中图分类号：S532　　文献标识码：A　　文章编号：1672－3635(2019)06-0344-08

栽培生理

黄土高原半干旱区马铃薯连作对农田土壤生化性质及产量的影响

胡新元[1]，孙小花[2*]，柳永强[2]，谢奎忠[2]，陆立银[2]

（1. 甘肃省农业科学院，甘肃　兰州　730070；2. 甘肃省农业科学院马铃薯研究所，甘肃　兰州　730070）

摘　要：为探究黄土高原半干旱区马铃薯连作对农田土壤化学、生物学及产量的影响，以‘陇薯7号’马铃薯品种作为试验材料，共设5个处理(撂荒，CK_1；小麦/豌豆/马铃薯轮作，CK_2；连作2年马铃薯；连作4年马铃薯；连作6年马铃薯)，分析不同处理对农田土壤化学、生物学及产量的影响。结果表明，轮作较连作处理显著增加了土壤有效磷和全氮的含量，且与连作2年、连作4年处理差异显著。各处理土壤总有机碳积累量为5.38~9.97 g/kg；0~20 cm(撂荒除外)土层土壤总有机碳积累量显著高于其他层次。随着连作年限的增加土壤蔗糖酶活性显著降低；土壤蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶3种土壤酶活性与土壤养分因子均呈极显著正相关。土壤微生物的数量大致由大到小排序依次为细菌＞放线菌＞真菌，细菌是土壤中的优势菌，数量占95%以上。有机质、碱解氮与马铃薯产量呈极显著负相关($P<0.01$)，而全氮则与马铃薯产量呈显著正相关($P<0.05$)。土壤化学、生物学因子的综合变化可能是导致甘肃中部干旱半干旱地区马铃薯连作障碍形成的重要原因。

关键词：马铃薯；连作；土壤化学；生物学；产量

Effects of Potato Continuous Cropping on Biochemical Properties and Yield of Farmland Soil in Semi-arid Region of Loess Plateau

HU Xinyuan[1], SUN Xiaohua[2*], LIU Yongqiang[2], XIE Kuizhong[2], LU Liyin[2]

(1. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Gansu, Lanzhou 730070, China;

2. Potato Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Gansu, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Five treatments (abandonment, CK_1; wheat/pea/potato rotation, CK_2; potato continuous cropping for two years; potato continuous cropping for four years; and potato continuous cropping for six years) were set up with potato variety 'Longshu 7' as experimental material in order to explore the effects of potato continuous cropping on soil chemistry, biology and yield in semi-arid region of Loess Plateau. The effects of different treatments on soil chemistry, biology and yield were analyzed. Rotation significantly increased the contents of available phosphorus and the total nitrogen in soil compared with continuous cropping, and there were significant differences between rotation and continuous cropping for two years and four years. The total organic carbon accumulation in each treatment was 5.38-9.97 g/kg, and the total organic carbon accumulation in 0-20 cm soil layer (except the treatment abandonment) was significantly higher than that in other layers. With the increase of continuous cropping years, soil sucrase activity decreased significantly, and soil sucrase, urease and catalase activities were high significantly positively correlated with

收稿日期：2019-08-11

基金项目：国家自然基金地区科学基金项目(31560172)；甘肃省农业科学院青年基金项目(2016GAAS40)资助。

作者简介：胡新元（1973-），男，硕士，副研究员，主要从事植物营养与生态生理研究。

***通信作者**(Corresponding author)：孙小花，博士，助理研究员，主要从事作物栽培与土壤养分研究，Email: sunxiaohua66@126.com。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

soil nutrient factors. The number of soil microorganisms ranked from large to small in order of bacteria > actinomycetes > fungi. Bacteria were the dominant microorganisms in soil, accounting for more than 95%. Organic matter and alkali-hydrolyzed nitrogen contents were negatively correlated with potato yield ($P < 0.01$), however, total nitrogen content was positively correlated with potato yield ($P < 0.05$). The comprehensive change in soil chemical and biological factors might be an important reason for the formation of potato continuous cropping obstacles in arid and semi-arid areas of central Gansu Province.

