

阿拉尔垦区土壤理化因子与酶活性的通径分析

吴雪¹, 贡璐^{1,2}, 冉启洋^{1,2}, 解丽娜¹, 朱美玲¹

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 教育部 绿洲生态重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘要:土壤酶活性可以反映土壤生物化学过程的方向和强度。以新疆塔里木河上游阿拉尔垦区作为研究区域, 选择 8 a 棉田、30 a 棉田、人工林、天然林、荒草地、撂荒地及盐碱地等不同土地利用方式的样地为研究对象, 综合考虑土壤理化和酶活性指标, 对这两者的相关性进行深入探讨。结果表明: 酶活性的较高值出现在绿洲内部的人工林、天然林和 8 a 棉田, 较低值出现在盐碱地和荒草地。由通径分析及决定系数可知, 全氮是影响该地区酶活性的主导因子; 速效磷对脲酶和转化酶存在显著的直接正效应, 是影响脲酶和转化酶活性的主导因子; 速效钾是影响过氧化氢酶和转化酶活性的重要因素。与简单相关或多元回归分析方法相比, 通径分析能对土壤理化性质和土壤酶之间的关系进行更客观、全面地解释。

关键词:土壤生态学; 土壤理化性质; 通径分析; 土壤酶; 塔里木河上游

中图分类号: S154.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)03-0048-07

Path Analysis of Soil Physicochemical Properties and Enzymatic Activities in the Aler Reclamation Area

WU Xue¹, GONG Lu^{1,2}, RAN Qi-yang^{1,2}, XIE Li-na¹, ZHU Mei-ling¹

(1. College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University,

Urumqi 830046, China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi 830046, China)

Abstract: Soil enzyme activity can reflect the direction and strength of soil biochemical processes. The Aler reclamation area of upper reaches of Tarim River was selected as the study area. We chose sample plots of different land use type as the research sites including 8-year cotton field, 30-year cotton field, forest plantation, natural forest, grassland, abandoned land, and saline-alkali land, soil physicochemical property and the enzyme activity indices were considered, and the correlations between the soil physicochemical property and the enzyme activity of the Aler reclamation area were further discussed. The results showed that the enzymatic activities were higher in forest plantation, natural forest and 8-year cotton field while lower in saline-alkali land and abandoned land. Path analysis and determination coefficient showed that total nitrogen was the dominant factor affecting the soil enzyme activity in the region. The available P directly influences urease and invertase activities, and the available K was the main factor affecting catalase and invertase activities. Compared with simple correlation and multiple regression analysis method, path analysis could more objectively and comprehensively explain the relationships of soil enzyme activities and soil physicochemical properties.

Key words: soil ecology; soil physical and chemical properties; path analysis; soil enzyme; upper reaches of the Tarim River

土壤作为一种重要的自然资源可以为人类生产食物, 并维持地球上的生态系统; 为植物和微生物提供水分和营养来源, 也是所有陆地生态系统的基底和基础, 生态系统中的很多重要过程都是由土壤代谢完

成的^[1]。土壤代谢的基础是土壤酶催化反应, 它参与土壤中一切复杂的生物化学过程, 在土壤乃至整个陆地生态系统中发挥着重要的作用^[2-4]。土壤酶可以活化土壤中的含氮、含磷等化合物, 对提高土壤有效养

分质量分数、改善土壤质量状况具有积极作用^[5-7];同时土壤养分含量、理化性质在很大程度上影响着土壤酶活性^[8-12]。因而深入研究土壤酶活性与理化性质之间的复杂关系是至关重要的。长期以来,土壤研究工作主要集中在土壤酶活性^[13-14],酶活性对土壤质量的影响^[7,12]以及植被与酶活性关系^[15-17]等方面,而较少涉及土壤理化因子对土壤酶活性的影响。

本研究以新疆塔里木河上游阿拉尔垦区为例,选择 8 a 棉田、30 a 棉田、人工林、天然林、荒草地、撂荒地及盐碱地等不同土地利用方式的样地为研究对象,分析在不同土地利用方式下,土壤酶活性及理化指标的分布规律,并尝试采用通径分析方法定量解释土壤酶活性与理化性质之间的复杂相关关系。以期进一步解释土壤养分与土壤酶之间的复杂关系,为该地区农业土地规划和生态环境保护,土壤环境的改善及可持续利用提供理论依据和技术支撑。

