

# 轮作油葵对马铃薯生长发育及抗性生理指标的影响<sup>①</sup>

徐雪风<sup>1,2</sup>, 李朝周<sup>1,2</sup>, 张俊莲<sup>1,3\*</sup>

(1 甘肃省作物遗传改良和种质创新重点实验室, 兰州 730070; 2 甘肃农业大学生命科学技术学院, 兰州 730070;

3 甘肃农业大学园艺学院, 兰州 730070)

**摘要:** 为了探究轮作油葵对连作马铃薯生长发育及抗性生理的影响, 选取马铃薯连作 4 年、连作 4 年后轮作油葵 1 年、连作 6 年、连作 6 年后轮作油葵 1 年的同一块试验田, 以该试验田前两年分别种植藜麦、玉米的地块为对照, 测定土壤理化性质、土壤酶活性及土壤微生物数量变化, 测评土壤环境。再在该试验田种植马铃薯, 对其幼苗光合作用、抗氧化酶活性以及马铃薯生长发育指标进行测定。结果表明, 随连作年限增加, 马铃薯根际土壤 pH 总体升高, 偏碱性, 有机质和有效磷含量逐渐减少, 碱解氮含量上升; 土壤酶活性与连作年限呈负相关; 随连作年限增加, 土壤中细菌数量、放线菌数量和细菌与真菌比(B/F)呈下降趋势, 真菌数量呈增加趋势; 土壤环境的恶化导致马铃薯植株生长量减少, 叶绿素相对含量降低, 叶片光合速率下降, 超氧化物酶(SOD)活性下降,  $O_2^-$ 产生速率加快, 丙二醛(MDA)含量上升。轮作油葵明显降低了土壤 pH, 提高了土壤有机质、有效磷和碱解氮含量, 增加了土壤酶活性、细菌数量和 B/F 值, 降低了真菌数量, 改善了根际土壤微环境, 对植株生长发育起到促进作用; 增加了马铃薯叶片相对叶绿素含量、光合速率, SOD 活性增强, 而  $O_2^-$ 水平和 MDA 含量下降, 可见轮作油葵减轻了马铃薯叶片膜脂过氧化作用和自由基伤害, 促进了马铃薯生长发育, 且整体效果以连作 4 年后轮作油葵较好。

**关键词:** 马铃薯; 连作; 轮作; 土壤环境

**中图分类号:** S532 **文献标识码:** A

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.)是世界范围内除水稻、小麦、玉米以外的第四大粮食作物, 广为种植<sup>[1-2]</sup>。农耕面积的有限和马铃薯集约化经营, 使得马铃薯连作现象日益严重。长期连作导致土壤养分比例失调, 土壤生物学环境恶化, 根系分泌物的自毒作用加强, 从而导致马铃薯产量及品质的下降<sup>[3-4]</sup>。谷岩等<sup>[5]</sup>对大豆连作研究表明, 连作导致大豆土壤酶活性降低, 根系分泌物增加, 从而导致连作障碍。孟品品等<sup>[6]</sup>研究指出, 连作马铃薯根际土壤中土传病害病原菌数量增加, 真菌种群成为优势种群, 导致根际生物学环境恶化, 作用到根系, 根系活力下降, 块茎产量及品质营养下降。吕毅等<sup>[7]</sup>研究发现, 轮作能够改善土壤环境, 提高土壤微生物多样性, 减轻病害的发生和自毒作用。曹莉等<sup>[8]</sup>研究指出轮作豆科牧草可以改善连作马铃薯土壤环境, 降低了土壤电导率, 增加土壤脲酶、碱性磷酸酶及过氧化氢酶活性, 对后茬马铃薯产量有明显的影 响。Mohr 等<sup>[9]</sup>认为, 在马铃薯

薯生产体系中, 轮作影响着植物和土壤的健康和生产力, 与连作相比, 轮作降低了土传病害的发生率, 增加了微生物种群及多样性, 从而减少畸形块茎的比例, 对马铃薯块茎品质及产量产生影响。

目前关于轮作对连作马铃薯生长发育及抗性生理的影响及机制研究鲜有报道, 本试验针对甘肃省景泰县马铃薯大田生产现状, 将油葵作为轮作作物应用到马铃薯种植中, 通过测定马铃薯根际土壤理化指标及生物指标、马铃薯生长发育指标、光合作用及抗氧化酶活性指标, 探究轮作油葵对连作马铃薯生长发育及抗性生理的影响及机理, 以期为预防和减轻马铃薯连作障碍提供理论依据, 并进一步优化马铃薯田间管理技术。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)品种“大西洋”。

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD06B03)和国家马铃薯产业技术体系项目(CARS-10-P18)资助。

\* 通讯作者(zhangjunlian@163.com)

