

河南南阳烟区土壤酶活性的生态作用分析

沈笑天¹, 刘金莉², 马长恩³, 李金榜⁴, 马骏³, 吕杰⁵, 刘宏^{3*} (1. 河南省南阳市烟叶生产办公室, 河南南阳 473000; 2. 浙江中烟工业有限责任公司, 浙江杭州 310000; 3. 河南省烟草公司南阳市公司, 河南南阳 473000; 4. 河南省南阳市农业科学研究所, 河南南阳 473000; 5. 南阳农业干部学校, 河南南阳 473000)

摘要 为了解土壤酶在土壤生态中的作用, 并从土壤酶活性的层面为研究烟区土壤生态质量、改良烟区土壤提供依据, 采用方差分析、主成分分析、相关分析的方法, 对南阳烟区有代表性的 13 个取样点的 4 类土壤酶活性及与其他土壤生态因子的关系进行研究。结果表明: 土壤酶活性的综合指标是土壤生态因子中仅次于有机质方面综合指标的重要指标, 其作为第 2 主成分方差占有主成分方差的 17.860%; 土壤酶活性与土壤物理性状、土壤化学性状、土壤 C 素、根际和非根际土壤微生物之间存在广泛的相关性, 对土壤生态因子有表征作用。

关键词 烟区土壤; 土壤酶; 土壤生态

中图分类号 S154.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)19-257-06

Analysis of Ecological Effect of Soil Enzyme Activity in Tobacco Growing Areas of Nanyang in Henan Province
SHEN Xiao-tian¹, LIU Jin-li², MA Chang-en³, LIU Hong^{3*} et al (1. Nanyang Tobacco Production Office of Henan Province, Nanyang, Henan 473000; 2. China Tobacco Zhejiang Industrial Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310000; 3. Nanyang Tobacco Company of Henan Province, Nanyang, Henan 473000)

Abstract To understand the functions of soil enzymes in soil ecology and provide basis for researching and improving soil ecological quality, the activities of 4 soil enzymes from 13 typical soil samples in tobacco growing areas of Nanyang and their relations with other soil ecological factors were studied by analysis of variance, principal component analysis, and correlation analysis. The results showed that the integrated indicator of the activities of urease and catalase was the only principle component second to the integrated indicator of organic matter, and the estimated communality was 17.860%. Correlative analysis showed there were obvious correlations between the activities of soil enzymes and soil physical and chemical properties, soil C, or soil microorganisms, which can indicate characterization of soil ecological factors.

Key words Soil in tobacco growing areas; Soil enzymes; Soil ecology

酶作为土壤中活的有机体, 是土壤的重要组成部分, 是营养物质转化、能量代谢和污染物降解等过程的主要参与者^[1]。土壤酶的活性与土壤的颗粒含量、水分特征、有机质和微生物含量等密切相关, 其活性高低可反映土壤营养物质转化、能量代谢、污染物降解等过程能力的强弱^[2], 因而可作为土壤质量的肥力指标^[3]。国内外学者对土壤酶与土壤类型、质量等的关系进行了一些研究^[4-6]。Dick 等^[7-8]提出土壤酶活性可作为反映管理措施和环境因子引起的土壤生物学和生物化学变化的指标。可见土壤酶的种类与活性是烟区土壤生态的重要生物学指标。以往对土壤酶的研究主要集中在土壤酶与单因素的土壤理化性状和生物学性状的关系上, 系统研究土壤酶在土壤生态系统中的作用及其相互关系的报道较少。为此, 笔者对南阳烟区有代表性的 13 个取样点的 4 类土壤酶活性及其他土壤生态因子, 应用方差分析、主成分分析、相关分析的方法, 揭示土壤酶在土壤生态因子中的重要性、与其他生态因子的关系, 最终为从土壤酶活性的层面研究烟区土壤生态质量、改良烟区土壤提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试土样 在对 1984 年以来南阳烟区 539 个土样、214 个烟样及 485 个水样检测结果统计分析 (SPSS 层次聚类分析法) 的基础上, 选取土壤、烟叶与水质理化指标有显著差异

且代表南阳大部分烟区的不同生态类型的样点 13 个, 各样点按基本一致的配方施肥。各生态类型的样点选 1 hm² 以上烟叶种植田块, 于 2006 年 7 月 10~13 号 (在南阳烟区, 这个时期烟田已不再进行施肥或中耕等农事操作, 土壤为非搅动土, 具有可比性, 同时是烟叶产质量形成的关键时期) 分别在各样点取 9 点根际与非根际混合土样 1 kg。样点情况如表 1 所示。

1.2 测定方法 土壤酶活性测定方法: 过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法^[9]; 脲酶采用苯酚钠比色法^[10]; 淀粉酶采用二硝基水杨酸比色法^[11]; 蛋白酶采用茚三酮比色法^[10]。土壤主要功能微生物群数采用最大或然法计数^[12]: 硝化细菌采用 Stephenson 培养液; 氨化细菌采用蛋白胨氨化培养液; 纤维素分解菌采用 Hutchinson 培养液。土壤微生物平板培养计数采用稀释平板计数法; 细菌及芽孢菌培养采用牛肉膏蛋白胨培养基^[12]; 放线菌培养采用改良高氏一号培养基^[12]; 真菌培养采用马丁氏培养基^[13]; 荧光假单胞菌培养参照文献^[13]; 解磷菌培养参照文献^[14]。土壤全 C、全 N 测定采用燃烧法: 称样 300~350 mg, 用 Vario MAX CN 元素分析仪 (德国产), 在氧气和高温条件下, 催化管内燃烧, 燃烧气体通过吸附柱分离, 热导检测器 (TCD) 测定, 数据由南京土壤研究所提供。土壤其他理化指标测定采用常规方法。

