

# 荒地不同压砂年限对土壤微生物区系、酶活性与土壤理化性状的影响

胡景田<sup>1</sup>, 马琨<sup>1</sup>, 王占军<sup>2</sup>, 何建龙<sup>2</sup>

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021; 2. 宁夏农林科学院荒漠化治理研究所, 宁夏银川 750002)

**摘要:** 以宁夏中卫市香山地区荒地压砂 3, 8, 15, 25 a 和邻近未压砂(对照)的土壤为研究对象, 研究了压砂对土壤微生物区系、酶活性和土壤理化性状的影响。结果表明, 与对照相比, 压砂后微生物总数减少; 土壤脲酶活性随着压砂年限的延长呈下降趋势; 前 15 a 压砂地土壤有机碳、全氮、碱解氮和速效钾随着压砂年限的延长呈下降趋势; 压砂地土壤含水量高于对照; 压砂地全盐含量远远低于对照; 说明荒地压砂种植能蓄水保墒, 防止土壤次生盐碱化, 但连续种植肥力下降, 微生物量减少。

**关键词:** 压砂地; 微生物区系; 酶活性; 土壤理化性质

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0053-06

中图分类号: S154.36

## Effects of Gravel Mulch on Soil Microbial Population, Enzyme Activity and Physicochemical Properties in Wasteland

HU Jing-tian<sup>1</sup>, MA Kun<sup>1</sup>, WANG Zhan-jun<sup>2</sup>, HE Jian-long<sup>2</sup>

(1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 2. Institute of Desertification Control, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

**Abstract:** The effects of gravel mulch on soil microbial population, enzyme activity, and physicochemical properties were evaluated on the wasteland in Xiangshan area, Zhongwei City, Ningxia Hui Autonomous Region. Four typical sites were selected as a chronological sequence (3, 8, 15, and 25 years) and an adjacent non-mulched gravel land was taken as the control. Results indicated that compared with the control, the number of microbes in the gravel mulched field was decreased. With the increased year of gravel mulched field, soil urinary enzyme activity presented a declined trend. The contents of soil organic carbon, total nitrogen, available nitrogen, and potassium declined for the sites of 3, 8, and 15 years. The soil water content in gravel mulched field was higher than the control, but the total salt content was much lower than the control. It is suggested that gravel mulch on wasteland can restore vegetation through preserving water, but soil fertility and microbial biomass are low.

**Keywords:** gravel mulched field; microbial population; enzyme activity; soil physicochemical property

宁夏中卫市环香山地区梁峁起伏, 沟壑纵横, 具有典型的黄土丘陵地貌类型, 当地农民将洪积扇(干旱、半干旱地区暂时性山地水流出山口堆积形成的扇形地貌)上冲刷下来的砂砾石拉到坡耕地、荒地、山地斜坡上, 铺盖 10—20 cm 的砂层, 形成能够种植农作物的压砂地<sup>[1]</sup>, 逐步发展成为我国种植区域最为集中、连片规模最大的无公害压砂西瓜甜瓜生产基地<sup>[2]</sup>。压砂作为特殊的耕作方式, 受到国内外学者的关注, 许多研究表明, 压砂地具有减少蒸发和径流, 提

高水分的入渗和土壤温度, 阻止水土流失和土壤的次生盐渍化的作用<sup>[3-8]</sup>, 砂田能有效地协调水、肥、气、热的矛盾, 有利于作物的高产、稳产和早熟<sup>[6, 7, 9-11]</sup>。宁夏中卫环香山地区, 对西瓜品种、栽培和高产等研究较多<sup>[12]</sup>, 而压砂对土壤的影响研究较少, 许强等人对其砂田水热及减尘效应、肥力演变特征进行了初步研究<sup>[13-14]</sup>, 未见压砂覆盖对土壤生物学性质的研究报告。本文就不同压砂年限荒地压砂地土壤微生物区系、酶活性和理化性状进行研究, 分析其压砂地土壤

收稿日期: 2010-01-12

修回日期: 2010-01-25

资助项目: 国家科技支撑计划课题“压砂地可持续发展机理研究及生态系统综合评价”(2007BAD54B05)

作者简介: 胡景田(1980—), 女(汉族), 山东省潍坊市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤微生物。E-mail: hjt8227@163.com。