作者简介: 徐雪风(1991—), 女, 陕西富平人, 硕士研究生, 主要从事植物生态生理方面的研究。E-mail: 1075167312@qq.com

## 1.2 试验设计

试验于甘肃省白银市景泰县条山集团马铃薯种植基地进行,一年仅种植一茬作物。选取已有马铃薯连作 0 年(之前两年分别种植藜麦、玉米)、连作 4 年、连作 4 年后轮作油葵 1 年,连作 6 年及连作 6 年后轮作油葵 1 年的同一块试验田,种植马铃薯,分别记作“对照”、“连作 4 年”、“连作 4 年+油葵”、“连作 6 年”和“连作 6 年+油葵”。种植前对上述 5 种连作田的土壤理化性质和土壤酶活性进行测定,采用 5 点法取样,采集 0~30 cm 根区耕层土,混匀后用于测定土壤理化性质、土壤酶活性和土壤微生物数量。参照胡慧蓉和田昆<sup>[10]</sup>的方法,土壤有机质采用  $K_2Cr_2O_7$

容量法测定;土壤碱解氮采用碱解扩散法测定;土壤速效磷采用  $NaHCO_3$  法测定;土壤 pH 采用酸度计法测定。测定结果见表 1。

## 1.3 测定指标与方法

**1.3.1 土壤酶活性分析** 脲酶活性采用苯酚钠次氯酸钠比色法测定,结果以 24 h 后每克土壤(干重)中  $NH_4^+-N$  的毫克数表示<sup>[11]</sup>;过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法测定,其活性以每克土所消耗的 0.1 mol/L  $KMnO_4$  溶液的毫升数表示<sup>[11]</sup>;蔗糖酶的活性用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定,以 24 h 后每克土葡萄糖毫克数表示<sup>[11]</sup>;碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠法测定,结果以 24 h 后每克土壤中释放出酚的毫克数表示<sup>[11]</sup>。

表 1 轮作油葵对连作马铃薯土壤理化性质的影响  
Table 1 Effects of oil-sunflower rotation on soil physical and chemical properties under continuous cropping potato

处理	pH	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)
对照	7.59 ± 0.09 d	37.83 ± 0.34 a	22.87 ± 2.14 e	28.43 ± 0.73 b
连作 4 年	8.25 ± 0.01 a	21.32 ± 0.69 d	45.27 ± 3.52 d	26.36 ± 1.21 c
连作 4 年+油葵	8.05 ± 0.03 b	28.20 ± 1.03 b	54.60 ± 1.40 c	31.94 ± 1.56 a
连作 6 年	8.23 ± 0.02 a	19.38 ± 1.21 e	66.27 ± 2.91 b	24.52 ± 0.26 d
连作 6 年+油葵	7.89 ± 0.06 c	23.16 ± 1.39 c	71.20 ± 3.70 a	27.59 ± 0.50 bc

注:表中同列数据小写字母不同表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

**1.3.2 土壤微生物测定** 采用牛肉膏蛋白胨培养基培养细菌,改良高氏 1 号培养基分离放线菌(每 300 ml 培养基加 3% 的重铬酸钾 1 ml,以抑制细菌和霉菌的生长),真菌采用改良马丁氏培养基(每 1 000 ml 培养基中加 1% 孟加拉红水溶液 3.3 ml、1% 链霉素 3 ml)。每个连作年限土壤样品称取 10 g,加入装有 90 ml 无菌水的三角瓶中,振荡 30 min,即为  $10^{-1}$  浓度的土壤样液,静置 1 min,再依次稀释(细菌稀释至  $10^{-5}$ ,放线菌稀释至  $10^{-4}$ ,真菌稀释至  $10^{-3}$ )。每个处理重复 3 次,平板涂布法接种,细菌放置于 28℃ 恒温箱中培养 2 d,放线菌置于 30℃ 恒温箱中 7 d,真菌置于 25℃ 恒温箱中 5 d,最后计算每克干土中的微生物数量:

$1 \text{ g 干土中的菌数}^{[12]} = (\text{每个培养基的菌落平均数} \times \text{稀释倍数}) / \text{干土重}$

**1.3.3 生长发育指标测定** 收获前一周进行生长发育指标的测定,每个指标重复 3 次。株高:以植株主茎最高部位距土面的高度为准,用卷尺测量。茎粗:以植株与土面交界处地上茎直径代表,用游标卡尺测量;匍匐茎数:收获后目测;根长:取 5 条最长根,取平均值。

