

毛乌素沙地南缘不同耕作措施土壤酶和微生物区系的特征

曹伟鹏¹, 吴发启¹, 雷金银², 赵龙山¹, 云峰¹, 于小玲¹

(1.西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2.宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 宁夏 银川 750002)

摘要:选取了典型的干旱半干旱农牧交错带农田作为研究对象,在连续6年的长期定位试验基础上探究了不同耕作措施下土壤酶和土壤微生物区系的特征,用逐步回归法建立了土壤养分与土壤酶和土壤微生物的最优回归模型。结果表明:(1)0~20 cm 土层中,过氧化氢酶在免耕措施下活性最高;磷酸酶活性秸秆覆盖和免耕措施显著高于翻耕和覆膜措施;脲酶活性秸秆覆盖措施最低;蔗糖酶活性秸秆覆盖措施显著高于其它措施。在20~40 cm 土层中,免耕措施下磷酸酶、脲酶和蔗糖酶的活性较高。(2)剖面上过氧化氢酶活性随土层深度增加在秸秆覆盖措施下呈现逐渐递减,在免耕措施下呈现先增大后减弱的趋势,40 cm 以下土层翻耕措施过氧化氢酶活性较0~40 cm 有所增大;磷酸酶、脲酶、蔗糖酶活性随土层深度增加减弱,免耕和秸秆覆盖措施下酶活性分层明显。(3)0~20 cm 土层微生物数量变化最大,20~40 cm 土层变化较小。在微生物数量差异大的0~20 cm 土层,秸秆覆盖和免耕措施下细菌、真菌、放线菌数量显著高于翻耕和覆膜措施下的菌数。(4)剖面上微生物数量总体上随着土层加深数量减少,其中秸秆覆盖和免耕措施下层次间微生物的数量差异明显。

关键词:耕作措施;土壤微生物;养分;土壤酶

中图分类号: S154.2; S154.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0088-08

毛乌素沙地南缘农牧交错区气候干旱少雨,风大沙多,风蚀危害特别严重,是一个脆弱的自然、经济、社会的复合生态系统^[1]。当地农作物以一年一熟的春玉米和马铃薯为主,农业种植一直采用传统的冬季留茬,每年4月底挖茬翻耕种植,9月底或10月初收获。冬季留茬在一定程度上遏制了冬季农田风蚀的危害,但春季耕作又使疏松干燥的土壤被扰动,再加上大风,农田风蚀危害仍然相当严重^[2-6]。故选择科学的耕作技术是该区实现农业可持续发展的当务之急。

大量的研究表明,保护性耕作是一种“少动土”、“少裸露”即减少耕作又增加地表覆盖度的耕作措施,同时这种措施能保证作物有适宜生长条件,对于改善土壤环境具有多种独特的生态经济作用^[7,8]。耕作方式会影响土壤环境,进而会影响到土壤微生物的数量及组成,而土壤生态系统中许多功能主要是由土壤微生物机制所影响。目前土壤微生物作为土壤质量评价可用的最敏感的生物指标之一,其微小变动都会引起土壤生态系统的多样性变化^[9]。因为土壤微生物对动植物残体的分解、有机物转化、土壤结构形成起着至关重要的功能^[10]。高云超等^[11,12]研究表明,免耕覆盖和免耕措施能够提高表

层土壤活跃微生物量,具有相对稳态的土壤环境和生物类群,且土壤微生物的活跃性主要是受养分因素制约。土壤酶活性作为土壤生物活性的一个重要指标,能在一定程度上反映了土壤养分的动态转化,当土壤管理及耕作方式不同就会造成土壤环境的改变,进而土壤酶活性就呈现出一定的差异。土壤酶已被用于区分许多土壤管理措施,尤其在确定人为扰动对土质的影响方面有着十分重要的意义^[13]。所以有必要对此地区不同耕作措施下土壤的理化性质、土壤酶和微生物区系特征进行探究,同时对这几者之间的关系做相关的分析,以期在此基础上对此地区影响土壤环境的一些因子进行人为的调控。

研究选取靖边县北部典型的风沙地块,进行不同耕作措施的长期试验研究。分析不同耕作措施下0~60 cm 土层的土壤酶和微生物区系的组成及特征,建立土壤酶和微生物区系与养分的相关最优回归方程,以期为该地区寻找一种适宜的耕作措施以及养分调控提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于毛乌素沙地南缘陕西省靖边县杨桥

收稿日期:2010-06-03

基金项目:国家林业部科技项目“08毛乌素沙地植被恢复”(K313020806)

作者简介:曹伟鹏(1986—),男,山西保德人,硕士生,主要从事土地资源利用与管理方面的研究。E-mail:caoweipeng1021@126.com

通讯作者:吴发启(1957—),男,陕西黄陵人,博士生导师,主要从事土壤侵蚀与流域管理研究。E-mail:wufaqi@263.net。

畔乡试验农场。该区属大陆性季风半干旱气候,多年平均降水量 395.4 mm,变率大,62.05%的降水分布在 7~9 月,年平均气温 7.8℃,年日照时数 2 700~2 800 h,全年太阳总辐射量为 32.62 KJ/cm²;无霜期 130 d,干燥度 1.4~1.9,年平均风速 ≥ 5 m/s 的日数年均均为 41.7 d,其中大风(7 m/s 或 8 级风力)日数 15.2 d,主要集中在冬春季节。区内土壤主要为风沙土,作物为一年一熟制,主要种植玉米和马铃薯。区内风蚀是影响农业生产的主要障碍因素。

