

刘莹,孙文松,李玲,等.不同农业改良措施对老参地土壤酶活性及微生物群落的影响[J].江苏农业科学,2024,52(6):235-241.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.06.030

不同农业改良措施对老参地土壤酶活性及微生物群落的影响

刘莹^{1,2},孙文松^{1,2},李玲^{1,2},李旭^{1,2},王新雅^{1,2},刘兵³

(1. 辽宁省经济作物研究所,辽宁辽阳 111000; 2. 辽宁省农业科学院药用植物研究所,辽宁辽阳 111000;
3. 辽宁省辽阳生态环境监测中心,辽宁辽阳 111000)

摘要:连作障碍是限制人参产业高质量发展的关键因素。通过不同改良措施对老参地土壤养分、土壤酶活性及土壤微生物种类丰富度的影响研究,解析不同农业措施对连作人参地的改良作用机制。本研究以轮作水稻、杀菌剂+高温闷地、高温闷地、淹水等为处理,以老参地不处理土壤为对照,测定了土壤基础理化指标、酶活及土壤微生物,并分析了其间的相关性。结果表明,与对照相比,不同处理均对土壤养分、土壤酶活性和微生物多样性产生不同程度影响,综合多指标分析结果表明,轮作水稻改良效果突出,提高了老参地土壤过氧化酶活性、中性磷酸酶活性、脲酶活性,增加了土壤真菌多样性,降低了多酚氧化酶活性。相关性分析结果表明,土壤多酚氧化酶与速效氮呈显著正相关,微生物多样性真菌 ACE 指数、Chao1 指数、香农指数均与脲酶活性呈正相关,其中 ACE 指数、Chao1 指数呈显著水平,而香农指数呈极显著水平,细菌 Chao1 指数与多酚氧化酶活性呈显著正相关。老参地轮作水稻,这项改良措施通过提升多种土壤酶活性及微生物丰富度能够起到改良土壤的作用,为老参地土壤改良提供有效措施和理论基础。

关键词:人参;连作障碍;土壤养分;改良措施;土壤酶活;土壤微生物

中图分类号:S567.5⁺10.6;S154.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)06-0235-07

人参(*Panax ginseng*)是多年生草本植物,连年种植人参的土地俗称老参地,人参忌地性极强,一般认为老参地需要经过 33 年以上的休耕还林才能

再种参,老参地如未经改良处理直接栽参极易导致病虫害多、出苗率低、须根褐变腐烂等问题^[1]。目前除野山参及林下抚育栽参外,生产上都是采用伐林栽参模式,然而由于伐林栽参易破坏大量的森林资源,造成严重的水土流失,生态环境失衡等问题,因此伐林栽参并不能长久之计。同时,随着我国退耕还林、平原绿化、天然林保护三大工程的实施,已明令禁止开垦林地栽参,致使人参主产区辽宁、吉林、黑龙江等东北三省适宜栽参的土地严重不足,因此,老参地土壤改良是目前人参产业发展中迫切需要解决的首要问题之一。此前,国内外学者研究认为人参连作制约因素主要有:(1)土壤理化性质劣变;(2)土壤微生物群落变化,人参根际土壤中细

收稿日期:2023-04-06

基金项目:辽宁省应用基础研究计划(编号:2022JH2/101300284);辽宁省农业科学院协同创新“揭榜挂帅”专项(编号:2022XTCX0503);国家现代农业产业技术体系建设专项;辽宁省科技厅乡村振兴联合计划(编号:2021JH2/10200044);辽宁省科技厅创新平台建设项目(编号:2021JH13/10200007)。

作者简介:刘莹(1986—),女,辽宁灯塔人,博士,副研究员,主要从事中药材育种与栽培研究。E-mail:357237261@qq.com。

通信作者:孙文松,硕士,研究员,从事中药材资源收集与利用、中药材新品种选育及绿色生态栽培技术研究。E-mail:sunwensong12@126.com。

Health and Management,2000,3(1):163-166.

[46] Lü X F, Yu J B, Fu Y Q, et al. A meta-analysis of the bacterial and archaeal diversity observed in wetland soils [J]. The Scientific World Journal,2014,2014:437684.

[47] 蒋曼,姚萍,杨涛,等.实时荧光定量 PCR 法研究溃疡性结肠炎患者肠道双歧杆菌属、柔嫩梭菌属及拟杆菌属量的变化[J].中国微生态学杂志,2013,25(11):1245-1249,1254.

[48] 樊英,王晓璐,李乐,等.基于高通量测序的不同养殖系统

下凡纳滨对虾肠道和水体中微生物的多样性[J].广西科学院学报,2017,33(4):261-267,273.

