

连作对荞麦产量、土壤养分及酶活性的影响^①

高 扬, 高小丽*, 张东旗, 赵 涛, 高金锋, 杨 璞, 冯佰利

(旱区作物逆境生物学国家重点实验室/西北农林科技大学农学院, 陕西杨凌 712100)

摘 要: 在连续 4 年不施肥的定位试验基础上, 采样分析了不同荞麦连作年限(2 年、3 年和 4 年)对土壤养分、酶活性和荞麦产量的影响。结果表明, 随连作年限的增加, 荞麦产量下降, 且显著低于与豆科作物轮作下的荞麦产量; 土壤氮、磷、钾含量均降低, 磷和钾含量降低更明显, 土壤 pH 提高; 土壤碱性磷酸酶、过氧化氢酶活性下降, 脲酶活性先降后升, 蔗糖酶活性总体上呈降低趋势。因此, 为维持地力, 提高荞麦产量, 一要实行荞麦与芸豆等豆科作物轮作倒茬, 二要施用一定的肥料。

关键词: 荞麦; 连作; 轮作; 土壤养分; 土壤酶

中图分类号: S326

荞麦耐旱、耐瘠、适应性强、生育期短, 是备荒救灾、填闲补缺最理想、最经济的优势作物^[1]。另外, 荞麦的营养价值高, 尤其是蛋白质含量较高且氨基酸组成平衡, 含有生物类黄酮和芦丁等, 具有一定的药用价值^[2]。我国荞麦多分布在贫瘠丘陵区和旱作地区, 受自然条件的限制, 多为一年一作, 且很少施肥, 单产水平较低, 一般为 750 ~ 1 500 kg/hm², 种植效益较低。究其原因, 除品种混杂退化、耕作管理粗放等因素外^[3], 连作障碍可能也是一个重要因素。

连作障碍是植物土壤系统内多种因子相互作用的结果, 引起的原因很复杂, 如土传病原菌的积累、植物根系分泌物自毒作用、土壤微生物区系及土壤理化性质的变化、土壤肥力下降等^[4]。国内外对很多的大田作物进行了连作障碍的研究, 一些研究认为土壤酶活性的改变是作物产生连作障碍的主要原因, 如有研究表明, 随着玉米、棉花等作物连作年限的增加, 其土壤碱性磷酸酶活性下降^[5], 中性磷酸酶活性先降后升^[6]; 而地黄、黄瓜、花生等作物连作后根际土壤脲酶活性逐年降低^[7-8]; 非洲菊、烤烟在连作条件下土壤脲酶活性先增后降^[9-10]。也有一些研究认为连作障碍与植物根系分泌物中的自毒物质有关^[11], 已发现玉米、高粱、水稻等禾本科植物和大豆、豌豆等豆科作物均存在一定程度的自毒作用现象。相比之下, 目前针对荞麦等杂粮类作物连作下土壤属性和荞麦产

量变化的报道还甚少。因此, 本文旨在通过定位试验, 研究不同年限荞麦连作下土壤养分、酶活性和荞麦产量的变化。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验地概况

试验地设在西北农林科技大学北校农作一站, 该站地处渭河三级阶地, 海拔高度 520 m, 年均气温 12.9 °C, 年均降水量 550.8 mm, 其中 7—9 月降水占全年降水量的 60% 以上, 年均蒸发量 1 400 mm, 属于半湿润旱作区。2010 年试验前土壤基本理化性状: 砂粒(1 ~ 0.05 mm, 卡钦斯基制(1957), 下同)、粉粒(0.05 ~ 0.001 mm)和黏粒(<0.001 mm)含量分别为 60、780 和 160 g/kg, 粉土质地, 全氮 1.24 g/kg, 全磷 1.05 g/kg, 速效氮 87.1 mg/kg, 速效磷 32.8 mg/kg, 速效钾 158.8 mg/kg, pH 8.3, 有机质 21.0 g/kg。

