

地下水浅埋区重度盐碱地滴灌不同种植年限对土壤酶活性的影响^①

窦超银^{1,2}, 康跃虎^{1*}, 莫家玉³, 万书勤¹, 刘淑慧¹

¹ 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; ² 中国科学院研究生院, 北京 100049;

³ 宁夏农垦局良种繁育营销中心, 银川 750003

摘要: 为了解在地下水浅埋区重度盐碱地上长期覆膜咸水滴灌对土壤酶活性的影响, 文章通过时空转化的方法研究了覆膜咸水滴灌种植枸杞 1 年、2 年和 3 年的盐碱地土壤碱性磷酸酶、脲酶和蔗糖酶活性的变化及土壤酶活性在 0~40 cm 土壤剖面上的分布特征, 并利用数学方法探求土壤酶活性与土壤环境因子之间的相关分析, 同时以试验地附近未种植的盐碱荒地作为对照。结果表明 3 种土壤酶活性均随土壤利用年限的增加而增大, 经过 3 年种植后, 土壤碱性磷酸酶、脲酶和蔗糖酶活性分别从未经滴灌种植时的 1.29、0.73 和 7.23 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 增加到 14.5、4.48 和 158.1 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$; 在水平和垂直方向上, 土壤碱性磷酸酶和脲酶活性在覆膜滴灌种植后均随水平距离和土层深度的增加而减小, 蔗糖酶在各方向波动性较大, 没有明显规律; 土壤酶活性在滴头下方的空间分布表明, 在作物生育期结束时, 各年限处理土壤酶活性在剖面均呈以滴头为圆心的椭圆形分布, 自滴头向外径向减小; 土壤酶活性与土壤环境因子之间的相关性随着土壤利用年限的增加而提高, 可以作为土壤环境指标表征盐碱土壤质量, 覆膜滴灌 3 年后, 影响土壤酶活性的主要是土壤养分。

关键词: 覆膜滴灌; 种植年限; 盐碱地; 土壤酶活性; 土壤环境

中图分类号: S154

长期以来盐碱土改良防治和开发利用研究一直受到国内外学者的高度重视, 先后提出水利、化学、生物等措施。近年来, 随着微灌技术的发展, 覆膜滴灌在盐碱地开发利用中得到越来越多的关注, 该技术利用滴灌点水源扩散的特点, 使得土壤中的盐分离子可以被淋洗到作物根系分布范围以外, 同时, 覆膜种植具有减少土表蒸发, 保持土壤水分和抑制盐分向土表运移的作用。将滴灌与覆膜种植相结合的覆膜滴灌技术, 不仅节水、抑盐和提高地温, 也为作物提供了良好的生长发育环境^[1]。焦艳平等^[2-3]通过在盐碱地长期水势控制滴灌试验研究, 利用覆膜滴灌技术开发利用盐碱地并取得显著效果, 获得较高的作物产量和质量; 谭军利等^[4]对多年覆膜滴灌盐碱地离子分布进行研究, 结果表明根区土壤化学性质随着种植年限增加逐渐变好, 有利于作物生长。在前人的研究成果支持下, 覆膜滴灌技术已经在实际生产中得到广泛的推广和利用, 对盐碱地土壤盐调控有着重要作用, 与此同时, 必然对盐碱土壤环境产生一定的影响。

土壤酶活性作为土壤环境指标之一, 表征土壤酶的存在和酶促反应速度, 常用以评估土壤某些营养物

质的转化情况和土壤肥力状况^[5]。一方面, 土壤质地和结构等物理因素、土壤微生物和高等植物的营养状况、土壤一系列化学性质以及农业技术措施影响着土壤酶的活性强度^[6-8]; 另一方面, 土壤酶参与土壤的发生、发育及土壤肥力形成和演变的全过程, 不同植物的根系在生长发育过程中的分泌物、死亡根茎的矿化分解及不同的土地利用、耕作和管理方式等也都会影响土壤酶活性^[9-12]。目前, 土壤酶活性的研究多集中在耕地土壤和草原土壤, 盐碱土壤酶活性变化以及覆膜滴灌条件下土壤酶活性分布的研究较少。本文对地下水浅埋区重度盐碱地覆膜滴灌不同年限土壤酶活性的变化及空间分布进行试验研究, 并运用相关分析方法研究土壤酶活性与土壤物理、土壤化学和土壤养分之间的关系, 旨在揭示长期覆膜滴灌灌溉对土壤酶活性的影响, 为覆膜滴灌技术可持续开发和改良利用盐碱地提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区基本概况

试验在中国科学院地理科学与资源研究所咸水滴

^①基金项目: 中国科学院西部行动计划项目 (KZCX2-XB2-13)、中国科学院知识创新工程重要方向性项目 (KSCX2-YW-N-003) 和中国科学院百人计划项目资助。

*-通讯作者 (kangyh@igsrr.ac.cn)

作者简介: 窦超银 (1982—), 男, 江苏如皋人, 博士研究生, 主要从事农业水土资源高效利用研究。E-mail: chydou@163.com

- 删除的内容: 681
- 带格式的
- 删除的内容:
- 带格式的: 行距: 多倍行距 1.25 字符
- 删除的内容:^①
- 带格式的: 行距: 固定值 13 磅
- 带格式的: 行距: 固定值 15 磅
- 删除的内容:
- 带格式的: 上标
- 删除的内容: (
- 删除的内容:)
- 带格式的: 行距: 固定值 12 磅
- 带格式的: 缩进: 左侧: 17 磅, 首行缩进: 17 磅, 右侧: 17 磅, 行距: 固定值 14.5 磅
- 带格式的: 列数: 2
- 带格式的: 行距: 固定值 15 磅
- 带格式的: 两端对齐
- 删除的内容: <sp>
- 带格式的: 两端对齐
- 删除的内容:
- 删除的内容:
- 带格式的: 缩进量 0.1 磅
- 带格式的: 缩进: 首行缩进: 2 字符
- 带格式的: 两端对齐, 缩进: 首行缩进: 0 字符
- 带格式的: 行距: 固定值 12 磅

灌与盐碱地开发利用技术研究与示范基地进行,该基地位于宁夏回族自治区平罗县灵沙乡何家村(38°59'N, 106°45'E, 海拔约 1 095 m)。地属银川平原引黄灌区的末梢,属典型的温带大陆性气候,全年日照充足、降水量集中、蒸发强烈、空气干燥、温差较大、无霜期短。年平均降水量为 178 mm,年蒸发量 2 111 mm,约为降水量的 12 倍;年平均气温 9.4℃,年最低平均气温 -21.3℃,年最高平均气温 34.3℃。

