

# 脱硫废弃物施用对盆栽油葵碱化土壤 微生物多样性的影响<sup>①</sup>

李凤霞<sup>1,2</sup>, 杨涓<sup>3</sup>, 许兴<sup>1\*</sup>, 杨建国<sup>2</sup>, 郑国琦<sup>3</sup>, 南宁丽<sup>4</sup>

(1 宁夏大学农学院, 银川 750021; 2 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 银川 750002;

3 宁夏大学生命科学院, 银川 750021; 4 宁夏农林科学院植物保护研究所, 银川 750021)

**摘要:** 在宁夏平罗西大滩前进农场, 利用盆栽试验以油葵为指示植物设置了脱硫废弃物 5 个不同施用量处理改良碱化土壤, 采用 Biolog Eco-plate 技术对土壤微生物群落功能多样性进行了分析。结果表明: 脱硫废弃物施用处理都能够降低土壤 pH 值 0.06~0.29 个单位; 降低土壤全盐含量 0.72~1.35 g/kg; 脱硫废弃物施用能够明显提高土壤微生物活性及其微生物群落对碳源的利用水平; 碱化土壤微生物对碳水化合物、羧酸类、聚合物类、氨基酸类化合物的利用较高, 而对胺类和酚类化合物的利用都较低; 并且适量的脱硫废弃物施用能够显著增加土壤微生物功能多样性, 说明脱硫废弃物的施用并不是越多越好, 而是要有一定的限量。本研究表明脱硫废弃物的施用量在 2.5~7.5 g/kg 土时, 能够改善土壤理化性质和土壤微生物活性, 从而达到改良碱化土壤的效果。

**关键词:** 脱硫废弃物; 碱化土壤; 油葵; 微生物多样性

**中图分类号:** S156

微生物和动植物一样是地球上宝贵的生物资源, 也是其他资源不能代替的<sup>[1]</sup>。土壤微生物不仅种类繁多, 而且生物化学过程十分复杂, 在维持环境平衡、净化有毒物质、参与有机质和植物营养元素转化与循环, 对土壤演化过程和性质变化有深刻的影响<sup>[2-3]</sup>。近年来一些研究还发现, 微生物群落结构和功能多样性可很好地描述土壤质量<sup>[4-5]</sup>。有关利用碳素的微平板 (Biolog) 测定方法是近 10 年发展起来的一种较为先进的研究土壤微生物群落功能多样性的方法<sup>[6]</sup>。其为描述微生物群落功能多样性提供了一种更为简单、更为快速的方法, 并广泛应用于评价土壤、农田、草地等生态系统微生物群落的功能多样性<sup>[7]</sup>。利用脱硫废弃物改良土壤, 国外对它的研究主要集中在酸性土壤方面, 国内主要是针对东北及河套地区碱性土壤进行改良, 以达到作物增产目的。近年来, 宁夏利用脱硫废弃物改良盐碱地, 也取得了一定成效, 但改良效果主要集中在作物产量和土壤物理及化学性质方面<sup>[8]</sup>。笔者首次从土壤微生物群落功能多样性角度研究脱硫废弃物改良盐碱地的效应, 旨在揭示土壤微生物群落

功能多样性特征对土壤改良的响应, 为宁夏盐碱地改良效果和土壤质量的演变提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验概况

盆栽试验于 2009 年 4 月中旬至 8 月底在宁夏平罗县西大滩前进农场盐碱地改良试验基地抗旱棚中进行。该试验基地位于东经 106°13'~106°26', 北纬 38°45'~38°55', 海拔 1 091~1 102m, 年均降水量 172.5 mm, 7、8、9 三个月降水量占 66.6%, 年平均蒸发量达 1 755 mm, 全年平均相对湿度为 56%, 年平均日照时数 2 800~3 200 h, 年最大风力 9 级, 最大风速 18 m/s, 年均气温 8.5℃, 昼夜温差 8~15℃, 极端最高气温 30℃, 极端最低气温 -25℃; 全年无霜期 155 天<sup>[9]</sup>。

### 1.2 试验材料

试验种植油用葵花, 油葵品种为富葵一号。化学改良剂脱硫废弃物来自宁夏马莲台电厂。脱硫废弃物的化学成分为 CaO 341.2 g/kg、SO<sub>3</sub> 485.2 g/kg、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