Key Words: potato; continuous cropping; soil chemistry; biology; yield

马铃薯(*Solanum tuberosum*)是中国继水稻、小麦、玉米和豆类之后的第五大粮食作物，也是重要的粮菜饲兼用型作物[1]。甘肃省是西北地区乃至全国非常重要的马铃薯生产基地，而甘肃省中部的黄土高原半干旱区又有着得天独厚的自然优势，是中国最佳的马铃薯主产区之一[2]。但由于农业合作社、种薯企业为了满足市场的需求，盲目扩大生产导致马铃薯连作障碍问题已经非常严重地影响了马铃薯产业的可持续发展。前人们从马铃薯植株的生长发育、生理生化反应对土壤环境因子的响应来阐释马铃薯连续种植引起作物、土壤不良反应的形成原因，阐释了由于马铃薯植株生长发育水平的降低和物质代谢、能量转化的失衡从而致使连作马铃薯产量下降[3,4]。不仅如此，马铃薯长期连作还会导致土壤团粒结构改变，进而引发土壤颓败，并对马铃薯植株生长发育和块茎产量形成产生不良的影响[5,6]。然而究竟这些负反馈影响具体是由哪些因子引起的，目前仍存在较大争议。有专家试图从马铃薯农田土壤理化性质的变化进行研究[7-11]，认为马铃薯连续种植可以导致土壤养分吸收失衡、微生态环境破坏等现象；还有学者从土壤酶学方向进行研究[12]，指出马铃薯连作严重影响了马铃薯农田土壤中相关酶活性，进而影响作物对养分的吸收和利用。

虽然马铃薯连作障碍问题的研究受诸多因子的影响，比如气候环境、肥料状况、土壤质地以及供试品种等，但毋庸置疑的是马铃薯连续种植引发土壤退化、产量下降以及品质不良是众多因子驱动的综合体现。因此，研究连作障碍问题的形成原因并探索有效的解决措施成为当下马铃薯生产发展亟待解决的问题。目前，关于黄土高原半干旱地区作物连续种植引发的各种障碍问题更多的是在设施蔬菜、经济类作物以及中药材上开展研究，对马铃薯连作问题的研究相对较少。本研究依托布置在甘肃省定西市的田间定位试验，试图从时间尺度上探讨马铃薯农田土壤生化性质的变化，进而研究连作对马铃薯农田土壤的影响，探究可能存在的马铃薯连作农田土壤障碍因子，为明确马铃薯连作障碍机理的形成原因及其解决技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验布置在甘肃省定西市安定区宁远镇红土窑村中川社(N 35°26.714′，E 104°50.886′)。试验地为肥力均等的平坦川地，属中温带偏旱区，平均海拔2 000 m，日照时数2 476.6 h，年均气温6.4 ℃，≥10 ℃积温2 239.1 ℃，无霜期140 d。多年平均降水量390.9 mm，年蒸发量1 531 mm，干燥度2.53，为黄土高原半干旱雨养农业区，一年一熟，土壤为典型的黄绵土。

1.2 试验设计

2018年为定位试验第9年，试验设5个处理。处理1：撂荒(CK_1)；处理2：轮作(CK_2)，小麦/豌豆/马铃薯轮作；处理3：连作2年马铃薯(2010～2015年依次种植马铃薯–豌豆–马铃薯–胡麻–马铃薯–小麦，2016～2018年连续种植3年马铃薯)；处理4：连作4年马铃薯(2010～2013年依次种植马铃薯–胡麻–马铃薯–小麦，2014～2018年连续种植5年马铃薯)；处理5：连作6年马铃薯(2010～2011年依次种植马铃薯–小麦，2012～2018年连续种植7年马铃薯)。每处理3次重复，小区面积23.814 m^2(长5.67 m×宽4.20 m)。马铃薯每个小区种植7行，株距37 cm，行距60 cm。轮作处理每年3月下旬播种小麦，4月下旬播种马铃薯。小麦播种量为187.50 kg/hm^2，施纯N、P_2O_5各105.00 kg/hm^2、农家肥30 000 kg/hm^2。马