试验区地势低平,稍有起伏,盐分表聚性明显,地表有盐霜或结皮,表层(0~10 cm)土壤含盐量 13.1 g/kg,其中,阳离子主要是 Na⁺,占全盐含量的

28.0%(质量比,下同),阴离子主要是 Cl⁻ 和 SO₄²⁻,分别占全盐含量的 35.3% 和 27.9%,pH 呈碱性,土壤属于 SO₄²⁻-Cl⁻ 类重度盐土(表 1)。土壤质地为粉质土(黏粒 ≈ 4 g/kg,粉粒 ≈ 920 g/kg,砂粒 ≈ 76 g/kg);地下水埋深长期在 30~40 cm 左右,灌溉水利用当地地下水,化学组成如表 2 所示,可溶性总盐含量 7.3 g/L,属于矿化度较高的咸水,其中阳离子主要是 Na⁺,占可溶性总盐含量的 30.4%,阴离子主要是 Cl⁻ 和 SO₄²⁻,分别占可溶性总盐含量的 38.8% 和 20.2%,钠吸附比(SAR)为 29.3 (mmol/L)^{0.5}。

- 带格式的: 紧缩量 0.1 磅
- 带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符
- 删除的内容: ,
- 删除的内容: ,
- 删除的内容: ,
- 删除的内容: ,
- 删除的内容: ,
- 带格式的: 加宽度 0.25 磅

表 1 表层(0~10 cm)土壤含盐量及离子组成

Table 1 Soil salt content and ion composition in surface soil (0~10 cm)

pH 值	全盐含量 (g/kg)	阴离子 (g/kg)				阳离子 (g/kg)			
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
8.7	13.1	-	0.3	3.7	4.6	0.0	3.7	0.3	0.5

带格式表格

表 2 灌溉水化学性质

Table 2 Chemical properties of irrigating water

pH 值	TDS (g/L)	阴离子 (g/L)				阳离子 (g/L)			
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
7.6	7.3	-	0.5	1.5	2.8	0.0	2.2	0.1	0.2

带格式表格

带格式的

1.2 试验设计

试验始于 2006 年,于当年 3 月底起垄并种植枸杞,垄肩宽 0.6 m,高 0.8 m,长 75 m,垄距 3 m,枸杞品种为宁杞一号,行距 3 m,株距 1 m,枸杞种植完毕布置田间毛管,单垄单条毛管且位于垄上中部,垄上覆膜,膜宽 0.6 m。滴头间距 0.2 m,滴头流量 0.6 L/h。第一次灌水量为平时灌水量的 4 倍左右,约为 16 mm,此后每天灌水 4 mm,上午 8 时,下午 18 时各灌一次,灌水量均为 2 mm/次,为了减轻冬季返盐的不利影响,在枸杞进入休眠期前进行冬灌,冬灌灌水量约 16 mm;第二年在枸杞萌芽期前春浇洗盐,灌水量为 16 mm,此后灌水与第一年相同;第三年枸杞灌溉制度与第二年相同。N 肥(尿素)、P 肥(磷酸)、K 肥(硝酸钾)均随水施肥,年使用量分别为 270、67.5、135 kg/hm²。

本研究采用时空转换的方法,将时间序列放到空间分布上来,以滴灌种植年限为处理,尚未开发利用的盐碱荒地作为对照,2008 年开发利用的土壤为种植 1 年处理(1a),2007 年和 2006 年开发利用的土壤分别为种植 2 年(2a)和 3 年(3a)处理。试验采样时间为 2008 年 3 月 31 日(春灌前)和 2008 年 10 月 15 日(冬灌前),其中为了使新垄结构稳定,1 年处理的

第一次取样时间为 2008 年 4 月 15 日。取样点分布为距滴头水平距离 0(滴头正下方),10, 20, 30 cm,深度分别为 0~10, 10~20, 20~30, 30~40 cm,同时在未开垦种植的撂荒地地块上以同样深度取土样作为对照(CK),每次采集土样取 3 个重复,土样取回后立即风干,碾细过 2 mm 筛并装入自封袋中供分析用。

1.3 分析项目及方法

1.3.1 土壤理化性质分析 土壤水分:烘干法,105℃~110℃ 烘 12 h; pH: pHB-4 型酸度计测定,土水比为 1:5; EC: DDS-11A 电导率仪测定,土水比为 1:5,文中土壤盐分含量均用 EC_{1:5} 值表示; NO₃⁻-N: 1 mol/L KCl 浸提,紫外分光光度计测定;速效 K: NH₄OAc 浸提,火焰光度计测定;速效 P: 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提,钼锑抗比色法测定。具体分析方法见文献[13]。

1.3.2 土壤酶的测定 土壤脲酶活性:靛酚蓝比色法测定;碱性磷酸酶活性:磷酸苯二钠比色法测定;蔗糖酶活性:3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[14]。

1.3.3 数据处理 常规数据整理由 Excel 2003 完成,相关分析由 SPSS 16.0 完成。

带格式的: 两端对齐

带格式的: 两端对齐

- 带格式的: 加宽度 0.1 磅
- 带格式的: 两端对齐, 缩进: 首行缩进: 2 字符
- 删除的内容: (Ur)
- 删除的内容: (AKP)
- 删除的内容: (Inv)

2 结果与分析

2.1 种植年限和水平位置对土壤酶活性的影响

枸杞生育期前后，3 种利用年限土壤碱性磷酸酶活性在水平方向各点均随着土壤利用年限的增加而增大；枸杞生育期前，种植 1 年和 2 年处理的土壤碱性磷酸酶活性在水平方向变化较小，3 年处理的土壤碱性磷酸酶活性随着远离滴头而降低；枸杞生育期结束时，3 种处理土壤碱性磷酸酶活性均随距滴头水平距离的增大而降低，种植 2 年和 3 年处理在 30 cm 处出现增大的现象 (图 1A)，这可能是因为枸杞经过两年生长后冠径大于垄上膜的宽度，生育期结束时植物残体分解释放酶的影响。