**1.3.4 抗性生理指标测定** 取马铃薯幼苗侧茎部位第二、三叶进行测定,每个指标重复 3 次。相

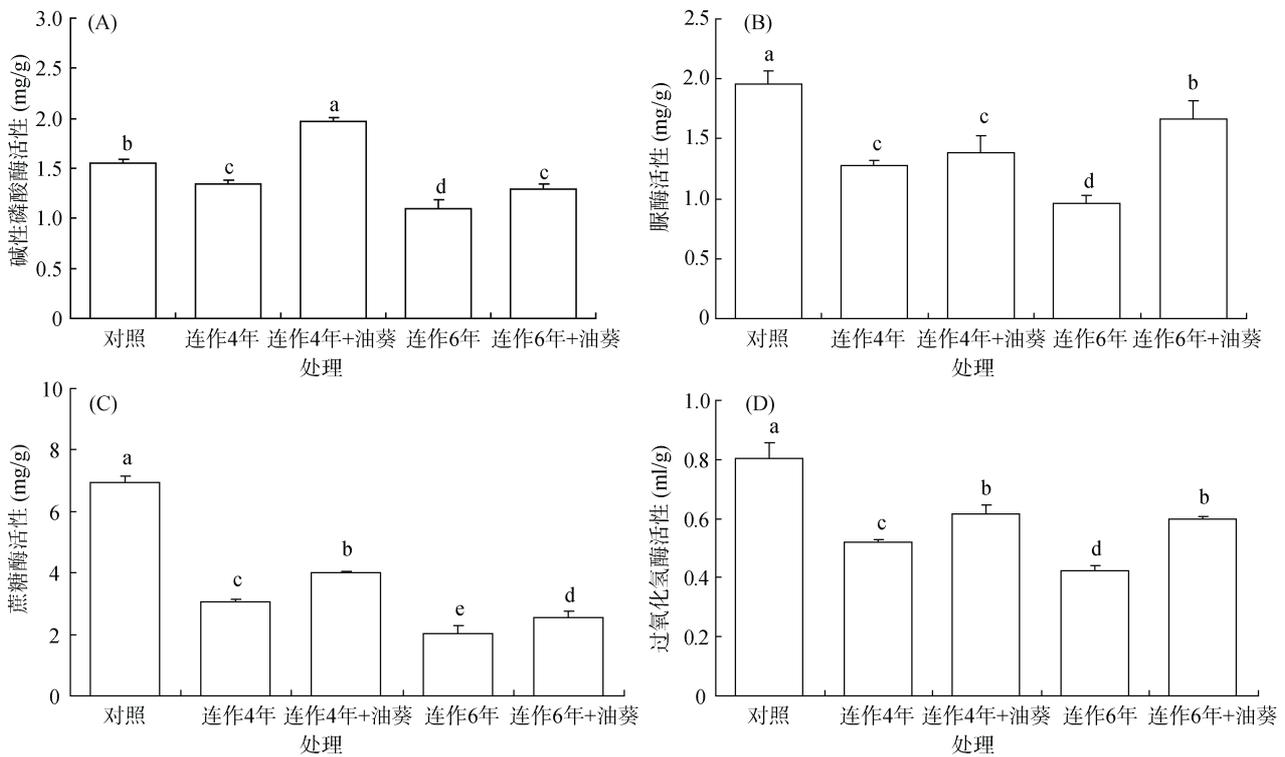
对叶绿素含量:SPAD-502 叶绿素仪测定。净光合速率、胞间  $CO_2$  浓度、气孔导度:采用美国便携式 LI-6400 光合仪,在上午 10:00—11:00 测定;丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量测定参照邹琦<sup>[13]</sup>;超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)活性测定参照 Spsychalla 和 Desborough<sup>[14]</sup>,以抑制氮蓝四唑光化还原一半的酶量为一个酶活力单位;超氧阴离子(Superoxide anion rate,  $O_2^-$ )产生速率测定采用羟胺氧化法<sup>[15]</sup>。

**1.3.5 数据分析** 应用 SPSS17.0 软件对数据进行统计分析,并用 LSD 法进行显著性检验。采用 Excel 2003 对数据进行处理、绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 轮作油葵对连作马铃薯土壤酶活性的影响

图 1 表明,随着连作年限的增加,马铃薯土壤中碱性磷酸酶、脲酶、蔗糖酶及过氧化氢酶活性显著减少,轮作油葵均提高了这 4 种土壤酶活性,但上升幅度有差别。连作 4 年+油葵处理对碱性磷酸酶和蔗糖酶活性的促进作用最大,分别比连作 4 年提高了 46.41% 和 31.11%(图 1A, C),连作 6 年+油葵处理对脲酶和过氧化物酶活性的促进作用最大,分别比连作 6 年提高了 42.93% 和 40.72%(图 1B, C)。



(图柱上方小写字母不同表示处理间差异达到  $P < 0.05$  显著水平, 下图同)

图 1 轮作油葵对连作马铃薯土壤酶活性的影响

Fig. 1 Effects of oil-sunflower rotation on activities of soil enzymes under continuous cropping potato

### 2.2 轮作油葵对连作马铃薯根际土壤微生物数量的影响

由表 2 可知, 马铃薯土壤根际细菌数量和放线菌数量随连作年限的延长呈下降趋势。连作 6 年时分别比对照下降了 73.89%、42.78%, 差异达到极显著。轮作油葵后, 均显著增加(表 2)。细菌和放线菌数量在连作 4 年+油葵处理中分别比连作 4 年提高了 72.04%、58.50%, 连作 6 年+油葵处理的细菌数量和放线菌数量分别比连作 6 年提高了 64.15%、19.42%。真菌数量则表现为随连作年限增加呈上升趋势。轮作

