植物营养与肥料学报 2015,21(1): 234 -240
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2015.0126

糜子不同种植方式对土壤酶活性及养分的影响

崔雯雯, 宋全昊, 高小丽*, 贾志宽
(西北农林科技大学农学院/旱区作物逆境生物学国家重点实验室, 陕西杨凌 712100)

摘要:【目的】土壤酶参与土壤中多种生化活动,是衡量土壤生产力的指标之一。本文比较分析了不同种植方式下糜子生育期间土壤酶活性的动态变化以及成熟期土壤养分含量和糜子产量,旨在探明糜子连作障碍和连作减产的产生机制,为糜子高产高效栽培提供理论依据。**【方法】**以西北农林科技大学农作一站小杂粮轮作连作长期定位试验为平台,设轮作(T1)、隔年种植(T2)、连作2年(T3)、连作3年(T4)4个处理,在糜子播种期、苗期、拔节期、抽穗期、灌浆期、成熟期测定0—20 cm根际土壤中过氧化氢酶、脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性以及成熟期0—20 cm根际土壤养分含量,对同一时期不同处理间的酶活性和成熟期不同处理间土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾含量以及土壤pH值进行方差分析,并分析土壤养分和酶活性以及糜子产量之间的相关性。**【结果】**1)土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶活性随着连作年限的增加而降低;碱性磷酸酶在连作2年处理的活性较低。2)随着连作年限的增加土壤pH值升高,土壤速效钾严重积累,速效磷消耗较多,说明连作导致土壤盐碱化。3)过氧化氢酶、脲酶、碱性磷酸酶活性与糜子籽粒产量呈显著正相关,土壤pH值与籽粒产量呈显著负相关;蔗糖酶活性、有机质含量与产量具有一定的相关性。**【结论】**糜子连作改变了土壤酶活性及土壤养分含量,导致土壤腐殖化和熟化程度减慢,土壤次生盐渍化加重,土壤养分不均衡,植株生长发育受到影响,造成籽粒产量的下降。因此,在糜子生产上要进行合理的轮作倒茬,从而减缓连作障碍,实现糜子高产优质。

关键词: 糜子; 连作; 土壤酶; 土壤养分; 产量
中图分类号: S156.047; S154.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2015)01-0234-07

Influence of different cropping patterns on soil enzyme activities and yield of broomcorn millet

CUI Wen-wen, SONG Quan-hao, GAO Xiao-li*, JIA Zhi-kuan
(*College of Agronomy of Northwest A&F University/State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

Abstract:【Objectives】 Soil enzymes involve in a variety of biological processes in soil, their activities are one of soil quality evaluation index. In this paper, the dynamic changes of soil enzyme activities at different growing stages of broomcorn millet, soil nutrients' contents at the maturity and the crop yields under different cropping patterns were analysed, to provide a theoretical basis for high-yield broomcorn millet. **【Methods】** A long-term experiment of minor grain crops was carried out at the First Station of Northwest A & F University. Broomcorn millet was planted by rotation (T1), every two years (T2), continuously two years (T3) and continuously three years (T4). Soil catalase, urease, alkaline phosphatase and invertase activities in 0-20 cm rhizosphere soil layer were measured at sowing stage, seeding stage, jointing stage, heading stage, filling stage and maturing stage, and soil nutrient contents were determined at maturing stage. Soil organic matter, total nitrogen, alkali solution nitrogen, total phosphorus, available phosphorus, total potassium, available potassium content and pH value at the maturing stage were determined. **【Results】** The activities of soil catalase, urease and invertase were decreased with the elongation of the continuous-cropping year, while the polyphenol oxidase activity was reverse, and the alkaline phosphatase

收稿日期: 2013-12-08 **接受日期:** 2014-03-06
基金项目: 国家科技支撑计划项目"糜黍丰产关键技术研究集成与示范"(2014BAD07B03)资助。
作者简介: 崔雯雯(1987—), 女, 陕西榆林人, 博士研究生, 主要从事作物高效栽培研究。E-mail: lovefly2811@163.com
* 通信作者 E-mail: gao2123@nwsuaf.edu.cn

activity was the lowest in the second year of the continuous-cropping. With the increase of the continuous-cropping year, soil pH was increased, soil available-potassium was obviously accumulated and soil available-phosphorus was consumed much. The catalase, urease, and alkaline phosphatase activities were significantly and positively correlated with the grain yield, while soil pH is negatively correlated with the grain yield. The correlations between soil invertase, organic matter content and the yield were not significant. 【**Conclusions**】The continuous cropping of millet affects the activities of soil enzymes and soil nutrients' contents, slows down the soil humification and amelioration degree, aggravates soil secondary salinization and soil nutrient imbalance, and decreases the grain yields as a result. So the reasonable rotation for millet is very important, for slowing the succession cropping obstacle and achieving a high yield and quality on broomcorn millet.

