	4	203	4
第 二 组	接 菌	—	—	63	—	120	1	141	1	181	1	1	208	1
	不 接 菌	—	—	59	—	108	2	129	2	167	2	2	198	2

注：1. 株高为地面至最高展开叶尖端的高度。评级根据株高、叶色、叶宽、长势的综合差异目测评定，依其强弱分 1、2……。

2. “磷水”处理因菌酸浸出液施用未加水稀释，对幼苗有一定抑制，影响肥效发挥。

3. 土壤 pH、速效磷是在玉米收获后，取各处理根际土壤分析。

磺+磷矿粉的后期却由弱转旺，这可能是由于施入硫磺和磷矿粉后，土壤中的硫杆菌逐渐活跃的结果。

### 2. 不同处理对玉米产量与穗部性状的影响：

表 12 不同处理增产效果与考种结果

处 理	产 量 (斤)		比对照增产		穗 长 (厘米)	穗 粗 (厘米)	秃 顶 (厘米)	千 粒 重 (克)	
	小 区	折亩产	(%)	(斤/亩)					
第 一 组	堆制磷肥	7.7	642	38.7	179	17.2	4.3	2.0	265.7
	过磷酸钙	6.1	508	9.7	45	15.7	4.1	2.3	249.2
	“磷水”	6.4	533	15.1	70	15.9	4.1	2.4	238.0
	硫磺+磷矿粉	6.5	537	16.0	74	14.9	4.3	2.9	264.9
	对 照	5.6	463	—	—	16.1	3.7	3.3	250.9
第 二 组	接 菌	29.7	471	10.8	46.0	15.0	4.1	2.7	236.5
	不 接 菌	26.8	425	—	—	14.3	3.9	3.1	232.9

从上表看出各处理对玉米均有不同程度的增产效果，以堆制磷肥最显著，较对照增产 38.7%。甚至比等磷量的过磷酸钙增产 26.4%。硫磺+磷矿粉和“磷水”分别增产 16.0% 和 15.1%。不同处理对玉米构成产量的穗部性状有所改善，堆制磷肥对穗部性状影响较为全面，穗长、穗粗、千粒重均有显著增加。从第二组试验结果来看，用磷矿粉、硫磺、麦糠、硫铵等不经堆制直接施入土壤，接菌的比不接菌的效果好。

## 三、讨 论

把磷矿粉、硫磺和土壤混合作为肥料，早在 1916 年已有报道，并在农业生产上有所采用和积累了一些经验<sup>[1]</sup>。但至今仍缺乏一整套适用于不同磷矿粉、土类、作物等行之有效的使用技术。通过一年反复试验，我们认为接种氧化硫硫杆菌把磷矿粉、硫磺与土壤或其他填料如麦糠、碎秸秆等按一定比例混合制成堆肥，将磷矿粉中的难溶性磷逐渐地释放出来，是一个在农村中提高磷矿粉肥效的切实可行的方法。

山东省含硫矿物丰富，如煤矿区的煤矸石堆积如山，如果用它做硫的代用品和磷矿

粉、氧化硫硫杆菌一起制成堆肥,既可开辟肥源,又能减轻公害,这一途径能否实现,尚待进一步研究。

关于氧化硫硫杆菌的培养技术问题(氧化硫硫杆菌严格好气,生长慢,细胞得率低,种子保存比较困难),通过一年来的摸索,使每毫升培养液中获得1—5亿个细菌是没有问题的。

元素硫的比重是2.1,理论上应该下沉到培养液的底部,但由于它具有强大的抗湿性,虽经多次灭菌,仍然浮在液体表面<sup>[2]</sup>,不易和菌体接触。而要使元素硫颗粒能够快速地被其氧化,必须使菌体与硫粒直接接触<sup>[3, 4]</sup>,待细菌生长繁殖,产生潮湿剂作用于硫粒后,硫粒才行下沉。掌握了这一规律,我们认为可把硫粒磨得细一点(100目以上),以加大菌体和硫粒的接触面<sup>[5]</sup>。静止培养时可分批把硫磺粉撒在液面,待细菌不断地产生潮湿剂强化对硫粒的作用<sup>[6]</sup>,增加细菌和硫粒接触的机会,延缓累积有害有机物的时间,可以大大提高细胞的得率。

氧化硫硫杆菌的需氧量比一般好气性异养菌要高<sup>[7]</sup>。理论上,通气培养比较好的,可以增加细胞的得率<sup>[8]</sup>,但实际上通气却往往影响菌体和硫粒的接触,如果通气不得法,反会产生不良影响,因此静止培养,有条件时再佐以振荡,就可以得到良好的结果。

实践使我们认识到,氧化硫硫杆菌虽然是自养菌,不能利用有机物质作碳源,但是少量有机物的存在并不致影响它的生长,有时还会起促进作用,因此,可以用普通水来配制培养基<sup>[9, 10]</sup>,不一定要蒸馏水。另一方面,氧化硫硫杆菌的自养特性是在农村中进行大量培养的一个有利条件,没有有机物,早期可以减少杂染,后期则由于硫酸的大量产生而完全抑制杂菌的生长,所以,完全可以在不灭菌的条件下大量培养或堆制。