1.2 试验设计

2010—2013 年进行了连续定位试验, 处理 T1 为荞麦连作 2 年(2010 年和 2011 年, 每年均种一季荞麦), 处理 T2 为荞麦连作 3 年(2010 年、2011 年和 2012 年, 每年均种一季荞麦), 处理 T3 为荞麦连作 4 年(2010 年、2011 年、2012 年和 2013 年, 每年均种一季荞麦), 对照(CK)为 2010—2013 年期间轮作了荞麦—谷子—芸豆—荞麦的田块。荞麦品种为西农 9920, 谷

①基金项目: 国家自然科学基金项目(31071472)和陕西省科学技术研究发展计划项目(2014K01-28)资助。

* 通讯作者(gao2123@nwsuaf.edu.cn)

作者简介: 高扬(1990—), 男, 安徽宣城人, 硕士研究生, 主要从事植物安全生产研究。E-mail: gao.yang@nwsuaf.edu.cn

子品种为晋谷 29, 芸豆品种为 Y0503 小黑芸豆。小区尺度为 4 m×5 m, 每个处理设 4 次重复, 完全随机区组设计。按当地农民种植习惯, 均不施肥, 每年 6 月中上旬开始松土播种, 不灌溉, 靠自然降雨补给。10 月中下旬收割作物上部结实部位, 余下的秸秆和根茬留在地里自然分解。

1.3 土样采集

采样分两种: ①测定土壤常规理化性质的土样: 在每年荞麦收获后采集, 小区内随机 3 点取耕作层(0~20 cm)的土壤充分混匀后, “四分法”形成 1.5 kg 土样; ②测定土壤酶活性的土样: 于 2011 年、2012 年、2013 年分别在荞麦播种期、出苗期、开花期、灌浆期、成熟期收集荞麦根际土壤, 每小区随机取 3 个点, 将植株根部完整挖出, 抖掉与根系松散结合的土壤, 收集与根系紧密结合的土壤作为根际土壤, 3 点土壤混匀后, “四分法”形成 1.5 kg 土样。所有土样去除杂质, 自然风干, 研磨分别过 0.8 mm 筛和 0.16 mm 筛, 分别用于测定土壤养分及酶活性。

1.4 土样测定

土壤基本理化性质的测定^[12]: 全氮采用凯氏法消解-连续流动分析仪测定; 全磷用 H₂SO₄-HClO₄ 消解-硫酸钼锑抗比色法测定; 全钾采用氢氧化钠熔融(450℃)-火焰光度法测定; 速效氮采用 1.0 mol/L KCl 浸提-AA3 连续流动分析仪测定; 速效磷采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-硫酸钼锑抗比色法测定; 速效钾采用 1.0 mol/L NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定; pH 采用 1:2.5 土水比浸提-电位法测定。

土壤酶的测定: 脲酶活性的测定采用苯酚钠比色法^[13], 蔗糖酶活性用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[14], 碱性磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定^[14], 过氧化氢酶采用紫外分光光度法^[15]。

1.5 数据处理与分析

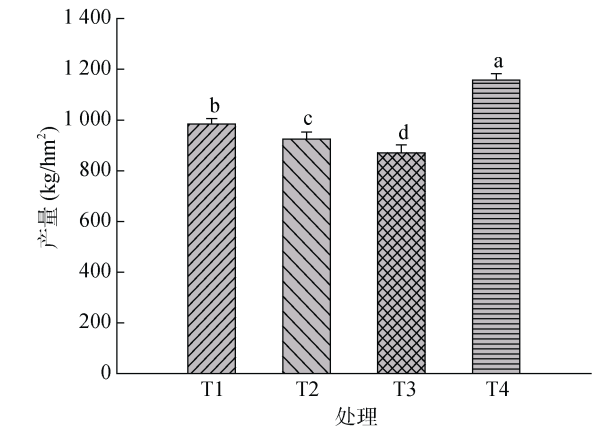
试验数据采用 Excel 2003 进行统计, DPS 7.05 进行方差分析, SigmaPlot10.0 制图。多重比较采用