通信作者: 马琨(1972—), 男(汉族), 宁夏回族自治区银川市人, 博士后, 教授, 主要从事农业生态与土壤侵蚀研究。E-mail: makuu0411@163.com。

微生物区系、酶活性和理化性状的变化规律,为压砂地的持续利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样地概况

荒地压砂样地(105°09'E, 37°03'N)位于宁夏中卫市香山乡,海拔为1760~1772 m,地处腾格里沙漠的边缘地带,原始景观为干草原—荒漠草原;气候属于干旱半干旱过渡带。降水稀少,蒸发强烈:年平均降水量为247.4 mm,而且降水分布不均衡,集中于7—9月,多为阵雨或暴雨,年均蒸发量在2100~2400 mm之间,约是降水量的7~8倍,是全国最干旱的地方之一;有效积温高,昼夜温差大:年均温6.8℃,≥10℃的有效积温2332.05℃,年平均太阳总辐射量567.09 kJ/cm<sup>2</sup>。昼夜温差在12℃~16℃,无霜期140~170 d。

### 1.2 样品采集

选取荒地阳坡不同压砂年限种植田块作为典型样地:3 a(西瓜),8 a(西瓜),15 a(油菜),25 a(西瓜),砂地厚度为10—20 cm,并以邻近未压砂无种植作为荒地对照。

采用土钻法,按梅花型方式设点10个,采取砂下层土壤,按0—20,20—40 cm分层采集土样,样品自然风干后剔除杂质、磨细、过筛、装瓶后供化学性质测定和酶活性分析;同时采集0—20,20—40 cm新鲜土样0℃~4℃保存供微生物量测定,48 h内测定。取土后把10重复的土壤分层均匀混合;采集0—20,20—40 cm环刀样品供土壤容重、田间持水量测定。采样时间为2008年7月19日,是作物生长旺盛时期,样地无人工施肥,天然降水补给水分。

### 1.3 测定项目与方法

(1) 微生物区系。细菌、真菌及放线菌采用稀释平板计数法测定,分别用牛肉膏蛋白胨琼脂、马铃薯—蔗糖琼脂(PDA)、改良高氏1号作为培养基<sup>[15]</sup>。将涂好平板的培养皿放入28℃的培养箱中培养,细菌培养2~3 d,真菌培养3~5 d,放线菌培养5~7 d。每处理4个重复。

(2) 土壤酶活性分析和理化性质:每处理3个重复,风干样测定。土壤脲酶活性采用苯酚一次氯酸钠比色法测定,过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法,碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法,比色使用UV759S紫外可见分光光度计<sup>[16]</sup>。土壤容重、田间持水量采用环刀测定法,土壤含水量采用烘干法,机械组成采用比重计测定法,有机质采用重铬酸钾容量法—外加加热法,全氮采用K-370凯氏定氮仪,碱解氮

采用碱解扩散法,全磷采用HClO<sub>4</sub>—H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>钼锑抗比色法,速效磷采用0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub>浸提—钼锑抗比色法,速效钾采用NH<sub>4</sub>OAc浸提—火焰光度法,全盐采用电导法,pH采用电位法<sup>[17]</sup>。

### 1.4 数据处理

数据用Excel,SPSS15.0和SAS8.2软件进行分析,采用Duncan's新复极差法进行多重比较,并进行相关性分析和主成分分析,结果表示为mean±sd。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤微生物区系的分布

对照是未压砂无种植地,3,8,15,25 a分别为3,8,15,25 a压砂地年限。

砂田耕作主要是耙砂,目的是疏松砂层,破除板结,消除杂草。一般说来,新砂田<sup>[18]</sup>(20 a)(根据铺压年限)一年内耙1~2次;中砂田(20~40 a)砂层含水量增加,一年内耙3~5次;休闲的砂田耙5~7次<sup>[6]</sup>。15 a样地采用机械耙砂易使砂土混合,25 a采用牲畜耙砂不易搅动砂下土壤。

由表1分析得出,0—20 cm压砂地和未压砂地细菌、真菌和放线菌数量多于20—40 cm。0—20 cm对照细菌和真菌的数量高于压砂地;除15 a,0—20 cm和20—40 cm压砂地细菌和真菌数量随着压砂年限的延长而减少,15 a机械耙砂促进了细菌和真菌的生长;菌类数量与土壤含水量、pH值密切相关。除25 a,0—20 cm压砂地放线菌的数量高于对照,20—40 cm压砂地放线菌数量随着压砂年限的延长而减少,放线菌生长条件比较复杂,原因待进一步研究。