1.2 试验设计和布局

本试验于 2004 年 4 月开始至今,以春玉米为种植作物,采用完全随机设计,分为 4 个耕作措施:秸秆覆盖、免耕、覆膜、传统翻耕,并设 3 个重复,试验小区的面积均为 200 m²(4.0 m × 50.0 m)。试验布设见表 1。

表 1 春玉米耕作措施设计

Table 1 Experimental design for spring corn cultivation

耕作处理 Tillage treatments	试验方案 Scheme
秸秆覆盖(SM) Stalk-mulching	秋季收获玉米后,秸秆不回收,全部留置于田间,春季不翻耕,不清茬,直接利用免耕机进行种植。Leave the stalk in field after corn harvest, and sow without ploughing or clearing out stuble in the next spring.
免耕留茬直播(NT) No-tillage	冬春季留茬 12~15 cm,不覆盖秸秆,春季不清茬,不翻耕,直接利用免耕机播种。Leave 12~15 cm stuble in field without stalk-mulching in winter and the next spring, and sow without ploughing or clearing out stuble in the next spring.
翻耕覆膜(FM) Film-mulching	冬春季留茬 12~15 cm,不覆盖秸秆,春季播种前深翻 25 cm,利用覆膜播种机直接覆膜播种。Leave 12~15 cm stuble in field without stalk-mulching in winter and the next spring, plough at a depth of 25 cm before sowing in the next spring and then sow with film-mulching.
传统翻耕播种(CT) Conventional tillage	冬春季留茬 12~15 cm,不覆盖秸秆,春季播种前深翻 25 cm,利用播种机直接播种。Leave 12~15 cm stuble in field without stalk-mulching in winter and the next spring, plough at a depth of 25 cm before sowing in the next spring and then sow directly.

每个小区施肥一致,播种时施底肥 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (300 kg/hm²),在春玉米拔节期和抽雄期分别按 300 kg/hm² 和 450 kg/hm² 标准追施 NH_4HCO_3 。用甲胺磷与乙草胺来控制田间虫害及杂草。播种行距 42 cm,株距 22 cm。玉米品种为中单 2 号。

1.3 样品采集

于 2009 年 9 月玉米收获前按“S”型采样法在不同耕作措施田间采样,采样时每个重复选取 5~6 个点,采取 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 混合土壤

样品。用四分法分取部分新鲜土样进行微生物测定,剩余土样风干过筛(1 mm 和 0.15 mm),用于土壤养分及酶活性的测定和分析。

1.4 测定项目与方法

土壤容重采用环刀法测定;土壤水分采用烘干法;有机质、全氮、全磷、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、速效磷、速效钾、阳离子交换量(CEC)按常规方法^[14];细菌、真菌、放线菌测定采用平板涂沫法^[15];过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法;蔗糖酶活性用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 滴定法;脲酶活性用靛酚比色法;磷酸酶用苯磷酸二钠比色法;分别以用 0.1 mol/L KMnO_4 ml/g(25℃, 24 h)、0.1 mol/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ml/g(37℃, 24 h)、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ mg/g(37℃, 24 h)、 P_2O_5 mg/100g(37℃, 2 h)表示^[16]。

2 结果与分析

2.1 土壤酶活性特征

土壤中各种生化反应是受微生物本身的活动及酶的影响,土壤酶主要来自微生物、土壤动物和植物根系分泌物,因此土壤中的酶能直接地反应土壤的生物活性。

过氧化氢酶的活性与土壤肥力因子成正比例,同时过氧化氢酶与土壤微生物数量和活性、植物根系有关,可以表征土壤的生化活性。土壤磷酸酶活性可以直接反应土壤速效磷的供应状况,是评价土壤磷素生物转化方向和强度的重要指标^[16]。李洪文、Coote 等研究表明^[17,18],少耕免耕能提高土壤表层磷酸酶活性。脲酶活性的高低在一定程度上反应了土壤的供氮水平状况^[19]。蔗糖酶的活性强弱可以作为评价土壤熟化程度和肥力的指标^[16]。因此,对不同耕作措施下土壤酶活性的系统研究将有助于对其养分循环进行科学调控。不同耕作措施对土壤酶活性的影响见表 2。

2.1.1 不同耕作措施下相同土层土壤酶活性特征

不同的耕作措施下土壤酶活性存在着一定的差异。在 0~20 cm 表层土壤中,过氧化氢酶的活性在不同措施下的顺序依次为 $\text{FM} > \text{CT} > \text{SM} > \text{NT}$,其中 NT 措施显著低于其他措施;磷酸酶活性由高到低的顺序为 $\text{NT} > \text{SM} > \text{CT} > \text{FM}$,其中 CT 和 FM 与 SM 和 NT 存在极显著的差异;脲酶活性在 SM 措施下最低,其余措施下均很接近;蔗糖酶活性各处理间的差异显著,顺序依次为 $\text{SM} > \text{NT} \approx \text{CT} > \text{FM}$ 。在 20~40 cm 土层中,各措施下过氧化氢酶活性差异不明显,NT 措施下磷酸酶、脲酶和蔗糖酶的活性较高。在 40~60 cm 土层中,各措施下各种酶的活性变化不大。