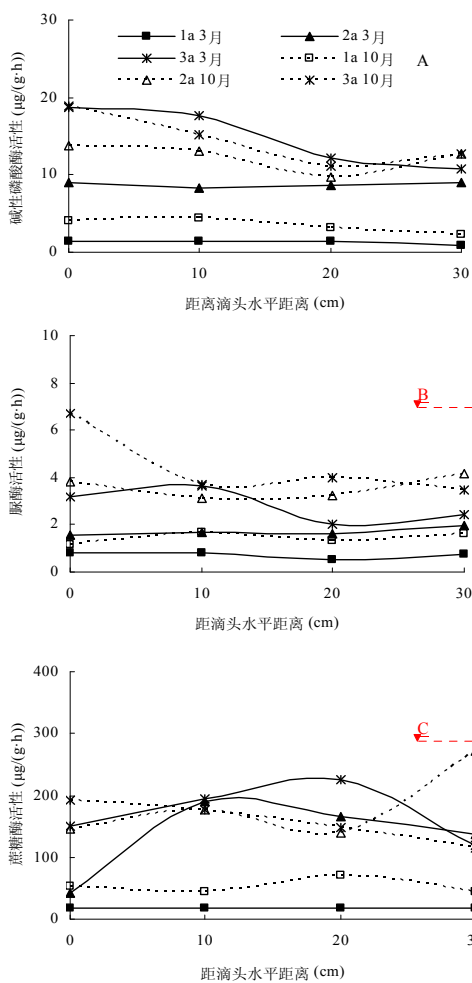


图 1 水平距离对土壤酶活性的影响

(A: 碱性磷酸酶; B: 脲酶; C: 蔗糖酶)

Fig. 1 Effects of lateral distances on soil enzyme activities

与土壤碱性磷酸酶活性在水平方向上变化相似，土壤脲酶活性随着土壤利用年限的增加而增大；枸杞生育期前，土壤脲酶活性在土壤利用年限较小时水平方向各点差异不大，而种植 3 年处理的土壤脲酶活性随着距滴头距离的增加而减小；枸杞生育期结束时，除 1 年处理的土壤水平方向上仍没有明显差异外，种植 2 年、3 年处理的土壤脲酶活性均随距滴头距离的增大而降低，在 30 cm 处出现增大的现象 (图 1B)。土壤蔗糖酶活性在水平方向距滴头不同位置变化较大，未见明显的变化规律；但 2 年和 3 年处理土壤蔗糖酶活性明显高于 1 年处理 (图 1C)。

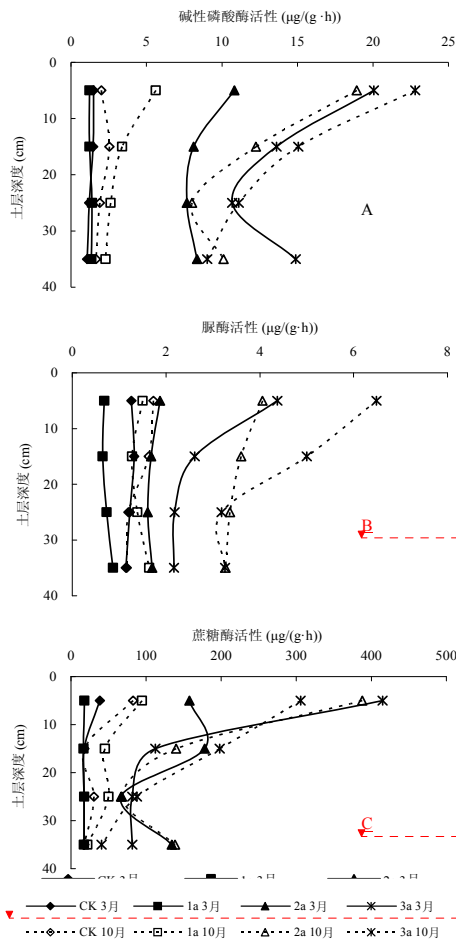
2.2 种植年限和土层深度对土壤酶活性的影响

从图 2A 中可以看出：年初灌溉之前，不同种植年限处理土壤碱性磷酸酶活性均随着土层深度的增加而降低，且在同一土层，土壤碱性磷酸酶活性随土壤利用年限的增加而增大；年末停止灌溉时，在经过枸杞生育期内长时间灌溉后，各处理土壤碱性磷酸酶活性在各土层均有提高，且与年初相似，随利用年限的增加而增大，随土层深度增加而减小。灌后对照及 1~3 年处理 0~10 cm 表层土壤碱性磷酸酶活性达到 2.0、5.6、18.9 和 22.8 $\mu\text{g}(\text{g}\cdot\text{h})$ ，与灌前 1.5、1.2、10.8 和 20.1 $\mu\text{g}(\text{g}\cdot\text{h})$ 相比，分别提高了 34.9%、359.4%、74.9% 和 13.7%。种植 1 年处理灌溉前 0~20 cm 土层土壤碱性磷酸酶活性略低于对照土壤，这是因为 1 年处理为新建试验小区，表层土壤由酶活性较低的下层土壤挖填构成。

土壤脲酶活性的变化与土壤碱性磷酸酶活性变化相近，在枸杞生育期前，不同深度土层土壤脲酶活性均随土壤利用年限的增加而增大；枸杞生育期结束时，对照及种植 1~3 年处理土壤脲酶活性均有明显提高，且仍随着种植年限的增加而增大，其中，表层 0~10 cm 土壤脲酶活性分别增加 37.4%、120.1%、117.0% 和 48.3%，达到 1.7、1.5、4.1 和 6.5 $\mu\text{g}(\text{g}\cdot\text{h})$ 。在垂直方向上，土壤脲酶活性的变化受灌溉影响明显，对照和年初的新垄 (种植 1 年处理) 未经灌溉种植，土壤脲酶活性随土层深度变化较小；经过灌溉种植后的土壤 (种植 2 年、3 年和生育期结束时的 1 年处理)，脲酶活性随土层深度增大而减小 (图 2B)。

土壤蔗糖酶活性在 0~40 cm 土壤剖面中的变化较大 (图 2C)，2 年和 3 年土壤蔗糖酶活性相近，均高于对照和 1 年处理；枸杞生育期前后不同深度土层土壤蔗糖酶活性变化规律不明显，但枸杞生育期前后各年限处理表层土壤 (0~10 cm) 蔗糖酶活性均明显