Duncan’s 新复极差法测验。

2 结果

2.1 连作对荞麦产量的影响

随着连作年限的增加, 荞麦产量显著降低, 由 T1 处理的 984 kg/hm² 下降至 T2 处理的 924 kg/hm², 最后降至 T3 处理的 871 kg/hm²(图 1), 且均显著低于 CK 处理(1 157 kg/hm²), CK 处理产量分别是 T1、T2 和 T3 处理的 1.18 倍、1.25 倍和 1.33 倍。



(T1 为连作 2 年, T2 为连作 3 年, T3 为连作 4 年, CK 为轮作, 下同; 图中不同小写字母表示不同处理间差异在 $P<0.05$ 水平显著, 下同)

图 1 连作对荞麦产量的影响
Fig. 1 Effects of continuous cropping on yields of buckwheat

2.2 连作对荞麦根际土壤化学性质的影响

由表 1 可见, 与基础地力相比, 随荞麦连作年限的增加, 全氮、速效氮、全磷、速效磷和速效钾含量均有所降低, 但不同年限连作处理之间全氮含量无显著性差异($P>0.05$), 而速效氮、全磷、速效磷和速效钾含量存在显著性差异($P<0.05$)。CK 处理的全磷、速效磷和速效钾含量显著低于 T1 和 T2 处理, 但与 T3 的差异不显著($P>0.05$); CK 处理的全氮含量略高于荞麦连作处理, 但差异不显著($P>0.05$), 速效氮含量略低于 T1 处理($P>0.05$), 但显著高于 T2 和 T3 处理($P<0.05$)。

表 1 不同年限连作下荞麦根际土壤基本性质
Table 1 The basic properties of buckwheat rhizosphere soils under different continuous cropping years

处理	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	速效氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	pH
基础地力	1.24	1.05	87.1	32.8	159	8.3
T1	0.97 ± 0.18 a	0.93 ± 0.03 a	85.45 ± 2.38 a	22.18 ± 0.25 a	138 ± 7 a	8.4 c
T2	0.94 ± 0.21 a	0.67 ± 0.06 b	76.48 ± 2.16 b	13.64 ± 0.05 b	122 ± 6 b	8.6 b
T3	0.89 ± 0.16 a	0.46 ± 0.04 c	68.54 ± 1.89 c	5.10 ± 0.15 c	105 ± 4 c	8.8 a
CK	1.02 ± 0.13 a	0.44 ± 0.08 c	83.86 ± 2.27 a	4.50 ± 0.30 c	99 ± 4 c	8.4 c

注: 同列不同小写字母表示处理间差异在 $P<0.05$ 水平显著。

2.3 连作对芥麦根际土壤酶活性的影响

不同年限连作及轮作芥麦根际土壤碱性磷酸酶活性随生育进程的推进总体上均呈先升后降的“马鞍型”变化过程(图 2)。随着连作年限的增加,土壤碱性磷酸酶活性呈降低趋势,表现为: $T1 > T2 > T3$ 。T1 处理土壤磷酸酶活性高于 CK 处理, T2、T3 处理低于 CK 处理, 以开花期为例, T1 处理比 CK 处理高出 8.93%, T2、T3 处理分别相比 CK 处理下降 19.92% 和 35.46%, 各处理间差异达显著水平($P < 0.05$)。

随着生育进程的推进,不同年限连作及轮作土壤脲酶活性均呈现先降后升再降的变化过程(图 3);随连作年限的增加,土壤脲酶活性总体上呈先降后升的变化趋势,表现为: $T1 > T3 > T2$; T1、T3 处理土壤脲酶活性高于 CK 处理, T2 处理低于 CK 处理, 以开花期为例, T1、T3 处理土壤脲酶活性分别比 CK 处理高出 24.10% 和 7.84%, T2 处理土壤脲酶活性比 CK 处理下降 61.06%, 各处理间差异达显著水平($P < 0.05$)。