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

铃薯在4月下旬播种，播种密度为67 500株/hm^2，施肥参照当地标准，施P_2O_5 108.00 kg/hm^2、纯N 135.00 kg/hm^2、农家肥30 000 kg/hm^2，其中1/4的氮肥在现蕾期培土追施，其余作为基肥施入。播种和施肥均为机械化一次性完成，田间管理同当地大田。供试材料为当地主栽的全粉加工、鲜食菜用型马铃薯品种'陇薯7号'，一级种，由甘肃省农业科学院马铃薯研究所提供。

1.3　取　样

在马铃薯主要生育期每小区按5点法取样。根据试验要求分别取：(1)播前0～20、20～40、40～60、60～80、80～100 cm土层土样，分成两部分，一部分测土壤基础养分(土壤化学因子)，另一部分自然风干后研磨过0.15 mm筛，测土壤总有机碳(TOC)；(2)播前、苗期、盛花期、块茎膨大期、成熟期分别在马铃薯垄上行间靠近植株根系的部位取样，保鲜冷藏，测土壤酶活性及土壤微生物数量。所有土样均去掉土壤中可见的植物根系和瓦砾残体。

1.4　测定项目和方法

1.4.1　土壤化学因子

土壤pH值用电位法；全N用凯氏法；碱解N用扩散法；有效P用Olsen法；速效K用1 mol/L NH_4OAc浸体–火焰光度法[13]。

1.4.2　土壤总有机碳

采用重铬酸钾氧化法[13]。采用"S"型取样法，在马铃薯播前取0～20、20～40、40～60、60～80、80～100 cm土层混合样。自然风干后研磨过0.15 mm筛。称取通过0.15 mm筛孔的风干土样0.1～1.0 g，滴加0.800 mol/L $K_2Cr_2O_7$标准，再加入5 mL浓H_2SO_4。油浴锅中加热5 min，后将溶液倒入250 mL三角瓶中，定容至100 mL，加入邻菲罗啉指示剂，用标准的0.2 mol/L $FeSO_4$滴定，计算土壤有机碳含量。

1.4.3　土壤酶活性

土壤脲酶采用比色法、过氧化氢酶采用$KMnO_4$滴定法、(转化酶)蔗糖酶采用3, 5–二硝基水杨酸比色法测定[14]。土壤平均酶活性根据Zhang等[15]的方法计算：土壤平均酶活性 =（脲酶×蔗糖酶×过氧化氢酶)1/3。

1.4.4　土壤微生物数量

采用平板计数法[16]。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基、真菌采用马丁氏培养基、放线菌采用高氏1号培养基。

微生物生物量碳测定采用氯仿熏蒸法[17]，0.5 mol/L K_2SO_4溶液浸提，重铬酸钾消化，$FeSO_4$滴定。

1.4.5　马铃薯产量指标

在马铃薯达到完全成熟时进行测产，测定每小区的实际产量(小区面积23.814 m^2)。

1.5　数据统计与分析

所有试验数据的计算、图表绘制使用Microsoft Excel 2010软件进行统计，并采用SPSS 16.0软件进行方差分析、相关性分析，采用Duncan's法进行多重比较，文中表内数据以'平均数±标准误'表示。

2　结果与分析

2.1　不同连作年限对马铃薯农田土壤化学性质的影响

不同连作年限马铃薯农田土壤化学性质的测定结果如表1所示。结果表明，连作4年处理土壤pH与其余各处理差异显著。各处理有机质含量差异显著，连作6年高出轮作处理41.61%，碱解氮含量也是连作6年高于其他处理，分别高出撂荒、连作4年、轮作、连作2年11.26%、45.05%、76.88%、122.81%；轮作较连作处理显著增加了土壤有效磷和全氮的含量，且轮作处理(CK_2)有效磷、全氮含量与连作2年、连作4年处理差异显著。

2.2　不同连作年限马铃薯土壤总有机碳的变化

马铃薯农田耕层土壤总有机碳含量的变化会显著影响马铃薯的生长发育状况，土壤总有机碳是土壤的生产潜力和土壤质量状况的直接表现。为了研究不同处理马铃薯农田土壤垂直剖面上总有机碳含量的变化特征，本研究在马铃薯播前分别取0～20、20～40、40～60、60～80、80～100 cm土层混合样，结果如图1所示，各处理土壤总有机碳积累量为5.38～9.97 g/kg；撂荒处理80～100 cm土层土壤总有机碳积累量最高，达9.97 g/kg，较连作6年处理5.38 g/kg高出85.31%；各处理(撂荒除外)0～20 cm土层土壤总有机碳积累量显著高于其他层次，其中连作4年处理较其他4种处理土壤总有机碳积累量偏低。可见人为扰动对土壤总有机碳积累的影响很大，即虽然土壤中总有机碳的含量在短期内是相对稳定的，但人类长期的耕作活动会破坏土壤中总有