1 实验材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于阿克苏河与和田河、叶尔羌河三河交汇之处的塔里木河上游,地处天山中段南麓,塔克拉玛干沙漠北缘。地理坐标为东经 80°30′—81°58′,北纬 40°22′—40°57′,沿河岸及冲沟两侧略有抬升,平均海拔 1 012 m。该地区地处欧亚大陆腹地,远离海洋,四周高山环绕,属典型的暖温带极端大陆性干旱荒漠气候,降水稀少、蒸发强烈,温差大,日照时间长,光热资源丰富。年均气温 10.6~11.5℃,日照时数在 3 000 h 左右,无霜期 220 d,多年平均降水量为 17.4~42.8 mm,蒸发量 1 125~1 600 mm。该地区属于典型的荒漠—绿洲型生态系统,土壤形成比较简单,除风沙土外,主要为水成型土壤,土壤母质以棕漠土为主。自 20 世纪 50 年代以来,随着人类活动的不断加剧和水资源的无序开发利用,绿洲生态系统严重受损,农业生产受到极大威胁,使该区域成为我国西部干旱区水资源利用与生态环境问题最为突出的地区之一^[18]。

1.2 样地设置与取样

以阿拉尔垦区农一师十二团为样区。选取 5 km×5 km 的典型样地,区内农田以棉花种植为主,人工林地主要树种为灰杨,同时分布着大量的原生胡杨林和荒漠植被。于 2011 年 7 月在样区内选择同一海拔高度、地理位置相近、土壤性质均一的 7 种土地利用类型,即 8 a 棉田(8CF)、30 a 棉田(30CF)、人工林(PF)天然林(NF)、荒草地(GL)、撂荒地(AL)及盐碱地(SAL)为研究样地,每种土地利用类型分别选取 5

个典型样方,每个样方大小为 5 m×5 m。采集各样方中心表层土样(0—20 cm),设置 3 次重复,将 3 次重复的土样去除植物根系和石块,充分混匀并用四分法取 1 kg,混匀风干研磨过筛以供测定。样区内部农田采用同一耕作方式,灌溉与施肥由当地政府统一管理,灌溉方式为滴灌,前次灌溉时间为 2008 年 7 月上旬。棉田施肥主要包括尿素、磷酸二胺、硫酸钾及复合肥等。

1.3 土壤理化因子及土壤酶活性的测定

共选取 12 个土壤指标,其中土壤理化性质指标为土壤含水量(x_1)、土壤容重(x_2)、pH 值(x_3)、土壤有机质(x_4)、全氮(x_5)、速效磷(x_6)和速效钾(x_7)7 个指标,具体实验方法为:土壤含水量采用烘干法;土壤容重采用环刀法;pH 值采用电位法;土壤有机质采用重铬酸钾滴定法;全氮采用半微量凯氏法;速效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法;速效钾采用醋酸铵浸提—火焰光度计法。土壤酶活性测定指标包括过氧化氢酶(y_1)、多酚氧化酶(y_2)、脲酶(y_3)、转化酶(y_4)和磷酸酶(y_5),具体方法为:过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法;多酚氧化酶采用邻苯三酚比色法;脲酶采用苯酚钠比色法;转化酶活性采用硫代硫酸钠滴定法;碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法,具体试验方法见文献^[19-20]。对每个土样所测指标进行 3 次平行测定,结果取其平均值。

1.4 数据处理

采用 SPSS 17.0 软件进行数据统计分析,用单因素方差分析进行不同土地利用方式下土壤酶活性和理化指标的差异性分析,对数据进行标准化后建立土壤酶活性与理化因子的多元线性回归方程并完成显著性检验,在显著性检验成功的基础上运用通径分析方法^[21-22]计算理化因子对土壤酶活性的直接、间接通径系数和决定系数。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下土壤酶活性及理化因子

不同土地利用方式下的土壤理化性质和酶活性存在不同程度的差异(表 1)。不同土地利用方式下,土壤含水量变化范围较大,差异性显著,其中人工林和天然林的地表覆被较大,保水作用明显,土壤水分含量最高,分别可达(34.30±3.98),(35.40±3.30)%,其次为 8 a 棉田、30 a 棉田和撂荒地,而荒草地和盐碱地水分含量较低;土壤容重反映了土壤孔隙度的大小即土壤的稀松程度,30 a 棉田、撂荒地、荒草地和盐碱地的土壤容重实测值均相对较大,无显著