<sup>①</sup>基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2007BAC08B01) 和国家自然科学基金项目 (40961020) 资助。

\* 通讯作者 (xuxingscience@126.com)

作者简介: 李凤霞 (1977—), 女, 宁夏固原人, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事农业生态与土壤微生物方面的研究。E-mail: lifengxia1211@sina.com

10.0 g/kg、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5.5 g/kg、MgO 21.1 g/kg、TiO<sub>2</sub> 0.5 g/kg、K<sub>2</sub>O 1.1 g/kg、Na<sub>2</sub>O 2.7 g/kg、MnO 0.2 g/kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.16 g/kg、Cl 5.7 g/kg, 密度 1.03 g/cm<sup>3</sup>, 结晶水 111 g/kg, 其他 21.8 g/kg<sup>[8]</sup>。盆栽用土壤为基地中强度盐碱土, 试验地土壤基本化学性质为 pH 值 9.82、全盐 4.8 g/kg、碱化度 34.3%, 有机质 15.54 g/kg, 总碱度 0.55 cmmol/kg, 全 N 0.3 g/kg, 全 P 0.17 g/kg。盆栽用塑料盆 30 cm × 35 cm × 38 cm, 用水洗干净后凉干待用。

### 1.3 试验设计

试验共设 5 个脱硫废弃物施用量处理, 分别为①0 (YpCK); ②2.5 g/kg 土 (YpT1); ③5.0 g/kg 土 (YpT2); ④7.5 g/kg 土 (YpT3); ⑤10.0 g/kg 土 (YpT4)。每处理 10 个重复, 装土 10 kg/盆, 土壤取自前进农场油葵大田。装土前将脱硫废弃物与土壤充分混匀, 装土后浇水把土壤浸透, 等待土壤表层稍干后, 将隔夜浸泡好的油葵种子穴播入土壤, 播深 2 cm 左右, 播量为每盆 10 粒, 待苗期生长稳定后间苗为 3 株/盆, 各处理全生育期灌水等其他管理措施一致。

### 1.4 土样采集

在植株生长成熟期收获时, 将土壤与植株一起从盆中倒出, 破碎土壤后取植株根系周围的土壤放入无菌的塑料袋内, 每处理的 5 盆土壤放入同一个无菌塑料袋内, 混合均匀后分成两份置于存有冰块的取样箱中带回实验室内备用, 一份用于测定微生物特征, 另一份土壤样品风干后过 2 mm 筛处理备用<sup>[3]</sup>。

### 1.5 微生物群落多样性测定方法

土壤微生物多样性测定采用 Biolog Eco-plate 方法。试验采用有 31 种碳源的 Biolog Eco-plate 系统分析微生物群落的代谢特征, 即代谢功能多样性, 这种方法是基于微生物群落对 31 种不同碳源的利用度来描述群落中微生物的动态变化的<sup>[10-11]</sup>。Eco 板的接种液的制备采用在超净工作台上称取 10 g 土样, 放入 90 ml 已灭菌的 0.9% NaCl 生理盐水中, 室温下在摇床上中速振荡 30 min, 最终的稀释比例为 1:100。用 8 孔移液器向 Eco 板各孔中加入 150 μl 稀释液, 每个土样 3 次重复, 将接种好的 Eco 板放在保湿的无菌塑料容器中, 并放入 28℃ 的恒温培养箱中培养。分别于 0、24、48、72、96、120、144 h 和 168 h (7 天) 测定波长为 590 nm 的光密度值, 光密度值在 Biolog microstation 读数器上进行测定, 在每个生态板上微生物群落活性用平均颜色变化率 (AWCD) 表达<sup>[12-14]</sup>。

### 1.6 数据统计

Biolog 生态板中孔的平均颜色变化率 (AWCD),

计算方法如下:  $AWCD = \sum(C-R)/n$ , 公式中  $C$  为每个碳源孔在波长 590 nm 时光密度值,  $R$  为对照孔的光密度值,  $n$  为培养基碳源种类数, 生态板  $n$  为 31。培养基的多样性与植物生态学中的计算公式相同<sup>[15]</sup>。多样性指数采用 Shannon-Weinner 指数 ( $H'$ ),  $H' = -\sum(P_i \times \ln P_i)$ , 式中  $P_i$  为第  $i$  孔的光密度值与对照孔的光密度值之差与微平板上所有孔的光密度总差的比值, 即  $P_i = (C-R)/\sum(C-R)$ , 均匀度指数  $E_H = H'/\ln R$ , 采用 DPS V9.5 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤理化性质变化