1.3 数据处理 应用 SPSS 10.0、DPS 进行分析。

2 结果与分析

2.1 南阳烟区土壤酶活性测定结果 由表 2 可知, 无论根际还是非根际土壤, 4 种酶的活性差异都很大, 但除灌溉方式 (井水与河水) 对根际土壤淀粉酶的活性产生显著影响外, 耕

基金项目 河南省烟草专卖局科技项目 (HYKJ); 国家烟草专卖局南阳优质烟生产科技示范基地建设项目 (110200401004); 烟草栽培重点实验室资助项目。

作者简介 沈笑天 (1969-), 男, 江苏滨海人, 经济师, 博士, 从事烟草栽培研究。* 通讯作者, 硕士, 从事烟草栽培生产管理研究。

收稿日期 2016-05-23

作制度、土壤类型、地貌对 4 种酶活性均无显著影响,在施肥 响。也正因为如此,土壤酶活性对土壤质量的表征意义基本一致的情况下,说明土壤酶活性可能受综合因素的影 更大。

表 1 不同生态类型样点的自然农业概况
Table 1 Natural agricultural conditions of sampling points with various ecological types

地点 Sampling point	地貌 Landform	土类 Soil	耕作制度 Farming system	灌溉 Irrigation	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude m
1 方城县清河乡后楼村 Houlou Village, Qinghe Town, Fangcheng County	平原	黄褐土	重茬 10 a	地埋管井水	112°54'227	33°16'078	172
2 方城县柳河乡段庄村 Duanzhuang Village, Liuhe Town, Fangcheng County	山区	黄棕壤性土	重茬 6 a	河水支流	112°45'829	33°19'694	245
3 方城县广阳镇赵庄村 Zhaozhuang Village, Guangyang Town, Fangcheng County	岗丘	黄褐土	花生壳覆盖	井水	112°42'553	33°14'778	174
4 社旗县田庄乡牛庄村 Niuzhuang Village, Tianzhuang Town, Sheqi County	岗丘	黄褐土	前茬棉花	蓄水	113°06'787	32.55°540	134
5 社旗县朱集镇王老庄村 Wanglaozhuang Village, Zhuji Town, Sheqi County	平原	黄褐土	重茬 8 a	井水、河水	113°08'612	32°51'694	128
6 镇平县枣园镇周岗村 Zhougang Village, Zhaoyuan Town, Zhenping County	平原	砂姜黑土	重茬 4 a, 掩青	井水	112°02'124	32°59'100	128
7 内乡县余关乡王沟村 Wanggou Village, Yuguan Town, Neixiang County	岗丘	黄褐土	秸秆还田	蓄水	111°53'304	33°08'285	202
8 内乡县马山口镇郑湾村 Zhengwan Village, Mashankou Town, Neixiang County	岗丘	石灰性红黏土	芝麻茬	蓄水	111°58'079	33°12'585	252
9 内乡县赤眉镇琴溪村 Qinxì Village, Chimei Town, Neixiang County	山区	中性紫色土	重茬,套红薯	间断河水	111°50'417	33°14'044	223
10 西峡县丹水镇袁店村 Yuandian Village, Danshui Town, Xixia County	山区	黄褐土	玉米茬大麦免耕	蓄水	111°44'344	33°09'980	198
11 西峡县丹水镇朝阳村 Chaoyang Village, Danshui Town, Xixia County	岗丘	石灰性紫色土	红薯茬	蓄水	111°39'181	33°12'156	272
12 邓州市彭桥乡赵建岗村 Zhaojiangang Village, Pengqiao Town, Dengzhou City	平原	砂姜黑土	芝麻茬	蓄水	111°50'936	32°36'915	276
13 邓州高集乡李岗村 Ligang Village, Gaoji Town, Dengzhou City	平原	砂姜黑土	辣椒茬	河水	111°57'639	32°39'081	136