[49] 沈辉,万夕和,何培民,等.脊尾白虾肠道微生物菌群结构[J].微生物学通报,2015,42(10):1922-1928.

[50] Tanentzap A J, Fitch A, Orland C, et al. Chemical and microbial diversity covary in fresh water to influence ecosystem functioning [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2019,116(49):24689-24695.

菌和放线菌数量连年减少,真菌数量连年增多,有益菌数量减少;(3)根际周围自毒物质不断积累聚集土壤微生态环境发生劣变,影响植株正常代谢,最终产生连作障碍^[2-11]。本研究通过各种调控措施轮作、淹水、高温闷地等方式对老参地进行改良,着重研究不同改良措施对老参地土壤养分、酶活性及微生物群落结构影响,以期为老参地改良提供理论基础和技术支撑,进而促进东北参业可持续健康发展。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验在抚顺新宾县长沙村连续(2014—2018年)种植人参的老参地进行,前茬为玉米,土壤为黄壤土。

1.2 试验设计

2019 年开展老参地土壤处理,试验共设置 7 个处理,处理 1:轮作水稻(5 月移栽水稻,按常规管理);处理 2:杀菌剂 + 高温闷地,5 月末 6 月初施用多菌灵杀菌剂(苏农生物科技有限公司,用量为 1 500 g/hm²)后旋耕深翻 35 cm,浇透水后覆盖黑地膜,9 月撤掉地膜,再次旋耕并裸晒 1 周,以备人参播种(移栽);处理 3:高温闷地,5 月末 6 月初旋耕深翻 35 cm,浇透水后覆盖黑地膜,9 月撤掉地膜,再次旋耕并裸晒 1 周,以备人参播种(移栽);处理 4:对照,老参地不做任何处理;处理 5:淹水 3 个月;处理 6:淹水 2 个月;处理 7:淹水 1 个月。随机区组设计,重复 3 次,每个小区面积 20 m²。

1.3 测定项目和方法

2019 年 9 月 10 日分别采集试验地各试验小区土壤样品,采用 5 点采样法采集耕层(0~30 cm)土样 50 g,去除杂质后进行混匀,用 5 mL 取样管盛装 3 mL 土壤样品并置于干冰中运输至实验室,将样品保存于 -80 ℃ 冰箱用于测定微生物多样性;同样采用 5 点采样法采集耕层(0~30 cm)土样 500 g,自然风干后研磨,过 60 目筛用于土壤理化性质及土壤酶活测定。

1.3.1 土壤化学性质测定 土壤酸碱度(pH 值)通过 pH 计(梅特勒 Seven2Go)测定,土壤有机质含量采用 K₂Cr₂O₇ 容量法测定,土壤有效氮含量利用碱解扩散法测定,土壤有效磷含量的测定采用 NaHCO₃ - 钼锑抗分光光度法,土壤速效钾含量的测定利用乙酸铵(CH₃COONH₄)浸提法。

1.3.2 土壤酶活性测定 土壤酶活试剂盒购于北京索莱宝公司,各种酶活性的测定根据试剂盒说明书进行,其中参照脲酶活性检测试剂盒(BC0120,北京索莱宝科技有限公司)说明书测定脲酶活性;参照过氧化氢酶活性检测试剂盒(BC0100,北京索莱宝科技有限公司)说明书测定土壤过氧化氢酶活性;参照土壤中磷酸酶活性检测试剂盒(BC0465,北京索莱宝科技有限公司)说明书测定中性磷酸酶活性;参照土壤多酚氧化酶活性检测试剂盒(BC0115,北京索莱宝科技有限公司)说明书测定土壤多酚氧化酶活性。

1.3.3 土壤微生物的测定 土壤微生物多样性测定委托北京百迈客生物科技有限公司,提取土壤总 DNA 后,利用末端带有测序接头的特异性引物进行 PCR 扩增、纯化、定量及均一化构建小片段文库,再用 Illumina NovaSeq 6000 进行测序,通过 Reads 进行拼接、聚类及去噪,进行丰度分析。

