

土默川平原不同盐渍化程度土壤微生物生态特征研究

景宇鹏, 李跃进*, 年佳乐, 宋瑶

内蒙古农业大学生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特市 010018

摘要: 为了探究土壤微生物对不同盐渍化程度土壤质量的响应, 以土默川平原盐渍化土壤为研究对象, 采用平板稀释法和氯仿熏蒸法分析了土默川平原不同盐渍化程度土壤微生物区系、结构组成、微生物生物量碳及微生物熵的季节动态特征。结果表明: 土默川平原土壤微生物总量较少, 变化范围在 $2.89 \times 10^5 \sim 38.77 \times 10^6$ 个·g⁻¹ 干土之间, 其中细菌占绝对优势, 占微生物总数的 93.14% ~ 99.53%。随着盐渍化程度的加重, 土壤细菌、真菌和放线菌数量及微生物总数呈显著下降的趋势, 其中细菌数量在轻度、中度、重度盐渍化程度下的比值为 1 : 0.83 : 0.60, 真菌为 1 : 0.70 : 0.30, 放线菌为 1 : 0.66 : 0.56, 微生物总数为 1 : 0.84 : 0.61; 除真菌外, 不同盐渍化程度土壤细菌、放线菌及微生物总数呈极显著的季节性变化。土壤种群数量占微生物总数的比例大小为细菌 > 放线菌 > 真菌。不同盐渍化程度土壤微生物量碳和微生物熵表现为: 轻度盐渍化 > 中度盐渍化 > 重度盐渍化; 不同盐渍化程度土壤微生物生物量碳和微生物熵的季节动态呈单峰上凸式曲线变化, 在 8 月份达最高值, 其值为 0.15 g·kg⁻¹、3.44%。因此, 土默川平原不同盐渍化程度土壤微生物区系特征差异显著, 土壤盐分含量是影响该地区微生物生长的主要因素。

关键词: 盐渍化土壤; 土壤微生物群落; 微生物生物量碳; 微生物熵; 土默川平原

中图分类号: S154.36

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2013) 07-1153-07

引用格式: 景宇鹏, 李跃进, 年佳乐, 宋瑶. 土默川平原不同盐渍化程度土壤微生物生态特征研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(7): 1153-1159.

JING Yupeng, LI Yuejin, NIAN Jiale, SONG Yao. Study on ecological characteristics of microbes under different soil salinization degrees in Tumochuan plain [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(7): 1153-1159.

土壤盐渍化是目前世界面临的最主要的环境问题之一^[1], 直接影响着农业的可持续发展。我国盐渍化土壤面积约 1 亿 hm², 占全国可利用土地面积的 4.88%^[2]。随着耕地资源日趋减少的趋势, 盐碱地的开发利用具有巨大的潜力和广阔的应用前景。目前, 大部分学者对于盐碱土的研究主要侧重于土壤类型、水分、pH、施肥、植被等因素, 很少考虑到微生物因素。土壤中存在丰富的微生物资源, 土壤微生物是生态系统的重要组成部分, 是土壤分解系统的主要驱动因子, 具有巨大的生物化学活力, 其分布状况能够反应土壤环境条件的优劣。因此, 土壤微生物常作为土壤质量变化的重要参数^[3], 在土壤质量评价中越来越受到重视^[4]。

土默川平原地区是内蒙古主要粮食生产基地之一, 由于特定的水文地质条件和不合理的耕灌制度, 使得该地区出现大面积盐碱地, 土地盐碱化和次生盐渍化问题日趋严重, 甚至部分耕地不得不弃耕成为盐荒地, 严重影响着区域农牧民的收入和农业生产。近年来, 一些学者对于土默川平原盐渍化

土壤做了大量的研究, 也取得了一定成效, 但他们主要集中在土壤盐碱化程度和作物产量方面, 而有关土壤微生物方面的研究较少。为此, 笔者以土默川平原地区盐渍化土壤为研究对象, 初步测定分析了 3 种盐渍化程度不同季节土壤微生物区系特征、微生物量碳及微生物熵, 揭示土壤微生物特征与不同盐渍化程度土壤的关系, 为盐碱土壤的改良利用和可持续性发展以及土壤质量演变规律提供微生物方面的基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

土默川平原分布着大面积的盐渍土, 该地区土壤多为低产田和荒地, 面积约为 15.3 万 hm², 地势西高东低、北高南低, 倾斜度约在 3%, 较为平坦。本试验设置在土默川平原土默特左旗内蒙古农业大学海流园区进行, 位于北纬 40°38', 东经 111°28', 为中温带大陆性气候, 年平均气温 5.8 °C, 极端最高气温可达 39.3 °C, 极端最低气温为 -37.4 °C; 年平均降水量 417.5 mm, 年平均蒸