油葵降低了土壤根际真菌数量, 对于连作 4 年马铃薯的土壤真菌数量下降幅度(62.26%)显著大于连作 6 年马铃薯的土壤真菌数量降幅(15.66%)。细菌与真菌的比值可以表征土壤肥力大小, 随着连作年限的增加, B/F 值呈下降趋势, 连作 4 年 B/F 值是对照的 10.66%, 连作 6 年 B/F 值是对照的 3.72%, 由此看来连作马铃薯根系分泌物抑制细菌繁殖, 改变了微生物群落结构, 削减土壤肥力。轮作油葵相对提高了 B/F 值, 尤其在连作 4 年后轮作油葵 B/F 值是连作 4 年的 5.38 倍( $P < 0.05$ )。

表 2 轮作油葵对连作马铃薯土壤微生物数量的影响

Table 2 Effects of oil-sunflower rotation on the quantities of soil microorganism under continuous cropping potato

处理	细菌数量 ( $10^6/g$ soil)	放线菌数量 ( $10^5/g$ soil)	真菌 ( $10^4/g$ soil)	细菌/真菌
对照	$2.03 \pm 0.12$ a	$1.80 \pm 0.17$ b	$0.13 \pm 0.06$ c	$1\ 716.67 \pm 663.95$ a
连作 4 年	$0.93 \pm 0.06$ c	$1.47 \pm 0.06$ c	$0.53 \pm 0.15$ b	$182.62 \pm 41.13$ c
连作 4 年+油葵	$1.60 \pm 0.10$ b	$2.33 \pm 0.12$ a	$0.20 \pm 0.10$ c	$983.33 \pm 561.99$ b
连作 6 年	$0.53 \pm 0.06$ d	$1.03 \pm 0.06$ d	$0.83 \pm 0.06$ a	$64.35 \pm 9.85$ c
连作 6 年+油葵	$0.87 \pm 0.21$ c	$1.23 \pm 0.15$ cd	$0.70 \pm 0.10$ ab	$122.82 \pm 12.77$ c

### 2.3 轮作油葵对连作马铃薯幼苗叶片光合生理指标的影响

由表 3 可知, 随连作年限增加, 马铃薯幼苗叶片叶绿素相对含量、净光合速率、胞间  $CO_2$  浓度、气

孔导度逐渐减小, 而轮作油葵后则显著提高。连作 4 年+油葵处理的马铃薯叶片叶绿素相对含量、净光合速率、胞间  $CO_2$  浓度分别比连作 4 年增加了 11.73%、9.20%、8.00%, 且均高于对照, 气孔导度增加了

表 3 轮作油葵对连作马铃薯幼苗叶片光合生理指标影响

Table 3 Effects of oil-sunflower rotation on photosynthesis indexes of potato seedling leaves under continuous cropping potato

处理	叶绿素相对含量 SPAD	净光合速率 (CO <sub>2</sub> , μmol/(m <sup>2</sup> ·s))	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 (CO <sub>2</sub> , μmol/mol)	气孔导度 (H <sub>2</sub> O, mol/(m <sup>2</sup> ·s))
对照	45.50 ± 1.23 b	26.49 ± 0.26 b	274.65 ± 2.40 b	0.68 ± 0.01 a
连作 4 年	43.23 ± 0.40 cd	25.44 ± 0.24 c	262.52 ± 1.57 c	0.59 ± 0.03 c
连作 4 年+油葵	48.30 ± 0.17 a	27.78 ± 0.13 a	283.53 ± 4.64 a	0.64 ± 0.01 b
连作 6 年	42.50 ± 0.35 d	23.57 ± 0.33 d	254.53 ± 4.18 d	0.45 ± 0.02 e
连作 6 年+油葵	44.50 ± 1.70 bc	25.48 ± 0.14 c	267.38 ± 5.93 bc	0.50 ± 0.01 d

7.67%；连作 6 年+油葵处理则分别提高了 4.71%、8.12%、5.05%、11.53%，增加幅度较连作 4 年+油葵处理小(气孔导度除外)。由此可以得出，连作 4 年后轮作油葵对于增强连作马铃薯幼苗光合作用的效果显著。

#### 2.4 轮作油葵对连作马铃薯幼苗叶片丙二醛含量、O<sub>2</sub><sup>-</sup>产生速率、SOD 活性的影响

一般情况下，当植物遭受环境胁迫时，细胞内迅速积累活性氧，引起膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)含量上升。由图 2 可知，马铃薯叶片 MDA 含量的变化随连作年限增加而积累，植物受到过氧化伤害；轮作油葵降低了 MDA 含量，减轻了连作引起的马铃薯