1.4 数据分析与处理

土壤微生物数据系统分析使用北京百迈客生物科技有限公司。用 SPSS 17.0 进行单因素方差分析及多重比较,使用 Excel 2013 进行数据处理及制图。

2 结果与分析

2.1 不同改良措施对老参地土壤养分及土壤酶活的影响

2.1.1 土壤养分 从表 1 可以看出,经不同改良措施处理后土壤理化性状发生改变。与对照相比,轮作水稻、杀菌剂 + 高温闷地处理土壤 pH 值提高至 7.58、7.63,高温闷地处理土壤 pH 值显著降低,为 7.02;淹水处理 1 个月显著降低土壤 pH 值,随着淹水时间延长,pH 值显著上升,淹水 3 个月处理土壤 pH 值为 8.43,显著高于对照。与对照相比,除杀菌剂 + 高温闷地和轮作水稻处理外,各处理均提高了土壤有机质含量;除杀菌剂 + 高温闷地处理外,各处理均降低了有效磷含量。与对照相比,轮作水稻、杀菌剂 + 高温闷地处理显著降低了土壤速效氮含量,高温闷地处理显著提高了速效氮含量,比对照高 17.75%;淹水 1 个月、淹水 2 个月处理速效氮含量与对照相比显著降低 4.40%、2.27%,但淹水处理 3 个月处理速效氮含量比对照显著提高 4.45%。各处理土壤速效钾含量均降低,排序为对照 > 淹水 3 个月 > 淹水 1 个月 > 高温闷地 > 淹水 2 个月 > 杀菌剂 + 高温闷地 > 轮作水稻处理。

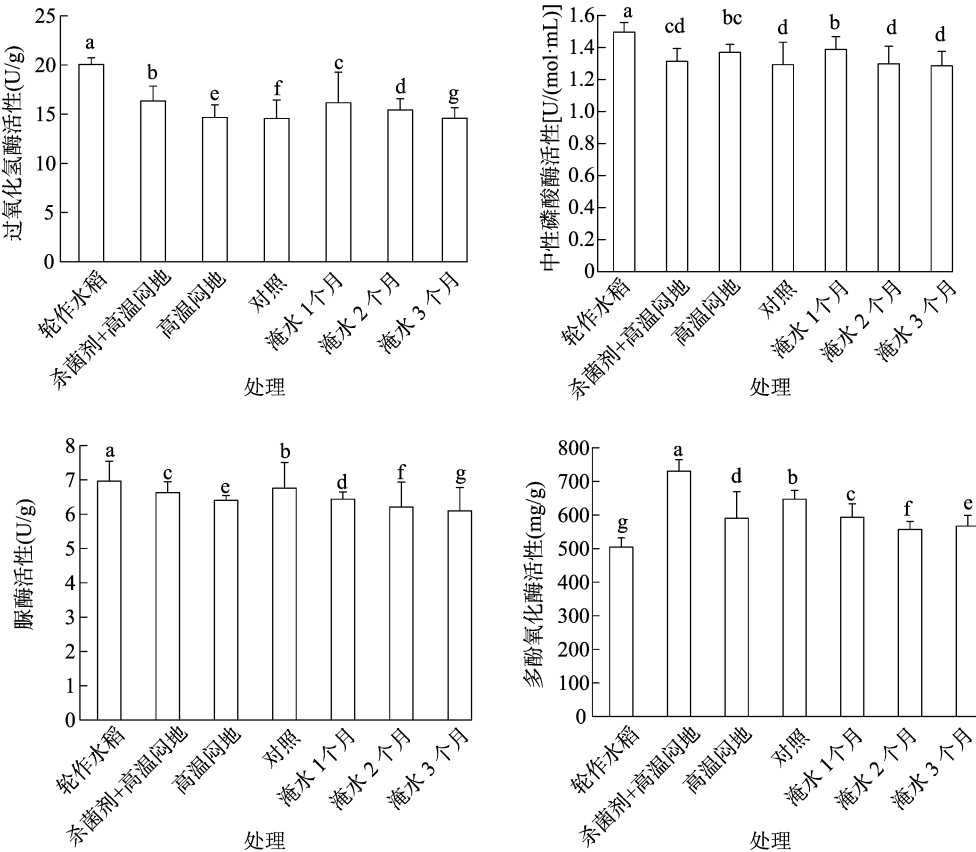
表 1 不同处理对土壤养分的影响

处理	pH 值	有机质含量 (g/kg)	速效氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
轮作水稻	7.58 ± 0.02b	28.34 ± 2.00b	137.88 ± 0.46f	67.7 ± 0.07c	78 ± 0.09g
杀菌剂 + 高温闷地	7.63 ± 0.03b	26.21 ± 1.26c	144.52 ± 0.01e	90.1 ± 0.03a	108 ± 0.11f
高温闷地	7.02 ± 0.02c	31.32 ± 1.24a	177.47 ± 0.01a	67.7 ± 0.01c	127 ± 0.23d
对照	7.37 ± 0.04b	28.73 ± 0.13b	150.72 ± 0.01c	89.5 ± 0.12b	193 ± 0.19a
淹水 3 个月	8.43 ± 0.03a	30.75 ± 0.28a	157.42 ± 0.58b	61.5 ± 0.06e	156 ± 0.35b
淹水 2 个月	6.88 ± 0.02c	31.91 ± 1.28a	147.30 ± 0.02d	56.2 ± 0.01f	110 ± 0.09e
淹水 1 个月	5.94 ± 0.03d	29.17 ± 2.16b	144.08 ± 0.01e	63.1 ± 0.03d	130 ± 0.09c