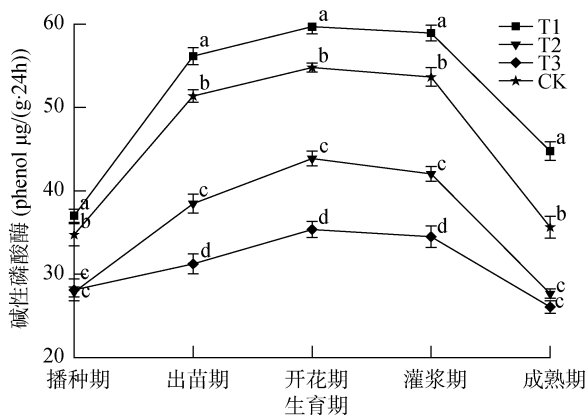


图 2 连作对土壤碱性磷酸酶活性的影响

Fig. 2 Effects of continuous cropping on alkaline phosphatase activities of soils

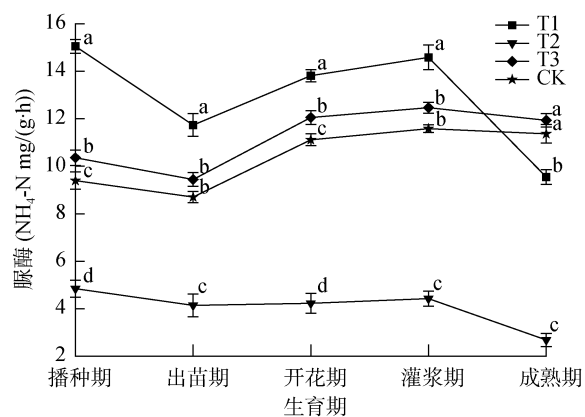


图 3 连作对土壤脲酶活性的影响

Fig. 3 Effects of continuous cropping on urease activities of soils

随着生育进程的推进,不同处理土壤过氧化氢酶活性变化趋势不同, T1、T2 处理总体上均呈现先升后降再升的变化过程, T3 及 CK 处理呈现先升高后降低的变化过程(图 4)。CK 处理土壤过氧化氢酶活性在开花期有一个突增过程, 达到一个高峰值(9.37 mg/g), 显著高于连作土壤酶活性, 分别是 T1、T2 和 T3 处理的 1.98 倍、2.64 倍和 2.82 倍。随着连作年限的增加, 土壤过氧化氢酶活性总体呈下降趋势, 表现为: $CK > T1 > T2 > T3$, 且于出苗期各处理间差异最显著, 此时期 T1 处理土壤过氧化氢酶活性分别是 T2、T3 处理的 1.43 倍和 1.82 倍。

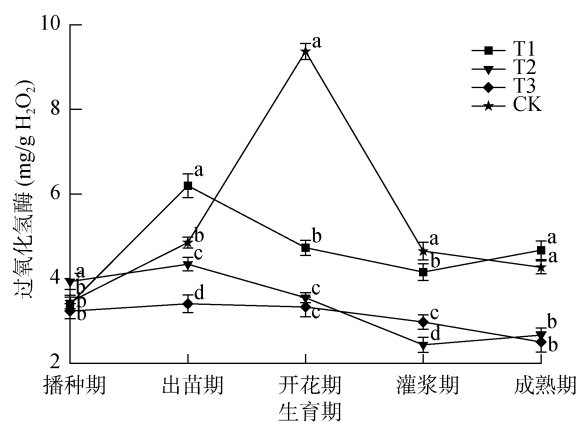


图 4 连作对土壤过氧化氢酶活性的影响

Fig. 4 Effects of continuous cropping on catalase activities of soils

土壤蔗糖酶活性随生育进程的推进变化趋势不一, T1 处理表现为先升后降再升, T2 处理表现为先降后升的“V 型”变化过程, T3 及 CK 处理均呈现先升后降的“马鞍型”变化趋势(图 5a)。随着连作年限的增加土壤蔗糖酶活性在各生育阶段变化不同, 播种期至出苗期酶活性先升高后降低, 表现为: $T2 > T1 > T3$; 开花期至灌浆期呈现先下降后上升变化, 即为: $T3 > T1 > T2$; 其余时期酶活性均表现为下降变化, 即为: $T1 > T2 > T3$ 。以出苗期为例, T1、T2 处理分别比 CK 处理高 77.36% 和 54.71%, T3 处理比 CK 处理下降 12.52%。总体看来, 整个生育期内 T1、T2 及 T3 处理土壤蔗糖酶平均活性要高于 CK 处理(图 5b)。