表 2 不同耕作措施对土壤酶活性的影响

Table 2 Effect of different tillage measures on the activities of enzyme

土层深度 Depth(cm)	处理 Treatments	过氧化氢酶 Catalase (0.1 mol/L K ₂ MnO ₄ ml/g) (25℃, 24 h)	磷酸酶 Phosphatase (0.1 mol/L Na ₂ S ₂ O ₃ ml/g) (37℃, 24 h)	脲酶 Urease (NH ₃ - N mg/g) (37℃, 24 h)	蔗糖酶 Sucrase (P ₂ O ₅ mg/100g) (37℃, 2 h)
0~20	秸秆覆盖(SM)	0.63 bc	5.27 a	0.42 b	5.87 a
	免耕(NT)	0.53 de	5.33 a	0.51 a	4.93 b
	覆膜(FM)	0.67 ab	3.04 c	0.49 a	3.40 c
	翻耕(CT)	0.62 bc	3.75 b	0.52 a	4.73 b
20~40	秸秆覆盖(SM)	0.58 cd	1.92 d	0.30 d	1.40 e
	免耕(NT)	0.62 bc	1.72 de	0.32 d	1.83 d
	覆膜(FM)	0.67 ab	1.55 e	0.40 bc	1.70 de
	翻耕(CT)	0.63 bc	1.90 d	0.38 c	1.43 e
40~60	秸秆覆盖(SM)	0.43 f	0.75 f	0.16 f	0.47 f
	免耕(NT)	0.47 ef	0.63 f	0.14 f	0.53 f
	覆膜(FM)	0.52 de	0.57 f	0.18 f	0.53 f
	翻耕(CT)	0.72 a	0.78 f	0.22 e	0.67 f

注:小写字母表示 5% 水平下差异显著情况。下同。

Note: The lowercase letters indicate significant difference at 5% level. The same as below.

2.1.2 不同耕作措施下土壤剖面中酶活性特征
不同的耕作方式下,除过氧化氢酶外其余 3 种酶活性随着土层深度增加呈现出递减的规律。过氧化氢酶活性随土层深度增加在 SM 措施下呈现逐渐递减,在 NT 措施下呈现先增大后减弱的趋势,在 CT 措施和 FM 措施下 0~20 cm 和 20~40 cm 土层之间活性几乎一致,40 cm 以下土层 CT 措施过氧化氢酶活性较 0~40 cm 的活性有所增大,FM 措施下过氧化氢酶活性较 0~40 cm 的活性有所降低。在 0~40 cm 土层范围内,过氧化氢酶的活性在 NT 措施下层次之间变化明显;磷酸酶在 SM 和 NT 措施下层次之间变化极显著,在 CT 和 FM 措施下层次之间变化较显著;脲酶活性在 NT、CT 的措施下层次之间的变化极显著,SM 和 FM 措施下层次之间变化较前者有所减弱;蔗糖酶的活性 SM 措施下层次之间变化最大,依次为 SM > CT > NT > FM;综合比较,NT 和 SM 措施能提高土壤中的酶活性,在表层 0~20 cm 的酶活性较强且分层明显,CT 和 FM 措施下的酶活性分层不明显,这与 SM、NT 减少对土壤的扰动,使耕层变浅,根系集中在表层以及植物残体积累在表层可提供给微生物生命活动的能量充足有关。

2.2 土壤微生物区系特征

土壤养分转化的过程是在土壤微生物的积极参与下完成的,土壤微生物在土壤形成、肥力演变、植物养分有效化和土壤结构的形成与改良等方面起着必不可少的作用。土壤微生物生物量是土壤有效养

分重要的给源和库存,它的多少反映了土壤同化和矿化能力的大小,是土壤活性大小的标志^[20]。耕作、肥料施用等技术措施均会影响土壤微生物的生物量。不同耕作措施土壤微生物数量的影响见表 3。

2.2.1 不同耕作措施下微生物区系的组成及数量特征
不同耕作措施对不同土层微生物数量的影响:0~20 cm 土层影响最大,20~40 cm 土层影响较小,40~60 cm 土层几乎没有影响。其中,在微生物数量差异大的 0~20 cm 土层,SM 和 NT 措施下各类菌的菌数显著高于 CT 和 FM 措施下的菌数,由高到低细菌数量顺序为:NT > SM > CT > FM,真菌数量顺序为:NT > SM > FM > CT,放线菌的顺序为:SM > NT > CT > FM。3 大菌类中,不论那种耕作措施下细菌占有绝对的优势,属优势种群。真菌的数量最少,这是因为真菌适宜在湿润、营养充足且酸性条件下生存,试验地处于干旱半干旱的风沙区,土壤呈碱性,不适合真菌生长。放线菌在 SM 措施下数量最多,因为放线菌绝大多数是腐生菌,能将动植物的尸体腐烂、消耗光,然后转化成有利于植物生长的营养物质,尤其是含水量低、有机物丰富、呈中性或微碱性的土壤中数量最多。SM 措施下植物残体最多再加上当地干旱条件导致此措施下的放线菌数量较多。在微生物数量差异大的 0~20 cm 土层细菌/真菌(B/F)SM 措施下为 4.4×10^4 ,NT 措施下为 9.6×10^4 ,FM 措施下为 6.9×10^4 ,CT 措施下为 3.3×10^5 ;