注:同列数据后不同小写字母代表差异显著($P < 0.05, n = 3$)。表 3 同。

2.1.2 土壤酶活性 不同土壤样品的酶活性见图 1,轮作水稻土壤过氧化氢酶活性最高,显著高于其他处理,高于对照 37.70%,杀菌剂 + 高温闷地、高温闷地处理分别高于对照 12.11%、0.67%。另外,过氧化氢酶活性随着淹水时间的延长而降低,淹水

1 个月和淹水 2 个月分别比对照增大 10.92% 和 5.92%。而淹水 3 个月比对照降低了 9.66%。不同改良技术对土壤过氧化氢酶影响大小排序为轮作水稻 > 杀菌剂 + 高温闷地 > 淹水 1 个月 > 淹水 2 个月 > 高温闷地 > 对照 > 淹水 3 个月处理。



柱上不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上显著差异

图1 不同改良措施对土壤酶活的影响

不同土壤改良措施对土壤中中性磷酸酶活性影响较大。轮作水稻土壤中中性磷酸酶活性仍然最高,显著高于对照 15.70%,杀菌剂 + 高温闷地、高温闷地处理分别高于对照 1.55% 和 5.88%。另外,中性

磷酸酶活性随着淹水时间的延长同样也降低,淹水 1 个月和淹水 2 个月处理分别比对照增大 7.27% 和 0.39%。而淹水 3 个月比对照降低了 0.62%。不同改良技术对土壤中中性磷酸酶活性影响大小排序

为轮作水稻>淹水 1 个月>高温闷地>杀菌剂+高温闷地>对照>淹水 2 个月>淹水 3 个月处理。轮作水稻、淹水 1 个月、高温闷地中性磷酸酶活性增加,与对照差异显著;杀菌剂+高温闷地和高温闷地之间,以及与对照、淹水 2 个月和淹水 3 个月处理间差异不显著。

不同土壤改良措施对土壤脲酶活性影响差异显著。轮作水稻土壤脲酶活性最高,显著高于对照 3.03%;淹水 3 个月最低,比对照减小了 9.76%。其他 4 个处理(杀菌剂+高温闷地、淹水 1 个月、高温闷地和淹水 2 个月)脲酶活性均低于对照,分别减少了 1.92%、4.73%、5.28% 和 8.14%。

表 2 土壤特性与土壤酶活的相关性

项目	相关系数				
	pH 值	有机质含量	速效氮含量	有效磷含量	速效钾含量
过氧化氢酶活性	0.077	-0.303	-0.171	-0.117	-0.482
脲酶活性	-0.119	-0.428	-0.134	0.386	-0.157
中性磷酸酶活性	-0.081	-0.586	-0.565	0.018	-0.685
多酚氧化酶活性	-0.221	0.224	0.841 *	0.267	0.481

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。表 4、表 5 同。

2.2 不同改良措施对土壤微生物多样性及群落结构的影响

2.2.1 土壤微生物多样性 土壤微生物丰富度和多样性的评价结果(表 3)表明,在真菌群落中轮作水稻种的数量显著高于其他处理,其次是对照、高温闷地、杀菌剂+高温闷地,这 3 个处理显著高于淹

同样,不同土壤改良措施对土壤多酚氧化酶活性影响差异显著。轮作水稻处理土壤多酚氧化酶活性最低,显著低于对照 22%;除杀菌剂+高温闷地处理,高温闷地和淹水 1 个月、淹水 2 个月、淹水 3 个月处理多酚氧化酶活性均低于对照,分别降低了 8.79%、8.30%、13.93%、12.40%。

2.1.3 土壤养分与土壤酶活相关性分析 相关性分析结果(表 2)表明,土壤多酚氧化酶活性与速效氮含量有显著的正相关($P<0.05$);土壤过氧化氢酶、脲酶、中性磷酸酶活性与有机质含量等养分均无显著相关性。

水 3 个月、淹水 1 个月和淹水 2 个月。香农指数和 Chao1 指数轮作水稻高于其他处理,与处理 2、处理 3、处理 4 差异不显著,而显著高于处理 5、处理 6、处理 7。然而在细菌群落中种的数量、香农指数及 Chao1 指数各处理间差异不显著。

