

ISSN 0564-3929

# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办  
科学出版社 出版

2015

第52卷 第6期

Vol.52 No.6



# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 6 期 2015 年 11 月

## 目 次

### 综述与评论

- 耕地地力评价指标体系构建中的问题与分析逻辑…………… 赵彦锋 程道全 陈杰等 (1197)
- 蚯蚓对土壤温室气体排放的影响及机制研究进展…………… 卢明珠 吕宪国 管强等 (1209)

### 研究论文

- 高寒山区地形序列土壤有机碳和无机碳垂直分布特征及其影响因素… 杨帆 黄来明 李德成等 (1226)
- 中国中、东部典型县域土壤与地表水体多样性的粒度效应及关联性…………… 任圆圆 张学雷 (1237)
- 渭北台塬区耕地土壤速效养分时空变异特征…………… 于洋 赵业婷 常庆瑞 (1251)
- 黄河三角洲土壤含水量状况的高光谱估测与遥感反演…………… 李萍 赵庚星 高明秀等 (1262)
- 干湿交替对黄土崩解速度的影响…………… 王健 马璠 张鹏辉等 (1273)
- 晋陕蒙接壤区露天矿层状土壤水分入渗特征与模拟…………… 吴奇凡 樊军 杨晓莉等 (1280)
- 旱作褐土中氧化铁的厌氧还原与光合型亚铁氧化特征…………… 孙丽蓉 王旭刚 徐晓峰等 (1291)
- 流动电位法研究高岭石胶体对包铝石英砂zeta电位的影响…………… 李忠意 徐仁扣 (1301)
- 近10年中国大陆主要粮食作物氮肥利用率分析…………… 于飞 施卫明 (1311)
- 太行山山麓平原30年间土壤养分与供肥能力变化…………… 刘建玲 贾可 廖文华等 (1325)
- 亚热带丘陵小流域土壤碳氮磷生态计量特征的空间分异性…………… 杨文 周脚根 王美慧等 (1336)
- 塔里木盆地北缘绿洲土壤化学计量特征…………… 李红林 贡璐 朱美玲等 (1345)
- 东北平原土壤硒分布特征及影响因素…………… 戴慧敏 宫传东 董北等 (1356)
- 浙江南部亚热带森林土壤植硅体碳的研究…………… 林维雷 应雨骐 姜培坤等 (1365)
- 土壤非多次叠加污染对蚯蚓的毒性效应…………… 马静静 钱新春 张伟等 (1374)
- 有机肥对黄瓜枯萎病的防治效果及防病机理研究…………… 赵丽娅 李文庆 唐龙翔等 (1383)
- 滴灌枸杞对龟裂碱土几种酶活性的改良效应…………… 张体彬 康跃虎 万书勤等 (1392)
- 石羊河流域中下游浅层地温变化及其对气温变化的响应…………… 杨晓玲 丁文魁 马中华等 (1401)
- 高放废物处置库预选场址包气带土壤渗透性研究…………… 李杰彪 苏锐 周志超等 (1412)

### 研究简报

- 基于TM数据的黑土有机质含量空间格局反演研究…………… 宋金红 吴景贵 赵欣宇等 (1422)
- 陕西省玉米土壤肥力与施肥效应评估…………… 单燕 李水利 李茹等 (1430)
- 宇宙射线土壤水分观测方法在黄土高原草地植被的应用…………… 赵纯 袁国富 刘晓等 (1438)

### 信息

- 《土壤学报》入选“2015期刊数字影响力100强”…………… (1437)

封面图片：滴灌枸杞改良龟裂碱土重度盐碱荒地（由张体彬提供）

DOI: 10.11766/trxb201410230532

# 滴灌枸杞对龟裂碱土几种酶活性的改良效应\*

张体彬<sup>1, 2</sup> 康跃虎<sup>3</sup> 万书勤<sup>3</sup> 冯浩<sup>2</sup>

(1 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

(2 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

(3 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101)

**摘要** 在盐碱地改良利用过程中, 有必要研究土壤酶活性变化, 以评价土壤环境质量的改善。龟裂碱土重度盐碱荒地主要分布在我国西北旱区, 该土壤碱化度高, 结构差, 导水率极低。2009 年, 采用滴头下设置沙穴的方式滴灌种植枸杞, 开垦利用该盐碱荒地。2011 年枸杞生长季末, 在不同种植年限地块土壤剖面上网格状密集取土, 进行土壤脲酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶活性的测定。结果表明, 未种植土壤 3 种酶活性极低; 滴灌种植之后, 随着根区土壤水盐特性和养分状况的改善, 土壤酶活性显著增加。就整个土壤剖面而言, 土壤酶活性自根区向四周逐渐降低, 表现出较大的空间变异性。相关性和通径分析结果显示, 土壤 pH 始终是影响该土壤酶活性的主要因子, 且在 pH 7.38 ~ 10.00 的范围内, 3 种酶活性随土壤 pH 的增大呈指数式减小 ( $p < 0.01$ )。总之, 滴灌种植枸杞之后, 龟裂碱土重度盐碱荒地土壤生物学性质得到显著改善。

**关键词** 滴灌; 枸杞; 龟裂碱土; 酶活性

**中图分类号** S156.4 **文献标识码** A

龟裂碱土 (Takyrlic solonetz) [1] 重度盐碱荒地主要分布在我国西北旱区宁夏平原境内, 该土壤碱化度高, 土壤 ESP (交换性钠百分率) 在 15 ~ 60 之间、局部地区甚至高达 90, pH 在 9 ~ 10 之间, 土壤结构差, 饱和导水率极低 ( $k_s < 0.1 \text{ mm d}^{-1}$ ) [2]。该土壤地面一般没有植被覆盖, 仅在雨季有零星的蓝绿藻类呈斑点状分布。最近几十年, 当地尝试用多种方法对该盐碱地进行开垦。这些方法主要包括深耕、施用有机肥、勤灌勤排法种植水稻、客土及施用石膏改良剂等 [3-4]。然而, 由于该土壤极差的导水性能, 这些方法效果甚微, 或因较长的改良周期、较高的成本而难以推广应用 [5]。

由于滴灌能够精确控制土壤水分、养分供应, 近年来被广泛应用于盐渍土改良利用 [6-9]。2009 年开始, 本研究团队采用在滴头下设置沙穴的方式在龟裂碱土重度盐碱荒地上滴灌种植枸杞 (*Lycium*

*barbarum* L.)。一方面, 沙穴能够扩大水-土接触面、即增加灌溉水的入渗面积, 另一方面, 穴内还能存储未入渗的水分、延长入渗时间。此方法改善了龟裂碱土土壤水分的入渗状况, 取得了显著的改良土壤效果, 关于其水盐特性及运移规律已得到论述 [10-11]。