**2.1.1 土壤 pH 值** 土壤 pH 值和全盐含量是反映土壤盐碱化程度的主要指标。土壤 pH 测定结果表明 (表 1), 与对照处理相比, 脱硫废弃物不同施用量处理都能够降低土壤 pH 值, 各个处理 pH 值随着脱硫废弃物施用量的增加, pH 值降低的幅度越大, 而且 pH 值降低的程度与脱硫废弃物施用量之间呈显著正相关 ( $R^2 = 0.85$ )。脱硫废弃物处理与对照处理 (YpCK) 相比, 以 YpT4 处理对土壤 pH 的降低效果最明显, 降低了 0.29, 其次为 YpT2、YpT3 处理, 为 0.26 左右, YpT1 处理降低土壤 pH 值最小, 仅为 0.06 左右。而且从表 1 中可以得出, YpT2、YpT3 和 YpT4 三个处理之间差异不显著, 这就表明在碱化土壤中当脱硫废弃物施用量大于 5.0 g/kg 土时, pH 值不会随着施用量的继续增加而降低很多。

表 1 脱硫废弃物不同用量处理对盆栽油葵物理性质的影响

Table 1 Soil physical properties under different amounts of desulphurization byproducts

处理	pH 值	全盐 (g/kg)	土壤有机质含量 (g/kg)
YpCK	9.05 a	4.68 b	15.61
YpT1	8.99 a	4.31 c	15.66
YpT2	8.79 b	4.13 d	15.68
YpT3	8.78 b	3.96 e	15.74
YpT4	8.76 b	5.04 a	15.66

注: 同列相同字母表示不同处理间的差异不显著 ( $p > 0.05$ )。

**2.1.2 土壤全盐含量** 从表 1 可以看出, YpT1、YpT2 和 YpT3 处理能够降低碱化土壤全盐含量, 降低的幅度为 0.72 ~ 1.35 g/kg, 而且以 YpT3 处理降低最明显。这与罗成科等<sup>[8]</sup>的研究结果正好相反, 这与盆栽过程中伴随多次灌水淋溶作用有关。而脱硫废弃物 YpT4 处理则增加土壤全盐含量, 这于脱硫废弃物