性差异,人工林与天然林地的土壤容重相对较低,分别为(1.06±0.11),(1.19±0.09) g/cm³;各土地利用类型的土壤 pH 值均达 8.0 以上,偏碱性。8 a 棉田和 30 a 棉田的 pH 值较低,分别为(8.15±0.17),(8.06±0.05),显著低于其他土地利用类型,而人工林、天然林、撂荒地、荒草地和盐碱地土壤 pH 值相对较高;不同土地利用类型的土壤有机质差异较大,分

为明显的 3 个等级,即天然林和人工林土壤有机质含量最高,分别为(14.31±2.46),(14.65±3.28) g/kg,其次为 8 a 棉田,30 a 棉田、撂荒地、荒草地和盐碱地土壤有机质含量均较小;全氮、速效磷、速效钾的变化规律存在一定的相似性,均为天然林和人工林含量最高,其次为 8 a 棉田和 30 a 棉田,而撂荒地、荒草地和盐碱地含量最低。

表 1 不同土地利用方式下的土壤理化因子与土壤酶活性

指标	8CF	30CF	PF	NF	GL	AL	SAL
土壤水分/%	23.60b±2.53	20.62bc±1.98	34.30a±3.98	35.40a±3.30	15.36d±1.06	19.14c±3.21	10.36e±2.22
容重/(g·cm ⁻³)	1.27b±0.03	1.33ab±0.03	1.06c±0.11	1.19b±0.09	1.36a±0.04	1.38a±0.06	1.40a±0.05
pH 值	8.15c±0.17	8.06c±0.05	8.75a±0.11	8.58b±0.21	8.56b±0.06	8.58b±0.06	8.66ab±0.09
有机质/(g·kg ⁻¹)	7.73b±0.92	2.79c±0.35	14.31a±2.46	14.65a±3.28	2.85c±0.11	1.31c±0.62	1.24c±0.58
全氮/(g·kg ⁻¹)	398.82b±16.04	290.64c±26.67	481.42a±20.29	484.18a±25.80	279.46cd±21.77	263.04d±14.96	233.94e±12.74
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	27.40c±1.57	27.66bc±1.75	32.30a±2.99	29.96ab±2.03	4.32e±1.43	15.64d±2.43	4.26e±0.66
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	153.30c±8.74	152.70c±4.37	235.66b±7.53	245.62a±11.86	133.34d±6.30	139.08d±4.25	132.50d±4.74
过氧化氢酶/(ml·g ⁻¹)	12.75a±0.49	12.61a±0.72	13.19a±2.38	10.68b±2.07	4.60c±0.89	3.77cd±0.86	2.20d±0.86
多酚氧化酶/(mg·g ⁻¹)	0.97b±0.09	0.56c±0.13	1.34a±0.15	1.39a±0.08	0.44cd±0.03	0.36de±0.04	0.26e±0.06
脲酶/(mg·g ⁻¹)	0.39c±0.01	0.45b±0.03	0.56a±0.05	0.43bc±0.05	0.15e±0.00	0.22d±0.04	0.13e±0.01
转化酶/(ml·g ⁻¹)	3.64b±0.40	3.22c±0.16	4.08a±0.35	3.94ab±0.37	0.67d±0.06	0.61d±0.09	0.43d±0.06
磷酸酶/(mg·g ⁻¹)	0.20b±0.01	0.15c±0.01	0.33a±0.05	0.35a±0.04	0.10d±0.01	0.09de±0.02	0.07e±0.01

不同土地利用方式下的土壤酶活性差异明显。过氧化氢酶和多酚氧化酶表现为相似的分布规律,其在农田和林地中的含量明显高于荒草地和撂荒地,其中人工林的过氧化氢酶活性最高为(13.19±2.38) ml/g,天然林的多酚氧化酶活性最高,为(1.39±0.08) mg /g;土壤脲酶活性可表征土壤氮素情况,但其分布规律与全氮并不一致,人工林与 30 a 棉田脲酶活性较高,分别为(0.56±0.05) mg/g 和(0.45±0.03) mg/g;转化酶可表征土壤的熟化程度和肥力水平,林地的转化酶活性显著高于其他各类,人工林为(4.08±0.35) ml/g,天然林为(3.94±0.37) ml/g。碱性磷酸酶能够促进有机磷化合物的水解,表征土壤磷素状况,分布规律与转化酶类似,都是林地及棉田的活性显著高于其他各类,盐碱地仅为(0.07±0.01) mg/g。