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40861011)

作者简介: 景宇鹏 (1983 年生), 男, 博士研究生, 研究方向为盐渍化土壤资源利用与改良技术。E-mail: jyp236@163.com

*通信作者: 李跃进, 教授, 博士生导师, 研究方向为盐渍化土壤资源利用与改良技术。E-mail: liyuejin2005@126.com

收稿日期: 2013-04-10

发量为 1800 mm, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的年积温 1700 ~ 3200 $^{\circ}\text{C}$, 无霜期 90 ~ 132 d。

1.2 试验设计

1.2.1 试验样点选择

为了研究土默川平原不同盐渍化程度对土壤微生物特征、土壤微生物量碳及微生物熵的影响, 依据内蒙古农业大学海流图园区土壤盐化程度分布图, 按土壤含盐量多少在轻度盐渍化、中度盐渍化、重度盐渍化土壤上设置 9 个样方 (10 m \times 7 m), 每个样方随机设置 3 个定点取样点, 从 2012 年 5 月到 9 月每月采集一次土壤样品, 土壤样品采用挖掘土壤剖面按 0 ~ 20、20 ~ 40 cm 分层取样, 将采集的土壤样品一部分装入无菌的牛皮纸袋中, 密封后带回实验室置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存备用; 一部分装入自封袋带回实验室风干后过筛用于土壤理化性质的测定。供试土壤基本情况见表 1。

表 1 供试土壤基本情况
Table 1 Soil chemical properties in the experiment

盐渍化区域	w(全盐量)/(g \cdot kg $^{-1}$)	pH	w(有机质)/(g \cdot kg $^{-1}$)
轻度盐渍化	2.76 \pm 0.89	8.06 \pm 0.07	5.85 \pm 1.23
中度盐渍化	4.93 \pm 0.51	8.56 \pm 0.29	4.33 \pm 1.15
重度盐渍化	6.44 \pm 0.61	9.31 \pm 0.28	3.98 \pm 1.15

1.2.2 测定方法

土壤微生物数量的测定: 采取经典稀释平板培养计数法^[5]。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基; 真菌采用 PDA 固体培养基; 放线菌采用高氏一号培养基。

土壤微生物量的测定: 土壤微生物碳采用氯仿熏蒸 K₂SO₄ 浸提重铬酸钾氧化法^[6]; 土壤基础呼吸采用密闭培养法^[5]。

土壤微生物熵是通过土壤微生物碳与土壤有机碳的比值计算而得。

1.2.3 数据统计

所有实验数据采用 Excell 和 SPSS 软件进行统计和差异性分析。

2 结果与分析

2.1 不同盐渍化程度下土壤微生物区系

2.1.1 土壤微生物数量及其季节动态

对 3 种轻度盐渍化、中度盐渍化、重度盐渍化土壤中细菌、真菌、放线菌数量及微生物总数进行了测定, 菌群数量特征见 (图 1 至图 4)。土壤中 3 大类群微生物数量在不同盐渍化程度表现为: 轻度盐渍化 > 中度盐渍化 > 重度盐渍化。不同盐渍化程度微生物总数为 2.89 \times 10⁵ ~ 3.88 \times 10⁶ 个 \cdot g $^{-1}$ 干土, 其中轻度盐渍化微生物总数是中度盐渍化的 1.20 倍, 是重度盐渍化的 1.64 倍; 细菌为 3.06 \times 10⁵ ~ 3.79 \times 10⁶

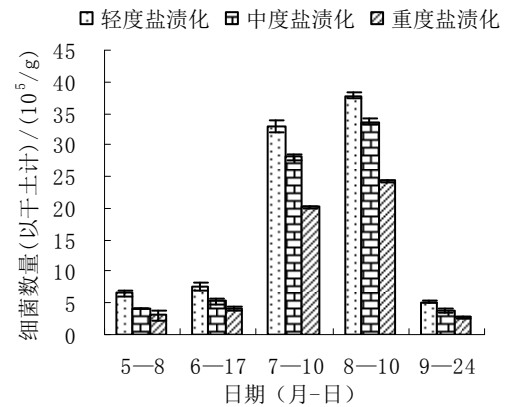


图 1 不同盐渍化程度土壤细菌数量的季节动态

Fig.1 Seasonal dynamics of amount of bacteria at different soil salinization degrees