土壤酶是土壤生物化学特性的重要组成部分, 在有机质降解、养分循环等方面起着重要的作用, 是评价土壤管理措施和土壤肥力水平的微生物学指标 [12-13]。盐渍化对土壤微生物及相关酶活性的不利影响, 亦是盐碱地生产力低下的主要原因 [14]。滴灌种植等改良措施在改善土壤水盐环境的同时, 必然会造成土壤生物学性质的变化。因此, 有必要对盐碱地改良利用过程中土壤酶活性的变化进行研究, 以反映土壤环境质量的演变。

为此, 本研究选取土壤脲酶、碱性磷酸酶和

\* 中国科学院西部行动计划项目 (KZCX2-XB3-16)、宁夏农业综合开发土地治理科技推广项目 (NTKJ-2014-01)、国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2013AA102904) 资助

作者简介: 张体彬 (1983—), 男, 山东菏泽人, 博士, 助理研究员, 主要从事农业节水灌溉及盐碱地改良方面的研究。

E-mail: zhangtibin@163.com

收稿日期: 2014-10-23; 收到修改稿日期: 2015-03-05

蔗糖酶为研究对象，分别代表土壤氮、磷和碳循环中的关键酶，主要研究滴灌种植枸杞改良利用龟裂碱土重度盐碱荒地的过程中：（1）不同种植年限土壤酶活性水平，及其在土壤剖面中的空间分布；（2）土壤主要理化性质与酶活性的关系，及其影响土壤酶活性的相对重要性。研究结果将为龟裂碱土重度盐碱荒地的改良利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验基地位于龟裂碱土的典型分布区——

宁夏平罗县的西大滩（ $38^{\circ}47' \sim 38^{\circ}57'N$ ， $106^{\circ}20' \sim 106^{\circ}30'E$ ，海拔 1 095 m），该区域属于黄河中上游半干旱-半荒漠盐渍区<sup>[3]</sup>。西大滩地处贺兰山东麓冲积平原和宁夏平原的过渡地带，是典型的干旱大陆性季风气候。年平均气温 $9.4^{\circ}C$ ，多年平均降雨量 178 mm，年蒸发量大于 2 000 mm。

龟裂碱土，俗称白僵土。研究区内龟裂碱土土质均匀，地面光秃，无植被覆盖，为持续撂荒的重度盐碱荒地。0~40 cm 土壤  $EC_e$ （饱和提取液电导率）、pH（饱和泥浆 pH）和 SAR（饱和提取液钠吸附比）分别为  $10.3 \text{ dS m}^{-1}$ 、9.4 和 38.9 ( $\text{mmol L}^{-1}$ )<sup>0.5</sup>。其他理化性质详见表 1。

表 1 未种植土壤主要理化性质和酶活性

Table 1 Main physicochemical properties and enzymes activities in uncultivated soil

土层深度 Soil depth (cm)	$EC_e$ <sup>①</sup> ( $\text{dS m}^{-1}$ )	pH <sup>②</sup>	SAR <sup>③</sup> ( $\text{mmol L}^{-1}$ ) <sup>0.5</sup>	BD <sup>④</sup> ( $\text{g cm}^{-3}$ )	TN <sup>⑤</sup> ( $\text{g kg}^{-1}$ )	TP <sup>⑥</sup> ( $\text{g kg}^{-1}$ )	OM <sup>⑦</sup> ( $\text{g kg}^{-1}$ )	EA <sup>⑧</sup> ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )		
								UA <sup>⑨</sup>	APA <sup>⑩</sup>	SA <sup>⑪</sup>
0~10	18.54	8.90	39.76	1.44	0.23	0.74	6.28	1.49	5.17	2.90
10~20	11.66	9.58	54.01	1.53	0.39	0.74	6.79	1.67	5.24	5.95
20~30	6.69	9.52	38.59	1.59	0.24	0.73	6.57	1.78	6.79	1.86
30~40	4.16	9.51	23.15	1.64	0.36	0.57	6.40	1.71	3.39	2.81
40~60	2.45	9.50	15.43	1.60	0.37	0.64	4.00	2.26	2.95	6.55
60~80	1.89	9.43	7.72	1.63	0.31	0.65	4.33	1.68	4.80	8.42
80~100	1.67	9.24	7.72	1.55	0.28	0.58	2.03	1.57	2.66	2.60

注：① $EC_e$ ，饱和提取液电导率；②pH，饱和泥浆 pH；③SAR，饱和提取液钠吸附比；④BD，容重；⑤TN，全氮；⑥TP，全磷；⑦OM，有机质；⑧EA，酶活性；⑨UA，脲酶活性；⑩APA，碱性磷酸酶活性；⑪SA，蔗糖酶活性 Note: ① $EC_e$ , Electrical conductivity of saturated slurry extract; ②pH, pH value of saturated slurry; ③SAR, Sodium adsorption ratio of the saturated slurry extract; ④BD, Bulk density; ⑤TN, Total nitrogen; ⑥TP, Total phosphorus; ⑦OM, Organic matter; ⑧EA, Enzyme activity; ⑨UA, Urease activity; ⑩APA, Alkaline phosphatase activity; ⑪SA, Sucrase activity

### 1.2 种植措施

2009年4月开始对该盐碱地进行改良利用。首先对原状土进行深翻，深度为0.5 m，然后起垄，规格为垄高0.5 m，垄肩宽1 m，垄间距3 m（图1a）。之后，在垄上种植枸杞位置的滴头下方设置一个沙穴，穴深20 cm，地面直径20 cm，其中填优质沙土（图1）。于2009年4月25日，移栽枸杞幼苗（品种为宁杞1号），株距为1 m。每条垄上布置1条滴灌带，滴头间距0.2 m。垄上覆膜。滴头工作压力为0.03 MPa，流量为0.76 L h<sup>-1</sup>。灌溉水取自周边的蓄水湖内（引自黄河水）。通过埋设在滴头正下方0.2 m深度处的真空表式负压计监测土

壤水基质势，一旦降至-15 kPa时，立即灌水5 mm（按照整个农田面积计算）。尿素、磷酸和硝酸钾于每次灌水前添加于施肥罐中，加少量水溶解后随水施入。其他农艺措施，如剪枝、除草、杀虫等同周边高产农田。在试验地的四周，设置排水沟（宽0.5 m，深0.5 m），以防止因强降雨可能会导致的临时性渍涝和表层土壤的饱和。

在接下来的2 a，每年均采用同样方法在临近荒地上开垦一个地块，因此至2011年枸杞生长季末，研究区内共有3个不同种植年限的地块，分别为：种植1 a（2011年开垦）、种植2 a（2010年开垦）和种植3 a（2009年开垦）。各地块累计灌水