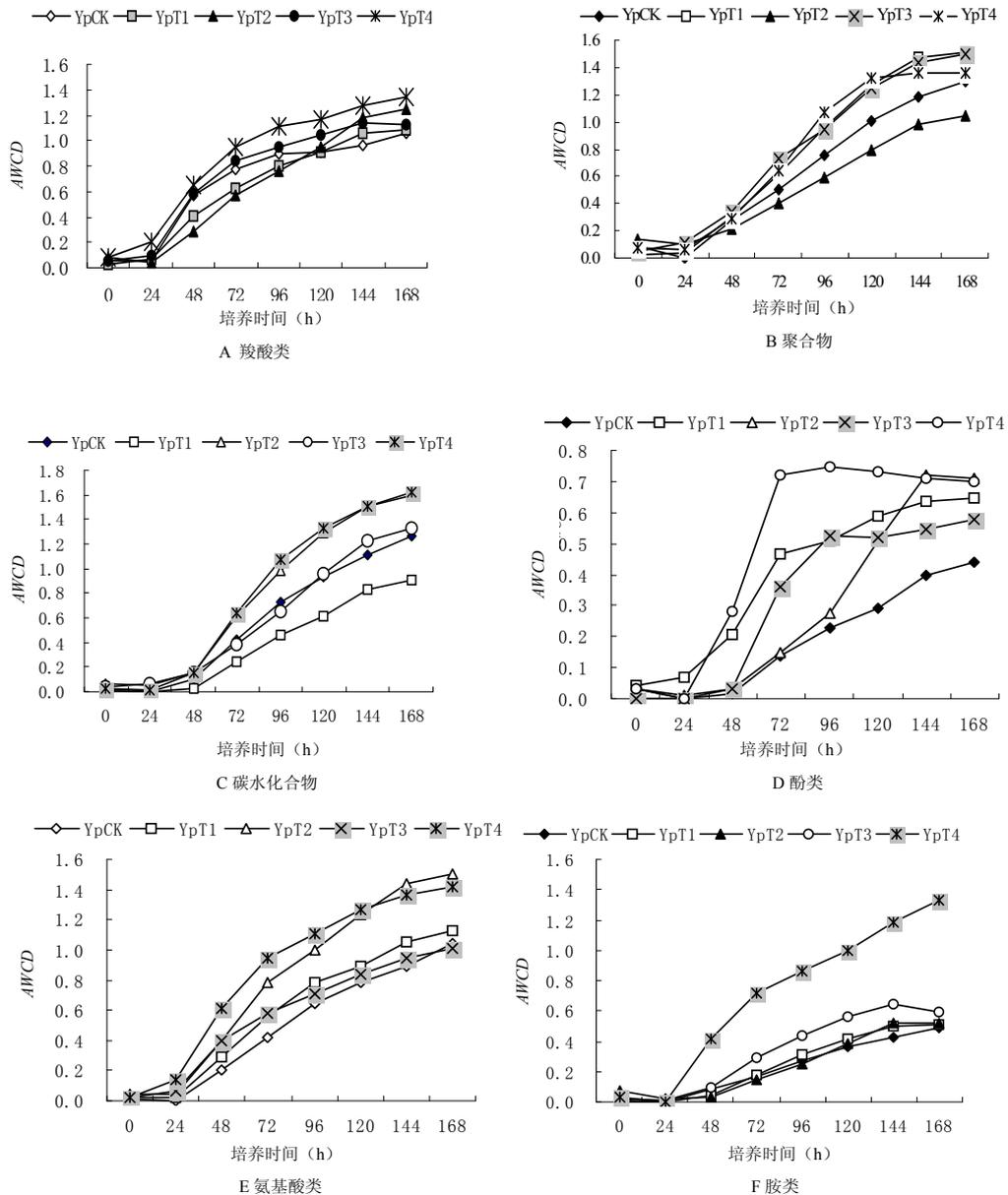


图 2 脱硫废弃物不同用量处理油葵盆栽土壤微生物对不同碳源的利用能力

Fig. 2 Microbial utilization to different carbon sources in soils of sunflower pot culture under different amounts of desulfurization byproduct

多样性指数一致的结果。培养 120 h 多样性指数 ( $H'$ ) 和均匀度指数 ( $E$ ) 都较培养 48 h 有所增加, 其多样性指数增加的幅度为 6.28% ~ 26.05%, 均匀度指数增加 6.33% ~ 21.96%。

### 3 讨论与结论

脱硫废弃物改良碱化土壤在近几年得到了人们的认可, 一方面是脱硫废弃物中主要成分是  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  比  $\text{Na}^+$  对土壤中胶体粒的吸附能力强, 会与土壤胶体溶液中的  $\text{Na}^+$  发生离子交换,  $\text{Ca}^{2+}$  能够置换土壤胶体

中的交换性  $\text{Na}^+$ , 以降低土壤交换性  $\text{Na}^+$  含量, 同时  $\text{Na}^+$  被置换下来后形成的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  可随水移动排除出土壤, 进而降低碱化土壤的 pH。另一方面, 脱硫废弃物本身是一种含盐物质, 它的施用也是对土壤盐分的增加, 这对没有灌溉条件的旱作土壤也是一种危害, 但是从本研究的结果来看, 在盆栽伴有频繁灌水的情况下, 2.5 ~ 7.5 g/kg 土的施用量可以降低土壤含盐量, 因此在有灌溉条件下改良碱化土壤是可行的。其次, 脱硫废弃物在改良碱化土壤的同时, 增加碱化龟裂土壤通透性, 改善土壤微生物生长繁殖的环境, 促进了

表 2 Biolog-Eco 板上碳源在主成分上的载荷值

Table 2 Load values of carbon substrates on principal component in Biolog Eco micro-plate