表 3 不同处理土壤微生物的评估指数

物种	处理	ACE 指数	香农指数	Chao1 指数	覆盖率 (%)
真菌	轮作水稻	515.64 ± 30.59a	5.29 ± 0.53a	511 ± 36.39a	99.9
	杀菌剂+高温闷地	469.21 ± 26.67b	4.85 ± 0.21ab	469 ± 22.27ab	99.9
	高温闷地	467.17 ± 17.28b	4.50 ± 0.21ab	461 ± 12.97abc	99.9
	对照	478.15 ± 19.56b	4.74 ± 0.44ab	476 ± 16.08ab	99.8
	淹水 3 个月	367.75 ± 20.73c	4.10 ± 0.23b	360 ± 23.96bcd	99.9
	淹水 2 个月	336.24 ± 14.51c	4.06 ± 0.13b	329 ± 17.77cd	99.9
	淹水 1 个月	366.76 ± 35.49c	4.01 ± 0.21b	385 ± 82.29d	99.9
细菌	轮作水稻	2 620.02 ± 56.88c	8.74 ± 0.24a	2 538 ± 101.18c	98.8
	杀菌剂+高温闷地	3 240.33 ± 317.74a	9.13 ± 0.27a	3 758 ± 1 440.44a	98.4
	高温闷地	2 990.11 ± 63.69b	9.35 ± 0.12a	2 927 ± 92.06b	98.8
	对照	2 680.51 ± 104.91c	8.82 ± 0.07a	2 593 ± 75.71c	98.7
	淹水 3 个月	2 569.11 ± 180.99c	8.72 ± 0.18a	2 519 ± 170.79c	98.9
	淹水 2 个月	2 651.43 ± 414.16c	8.61 ± 0.59a	2 569 ± 372.86c	98.8
	淹水 1 个月	2 707.02 ± 377.87c	8.89 ± 0.25a	2 600 ± 320.63c	98.8

2.2.2 土壤微生物群落结构 不同处理土壤的真菌群落在门水平的丰度排序(前 10 名)结果(图 2)表明,在土壤真菌群落中注释到 3 个主要的门,球囊菌门(Mortierellomycota)在淹水 3 个月、淹水 2 个月、淹水 1 个月中均是最丰富的门,相对丰度在 46.1%~47.4% 之间;子囊菌门(Ascomycota)是高温闷地及对照样品中最丰富的门,相对丰度分别为 33.5% 和 36.4%;而在轮作水稻和杀菌剂+高温闷地样品中其他真菌门相对丰度最大,分别为 31.1% 和 29.5%,其次是子囊菌门(Ascomycota),分别为 29.8% 和 28.6%;担子菌门(Basidiomycota)为第 3 个被注释到的主要门类,各处理相对丰度在 2.9%~19.5% 之间。

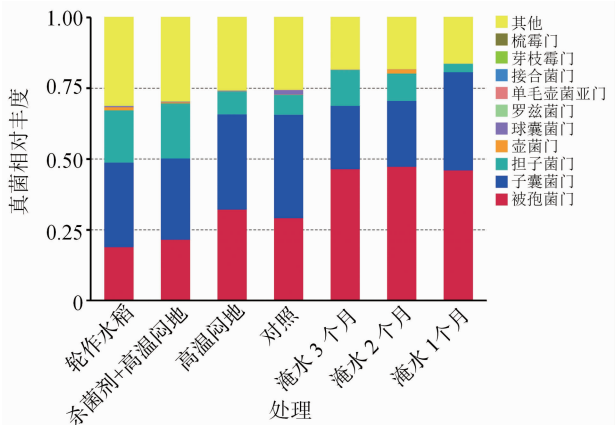


图2 不同处理真菌群落在门水平的相对丰度

不同处理土壤的细菌群落在门水平的丰度排序(前 10 名)结果(图 3)表明,其中变形菌门

(Proteobacteria)丰度大小顺序为淹水 1 个月> 对照> 高温闷地> 淹水 2 个月> 杀菌剂+高温闷地> 淹水 3 个月> 轮作水稻处理;酸杆菌门(Acidobacteriota)相对丰度大小排序为水稻轮作> 对照> 杀菌剂+高温闷地> 高温闷地> 淹水 3 个月> 淹水 2 个月> 淹水 1 个月处理;拟杆菌门(Bacteroidetes)各处理均高于对照。