表 2 土壤酶活性测定结果
Table 2 Detection results of soil enzyme activity

		根际土壤 Rhizosphere soil				非根际土壤 Non-rhizosphere soil			
项目 Item		脲酶 Urease mg/kg	蛋白酶 Protease mg/g	淀粉酶 Amylase mg/g	过氧化氢酶 Catalase mL/g	脲酶 Urease mg/kg	蛋白酶 Protease mg/g	淀粉酶 Amylase mg/g	过氧化氢酶 Catalase mL/g
整体描述	平均	657.3	0.18	34.54	7.24	948.1	0.20	32.29	6.52
Overall description	标准偏差	759.1	0.05	4.48	0.87	986.2	0.04	8.99	0.75
	最小值	54.3	0.12	27.40	5.50	8.2	0.10	18.21	5.00
	最大值	2 974.4	0.26	40.77	8.50	3 158.8	0.25	47.45	7.50
灌溉方式	河水	201.2 a	0.17 a	37.98 a	7.50 a	214.8 a	0.20 a	25.17 a	6.50 a
Irrigation mode	蓄水	991.0 a	0.20 a	35.47 ab	7.25 a	1 189.1 a	0.22 a	33.67 a	6.47 a
	井水	498.8 a	0.17 a	30.54 b	7.03 a	1 136.6 a	0.19 a	35.55 a	6.63 a
耕作制度	秸秆还田	571.7 a	0.20 a	33.46 a	7.28 a	1167.3 a	0.19 a	36.80 a	6.70 a
Farming system	适宜前茬	916.3 a	0.18 a	37.43 a	7.00 a	898.3 a	0.22 a	26.98 a	6.25 a
	重茬	392.5 a	0.17 a	32.41 a	7.33 a	447.1 a	0.19 a	32.42 a	6.33 a
	不良前茬	707.5 a	0.18 a	34.09 a	7.50 a	1 360.7 a	0.21 a	33.67 a	7.00 a
土壤类型	黄褐土	544.7 a	0.17 a	33.01 a	7.30 a	958.2 a	0.18 a	35.52 a	6.54 a
Soil type	砂姜土	418.0 a	0.19 a	36.03 a	7.33 a	749.3 a	0.24 a	33.53 a	6.67 a
	紫红土	1 159.2 a	0.20 a	36.59 a	7.00 a	1 123.3 a	0.21 a	23.50 a	6.33 a
地貌 Landform	平原	440.6 a	0.18 a	33.08 a	7.10 a	658.8 a	0.23 a	33.25 a	6.50 a
	岗丘	1 023.6 a	0.19 a	33.42 a	7.22 a	1 614.8 a	0.18 a	35.75 a	6.56 a
	山区	407.8 a	0.17 a	38.82 a	7.50 a	319.0 a	0.19 a	24.89 a	6.50 a

注:同一列中平均值后不同字母表示二者在 0.05 水平差异显著。
Note: Different letters in the same column mean the difference was significant at 0.05 level.

2.2 南阳烟区土壤生态指标主成分分析 通过 SPSS 分析, 提取出南阳烟区有代表性的 13 个取样点的土壤物理、化学 成分,这 8 个主成分的方差贡献率达 92.656% (表 3),其中 和生物学性状指标(25 个)中特征根大于 1.000 的前 8 个主 前 4 个主成分的特征根大于 3.105,方差贡献率为 67.931%, 因此这 4 个主成分应该是反映南阳烟区土壤物理、化学和生

表3 土壤生态指标公因子方差及其主成分的特征值、累计贡献率与系数矩阵

Table 3 Community of soil ecological indicators,eigenvalues,accumulative contribution rate,and coefficient matrix of their principal components

土壤生态指标 Soil ecological indicator	主成分 Principal component							
	<i>F</i> ₁	<i>F</i> ₂	<i>F</i> ₃	<i>F</i> ₄	<i>F</i> ₅	<i>F</i> ₆	<i>F</i> ₇	<i>F</i> ₈
全 N Total nitrogen	0.646	-0.538	0.187	-0.115	0.248	0.047	-0.233	-0.089
全 C Total carbon	0.844	0.249	-0.173	0.211	-0.034	0.216	0.258	0.017
pH	0.193	0.584	0.687	0.206	0.131	-0.127	-0.013	0.150
有机质 Organic matter	0.903	-0.187	0.029	-0.134	-0.086	0.077	0.148	0.283
速效 N Available nitrogen	0.706	-0.236	0.139	-0.036	0.014	-0.466	0.205	-0.188
速效 P Available phosphorus	-0.099	-0.314	-0.152	-0.382	0.448	0.361	0.385	0.372
活性 C Activated carbon	0.840	-0.051	-0.395	-0.098	-0.112	0.152	0.220	0.019
C 库活度 Activity of carbon sink	0.626	-0.270	-0.494	-0.285	-0.177	0.083	0.137	-0.016
容重 Soil bulk density	0.095	0.505	-0.660	0.123	0.361	-0.237	-0.276	0.086
土粒密度 Soil particle density	-0.357	-0.226	-0.663	0.414	-0.055	0.384	-0.123	-0.184
孔隙度 Soil porosity	-0.263	-0.613	0.382	0.080	-0.396	0.399	0.217	-0.167
脲酶 Urease	0.230	0.798	0.326	0.070	0.086	0.378	-0.005	0.054
蛋白酶 Protease	0.122	0.016	-0.445	0.659	0.241	-0.240	0.440	-0.109
淀粉酶 Amylase	0.558	-0.189	-0.023	-0.430	0.027	-0.023	-0.520	0.124
过氧化氢酶 Catalase	0.368	0.843	0.035	-0.238	0.040	-0.167	0.120	-0.195
细菌总数 Total number of bacteria	-0.396	-0.539	-0.266	-0.014	0.458	-0.024	-0.159	0.377
芽孢菌数 Quantity of spore bacteria	0.048	-0.507	0.610	0.388	0.439	0.053	0.116	-0.006
放线菌数 Quantity of actinomycetes	-0.422	0.235	-0.315	-0.644	0.361	0.055	0.174	0.024
真菌数 Quantity of fungi	-0.470	0.691	0.134	0.238	0.063	0.362	0.168	0.031
解钾菌数 Quantity of potassium bacteria	-0.093	0.014	0.595	-0.187	-0.609	-0.008	-0.060	0.307
解磷菌数 Quantity of phosphate solubilizing bacteria	0.363	-0.100	-0.341	0.332	-0.114	0.522	-0.257	-0.144
荧光假单胞菌数 Quantity of pseudomonas fluorescens	0.135	-0.461	0.681	0.343	0.395	-0.072	0.088	-0.067
纤维分解菌数 Quantity of cellulose-decomposing bacteria	0.549	0.369	0.370	0.095	0.360	0.423	-0.200	0.119
氨化菌数 Quantity of ammonifying bacteria	0.244	0.025	-0.107	0.834	-0.024	-0.109	-0.290	0.077
硝化菌数 Quantity of nitrifying bacteria	0.017	0.034	0.279	-0.533	0.373	0.178	-0.131	-0.654
特征值 Eigenvalue	5.385	4.465	4.028	3.105	2.037	1.677	1.334	1.133
贡献率 Contribution rate//%	21.541	17.860	16.112	12.419	8.147	6.709	5.334	4.534
累计贡献率 Accumulative contribution rate//%	21.541	39.400	55.513	67.931	76.079	82.788	88.122	92.656