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

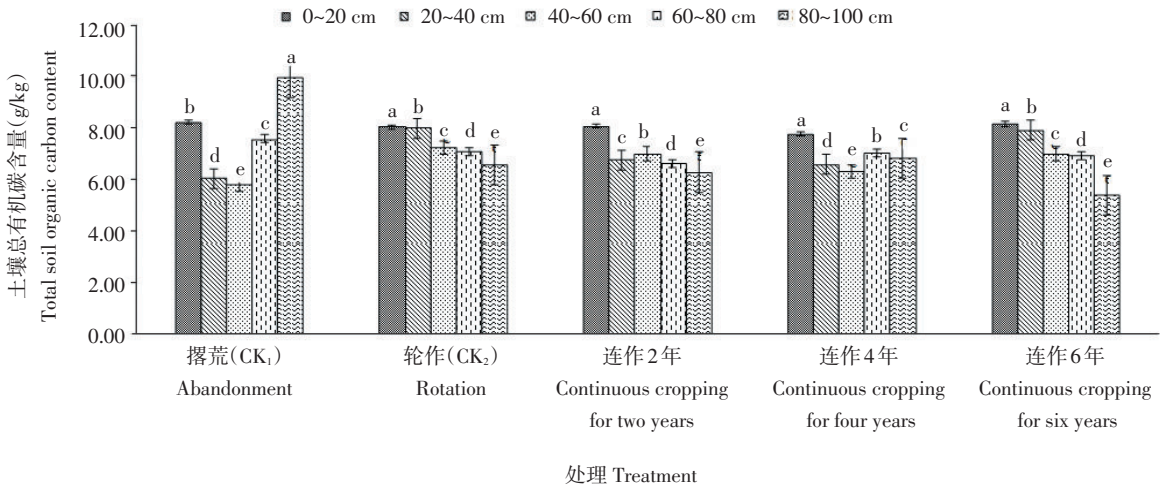
表1 马铃薯连作年限对土壤化学性质的影响

Table 1 Effect of potato continuous monoculture on soil chemical properties

处理 Treatment	pH	有机质(g/kg) Organic matter	碱解氮(mg/kg) Alkali-hydrolyzed nitrogen	有效磷(mg/kg) Available phosphorus	速效钾(mg/kg) Available potassium	全氮(g/kg) Total nitrogen
撂荒(CK_1) Abandonment	8.46 ± 0.12 a	17.20 ± 1.44 b	52.67 ± 0.30 b	11.50 ± 0.11 c	583.33 ± 0.58 a	0.93 ± 0.01 b
轮作(CK_2) Rotation	8.45 ± 0.21 a	12.40 ± 0.01 e	33.13 ± 0.21 d	20.47 ± 0.23 a	346.00 ± 4.48 b	1.03 ± 0.10 a
连作2年 Continuous cropping for two years	8.45 ± 0.13 a	14.60 ± 0.11 d	26.30 ± 0.32 e	13.67 ± 0.19 b	344.00 ± 4.58 b	0.92 ± 0.01 b
连作4年 Continuous cropping for four years	8.27 ± 0.12 b	15.33 ± 0.78 c	40.40 ± 0.28 c	11.63 ± 0.16 c	306.33 ± 0.61 c	0.86 ± 0.04 c
连作6年 Continuous cropping for six years	8.45 ± 0.09 a	17.56 ± 0.18 a	58.60 ± 0.26 a	11.67 ± 0.13 c	307.00 ± 9.61 c	0.95 ± 0.02 b

注： pH根据水∶土 = 2.5得到。误差为标准误。同列不同小写字母表示各处理间0.05水平差异显著，Duncan's法。下同。

Note: pH value is calculated based on water : soil = 2.5. Error is SE. Treatment means in the same column followed by different lowercase letter indicate significant difference at 0.05 level of probability as tested using Duncan's multiple range method. The same below.