- 删除的内容: :
- 删除的内容:
- 带格式的: 页眉, 两端对齐
- 删除的内容: .
- 带格式的: 两端对齐, 行距: 固定值 16 磅
- 带格式的: 两端对齐
- 删除的内容: b
- 删除的内容: a
- 删除的内容: c
- 带格式的: 居中
- 删除的内容: a
- 带格式的: 右, 缩进: 首行缩进: 0 字符
- 删除的内容: A
- 带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符
- 带格式的: 行距: 固定值 16 磅
- 删除的内容: A
- 带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符
- 带格式的: 字体: 六号
- 删除的内容: a
- 带格式的: 字体: 六号
- 删除的内容: b
- 带格式的: 字体: 六号
- 删除的内容: c
- 带格式的: 字体: 六号
- 带格式的: 居中, 制表位: 1.5 字符, 左对齐 + 20 字符, 左对齐



(A: 碱性磷酸酶; B: 脲酶; C: 蔗糖酶)
 图 2 不同土层深度对土壤酶活性的影响
 Fig. 2 Effects of soil layer depths on soil enzyme activities

高于 10~40 cm 土层土壤。

2.3 不同利用年限对土壤酶活性空间分布的影响

滴灌条件下, 灌溉水以点源扩散的形式自滴头下方四周土壤扩散, 随着灌水时间的延长, 滴头下方的湿润形状逐渐由单个椭圆体向平行于滴灌带的带状过渡^[15], 盐分、养分随着水分运沉降构成滴灌条件下独特的土壤环境分布, 必然对土壤酶活性空间分布有一定的影响。

枸杞生育期前, 3 种植年限剖面土壤碱性磷酸酶活性均值分别为 1.3、8.7 和 14.8 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$; 枸杞生育期结束时, 均值分别为 3.5、12.3 和 14.5 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$, 与生育期前相比, 1 年及 2 年处理土壤碱性磷酸酶活性

分别提高了 168.6% 和 40.9%, 而种植 3 年处理酶活性降低了 2.0%。一方面, 剖面土壤碱性磷酸酶活性随着种植年限增加而增大, 另一方面, 作物生育期内酶活性的增长随着种植年限的增加而减小, 在咸水滴灌种植 3 年后土壤碱性磷酸酶活性相对稳定 (图 3)。

土壤脲酶活性在枸杞生育期前后 3 种植年限剖面均值分别为 0.7、1.7 和 2.8 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 和 1.5、3.6 和 4.45 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$, 分别提高了 98.6%、108.8% 和 58.3%, 经过 3 年种植后脲酶活性仍在进一步增加。土壤蔗糖酶活性剖面均值在枸杞生育期前为 172.2、134.2 和 172.6 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$, 生育期结束时, 分别为 52.8、183.5 和 158.1 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$, 种植 1 年和 2 年处理分别提高了 206.6%、36.8%, 而种植 3 年处理土壤蔗糖酶活性降低了 8.4%, 即随着覆膜滴灌年限的增加, 枸杞生育期内土壤蔗糖酶活性趋于稳定。

2.4 不同覆膜滴灌年限土壤酶活性与土壤环境因子之间的相关关系

影响土壤酶活性的土壤环境因子很多, 本文旨在研究咸水覆膜滴灌条件下, 盐碱土壤环境改变过程中土壤酶活性与盐碱土壤主要环境因子之间的相关性及其变化, 因此, 选用土壤含水率代表土壤物理^[16], 土壤盐度^[17]、碱度和酸碱性^[18]代表土壤化学, 选用速效 N、速效 P 和速效 K 代表土壤养分^[19]。

2.4.1 相关分析 土壤酶活性与土壤环境各因子之间相关系数如表 3 所示, 在种植 1 年处理中, 由于长期撂荒退化的影响, 土壤贫瘠, 酶活性低, 与未进行覆膜滴灌的对照土壤相似, 土壤酶活性和表征土壤环境因素的各个因子之间相关关系显著性较小或不显著。随着覆膜滴灌年限的增加, 土壤酶活性与土壤环境各因素之间关系逐渐紧密, 覆膜滴灌灌溉 2 年后, 土壤碱性磷酸酶和土壤脲酶活性与 EC、SAR、速效 P 和速效 K 呈极显著相关, 与速效 N 显著相关; 土壤蔗糖酶活性与土壤含水率、EC、速效 P 和速效 K 表现为显著相关。经过 3 年覆膜滴灌灌溉后, 土壤碱性磷酸酶活性与土壤含水率、pH 呈显著相关, 与 EC、SAR 及土壤速效养分呈极显著相关; 土壤脲酶活性与 EC、SAR 显著相关, 与土壤速效养分极显著相关; 土壤蔗糖酶活性与土壤速效养分呈极显著相关。由此可见, 在覆膜滴灌条件下, 盐碱土壤环境随着灌溉年限逐步得到改善, 向良田土壤环境方向发展。另一方面, 随着土壤酶活性与土壤环境因素之间相关性的逐步提高, 可以将土壤酶活性作为盐碱土壤环境改善的一个指标用于衡量盐碱土壤的改善程度。

带格式的: 首行缩进: 0 字符, 行距: 1.5 倍行距

带格式的: 行距: 固定值 16 磅

带格式的: 右, 缩进: 首行缩进: 0 字符

带格式的

带格式的

带格式的

带格式的

带格式的

带格式的

带格式的

带格式的

带格式的

带格式的

带格式的

删除的内容: A

带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符

带格式的: 两端对齐, 行距: 固定值 16 磅, 多级符号 + 级别: 2 + 编号样式: 1, 2, 3, ... + 起始编号: 4 + 对齐方式: 左侧 + 对齐位置: 0 磅 + 制表符后于: 25.5 磅 + 缩进位置: 25.5 磅

带格式的: 两端对齐, 行距: 固定值 16 磅

删除的内容: A

带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符

带格式的: 段落间距段后: 6 磅

带格式的: 段落间距段后: 6 磅, 行距: 固定值 7 磅

带格式的: 段落间距段后: 6 磅

带格式的: 行距: 固定值 15 磅

删除的内容: (a: 碱性磷酸酶; b: 脲酶; c: 蔗糖酶)

带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符, 行距: 1.5 倍行距

带格式的: 首行缩进: 0 字符, 段落间距段前: 3 磅, 行距: 固定值 23 磅

删除的内容: ... [1]

带格式的 ... [2]

带格式的: 字体: 六号

带格式的 ... [3]