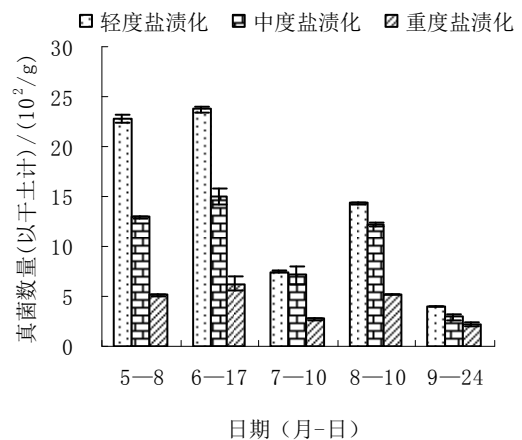


图 2 不同盐渍化程度土壤真菌数量的季节动态

Fig.2 Seasonal dynamics of amount of fungi at different soil salinization degrees

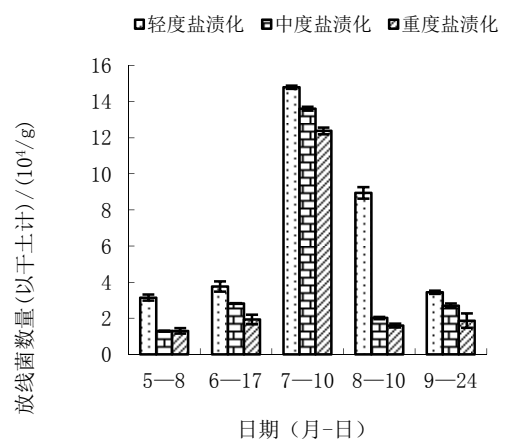


图 3 不同盐渍化程度土壤放线菌数量的季节动态

Fig.3 Seasonal dynamics of amount of actinomycetes at different soil salinization degrees

个 \cdot g $^{-1}$ 干土, 其中轻度盐渍化细菌数量是中度盐渍化的 1.20 倍, 是重度盐渍化的 1.66 倍; 放线菌为 1.29 \times 10⁴ ~ 1.48 \times 10⁵ 个 \cdot g $^{-1}$ 干土, 其中轻度盐渍化放

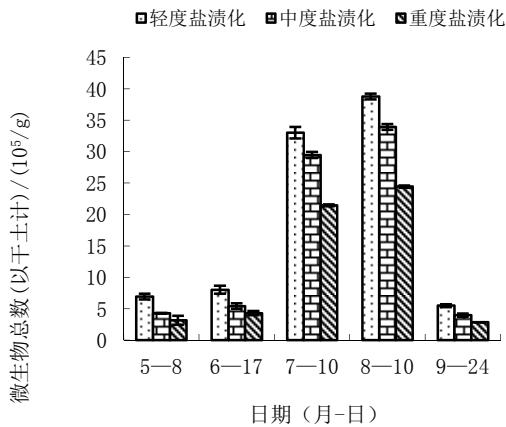


图4 不同盐渍化程度土壤总微生物数量的季节动态
Fig.4 Seasonal dynamics of total amount of microbes at different soil salinization degrees

线菌数量是中度盐渍化的 1.52 倍, 是重度盐渍化的 1.79 倍; 真菌为 $2.23 \times 10^2 \sim 2.37 \times 10^3$ 个·g⁻¹ 干土, 其中轻度盐渍化真菌数量是中度盐渍化的 1.44 倍, 是重度盐渍化的 3.36 倍。

不同季节土壤微生物数量变化规律, 细菌和微生物总数表现为: 8月>7月>6月>5月>9月; 放线菌表现为: 7月>8月>6月>5月>9月; 真菌分布表现为: 6月>5月>8月>7月>9月。整体上来看细菌、放线菌和微生物总数变化规律一致且具有明显的季节性变化规律。

经方差分析, 土壤细菌、放线菌及微生物总数在不同季节间动态变化差异极显著 ($F=28.99 > F_{0.01}=5.99$; $F=16.76 > F_{0.01}=5.99$; $F=29.91 > F_{0.01}=5.99$), 真菌在不同季节间变化差异不显著 ($F=2.10 < F_{0.05}=3.48$), 说明不同季节土壤细菌在微