误差线是标准误。同一处理不同土层深度土壤总有机碳含量标有不同小写字母表示差异达0.05水平显著，Duncan's法。

Error bar is SE. Within the same treatment, soil total organic carbon content at different depths of soil marked with different lowercase letter indicates significant difference at 0.05 level of probability as tested using Duncan's multiple range test method.

图1 马铃薯农田不同处理各层次土壤总有机碳含量

Figure 1 Total organic carbon content of soil at different levels under different treatments of potato farmland

机碳的积累，也就是说撂荒处理更有利于土壤总有机碳的积累。

2.3 不同连作年限对马铃薯农田土壤酶活性的影响

各个处理马铃薯农田土壤酶活性分析结果如表2所示。结果表明，连续种植2年和4年马铃薯使得土壤脲酶活性较轮作(小麦/豌豆/马铃薯)、撂荒有不同程度的增加，差异显著。总体而言，随着连作年限的增加蔗糖酶活性显著下降，连作6年处理土壤蔗

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

糖酶活性低于连作2年的10.55%；除过氧化氢酶含量是连作6年处理最高外，脲酶（连作4年除外）、蔗糖酶以及酶活性的平均值均是连作2年显著高于其他处理。

在马铃薯农田土壤各基础养分和土壤酶活性的共同作用下，土壤中进行着复杂的生物、化学反应和物质能量的代谢、循环。由表3可知，土壤中的蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶3种酶活性与土壤养分因子均呈极显著正相关，表明这3种土壤酶活性促进土壤养分的转化吸收，对土壤的理化性状的改良等方面具有重要作用。而且土壤酶的活性不只是在某一种土壤养分因子转化中发挥着促进作用，而是参与了众多土壤养分因子间的转化，他们之间发生着复杂多变的物理、化学、生物学反应，共同影响着土壤中物质和能量的转化。

2.4　不同连作年限马铃薯土壤微生物活性的变化

马铃薯农田土壤中微生物是其养分的重要组成部分，本研究对不同连作年限0～20 cm土层的土壤微生物活性进行了分析。由表4可知，连作2年的细菌数量显著高于撂荒、连作4年和连作6年；轮作真菌数量显著高于撂荒（CK_1）、连作2年、连作4年和连作6年；撂荒处理放线菌数量显著高于轮作（CK_2）、连作2年、连作4年和连作6年。各处理土壤中微生物的数量大致由大到小排序依次为细菌 > 放线菌 > 真菌，且细菌数量占95%以上，说明细菌是土壤中的优势菌。细菌数量的大小顺序为连作2年 > 轮作 > 连作4年 > 连作6年 > 撂荒；放线菌数量为撂荒 > 连作2年 > 轮作 > 连作4年 > 连作

表2　马铃薯连作年限对土壤酶活性的影响

Table 2　Effects of continuous potato monoculture on soil enzyme activities

处理 Treatment	脲酶 [NH_3^-N mg/(g·d)] Urease	蔗糖酶 [Glucose mg/(g·d)] Sucrase	过氧化氢酶 [0.1 mol/L $KMnO_4$ mL/(g·h)] Catalase	平均 Average
撂荒（CK_1） Abandonment	1.32 ± 0.01 c	26.11 ± 0.01 b	4.10 ± 0.06 b	47.25 ± 0.44 c
轮作（CK_2） Rotation	1.45 ± 0.02 b	23.94 ± 0.02 e	3.93 ± 0.02 c	45.47 ± 0.72 d
连作2年 Continuous cropping for two years	1.54 ± 0.01 a	27.21 ± 0.01 a	4.04 ± 0.02 b	56.31 ± 0.31 a
连作4年 Continuous cropping for four years	1.54 ± 0.02 a	25.11 ± 0.06 c	4.05 ± 0.02 b	52.15 ± 0.38 b
连作6年 Continuous cropping for six years	1.34 ± 0.03 c	24.34 ± 0.02 d	4.24 ± 0.03 a	46.06 ± 0.58 c