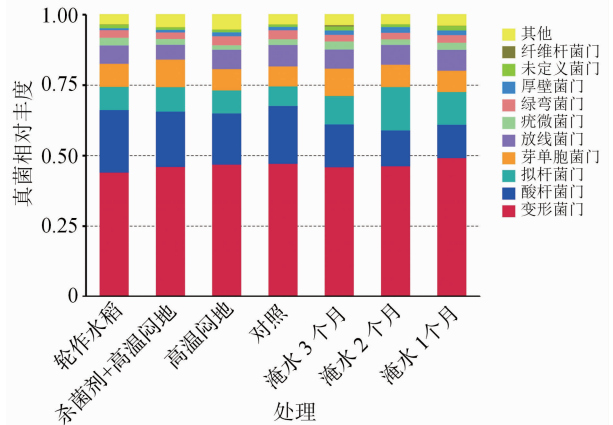


图3 不同处理细菌群落在门水平的相对丰度

2.3 土壤酶活性与土壤微生物丰富度的相关性分析

2.3.1 土壤酶活性与土壤微生物多样性相关性分析 由表 4 可知,脲酶活性与真菌 ACE 指数、Chao1 指数呈显著正相关,与香农指数呈极显著正相关;多酚氧化酶与细菌 Chao1 指数呈显著正相关。而过氧化氢酶和中性磷酸酶活性与真菌、细菌多样性也具有一定相关性,但均未达到显著水平。

表 4 微生物多样性与土壤酶活性的相关性

项目	评估指数	相关系数			
		过氧化氢酶活性	脲酶活性	中性磷酸酶活性	多酚氧化酶活性
真菌	ACE 指数	0.584	0.862 *	0.506	0.178
	香农指数	0.707	0.932 **	0.582	0.094
	Chao1 指数	0.593	0.822 *	0.469	0.185
细菌	ACE 指数	-0.081	0.041	-0.237	0.735
	香农指数	-0.079	-0.021	-0.052	0.453
	Chao1 指数	0.015	0.122	-0.217	0.805 *

2.3.2 土壤酶活性与微生物组成的相关性分析 土壤酶活性与微生物优势门类的相关性结果(表 5)表明,脲酶活性与真菌的被孢霉门(Mortierellomycota)、细菌的厚壁菌门(Firmicutes)呈负相关,其中与被孢霉门呈显著水平,与厚壁菌门

呈极显著水平,而脲酶与细菌的酸杆菌门(Acidobacteria)呈极显著正相关。过氧化氢酶与细菌的厚壁菌门呈显著负相关。中性磷酸酶和多酚氧化酶与真菌、细菌优势门类具有一定相关性,但均未达到显著水平。

表 5 土壤酶活性与微生物优势门类的相关性

项目	种类	相关系数			
		过氧化氢酶活性	脲酶活性	中性磷酸酶活性	多酚氧化酶活性
真菌	被孢霉门	-0.617	-0.862 *	-0.456	-0.274
	子囊菌门	-0.005	0.161	-0.146	0.123
	担子菌门	0.653	0.662	0.550	0.210
	壶菌门	0.151	0.150	0.213	-0.431
	球囊菌门	-0.070	0.557	-0.151	0.266
细菌	变形菌门	-0.615	-0.721	-0.730	0.183
	酸杆菌门	0.579	0.953 **	0.526	0.218
	拟杆菌门	-0.459	-0.729	-0.385	-0.338
	芽单胞菌门	0.318	0.105	0.206	0.388
	放线菌门	-0.398	-0.304	-0.223	-0.492
	疣微菌门	0.630	0.163	0.498	-0.381
	绿弯菌门	-0.121	0.214	0.009	-0.044
	厚壁菌门	-0.777 *	-0.886 **	-0.573	-0.232

3 讨论与结论

土壤养分含量是衡量土壤肥力的重要指标。吴艾轩等通过分析总结出适合栽种人参土壤的养分条件为含有机质 16 ~ 30 g/kg、有效氮 10 ~ 150 mg/kg、速效磷 20 ~ 50 mg/kg、速效钾 200 ~ 300 mg/kg^[12]。多项研究证实,多年连续种植土壤养分失衡,且土壤理化性质发生改变,土壤微生物群落多样性降低^[13]。本研究结果发现,不同改良方式对老参地土壤酸碱度无明显作用,处理间差异不大;然而,不同改良措施改变了土壤养分,与老参地(对照)相比,轮作、闷地及淹水处理绝大部分降低了土壤养分含量,这一结果同王克磊等关于番茄与水稻轮作的结果^[14]相同,分析原因为各处理均为浇透水或淹水处理,可有效调节土壤 EC 值,影响氮磷钾养分的积累量和元素有效性,改善土壤养分状况的效果。进一步分析发现,与对照相比,通过轮作水稻、杀菌剂 + 高温闷地、淹水 1 个月处理,可降低土壤有机质和速效氮含量,在一定程度上缓解了土壤盐渍化及养分失衡,改良后土壤中有机质和速效氮含量介于人参生长的适宜范围;然而轮作水稻、杀菌剂高温闷地改良后的土壤速效磷、速效钾含量仍未达到适宜人参生长的标准,仍需进一步优化改进,以创造出适宜人参生长的土壤环境^[2]。