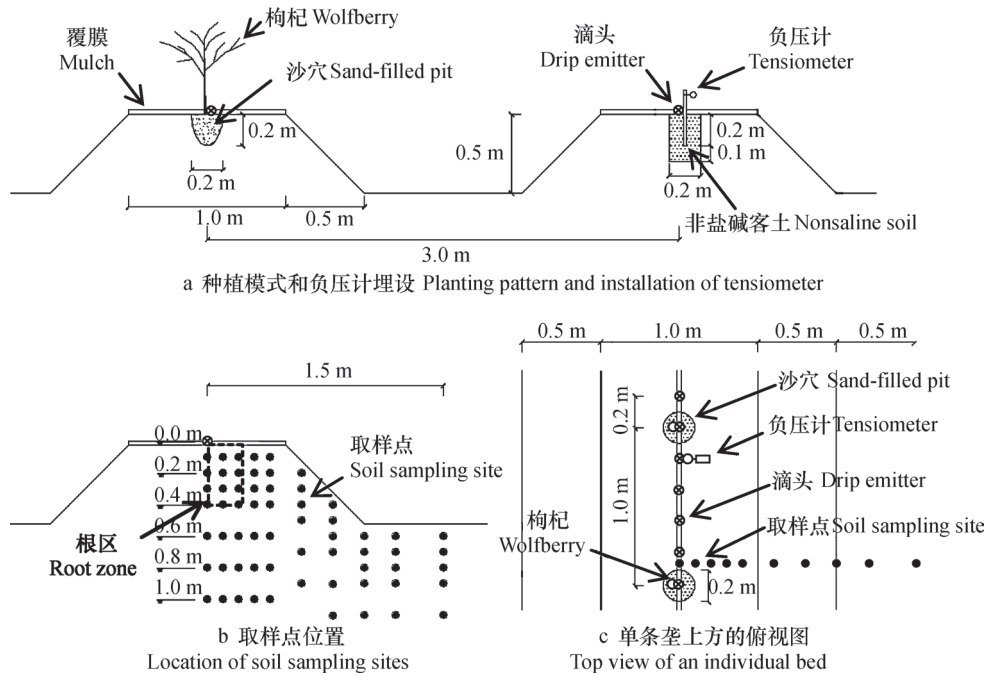


图1 种植模式和取样点位置

Fig. 1 Planting pattern and location of soil sampling sites

表2 不同种植年限地块枸杞生长季内降雨量、灌水量及施肥量

Table 2 Rainfall, irrigation and fertilization rate in plots different in cultivation history during the wolfberry growth period

年份 Year	降雨量 Rainfall (mm)	灌水量 Irrigation rate (mm)			施肥量 Fertilization rate (kg hm <sup>-2</sup> )								
					N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O		
		1 a	2 a	3 a	1 a	2 a	3 a	1 a	2 a	3 a	1 a	2 a	3 a
2009	153.5			130			160			100			75
2010	150.3		125	150		240	300		120	150		80	100
2011	120.8	155	205	280	260	350	500	130	168	240	30	35	50

施肥量见表2。

### 1.3 土样来源和分析

2011年枸杞生长季末(10月16日),选择9个垂直于滴灌带的土壤剖面(不同种植年限地块各3个)进行取土,剖面位置为种植沙穴外(图1c)。用土钻(直径4 cm,长20 cm)在每个剖面内采取土样62个。取土位置分别为距滴灌带水平距离0、10、20、30、40、60、80、100、120和150 cm处,深度为0~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~80和80~100 cm(图1b)。同时,选取毗邻研究地块未种植的0~100 cm原状土剖面3个,作为未种植的对照处理。

土样仔细剔除杂质之后,部分土样立即用

105 °C烘干法测定土壤含水量,其余风干,过1 mm筛,装入自封袋。土壤盐分性质采用调制饱和泥浆的方法进行。饱和泥浆pH用pH计( PHS-3C,上海精科)测定。然后饱和泥浆经离心(4 000 r min<sup>-1</sup>, 30 min)获得提取液。EC<sub>e</sub>用电导率仪( DDS-11A,上海精科)测定, Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>含量用EDTA滴定法测定, Na<sup>+</sup>用火焰光度计法测定。SAR用以下公式计算:

$$SAR = \frac{[Na^+]}{([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])^{0.5}} \quad (1)$$

其中,离子含量单位均为mmol L<sup>-1</sup>, SAR的单位为(mmol L<sup>-1</sup>)<sup>0.5</sup>。

土壤脲酶活性、碱性磷酸酶活性和蔗糖酶活性分别采用靛酚蓝法、苯二钠法和3, 5-二硝基水杨酸法, 由分光光度计测定, 酶活性的单位表示为 $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  [15]。

剩余土样再研磨后通过0.15 mm筛, 全氮含量由凯氏定氮法测定, 全磷由等离子体光谱仪(ICP-OES, 美国PerkinElmer)测定, 有机碳由重铬酸钾氧化法测定, 其含量值乘以1.724得到土壤有机质含量。碳氮比由全氮除以有机碳含量计算得出 [16]。

#### 1.4 数据处理

将距滴灌带水平距离0~20 cm、深度0~40 cm的范围定义为根区(图1), 文中的根区平均值均是指加权平均值。利用相关性分析和通径分析, 评价各理化性质对酶活性影响程度的大小和显著性 [17], 并建立主要因子与酶活性的一元线性关系。数据分析采用SPSS 11.5 软件进行, 绘图由Surfer 8.0和SigmaPlot 10.0完成。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同种植年限土壤酶活性大小及分布

在未种植土壤中, 0~40 cm土壤脲酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶活性分别为1.66、5.15和3.38 $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 。此水平明显低于同区域其他农田土壤 [18], 说明龟裂碱土生物学特性受到显著抑制, 这是因为: 首先, 在重度盐碱化环境中, 土壤微生物群落数量较少, 分泌的酶活性物质较少 [12]; 第二, 脲酶和磷酸酶均是胞外酶, 常与土壤有机和矿物胶体结合 [19], 但干旱区盐渍土有机质含量普遍较低 [3, 14], 该土壤有机质含量仅为2.04~6.79 $\text{g kg}^{-1}$ (表1); 第三, 龟裂碱土的显著特征就是含有过量的 $\text{Na}^+$ , 相对于其他阳离子,  $\text{Na}^+$ 易引起土壤颗粒分散, 从而使得胞外酶失去保护, 从而因蛋白水解而变性 [20]; 此外, 盐渍土中的盐析效应、渗透势的变化以及特殊离子的毒害 [21]也可能是龟裂碱土土壤酶活性受到抑制的原因。