0—20 cm和20—40 cm土壤微生物总数对照多于压砂地,压砂抑制了菌类的生长。0—20 cm压砂地微生物总数随着压砂年限的延长而减少。是因为在压砂初期,水热条件较好,土壤微生物活性较强,但随着压砂年限的延长,砂田的蓄水保墒及增温效应的逐渐降低,土壤紧实,通气性较差,土壤微生物活性减弱。土壤微生物总数以细菌最多,放线菌次之,真菌只占总数的极少一部分。0—20 cm细菌占微生物总数的61.26%~85.23%,放线菌占总数的14.44%~38.61%,真菌占总数的0.12%~0.38%;20—40 cm细菌占微生物总数的78.19%~93.24%,放线菌占总数的6.58%~21.57%,真菌占总数的0.18%~0.83%。0—20 cm和20—40 cm放线菌/细菌的比例对照最低,为16.95%和7.05%,8 a最高为63.03%和27.59%;0—20 cm和20—40 cm真菌与细菌的比例15 a最高,为0.52%和0.93%,说明压砂种植改变了菌类比例。

表1 不同压砂年限对土壤微生物区系及酶活性的影响

样地	土层/ cm	细菌/ ( $10^4$ 个 $\cdot$ $g^{-1}$ )	真菌/ $10^4$ g	放线菌/ ( $10^4$ 个 $\cdot$ $g^{-1}$ )	脲酶 [ $mg/(g \cdot 24h)$ ]	过氧化氢酶 [ $ml/(g \cdot 20min)$ ]	碱性磷酸酶 [ $mg/(g \cdot 24h)$ ]
3 a	0—20	117.72 $\pm$ 12.99b	0.47 $\pm$ 0.05b	36.27 $\pm$ 4.32b	0.96 $\pm$ 0.01a	7.78 $\pm$ 1.41ab	0.34 $\pm$ 0.00b
	20—40	97.00 $\pm$ 11.30b	0.26 $\pm$ 0.07b	23.42 $\pm$ 4.90a	0.38 $\pm$ 0.04a	2.08 $\pm$ 0.00b	0.29 $\pm$ 0.00b
8 a	0—20	87.52 $\pm$ 10.85b	0.17 $\pm$ 0.03c	55.16 $\pm$ 12.06a	0.73 $\pm$ 0.02b	8.77 $\pm$ 0.20ab	0.34 $\pm$ 0.00b
	20—40	28.27 $\pm$ 5.04d	0.08 $\pm$ 0.03c	7.80 $\pm$ 0.71b	0.25 $\pm$ 0.00b	4.96 $\pm$ 0.31c	0.33 $\pm$ 0.00a
15 a	0—20	100.82 $\pm$ 7.73b	0.53 $\pm$ 0.10b	37.62 $\pm$ 7.57b	0.37 $\pm$ 0.01d	6.37 $\pm$ 1.17b	0.28 $\pm$ 0.07c
	20—40	43.51 $\pm$ 8.21c	0.40 $\pm$ 0.09a	5.01 $\pm$ 0.64bc	0.23 $\pm$ 0.02bc	6.29 $\pm$ 1.07b	0.22 $\pm$ 0.00e
25 a	0—20	37.59 $\pm$ 8.24c	0.11 $\pm$ 0.06c	6.55 $\pm$ 0.62c	0.33 $\pm$ 0.00e	10.10 $\pm$ 2.20a	0.42 $\pm$ 0.00a
	20—40	17.33 $\pm$ 3.75e	0.07 $\pm$ 0.02c	2.02 $\pm$ 0.33c	0.21 $\pm$ 0.00c	8.39 $\pm$ 0.07a	0.24 $\pm$ 0.01d
对照	0—20	192.56 $\pm$ 46.34a	0.74 $\pm$ 0.20a	32.63 $\pm$ 1.40b	0.48 $\pm$ 0.00c	6.93 $\pm$ 0.85b	0.43 $\pm$ 0.02a
	20—40	113.32 $\pm$ 0.83a	0.22 $\pm$ 0.04b	7.99 $\pm$ 1.88b	0.39 $\pm$ 0.00a	7.87 $\pm$ 0.37a	0.26 $\pm$ 0.00c