文献报道,氧化硫硫杆菌保种困难,要求1~2周移种一次<sup>[11]</sup>,那是利用斜面保种,在单位面积内集中的菌数太多,累积的有害物质不易扩散的缘故。我们用液体法保种,掌握培养时间,在尚未大量产酸时就取出于4°C保存,一般三个月内不会死亡。

氧化硫硫杆菌在自然界中广泛分布,一般土壤中也有,要不要另行接种,要不要预先进行堆制?我们从土壤中分离氧化硫硫杆菌的初步经验看来,一般土壤中虽然也有这种细菌,但菌株之间的生长快慢与产酸强度之间有不少出入,其后通过盆栽和田间小区试验证明,接种产酸力强、生长快的菌株进行预先堆制的方式比较可取。田间小区试验表明,经过接种并预先堆制过的磷矿粉的肥效比等磷量(系指水溶性磷)的过磷酸钙高,可能是由于磷矿粉的不断转化,提供了更多的磷素营养,改善了硫素营养或者还有其他方面的作用,尚待研究。

#### 四、摘 要

一、从自然堆制物(土硫磺、磷矿粉、草粉等)中分离到一株氧化硫硫杆菌,在一般条件下,能利用硫磺产生6%左右的硫酸;研究了硫磺用量、质量、细度以及氧化时间对产生硫酸的影响;在振荡条件下,31°C培养5—7天,每毫升培养液菌数能达1—5亿个。

二、实验室摇瓶试验结果证明,氧化硫硫杆菌对摩洛哥和徂徕两种磷矿粉均有解磷能力。当磷矿粉量为1—2%时,基本上可以全部溶解出来,但随着磷矿粉量的增加溶磷率递减,在一定范围内,解磷能力和产酸能力有正比关系。

三、利用氧化硫硫杆菌与硫磺、磷矿粉、硫酸铵、麦糠或碎秸秆等按一定比例混合制

成堆肥, 是使磷矿粉有效化的重要途径之一, 适于农村使用。经过盆栽(砂培、土培)和田间试验证明: 对山东宁阳黑土、泰安市省庄黑土, 有降低土壤pH, 提高土壤速效磷含量的作用, 能够促进玉米的生长发育并有显著的增产效果, 对冬前小麦的生长发育也表现有明显的作用。

### 参 考 文 献

- [1] 王葆和, 磷肥工业概说, 化学工业出版社, 1959。
- [2] Jones, G.E. and Starkey, R.L., J. Bacteriology, 82, 788—789, 1961.
- [3] Schaeffgr, W.I. et al., J. Bacteriology, 85, 17—140, 1963.
- [4] Каравайко Г.И. и Пловарова Т.А., Микробиология, XLII, 389—395, 1973.
- [5] Torma, A.E. et Legault, G., Annales Microbiologiques (Inst. Pasteur), 124A, 111—121, 1973.
- [6] Beebe, J.L. and Umbreit, W.W., J. Bacteriology, 108, 612—614, 1971.
- [7] Соколова Г.А. и Каравайко Г.И., Издательство “Наука”, Москва, 1964.
- [8] Feig, S., Can. J. Microbiology, 19, 306—307, 1973.
- [9] Baalsrud, K., 见 Autotrophic microorganisms, 54—67, 1954.
- [10] Tuovinen, O.H. et al., Biotech. Bioengineering, 13, 517—527, 1971.
- [11] Vishniac, W. and Santer, M., Bact. Rev., 21, 195—213, 1957.

## 城西湖农场土壤肥力特征 与改土培肥途径的探讨

中国科学院南京土壤研究所城西湖工作组  
中国人民解放军城西湖“五·七”军垦农场实验站

肥力是土壤的本质, 是土壤生产力高低的综合标志。它指土壤供应和协调作物生长所需要的水分、养分、空气和热量的能力。这种能力因土壤而异。高肥土壤能使作物“吃饱、喝足、住得舒服”, 生长健壮, 获得高产。低肥土壤不能满足作物生长的营养需要, 或者调节环境条件的能力较差, 使作物感到不适, 从而低产。因此, 认识土壤肥力特征, 采取相应措施, 不断提高土壤肥力, 是建设稳产高产农田, 实现持续增产的重要内容。

### 一、农场土壤肥力状况

影响土壤肥力的因素很多, 就土壤内在因素而言, 土壤素质的好坏, 土壤有效养分含量的高低, 土壤物理性状的优劣是最主要的因素。因此, 评价土壤肥力的高低应从这三方面入手。通过全面土壤普查鉴定, 我们认为城西湖农场土壤的素质良好, 有效养分含量不算低, 但物理性状不良, 土壤水气失调成为当前农场主要作物三麦不能高产的主导因素。