滴灌种植之后, 土壤酶活性的增加主要在根区范围内, 如图2所示。统计分析结果显示, 随着滴灌种植年限的延长, 根区土壤3种酶活性均显著增大, 有些可达未种植土壤的数倍以上(表3)。根区土壤酶活性的增加应该归功于该区域土壤水盐环境和养分状况的改善, 包括盐分的淋洗、pH值

的降低、养分含量的增加等(表3)。而这些土壤理化性质的改善, 是源于利用过程中灌溉和施肥等改良措施综合作用的结果。前人研究曾发现, 随着植物根系的生长, 分泌物的增多, 向根际土壤提供了含氮的酶促底物, 诱导了相关酶的合成, 使得根系周围土壤磷酸酶活性是远处土壤酶活性的8倍 [22]。此外, 我们的研究同时发现, 滴灌种植之后, 根区土壤中细菌、真菌、放线菌等微生物群落数量大幅增多(数据未发表)。土壤微生物较大的生物量、较高的代谢活性以及短暂的生命周期, 有利于分泌较多的酶活性物质 [23]。

就整个土壤剖面而言, 滴灌种植之后, 土壤酶活性自根区向外围逐渐减小, 表现出较大的空间变异性(图2)。例如在种植3年的土壤剖面中, 脲酶活性从滴头下方的 $> 7 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , 逐渐降低至下层土壤和垄沟土壤中的 $2 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 左右(图2a), 其他酶的活性变化也表现出相同的趋势(图2b和图2c)。这主要是由于滴灌灌溉方式带来的土壤微域环境的变化, 即相对于水源处(滴灌带)空间位置的距离稍有改变, 就可能引起土壤盐分积累和养分含量的巨大差异 [6, 10]。

但即使是在盐碱化程度很高的土壤中(如未种植土壤和种植后未覆盖区域的表层土壤), 还是检测到了一定的酶活性, 这与Rietz和Haynes的研究结果相似 [24]。Zahran在1997年就曾提出, 相对于非盐渍土中的细菌, 盐渍土细菌的相应酶活性水平需要更多的盐分需求 [25], 说明土壤中原本就存在一类相对更适应于高盐碱环境的微生物。

### 2.2 土壤酶活性与主要理化性质的关系

将来自不同地块的所有土样看成一个样品, 将所有数据汇总之后做相关性分析和通径分析, 结果列于表4。相关性分析表明土壤pH与3种酶活性之间存在显著负相关( $p < 0.05$ ), 且相关性系数的绝对值最大。通径分析结果显示, 对于脲酶活性, 土壤pH拥有最大的、负向的直接通径系数, 而全氮和全磷有较大的、正向的直接通径系数, 土壤含水量和全磷通过土壤pH有正向的间接作用。土壤有机质与脲酶活性之间存在显著的正相关, 但其对脲酶活性的直接通径系数却较小, 主要通过土壤pH、全氮和全磷对脲酶活性起着间接作用。土壤pH和SAR对碱性磷酸酶活性有负向的直接作用, 而全氮则是正向的直接作用。同样, 土壤pH对蔗糖酶活性有最大的、负向的直接通径系数, 而其他

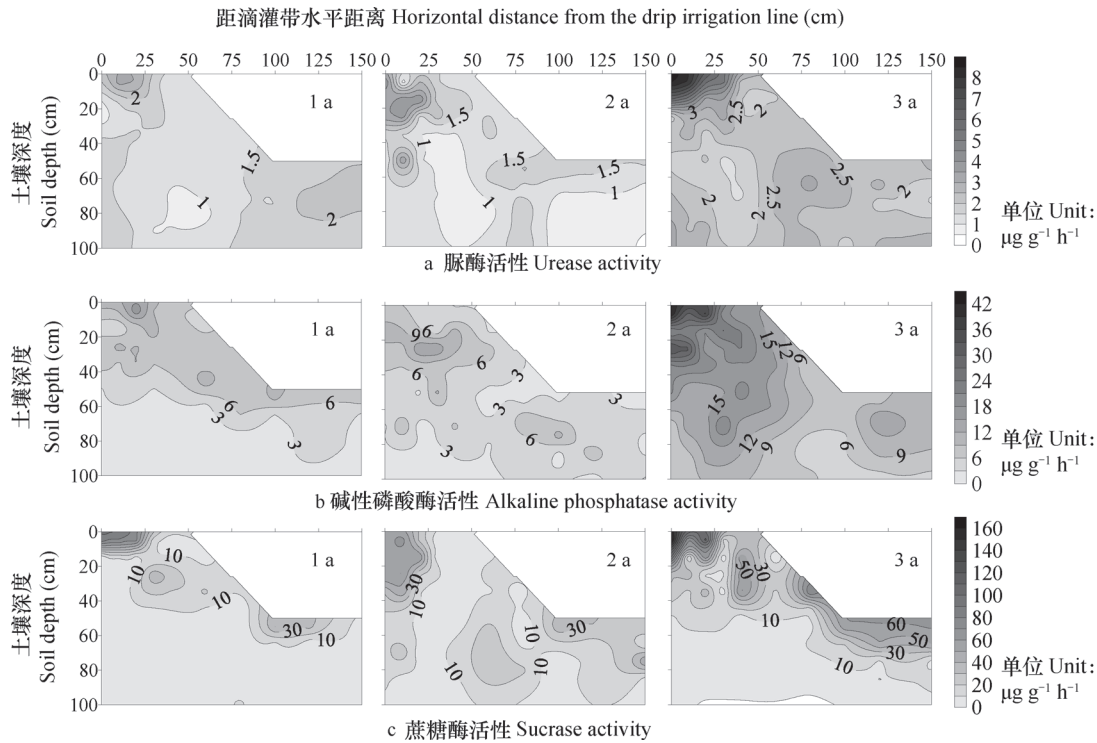


图2 不同种植年限土壤剖面中酶活性分布

Fig. 2 Spatial distribution of enzyme activities in soil profile relative to cultivation history

表3 不同种植年限根区土壤理化性质

Table 3 Soil physico-chemical properties in root zone relative to cultivation history