生物总数中占绝对优势, 主要是细菌竞争能力强, 真菌对季节性环境的变化不敏感。

2.1.2 土壤微生物种群结构

微生物群落结构组成更能体现出土壤微生物在结构组成上的不同。由表 2 可知, 同一盐渍化程度土壤中微生物数量表现为: 细菌>放线菌>真菌。细菌喜中性和微碱性环境, 放线菌喜微碱性和碱性土壤中生存, 真菌喜酸性土壤中生存, 该地区盐碱土 pH 在 8.38 ~ 9.41, 有利于细菌和放线菌的繁殖, 所以该地区放线菌和细菌的数量较多, 且细菌所占的比例远大于真菌和放线菌, 其中细菌数量占微生物总数的 93.14% ~ 99.53%; 真菌占微生物总数的 0.01% ~ 0.33%; 放线菌占微生物总数的 0.60% ~ 6.79%, 且细菌数量较放线菌数量高 1 个数量级, 较真菌数量高 2 ~ 3 个数量级, 可以看出细菌在微生物数量中占有绝对的优势, 可决定微生物总量的分布, 土壤中有机物主要依赖于土壤中细菌类微生物来完成其分解与转化, 而一般的研究认为, 土壤中的真菌数量愈大, 表明土壤环境相对较好, 微生物类群愈趋于均衡, 从本研究结果来看, 3 个盐渍化区域真菌数量都比较小, 不利于微生物生长, 同时放线菌数量较真菌数量多, 表明放线菌是盐碱环境条件下土壤中较活跃的生物因子。

土壤微生物种群结构季节变化表明, 不同时期微生物总数随盐渍化程度的加强而降低, 且 7 月份随着盐渍化程度的加强, 细菌和真菌所占比例逐渐降低, 放线菌所占比例逐渐增加; 其他时期微生物种群结构没有明显的变化规律。

2.1.3 盐渍化程度对土壤微生物数量的影响

通过上述研究表明不同盐渍化程度土壤中微

表 2 不同盐渍化程度土壤微生物种群结构
Table 2 Variation of microbial population structure at different soil salinization degrees

月份	区域	土壤微生物群落			总数/10 ⁵
		细菌所占比例/%	真菌所占比例/%	放线菌所占比例/%	
5—8	轻度盐渍化	95.14	0.33	4.53	6.95
	中度盐渍化	96.69	0.30	3.01	4.30
	重度盐渍化	95.77	0.16	4.07	3.19
6—17	轻度盐渍化	95.03	0.29	4.68	8.04
	中度盐渍化	96.38	0.27	3.34	5.45
	重度盐渍化	95.36	0.15	4.49	4.31
7—10	轻度盐渍化	99.53	0.02	4.48	33.02
	中度盐渍化	95.36	0.02	4.62	29.46
	重度盐渍化	94.22	0.01	5.77	21.46
8—10	轻度盐渍化	97.66	0.04	2.31	38.77
	中度盐渍化	99.37	0.04	0.60	33.93
	重度盐渍化	99.32	0.02	0.65	24.46
9—24	轻度盐渍化	93.68	0.07	6.25	5.51
	中度盐渍化	93.14	0.07	6.79	3.99
	重度盐渍化	93.45	0.08	6.47	2.89

生物数量分布有所不同。因此,对土壤含盐量与微生物数量进行拟合。从图5可以看出,土壤盐渍化程度越重,微生物数量越少,其拟合可用线性回归关系表示 $y = -1.744x + 23.25$, $r^2 = 0.916$, $P < 0.001$, 达到了极显著水平,说明土壤盐分含量是影响该地区微生物生长的主要因素。

2.2 不同盐渍化程度下土壤微生物量碳及微生物熵季节动态

2.2.1 不同盐渍化程度下土壤微生物量碳季节动态

由图6、图7可以看出,不同盐渍化程度不同季节0~20、20~40 cm土层中土壤微生物量碳从大到小的顺序为:轻度盐渍化>中度盐渍化>重度盐渍化,即随着盐渍化程度的加重土壤微生物量碳显著减少。不同盐渍化程度0~40 cm土壤微生物量碳的季节变化表现出先增大后减少的趋势,即8月>7月>9月>6月>5月,其变化范围为:0.06~0.15 g·kg⁻¹。