伤害。对于 4 年和 6 年连作，轮作油葵比不轮作处理分别降低了 34.49% 和 22.77%，下降幅度连作 4 年后轮作油葵明显要高，马铃薯受伤害较轻(图 2A)。O<sub>2</sub><sup>-</sup>随连作年限的延长逐渐升高，轮作油葵后其产生速率明显下降，连作 4 年和连作 6 年轮作油葵分别比不轮作处理下降了 18.68%、11.35%(图 2B)，说明轮作油葵可以降低连作马铃薯 O<sub>2</sub><sup>-</sup>产生速率。超氧化物酶(SOD)活性随连作年限延长呈先增后减趋势，连作 6 年时的 SOD 活性比对照下降了 27.38%。轮作油葵提高了 SOD 活性，且连作 4 年+油葵处理的 SOD 活性显著高于连作 6 年+油葵处理( $P < 0.05$ )(图 2C)。具体效果视连作年限而异。

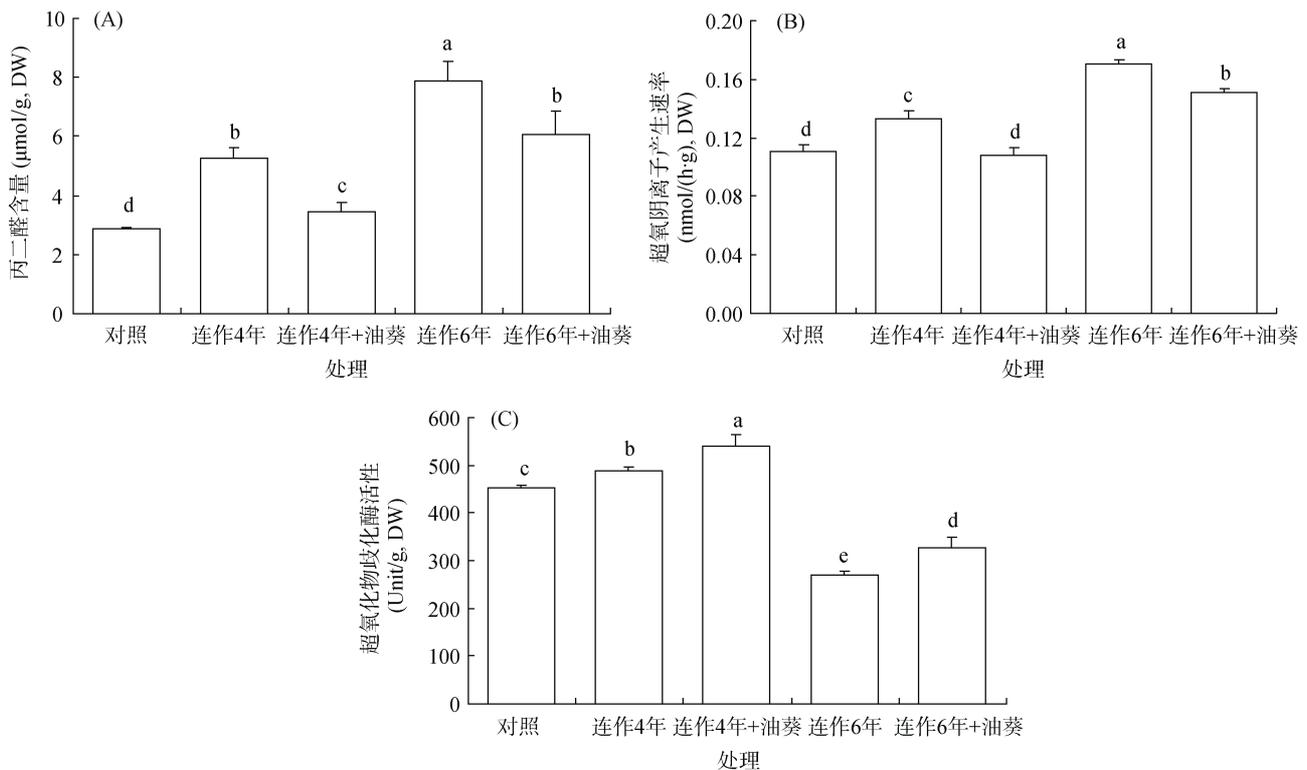


图 2 轮作油葵对连作马铃薯幼苗叶片丙二醛含量、超氧阴离子产生速率和、超氧化物酶活性的影响

Fig. 2 Effects of oil-sunflower rotation on MDA content, SOD activity and production rate of O<sub>2</sub><sup>-</sup> of potato seedling leaves under continuous cropping

## 2.5 轮作油葵对连作马铃薯生长发育的影响

由表 4 可知,连作马铃薯株高、茎粗、根长、地上部干重、单株薯重均比对照低,且与连作年限呈负相关。连作年限对马铃薯株高、茎粗和根长的抑制效果明显,且连作 6 年处理分别比对照下降了 41.62%、43.18%、19.33%。轮作油葵相对提高了马铃薯的株高,使得茎粗增加,促进根的伸长生长,连作 4 年+油葵处理下分别较连作 4 年处理上升了 8.97%、20.43%、37.14%,连作 6 年+油葵处理下分别较连作 6 年处理升高了 3.16%、13.33%、36.10%,且根长在轮作后要比对照值高。连作处理下的地上部干重和单