种植年限 Planting years	EA <sup>①</sup> (μg g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )			SWC <sup>⑤</sup> (%)	EC <sub>e</sub> <sup>⑥</sup> (dS m <sup>-1</sup> )	pH <sup>⑦</sup>	SAR <sup>⑧</sup>	TN <sup>⑨</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	TP <sup>⑩</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	OM <sup>⑪</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	C/N <sup>⑫</sup>
	UA <sup>②</sup>	APA <sup>③</sup>	SA <sup>④</sup>								
0 <sup>1)</sup>	1.66d	5.15c	3.38c	9.82	10.26	9.38	27.50	0.31	0.70	6.09	10.08
1 <sup>2)</sup>	1.76cd	7.92b	24.26b	27.75	7.31	9.04	10.96	0.38	0.77	6.51	10.93
2 <sup>2)</sup>	2.51bc	7.96b	45.02ab	26.01	7.18	8.38	10.16	0.47	0.86	6.32	6.74
3 <sup>2)</sup>	4.32a	25.76a	57.01a	21.79	5.15	8.08	7.19	0.51	1.03	7.58	9.16

注：1) 此行数据为未种植地块0~40 cm土壤加权平均值；2) 此行为根区土壤加权平均值；同一列数值后的不同字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )；①EA, 酶活性；②UA, 脲酶活性；③APA, 碱性磷酸酶活性；④SA, 蔗糖酶活性；⑤SWC, 土壤含水量；⑥EC<sub>e</sub>, 饱和提取液电导率；⑦pH, 饱和泥浆pH；⑧SAR, 饱和提取液钠吸附比；⑨TN, 全氮；⑩TP, 全磷；⑪OM, 有机质；⑫C/N, 碳氮比 Note: 1) means that data in this row were weighted means of the 0~40 cm soil layer in uncultivated soil; 2) means that data in this row were weighted means of the root zone; The different letters affixed to values in the same column mean significant difference at  $p < 0.05$ ; ①EA, Enzymes activity; ②UA, Urease activity; ③APA, Alkaline phosphatase activity; ④SA, Sucrase activities; ⑤SWC, Soil water content; ⑥EC<sub>e</sub>, Electrical conductivity of saturated slurry extract; ⑦pH, pH value of saturated slurry; ⑧SAR, Sodium adsorption ratio of the saturated slurry extract; ⑨TN, Total nitrogen; ⑩TP, Total phosphorus; ⑪OM, Organic matter; ⑫C/N, Ratio of C/N

因子的直径通径系数较小，全磷和有机质则主要通过土壤pH对蔗糖酶活性起间接作用（表4）。

以上分析表明，对于3种土壤酶活性，pH有较其他性质更显著的作用，是影响龟裂碱土土壤酶活

性的主要因子，其与3种酶活性的线性关系见图3。在土壤pH7.38~10.00的范围内，龟裂碱土3种酶活性均呈指数式降低 ( $p < 0.01$ )，说明当土壤pH较低时 ( $< 8.5$ )，pH的小幅升高，就会引起土壤酶

表4 土壤理化性质（因子）对酶活性的相关系数与通径系数

**Table 4** Correlation coefficients and path coefficients of soil properties ( factors ) to soil enzymes activities

酶活性 Enzymes activity	因子 Factors	相关系数 Correlation coefficients	通径系数Path efficient <sup>1)</sup>							
			SWC <sup>①</sup>	EC <sub>e</sub> <sup>②</sup>	pH <sup>③</sup>	SAR <sup>④</sup>	TN <sup>⑤</sup>	TP <sup>⑥</sup>	OM <sup>⑦</sup>	C/N <sup>⑧</sup>
脲酶活性 Urease activity	SWC <sup>①</sup>	0.040	<u>-0.192</u>	0.005	0.131	-0.009	0.057	0.085	-0.021	-0.017
	EC <sub>e</sub> <sup>②</sup>	-0.021	0.017	<u>-0.060</u>	-0.081	0.050	0.114	-0.024	-0.015	-0.022
	pH <sup>③</sup>	-0.555**	0.060	-0.012	<u>-0.416</u>	0.015	-0.046	-0.205	0.019	0.030
	SAR <sup>④</sup>	-0.063	0.029	-0.049	-0.104	<u>0.062</u>	0.066	-0.041	-0.009	-0.017
	TN <sup>⑤</sup>	0.255**	-0.028	-0.018	0.049	0.010	<u>0.390</u>	0.008	-0.021	-0.137
	TP <sup>⑥</sup>	0.514**	-0.052	0.005	0.276	-0.008	0.011	<u>0.310</u>	-0.018	-0.008
	OM <sup>⑦</sup>	0.261**	-0.073	-0.016	0.143	0.010	0.146	0.103	<u>-0.055</u>	0.004
	C/N <sup>⑧</sup>	0.029	0.012	0.005	-0.046	-0.004	-0.198	-0.009	-0.001	<u>0.269</u>
碱性磷酸酶活性 Alkaline phosphatase activity	SWC <sup>①</sup>	0.186**	<u>-0.042</u>	-0.014	0.088	0.034	0.058	0.036	0.027	-0.010
	EC <sub>e</sub> <sup>②</sup>	0.036	0.004	<u>0.161</u>	-0.054	-0.185	0.116	-0.010	0.019	-0.012
	pH <sup>③</sup>	-0.466**	0.013	0.031	<u>-0.281</u>	-0.056	-0.047	-0.086	-0.025	0.017
	SAR <sup>④</sup>	-0.113	0.006	0.131	-0.070	<u>-0.227</u>	0.067	-0.017	0.011	-0.009
	TN <sup>⑤</sup>	0.391**	-0.006	0.047	0.033	-0.038	<u>0.396</u>	0.004	0.027	-0.077
	TP <sup>⑥</sup>	0.393**	-0.012	-0.013	0.186	0.030	0.011	<u>0.130</u>	0.024	-0.005
	OM <sup>⑦</sup>	0.370**	-0.016	0.043	0.096	-0.035	0.149	0.043	<u>0.072</u>	0.002
	C/N <sup>⑧</sup>	-0.080	0.003	-0.013	-0.031	0.014	-0.201	-0.004	0.001	<u>0.151</u>
蔗糖酶活性 Sucrase activity	SWC <sup>①</sup>	0.222**	<u>0.037</u>	0.005	0.158	-0.049	0.051	0.073	-0.043	-0.011
	EC <sub>e</sub> <sup>②</sup>	0.143*	-0.003	<u>-0.059</u>	-0.097	0.264	0.102	-0.021	-0.030	-0.014
	pH <sup>③</sup>	-0.603**	-0.012	-0.011	<u>-0.500</u>	0.081	-0.042	-0.176	0.038	0.019
	SAR <sup>④</sup>	0.143*	-0.006	-0.048	-0.124	<u>0.325</u>	0.059	-0.035	-0.017	-0.011
	TN <sup>⑤</sup>	0.329**	0.005	-0.017	0.059	0.055	<u>0.349</u>	0.007	-0.042	-0.088
	TP <sup>⑥</sup>	0.537**	0.010	0.005	0.332	-0.043	0.009	<u>0.266</u>	-0.037	-0.005
	OM <sup>⑦</sup>	0.330**	0.014	-0.016	0.171	0.050	0.131	0.088	<u>-0.112</u>	0.003
	C/N <sup>⑧</sup>	-0.087	-0.002	0.005	-0.055	-0.020	-0.177	-0.008	-0.002	<u>0.173</u>