经方差分析,不同盐渍化程度0~20 cm土壤

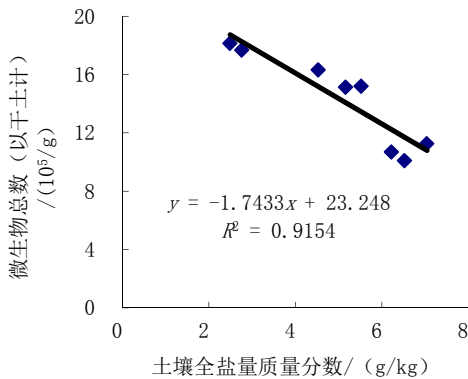


图5 土壤含盐量与微生物数量的关系

Fig. 5 Relationship between soil salt content and amount of microbes

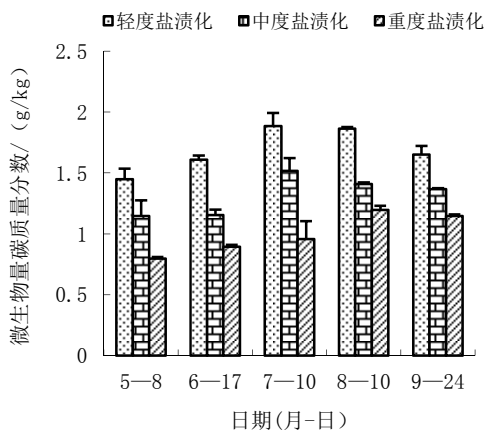


图6 不同盐渍化程度0~20 cm土壤微生物量碳季节动态

Fig. 6 Seasonal dynamics of microbial biomass C at different soil salinization degrees in 0~20 cm soil layer

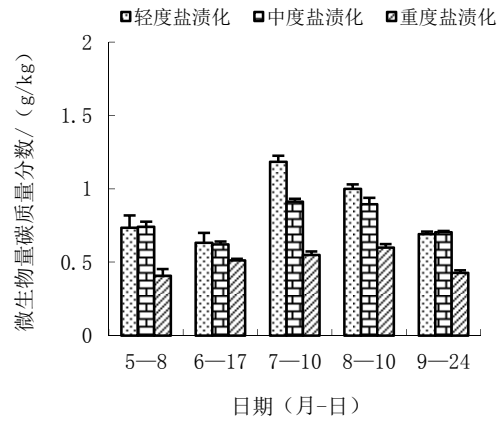


图7 不同盐渍化程度20~40 cm土壤微生物量碳季节动态

Fig. 7 Seasonal dynamics of microbial biomass C at different soil salinization degrees in 20~40 cm soil layer

微生物量碳差异极显著 ($F = 20.45 > F_{0.01} = 6.93$), 轻度盐渍化土壤微生物量碳是中度盐渍化的1.28倍, 是重度盐渍化的1.69倍; 不同盐渍化程度20~40 cm土壤微生物量碳差异显著 ($F = 6.60 > F_{0.05} = 3.89$), 轻度盐渍化土壤微生物量碳是中度盐渍化的1.09倍, 是重度盐渍化的1.70倍; 0~20 cm土壤微生物量碳是20~40 cm微生物量碳的2~3倍, 且差异极显著 ($F = 37.67 > F_{0.01} = 7.64$)。

2.2.2 不同盐渍化程度下土壤微生物熵季节动态

土壤微生物熵是土壤微生物量碳与土壤有机碳的比值,反映了土壤中可被微生物区系利用的底物的有效性和熟化程度,指示土壤质量变化和土壤健康状况。

由图8、图9可以看出,不同盐渍化程度不同季节0~20、20~40 cm土层中土壤微生物熵从大到小的顺序均为:轻度盐渍化>中度盐渍化>重度盐渍化,即随着盐渍化程度的增加土壤微生物熵显著减少。不同盐渍化程度0~40 cm土壤微生物熵变化表现出先增大后减少的趋势,即8月>7月>9月>6月>5月,其变化范围为:1.90%~3.33%。经方差分析,不同盐渍化程度0~20 cm土壤微生物熵差异显著 ($F = 5.43 > F_{0.01} = 3.89$), 轻度盐渍化土壤微生物熵是中度盐渍化的1.12倍,是重度盐渍化的1.31倍; 不同盐渍化程度20~40 cm土壤微生物熵商差异不显著 ($F = 1.20 < F_{0.05} = 3.89$), 轻度盐渍化土壤微生物熵是中度盐渍化的1.10倍,是重度盐渍化的1.16倍; 不同盐渍化程度0~20 cm与20~40 cm土壤微生物熵差异不显著 ($F = 4.02 < F_{0.05} = 4.20$)。

经方差分析,土壤微生物量碳在不同季节间变化差异显著 ($F = 3.60 > F_{0.05} = 2.76$); 土壤微生物熵在不同季节间变化差异极显著 ($F = 4.64 > F_{0.01} = 4.18$)。5月土壤温度低,降雨稀少,植被处于返青期,土