株产量显著低于对照,连作 4 年处理比对照下降了 55.79%、41.75%,差异显著;连作 6 年处理下进一步降低,但与连作 4 年差异不显著,分别比对照降低了 61.30%、51.14%。轮作油葵提高了地上部干重和单株产量,连作 4 年+油葵处理下分别较连作 4 年处理上升了 37.52%、33.99%,连作 6 年+油葵处理下分别较连作 6 年处理升高了 35.75%、10.06%。以上数据表明,连作 4 年轮作油葵对于提高连作马铃薯植株株高、茎粗、根长、地上部干重和单株产量较连作 6 年+油葵处理相对效果好,促进了连作马铃薯的生长发育。

表 4 轮作油葵对连作马铃薯生长发育的影响  
Table 4 Effects of oil-sunflower rotation on growth and development of potato under continuous cropping potato

处理	株高 (cm)	茎粗 (cm)	根长 (cm)	地上部干重 (g)	单株产量 (g)
对照	54.93 ± 1.10 a	1.32 ± 0.06 a	20.33 ± 0.32 c	39.97 ± 2.08 a	595.67 ± 13.53 a
连作 4 年	35.33 ± 0.29 c	0.93 ± 0.12 c	18.47 ± 0.32 d	17.67 ± 0.59 cd	347.00 ± 49.17 c
连作 4 年+油葵	38.50 ± 0.50 b	1.12 ± 0.01 b	25.33 ± 1.01 a	24.30 ± 0.62 b	464.93 ± 7.52 b
连作 6 年	32.07 ± 2.10 d	0.75 ± 0.08 d	16.40 ± 0.26 e	15.47 ± 0.49 d	291.05 ± 42.74 c
连作 6 年+油葵	34.60 ± 0.53 c	0.85 ± 0.03 cd	22.23 ± 0.32 b	21.00 ± 0.85 bc	320.33 ± 24.34 c

## 3 讨论

### 3.1 轮作油葵对连作马铃薯根际土壤环境的影响

作物生长的首要条件是拥有良好的土壤环境,土壤酶在土壤物质循环和能量流动过程中至关重要,土壤酶活性的强弱,直接反映了土壤肥力和生产力大小<sup>[16-17]</sup>。本研究发现,与对照相比,随着连作年限的增加,马铃薯土壤中的碱性磷酸酶、脲酶、蔗糖酶及过氧化氢酶活性降低(图 1),磷酸酶活性的下降抑制了土壤中有机磷化物的分解,使得土壤中有效利用的磷素含量下降,有效磷含量也随之下降(表 1),土壤肥力下降,这与康亚龙等<sup>[18]</sup>的研究结果一致。通过轮作油葵,土壤酶活性均有所提高,在连作 4 年马铃薯田轮作油葵对土壤碱性磷酸酶活性和蔗糖酶活性的促进作用显著,土壤中可利用的磷素和营养物质增多,土壤状况好转,这与 Marchinkeviciene 等<sup>[19]</sup>研究结果相似,说明轮作加快了土壤物质代谢,使得土壤中的有机物质循环加快,根系分泌物的自毒作用下降,土壤酶活性增加。

土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分之一,连作导致土壤微生物数量变化,有益微生物减少,病原菌微生物增加<sup>[20]</sup>。本试验结果表明,长期连作使得马铃薯根际土壤细菌、放线菌数量及 B/F 值下降,真菌数量增加,向真菌型土壤过渡,这与顾美英等<sup>[21]</sup>研究结果相似,不利于马铃薯生长。轮作改变

了土壤微生物环境,促进根系吸收能力,从而加快微生物生长和繁殖<sup>[22]</sup>。本试验中轮作油葵使得有益微生物细菌数量、放线菌数量增加,真菌数量相对降低,土壤转向细菌型(表 2),土壤肥力增加,且连作 4 年轮作油葵对土壤微生物环境的改善效果较好。

有机质是土壤的重要组成成分,可以反映土壤养分状况<sup>[23]</sup>。本试验结果表明,随着连作年限(0, 4, 6 年)的增加,马铃薯土壤碱解氮含量上升, pH 介于 7.5 ~ 8.5,有机质和有效磷含量减少,土壤养分比例失调,土壤质量下降。轮作油葵在一定程度上增加了土壤有机质、有效磷和碱解氮含量,这与王涛等<sup>[24]</sup>对黄瓜连作的研究一致。相反,土壤 pH 相对降低,其中轮作油葵对连作 4 年的马铃薯土壤理化性质的改良效果更有效(表 1)。徐成龙<sup>[25]</sup>研究也认为,轮作苜蓿能提高土壤有机质、速效氮、有效磷含量,从而提高常规农田土壤质量和作物产量。结合马铃薯生长发育指标(表 4),轮作油葵明显提高了马铃薯株高、茎粗、根长、地上部干重和单株产量,说明轮作油葵对土壤环境的改变为马铃薯生长发育提供有利的生长条件。整体上马铃薯在连作 4 年后轮作油葵处理的生长明显较连作 6 年后轮作油葵处理要好。