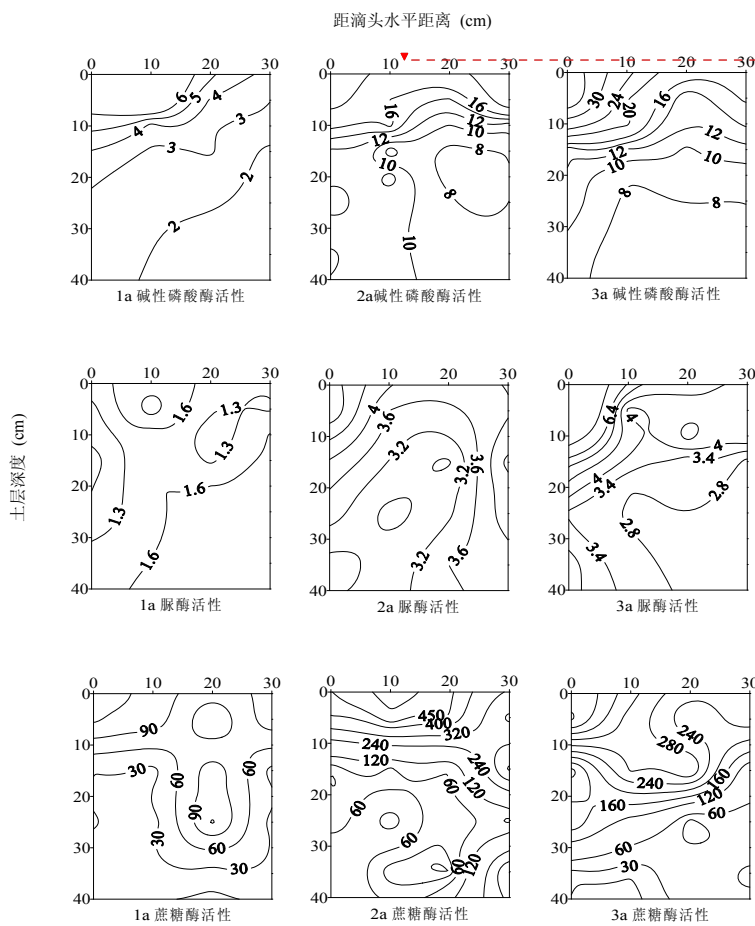


图 3 不同种植年限土壤酶活性在土壤剖面的分布

Fig. 3 Distributions of soil enzyme activities in soil profiles in different planting years

表 3 不同利用年限土壤酶活性与土壤环境因子之间的相关关系

Table 3 Coefficients between soil enzyme activities and soil environmental factors in different planting years

处理	土壤酶	土壤含水率	EC	pH	SAR	速效 N	速效 P	速效 K
CK	碱性磷酸酶	-0.612	0.644	-0.834*	0.67	0.755*	0.334	-0.598
	脲酶	-0.722*	0.317	-0.635	0.273	0.298	0.838**	-0.767*
	蔗糖酶	-0.818*	0.63	-0.764*	0.528	0.264	0.888**	-0.538
1a	碱性磷酸酶	-0.016	0.088	0.004	0.126	0.282	0.009	0.530**
	脲酶	0.14	-0.168	0.147	0.059	0.109	0.04	0.463**
	蔗糖酶	-0.259	0.207	-0.127	0.167	0.159	-0.114	0.2
2a	碱性磷酸酶	-0.345	-0.661**	0.101	-0.561**	-0.389*	0.499**	0.778**
	脲酶	-0.335	-0.669**	0.071	-0.605**	-0.426*	0.629**	0.711**
	蔗糖酶	-0.360*	-0.437*	-0.1	-0.346	-0.205	0.443*	0.431*
3a	碱性磷酸酶	0.438*	-0.538**	0.424*	-0.576**	0.613**	0.607**	0.768**
	脲酶	0.253	-0.377*	0.301	-0.448*	0.710**	0.806**	0.680**
	蔗糖酶	0.11	-0.09	0.09	-0.22	0.704**	0.566**	0.642**

注：Pearson 相关系数，* 表示显著 ($\alpha=0.05$)；** 表示极显著 ($\alpha=0.01$)。

- 带格式的：页眉，两端对齐
- 删除的内容：:
- 删除的内容:
- 带格式的：行距：固定值 17 磅
- 删除的内容：
- 删除的内容：土壤脲酶活性的变化与土壤碱性磷酸酶活性变化相近，在枸杞生育期前，不同深度土层土壤脲酶活性均随土壤利用年限的增加而增大；枸杞生育期结束时，对照及种植 1~3 年处理土壤脲酶活性均有明显提高，且仍随差种
- 带格式的 ... [5]
- 删除的内容：距滴头水平距 ... [6]
- 带格式的 ... [7]
- 带格式的 ... [8]
- 带格式的
- 删除的内容：2.4 不同灌溉 ... [9]
- 带格式的 ... [10]
- 带格式表格
- 删除的内容：AKP
- 带格式的 ... [11]
- 删除的内容：Ur
- 删除的内容：Inv
- 带格式的 ... [12]
- 删除的内容：AKP
- 删除的内容：Ur
- 删除的内容：Inv
- 带格式的 ... [13]
- 删除的内容：AKP
- 删除的内容：Ur
- 带格式的 ... [14]
- 删除的内容：AKP
- 删除的内容：Ur
- 删除的内容：Inv
- 带格式的 ... [15]

2.4.2 途径分析 生产实践中,仅知道土壤酶活性与土壤环境各因素的相关性显著与否还不能用于指导实践,因为在多个变量反应系统中任意两个变量的线性关系都会受到其他变量的影响,因此需要途径分析探求两个变量之间真实的线性相关关系,从而找出影响土壤酶活性的主要因素,为覆膜滴灌改良盐碱土壤提出针对性的措施。

直接途径系数反应了土壤环境因子对土壤酶活性的直接影响,而间接途径系数是指土壤环境因子对土壤酶活性产生的间接影响程度,更具有客观性,更具有真实表现力。表 4 是 3 年处理土壤主要环境因子对土壤酶活性的途径系数,从表中可以看出土壤环境因子对土壤碱性磷酸酶活性的直接影响力排序依次为速效 K>速效 N>SAR>EC>速效 P>pH>土壤含水率,对脲酶活性影响力排序为速效 P>速效 K>SAR>速效 N>pH>EC>土壤含水率,对蔗糖酶活性影响力排序为速效 N>速效 K>SAR>pH>土壤含水率>速效 P>EC;而土壤环境因子对 3 种酶活性的间接影响排序分别为速效 K>速效 N>SAR>EC>速效 P>

pH>土壤含水率,速效 P>速效 K>速效 N>SAR>EC>pH>土壤含水率,速效 N>速效 P>速效 K>SAR>pH>EC>土壤含水率。可见影响土壤酶活性的主要土壤环境因子是土壤养分(正相关),其次是土壤化学(负相关),因此在以后的灌溉实践中应更为合理科学地进行水肥管理,同时加强对土壤洗盐排盐将有有利于土壤酶活性的提高,改善作物生长环境,达到盐碱土改良的效果。