物学性状的主要成分。

通过计算主成分在各个变量上的载荷,得到 $F_1 \sim F_8$ 主成分变量因子列表。由表 3 可以看出:

$$F_1 = 0.646ZX_1 + 0.844ZX_2 + 0.193ZX_3 + 0.903ZX_4 + 0.706ZX_5 - 0.099ZX_6 + 0.840ZX_7 + 0.626ZX_8 + 0.095ZX_9 - 0.357ZX_{10} - 0.263ZX_{11} + 0.230ZX_{12} + 0.122ZX_{13} + 0.558ZX_{14} + 0.368ZX_{15} - 0.396ZX_{16} + 0.048ZX_{17} - 0.422ZX_{18} - 0.470ZX_{19} - 0.093ZX_{20} + 0.363ZX_{21} + 0.135ZX_{22} + 0.549ZX_{23} + 0.244ZX_{24} + 0.017ZX_{25}$$

(其他 3 个主成分的表达式类似,略)

第 1 主成分表达式中, X_2 (全 C)、 X_4 (有机质)、 X_7 (活 C)的系数较大,所以 F_1 是指示土壤 C 素特性的主要指标;第 2 主成分表达式中, X_{12} (脲酶)、 X_{15} (过氧化氢酶)的系数较大,可以作为反映脲酶、过氧化氢酶变化的主要指标;第 3 主成分表达式中, X_3 、 X_9 、 X_{10} 、 X_{22} 的系数较大, F_3 可以作为反映 pH、容重、土粒密度和荧光假单胞菌数的主要指标;第 4 主成分表达式中, X_{13} 、 X_{18} 、 X_{24} 的系数较大, F_4 可以看成是反映蛋白酶、放线菌数、氨化菌数的主要指标。其中,第 1 主成分方差占有主成分方差的 21.541%;第 2 主成分方差占有主成分方差的 17.860%。这说明反映酶活性的综合指标是土壤生态因子中仅次于有机质方面综合指标的重要指标,土壤

酶在土壤生态因子中的重要性显而易见。

2.3 土壤酶活性与其他生态因子作用分析

2.3.1 根际、非根际土壤酶活性与土壤物理性状相关分析。

由表 4 可知,土壤容重、土粒密度与烟株根际和非根际土壤脲酶、蛋白酶、淀粉酶、过氧化氢酶的活性均不显著相关;土壤孔隙度与烟株根际土壤脲酶、蛋白酶、淀粉酶、过氧化氢酶及非根际土壤脲酶、蛋白酶、淀粉酶活性均不显著相关,与非根际土壤过氧化氢酶活性显著相关,这可能是因为土壤孔隙度与土壤中空气含量特别是氧气含量有关,而过氧化氢酶的活性与氧气含量有关。也有少数研究确定了土壤酶活性与土壤容重、土粒密度的相关性^[15]。可用较为简单的非根际土壤过氧化氢酶活性来表征相对较难测定的土壤物理性状中的孔隙度。建立回归方程如下:

$$\hat{Y}_{\text{土壤孔隙度}} = 0.726 - 0.265X_{\text{非根际土壤过氧化氢酶活性}}$$

($F = 8.032, P < 0.05$)

2.3.2 根际、非根际土壤酶活性与土壤化学性状相关分析。

由表 5 可知,根际土壤脲酶活性与 pH 显著正相关,非根际土壤脲酶活性与 pH 极显著正相关,说明在南阳烟区当前的 pH 水平下,随着 pH 的升高有提高土壤脲酶活性的作用。全 N 与非根际土壤淀粉酶活性显著正相关,说明较高的 N 含量会提高土壤淀粉酶活性。Cu、Fe、Mn 与非根际土壤脲酶活性显著负相关,可以推测南阳烟区土壤中 Cu、Fe、Mn 的含量较为