### 3.2 轮作油葵对连作马铃薯幼苗光合生理指标的影响

光合作用是植物进行物质循环和能量流动的基础,叶绿素则是植物光合作用过程中的重要色素,与

光合效率呈正相关,可以作为反映植物逆境生理指标之一<sup>[26-27]</sup>。本研究表明,连作使得马铃薯幼苗叶片叶绿素相对含量下降,净光合速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度以及气孔导度下降,植株光合作用减弱(表 3),影响马铃薯生长,与许楠等<sup>[28]</sup>的研究结果相一致。轮作油葵能显著提高连作马铃薯叶片叶绿素相对含量、净光合速率,增强了光合速率,进一步促进马铃薯植株正常生长。

### 3.3 轮作油葵对连作马铃薯幼苗抗氧化酶活性的影响

植物生命过程中都会有自由基的产生,逆境条件下体内的自由基积累,产生自由基链式反应,引起膜脂过氧化,对细胞膜产生损伤,而细胞膜脂过氧化作用的强弱可以用丙二醛(MDA)含量的高低来反映,超氧化物酶(SOD)是细胞内清除超氧自由基的重要酶<sup>[29]</sup>。研究结果显示,随着连作年限的增加,马铃薯幼苗叶片 MDA 含量增加,SOD 活性下降,使得 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 积累,膜脂过氧化作用加快,连作 6 年时表现最为明显,马铃薯遭受胁迫明显。轮作油葵明显抑制了 SOD 活性的下降,使得 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 水平下降,降低了 MDA 含量,从而减轻膜脂过氧化作用对细胞膜的损伤,提高植株的抗氧化能力(图 2),促进马铃薯正常生长,这与吕毅等<sup>[7]</sup>的研究结果相似。

## 4 结论

马铃薯连作(4, 6 年)后有机质含量下降,氮肥、磷肥比例失调,土壤理化性质发生改变,土壤酶活性的降低以及土壤微生物组成变化,从根源上抑制了马铃薯生长,使得叶片光合作用减弱,丙二醛积累,超氧阴离子产生速率增加,导致膜脂过氧化加重。轮作油葵在一定程度上改善了土壤环境,促进了马铃薯生长发育,增强了连作马铃薯的光合作用和抗氧化能力,减轻脂质过氧化作用。连作 4 年后轮作油葵对于改善土壤环境、增强叶片光合作用和抗氧化能力、降低丙二醛含量较连作 6 年后轮作油葵效果更明显,更有利于减轻马铃薯连作障碍。可见,马铃薯连作障碍不仅表现在马铃薯生长发育的下降,也表现在土壤生物和非生物环境因子的恶化,轮作油葵则从整体上逆转了连作导致的植株和土壤两方面的不利变化,而且这种作用以连作 4 年时轮作油葵效果最为显著。

### 参考文献:

[1] 李瑞琴,刘星,邱慧珍,等. 连作马铃薯根际干腐病优势病原菌荧光定量 PCR 快速检测及在根际的动态变化[J]. 草业学报, 2013, 22(6): 239-248

[2] 回振龙,李朝周,史文焯,等. 黄腐酸改善连作马铃薯生长发育及抗性生理的研究[J]. 草业学报, 2013, 22(4): 130-136

[3] 郭红伟,郭世荣,刘来,等. 辣椒连作对土壤理化性状、植株生理抗性及其离子吸收的影响[J]. 土壤, 2012, 44(6): 1041-1047

[4] 张仕祥,过伟民,李辉信,等. 烟草连作障碍研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(5): 823-829

[5] 谷岩,邱强,王振民,等. 连作大豆根际微生物群落结构及其土壤酶活性[J]. 中国农业科学, 2012, 45(19): 3955-3964

[6] 孟品品,刘星,邱慧珍,等. 连作马铃薯根基土壤真菌种群结构及其生物效应[J]. 应用生态学报, 2012, 23(11): 3079-3086

[7] 吕毅,宋富海,李园园,等. 轮作不同作物对苹果园连作土壤环境及平邑甜茶幼苗生理指标的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(14): 2830-2839

[8] 曹莉,秦舒浩,张俊莲,等. 轮作豆科牧草对连作马铃薯田土壤微生物群落及酶活性的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(3): 139-145

[9] Mohr R M, Derksen D A, Irvine R B, et al. Effects of rotation on crop yield and quality in an irrigated potato system[J]. Am. J. Pot Res., 2011, 88: 346-359