2.4 芥麦根际土壤性质、酶活性与籽粒产量的相关性

由表 2 可知, 在芥麦整个生育期间土壤过氧化氢酶活性与籽粒产量呈显著正相关, 相关系数为 0.94; 速效氮含量、碱性磷酸酶、脲酶活性与产量呈正相关; 但速效磷、速效钾含量、蔗糖酶活性及 pH 与产量呈负相关关系。

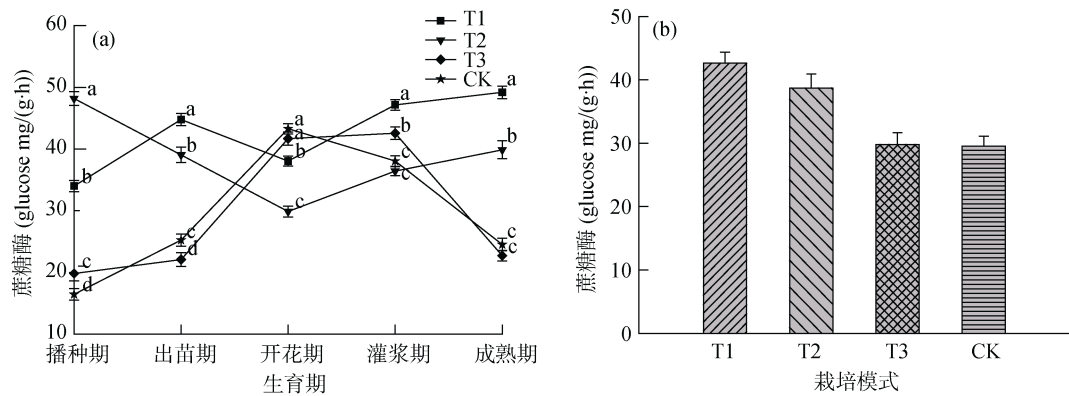


图 5 连作对土壤蔗糖酶活性的影响
Fig. 5 Effects of continuous cropping on sucrase activities of soils

表 2 土壤养分、酶活性与荞麦籽粒产量的相关性
Table 2 Correlations among rhizosphere soil nutrients, soil enzyme activities and buckwheat grain yields

	产量	速效氮	速效磷	速效钾	pH	碱性磷酸酶	脲酶	过氧化氢酶
速效氮	0.75	1						
速效磷	-0.20	0.50	1					
速效钾	-0.32	0.39	0.99**	1				
pH	-0.78	-1.00**	-0.43	-0.32	1			
碱性磷酸酶	0.67	0.97**	0.55	0.45	-0.95*	1		
脲酶	0.20	0.25	0.08	0.04	-0.22	0.47	1	
过氧化氢酶	0.94*	0.89*	0.08	-0.04	-0.91*	0.87	0.42	1
蔗糖酶	-0.24	0.45	0.98**	0.98**	-0.38	0.46	-0.11	0

注：* 和 ** 在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平显著相关。

3 讨论

3.1 连作对荞麦根际土壤基本理化性质的影响

在不施肥情况下, 荞麦连作和轮作处理土壤氮、磷、钾含量均呈降低趋势, 且磷和钾降低更快。不施肥荞麦连作 4 年后, 其对土壤中磷和钾的消耗程度与轮作基本一致, 由于轮作中有芸豆这一豆科作物, 其存在一定的生物固氮作用, 在一定程度上减轻了土壤氮素的消耗, 轮作处理土壤氮相对高于荞麦连作 4 年的处理。