注:表中同土层的同列数字间不同字母 a, b, c 表明 Duncan 法多重比较差异显著;  $P < 0.05$ 。下同。

## 2.2 压砂对土壤酶活性的影响

压砂地脲酶、过氧化氢酶和碱性磷酸酶活性 0—20 cm 比 20—40 cm 高。脲酶是一种分解含氮有机物的水解酶,是植物氮素营养的直接来源。压砂地 0—20 cm 和 20—40 cm 脲酶活性随着压砂年限的延长呈下降趋势;过氧化物酶能氧化土壤有机物质,在土壤腐殖质的形成过程中有重要作用。除 15 a,压砂地 0—20 cm 过氧化氢酶亦随着压砂年限的延长呈上升趋势,压砂地 20—40 cm 过氧化氢酶活性随着压砂年限的延长呈上升的趋势。

压砂种植特殊的耕作方式是尽量避免砂土混合保持地力,秒砂对 20—40 cm 扰动较少,西瓜须根系大部分留在地下,在微生物作用下腐烂分解产生过氧化氢物。磷酸酶是一种表征土壤磷素生物转化方向和强度的水解酶,使有机或无机磷酸盐转化为植物可吸收磷。

0—20 cm 对照碱性磷酸酶活性高于压砂地,与土壤含磷量密切相关。压砂前 8 a, 0—20 cm 压砂地脲酶和过氧化氢酶活性高于对照,压砂初期,水热条

件利于土壤潜在养分的转移,作物生长处于旺盛时期,提高了酶活性。

## 2.3 压砂对土壤物理性质的影响

由表 2 分析得出,0—20 cm 和 20—40 cm 压砂地土壤含水量高于对照,说明压砂具有蓄水保墒作用;压砂各年限土壤含水量差异明显,与砂土层厚度、覆沙层砂土比和降水时空分布不均有关;2008 年 60% 的降雨集中在 6 月和 8 月,7 月干旱少雨,土壤含水量远远少于田间持水量。0—20 cm 土壤容重和砂粒含量比 20—40 cm 高,0—20 cm 土壤含水量和黏粒含量比 20—40 cm 低。25 a 样地 0—20 cm 和 20—40 cm 粉粒和黏粒含量高于 15 a,但低于前 8 a,与秒砂方式造成的砂土比、砂层厚度和休闲次数有关<sup>[7]</sup>。前 15 a 样地 0—20 cm 和 20—40 cm 粉粒含量随着压砂年限的延长呈下降趋势。压砂地土壤容重和粉粒含量呈先下降后上升的趋势,田间持水量呈先上升后下降的趋势。压砂初期,作物生长旺盛,随着压砂年限延长,蓄水保墒能力下降,土壤紧实。

表2 压砂对土壤物理性质的影响

样地	土层/ cm	土壤容重/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	砂粒/ %	粉粒/ %	黏粒/ %	田间持水量/ %	自然含水量/ %
3 a	0—20	1.54 $\pm$ 0.06a	49.75 $\pm$ 0.00d	32.16 $\pm$ 0.00a	18.09 $\pm$ 0.00d	27.10 $\pm$ 1.64c	8.48 $\pm$ 0.29c
	20—40	1.28 $\pm$ 0.08bc	44.67 $\pm$ 0.00e	34.21 $\pm$ 0.00a	21.13 $\pm$ 0.00d	39.95 $\pm$ 1.94a	8.76 $\pm$ 0.17c
8 a	0—20	1.34 $\pm$ 0.04c	49.33 $\pm$ 0.00e	30.56 $\pm$ 0.00b	20.11 $\pm$ 0.00a	34.26 $\pm$ 0.54a	10.62 $\pm$ 0.46b
	20—40	1.21 $\pm$ 0.03c	44.71 $\pm$ 0.00d	32.77 $\pm$ 0.00b	22.52 $\pm$ 0.00a	40.90 $\pm$ 0.92a	12.84 $\pm$ 0.35b
15 a	0—20	1.44 $\pm$ 0.05b	55.07 $\pm$ 0.00b	25.79 $\pm$ 0.00e	19.14 $\pm$ 0.00c	29.33 $\pm$ 0.84b	5.51 $\pm$ 0.10d
	20—40	1.27 $\pm$ 0.05bc	52.56 $\pm$ 0.00a	27.15 $\pm$ 0.00e	20.29 $\pm$ 0.00e	36.24 $\pm$ 1.14b	6.51 $\pm$ 0.23e
25 a	0—20	1.48 $\pm$ 0.03ab	53.66 $\pm$ 0.00a	27.20 $\pm$ 0.00d	19.14 $\pm$ 0.00c	27.09 $\pm$ 0.55c	12.73 $\pm$ 0.22a
	20—40	1.39 $\pm$ 0.01a	48.00 $\pm$ 0.00c	29.83 $\pm$ 0.00c	22.17 $\pm$ 0.00c	28.42 $\pm$ 0.52c	13.65 $\pm$ 0.42a
对照	0—20	1.42 $\pm$ 0.05bc	51.62 $\pm$ 0.00c	29.03 $\pm$ 0.00c	19.35 $\pm$ 0.00b	27.39 $\pm$ 0.84c	4.57 $\pm$ 0.55e
	20—40	1.33 $\pm$ 0.04ab	48.98 $\pm$ 0.00b	28.84 $\pm$ 0.00d	22.18 $\pm$ 0.00b	29.07 $\pm$ 1.85c	7.62 $\pm$ 0.37d