表 4 根际、非根际土壤酶活性与土壤物理性状相关分析

Table 4 Correlation coefficients of soil enzyme activity and soil physical properties in rhizosphere and non-rhizosphere

土壤物理性状 Soil physical property	根际土壤 Rhizosphere soil				非根际土壤 Non-rhizosphere soil			
	脲酶 Urease	蛋白酶 Protease	淀粉酶 Amylase	过氧化氢酶 Catalase	脲酶 Urease	蛋白酶 Protease	淀粉酶 Amylase	过氧化氢酶 Catalase
容重 Soil bulk density	0.182	-0.058	0.110	0.375	0.151	0.398	0.045	0.421
土粒密度 Soil particle density	-0.059	0.198	0.459	-0.337	-0.315	0.377	-0.303	-0.486
孔隙度 Soil porosity	-0.211	0.137	0.096	-0.536	-0.296	-0.229	-0.191	-0.650 *

注：* 表示在 0.05 水平显著相关。下同。
Note：“*” stands for significant correlation at 0.05 level. The same below.

丰富,施用这类肥料会降低土壤脲酶活性。建立回归方程如下:

$$\begin{aligned}\hat{y}_{\text{根际土壤脲酶活性}} &= 4\,372.665 - 1\,389.449X_{\text{pH}} + 110.468X_{\text{pH}}^2 \\ (F &= 15.898, P < 0.01) \\ \hat{y}_{\text{非根际土壤脲酶活性}} &= 3\,250.299 - 1\,074.631X_{\text{pH}} + 89.290X_{\text{pH}}^2 \\ (F &= 15.897, P < 0.01) \quad (F = 8.577, P < 0.01) \\ \hat{y}_{\text{非根际土壤淀粉酶活性}} &= -1.454 + 14.832X_{\text{全N}} \\ (F &= 5.285, P < 0.05)\end{aligned}$$

杨远平^[16]对贵州毕节地区烟地土壤酶活性研究结果表明,土壤脲酶活性与土壤有机质、全 N、速效 N 达到了显著或极显著相关水平。与该研究结果并不一致,这可能是土壤环

境不同导致土壤酶活性与土壤化学生态因子关系的不同。南阳烟区长期大量施用化肥,土壤有机质含量偏低,而且有机质、全 N、速效 N 差异不大,可能是主要原因。因此,烟田应重视有机肥的施用。美国水土保持学会甚至把土壤有机质作为衡量土壤质量的唯一重要的指标^[17]。有试验证明在保护性耕作方式下配合施用有机肥,提高地力的效果比较显著^[18-19]。谭周进等^[20]认为不同耕作制度与有机肥施用量对土壤酶活性激活作用不同,有机与无机肥合理配施可提高某些土壤酶活性,加速土壤元素循环。增加土壤有机质投入,可提高土壤生物活性和土壤肥力。

表 5 根际、非根际土壤酶活性与土壤化学性状相关分析

Table 5 Correlation coefficients of soil enzyme activity and soil chemical properties in rhizosphere and non-rhizosphere

土壤化学性状 Soil chemical property	根际土壤 Rhizosphere soil				非根际土壤 Non-rhizosphere soil			
	脲酶 Urease	蛋白酶 Protease	淀粉酶 Amylase	过氧化氢酶 Catalase	脲酶 Urease	蛋白酶 Protease	淀粉酶 Amylase	过氧化氢酶 Catalase
pH	0.617 *	-0.127	-0.494	0.303	0.696 **	-0.094	-0.088	0.543
有机质 Organic matter	-0.154	-0.112	-0.005	0.111	0.077	-0.011	0.532	0.157
全 N Total nitrogen	-0.426	-0.264	-0.324	-0.211	-0.212	-0.120	0.570 *	-0.179
速效 N Available nitrogen	-0.279	-0.118	-0.195	0.266	-0.214	0.160	0.265	0.208
速效 P Available phosphorus	-0.172	-0.051	0.157	-0.405	-0.194	-0.074	-0.047	-0.281
K	-0.362	0.118	0.282	-0.187	-0.223	-0.227	0.223	-0.275
Cu	-0.500	-0.085	0.372	-0.138	-0.611 *	0.176	0.283	-0.444
Fe	-0.473	0.196	0.158	0.063	-0.624 *	0.249	0.213	-0.192
Mn	-0.507	0.248	0.298	-0.090	-0.654 *	0.330	0.211	-0.346
Zn	-0.100	0.027	-0.097	-0.261	-0.228	0.304	-0.354	-0.149

2.3.3 土壤 C 素与根际、非根际土壤酶活性相关分析。由表 6 可知,土壤全 C、活性 C、活性 C/全 C、C 库活度与烟株根际、非根际土壤 4 种酶活性均不显著相关;土壤 C/N 与烟株根际土壤淀粉酶、过氧化氢酶活性及非根际土壤脲酶、蛋白酶、淀粉酶、过氧化氢酶活性不显著相关,与烟株根际土壤脲

酶活性极显著正相关,与烟株根际土壤蛋白酶活性显著正相关;非活性 C 与烟株根际、非根际土壤蛋白酶、淀粉酶、过氧化氢酶活性不显著相关,与烟株根际土壤脲酶活性极显著正相关,与非根际土壤脲酶活性显著正相关。建立回归方程如下:

表 6 根际、非根际土壤酶活性与 C 素相关分析

Table 6 Correlation coefficients of soil enzyme activity and carbon in rhizosphere and non-rhizosphere

C 素 Carbon	根际土壤 Rhizosphere soil				非根际土壤 Non-rhizosphere soil			
	脲酶 Urease	蛋白酶 Protease	淀粉酶 Amylase	过氧化氢酶 Catalase	脲酶 Urease	蛋白酶 Protease	淀粉酶 Amylase	过氧化氢酶 Catalase
全 C Total carbon	0.411	0.318	-0.134	0.368	0.436	0.370	0.250	0.439
C/N	0.767 **	0.589 *	0.031	0.443	0.549	0.417	-0.214	0.424
活性 C Activated carbon	-0.063	0.211	0.044	0.225	0.093	0.259	0.445	0.267
活性 C/全 C Activated carbon/Total carbon	-0.430	0.118	0.170	0.038	-0.220	0.108	0.519	0.023
C 库活度 Activity of carbon sink	-0.388	0.146	0.152	0.057	-0.185	0.136	0.491	0.057
非活性 C Non-activated carbon	0.690 **	0.325	-0.244	0.392	0.603 *	0.369	0.034	0.468

$$\begin{aligned}\hat{y}_{\text{根际土壤脲酶活性}} &= -264.754 + 37.899X_{\text{C/N}} \\ (F &= 15.695, P < 0.01) \\ \hat{y}_{\text{根际土壤蛋白酶活性}} &= 0.021 + 0.019X_{\text{C/N}} \\ (F &= 5.832, P < 0.05) \\ \hat{y}_{\text{根际土壤脲酶活性}} &= 1\,026.893 - 5\,315.553X_{\text{非活性C}} \\ &\quad + 6\,930.457X_{\text{非活性C}}^2 \\ (F &= 9.174, P < 0.01) \\ \hat{y}_{\text{非根际土壤脲酶活性}} &= 1\,847.529 - 9\,039.787X_{\text{非活性C}} \\ &\quad + 11\,225.008X_{\text{非活性C}}^2 \\ (F &= 8.460, P < 0.01)\end{aligned}$$

以上结果说明南阳烟区土壤 C/N 与非活性 C 是相对敏感的指标,提高土壤 C 含量,特别是非活性 C 含量,对根际、非根际土壤脲酶及根际土壤蛋白酶活性有显著促进作用。近年来烟区 C/N 下降的问题应引起我们的重视。

2.3.4 根际、非根际土壤酶活性与土壤微生物的相关分析。由表 7 可知,根际土壤微生物中,细菌总数与根际土壤蛋白酶活性极显著负相关,与非根际土壤蛋白酶活性显著负相

关;芽孢菌数与非根际土壤蛋白酶活性极显著负相关,放线菌数与非根际土壤蛋白酶活性显著相关;解磷菌数与根际土壤脲酶极显著正相关。建立回归方程如下:

$$\begin{aligned}\hat{y}_{\text{根际土壤脲酶活性}} &= 36.853 + 1.963X_{\text{根际解钾菌数}} \\ (F &= 12.906, P < 0.01) \\ \hat{y}_{\text{根际土壤蛋白酶活性}} &= 0.230 - 0.002X_{\text{根际土壤细菌总数}} \\ (F &= 11.059, P < 0.01) \\ \hat{y}_{\text{非根际土壤蛋白酶活性}} &= 0.286 - 0.048X_{\text{1根际细菌总数}} - 0.010X_{\text{2根际芽孢菌数}} \\ &\quad - 0.071X_{\text{3根际放线菌数}} \\ (F &= 13.187, P < 0.01)\end{aligned}$$

说明根际与非根际土壤蛋白酶活性对根际细菌、芽孢菌、放线菌有显著抑制作用;非根际土壤蛋白酶活性比根际土壤蛋白酶活性对根际细菌、芽孢菌、放线菌更有显著抑制作用;根际土壤脲酶活性可促进根际解磷菌繁殖,可能与酶活性对部分微生物有显著的抑制或促进作用,并与酶的功能专一性有关。

表 7 根际、非根际土壤酶活性与根际土壤微生物相关分析

根际土壤微生物 Soil microorganisms in rhizosphere	根际土壤 Rhizosphere soil				非根际土壤 Non-rhizosphere soil			
	脲酶 Urease	蛋白酶 Protease	淀粉酶 Amylase	过氧化氢酶 Catalase	脲酶 Urease	蛋白酶 Protease	淀粉酶 Amylase	过氧化氢酶 Catalase
细菌总数 Total number of bacteria	-0.340	-0.708 **	0.123	-0.277	-0.133	-0.617 *	-0.151	-0.213
芽孢菌数 Quantity of spore bacteria	-0.350	-0.471	0.290	0.419	-0.082	-0.693 **	0.282	0.209
放线菌数 Quantity of actinomycetes	-0.407	-0.402	-0.222	-0.132	0.016	-0.685 **	0.368	-0.006
真菌数 Quantity of fungi	0.209	0.140	-0.269	0.292	0.049	0.338	-0.005	0.316
解钾菌数 Quantity of potassium bacteria	-0.263	0.120	-0.426	0.156	-0.221	-0.116	0.265	0.058
解磷菌数 Quantity of phosphate solubilizing bacteria	0.735 **	0.467	0.005	0.129	0.395	0.520	-0.513	0.233
荧光假单胞菌数 Quantity of pseudomonas fluorescens	-0.260	-0.187	-0.099	-0.308	-0.277	0.430	0.112	-0.240
纤维分解菌数 Quantity of cellulose-decomposing bacteria	-0.068	-0.536	-0.418	-0.146	0.129	-0.262	0.225	0.016
氨化菌数 Quantity of ammonifying bacteria	0.319	0.085	0.089	0.247	0.225	0.371	-0.190	0.220
硝化菌数 Quantity of nitrifying bacteria	0.208	0.021	-0.100	-0.083	0.111	0.045	-0.268	0.031