表 3 不同耕作措施对土壤微生物数量的影响

Table 3 Effects of different tillage measures on the amount of soil microbes

土层深度 Depth (cm)	处理 Treatments	细菌 Bacteria (10^6 个/g 土)	真菌 Fungia (10^2 个/g 土)	放线菌 Actinomycetes (10^5 个/g 土)	细菌/真菌 B/F	细菌/放线菌 B/A	放线菌/真菌 A/F
0~20	秸秆覆盖(SM)	1055.81 b	242.10 bc	62.02 a	43610	170	256
	免耕(NT)	4435.66 a	463.35 a	31.38 b	95730	1414	68
	覆膜(FM)	208.8 de	30.25 d	11.10 cde	69025	188	367
	翻耕(CT)	542.23 c	16.50 d	27.10 b	328624	200	1642
20~40	秸秆覆盖(SM)	225.44 de	100.17 cd	14.67 cd	22506	154	146
	免耕(NT)	470.27 cd	322.24 ab	20.91 bc	14594	225	65
	覆膜(FM)	129.22 de	10.63 d	58.10 de	121562	22	5466
	翻耕(CT)	252.07 cde	6.52 d	6.89 de	386610	366	1057
40~60	秸秆覆盖(SM)	2.51 e	49.33 d	7.36 de	509	3	149
	免耕(NT)	6.27 e	41.27 d	6.01 de	1519	10	146
	覆膜(FM)	78.39 e	8.39 d	2.50 e	93433	314	298
	翻耕(CT)	69.66 e	2.41 d	4.37 de	289046	159	1813

细菌/放线菌(B/A)SM措施下为 1.7×10^2 , NT措施下为 1.4×10^3 , FM措施下为 1.9×10^2 , CT措施下为 2.0×10^2 ; 放线菌/真菌(A/F)SM措施下为 2.6×10^2 , NT措施下为 68, FM措施下为 3.7×10^2 , CT措施下为 1.6×10^3 ; 20~40 cm 细菌/真菌(B/F)SM措施下为 2.3×10^4 , NT措施下为 1.6×10^4 , FM措施下为 1.2×10^5 , CT措施下为 3.9×10^5 ; 细菌/放线菌(B/A)SM措施下为 1.5×10^2 , NT措施下为 2.3×10^2 , FM措施下为 22, CT措施下为 3.7×10^2 ; 放线菌/真菌(A/F)SM措施下为 1.4×10^2 , NT措施下为 65, FM措施下为 5.5×10^3 , CT措施下为 1.1×10^3 。40~60 cm 细菌/真菌(B/F)SM措施下为 5.1×10^2 , NT措施下为 1.5×10^3 , FM措施下为 9.3×10^4 , CT措施下为 2.9×10^5 ; 细菌/放线菌(B/A)SM措施下为 3, NT措施下为 10, FM措施下为 3.1×10^2 , CT措施下为 1.6×10^2 ; 放线菌/真菌(A/F)SM措施下为 1.5×10^2 , NT措施下为 1.5×10^2 , FM措施下为 3.0×10^2 , CT措施下为 1.8×10^3 。

2.2.2 不同耕作措施下土壤剖面中微生物数量组成及特征 不同措施下同种菌在层次间的分层情况: SM和NT措施下细菌和放线菌各层次间的差异很明显, CT和FM措施下细菌和放线菌在0~20 cm和20~40 cm有一定的差异, 但总体来说差异不明显, 20~40 cm和40~60 cm没有差异。真菌在任何处理下层间差异不明显, 这与试验地的环境不适合真菌生长有关。SM措施下细菌层次间的比例为82:17:1, 真菌层次间的比例为62:26:13, 放线菌层次间的比例为7:1:9; NT措施下细菌层次间的比例为9:1:0, 真菌层次间的比例为56:39:5, 放线菌层

次间的比例为54:36:10; CT措施下细菌层次间的比例为63:29:8, 真菌层次间的比例为65:26:9, 放线菌层次间的比例为71:18:11; FM措施下为50:31:19, 真菌层次间的比例为61:22:17, 放线菌层次间的比例为57:30:13。

2.3 不同耕作措施对土壤养分的影响

2.3.1 不同耕作措施下相同土层养分的差异 从表4可知, 不同耕作措施下养分的差异是明显的, 在耕层0~20 cm, SM措施下有机质(11.92 g/kg)、铵态氮(15.00 mg/kg)、速效钾(124.60 mg/kg)的含量高。NT措施下有机质(13.76 g/kg)、全磷(0.61 g/kg)、全钾(20.11 g/kg)、速效钾(124.60 mg/kg)的含量高。FM措施下除铵态氮(5.77 mg/kg)含量较低外其余养分的含量均较高。CT措施下只有全氮(0.68 g/kg)和硝态氮(7.35 mg/kg)的含量较高。上述结果表明, 与传统的翻耕措施相比, 保护性耕作措施能显著提高土壤的养分含量, 特别是有机质的含量保护耕作措施均高于翻耕措施。20~40 cm 土层, 不同耕作措施下大部分养分的差异不明显, 只有铵态氮含量是SM和NT措施大于CT和FM措施, 速钾含量则相反, 是CT和FM措施下大于SM和NT措施。