2.2 不同土地利用方式下土壤酶活性及理化因子间的通径分析

2.2.1 土壤酶活性和土壤理化性质典型相关分析

将 7 种土壤理化因子(土壤含水量(x_1))、土壤容重(x_2)、pH 值(x_3)、土壤有机质(x_4)、全氮(x_5)、速效磷(x_6)和速效钾(x_7))与 5 种酶活性(过氧化氢酶(y_1))、多酚氧化酶酶(y_2)、脲酶(y_3)、转化酶(y_4)和磷酸酶(y_5))进行典型相关分析(表 2),结果发现,土壤水分、土壤容重、pH 值、有机质、全氮、速效磷和速效钾与土壤酶活性之间均表现为显著正相关关系($P<$

0.01)。用典型相关分析得出的土壤酶活性与土壤理化性质之间的关系较为单一,结论简单,为了能更加深入和清晰地掌握土壤中各理化性质对土壤酶活性的影响,对其进行通径分析。

表 2 土壤酶活性与土壤理化因子的相关系数

项目	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
x_1	0.823**	0.913**	0.872**	0.815**	0.935**
x_2	0.803**	0.753**	0.794**	0.797**	0.707**
x_3	0.794**	0.726**	0.787**	0.756**	0.684**
x_4	0.794**	0.946**	0.843**	0.791**	0.910**
x_5	0.843**	0.973**	0.870**	0.845**	0.938**
x_6	0.928**	0.828**	0.944**	0.936**	0.810**
x_7	0.717**	0.905**	0.798**	0.758**	0.932**

注: * 表示 0.05 水平显著, * * 表示 0.01 水平显著;相关系数为 Pearson 相关系数; $n=5$ 。

2.2.2 直接和间接通径系数 将土壤酶与土壤理化因子的实测值数据做标准化处理,并逐步多元回归分析,得到标准多元回归方程(表 3)。表 3 表明,过氧化氢酶(y_1)、多酚氧化酶酶(y_2)、脲酶(y_3)、转化酶(y_4)和磷酸酶(y_5)活性与土壤理化性质的多元线性回归方程均达到显著性水平($P<0.01$),自变量 $x_1\sim x_7$ 可以分别解释 90.7%,96.5%,94.1%,93.9%,94.4%的 $y_1\sim y_5$ 变化,误差分别为 9.3%,3.5%,5.9%,6.1%,5.6%。回归方程中的系数即为直接通径系数,它乘以各因子之间的相关系数(表 2)就得到间接通径系数,结果见表 4。

表 3 不同土壤酶关于土壤理化因子的多元线性回归分析

回归方程		F 值	P 值	R ²
$y_1=0.1945x_1+0.1613x_2+0.1225x_3+0.1194x_4+0.4667x_5+0.2080x_6-0.3168x_7$		37.60	<0.01	0.907
$y_2=-0.053x_1+0.0731x_2-0.0701x_3+0.2192x_4+0.6024x_5+0.1495x_6+0.1016x_7$		105.2	<0.01	0.965
$y_3=0.1102x_1+0.0371x_2-0.2204x_3-0.0133x_4+0.2366x_5+0.8220x_6+0.0227x_7$		61.18	<0.01	0.941
$y_4=-0.1632x_1+0.1535x_2-0.4018x_3-0.2425x_4+0.4846x_5+1.0084x_6+0.1209x_7$		59.66	<0.01	0.939
$y_5=0.2528x_1+0.0109x_2-0.1775x_3-0.0733x_4+0.3420x_5+0.2603x_6+0.3820x_7$		64.81	<0.01	0.944