注：1) 有下划线的数据为直接通径系数，其余为间接通径系数；\*， $p < 0.05$ 水平下显著；\*\*， $p < 0.01$ 水平下显著；①SWC，土壤含水量；②EC<sub>e</sub>，饱和提取液电导率；③pH，饱和泥浆pH；④SAR，饱和提取液钠吸附比；⑤TN，全氮；⑥TP，全磷；⑦OM，有机质；⑧C/N，碳氮比 Note: 1) The data with underline are direct path coefficients, and the rests are indirect path coefficients; \* means significant difference at  $p < 0.05$ ; \*\* means significant difference at  $p < 0.01$ ; ①SWC, Soil water content; ②EC<sub>e</sub>, Electrical conductivity of saturated slurry extract; ③pH, pH value of saturated slurry; ④SAR, Sodium adsorption ratio of the saturated slurry extract; ⑤TN, Total nitrogen; ⑥TP, Total phosphorus; ⑦OM, Organic matter; ⑧C/N, Ratio of C/N

活性的极大降低。

以上论述与前人研究结果一致。Dick等2000年曾指出，由于土壤酶活性对pH的高度敏感性，相对于化学方法，酶学方法可以更好地检测土壤适宜的pH环境<sup>[26]</sup>，同时还总结了土壤pH对酶活性的影响机理。首先，土壤pH可影响营养元素的有效性，抑制土壤微生物群落组成和多样性；其次，

氨基酸是酶合成和催化反应的基本要素，而氨基酸官能团对pH较敏感，土壤pH可以引起氨基酸的构象改变和化学变化，从而影响酶活性；再次，土壤pH还可以影响土壤溶液中抑制剂和催化剂的浓度，以及反应底物的有效浓度，进而影响土壤酶活性<sup>[26]</sup>。此外，Muhammad等<sup>[27]</sup>的报道还指出，土壤pH对有机质有显著的负面影响，如上所述，



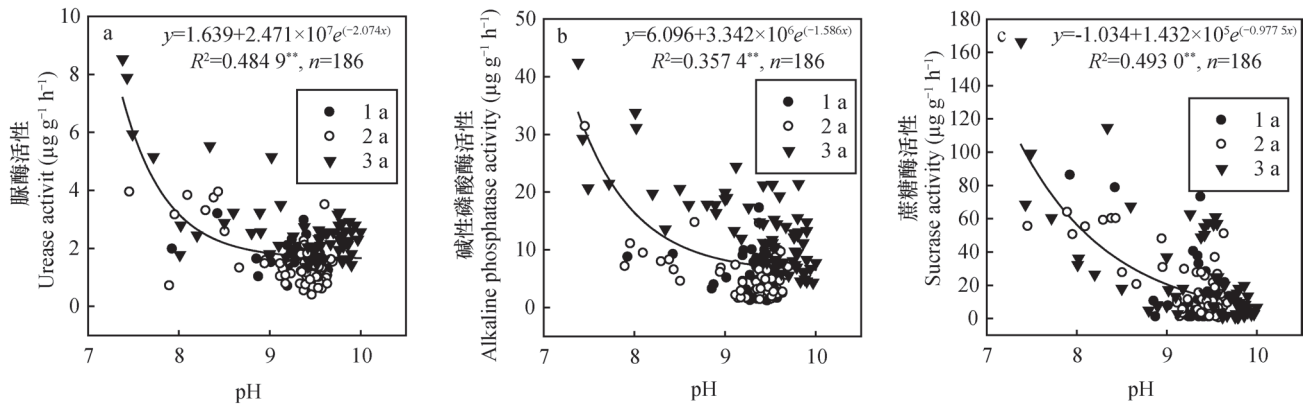


图3 土壤酶活性与pH的关系

Fig. 3 Relationships of soil enzyme activities with soil pH

土壤pH较高、有机质含量较低时，土壤酶更易于变性失活。

### 3 结论

未种植的龟裂碱土重度盐碱地中，土壤脲酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶活性极低。采用滴头下填沙的方式滴灌种植枸杞以后，根区酶活性显著增加。由于植物根系生长和滴灌灌水方式带来的土壤微域环境的差异，土壤酶活性在枸杞周围的土壤剖面内表现出较大的空间变异性。相关性分析和通径分析结果显示，土壤pH是影响该土壤酶活性的主要因子，二者之间呈指数式负相关 ( $p < 0.01$ )。总之，滴灌种植之后，龟裂碱土生物学性质得到显著改善。当然，此结论是基于最大种植年限为3 a的数据分析得出的，这对于评价盐碱地改良效果的可持续性，特别是对于多年生作物（枸杞）来说，可能有些短暂，因此针对该地区龟裂碱土盐碱荒地的改良利用效果，还需长期的定位观测。

### 参考文献

- [ 1 ] IUSS Working Group WRB. World reference base for soil resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome. 2007
- [ 2 ] 王吉智. 宁夏土壤. 银川: 宁夏人民出版社, 1990. Wang J Z. Soil in Ningxia (In Chinese). Yinchuan: Ningxia People's Press, 1990
- [ 3 ] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993. Wang Z Q, Zhu S Q, Yu R P, et al. Salt affected soils in China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1993
- [ 4 ] 王彬, 肖国举, 毛桂莲, 等. 燃煤烟气脱硫废弃物对盐碱土的改良效应及对向日葵生长的影响. 植物生态学报, 2010, 34 ( 10 ): 1227—1235. Wang B, Xiao G J, Mao G L, et al. Effects of coal-fired flue gas desulfurated waste residue application on saline-alkali soil amelioration and oil-sunflower growth (In Chinese). Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34 ( 10 ): 1227—1235
- [ 5 ] 李法虎. 土壤物理化学. 北京: 化学工业出版社, 2006. Li F H. Soil Physicochemistry (In Chinese). Beijing: Chemical Industry Press, 2006
- [ 6 ] Burt C M, Isbell B. Leaching of accumulated soil salinity under drip irrigation. Transactions of the American Society of Agricultural Engineering, 2005, 48: 2115—2121
- [ 7 ] Liu S, Kang Y, Wan S, et al. Water and salt regulation and its effects on *Leymus chinensis* growth under drip irrigation in saline-sodic soils of the Songnen Plain. Agricultural Water Management, 2011, 98: 1469—1476
- [ 8 ] 苏里坦, 阿不都·沙拉木, 虎胆·吐马尔白, 等. 干旱区膜下滴灌制度对土壤盐分分布和棉花产量的影响. 土壤学报, 2011, 48 ( 4 ): 708—714. Su L, Abudu S, Hudan T, et al. Effects of under-mulch drip irrigation on soil salinity distribution and cotton yield in an arid region (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2011, 48 ( 4 ): 708—714
- [ 9 ] Wan S, Jiao Y, Kang Y, et al. Drip irrigation of waxy corn (*Zea mays* L.) for production in highly saline conditions. Agricultural Water Management, 2012, 104: 210—220
- [ 10 ] Zhang T, Kang Y, Wan S. Shallow sand-filled niches beneath drip emitters made reclamation of an impermeable saline-sodic soil possible while