表3　土壤主要养分与土壤酶活性的相关性分析

Table 3　Correlation analyses of soil main nutrients and soil enzyme activities

项目 Item	有效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium	全氮 Total nitrogen	碱解氮 Alkali-hydrolyzed nitrogen	有机质 Organic matter	pH
蔗糖酶 Sucrase	0.87**	0.87**	0.62**	0.88**	0.86**	0.76**
脲酶 Urease	0.92**	0.83**	0.72**	0.75**	0.83**	0.89**
过氧化氢酶 Catalase	0.91**	0.73**	0.72**	0.70**	0.72**	0.80**

注：土壤基础养分（有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、全氮）的数据来自各处理土壤的混合样；**表示达到0.01水平显著。

Note: Data of soil basic nutrients (organic matter, alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, available potassium and total nitrogen) are calculated from mixed soil samples of different treatments; ** indicates significance at 0.01 level of probability.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

6年。由于土壤中微生物的数量直接影响着土壤生物学性状的表现，进而影响马铃薯植株的生长发育和块茎形成。

2.5 不同处理土壤生化因子与产量的相关

为了研究不同处理土壤生化因子与马铃薯产量的相关关系，以马铃薯块茎产量、土壤基础养分以及土壤酶活性为研究对象，探讨不同处理土壤生化因子与产量的相关性(表5)。结果表明土壤有机质、碱解氮与产量呈极显著负相关($P < 0.01$)，全氮与产量呈显著正相关($P < 0.05$)。过氧化氢酶与有机质、碱解氮呈极显著正相关($P < 0.01$)，过氧化氢酶与脲酶、速效钾呈显著负相关($P < 0.05$)。

表4 不同处理土壤微生物数量变化

Table 4 Changes in soil microbial quantities under different treatments

处理 Treatment	细菌(× 10^6 cfu/g) Bacterium	真菌(× 10^4 cfu/g) Fungus	放线菌(× 10^5 cfu/g) Actinomycete
撂荒(CK_1) Abandonment	16.52 ± 0.29 d	6.60 ± 0.03 b	12.59 ± 0.26 a
轮作(CK_2) Rotation	27.18 ± 0.45 b	7.65 ± 0.17 a	7.40 ± 0.13 c
连作2年 Continuous cropping for two years	32.21 ± 0.36 a	6.58 ± 0.18 b	8.32 ± 0.20 b
连作4年 Continuous cropping for four years	23.72 ± 0.04 c	5.25 ± 0.20 c	3.69 ± 0.05 d
连作6年 Continuous cropping for six years	17.05 ± 0.03 d	0.45 ± 0.01 d	0.69 ± 0.04 e

表5 不同处理土壤生化因子与产量的相关性分析

Table 5 Correlation analyses of soil biochemical factors and yields under different treatments

相关系数 Correlation coefficient	产量 Yield	有机质 Organic matter	碱解氮 Alkali-hydrolyzed nitrogen	有效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium	全氮 Total nitrogen	脲酶 Urease	蔗糖酶 Sucrase	过氧化氢酶 Catalase
产量 Yield	1	−0.925**	−0.709**	0.945**	0.924**	0.679*	0.202	−0.035	−0.814**
有机质 Organic matter		1	0.799**	−0.875**	−0.803**	−0.456	−0.462	0.025	0.961**
碱解氮 Alkali-hydrolyzed nitrogen			1	−0.479	−0.802**	−0.047	−0.784**	−0.575	0.821**
有效磷 Available phosphorus				1	0.766**	0.781**	−0.010	−0.357	−0.745**
速效钾 Available potassium					1	0.560	0.295	0.300	−0.685*
全氮 Total nitrogen						1	−0.524	−0.470	−0.266
脲酶 Urease							1	0.628*	−0.601*
蔗糖酶 Sucrase								1	−0.048
过氧化氢酶 Catalase									1

注：*,**表示分别达到0.05和0.01水平显著。

Note: *,** indicate significance at 0.05 and 0.01 levels of probabilities, respectively.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3　讨　论