表 4 土壤酶活性与土壤理化因子的通径系数

因变量	自变量	通径系数							总和
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	
过氧化氢酶	x_1	0.1945	0.1197	0.0892	0.1068	0.4288	0.1691	-0.2850	0.6286
	x_2	0.1444	0.1613	0.1028	0.0812	0.3414	0.1724	-0.2005	0.6417
	x_3	0.1417	0.1354	0.1225	0.0795	0.3347	0.1824	-0.2020	0.6717
	x_4	0.1740	0.1097	0.0815	0.1194	0.4365	0.1607	-0.2875	0.6749
	x_5	0.1787	0.1180	0.0878	0.1117	0.4667	0.1657	-0.2854	0.3765
	x_6	0.1582	0.1337	0.1074	0.0923	0.3719	0.2080	-0.2283	0.6352
	x_7	0.1749	0.1021	0.0781	0.1083	0.4205	0.1499	-0.3168	1.0338
多酚氧化酶	x_1	-0.053	0.054	-0.051	0.1961	0.5535	0.1216	0.0914	0.9656
	x_2	-0.0393	0.0731	-0.0589	0.1491	0.4407	0.1239	0.0643	0.6798
	x_3	-0.0386	0.0613	-0.0701	0.1460	0.4321	0.1311	0.0648	0.7967
	x_4	-0.0474	0.0497	-0.0467	0.2192	0.5635	0.1155	0.0922	0.7268
	x_5	-0.0487	0.0534	-0.0503	0.2050	0.6024	0.1191	0.0915	0.37
	x_6	-0.0431	0.0606	-0.0615	0.1694	0.4801	0.1495	0.0732	0.6787
	x_7	-0.0477	0.0462	-0.0447	0.1989	0.5428	0.1077	0.1016	0.8032
脲酶	x_1	0.1102	0.0276	-0.1605	-0.0119	0.2174	0.6686	0.0204	0.7616
	x_2	0.0818	0.0371	-0.1849	-0.0090	0.1731	0.6814	0.0143	0.7567
	x_3	0.0803	0.0312	-0.2204	-0.0088	0.1697	0.7209	0.0145	1.0078
	x_4	0.0986	0.0253	-0.1467	-0.0133	0.2213	0.6352	0.0206	0.8543
	x_5	0.1012	0.0272	-0.1580	-0.0124	0.2366	0.6551	0.0204	0.6335
	x_6	0.0896	0.0308	-0.1933	-0.0103	0.1886	0.8220	0.0163	0.1217
	x_7	0.0991	0.0235	-0.1405	-0.0120	0.2132	0.5924	0.0227	0.7757
转化酶	x_1	-0.1632	0.1139	-0.2927	-0.2170	0.4453	0.8202	0.1087	0.9784
	x_2	-0.1211	0.1535	-0.3372	-0.165	0.3545	0.8360	0.0765	0.6437
	x_3	-0.1189	0.1288	-0.4018	-0.1615	0.3476	0.8844	0.0771	1.1575
	x_4	-0.1460	0.1044	-0.2675	-0.2425	0.4533	0.7793	0.1097	1.0332
	x_5	-0.1499	0.1123	-0.2881	-0.2268	0.4846	0.8037	0.1089	0.3601
	x_6	-0.1327	0.1272	-0.3523	-0.1874	0.3862	1.0084	0.0871	-0.0719
	x_7	-0.1468	0.0971	-0.2561	-0.2201	0.4366	0.6749	0.1209	0.5856
磷酸酶	x_1	0.2528	0.0081	-0.1293	-0.0656	0.3142	0.2118	0.3436	0.6828
	x_2	0.1877	0.0109	-0.1490	-0.0499	0.2501	0.2158	0.2417	0.6964
	x_3	0.1842	0.0091	-0.1775	-0.0488	0.2453	0.2283	0.2435	0.8616
	x_4	0.2262	0.0074	-0.1182	-0.0733	0.3198	0.2012	0.3466	0.9830
	x_5	0.2323	0.0079	-0.1273	-0.0686	0.3420	0.2075	0.3441	0.5959
	x_6	0.2056	0.0090	-0.1557	-0.0567	0.2725	0.2603	0.2753	0.5500
	x_7	0.2274	0.0069	-0.1132	-0.0666	0.3081	0.1876	0.3820	0.5502

注:划横线的数据为直接通径系数,其它为间接通径系数。

全氮、速效钾对土壤过氧化氢酶活性的直径通径系数较大,分别为 0.466 7,-0.316 8,二者对过氧化氢酶活性分别有较强的直接正效应和直接负效应,但全氮通过影响其他土壤因子而得到的间接通径系数较小;土壤含水量、土壤容重、pH 值、土壤有机质、速

效磷对过氧化氢酶活性的直接通径系数较小,但通过影响其他因子而得到的间接通径系数均较大。

全氮、有机质对多酚氧化酶活性的直接影响相较于其他土壤因子较显著,直接通径系数分别为 0.602 4,0.219 2,表现为对多酚氧化酶活性的影响有强烈的正

效应。土壤含水量、土壤容重、pH 值、速效磷、速效钾等理化因子均对多酚氧化酶活性的直接影响较小,其主要通过影响全氮而影响多酚氧化酶活性,与多酚氧化酶活性之间亦存在较大的相关性。