由表 8 可知,非根际土壤微生物中,细菌总数、芽孢菌数与根际土壤过氧化氢酶活性显著相关,细菌总数与非根际土壤过氧化氢酶显著相关;真菌数与根际、非根际土壤脲酶活性极显著相关;解钾菌数与非根际土壤蛋白酶活性显著相关;纤维分解菌数与非根际土壤脲酶活性极显著相关;放线菌数、荧光假单胞菌数、解磷菌数、氨化菌数、硝化菌数则与根际、非根际土壤 4 种酶活性不显著相关。建立回归方程如下:

$$\begin{aligned}\hat{y}_{\text{根际土壤脲酶活性}} &= -13.138 + 9.062X_{\text{非根际真菌数}} \\ (F &= 21.538, P < 0.01) \\ \hat{y}_{\text{根际土壤过氧化氢酶活性}} &= 7.876 - 0.823X_{\text{1非根际细菌总数}} \\ &\quad - 0.036X_{\text{2非根际芽孢菌数}} \\ (F &= 6.736, P < 0.05) \\ \hat{y}_{\text{非根际土壤脲酶活性}} &= -26.071 + 8.146X_{\text{1非根际真菌数}} \\ &\quad + 436.120X_{\text{2非根际纤维分解菌数}} \\ (F &= 27.932, P < 0.01)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{y}_{\text{非根际土壤蛋白酶活性}} &= 0.235 - 0.022X_{\text{非根际解钾菌数}} \\ (F &= 7.112, P < 0.05) \\ \hat{y}_{\text{非根际土壤过氧化氢酶活性}} &= 7.103 - 1.153X_{\text{非根际细菌总数}} \\ (F &= 9.511, P < 0.05)\end{aligned}$$

根际与非根际土壤脲酶活性均与非根际土壤真菌数极显著相关,可能是根际与非根际土壤脲酶活性本身就显著相关的原因。根际土壤过氧化氢酶、非根际土壤过氧化氢酶与细菌总数的相关可能是相同的原因。纤维分解菌繁殖与非根际土壤脲酶活性表达可能有相同的环境要求。非根际芽孢菌与根际土壤过氧化氢酶活性关系,可能是它们要求的环境差异形成的。大约从 20 世纪 60 年代开始,人们试图在酶活性和微生物活性之间建立某种相关性,但这些研究结果往往很不一致^[16]。也有很多学者从施用生态有机肥的角度,通过调节土壤微生态结构及微生物区系来研究连作障碍^[21]。在特定条件下建立的南阳烟区土壤酶活性与微生物的关系有一定的局限性。烟区土壤酶活性与土壤生态因子

的密切关系为我们通过农业措施改良土壤酶活性,以及其他土壤生态因子提供了参考依据。

表 8 根际、非根际土壤酶活性与非根际土壤微生物相关分析

Table 8 Correlation coefficients of soil enzyme activity and carbon in rhizosphere and non-rhizosphere and soil microorganisms in non-rhizosphere

根际土壤微生物 Soil microorganisms in rhizosphere	根际土壤 Rhizosphere soil				非根际土壤 Non-rhizosphere soil			
	脲酶 Urease	蛋白酶 Protease	淀粉酶 Amylase	过氧化氢酶 Catalase	脲酶 Urease	蛋白酶 Protease	淀粉酶 Amylase	过氧化氢酶 Catalase
细菌总数 Total number of bacteria	-0.449	-0.418	0.391	-0.562 *	-0.540	0.059	0.08	-0.681 **
芽孢菌数 Quantity of spore bacteria	-0.020	-0.214	-0.453	-0.642 *	-0.095	0.135	-0.093	-0.459
放线菌数 Quantity of actinomycetes	-0.127	-0.114	0.214	0.138	-0.050	-0.213	-0.195	0.231
真菌数 Quantity of fungi	0.814 **	0.330	-0.196	0.071	0.688 **	0.049	-0.505	0.287
解钾菌数 Quantity of potassium bacteria	-0.164	-0.273	0.030	-0.138	0.095	-0.627 *	-0.067	-0.018
解磷菌数 Quantity of phosphate solubilizing bacteria	0.041	-0.048	0.366	0.067	-0.005	0.119	0.049	-0.110
荧光假单胞菌数 Quantity of pseudomonas fluorescens	-0.050	-0.268	-0.491	-0.507	-0.079	0.096	-0.036	-0.343
纤维分解菌数 Quantity of cellulose-decomposing bacteria	0.402	-0.299	-0.478	0.034	0.738 **	-0.153	0.247	0.416
氨化菌数 Quantity of ammonifying bacteria	0.103	-0.150	-0.056	-0.274	0.015	0.486	-0.132	-0.155
硝化菌数 Quantity of nitrifying bacteria	-0.165	-0.170	-0.419	0.176	0.100	-0.421	0.222	0.213