[10] 胡慧蓉,田昆. 土壤学实验指导教程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012

[11] 吴金水,林启美,黄巧云,等. 土壤微生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006

[12] 李坤. 葡萄连作障碍机理及调控途径的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2010

[13] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003

[14] Spychalla J P, Desborough S L. Superoxide dismutase, catalase and alpha tocopherol content of stored potato tubers[J]. Plant Physiology, 1990, 94: 1214-1218

[15] 王爱国,罗广华. 植物的超氧物自由基与羟胺反应的定量关系[J]. 植物生理学通讯, 1990(6): 55-57

[16] 沈芳芳,袁颖红,樊后保,等. 氮沉降对杉木人工林土壤有机碳矿化和土壤酶活性的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(2): 517-527

[17] 徐雪凤,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

[18] 康亚龙,景峰,孙文庆,等. 加工番茄连作对土壤理化性质及微生物数量的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(2): 533-542

[19] Marcinkeviciene A, Boguzas V, Balnyte S, et al. Influence of crop rotation, intermediate crops, and organic fertilizers on the soil enzymatic activity and humus content in organic farming systems[J]. Eurasian Soil Science, 2013, 46(2): 198-203

[20] 张云伟,徐智,汤利,等. 不同有机肥对烤烟根际土壤微生物的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(9): 2551-2556

[21] 顾美英,徐万里,茆军,等. 新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性[J]. 生态学报, 2012, 32(10): 3031-3040

- [22] 虎德钰, 毛桂莲, 许兴. 不同草田轮作方式对土壤微生物和土壤酶活性的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(9): 106–113
- [23] 高菊生, 曹卫东, 李冬初, 等. 长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(16): 4542–4548
- [24] 王涛, 乔卫花, 李玉奇, 等. 轮作和微生物菌肥对黄瓜连作土壤理化性状及生物活性的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(3): 578–583
- [25] 徐成龙. 苜蓿轮作农田和常规农田土壤质量与作物产量的比较研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2014
- [26] 李夏, 妙佳源, 高小丽, 等. 连作条件下谷子叶片衰老与活性氧代谢研究[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(4): 1–9
- [27] 曾令杰, 林茂兹, 李振方, 等. 连作对太子参光合作用及药用品质的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(8): 1522–1528
- [28] 许楠, 张会慧, 李鑫, 等. 连作对烤烟生长特性和光合能力的影响[J]. 草业学报, 2012, 29(9): 1435–1440
- [29] 李朝周, 左丽萍, 李毅, 等. 两个海拔分布下红砂叶片对渗透胁迫的生理响应[J]. 草业学报, 2013, 22(1): 176–182

## Effects of Oil-sunflower Rotation on Growth and Resistance Physiology Indexes of Potato

XU Xuefeng<sup>1,2</sup>, LI Chaozhou<sup>1,2</sup>, ZHANG Junlian<sup>1,3\*</sup>

(1 Gansu Key Laboratory of Crop Genetics & Germplasm Enhancement, Lanzhou 730070, China; 2 College of Life Sciences and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 3 College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Different farmlands including only cropping quinoa(CK), 4 years continuous cropping potato, 1 year oil-sunflower rotation after 4 years continuous cropping potato, 6 years continuous cropping potato, 1 year oil-sunflower rotation after 6 years continuous cropping potato were selected, and which soil properties, soil enzyme activities, soil microorganism quantities and the growth and development indicators of potatoes were measured and compared to explore the effects of oil-sunflower rotation on the growth and resistance physiology of potato under different continuous cropping potato. The results showed that with the increase of continuous cropping year, soil pH of potato rhizosphere increased and tended to alkalinity in general, the contents of organic matter and available phosphorus decreased, alkali-hydrolyzable nitrogen content increased. Soil enzyme activities were negatively correlated with continuous cropping year and were lowest in the 6 years continuous cropping. With the increase of continuous cropping year, the quantities of soil bacteria and actinomycetes and the ratio of bacteria and fungi (B/F) decreased, but fungi quantity increased. The deterioration of potato rhizosphere soil environment resulted in the reduction in potato growth, chlorophyll content, leaf photosynthesis, SOD activity and the increase in production rate of  $O_2^-$  and MDA content. In general, compared with non-rotation, oil-sunflower rotation significantly reduced soil pH, increased contents of organic matter, available phosphorus and alkali-hydrolyzable, improved soil enzyme activities, the quantity of bacteria and B/F, reduced the quantity of fungi, improved soil microenvironment, promoted potato growth, increased relative chlorophyll content, photosynthesis and SOD activity, decreased production rate of  $O_2^-$  and MDA content, reduced membrane lipid peroxidation and free radical damage, enhanced antioxidant capacity. Generally, oil-sunflower rotation in 4 years continuous cropping was better, which well alleviated potato continuous cropping obstacles.

**Key words:** Potato; Continuous cropping; Rotation; Soil environment