土壤理化因子对脲酶活性的直接作用系数大小顺序为速效磷、全氮、pH 值、土壤含水量、土壤容重、速效钾、土壤有机质。速效磷对脲酶活性的直接通径系数最大,但是通过对其他土壤因子间接影响而得到的通径系数最小,表现为对脲酶活性有强烈的正效应。全氮、pH 值与脲酶活性之间的直接通径系数较小,但大于其他土壤理化因子。土壤含水量、土壤容重、速效钾等理化因子对脲酶活性直接通径系数较

小,但通过其他因子作用于脲酶活性的影响较大。土壤有机质对脲酶活性的直接通径系数较小,但通过其他因子对脲酶活性的间接通径系数较大。速效磷对土壤转化酶活性有较大的直接正效应,直接通径系数为 1.008 4,但通过对其他土壤因子对转化酶活性的间接影响较小,与转化酶之间不存在良好的相关性。pH 值、有机质和土壤含水量与转化酶之间存在较小的直接通径系数,但间接通径系数较大,相关性显著。速效钾与磷酸酶活性的直接通径系数最大,为 0.382 0,间接通径系数相对较小;pH 值和有机质与磷酸酶活性之间存在较小的直接通径系数,但间接通径系数较大,相关性显著。

表 5 各土壤理化性质通径分析的决定系数

因变量	D_{ij}	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
过氧化氢酶	x_1	0.04	0.02	0.00	0.02	0.08	0.03	-0.06
	x_2		0.03	0.02	0.01	0.06	0.03	-0.03
	x_3			0.02	0.01	0.04	0.02	-0.02
	x_4				0.01	0.05	0.02	-0.03
	x_5					0.22	0.08	0.13
	x_6						0.04	-0.05
	x_7							0.10
多酚氧化酶	x_1	0.00	-0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.01	-0.00
	x_2		0.01	-0.00	0.01	0.03	0.01	0.00
	x_3			0.00	-0.01	-0.03	-0.01	-0.00
	x_4				0.05	0.12	0.03	0.02
	x_5					0.36	0.07	0.06
	x_6						0.02	0.01
	x_7							0.01
脲酶	x_1	0.01	0.00	-0.02	-0.00	0.02	0.07	0.00
	x_2		0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.03	0.00
	x_3			0.05	0.00	-0.04	-0.16	-0.00
	x_4				0.00	-0.00	-0.00	-0.00
	x_5					0.06	0.16	0.00
	x_6						0.68	0.01
	x_7							0.00
转化酶	x_1	0.03	-0.02	0.05	0.04	-0.07	-0.13	-0.02
	x_2		0.02	-0.05	-0.03	0.05	0.13	0.01
	x_3			0.16	0.06	-0.14	-0.36	-0.03
	x_4				0.60	-0.11	-0.19	-0.03
	x_5					0.23	0.39	0.05
	x_6						1.02	0.09
	x_7							0.01
磷酸酶	x_1	0.06	0.00	-0.03	-0.02	0.08	0.05	0.09
	x_2		0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00
	x_3			0.03	0.01	-0.04	-0.04	-0.04
	x_4				0.01	-0.02	-0.01	-0.03
	x_5					0.12	0.07	0.12
	x_6						0.07	0.07
	x_7							0.15

从决定系数计算结果(表5)可以看出,任意两种土壤理化因子对土壤酶的共同作用均比较小,因此影响土壤酶活性的因子相对单一。全氮、速效钾对过氧化氢酶活性的决定系数分别为0.22,0.10,共同作用系数为0.13,相对较大且为正值,说明对土壤中过氧化氢酶活性起决定作用的理化因子是全氮、速效钾。全氮则能在更大程度上决定土壤多酚氧化酶活性,决定系数值0.36,是影响多酚氧化酶活性的主导因子;相对于其他理化性质,速效磷对脲酶活性的决定系数相对较高,其决定作用也较大。速效磷对转化酶活性的直接通径系数较大,因而其对转化酶活性的决定系数值(1.02)相对其它理化因子较大,对转化酶活性起着决定性作用,同时全氮对转化酶活性的决定系数也较大。磷酸酶活性主要由速效钾决定,同时全氮对磷酸酶活性的决定系数相对较大。通过决定系数分析可知,全氮是影响研究区土壤酶活性变化的主导因素,速效磷和速效钾对该地区土壤酶活性亦有较大影响,而其它因子间的决定程度相对较小,变化不明显。