3 结论与讨论

土壤中的酶来源于土壤微生物的活动、植物根系分泌物和动植物残体的腐解,其中高等植物的根系被一些学者认为是土壤酶活性的主要来源,因为一方面,根系的纤细顶端在其整个生命过程中不断地往土壤中分泌出酶,死后则将其酶器富集在土壤里^[20];另一方面,在植物生长过程中,植物根系分泌物含各种无机离子、低分子量糖、多种氨基酸和有机酸,为根基微

表 4 土壤酶活性与土壤环境因子之间的途径系数

Table 4 Path coefficients of principal soil environmental factors and soil enzyme activities

土壤酶	环境因子	X ₁ -P	X ₂ -P	X ₃ -P	X ₄ -P	X ₅ -P	X ₆ -P	X ₇ -P
碱性磷酸酶	X ₁	-0.028	0.179	-0.027	0.201	-0.008	-0.026	0.145
	X ₂	0.015	-0.326	0.066	-0.268	0.000	0.070	-0.095
	X ₃	-0.008	0.219	-0.098	0.149	0.106	-0.064	0.120
	X ₄	0.017	-0.257	0.043	-0.341	-0.028	0.071	-0.080
	X ₅	0.001	0.000	-0.027	0.024	0.394	-0.115	0.334
	X ₆	-0.005	0.141	-0.039	0.149	0.280	-0.162	0.243
	X ₇	-0.008	0.062	-0.024	0.055	0.263	-0.079	0.500
脲酶	X ₁ -U	X ₂ -U	X ₃ -U	X ₄ -U	X ₅ -U	X ₆ -U	X ₇ -U	
	X ₁	-0.031	0.027	-0.036	0.129	-0.004	0.073	0.097
	X ₂	0.017	-0.049	0.085	-0.172	0.000	-0.196	-0.064
	X ₃	-0.009	0.033	-0.127	0.095	0.049	0.179	0.080
	X ₄	0.018	-0.039	0.056	-0.218	-0.013	-0.199	-0.054
	X ₅	0.001	0.000	-0.034	0.015	0.181	0.322	0.224
	X ₆	-0.005	0.021	-0.050	0.096	0.129	0.454	0.163
X ₇	-0.009	0.009	-0.031	0.035	0.121	0.220	0.335	
蔗糖酶	X ₁ -I	X ₂ -I	X ₃ -I	X ₄ -I	X ₅ -I	X ₆ -I	X ₇ -I	
	X ₁	-0.066	0.006	-0.066	0.145	-0.010	0.007	0.092
	X ₂	0.036	-0.011	0.158	-0.194	0.000	-0.020	-0.060
	X ₃	-0.019	0.007	-0.235	0.108	0.136	0.018	0.076
	X ₄	0.039	-0.009	0.103	-0.246	-0.035	-0.020	-0.051
	X ₅	0.001	0.000	-0.064	0.017	0.502	0.033	0.212
	X ₆	-0.011	0.005	-0.093	0.108	0.356	0.046	0.154
X ₇	-0.019	0.002	-0.056	0.039	0.335	0.022	0.318	

带格式的: 列数: 2

带格式的: 行距: 固定值 16 磅

带格式的: 带格式的: 缩进: 首行缩进: 15.05 磅, 行距: 固定值 11 磅

删除的内容: 2.4.2 途径分析 生产实践中,仅知道土壤酶活性与土壤环境各因素的相关性

带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜

带格式表格

删除的内容: AKP

删除的内容: X

带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜

删除的内容: X

带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜

删除的内容: Ur

带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜

删除的内容: Inv

带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜
带格式的: 字体: 倾斜

- 25(5): 263-265 性及微生物数量变化的研究. 西南农业学报, 2008, 21(1): 103-109
- [21] 杜伟文, 欧阳中万. 土壤酶研究进展. 湖南林业科技, 2005, 32(5): 76-79, 82
- [22] 陈明, 朱建雯, 盛建东, 武红旗. 塔河中游怪柳灌丛土壤酶活 [23] 赵之重. 土壤酶与土壤肥力的关系研究. 青海大学学报, 1998, 16(3): 24-29

带格式的: 两端对齐

Effects of Different Planting Years on Soil Enzyme Activities in Saline-sodic Soil with Shallow Water Table Under Mulch-drip Irrigation

删除的内容: S

删除的内容: under

DOU Chao-yin^{1,2}, KANG Yue-hu¹, MO Jia-yu³, WAN Shu-qin¹, LIU Shu-hui¹

带格式的: 上标

(1 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; 2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Fine Variety Breeding and Sates Center, Ningxia Agricultural Settlement Substation, Yinchuan, 750003, China)

删除的内容:

删除的内容: School

删除的内容: of the

带格式的: 字体: 非倾斜

带格式的: 字体: 非倾斜

带格式的: 字体: 8 磅

带格式的: 字体: 8 磅

Abstract: To provide the theoretical basis for reasonable exploitation and sustainable utilization of saline-sodic soil, the changes and distributions of soil enzyme activities as well as their relationships with principal soil environmental factors were investigated in saline sodic soils planted in different planting years (1a, 2a, 3a) under mulch-drip irrigation, while the uncropped saline waste land adjacent to the experiment site was taken as the control (CK). The method of time-space transformation was used in the experiment design. The result showed that the activities of alkaline phosphatase, urease and invertase increased with planting years, increased from 1.29, 0.73, and 7.23 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ respectively of the new bed to 14.5, 4.48, and 158.1 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ respectively of the bed planted for three years; soil alkaline phosphatase and urease activities decreased with increasing lateral distance and soil layer depth to the dripper after soils being planted while the variation of soil invertase activities was not obvious. The distributions of soil enzyme activities in soil profiles under mulch-drip irrigation were like ellipse, and soil enzyme activities increased radially. Relationship between soil enzyme activities and principal soil environmental factors increased as planting years increased. After planting for three years soil available nutrients were the primary factors which influenced soil enzyme activities.