前 8 a 样地 0—20 cm 和 20—40 cm 砂粒含量低于对照,是研究区地处腾格里沙漠的边缘地带,荒地坡度明显,降水时空分布不均,干旱季节土壤水分较低,植被生长较少,干旱多风,吹走裸露疏松的地表土,导致土壤沙化;雨季降水多以阵雨或暴雨形式降落,雨水挟带冲走大量的表层土壤,水土流失严重。

#### 2.4 压砂对土壤化学性质的影响

由表 3 分析得出,压砂地和未压砂地有机碳、全氮、碱解氮和速效钾 0—20 cm 含量高于 20—40 cm。

0—20 cm 压砂地速效钾含量随着压砂年限的延长而降低;0—20 cm 和 20—40 cm 前 15 a 压砂地有机碳、全氮和碱解氮含量随着年限的延长逐年降低,25 a 含量普遍高于 15 a;0—20 cm 前 15 a 压砂地全磷和速效磷含量随着压砂年限的延长而降低,25 a 全磷含量高于其它压砂年限。说明压砂连续种植,无人工施肥,休闲次数较少或没有的条件下,土壤肥力下降。0—20 cm 和 20—40 cm 全磷和速效磷对照含量高于压砂地,压砂种植对土壤潜在养分磷肥释放迟缓。

表 3 压砂对土壤化学性质的影响

样地	土层/ cm	有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全盐/ (g·kg <sup>-1</sup> )	pH
3 a	0—20	4.88±0.06a	0.43±0.00a	29.11±2.23a	0.57±0.00b	2.38±0.38b	84.42±0.00b	0.24±0.00b	8.52±0.05e
	20—40	4.23±0.07a	0.38±0.00a	24.21±2.35a	0.56±0.03b	1.84±0.24b	47.29±0.00b	0.32±0.02b	8.86±0.05b
8 a	0—20	4.34±0.07ab	0.38±0.00c	24.16±0.00b	0.51±0.00b	1.25±0.21b	78.41±0.00b	0.27±0.01b	8.85±0.05c
	20—40	3.45±0.10b	0.31±0.00c	16.94±1.01c	0.47±0.00b	1.41±0.03b	53.78±0.50b	0.43±0.00b	9.32±0.11a
15 a	0—20	3.58±0.09b	0.32±0.00d	19.24±0.08c	0.52±0.01b	1.24±0.03c	55.40±0.00d	0.26±0.00b	8.66±0.05d
	20—40	3.39±0.05b	0.31±0.00c	16.61±0.09c	1.00±0.04a	1.82±1.59b	41.89±0.50e	0.59±0.01b	8.97±0.05b
25 a	0—20	4.30±0.14ab	0.39±0.00b	23.08±0.50b	1.00±0.03a	1.34±0.01c	53.90±0.50e	0.36±0.00b	9.19±0.05a
	20—40	4.27±0.06a	0.37±0.00b	20.78±0.06b	0.92±0.04a	1.26±0.21b	48.37±0.00c	0.63±0.04b	9.17±0.09a
对照	0—20	4.56±1.00a	0.43±0.01a	27.78±0.90a	1.03±0.17a	2.95±0.41a	80.63±0.00b	2.86±0.21a	9.04±0.08b
	20—40	4.20±0.13a	0.36±0.00b	21.52±0.42b	1.02±0.26a	7.03±0.00a	73.61±0.00a	3.50±0.37a	9.22±0.13a