2.3.2 相同耕作措施下土层之间养分的变化 由表4可知, 不同耕作措施全效养分(OM、N、P、K)、硝态氮、速效磷在40~60 cm土层的差异不明显, 速效养分铵态氮和速效钾在40~60 cm土层略有差异。所以针对0~40 cm土层比较相同措施下土壤养分的分层情况, 总体来讲SM、NT和FM措施下大部分养分在层次上的差异要大于CT措施层次间的差异, 这与SM和NT不进行土地的翻耕和表层植物残

体的清除以及 FM 措施改变土壤的透气和水分蒸发有关,保护性措施下 0~40 cm 土层范围内变化幅度有机质为 4.18~6.80 g/kg,全氮为 0.10~0.34 g/kg,全磷为 0.1~0.16 g/kg,全钾为 0.45~3.57 g/kg,硝态氮为 1.4~3.08 mg/kg,铵态氮为 0.68~4.81 mg/kg,速效磷为 0.93~5.04 mg/kg,速效钾为 25~63.92 mg/kg。翻耕措施下 0~40 cm 土层范围

内变化有机质为 2.52 g/kg,全氮为 0.34 g/kg,全磷为 0.07 g/kg,全钾为 0.62 g/kg,硝态氮为 2.85 mg/kg,铵态氮为 7.05 mg/kg,速效磷为 3.07 mg/kg,速效钾为 14.27 mg/kg。表明保护性耕作措施在一定程度上(除全氮和铵态氮)可以促进养分在耕作层的积累。

表 4 不同耕作措施土壤养分含量

Table 4 Effects of different tillage measures on the soil nutrients

土层深度 Depth (cm)	处理 Treatments	有机质 OM. (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	速效磷 Avail P (mg/kg)	速效钾 Avail K (mg/kg)
0~20	秸秆覆盖(SM)	11.92 ab	0.36 c	0.45 cd	16.09 e	6.67 b	15.00 a	1.86 c	124.60 b
	免耕(NT)	13.76 a	0.61 b	0.61 a	20.11 a	7.11 b	6.15 d	3.96 b	103.06 bc
	覆膜(FM)	10.76 bc	0.68 a	0.56 b	18.92 cd	7.35 ab	11.80 c	3.33 b	89.01 cde
	翻耕(CT)	13.52 a	0.63 ab	0.57 ab	19.38 abc	8.41 a	5.77 de	5.99 a	105.14 bc
20~40	秸秆覆盖(SM)	6.83 ef	0.26 de	0.43 d	19.66 abc	5.27 c	13.08 b	0.93 d	60.68 e
	免耕(NT)	9.58 cd	0.27 d	0.45 cd	19.63 abc	4.93 cd	10.96 c	0.34 d	58.05 e
	覆膜(FM)	8.24 de	0.34 c	0.49 c	19.54 abc	4.50 cd	4.75 f	0.26 d	74.74 cde
	翻耕(CT)	6.72 ef	0.33 c	0.47 cd	19.83 abc	5.33 c	5.09 ef	0.95 cd	80.14 cde
40~60	秸秆覆盖(SM)	4.64 g	0.21 ef	0.27 f	19.17 bcd	2.93 e	5.74 de	0.47 d	93.40 bcd
	免耕(NT)	4.44 g	0.16 f	0.27 f	18.36 d	3.73 de	6.15 d	0.50 d	230.25 a
	覆膜(FM)	7.11 ef	0.22 de	0.34 e	19.91 ab	4.69 cd	4.35 f	1.13 cd	64.42 de
	翻耕(CT)	5.91 fg	0.26 de	0.28 f	19.33 abc	3.93 de	2.94 g	0.52 d	66.75 de

2.4 影响土壤酶活性和微生物区系的因素分析

2.4.1 土壤容重、水分与土壤酶活性和微生物区系相关分析

Dick^[21]等研究表明,容重较大的紧实土壤上,其养分有效性降低的直接原因之一就是土壤微生物数量及其活性的改变。李潮海^[22, 23]等研究,表明紧实的耕层 0~20 cm 土壤显著影响土壤微生物数量、酶活性。土壤湿度也是影响土壤微生物数量、酶活性的重要因子,已经报道表明,土壤水分与微生物量密切相关,且在一定范围内土壤微生物量

随着含水量的增加而增加^[24, 25]。

不同耕作措施下土壤酶和微生物与土壤含水量、容重的相关性见表 5,此阶段不同措施下土壤含水量与各酶类和菌类之间的相关性没有达到显著水平,说明采样时期,水分没有成为制约土壤酶活性和微生物生长的条件,土壤容重与细菌和真菌数量达到了显著负相关,说明容重在当时是制约细菌和真菌的条件。总体上呈现酶类和菌类与土壤含水量呈正相关,容重与各酶类和菌类呈现负相关。

表 5 不同耕作措施下土壤酶和菌类含量与土壤含水量、容重之间的相关系数

Table 5 Correlation coefficients among activities of enzyme, amounts of soil microbes and content of soil water, soil bulk density in the various tillage measures

项目 Items	过氧化氢酶 Catalase	磷酸酶 Phosphatase	脲酶 Urease	蔗糖酶 Sucrase	细菌 Bacteria	真菌 Fungia	放线菌 Actinomyces
土壤质量含水量 Mass water content of soil	-0.040	0.070	0.020	-0.030	0.290	0.190	-0.030
容重 Bulk density	0.130	-0.490	-0.110	-0.430	-0.670*	-0.580*	-0.540

注 Note: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。下同。The same as below.