Key words: Mulch-drip irrigation, Planting years, Saline-sodic soil, Soil enzyme activities, Soil environment

带格式的: 字体: 8 磅

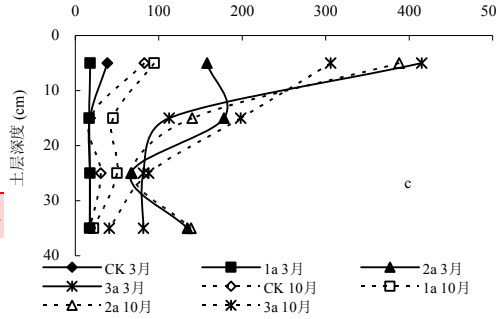
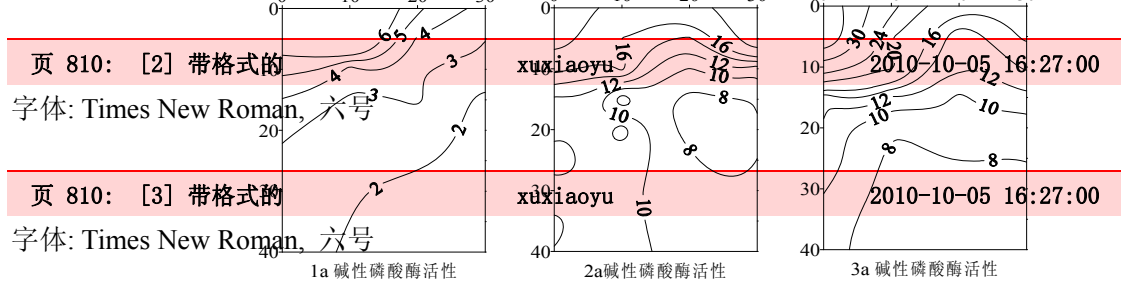


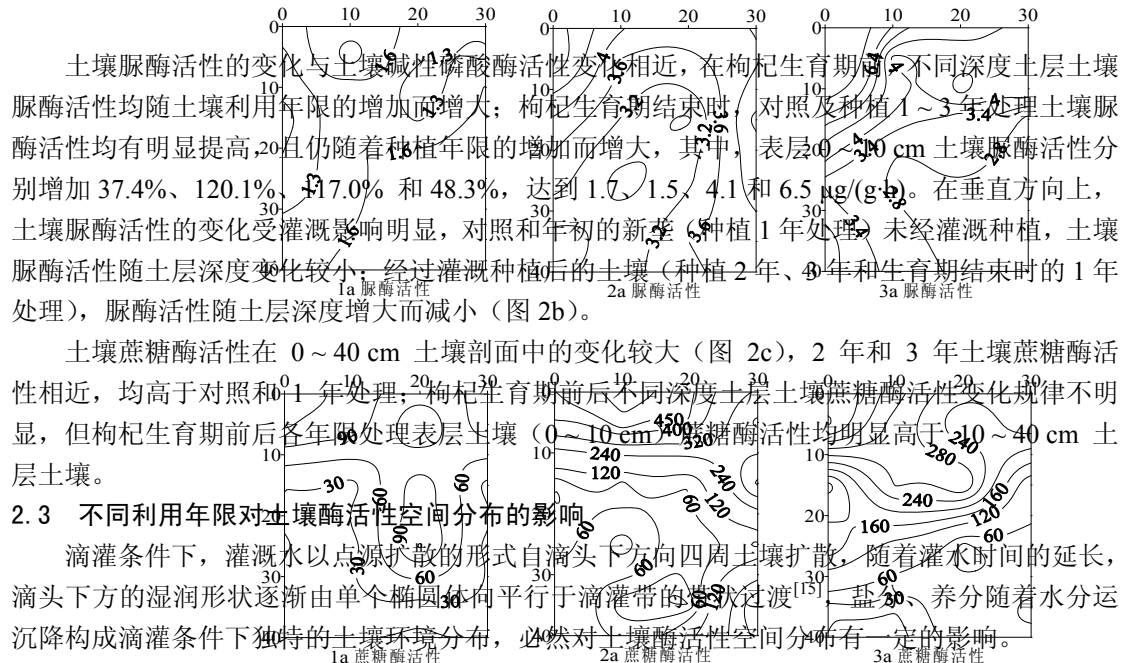
图 2 不同土层深度对土壤酶活性的影响(a:碱性磷酸酶; b: 脲酶; c: 蔗糖酶)

Fig. 2 Effects of soil layer depths on soil enzyme activities



字体: Times New Roman, 六号

字体: Times New Roman, 六号



土壤脲酶活性的变化与土壤碱性磷酸酶活性变化相近,在枸杞生育期前,不同深度土层土壤脲酶活性均随土壤利用年限的增加而增大;枸杞生育期结束时,对照及种植1~3年处理土壤脲酶活性均有明显提高,且仍随着种植年限的增加而增大,其中,表层0~10 cm 土壤脲酶活性分别增加 37.4%、120.1%、117.0% 和 48.3%,达到 1.7、1.5、4.1 和 6.5 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。在垂直方向上,土壤脲酶活性的变化受灌溉影响明显,对照和年初的新垄(种植1年处理)未经灌溉种植,土壤脲酶活性随土层深度变化较小,经过灌溉种植后的土壤(种植2年、3年和生育期结束时的1年处理),脲酶活性随土层深度增大而减小(图 2b)。

土壤蔗糖酶活性在 0~40 cm 土壤剖面中的变化较大(图 2c),2 年和 3 年土壤蔗糖酶活性相近,均高于对照和 1 年处理;枸杞生育期前后不同深度土层土壤蔗糖酶活性变化规律不明显,但枸杞生育期前后各年限处理表层土壤(0~10 cm)蔗糖酶活性均明显高于 20~40 cm 土层土壤。

2.3 不同利用年限对土壤酶活性空间分布的影响

滴灌条件下,灌溉水以点源扩散的形式自滴头下方四周土壤扩散,随着灌水时间的延长,滴头下方的湿润形状逐渐由单个椭圆形向平行于滴灌带的条状过渡[15],盐分、养分随着水分运沉降构成滴灌条件下独特的土壤环境分布,必然对土壤酶活性空间分布有一定的影响。

枸杞生育期前,3 种种植年限剖面土壤碱性磷酸酶活性均值分别为 1.3、8.7 和 14.8 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$;枸杞生育期结束时,均值分别为 3.5、12.3 和 14.5 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$,与生育期前相比,1 年及 2 年处理土壤碱性磷酸酶活性分别提高了 168.6% 和 40.9%,而种植 3 年处理酶活性降低了 2.0%。一方面,剖面土壤碱性磷酸酶活性随着种植年限增加而增大,另一方面,作物生育期内酶活性的增长随着种植年限的增加而减小,在咸水滴灌种植 3 年后土壤碱性磷酸酶活性相对稳定(图 3)。