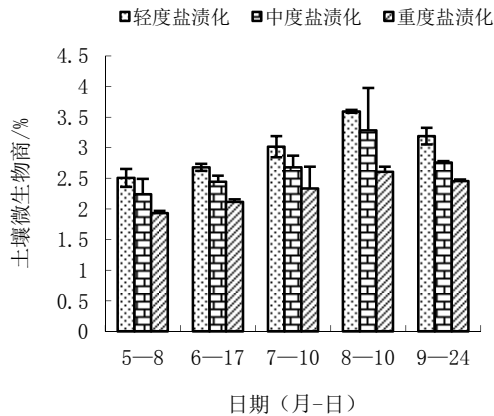


图8 不同盐渍化程度 0~20 cm 土壤微生物熵季节动态
Fig.8 Seasonal dynamics of microbial quotient at different soil salinization degrees in 0~20 cm soil layer

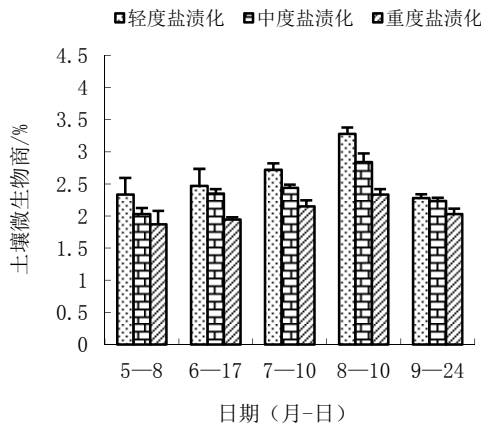


图9 不同盐渍化程度 20~40 cm 土壤微生物熵季节动态
Fig.9 Seasonal dynamics of microbial quotient at different soil salinization degrees in 20-40 cm soil layer

壤 pH 值高, 最高达 9.67, 土壤微生物数量和活性相对较小, 6—7 月随着土壤环境的改善, 微生物生物活性增加, 到 8 月雨热同期, 植物生长旺盛, 同时进入土壤中的有机体增加, 引起土壤微生物数量和活性增大, 微生物的生物量增加, 使得这一时期总微生物量达最大值, 9 月气温下降, 降雨减少, 土壤微生物数量和活性的降低, 使得微生物生物量明显减少。

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 土默川平原土壤微生物数量特征

土默川平原地区不同盐渍化土壤中三大类群微生物数量表现为细菌>放线菌>真菌, 其中细菌数量占微生物总数的 93.14%~99.53%; 真菌数量占微生物总数的 0.01%~0.33%; 放线菌数量占微生物总数的 0.60%~6.79%, 这与黄明勇等^[7]对天津滨海盐碱土地区城市绿地土壤、孙佳杰等^[8]对天津滨海盐

碱土、罗明等^[9]对新疆平原荒漠盐渍草地、胡文革等^[10]对新疆盐碱地环境下芨芨草土壤中微生物数量和所占比例分布特征是一致的, 认为细菌在土壤微生物总数中占绝对优势, 在盐渍化土壤物质转化和循环中起主导作用, 表明盐渍化土壤细菌是动植物残体分解的主体; 而与王银山等^[11]在新疆艾比湖湿地盐碱环境土壤研究结果不同, 认为放线菌在盐碱地土壤的物质转化和循环中起主导作用, 与冯玉杰等^[12]松嫩平原的盐碱化草原土壤中细菌占微生物总数的 65%以上, 放线菌占 34%以上, 差别较大, 这可能是由于不同盐分类型和盐渍化程度所造成的。

本研究区域盐渍化土壤微生物总数在 10^5 数量级内变动, 为 $2.89 \times 10^5 \sim 38.77 \times 10^6$ 个·g⁻¹干土, 相差 13 倍, 与其他地区或其他类型的土壤相比, 微生物总量较少; 且随着盐渍化程度加强土壤中细菌、真菌和放线菌数量逐渐降低的趋势, 这一分析结果与大多数学者曹国栋等^[13]、康贻军等^[14]、林学政等^[15]在滨海地区的研究结果基本一致, 认为盐分抑制了微生物的繁殖, 表现在无盐或盐分含量较低的情况下, 微生物数量较多, 说明重度盐渍化的土壤对土壤中微生物的生长有明显的抑制作用, 轻度盐渍化土壤微生物数量明显高于重度盐渍化土壤微生物数量, 说明微生物对盐渍化程度有一定的适应范围, 有待于进一步研究, 确定临界值。