2.4.2 土壤酶活性、土壤微生物数量与土壤养分的相关分析

不同耕作措施条件下土壤酶和菌类含量与土壤养分含量之间的相关系数见表 6。酶类中

过氧化氢酶与土壤养分的相关性未达到显著水平。磷酸酶和脲酶与土壤有机质、全氮、全磷、硝态氮和速效磷有很好的正相关。蔗糖酶与土壤有机质、全氮、

全磷、硝态氮、铵态氮和速磷有很好的正相关。细菌和真菌与有机质呈正相关,放线菌和有机质、全钾和铵态氮相关,其中与铵态氮的相关水平达到了极显著正相关,与全钾的相关水平达极显著的负相关。

表 6 不同耕作措施条件下土壤酶和菌类含量与土壤养分含量之间的相关系数

Table 6 Correlation coefficients of activities of enzyme amounts, of soil microbes and contents of soil nutrients in various tillage measures

项目 Item	有机质 OC	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	硝态氮 NO ₃ ⁻ - N	铵态氮 NH ₄ ⁺ - N	速效磷 Avail P	速效钾 Avail K
过氧化氢酶 Catalase	0.410	0.280	0.480	0.120	0.500	0.110	0.270	-0.440
磷酸酶 Phosphatase	0.880**	0.740**	0.770**	-0.380	0.800**	0.530	0.640*	0.040
脲酶 Urease	0.880**	0.900**	0.980**	-0.020	0.900**	0.340	0.730**	-0.200
蔗糖酶 Sucrase	0.870**	0.770**	0.750**	-0.450	0.840**	0.570*	0.670*	0.060
细菌 Bacteria	0.630*	0.510	0.560*	0.100	0.440	0.080	0.430	0.040
真菌 Fungia	0.570*	0.240	0.420	-0.070	0.310	0.370	0.200	-0.010
放线菌 Actinomyces	0.640*	0.370	0.430	-0.701**	0.530	0.760**	0.290	0.110

2.4.3 土壤酶活性与土壤微生物区系相关分析
不同耕作措施下土壤酶与土壤微生物数量的相关系数见表 7。过氧化氢酶与细菌、真菌、放线菌的相关性均不显著,且过氧化氢酶与细菌和真菌呈负相关。磷酸酶与细菌、真菌、放线菌有着显著或极显著的正相关。脲酶与细菌、真菌、放线菌呈正相关,但未达显著水平。蔗糖酶与细菌、真菌、放线菌均呈现正相关,其中与细菌和放线菌达到显著或极显著水平。

表 7 不同耕作措施下土壤酶与土壤微生物数量的相关系数

Table 7 Correlation coefficients of activities of enzyme and amounts of soil microbes in various tillage measures

项目 Item	过氧化氢酶 Catalase	磷酸酶 Phosphatase	脲酶 Urease	蔗糖酶 Sucrase
细菌 Bacteria	-0.140	0.730**	0.520	0.610*
真菌 Fungia	-0.140	0.630*	0.350	0.540
放线菌 Actinomyces	0.090	0.860**	0.530	0.870**

为了探讨不同耕作措施下,土壤养分因子与土壤酶活性和土壤微生物数量之间的关系,本文选择土壤各因子包括:有机质(X₁)、全氮(X₂)、全磷(X₃)、全钾(X₄)、硝态氮(X₅)、铵态氮(X₆)、速磷(X₇)、速钾(X₈)为自变量,以土壤过氧化氢酶(Y₁)、磷酸酶(Y₂)、脲酶(Y₃)、蔗糖酶(Y₄)、细菌(Y₅)、真菌(Y₆)、放线菌(Y₇)为因变量进行逐步回归分析。回归方程如下:

$$Y_1 = 0.47 - 0.45X_2 + 0.07X_5 - 0.00085X_8$$

(R = 0.7676)

$$Y_2 = 9.26 + 0.23X_1 + 6.38X_3 - 0.61X_4$$

$$(R = 0.9371)$$

$$Y_3 = 0.23 + 0.13X_2 + 0.98X_3 - 0.02X_4$$

$$(R = 0.9914)$$

$$Y_4 = 13.04 + 0.24X_1 + 7.61X_3 - 0.84X_4$$

$$(R = 0.9581)$$

$$Y_5 = -155.13 + 489.06X_1 + 2904.34X_2 - 829.93X_5$$

(R = 0.7305)

$$Y_6 = 453.87 + 803.18X_1 - 1165.59X_5$$

$$(R = 0.7670)$$

$$Y_7 = 11759.70 + 458.11X_1 - 667.62X_4 -$$

$$479.38X_5 + 175.50X_6$$

(R = 0.9590)