荞麦连作提高了土壤的 pH, 土壤 pH 经 4 年的荞麦连作后, 从初始的 8.3 提升至 8.8, 提升了 0.5 单位, 加剧了土壤碱性, 这是因为荞麦根系对 PO_4^{3-} 等酸性阴离子元素的吸收所致。

3.2 连作对荞麦根际土壤酶活性的影响

土壤酶参与土壤有机质的分解, 在驱动土壤代谢、生物循环以及形成土壤肥力方面起着重要作用^[16]。土壤磷酸酶活性可以表征土壤的肥力状况, 尤其是磷的状况^[17], 是决定土壤磷素转化的关键酶。本研究表明, 随着荞麦连作年限的增加, 土壤碱性磷酸酶活性降低, 且在出苗、开花、灌浆期处理间差异

显著($P<0.05$)。说明连作年限增加, 加剧土壤碱性磷酸酶活性降低, 土壤转化磷的能力减弱。

脲酶能酶促有机质分子中肽键的水解, 脲酶活性可表征土壤中氮素转化状况^[18]。本研究表明, 随着连作年限的增加土壤脲酶活性呈现先降后升的趋势, 这可能是因为土壤脲酶绝大部分来自微生物和植物根系的分泌物^[19], 种植 2 年后, 土壤表层全磷、速效氮等各种养分元素含量降低, 同时接受的新有机底物较少, 因此连作 3 年的荞麦土壤脲酶活性降低, 但荞麦连作 4 年时土壤脲酶活性却升高, 这还需更进一步研究。

土壤过氧化氢酶能酶促过氧化氢分解为水和氧气, 解除过氧化氢对生物和土壤产生的毒害作用^[20]。本研究得出荞麦连作土壤过氧化氢酶活性与荞麦籽粒产量呈显著正相关(相关系数 0.94), 说明过氧化氢酶活性的下降可能是导致连作下荞麦籽粒产量降低的因素之一。

蔗糖酶是催化蔗糖水解成为果糖和葡萄糖的一种酶, 其活性强弱反映土壤熟化程度和肥力水平, 对增加土壤中营养物质起重要作用^[21]。本研究表明, 随荞麦连作年限的增加, 土壤蔗糖酶活性总体上呈下

降趋势,与白艳茹^[22]在马铃薯上的研究结果一致。连作时间越长土壤蔗糖酶活性越低,而蔗糖酶活性降低,会减少土壤中易溶性营养物质,从而消极影响植株的生长发育。

需要指出的是,芥麦连作障碍是土壤-微生物-植物-气候综合相互作用的结果,各种土壤酶底物与产物之间也存在相互利用的关系。因此,仅从2~4年的芥麦连作土壤酶活性这一单一指标的变化还难于从机理上全面解释芥麦连作可能产生的障碍,芥麦长期连作对土壤微生物区系和土壤酶活性的影响还需进一步深入研究。

3.3 芥麦种植的施肥问题

本研究表明,在西北干旱地区芥麦连作下,如果不施肥,芥麦籽粒产量会逐年降低,说明考虑到土壤中养分的消耗,为维持地力,提高芥麦产量,还是需施用化肥。而轮作下的芥麦产量显著高于芥麦连作处理,这与轮作中的豆科作物芸豆有关,其根部固氮根瘤菌从大气中固定一定的氮素补给土壤,从而提高了芥麦产量。因此,在芥麦生产上应尽可能实行与豆科作物轮作倒茬。

4 结论

在不施肥的状态下,芥麦连作会降低土壤中的氮、磷、钾含量,提高土壤pH,降低土壤中酶的活性,导致芥麦籽粒产量下降。为维持地力,提高芥麦产量,一要实行芥麦与芸豆等豆科作物轮作倒茬,二要施用一定的肥料。