3.1　连续种植马铃薯对农田土壤化学性质的影响

土壤有机碳的含量高低是衡量土壤健康状况的主要指标之一，虽然土壤总有机碳在短期内呈现一种比较稳定的状态，但是其与土壤的可持续发展和作物的生产力有着重要的关系。本研究表明，轮作较连作处理显著增加了土壤有效磷和全氮的含量，且与连作2年、连作4年处理差异显著，故轮作显著增加了土壤有效磷、全氮的含量；各处理马铃薯农田土壤总有机碳积累量在5.38～9.97 g/kg；0～20 cm（撂荒除外）土层土壤总有机碳积累量显著高于其他层次，这可能是由于前茬作物残体的凋落、根茬的残留从而加速了土壤微生物的分解，使得农田土壤碳库表现出差异。且通常情况下，表土层的养分，特别是有机碳含量是高于底层土壤的，而本研究中的撂荒地不同土层有机碳含量分布特征出现特殊情况，即80～100 cm土层土壤总有机碳积累量最高，达9.97 g/kg，较连作6年处理5.38 g/kg高出85.31%，这可能是由于多年的闲置撂荒，加之人为扰动较少，土壤中有机碳的沉降形成或该地块早期翻压时使富含有机质的物质在底层。也有学者针对长期连续种植棉花的现象研究表明，连作能导致其农田0~40 cm土层内土壤有机碳的活性指数显著增加[18]，还有学者研究发现长期连作土壤的有机碳含量高于非连作或短期连作的现象[19,20]，这些结果与本研究有不同之处，可能是由于作物、气候条件等的不同致使作物根系对土壤养分的吸收规律亦不尽相同，进而影响土壤微生态环境的变化。

3.2　连续种植马铃薯对农田土壤酶活性的影响

本研究连作2年土壤酶活性普遍高于轮作，这说明在马铃薯连作初期，土壤中各微生物种群、菌群在进行活跃的运动，土壤微生态系统的平衡被打破，故土壤酶活性在短期内出现较活跃的现象。但随着连作年限的继续增加，土壤蔗糖酶活性显著降低，这可能与马铃薯连作农田土壤有机碳含量下降，土壤微生物活动受到影响有关，进而影响农田土壤中微生物种群对土壤酶活性的响应，对土壤养分的消耗减少有关，具体影响机理还有待进一步研究。

3.3　连续种植马铃薯对农田土壤微生物的影响

连续种植马铃薯能显著改变土壤微生物种群结构。本研究表明，连作马铃薯农田土壤微生物的数量大致由大到小排序依次为细菌＞放线菌＞真菌，细菌是土壤中的优势菌，数量占95%以上。有专家通过土壤高通量测序研究表明，长期连续种植马铃薯可以显著的降低土壤中细菌群落的结构变化和种群丰富度[21,22]，这与本研究结果一致，进一步说明了马铃薯连作障碍的发生实际上是由于土壤微生物种群、数量的变化而引起的。

3.4　不同处理土壤生化因子与产量的相关性分析

土壤有机质、碱解氮与产量呈极显著负相关（$P < 0.01$），全氮与产量呈显著正相关（$P < 0.05$）；过氧化氢酶与有机质、碱解氮呈极显著正相关（$P < 0.01$），过氧化氢酶与脲酶、速效钾呈显著负相关（$P < 0.05$）。这是由于连续种植马铃薯会干扰土壤中微生物群落的结构，各种微生物种群间就呈现出了无序、弱化状态。因此，土壤生化因子的变化可能是甘肃中部半干旱区马铃薯连作障碍形成的主要因素。

综上所述，在本研究的基础上明确连作马铃薯农田土壤化学性质和微生物学性状之间的关系，将是未来厘清黄土高原半干旱区马铃薯连作障碍机理和形成高效连作土壤障碍因子消减技术的关键。

[参　考　文　献]

[1] 张文伟, 耿智广, 黄浩钰, 等. 不同栽培调控措施对马铃薯产量及效益的影响 [J]. 中国马铃薯, 2017, 31(3): 144-148.

[2] 赵永萍, 潘丽娟. 甘肃省定西市安定区马铃薯产业发展现状及对策 [J]. 中国马铃薯, 2019, 33(3): 189-192.