土壤酶在土壤中发挥着至关重要的作用,它的活性大小决定了能量转化的强度,进而影响着土壤

质量及植物的生长情况,是判断土壤生化过程强度和评价土壤肥力的重要依据^[15-16]。张泽锦等的研究表明,与旱地连作相比,水旱轮作提高了土壤中 3 种酶活性,分别为蔗糖酶、脲酶和磷酸酶活性^[17]。周勃等研究发现,以棉花连作地为对照,通过轮作水田处理土壤脲酶活性大幅降低,而土壤磷酸酶、过氧化氢酶和蔗糖酶活性有效增加,土壤质量得到大幅度改善^[18]。刘永亮等研究认为,水旱轮作、淹水处理均提高了土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和蛋白酶活性^[19]。本试验选取过氧化氢酶、脲酶、中性磷酸酶和多酚氧化酶 4 种重要土壤酶,用于评价土壤修复效果。通过研究得到了相似的结果,与对照相比,除淹水 3 个月外,其他改良方法均增强了土壤中过氧化氢酶活性,其中轮作水稻处理的过氧化氢酶活性最高,该酶与 H₂O₂ 清除系统密切相关,能有效防止过氧化氢对连作植物的毒害,是土壤微生物代谢的重要酶类,是评价土壤微生物境优劣的重要标志;同样,水稻轮作、杀菌剂高温闷地、高温闷地、淹水 1 个月提高了土壤中性磷酸酶活性,以水稻轮作处理下活性最高,土壤磷酸酶与土壤有机磷分解与转化及生物有效性密切相关,是催化土壤有机磷矿化的酶类,是评估土壤磷素生物转化与强弱的关键指标;同时与对照相比,轮作水稻提高了土壤脲酶活性,土壤脲酶能将有机物分解成氨和二氧化碳,其活性在一定程度上反映了土壤的供氮能力^[20-21]。土壤多酚氧化酶能把土壤中芳香族化合物氧化成醌,醌与土壤中蛋白质、氨基酸、糖类、矿物等物质反应生成有机质和色素,完成土壤芳香族化合物循环,是土壤修复的重要参考指标,然而,除杀菌剂高温闷地外,其余处理土壤多酚氧化酶均低于对照,分析原因可能是土壤多酚氧化酶同其他土壤酶有着共同的底物,在分解底物过程中存在拮抗竞争,抑制了多酚氧化酶活性^[21]。尽管如此,由于影响土壤酶活性的因子较多,在不同研究所得结论也不尽相同,需要进一步全面综合考虑土壤 pH 值、有机质、速效氮、有效磷、有效钾含量等土壤理化性质对酶活性的影响。

在一定程度上,土壤理化特性和土壤微生物境影响着微生物丰度和群落组成结构,致使微生物多样性表现出非常大的不同。Breidenbach 等发现蓄水水稻地和干旱玉米地的土壤微生物群落呈现显著性差异,验证了差异的地块生境条件决定了土壤微生物群落结构和组成^[22]。本研究发现,与对照相

比,轮作水稻提高了土壤真菌多样性和丰度,降低了土壤细菌多样性及丰度;而杀菌剂高温闷地、高温闷地及淹水处理对土壤微生物的影响则呈现相反的作用,分析原因可能为轮作水稻处理的土壤生境与其他处理存在差异所致,进一步分析认为可能是由于真菌和细菌对淹水种植水稻的响应不同,在作物水稻的影响下,土壤微生物结构发生改变,产生更适宜水稻生长的微生物结构组成。而不同改良措施下优势菌门大致相似,其中真菌微生物为子囊菌门、球囊菌门、担子菌门;细菌微生物为变形菌门、酸杆菌门等。进一步分析土壤微生物优势门类与土壤酶活的相关性显示,两者间的相关性却存在较大差异,表现在不同处理中不同酶活性可与不同门类菌存在极显著、显著或一般性的正向或反向相关,不一定是相同的趋势。由于人参、根际土与微生物间的关系极其繁杂,既密不可分,又相互影响,不同改良措施对土壤微生物种类、数量和组成结构等多样性的影响不尽相同,同时又受土壤理化性状及酶活性的影响。