参考文献：

- [1] 林汝法,周小理,任贵兴,边俊生,陕方. 中国芥麦的生产与贸易、营养与食品[J]. 食品科学, 2005, 26(1): 259-263
- [2] 文平,陈进红. 芥麦芦丁的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(3): 107-111
- [3] 马林. 华池县山旱地芥麦低产原因及高产栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2007(2): 46-48
- [4] 徐文修,罗明,李银平,韩剑,王娇,舒春霞,余虹. 作物茬口对连作棉田土壤环境及棉花产量的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 271-275
- [5] 唐江华,徐文修,王娇,张成,殷志峰. 作物茬口对棉花生长发育及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(11): 42-46
- [6] 刘建国,张伟,李彦斌,孙艳艳,卞新民. 新疆绿洲棉花长期连作对土壤理化性状与土壤酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 725-733
- [7] 吴凤芝,刘德,栾非时. 大棚土壤连作年限对黄瓜产量及品质的影响[J]. 东北农业大学学报, 1999, 30(3): 245-248
- [8] 孙秀山,封海胜,万书波,左学青. 连作花生田主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用[J]. 作物学报, 2001, 27(5): 617-621
- [9] 马海燕,徐瑾,郑成淑,孙霞,束怀瑞. 非洲菊连作对土壤理化性状与生物性状的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(18): 3 733-3 740
- [10] 李鑫,张秀丽,孙冰玉,岳冰冰,张会慧,许楠,朱文旭,孙广玉. 烤烟连作对耕层土壤酶活性及微生物区系的影响[J]. 土壤, 2012, 44(3): 456-460
- [11] 韩丽梅,王树起,鞠会艳,阎雪,阎飞,杨振明. 大豆根茬腐解产物的鉴定及化感作用的初步研究[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 771-778
- [12] 张甘霖,龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012
- [13] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1988
- [14] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1986
- [15] 杨兰芳,曾巧,李海波,闫静静. 紫外分光光度法测定土壤过氧化氢酶活性[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 207-210
- [16] Aparicio V, Costa JL. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 96: 155-165
- [17] 马云华,魏珉,王秀峰. 日光温室连作黄瓜根区微生物区系及酶活性的变化[J]. 应用生态学报, 2004, 15(6): 1 005-1 008
- [18] 孙光闻,陈日远,刘厚诚. 设施蔬菜连作障碍原因及防治措施[J]. 农业工程学报, 2005, 21(S): 184-188
- [19] Stella AE, Max DC. Effect of soybean plant populations in a soybean and maize rotation[J]. Agronomy Journal, 2001, 93: 396-403
- [20] 刘素慧,刘世琦,张自坤,尉辉,齐建建,段吉锋. 大蒜连作对其根际土壤微生物和酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(5): 1 000-1 006
- [21] 谷岩,邱强,王振民,陈喜凤,吴春胜. 连作大豆根际微生物群落结构及土壤酶活性[J]. 中国农业科学, 2012, 45(19): 3 955-3 964
- [22] 白艳茹. 马铃薯连作对根际微生物数量和土壤酶活性的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010

Effects of Continuous Cropping on Buckwheat Yield, Soil Nutrient and Enzyme Activities

GAO Yang, GAO Xiao-li^{*}, ZHANG Dong-qi, ZHAO Tao, GAO Jin-feng, YANG Pu, FENG Bai-li
(State Key Laboratory of Arid Crop Stress Biology/College of Agronomy, Northwest Agriculture and Forestry University,
Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To study the effects of buckwheat continuous cropping on grain yields, soil nutrients, and enzyme activities, a series of field experiments according to different continuous cropping years (2 years, 3 years and 4 years) of buckwheat without fertilization were conducted in the north semi-arid region. The results showed that with the increase of the buckwheat continuous cropping year, the buckwheat yield decreased, and significantly lower than that of CK which rotated with legume crops, and the contents of N, P, and K in rhizosphere soils decreased, particularly the contents of P and K, but soil pH increased. The enzyme activities of alkaline phosphatase (ALP) and catalase decreased, while that of urease decreased first and then elevated, that of sucrase decreased on the whole. In a word, to promote soil nutrients and achieve a high yield of buckwheat, it should rotate buckwheat with legume crops like kidney beans and apply fertilizers.

Key words: Buckwheat, Continuous cropping, Rotation, Soil nutrient, Soil enzyme