土壤脲酶活性在枸杞生育期前后 3 种年限剖面均值分别为 0.7、1.7 和 2.8 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 和 1.5、3.6 和 4.45 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$,分别提高了 98.6%、108.8% 和 58.3%,经过 3 年种植后脲酶活性仍在进一步增加。土壤蔗糖酶活性剖面均值在枸杞生育期前为 17.2、134.2 和 172.6 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$,生育期结束时,分别为 52.8、183.5 和 158.1 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$,种植 1 年和 2 年处理分别提高了 206.6%、36.8%,而种植 3 年处理土壤蔗糖酶活性降低了 8.4%,即随着覆膜滴灌年限的增加,枸杞生育期内土壤蔗糖酶活性趋于稳定。

页 811: [5] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-12 18:22:00
-----------------	----------	---------------------

行距: 固定值 12 磅

页 811: [6] 删除的内容	xuxiaoyu	2010-10-05 16:30:00
------------------	----------	---------------------

距滴头水平距离 (cm)

页 811: [7] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-12 18:22:00
-----------------	----------	---------------------

段落间距段前: 6 磅, 行距: 固定值 12 磅

页 811: [8] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-12 18:22:00
-----------------	----------	---------------------

行距: 固定值 12 磅

页 811: [9] 删除的内容	xuxiaoyu	2010-09-12 18:18:00
------------------	----------	---------------------

2.4 不同覆膜滴灌年限土壤酶活性与土壤环境因子之间的相关关系

影响土壤酶活性的土壤环境因子很多, 本文旨在研究咸水覆膜滴灌条件下, 盐碱土壤环境改变过程中土壤酶活性与盐碱土壤主要环境因子之间的相关性及其变化, 因此, 选用土壤含水率代表土壤物理^[16], 土壤盐度^[17]、碱度和酸碱度^[18]代表土壤化学, 选用速效 N、速效 P 和速效 K 代表土壤养分^[19]。

2.4.1 相关分析 土壤酶活性与土壤环境各因子之间相关系数如表 3 所示, 在种植 1 年处理中, 由于长期撂荒退化的影响, 土壤贫瘠、酶活性低, 与未进行覆膜滴灌的对照土壤相似, 土壤酶活性和表征土壤环境因素的各个因子之间相关关系显著性较小或不显著。随着覆膜滴灌年限的增加, 土壤酶活性与土壤环境各因素之间关系逐渐紧密, 覆膜滴灌灌溉 2 年后, 土壤碱性磷酸酶和土壤脲酶活性与 EC、SAR、速效 P 和速效 K 呈极显著相关, 与速效 N 显著相关; 土壤蔗糖酶活性与土壤含水率、EC、速效 P 和速效 K 表现为显著相关。经过 3 年覆膜滴灌灌溉后, 土壤碱性磷酸酶活性与土壤含水率、pH 呈显著相关, 与 EC、SAR 及土壤速效养分呈极显著相关; 土壤脲酶活性与 EC、SAR 显著相关, 与土壤速效养分极显著相关; 土壤蔗糖酶活性与土壤速效养分呈极显著相关。由此可见, 在覆膜滴灌条件下, 盐碱土土壤环境随着灌溉年限逐步得到改善, 向良田土壤环境方向发展。另一方面, 随着土壤酶活性与土壤环境因素之间相关性的逐步提高, 可以将土壤酶活性作为盐碱土土壤环境改善的一个指标用于衡量盐碱土壤的改善程度。

页 811: [10] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-12 18:21:00
------------------	----------	---------------------

行距: 固定值 12 磅

页 811: [11] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-12 18:21:00
------------------	----------	---------------------

行距: 固定值 12 磅

页 811: [12] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-12 18:21:00
------------------	----------	---------------------

行距: 固定值 12 磅

页 811: [13] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-12 18:21:00
行距: 固定值 12 磅		
页 811: [14] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-12 18:21:00
行距: 固定值 12 磅		
页 811: [15] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 16:41:00
行距: 固定值 2 磅		
页 812: [16] 删除的内容	xuxiaoyu	2010-10-05 16:42:00

2.4.2 通径分析 生产实践中, 仅知道土壤酶活性与土壤环境各因素的相关性显著与否还不能用于指导实践, 因为在多个变量反应系统中任意两个变量的线性关系都会受到其他变量的影响, 因此需要通过通径分析探求两个变量之间真实的线性相关关系, 从而找出影响土壤酶活性的主要因素, 为覆膜滴灌改良盐碱土壤提出针对性的措施。

页 813: [17] 删除的内容	xuxiaoyu	2010-10-05 16:40:00
-------------------	----------	---------------------

直接通径系数反应了土壤环境因子对土壤酶活性的直接影响, 而间接通径系数是指土壤环境因子对土壤酶活性产生的间接影响程度, 更具有客观性, 更具有真实表现力。表 4 是 3 年处理土壤主要环境因子对土壤酶活性的通径系数, 从表中可以看出土壤环境因子对土壤碱性磷酸酶活性的直接影响力排序依次为速效 K>速效 N>SAR>EC>速效 P>pH>土壤含水率, 对脲酶活性影响力排序为速效 P>速效 K>SAR>速效 N>pH>EC>土壤含水率, 对蔗糖酶活性影响力排序为速效 N>速效 K>SAR>pH>土壤含水率>速效 P>EC; 而土壤环境因子对 3 种酶活性的间接影响排序分别为速效 K>速效 N>SAR>EC>速效 P>pH>土壤含水率, 速效 P>速效 K>速效 N>SAR>EC>pH>土壤含水率, 速效 N>速效 P>速效 K>SAR>pH>EC>土壤含水率。可见影响土壤酶活性的主要土壤环境因子是土壤养分(正相关), 其次是土壤化学(负相关), 因此在以后的灌溉实践中应更为合理科学地进行水肥管理, 同时加强对土壤洗盐排盐将有利于土壤酶活性的提高, 改善作物生长环境, 达到盐碱土改良的效果。

3 结论与讨论

土壤中的酶来源于土壤微生物的活动、植物根系分泌物和动植物残体的腐解, 其中高等植物的根系被一些学者认为是土壤酶活性的主要来源, 因为一方面, 根系的纤细顶端在其整个生命过程中不断地往土壤中分泌出酶, 死后则将其酶器富集在土壤里^[20]; 另一方面, 在植物生长过程中, 植物根系分泌物含各种无机离子、低分子量糖、多种氨基酸和有机酸, 为根基微