综上所述,不同改良措施均对老参地土壤养分、土壤酶活、土壤微生物结构丰度产生不同程度的影响。与对照相比,水旱轮作降低了土壤中速效氮、速效磷、速效钾及有机质含量,有效缓解了土壤盐渍化;土壤中中性磷酸酶、过氧化氢酶、脲酶活性显著提升。土壤微生物分析结果亦显示,土壤真菌丰度显著提高,细菌丰富降低,土壤微生物总体呈现丰度和多样性提高。综合以上研究结果,认为水旱轮作可减轻老参地常年集约化种植而产生的土壤恶化问题,改善人参连作障碍。同时,结合土地生产经济效益,种植水稻是比较理想的改良模式,因此研究认为水旱轮作有望在平整老参地上得到应用,通过改善土壤基础结构、提升酶活性和丰富土壤微生物多样性来发挥积极有效的缓解连作障碍作用,为土壤改良及土地高效利用奠定理论基础。

参考文献:

- [1] 田义新,王本有,盛吉明,等. 老参地短期轮作技术体系的建立 I. 人参西洋参轮作体系[J]. 吉林农业大学学报,2002,24(3):46-49.
- [2] 何宛晟,赵 权. 农田栽参根际土壤养分分析[J]. 吉林农业,2017(22):74-75.
- [3] 李自博,解宇娇,周如军,等. 人参连作对土壤真菌种类及数量的

- 影响[C]. 北京:中国植物病理学会,2014:637-638.
- [4] 董林林,牛玮浩,王 瑞,等. 人参根际真菌群落多样性及组成的变化[J]. 中国中药杂志,2017,42(3):443-449.
- [5] 简在友,王文全,孟 丽,等. 人参连作土壤元素含量分析[J]. 土壤通报,2011,42(2):369-371.
- [6] 李 勇,黄小芳,丁万隆,等. 不同土壤提取物对人参种子生长的化感效应及其化学组成[J]. 生态环境,2008,17(3):1173-1178.
- [7] 李 勇,赵东岳,丁万隆,等. 人参内生细菌的分离及拮抗菌株的筛选[J]. 中国中药杂志,2012,37(11):1532-1535.
- [8] 张连学,陈长宝,王英平,等. 人参忌连作研究及其解决途径[J]. 吉林农业大学学报,2008,30(4):481-485,491.
- [9] 邵 财,王英平,许世泉,等. 人参根系分泌物对其根源愈伤组织化感效应研究[J]. 中药材,2009,32(12):1798-1801.
- [10] 陈长宝,刘继永,王艳艳,等. 人参根际化感作用及其对种子萌发的影响[J]. 吉林农业大学学报,2006,28(5):534-537,541.
- [11] 陈长宝,王艳艳,刘继永,等. 人参根际土壤中化感物质鉴定[J]. 特产研究,2006,28(2):12-14.
- [12] 吴艾轩,王 鑫,吕 云,等. 农田栽参土壤养分研究进展[J]. 北方园艺,2018(22):177-186.
- [13] Knudsen I M B, Hockenhull J, Jensen D F. Biocontrol of seedling diseases of barley and wheat caused by *Fusarium culmorum* and *Bipolaris sorokiniana*: effects of selected fungal antagonists on growth and yield components[J]. Plant Pathology, 1995, 44(3):467-477.
- [14] 王克磊,周友和,黄宗安,等. 水旱轮作对土壤性状及作物产量的影响[J]. 蔬菜,2017(5):21-23.
- [15] 张德喜,吴 卿. 不同耕作方式对农田土壤养分含量及土壤酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(11):234-237.
- [16] 杜泽云,陶思敏,娄运生,等. 施用生物炭和硅肥对增温稻田土壤酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(1):225-231.
- [17] 张泽锦,王力明,唐 丽,等. 水旱轮作和土壤调理剂对设施连作土壤酶活性和番茄产量的影响[J]. 中国瓜菜,2022,35(3):53-58.
- [18] 周 勃,魏彦宏,朱锦泉,等. 水旱轮作对长期连作棉田土壤生物活性的影响[J]. 农村科技,2014(7):25-27.
- [19] 刘永亮,高艳明,李建设. 水旱轮作对宁夏设施番茄连作土壤特性的影响[J]. 贵州农业科学,2015,43(8):131-137.
- [20] 马云华,王秀峰,魏 珉,等. 黄瓜连作土壤酚酸类物质积累对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(11):2149-2153.
- [21] Toscano G, Colarieti M L, Greco G Jr. Oxidative polymerisation of phenols by a phenol oxidase from green olives[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2003, 33(1):47-54.
- [22] Breidenbach B, Brenzinger K, Brandt F B, et al. The effect of crop rotation between wetland rice and upland maize on the microbial communities associated with roots[J]. Plant and Soil, 2017, 419(1):435-445.