本研究区域不同盐渍化土壤细菌、放线菌表现出明显的单峰凸式曲线变化规律, 这与李凤霞等^[16]在宁夏不同类型盐渍化土壤、赵卉琳等^[17]在新疆盐碱荒漠化土壤、时唯伟等^[18]对次生盐渍化土壤研究的结果不同; 而真菌的季节性变化与前人的研究规律相一致, 这可能是由于不同地区气候特征以及不同地区土壤盐分类型和盐分含量不同所导致的结果, 有待于进一步研究。目前, 对于盐分类型对于土壤中 3 大类群土壤微生物的研究报道的较少, 王飞^[19]研究认为, 氯化物和硫酸盐 2 种盐分对土壤微生物 3 大群落结构的影响存在差异, 且盐分对真菌多样性的影响程度要高于细菌。

3.1.2 土默川平原土壤微生物量碳特征

土壤微生物量碳随盐渍化程度加重呈显著降低的趋势, 这与王国栋等^[20]、路海玲等^[21]研究的结果一致, 反映了盐分胁迫对土壤微生物碳的有效性具有明显的抑制作用, 使得土壤微生物量及微生物区系种群结构均受到影响, 土壤活性养分库减小。

本研究土壤微生物量碳具有明显的季节性动态变化, 季节性差异显著, 这一结果与张崇邦等^[22]对东北松嫩平原退化碱蓬、碱茅土壤微生物量的季节性变化完全一致, 呈单峰凸式曲线变化, 高峰值

出现在8月份,而与张桂枝,杨靖春等^[23-24]在锡林河流域土壤微生物的季节变化不同,高峰值出现在7月份。

3.1.3 土默川平原土壤微生物熵特征

目前有关土壤微生物熵及微生物熵的季节性变化在盐渍化土壤中研究报道的较少。刘守龙等^[25]研究认为,微生物熵并不能完全代替土壤有机碳来反映土壤质量的变化趋势,但微生物熵的变化可以作为有机碳变化的早期指标。本研究认为土壤微生物熵随盐渍化程度加重呈显著降低的趋势,说明轻度盐渍化土壤中积累的有机碳较中度盐渍化、重度盐渍化多。不同盐渍化程度土壤微生物熵具有极显著的季节性变化,在8月份达最大值。

3.2 结论

1) 随着盐渍化程度的加重,土壤细菌、真菌和放线菌数量及微生物总数呈降低的趋势。轻度盐渍化微生物总数是中度盐渍化的1.20倍,是重度盐渍化的1.64倍;轻度盐渍化细菌数量是中度盐渍化的1.20倍,是重度盐渍化的1.66倍;轻度盐渍化放线菌数量是中度盐渍化的1.52倍,是重度盐渍化的1.79倍;轻度盐渍化真菌数量是中度盐渍化的1.44倍,是重度盐渍化的3.36倍。不同盐渍化程度土壤细菌数量均显著高于放线菌和真菌数量,表明细菌仍然是盐渍化土壤微生物活动的主体。

2) 不同盐渍化程度细菌、放线菌数量及微生物总数表现出明显的季节性变化规律,而真菌数量无明显季节性变化规律;土壤中微生物数量表现为:细菌>放线菌>真菌;从土壤微生物3大类群结构组成上来看,细菌所占比例最大,放线菌居中,真菌最少。

3) 土壤盐渍化程度越重,微生物数量越少,二者呈极显著的负相关关系,说明土壤盐分含量是影响该地区微生物生长的主要因素。

4) 随着盐渍化程度的加重土壤微生物量碳和微生物熵均显著下降,且土壤微生物量碳和微生物熵的季节性变化一致,呈单峰凸式曲线变化,在8月份达最大值,微生物量碳变化范围为:0.06~0.15 g·kg⁻¹,微生物熵变化范围为:1.90~3.33%。

参考文献:

[1] Joachim H J. R. Makoi. Hubert Verplancke. Effect of gypsum placement on the physical chemical properties of a saline sandy loam soil[J]. Australian Journal of Crop Science, 2010, 4(7):556-563.

[2] 房朋,任丽丽,张立涛,等. 盐胁迫对杂交酸模叶片光合活性的抑制作用[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2137-2142.

[3] Kennedy A C, Smith K L. Soil microbial diversity and the sustain

ability of agricultural soils[J]. Plant Soil, 1995, 170: 75-86.

[4] 牛世全,杨建文,胡磊,等. 河西走廊春季不同盐碱土壤中微生物数量、酶活性与理化因子的关系[J]. 微生物学通报, 2012, 39(3): 416-427.

[5] 许光辉,郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 上海:上海科技出版社, 1986, 226-228.

[6] 吴金水,林启美,黄巧云,等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 2006: 54-63.

[7] 黄明勇,杨剑芳,王怀锋,等. 天津滨海盐碱地城市绿地土壤微生物特性研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(6): 1131-1135.