3 结论与讨论

不同土地利用方式下,地面覆被的差异及人为干扰的强度不同使得土壤水分、养分等因子在土壤中的分布规律不同^[23],进而会对土壤养分和土壤酶活性及其相关性产生影响。对研究区不同土地利用方式下的土壤理化因子和酶活性的分析表明,土壤理化性质及酶活性指标在不同的土地利用方式下存在一定的空间差异性。绿洲内部人为开发强度较大,土地覆盖较高,植物残体在土壤表层累积,腐质化作用明显^[24],因而其土壤理化和酶活性指标更优于撂荒地和盐碱地,土壤含水量较高,全氮、速效钾、速效磷等养分更丰富,pH值相对较低,容重较小,土壤酶活性较大。

通径分析表明,不同理化因子对酶活性的影响有所差异。(1)土壤全氮是影响该地区酶活性的主导因子,对酶活性存在较大的直接正效应^[25-26]。侯彦会等^[3]发现全氮对脲酶活性具有显著的直接效应,土壤速效氮、速效磷和速效钾对脲酶活性的直接作用不明显,主要通过全氮对脲酶活性产生间接影响,戴伟和白红英^[12]研究也表明,土壤全氮含量对土壤过氧化氢酶活性及其动力学特征影响最大,这与本研究结论相吻合。(2)速效磷对脲酶和转化酶存在显著的直接正效应,是影响脲酶和转化酶活性的主导因子^[27-28]。速效磷是土壤中被植物、动物、细菌和真菌等吸收的磷组分,而脲酶和转化酶主要来源于细菌、真菌及植物根系的分泌物,因此速效磷含量与过

氧化氢酶活性息息相关,是影响过氧化氢酶活性的关键因子。吴际友等^[29]对长沙市森林土壤酶的研究表明,速效磷对土壤酶活性存在较大的正效应。(3)速效钾是影响过氧化氢酶和转化酶活性的重要因素,这与我国北方农田土壤钾肥长期处于亏缺状态^[30]有关,王群等^[31]对黄河三角洲刺槐林的研究也表明,土壤速效钾与磷酸酶、过氧化物酶之间存在显著相关关系。

与简单相关或多元回归分析方法不同,通径分析能更全面考察各个自变量和因变量之间的直接与间接相关关系,对土壤酶活性与理化性质之间的关系进行更客观,更全面地解释,使二者间的影响过程更加明晰,为科学地指导干旱区绿洲农业生产提供了便利。本研究选取了部分主要的土壤酶活性和理化性质进行研究,对影响酶活性变化的其它因素尚待深入研究。

参考文献:

- [1] 张玉兰,陈利军,张丽莉. 土壤质量的酶学指标研究[J]. 土壤通报,2005,36(4):598-604.
- [2] 漆良华,张旭东,彭镇华,等. 湘西北退化侵蚀地植被恢复区土壤养分、微生物与酶活性的典范相关分析[J]. 林业科学,2008,44(9):1-6.
- [3] 侯彦会,周学辉,焦婷,等. 甘肃永昌县放牧草地土壤脲酶活性与土壤肥力的关系初探[J]. 草业学报,2009,18(4):111-116.
- [4] 万忠梅,宋长春. 三江平原不同类型湿地土壤酶活性及其与营养环境的关系[J]. 水土保持学报,2008,22(5):158-161.
- [5] 吴海燕,金荣德,范作伟,等. 东北黑土区不同耕作方式土壤养分与酶活性的时空变化[J]. 水土保持学报,2009,23(6):154-157.
- [6] 吴楠,张元明. 古尔班通古特沙漠生物土壤结皮影响下的土壤酶分布特征[J]. 中国沙漠,2010,30(5):1128-1135.
- [7] 贡璐,张海峰,吕光辉. 塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价[J]. 生态学报,2011,31(14):4136-4143.
- [8] Taylor J P, Wilson B, Mills M S, et al. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques[J]. Soil Biology & Biochemistry,2002,34(3):387-401.
- [9] Aparicio V, Costa J L. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas[J]. Soil and Tillage Research,2007,96(1/2):155-165.
- [10] Gil-Sotres F, Trasar-Cepeda C, Leirós M C, et al. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties[J]. Soil Biology and Biochemistry,