3 结论与讨论

南阳烟区土壤酶活性是反映管理措施和环境因子综合因素的生态指标。土壤酶活性的综合指标是土壤生态因子中仅次于有机质方面综合指标的重要指标。

烟株根际和非根际土壤酶活性与土壤的物理、化学及生物学性状具有广泛的相关性。土壤孔隙度、pH、Cu、Fe、Mn、C/N、非活性 C、细菌、芽孢菌、放线菌是相对敏感的指标,与土壤酶活性可以相互表征。

显然,以上对南阳烟区土壤酶活性在土壤生态因子中的作用、对土壤生态因子的表征作用的研究,可以为我们认识土壤酶活性的意义,从土壤酶的角度改良土壤提供依据。

参考文献

[1] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京:科学出版社,1987.

[2] NANNIPIERI P,BOLLAG J M. Use of enzymes to detoxify pesticides contaminated soils and waters[J]. J Environ Qual,1991,20:510-517.

[3] 孙波,赵其国,张桃林,等. 土壤质量评价的生物学指标[J]. 土壤,1997,29(5):225-234.

[4] 关松荫. 农药对土壤酶活性的抑制作用[J]. 土壤通报,1992,23(5):232-233.

[5] 李时银,张晓昆,冯建防. 等. 氰戊菊酯及代谢物对土壤过氧化氢酶活性的影响[J]. 中国环境科学,2002,22(2):154-157.

[6] GIANFREDA L,SANNINO F,VIOLANTE A. Pesticide effects on the activity of free,immobilized and soil invertase[J]. Soil Biol & Biochem,1995,27(9):1201-1208.

[7] DICK R P,DORAN J W,COLEMAN D C,et al. Defining soil quality for a sustainable environment[M]. Madison:SSSA Special Pub,1994:107-124.

[8] DICK R P,BREAKWILL D,TURCO R. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrating biological indicators [C]//DORAN. Handbook of methods for assessment of soil quality. Madison:SSSA Special Pub,1996:247-272.

[9] 许光辉,郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京:农业出版社,1986:255-257.

[10] 李阜棣,喻子牛,何绍江. 农业微生物学试验技术[M]. 北京:中国农业出版社,1996:134-137.

[11] 关松荫. 土壤酶学研究方法[M]. 北京:农业出版社,1986:278-280.

[12] 姚占芳,吴云汉. 微生物学实验技术[M]. 北京:气象出版社,1998:186-188.

[13] 王平,李阜棣,胡正嘉. 小麦根圈中几类微生物群体数量比较的研究[J]. 华中农业大学学报,1994,13(4):318-324.

[14] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京:科学出版社,1985:44-51.

[15] 曹慧,孙辉,杨浩,等. 土壤酶活性及其对土壤质量指标研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2003,9(1):105-109.

[16] 杨远平. 贵州毕节地区烟地土壤酶活性研究[J]. 土壤通报,2003,34(4):594-596.

[17] SOCIETY,ANKENY,IOWA. Soil water conservation[M]//Soil and water conservation society. Farming for a better environment: A white paper. 1995:17-21.

[18] 牟金明,宋日,姜亦梅,等. 不同作物根茬还田对土壤酶活性的影响[J]. 吉林农业大学学报,1997,19(4):65-69.

[19] 宋日,吴春胜,牟金明,等. 玉米生育期内土壤微生物量碳和酶活性动态变化特征[J]. 吉林农业大学学报,2001,23(2):13-16.

[20] 谭周进,冯跃华,刘芳,等. 稻作制与有机肥对红壤水稻土微生物及酶活性的影响研究[J]. 中国生态农业学报,2004,12(2):121-123.

[21] 张树生,杨兴明,茹泽,等. 连作土炭菌对黄瓜生长和土壤微生物区系的影响[J]. 生态学报,2007,27(5):1809-1817.

(上接第 217 页)

参考文献

[1] 辜松. 蔬菜工厂化嫁接育苗生产装备与技术[M]. 北京:中国农业出版社,2006.

[2] 近藤直,门田允司,野口伸共. 农业机器人[M]. 乔军,陈兵旗,译. 北京:中国农业大学出版社,2009.

[3] 沈卫平,张路. 蔬菜嫁接机自动上苗装置研究[J]. 轻工机械,2010,28

(2):22-26.

[4] 姜凯,辜松,郑文刚,等. 瓜科全自动嫁接机设计与试验[J]. 农机化研究,2010(12):129-132.

[5] 项伟灿,张路,武传宇,等. 直插式自动嫁接机控制系统的设计[J]. 机电工程,2009,26(10):52-53,61.

[6] 赵金英,张铁中. PLC 在自动嫁接机控制系统中的应用[J]. 中国农业大学学报,2004,9(6):53-55.