- cropping with *Lycium barbarum* L. Agricultural Water Management, 2013, 119: 54—64
- [ 11 ] 张体彬, 康跃虎, 胡伟, 等. 宁夏银北地区龟裂碱土盐分特征研究. 土壤, 2012, 44 ( 6 ) : 1001—1008. Zhang T B, Kang Y H, Hu W, et al. Study on salinity characteristics of takyric solonetz in Ningxia Yinbei Region ( In Chinese ) . Soils, 2012, 44 ( 6 ) : 1001—1008
- [ 12 ] Zahir A Z, Muhammad A R M, Muhammad A. Soil enzymes research: A review. Journal of Biological Sciences, 2001, 1: 299—307
- [ 13 ] 和文祥, 谭向平, 王旭东, 等. 土壤总体酶活性指标的初步研究. 土壤学报, 2010, 47 ( 6 ) : 1232—1236. He W X, Tan X P, Wang X D, et al. Study on total enzyme activity index in soils ( In Chinese ) . Acta Pedologica Sinica, 2010, 47 ( 6 ) : 1232—1236
- [ 14 ] Yuan B C, Li Z Z, Liu H, et al. Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. Applied Soil Ecology, 2007, 35: 319—328
- [ 15 ] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986. Guan S Y. Soil enzymes and their research methods ( In Chinese ) . Beijing: Agriculture Press, 1986
- [ 16 ] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000. Bao S D. Soil agrochemical analysis ( In Chinese ) . Beijing: China Agriculture Press, 2000
- [ 17 ] Bhatt G M. Significance of path coefficient analysis in association. Euphytica, 1973, 22 ( 2 ) : 338—343
- [ 18 ] 纪立东, 孙权, 马秀琴, 等. 宁夏引黄灌区农田土壤酶活性及其空间变异. 生态环境, 2007, 16 ( 6 ) : 1737—1741. Ji L D, Sun Q, Ma X Q, et al. Soil enzyme activities and spatial variances in Yellow River irrigated area of Ningxia ( In Chinese ) . Ecology and Environment, 2007, 16 ( 6 ) : 1737—1741
- [ 19 ] Tripathi S, Chakraborty A, Chakrabarti K, et al. Enzyme activities and microbial biomass in coastal soils of India. Soil Biology & Biochemistry, 2007, 39: 2840—2848
- [ 20 ] Garcia C, Hernandez T, Costa F. Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1997, 28 ( 1/2 ) : 123—134
- [ 21 ] Tejada M, Garcia C, Gonzalez J L, et al. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. Soil Biology & Biochemistry, 2006, 38: 1413—1421
- [ 22 ] Tarafdar J C, Jungk A. Phosphatase activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus. Biology and Fertility of Soils, 1987, 3: 199—204
- [ 23 ] 杨青华, 韩锦峰. 棉田不同覆盖方式对土壤微生物和酶活性的影响. 土壤学报, 2005, 42 ( 2 ) : 348—351. Yang Q H, Han J F. Effect of mulching on soil microorganism and enzyme activities in cotton field ( In Chinese ) . Acta Pedologica Sinica, 2005, 42 ( 2 ) : 348—351
- [ 24 ] Rietz D N, Haynes R J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35: 845—854
- [ 25 ] Zahran H H. Diversity, adaptation and activity of the bacterial flora in saline environments. Biology and Fertility of Soils, 1997, 25: 211—223
- [ 26 ] Dick W A, Cheng L, Wang P. Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. Soil Biology & Biochemistry, 2000, 32: 1915—1919
- [ 27 ] Muhammad S, Muller T, Joergensen R G. Relationships between soil biological and other soil properties in saline and alkaline arable soils from the Pakistani Punjab. Journal of Arid Environments, 2008, 72: 448—457

## AMELIORATIVE EFFECT OF CROPPING *LYCIUM BARBARUM* L. WITH DRIP IRRIGATION ON SOIL ENZYMES ACTIVITIES IN TAKYRIC SOLONETZ

Zhang Tibin<sup>1, 2</sup> Kang Yaohu<sup>3</sup> Wan Shuqin<sup>3</sup> Feng Hao<sup>2</sup>

( 1 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China )

( 2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China )

( 3 Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China )

**Abstract** In reclaiming or ameliorating salt-affected soils, it is essential to go in-depth studying

soil biological activities so as to evaluate variation of soil environmental quality and sustainability of the amelioration measures. Highly saline-sodic takyric solonetz wastelands are distributed mainly in arid regions in Ningxia Plain, Northwest China. This type of soils is characterized by extremely high content of sodium and high pH, varying in the range of 9 ~ 10, and consequent poor soil structure and low saturated hydraulic conductivity ( $k_s < 0.1 \text{ mm d}^{-1}$ ). In the 0 ~ 40 cm soil layer, the average electrical conductivity of saturated slurry extract ( $\text{EC}_e$ ), pH of saturated slurry (pH) and sodium adsorption ratio of saturated slurry extract (SAR) was  $10.3 \text{ dS m}^{-1}$ , 9.4 and  $38.9 (\text{mmol L}^{-1})^{0.5}$ , respectively. In the past a lot of measures have been tried to reclaim the wastelands, however, most of them failed primarily because of the very low saturated hydraulic conductivity of the soil. In 2009, this type of wastelands was reclaimed by cultivating wolfberry (*Lycium barbarum* L.) with drip irrigation. Under the drip emitter near the plant, a pit, 0.2 m in diameter and 0.2 m in depth, was prepared and filled with alien sand for planting wolfberry in. The sand-filled pit was to increase the area of contact between soil and water and the area of water infiltration in takyric solonetz under drip irrigation, thus lowering water supply rate down to or approximately to saturated hydraulic conductivity of the native soil. Besides, the sand pit might also serve as a reservoir to hold surplus water prior to its infiltrating into the soil and extend water infiltration time, thus ensuring water infiltration into the soil and making reclamation of the soil possible. At the end of the wolfberry growing period in 2011 (October 16<sup>th</sup>, 2011), soil samples were collected intensively from soil profiles, perpendicular to the drip irrigation belt, in fields different in wolfberry cultivation history (1 a, 2 a and 3 a), covering a wide gradient of salinity and alkalinity, for analysis of activities of soil urease, alkaline phosphatase and sucrase, which were the enzymes, respectively, key to N, P and C recycling in soil, and of soil physicochemical properties as well. In order to clarify any potential causal-relationships between soil enzyme activities and physicochemical properties, correlation analysis and path analysis were performed. Results show that all the 3 enzymes were very low in activity in uncultivated soils due to the high saline-alkali stress and low organic matter content. After the soil was reclaimed to cultivate wolfberry with drip irrigation, soil enzyme activities increased gradually with the cultivation going on, displaying high spatial variability within the profile. Enzyme activities were found quite high in the root zone under the drip irrigation belt and declined outwards from root zone. Higher soil enzyme activities in the root zone helped the crop absorb soil nutrients. Both correlation analysis and path analysis show that soil pH is always the dominant factor affecting soil enzyme activities, and activities of all the 3 soil enzymes decreased exponentially with pH in the range from 7.38 to 10.00 ( $p < 0.01$ ). The exponential relationship between them demonstrates that in soils quite low in pH ( $< 8.5$ ), any rise in soil pH would induce a sharp drop in soil enzymes activities. In a word, the adoption of such a wolfberry cultivation pattern greatly improves soil biological properties of the highly saline-sodic takyric solonetz wasteland.