0—20 cm 压砂 3 a 有机碳、全氮、碱解氮和速效钾含量高于对照,原因是压砂种植初期,水热条件较好,砂田潜在养分释放较快,有效养分含量较对照略高,还有原因是研究区特殊的自然地理状况,风蚀、水蚀严重,疏松裸露表层土壤流失。

25 a 样地 0—20 cm 和 20—40 cm 有机碳、全氮、碱解氮高于 15 a,但低于 3 a。土壤休闲期,没有作物吸收养分,降水冲刷覆沙层,覆沙层中土壤流失到耕作层,土壤养分增加。农谚称“吃砂要养砂,务砂如绣花”。砂土混合后,保墒能力降低,造成水土流失。

0—20 cm 和 20—40 cm 压砂地全盐含量明显低于对照,压砂保水减蒸,有效地控制了土壤下层的可溶盐类随水分蒸发而上升地表积聚。20—40 cm 压砂地全盐含量随着压砂年限的延长而增加。压砂地和未压砂地全盐 0—20 cm 含量低于 20—40 cm。压砂 3 a 样地 0—20 cm 和 20—40 cm 全盐含量比对照分别降低 91.61%~90.86%。25 a 样地 0—20 cm 和 20—40 cm 全盐、pH 值高于其它压砂年限,应种植 10~20 a 后,改变种植方式,选择耐旱压碱植被改善土壤,提高土壤质量。

砂地长期免耕,不施肥料,连续种植 10~15 a 后肥力衰退,作物产量降低。经调查,荒地砂田一般采

用休闲耕作制,一种情况是雨量很少的年份,无人工灌水,土壤墒情太差,播种不能出苗而被迫休闲;另一种情况是连种几年后,安排休闲 1 a 或 2 a,以便恢复地力。

15 a 在 2008 年种植油菜,改善种植西瓜作物单一对土壤养分的影响,延缓地力衰退;25 a 砂地轮歇次数较多,在 2008 年种植前歇地 2 a。

#### 2.5 相关性分析

0—20 cm 土壤微生物区系、酶活性与土壤理化性状的相关分析表明,速效钾与细菌,速效磷、全盐与真菌,田间持水量、全磷与放线菌,有机碳、碱解氮和 pH 与脲酶,全氮、全盐与碱性磷酸酶具有较好的相关性(表 4)。同一样地 0—20 cm 土壤含水量和 pH 值比 20—40 cm 低,而 0—20 cm 菌类数量比 20—40 cm 多,相关关系表明细菌和真菌与自然含水量呈显著负相关,放线菌也与自然含水量呈负相关关系。土壤含水量的差异是 15 a 细菌和真菌数量比 8 a 多的重要原因。细菌与速效磷、全盐呈显著正相关。酶活性 0—20 cm 比 20—40 cm 高,相关关系表明脲酶与砂粒呈显著负相关,与粉粒和速效钾呈显著正相关;过氧化氢酶与自然含水量有显著正相关性;碱性磷酸酶与全磷、pH 呈显著正相关。

表4 0—20 cm 土壤微生物区系、酶活性与土壤理化性质的相关系数

项目	细菌	真菌	放线菌	脲酶	过氧化氢酶	碱性磷酸酶
土壤容重	- 0.09	0.15	- 0.57	0.19	0.01	0.05
砂粒	- 0.25	0.10	- 0.55	- 0.87*	- 0.18	- 0.12
粉粒	0.26	- 0.01	0.44	0.94*	0.13	0.09
黏粒	- 0.08	- 0.30	- 0.36	- 0.36	0.18	0.09
田间持水量	- 0.19	- 0.40	0.76	0.20	0.09	- 0.42
自然含水量	- 0.85*	- 0.96*	- 0.32	0.07	0.96*	0.21
有机碳	0.30	0.05	- 0.02	0.69	0.28	0.53
全氮	0.44	0.20	- 0.14	0.51	0.20	0.69
碱解氮	0.53	0.30	0.07	0.68	0.03	0.49
全磷	0.18	0.13	- 0.73	- 0.52	0.29	0.93*
速效磷	0.85*	0.75	- 0.02	0.31	- 0.39	0.49
速效钾	0.64	0.35	0.57	0.82*	- 0.21	0.13
全盐	0.83*	0.70	- 0.06	- 0.22	- 0.37	0.63
pH	- 0.16	- 0.29	- 0.58	- 0.65	0.55	0.81*