[8] 孙佳杰,尹建道,解玉红,等. 天津滨海盐碱地土壤微生物生态特性研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(3): 57-61.

[9] 罗明,邱沃. 新疆平原荒漠盐渍草地土壤微生物生态分布的研究[J]. 中国草地, 1995(5): 29-33.

[10] 胡文革,赵亚东,闫平,等. 盐碱地环境下芨芨草土壤微生物群落的初步分析[J]. 生态环境, 2007, 16(1):197-200

[11] 王银山,张燕,谢辉,等. 艾比湖湿地不同盐碱环境土壤微生物群落特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(5): 133-136.

[12] 冯玉杰,张巍,陈桥,等. 松嫩平原盐碱化草原土壤理化特性及微生物结构分析[J]. 土壤, 2007, 39(2): 301-305.

[13] 曹国栋,陈接华,王绍明,等. 不同盐生植被类型下土壤微生物特性研究[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(3): 523-530.

[14] 康貽军,胡健,董必慧. 滩涂盐碱土壤微生物生态特征的研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(S1): 181-183.

[15] 林学政,陈靠山,何培青,等. 种植盐地碱蓬改良滨海盐渍土对土壤微生物区系的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 801-807.

[16] 李凤霞,王学琴,郭永忠,等. 宁夏不同类型盐渍化土壤微生物区系及多样性[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 107-111

[17] 赵卉琳,来航线,冯昌增,等. 新疆部分地区盐碱荒漠化土壤养分及放线菌区系组成[J]. 西北农业学报, 2008, 17(1): 161-166.

[18] 时唯伟,支月娥,王景,等. 土壤次生盐渍化与微生物数量及土壤理化性质研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(6): 166-170

[19] 王飞. 盐分对土壤微生物多样性及土壤有机物转化的影响[D]. 石河子大学, 2011, 39-47.

[20] 王国栋,褚贵新,刘瑜,等. 干旱绿洲长期微咸地下水灌溉对棉田土壤微生物量影响[J]. 农业工程学报, 2009, 11(25): 44-48.

[21] 路海玲,孟亚利,周玲玲,等. 盐胁迫对棉田土壤微生物量和土壤养分的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 197-201.

[22] 张崇邦,时迪. 退化草原碱蓬土壤微生物生物量的季节动态模型[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(6): 588-592.

[23] Zhang G Z. The initial study of the soil microbial biomass in the involuted grasslands of Xilinhe river[J]. Grass-land China.1990(1): 37-40.

[24] Yang J C. The studies of soil microorganism respiration rate in the Leymus chinensis grassland of northeastern China[J]. Acta Ecolog Sin, 1989, 9(2): 139-143.

[25] 刘守龙,苏以荣,黄道友,等. 微生物熵对亚热带地区土地利用及施肥制度的响应[J]. 中国农业科学, 2006, 39(7): 1411-1418.

Study on ecological characteristics of microbes under different soil salinization degrees in Tumochuan plain

JING Yupeng, LI Yuejin^{*}, NIAN Jiale, SONG Yao

College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010019, China

Abstract: In order to investigate the response of soil microbes to different salinization degree, we analyzed the seasonal dynamic of soil microbial flora, composition, microbial biomass carbon and microbial quotient under different salt affected soils using dilute plate counting and chloroform fumigation methods in Tumochuan Plain. The results indicated that the total amount of soil microbes in Tumochuan Plain were less and varied from 2.89×10^5 to 38.77×10^6 cfu·g⁻¹. The bacteria dominated microbial communities accounting for 93.14% ~ 99.53% of total. With the increasing of salinization degree, the total amount of microbes significantly decreased. The ratios of amount of bacteria, fungi, actinomycetes and microbes in light, moderate and high salt affected soil are 1 : 0.83 : 0.60, 1 : 0.70 : 0.30, 1 : 0.66 : 0.56 and 1 : 0.84 : 0.61, respectively. With the exception of fungi, soil bacteria, actinomycetes and the total number of microbes showed a significant seasonal variation. The proportion of soil population to the total microorganisms was bacteria > actinomycetes > fungi. The microbial biomass carbon and microbial quotient in different salt affected soil was light > moderate > high salinization. The variation of soil microbial biomass and microbial quotient illustrated a shape of "bell" and reached the maximum (153.3 mg·kg⁻¹ and 3.4%) in the August. In conclusion, the characteristics of microbial flora in different salt affected soil show a significant difference. Soil salt content is a main factor affected microbial growth in this area.

Key words: Salinization soil; Soil microbial community; Microbial biomass carbon; Microbial quotient; Tumochuan plain