**Key words** Drip irrigation; *Lycium barbarum* L.; Takyric solonetz; Enzyme activity

(责任编辑: 汪叔生)

CONTENTS

**Reviews and Comments**

- Problems and analytical logic in building cultivated land productivity evaluation index system..... Zhao Yanfeng, Cheng Daoquan, Chen Jie, et al. ( 1207 )  
 Advancement in study on effect of earthworm on greenhouse gas emission in soil and its mechanism ..... Lu Mingzhu, Lü Xianguo, Guan Qiang, et al. ( 1224 )

**Research Articles**

- Vertical distributions of soil organic and inorganic carbon and their controls along toposequences in an alpine region ..... Yang Fan, Huang Laiming, Li Decheng, et al. ( 1235 )  
 Effect of grain size on and correlation analysis of pedodiversity and surface water body diversity in counties typical of Central and East China ..... Ren Yuanyuan, Zhang Xuelei ( 1249 )  
 Spatial-temporal variability of soil readily available nutrients in cultivated land of Weibei Tableland Area ..... Yu Yang, Zhao Yeting, Chang Qingrui ( 1260 )  
 Hyperspectral estimation and remote sensing retrieval of soil water regime in the Yellow River Delta ..... Li Ping, Zhao Gengxing, Gao Mingxiu, et al. ( 1271 )  
 Effect of wet-dry alternation on loess disintegration rate ..... Wang Jian, Ma Fan, Zhang Penghui, et al. ( 1278 )  
 Experiment and simulation of infiltration from layered soils in open pit mine in Jin-Shaan-Meng adjacent region ..... Wu Qifan, Fan Jun, Yang Xiaoli, et al. ( 1289 )  
 Anaerobic redox of iron oxides and photosynthetic oxidation of ferrous iron in upland cinnamon soils ..... Sun Lirong, Wang Xugang, Xu Xiaofeng, et al. ( 1299 )  
 Study on effect of kaolinite colloids on zeta potential of Al oxide coated quartz with streaming potential method ..... Li Zhongyi, Xu Renkou ( 1309 )  
 Nitrogen use efficiencies of major grain crops in China in recent 10 years ..... Yu Fei, Shi Weiming ( 1324 )  
 Changes of soil nutrients and supply capacities in the piedmont plain of Taihang Mountain during the period of 1978–2008 ..... Liu Jianling, Jia Ke, Liao Wenhua, et al. ( 1334 )  
 Spatial variation of ecological stoichiometry of soil C, N and P in a small hilly watershed in subtropics of China ..... Yang Wen, Zhou Jiaogen, Wang Meihui, et al. ( 1343 )  
 Stoichiometric characteristics of soil in an oasis on northern edge of Tarim Basin, China ..... Li Honglin, Gong Lu, Zhu Meiling, et al. ( 1354 )  
 Distribution of soil selenium in the Northeast China Plain and its influencing factors ..... Dai Huimin, Gong Chuandong, Dong Bei, et al. ( 1364 )  
 Study on phytolith-occluded organic carbon in soil of subtropical forest of southern Zhejiang ..... Lin Weilei, Ying Yuqi, Jiang Peikun, et al. ( 1372 )  
 Toxic effect of multiple-time overlying pollution of Phe in soil on *Eisenia fetida* ..... Ma Jingjing, Qian Xinchun, Zhang Wei, et al. ( 1381 )  
 Effect of organic manure on cucumber Fusarium wilt control and its mechanism ..... Zhao Liya, Li Wenqing, Tang Longxiang, et al. ( 1390 )  
 Ameliorative effect of cropping *Lycium barbarum* L. with drip irrigation on soil enzymes activities in takyric solonetz ..... Zhang Tibin, Kang Yaohu, Wan Shuqin, et al. ( 1399 )  
 Change in shallow soil temperature and its response to change in air temperature in middle and lower reaches of Shiyang River Basin ..... Yang Xiaoling, Ding Wenkui, Ma Zhonghua, et al. ( 1410 )  
 Soil permeability of aeration zone in Xinchang-Xiangyangshan - a preselected site for high level radioactive waste disposal ..... Li Jiebiao, Su Rui, Zhou Zhichao, et al. ( 1420 )

**Research Notes**

- Inversion of spatial pattern of organic matter contents in black soil based on TM data ..... Song Jinhong, Wu Jinggui, Zhao Xinyu, et al. ( 1429 )  
 Analysis of soil fertility and fertilizer efficiency of maize field in Shaanxi ..... Shan Yan, Li Shuili, Li Ru, et al. ( 1437 )  
 Application of cosmic-ray method to soil moisture measurement of grassland in the Loess Plateau ..... Zhao Chun, Yuan Guofu, Liu Xiao, et al. ( 1444 )

**Cover Picture:** Reclamation of a highly saline-sodic wasteland of takyric solonetz while cropping *Lycium barbarum* L. with drip irrigation ( by Zhang Tibin )

# 《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

## 土 壤 学 报

### Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 6 期 2015 年 11 月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 6 Nov., 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008  
电话: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正  
主 管 中 国 科 学 院  
主 办 中 国 土 壤 学 会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总发行 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717  
电话: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation  
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



9 770564 392156