注: \* 表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著。

## 2.6 综合效应分析

0—20 cm 土壤微生物区系、酶活性、物理性质和化学性质主成分分析表明, 前3个主成分 Prin1, Prin2, Prin3 的贡献率分别为 37.25%, 25.22% 和 22.01%, 累积贡献率达 84.48%。说明前3个主成分能基本反映土壤微生物区系、酶活性和理化性状信息。它们的表达式为:

$$y_1 = 0.263x_1^* + 0.192x_2^* + \dots - 0.077x_{20}^*$$

$$y_2 = 0.025x_1^* + 0.062x_2^* + \dots + 0.334x_{20}^*$$

$$y_3 = -0.304x_1^* - 0.400x_2^* + \dots + 0.148x_{20}^*$$

其中  $x_j^*$  ( $j = 1, 2, \dots, 20$ ) 为原始变量的标准化。

式中 20 项指标依次为细菌、真菌、放线菌、脲酶、过氧化氢酶、碱性磷酸酶、土壤容重、砂粒、粉粒、黏粒、田间持水量、自然含水量、有机碳、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、速效钾、全盐、pH。

第一主成分表达式中各指标的系数分别为 0.263, 0.192, 0.073, 0.242, - 0.082, 0.135, 0.099, - 0.254, 0.288, - 0.145, - 0.110, - 0.119, 0.317, 0.326, 0.354, 0.065, 0.332, 0.329, 0.197, - 0.077; 第二主成分相应的系数分别为 0.025, 0.062, - 0.390, - 0.291, 0.099, 0.348, 0.140, 0.222, - 0.199, - 0.059, - 0.326, 0.003, 0.027, 0.123, 0.027, 0.423, 0.142, - 0.169, 0.234, 0.334; 第三主成分相应的系数分别为 - 0.304, - 0.400, - 0.119, 0.143, 0.451, 0.171, 0.040, - 0.216, 0.204, 0.021, 0.069, 0.450, 0.235, 0.171, 0.121, 0.049, - 0.131, 0.032, - 0.204, 0.148。

可看出, 0—20 cm 第一主成分主要综合了有机质、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾的变异信息, 第二

主成分则综合了放线菌、碱性磷酸酶、田间持水量、全磷和 pH 的变异信息, 第三主成分则综合了细菌、真菌、过氧化氢酶和自然含水量的变异信息。第一主成分的累积方差贡献率最大, 因此压砂对土壤养分有很大的影响。

## 3 结论

(1) 土壤微生物区系和土壤酶活性与土壤理化性质有一定相关性, 可以用来作为土壤肥力的指标, 评价土壤肥力水平和土壤质量, 但不能用同一种酶活性表征土壤肥力水平<sup>[19]</sup>。

随着压砂年限的增加, 土壤微生物总数减少, 前 15 a 压砂地有机碳、全氮和碱解氮含量随着年限的延长也逐年降低。土壤微生物承担着物质的转化功能, 对土壤气候因子、物理和化学养分组成的变化很敏感, 通过其种类、数量和分布来反映土壤质量, 通过系统的土壤微生物调查, 可为评估土壤质量提供量化指标<sup>[20]</sup>。

前 15 a 脲酶、全氮和碱解氮含量随着压砂年限的延长呈下降趋势。脲酶可用来表征有机氮的转化情况。0—20 cm 对照碱性磷酸酶活性、全磷和速磷含量高于压砂地, 相关性表明, 碱性磷酸酶活性与土壤含磷量和 pH 值密切相关。

(2) 土壤微生物区系数排序为: 细菌 > 放线菌 > 真菌, 真菌的数量占菌类总数小于 1%。主要是由于细菌与放线菌适宜在中性或微碱性的土壤环境中生长, 真菌适宜在酸性土壤生存<sup>[21]</sup>。0—20 cm 和 20—40 cm 土壤微生物总数对照多于压砂地, 压砂抑制了菌类的生长。