- 2005, 37(5):877-887.
- [11] 和文祥, 朱铭莪. 陕西土壤脲酶活性与土壤肥力关系分析[J]. 土壤学报, 1997, 34(4):392-398.
- [12] 戴伟, 白红英. 土壤过氧化氢酶活度及其动力学特征与土壤性质的关系[J]. 北京林业大学学报, 1995, 17(1):37-41.
- [13] 吕桂芬, 吴永胜, 李浩荒, 等. 荒漠草原不同退化阶段土壤微生物、土壤养分及酶活性的研究[J]. 中国沙漠, 2010, 30(1):104-109.
- [14] 孙权, 陈茹, 宋乃平, 等. 宁南黄土丘陵区马铃薯连作土壤养分酶活性和微生物区系的演变[J]. 水土保持学报, 2010, 24(6):208-212.
- [15] 刘淑娟, 张伟, 王克林, 等. 桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性[J]. 生态学报, 2011, 31(19):5789-5796.
- [16] 毛志刚, 谷孝鸿, 刘金娥, 等. 盐城海滨湿地盐沼植被及农作物下土壤酶活性特征[J]. 生态学报, 2010, 30(18):5043-5049.
- [17] 金裕华, 汪家社, 李黎光, 等. 武夷山不同海拔典型植被带土壤酶活性特征[J]. 生态学杂志, 2011, 30(9):1955-1961.
- [18] 闫正龙, 王晓国, 高凡, 等. 塔里木河干流上游地区土壤盐渍化时空变化监测分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(10):105-110.
- [19] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [20] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1977.
- [21] 周兆麟, 李毓芝. 数理统计学[M]. 北京: 中国统计出版社, 1986:56-78.
- [22] 明道绪. 通径分析的原理与方法[J]. 农业科学导报, 1986, 1(1):39-43.
- [23] 董莉丽, 郑粉莉. 黄土丘陵区不同土地利用类型下土壤酶活性和养分特征[J]. 生态环境, 2008, 17(5):2050-2058.
- [24] 徐万里, 唐光木, 盛建东, 等. 垦殖对新疆绿洲农田土壤有机碳组分及团聚体稳定性的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(7):1773-1779.
- [25] 左智天, 田昆, 向仕敏, 等. 澜沧江上游不同土地利用类型土壤氮含量与土壤酶活性研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(4):280-285.
- [26] 余娜, 刘济明, 张超, 等. 不同沙生植被土壤酶活性分异特征研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1):78-83.
- [27] 周玮, 周运超, 李进, 等. 喀斯特地区土壤有机碳及其碳转化酶研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(1):84-89.
- [28] 解媛媛, 谷洁, 高华, 等. 微生物菌剂酶制剂化肥不同配比对秸秆还田后土壤酶活性的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2):233-238.
- [29] 吴际友, 叶道碧, 王旭军. 长沙市城郊森林土壤酶活性及其与土壤理化性质的相关性[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(3):97-99.
- [30] 郑宪滨, 张正杨, 邢国强, 等. 追施钾肥对烤烟叶片和土壤钾含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(1):34-37.
- [31] 王群, 夏江宝, 张金池, 等. 黄河三角洲退化刺槐林地不同改造模式下土壤酶活性及养分特征[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4):133-137.

(上接第47页)

- [13] 杨月圆, 王金亮, 杨丙丰. 云南省土地生态敏感性评价[J]. 生态学报, 2008, 28(5):2253-2260.
- [14] 单勇兵, 李志江, 马晓冬. 基于GIS的徐州生态敏感性分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(4):244-247.
- [15] 尹海伟, 徐建刚, 陈昌勇, 等. 基于GIS的吴江东部地区生态敏感性分析[J]. 地理科学, 2006, 26(1):64-69.
- [16] 李阳兵, 邵景安, 王世杰, 等. 基于岩溶生态系统特性的水土流失敏感性评价[J]. 山地学报, 2007, 25(6):671-677.
- [17] Chen Y, Yu J, Shahbaz K, et al. A GIS-Based Sensitivity Analysis of Multi-Criteria Weights [C]. 18th World IMACS/ MODSIM Congress, Cairns, 2009:13-17.
- [18] Chen Y, Yu J, Khan S. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation [J]. Environmental Modelling & Software, 2010, 25(12):1582-1591.
- [19] 杨志峰, 徐俏, 何孟常, 等. 城市生态敏感性分析[J]. 中国环境科学, 2002, 22(4):73-77.
- [20] 赵焕臣. 层次分析法: 一种简易的新决策方法[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [21] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [22] 边馥萍, 杨正方. 城市用地选择的系统分析及程序设计[J]. 城市规划, 1997(2):48-51.