[3] 陈杰, 郭天文, 谭雪莲, 等. 马铃薯连作地健康株与病株根区土壤微生态特性比较 [J]. 作物学报, 2013, 39(11): 2055-2064.

[4] 刘星, 张书乐, 刘国锋, 等. 连作对甘肃中部沿黄灌区马铃薯干物质积累和分配的影响 [J]. 作物学报, 2014, 40(7): 1274-1285.

[5] Huang L F, Song L X, Xia X J, *et al*. Plant-soil feedbacks and soil sickness: from mechanisms to application in agriculture [J]. Journal of Chemical Ecology, 2013, 39(2): 232-242.

[6] Li X G, Ding C F, Hua K, *et al*. Soil sickness of peanuts is attributable to modifications in soil microbes induced by peanut

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

root exudates rather than to direct allelopathy [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 78(11): 149-159.

[7] 王娟, 刘补成. 马铃薯连作年限对土壤氮磷钾及微量元素的影响 [J]. 甘肃农业科技, 2014(1): 20-22.

[8] 胡新元, 谢奎忠, 陆立银, 等. 不同功能地膜覆盖对旱地马铃薯土壤水热效应和产量的影响 [J]. 中国马铃薯, 2019, 33(3): 146-151.

[9] 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.

[10] 徐雪风, 回振龙, 李自龙, 等. 马铃薯连作障碍与土壤环境因子变化相关研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(4): 16-23.

[11] 吴丹丹, 刘星, 邱慧珍, 等. 马铃薯连作对土壤盐分积累及离子组成的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2015, 50(2): 40-45.

[12] 白艳茹, 马建华, 樊明寿. 马铃薯连作对土壤酶活性的影响 [J]. 作物杂志, 2010(3): 34-36.

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[14] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.

[15] Zhang Y, Tan Q L, Hu C X, *et al*. Differences in responses of soil microbial properties and trifoliate orange seedling to biochar derived from three feedstocks [J]. Journal of Soils and Sediments, 2015, 15(3): 541-551.

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

[17] Jin H M, Sun O J, Liu J F. Changes in soil microbial biomass and community structure with addition of contrasting types of plant litter in a semiarid grassland ecosystem [J]. Journal of Plant Ecology, 2010, 3(3): 209-217.

[18] 黄金花, 刘军, 杨志兰, 等. 秸秆还田下长期连作棉田土壤有机碳活性组分的变化特征 [J]. 生态环境学报, 2015, 24(3): 387-395.

[19] Chen F L, Zheng H, Zhang K, *et al*. Non-linear impacts of *Eucalyptus* plantation stand age on soil microbial metabolic diversity [J]. Journal of Soils and Sediments, 2013, 13(5): 887-894.

[20] Yao H Y, Jiao X D, Wu F Z. Effects of continuous cucumber cropping and alternative rotations under protected cultivation on soil microbial community diversity [J]. Plant and Soil, 2006, 284(1/2): 195-203.

[21] Liu X, Zhang J L, Gu T Y, *et al*. Microbial community diversities and taxa abundances in soils along a seven-year gradient of potato monoculture using high throughput pyrosequencing approach [J]. PLoS One, 2014, 9(1): e86610.

[22] 李继平, 李敏权, 惠娜娜, 等. 马铃薯连作田土壤中主要病原真菌的种群动态变化规律 [J]. 草业学报, 2013, 22(4): 147-152.

丁香吩®

亚达益农

马铃薯晚疫病首选治疗剂

保定市亚达益农农业科技有限公司（原保定市亚达化工有限公司）成立于1997年，是国家定点农药企业，多年来先后获得过河北省高新技术企业、国家科技成果推广示范企业、重合同守信誉企业、消费者信得过企业等荣誉称号。

我公司独家配方“丁香吩”牌丁子香酚经过多年的推广应用对预防和治疗马铃薯晚疫病效果显著，具有速效治疗、长效保护、低毒绿色、无交互抗性等特点，而且是“减药增效”和替代化学药剂的首选产品。

我公司多年来始终坚持“以质量求生存、以信誉求发展；为客户服务、让农民满意”的方针，坚持贯彻国家“农药减量增效、使用零增长”的发展目标，愿与大家携手共进，共同合作，共谋发展！联系电话：0312-8683157

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net