对上述方程进行复相关 t 检验,达到了显著水平,表明方程可靠有效。

由此可知,不同的耕作措施下,过氧化氢酶与全氮、硝态氮和速效钾有一定的关系,但线性相关不密切,磷酸酶和蔗糖酶与有机质、全磷和全钾相关性密切。脲酶与全氮、全磷和全钾相关性密切。细菌与有机质、全氮和硝态氮有一定的相关性,但相关性不密切,真菌与有机质和硝态氮有一定的相关性,但相关性不密切,放线菌与有机质、全钾、硝铵态氮相关性密切。

3 讨论与结论

不同耕作措施创造了不同的土壤环境,进而影响土壤酶活性和土壤微生物数量的变化及其剖面分布特征。张星杰等^[26]研究了不同保护性耕作措施对旱作玉米田土壤微生物和酶活性的影响,结果表明保护性耕作处理相对于传统耕作土壤过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶的活性分别提高 15.0%,18.5%和 57.3%。巩杰等^[27]测定结果表明,秸秆覆盖可明显

增加土壤微生物数量,土壤中细菌、放线菌、真菌的数量均高于对照。汪金平等^[28]秸秆还田免耕试验结果表明,与常规翻耕相比免耕措施下细菌、真菌数量增多,土壤酶活性增强。目前有关黄土高原农牧交错区保护性耕作对土壤微生物影响的研究却鲜有报道,陈蓓、张仁陟^[29]研究表明免耕措施和翻耕措施下 3 大微生物类群的组成比例略有不同,但大体上一致。从土壤微生物总数来看,免耕条件下和覆盖条件下的微生物数量明显高于翻耕条件下的微生物数量。秸秆覆盖处理下,土壤中三大微生物类群的组成和数量发生了明显变化,在覆盖条件下细菌数量明显上升,而放线菌明显降低。

1) 不同耕作措施下,0~20 cm 土层磷酸酶活性 SM 和 NT 措施显著高于 CT 和 FM 措施。脲酶活性 SM 措施最低,其余措施很接近。蔗糖酶的活性 SM 措施显著高于其他耕作措施;20~40 cm 土层中,NT 措施下磷酸酶、脲酶和蔗糖酶的活性较高;土层 40~60 cm 土层中,各措施下各种酶的活性变化不大。剖面上过氧化氢酶活性随土层深度增加在 SM 措施下呈现逐渐递减,在 NT 措施下呈现先增大后减弱的趋势,在 CT 措施和 FM 措施下 0~20 cm 和 20~40 cm 土层之间活性几乎一致,40 cm 以下土层 CT 措施过氧化氢酶活性较 0~40 cm 土层的活性有所增大;其余酶活性(磷酸酶、脲酶、蔗糖酶)随土层深度增加活性减弱,NT 和 SM 措施下酶活性分层明显,CT 和 FM 措施下的酶活性分层不明显。

2) 不同耕作措施,0~20 cm 土层,SM 和 NT 措施下各类菌的菌数显著高于 CT 和 FM 措施下的菌数,20~40 cm 土层各菌类耕作措施之间变化不明显,40~60 cm 土层几乎没有影响。随着土层深度的增加三大菌类均呈现逐层递减的趋势,其中 SM 和 NT 措施下层次间微生物的数量差异明显,CT 和 FM 措施下层次间差异不明显。

3) 不同耕作措施下,①土壤酶活性和微生物与水分呈正相关,与土壤容重呈负相关。②土壤酶活性和微生物与土壤养分有着一定的相关性,其中磷酸酶、脲酶和蔗糖酶与土壤有机质、全氮、全磷、硝态氮和速磷均有着显著的正相关性,过氧化氢酶与土壤养分的相关性不显著。细菌与有机质和全磷有显著性相关,真菌只与有机质有显著相关,放线菌与有机质和铵态氮显著正相关,与全钾显著负相关。③过氧化氢酶与菌类总体上呈负相关。磷酸酶、脲酶和蔗糖酶与菌类呈正相关,其中磷酸酶和蔗糖酶与菌类的相关性总体上呈显著水平。

综上所述,在干旱半干旱的农牧交错带保护性

耕作中秸秆覆盖和免耕措施有助于土壤养分积累进而促进土壤微生物活性增加,酶活性提高。因此保护性耕作措施中 SM 措施和 NT 措施对此类生态条件地区的生态健康恢复,农田保护农业可持续发展有重要意义。

参考文献:

- [1] 吴波,慈龙骏. 50 年代以来毛乌素沙地荒漠化扩展及其原因[J]. 第四纪研究,1998,(2):165—166.
- [2] 中国农业科学院. 当代世界农业[M]. 成都:四川科学技术出版社,1991.
- [3] 王晓燕,高焕文,李洪文. 旱地保护性耕作地表径流和土壤水分平衡模型[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(3):97—103.
- [4] 方日尧,同延安,赵二龙,等. 渭北旱塬不同保护性耕作方式水肥增产效应研究[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(2):13—17.
- [5] 刘立晶,高焕文,李洪文. 玉米-小麦一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. 农业工程学报,2004,20(3):70—73.
- [6] 李洪文,陈君达,高焕文,等. 旱地表土耕作效应研究[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(2),13—18.
- [7] Reeves D W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems[J]. Soil and Tillage Research,1997,43(122):131—167.
- [8] Arshad M A. Tillage and soil quality, Tillage practices for sustainable agriculture and environmental quality in different agro-ecosystems[J]. Soil and Tillage Research,1999,53(1):1—2.
- [9] Powlson D S, et al. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to incorporation[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987,19:159—164.
- [10] Powlson D S, et al. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to incorporation[J]. Soil Biology and Biochemistry,1987,19:159—164.
- [11] 高云超,朱文珊,陈文新. 秸秆覆盖免耕土壤细菌和真菌生物量与活性的研究[J]. 生态学杂志,2001,(2):30—36.
- [12] 高云超,朱文珊,陈文新. 秸秆覆盖免耕土壤真菌群落结构与生态特征研究[J]. 生态学报,2001,21(10):1704—1710.
- [13] Pankhurst C E. Defining and assessing soil health and sustainable productivity, Biological indicators of soil health[M]. New York: CAB International,1997:1—324.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2002.
- [15] 程丽娟,薛泉宏,等. 微生物学实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司,2000.
- [16] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986:274—279.
- [17] 李洪文,陈君达,高焕文. 旱地农业三种耕作措施的对比研究[J]. 干旱地区农业研究,1997,15(1):7—11.
- [18] Coote D R, Malcolm Mcgovern C A. Effects of conventional and no-till corn growth in rotation on three soils in Eastern Ontario[J]. Soil and Tillage Research,1989,14:67—84.
- [19] Bergstrom D W, Monreal C M, Tomlin A D, et al. Interpretation of soil enzyme activities in a comparison of tillage practices along a topographic and textural gradient[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2000,80:71—79.

- [20] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. 土壤, 1997, (2): 61—69.
- [21] Dick R P, Myrold D D, Kerle E A. Microbial biomass and soil enzyme activities in compacted and rehabilitated skid trail soils[J]. Soil Sci Soc Am J, 1988, 52: 512—516.
- [22] Li C H, Zhou S L. Soil bulk density effects on growth of Maize in seedling stage[J]. Acta Agriculture Boreali Sinica, 1994, 9(2): 49—54.
- [23] Li C H, Ma B L, Zhang T Q. Soil bulk density effects on microbial populations and enzyme activities during the growth of Maize (*Zea Mays* L) planted in large pots under field exposure[J]. Can J Soil Sci, 2002, 82(2): 1024—1032.
- [24] 章家恩, 刘文高, 胡刚. 不同土地利用方式下土壤微生物数量与土壤肥力的关系[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 140—143.
- [25] 高云超, 朱文珊, 陈文新. 秸秆覆盖免耕土壤微生物生物量与养分转化的研究[J]. 中国农业科学, 1994, 27(6): 41—49.
- [26] 张星杰, 刘景辉, 李立军, 等. 保护性耕作对旱作玉米土壤微生物和酶活性的影响[J]. 玉米科学, 2008, 16(1): 91—95, 100.
- [27] 巩杰, 黄高宝, 陈利顶. 旱作麦田秸秆覆盖的生态综合效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 69—73.
- [28] 汪金平, 何园球, 柯建国, 等. 南方双季稻田秸秆厢沟腐熟还田免耕土壤生态效应研究[J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(2): 21—24.
- [29] 陈蓓, 张仁陟. 免耕与覆盖对土壤微生物数量及组成的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 39(6): 634—638.

Characters of different tillage treatments on soil enzymes and microflora in the southern Mu Us desert

CAO Wei-peng¹, WU Fa-qi¹, LEI Jin-yin², ZHAO Long-shan¹, YUN Feng¹, YU Xiao-ling¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

Abstract: Farmland in typical arid and semiarid agro-pastoral ecotone was selected to explore characteristics of soil enzymes and microflora in different tillage treatments based on six-year experiment. The results indicate: 1) In 0 ~ 20 cm soil layer, catalase activity was the highest in the NT measure; phosphatase activity was significantly higher in SM and NT measures than CT and FM measures; urease activity was the lowest in SM measures; sucrase activity was significantly higher in SM measures than in the remaining measure. In 20 ~ 40 cm soil layer, phosphatase, urease and invertase activity was high in NT measure. 2) Catalase activity was decreased with soil depth increased in the SM measure, increased first and then decreased in NT measure; in 40 ~ 60 cm soil layer catalase activity was higher than in 0 ~ 40 cm in CT measure; the remaining soil enzymes activities (phosphatase, urease, invertase) were decreased with soil depth increasing, obvious stratification in NT and SM measures. 3) The number of soil microorganisms was varimax in 0 ~ 20 cm, changed little in 20 ~ 40 cm soil layer. In 0 ~ 20 cm layer the number of soil microorganisms were significantly higher in SM and NT measure than in CT and FM measures. 4) The number of soil microorganisms were decreased with soil depth increasing in soil vertical section, the number of soil microorganisms differed significantly in SM and NT measures.

Keywords: tillage treatment; soil microorganism; soil nutrient; soil enzyme; relevance