(3) 压砂的生态效应迥异: 压砂地土壤含水量高于未压砂地, 压砂蓄水保墒, 防止土壤沙化。压砂地全盐含量远远低于未压砂地, 压砂抑制了盐分的上升, 有效降低土壤盐渍化。压砂连续种植, 长期不施肥, 肥力逐年下降, 与许强等研究结果一致<sup>[14]</sup>。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 常军, 高学红. 中卫市发展压砂地种植硒砂瓜效益探讨 [ J ]. 中国水土保持, 2009( 8 ): 48-49.
- [ 2 ] 吕鸿钧, 俞凤娟, 赵玮, 等. 宁夏压砂西瓜甜瓜产业可持续发展的思考与对策 [ J ]. 中国瓜菜, 2009( 3 ): 61-63.
- [ 3 ] Lamb J, Chapman J E. Effect of surface stones on erosion, evaporation, soil temperature, and soil moisture [ J ]. Journal of the American Society of Agronomy, 1943, 35: 567-578.
- [ 4 ] Yamanaka T, Inoue M, and Kaihotsu I. Effects of gravel mulch on water vapor transfer above and below the soil surface [ J ]. Agricultural Water Management 2004, 67: 145-155.
- [ 5 ] 陈士辉, 谢忠奎, 王亚军, 等. 砂田西瓜不同粒径砂砾石覆盖的水分效应研究 [ J ]. 中国沙漠, 2005, 25( 3 ): 433-436.
- [ 6 ] 杜延珍. 砂田在干旱地区的水土保持作用 [ J ]. 中国水土保持, 1993( 4 ): 36-38.
- [ 7 ] 雒焕炳. 白银地区砂田的防旱作用及其耕作 [ J ]. 干旱地区农业研究, 1991, 17( 1 ): 37-45.
- [ 8 ] Li X Y, Zhang R L, Gong J D, et al. Soil and water accumulation by gravel and sand mulches in western loess plateau of northwest China [ J ]. 12th ISCO Conference Proceedings, 2002, 3: 192-197.
- [ 9 ] 田媛, 李晓玲, 李凤民, 等. 砂田集雨补灌对西瓜产量和土壤水分的影响 [ J ]. 中国沙漠, 2003, 23( 4 ): 459-463.
- [ 10 ] Li X Y, Gong J D and Wei X H. In situ rainwater harvesting and gravel mulch combination for corn production in the dry semi-arid region of China [ J ]. Journal of Arid Environments, 2000, 46: 371-382.
- [ 11 ] Merle L Fairborn. Effect of gravel mulch on crop yields [ J ]. Agronomy Journal, 1973, 65: 925-928.
- [ 12 ] 鲁长才. 中卫香山压砂西瓜 [ M ]. 北京: 中国经济出版社, 2007.
- [ 13 ] 许强, 强力, 吴宏亮, 等. 砂田水热及减尘效应研究 [ J ]. 宁夏大学学报: 自然科学版, 2009, 30( 2 ): 180-182.
- [ 14 ] 许强, 吴宏亮, 康建宏, 等. 旱区砂田肥力演变特征 [ J ]. 干旱地区农业研究, 2009, 27( 1 ): 37-41.
- [ 15 ] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤微生物研究法 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1985: 40-59, 263-269.
- [ 16 ] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [ M ]. 北京: 中国农业出版社, 1986: 274-325.
- [ 17 ] 鲍士旦. 土壤农化分析 [ M ]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 25-114.
- [ 18 ] 高炳生. 甘肃的砂田 [ J ]. 中国水土保持, 1984( 1 ): 10-12.
- [ 19 ] 王鑫, 刘建新, 张希彪, 等. 黄土高原半干旱地区土地利用变化对土壤养分、酶活性的影响研究 [ J ]. 水土保持通报, 2007, 27( 6 ): 50-55.
- [ 20 ] Zhang P. Effect of slash-and-burn cultivation on soil microbial and soil fertility [ J ]. Chinese J. of Ecology, 1996, 15( 3 ): 64-67.
- [ 21 ] 张文婷, 来航线, 王延平, 等. 黄土高原不同植被坡地土壤微生物区系特征 [ J ]. 生态学报, 2008, 28( 9 ): 4228-4234.