对应微孔	碳源底物	主成分 1	主成分 2	主成分 3
A1	水 (H <sub>2</sub> O)	-	-	-
A2	$\beta$ -甲基-D-葡萄糖苷	0.826 2	-	-
A3	D-半乳糖酸- $\gamma$ -内酯	0.94 3	-	-
A4	L-精氨酸	0.941 1	-	-
B1	丙酮酸甲酯	0.720 7	0.553 5	-
B2	D-木糖	0.983 9	-	-
B3	D-半乳糖醛酸	-	0.910 0	-
B4	L-天门冬酰胺酸	0.825 5	-	-
C1	吐温-40	-	-	-
C2	i-赤藓糖醇	0.919 0	-	-
C3	2-羟基苯甲酸	-	-	-
C4	L-苯基丙氨酸	0.719 0	-	-
D1	吐温-80	-	-	-
D2	D-甘露醇	-	-	-
D3	4-羟基苯甲酸	0.782 9	0.533 9	-
D4	L-丝氨酸	0.972 5	-	-
E1	$\alpha$ -环糊精	-	0.728 5	-
E2	N-乙酰基-D-葡萄糖胺	-	-	-
E3	$\gamma$ -羟基丁酸	0.532 3	0.832 0	-
E4	L-苏氨酸	0.870 5	-	-
F1	糖原	-	-	0.778 8
F2	D 葡萄糖胺酸	-	-	-
F3	衣康酸	0.782 1	-	-
F4	葡萄糖-L-谷氨酸	0.641 4	-	0.734 8
G1	D-纤维二糖	0.795 5	-	-
G2	葡萄糖-1-磷酸	0.716 6	-	-
G3	$\alpha$ -丁酮酸	-	-	-
G4	苯基乙胺	-	-	0.821 1
H1	$\alpha$ -D-乳糖	0.938 8	-	-
H2	D,L- $\alpha$ -磷酸甘油	-	-	-
H3	D-苹果酸	-	-	-
H4	腐胺	-	0.972 1	-

表 3 方差分解主成分分析

Table 3 Principal component analysis of variance decomposition

主成分	初始特征值			载荷矩阵方差	
	特征值	百分率	累计百分率	方差贡献	累计贡献
PC1	13.34	43.05	43.05	13.19	43.09
PC2	7.98	25.73	68.78	7.77	68.46
PC3	6.24	20.12	88.90	6.60	90.00

表4 土壤微生物多样性指数分析

Table 4 Analysis of Shannon-Wiener diversity index

处理	48 h		120 h		增加 (%)	
	<i>H'</i>	<i>E</i>	<i>H'</i>	<i>E</i>	<i>H'</i>	<i>E</i>
YpCK	3.706 bc	0.755c	4.437	0.896	16.48	15.74
YpT1	3.288 d	0.700d	4.446	0.897	26.05	21.96
YpT2	3.934 b	0.810b	4.507	0.914	12.71	11.38
YpT3	4.325 a	0.873a	4.615	0.932	6.28	6.33
YpT4	3.936 b	0.810b	4.485	0.911	12.24	11.09

土壤微生物的活动, 提高土壤微生物活性, 也从本研究得到了进一步证实。

本研究表明: ①脱硫废弃物施用的各个处理都能够降低盆栽油葵根际土壤 pH 值 0.06~0.29 个单位, 改善土壤的碱化环境。②在有灌溉的条件下施用脱硫废弃物改良碱化土壤能够降低土壤全盐含量, 降低的幅度为 0.72~1.35 g/kg, 以 7.5 g/kg 土脱硫废弃物处理效果最佳。脱硫废弃物施用对土壤有机质影响不明显。③脱硫废弃物施用能够明显提高土壤微生物活性及其微生物群落对碳源的利用水平; 而且碱化土壤微生物对碳水化合物、羧酸类、聚合物类、氨基酸类化合物的利用较高, 而对胺类和酚类化合物的利用都较低, 并且 2.5~7.5 g/kg 的脱硫废弃物施用能够显著增加土壤微生物功能多样性, 说明脱硫废弃物的施用并不是越多越好, 而是要有一定的限量。

#### 参考文献:

- [1] 范丙权. 不同农业措施影响下土壤微生物多样性演化规律研究. 北京: 中国农科院, 2003: 34-65
- [2] 吴金水, 林启美, 黄巧云. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京: 气象出版社, 2006: 1-16
- [3] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985: 85-76
- [4] Kennedy AC, Smith KL. Microbial diversity and sustainability of agricultural soils. *Plant soil*, 1995, 23(2):69-79.
- [5] 李娟, 赵秉强, 李秀英, 姜瑞波, SO Hwat Bing. 长期不同施肥制度下几种土壤微生物学特征变化. *植物生态学报*, 2008, 32(4): 891-899
- [6] 郑华, 欧阳志云, 王效科, 赵同谦, 苗鸿, 彭廷柏. 不同森林恢复类型对土壤微生物群落的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(11): 2019-2024
- [7] 郑华, 欧阳志云, 方治国, 赵同谦. BIOLOG 在土壤微生物群落功能多样性研究中的应用. *土壤学报*, 2004, 41(3): 456-461
- [8] 罗成科, 肖国举, 张峰举, 秦萍. 脱硫石膏改良中度苏打盐渍土施用量的研究. *生态与农村环境学报*, 2009, 25(3): 44-48
- [9] 刘茂松, 鲁小珍, 王汉杰, 邓存恒, 任荣荣, 唐荣南. 宁夏平罗西大滩人类有序活动的环境效应及发展对策. *南京林业大学学报*, 2001, 25(3): 83-88
- [10] 李世朋, 蔡祖聪, 杨浩. 贵阳市东郊不同植被类型下土壤特性对微生物功能的影响. *土壤*, 2009, 41(2): 224-229
- [11] 张瑞福, 崔中利, 李顺鹏. 土壤微生物群落结构研究方法进展. *土壤*, 2004, 36(5): 476-480
- [12] 毕江涛, 贺达汉, 黄泽勇, 杨磊, 马巧荣. 退化生态系统植被恢复过程中土壤微生物群落活性响应. *水土保持学报*, 22(4): 195-200
- [13] 钟文辉, 蔡祖聪. 土壤微生物多样性研究方法. *应用生态学报*, 2004, 15(5): 899-904
- [14] Ramsey PW, Rillig MC, Feris KP. Choice of methods for soil microbial community analysis: PLFA maximizes power compared to CLPP and PCR-based approaches. *Pedobiologia*, 2006(5): 275-280
- [15] 谭兆赞, 刘可星, 廖宗文. 土壤微生物 Biolog 分析中特征碳源的判别. *华南农业大学*, 2006, 27(4):10-16
- [16] 薛冬. 茶园土壤微生物群落多样性及硝化作用研究(博士学位论文). 杭州: 浙江大学, 2007: 26-42
- [17] 胡可, 王利宾, 窦志忠. 生物有机无机复混肥肥效评价及其对土壤微生物的影响. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2006, 26(3): 276-278
- [18] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 陈灵芝. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究. *生态学报*, 1995, 15(3): 268-277
- [19] 韩芳, 邵玉琴, 赵吉, 岳冰. 皇甫川流域不同土地利用方式下的土壤微生物多样性. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 2003, 34(3): 298-303
- [20] 邓欢欢, 葛利云, 顾国泉, 李建华, 赵建夫. 垂直流人工湿地基质微生物群落的代谢特性和功能多样性研究. *水处理技术*, 2007, 33(6): 18-21
- [21] 黄懿梅. 黄土丘陵区植被自然恢复过程中土壤微生物的演变(博士学位论文). 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2008: 39-62

## Effect of Applying Desulphurization Byproducts on Microbial Diversity in Alkaline Soil Under Potted-sunflower

LI Feng-xia<sup>1,2</sup>, YANG Juan<sup>3</sup>, XU Xing<sup>1</sup>, YANG Jian-guo<sup>2</sup>, ZHENG Guo-qi<sup>3</sup>, NAN Ning-li<sup>4</sup>

(1 College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2 Agriculture Resource and Environment Institute of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan 750002, China; 3 College of Life Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 4 Plant Protection Institute of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan 750002, China)

**Abstract:** A sunflower pot experiment was conducted in Qianjin Farm of Pingluo County in Ningxia to study the effects of desulfurization byproducts on the functional diversity of soil microbial communities in alkaline soil by Biolog Eco-plate technology. The results showed that applying desulfurization byproducts decreased soil pH by 0.06 - 0.29, decrease soil total salt content by 0.72 - 1.35 g/kg, significantly increased soil microbial activity and carbon source utilization level of microbial community; Carbohydrates, carboxylic acid, polymer and amino acid could be used as carbon sources in a higher level while amine and phenolic compounds in a lower level. However, only the proper applying amount of desulfurization byproducts could significantly increase soil microbial functional diversity, 2.5 - 7.5 g/kg of desulfurization byproducts was the reasonable amount in this study in improving soil physical and chemical properties as well as microbial activity under the irrigation conditions.

**Key words:** Desulphurization byproducts, Alkaline soil, Sunflower, Microbial diversity