Key words: broomcorn millet; continuous cropping; soil enzyme; soil nutrients; yield

土壤酶参与土壤中各种生物化学过程,如腐殖质的分解与合成、动植物和微生物残体的分解、有机化合物的水解与转化、某些无机化合物的氧化、还原反应等,其活性不仅能反映土壤微生物活性的高低,而且能表征土壤养分转化和运移能力的强弱,是评价土壤肥力的重要参数之一[1],它能够快速响应土地利用方式和管理方式的改变,可作为土壤质量评价的指标[2-4];不同栽培方式和作物茬口会对土壤酶的活性产生影响[5-8]。因此,研究糜子连作条件下土壤酶活性的变化规律,对衡量土壤生产力、掌握糜子连作减产机制具有重要意义。

糜子(*Panicum miliaceum* L.)属禾本科黍属(*Panicum*),生育期短,耐旱、耐瘠薄,是干旱半干旱地区的主要粮食作物,也是中国主要制米作物之一,因其具有较高的营养价值和药用价值而受到了广泛关注,但是糜子产区的经济条件相对较差,土地面积有限,栽培技术落后,导致糜子连作现象严重,糜子产量低而不稳。目前,对糜子连作后土壤的生物性状和土壤酶活性方面缺乏系统研究。本研究利用小杂粮轮作连作长期定位试验平台,对糜子不同种植方式下的土壤酶活性变化做了初步探讨,旨在揭示糜子连作障碍机理,为制定合理的耕作栽培措施提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验于 2010～2012 年在陕西杨凌西北农林科技大学农作一站进行。该站地处渭河三级阶地,海拔 520 m 左右,多年平均气温 12.9℃,降水量 550.8 mm,年均蒸发量为 1400 mm,属于半湿润易旱地区。2010 年播前土壤有机质含量 21.0 g/kg,全氮 1.24 g/kg,速效氮 87.1 mg/kg,全磷 1.05 g/kg,有效磷 32.8 mg/kg,全钾 20.4 g/kg,速效钾 158.8 mg/kg;pH 8.30。

1.2　试验设计

试验设轮作(T1,荞麦—芸豆—糜子)、隔年种植(T2,糜子—荞麦—糜子)、连作 2 年(T3,糜子—糜子)、连作 3 年(T4,糜子—糜子—糜子)4 个处理,每处理 4 次重复,小区面积 20 m^2(4 m×5 m),随机区组排列。供试品种为目前生产上普遍种植的内糜 5 号,每年 6 月中上旬播种,作物全生育期不灌溉,传统翻耕不施肥,生育期间进行常规的田间管理。10 月中下旬作物收获后将植株整株清除,土地进入休闲期。2012 年在糜子生育期内各处理分别取 0—20 cm 根际土样测定土壤酶活性,成熟期测定土壤养分含量。

1.3　测定项目与方法

1.3.1 土壤样品的采集　分别于播种期、苗期、拔节期、抽穗期、灌浆期、成熟期利用内径 4 cm 的土钻采集 0—20 cm 根区土壤样品,多点采样并混合,土壤样品采回后,放在荫凉处,摊开晾干,然后剔出植物残体、石块和其他的杂物,将风干的土样磨碎过 1 mm 筛,4℃保存,分析土壤过氧化氢酶、脲酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶活性。成熟期采集的部分样品按土壤养分分析的要求处理,用于土壤养分含量的分析。

1.3.2 测定方法　过氧化氢酶采用紫外分光光度计法测定[9],以每 20 min 内每克土壤分解的过氧化氢的毫克数表示;脲酶采用苯酚 - 次氯酸钠比色法[10],以 24 h 后每克土产生的 NH_3-N 的毫克数表示;碱性磷酸酶(由于试验地土壤为碱性,所以对碱性磷酸单酯酶活性进行了测定)活性的测定采用磷酸苯二钠法[10],用 24 h 后每克干土中释放的酚的毫克数表示;蔗糖酶活性测定采用硝基水杨酸比色法[11],以 24 h 后每克干土中产生的葡萄糖的毫克数表示。土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效

磷、全钾、速效钾含量以及土壤 pH 值参照隋方功[12]的方法测定。

1.4 数据处理

用 Excel 进行数据统计,Origin 75 制图,DPS 7.05 进行方差分析,多重比较采用 Duncan's 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 不同种植方式对土壤酶活性的影响

2.1.1 对过氧化氢酶活性的影响 生物体和土壤中存在的过氧化氢酶能够酶促过氧化氢分解为水,从而解除过氧化氢的积累对生物和土壤的毒害作用[13]。由图 1A 可以看出,在糜子同一生育期内不同处理土壤过氧化氢酶活性有明显差异。在播种期,各处理间的过氧化氢酶活性无显著差异;在成熟期,各处理间的过氧化氢酶活性差异又变小。总体来看,在糜子生育期内连作对土壤过氧化氢酶活性的影响较轮作大,出苗后各生育时期连作土壤的过氧化氢酶活性显著低于轮作。

2.1.2 对土脲酶活性的影响 脲酶是一种专性酰胺酶,脲酶的酶促反应产物氮是植物氮源之一,脲酶活性的高低在一定程度上反映了土壤的供氮水平。由图 1C 可以看出,不同种植方式对土壤脲酶活性的影响不同。各生育时期土壤脲酶活性的方差分析结果表明,T1 处理各时期的土壤脲酶活性显著高于其他各处理($P < 0.05$),这可能是芸豆属豆科固氮植物使土壤中的氮素含量增加,而土壤中氮素含量与土壤脲酶活性呈正相关[14]。T2 与 T1 处理的变化趋势大致相同,表现为随生育期的推进先增加后降低、之后又上升的变化趋势,这与贺丽娜等的研究结果一致[15]。T2 处理各时期脲酶活性显著低于 T1 处理。T3 和 T4 处理一直呈下降趋势,且脲酶活性一直保持在较低的水平。T3、T4 两处理之间各时期的脲酶活性无差异,但显著低于 T1、T2 处理。总体而言,各处理对土壤脲酶活性的影响为 T1 > T2 > T3 > T4,表明与豆科作物轮作可以大幅度地提高糜子田土壤的脲酶活性,而单一糜子连作会降低土壤脲酶的活性。

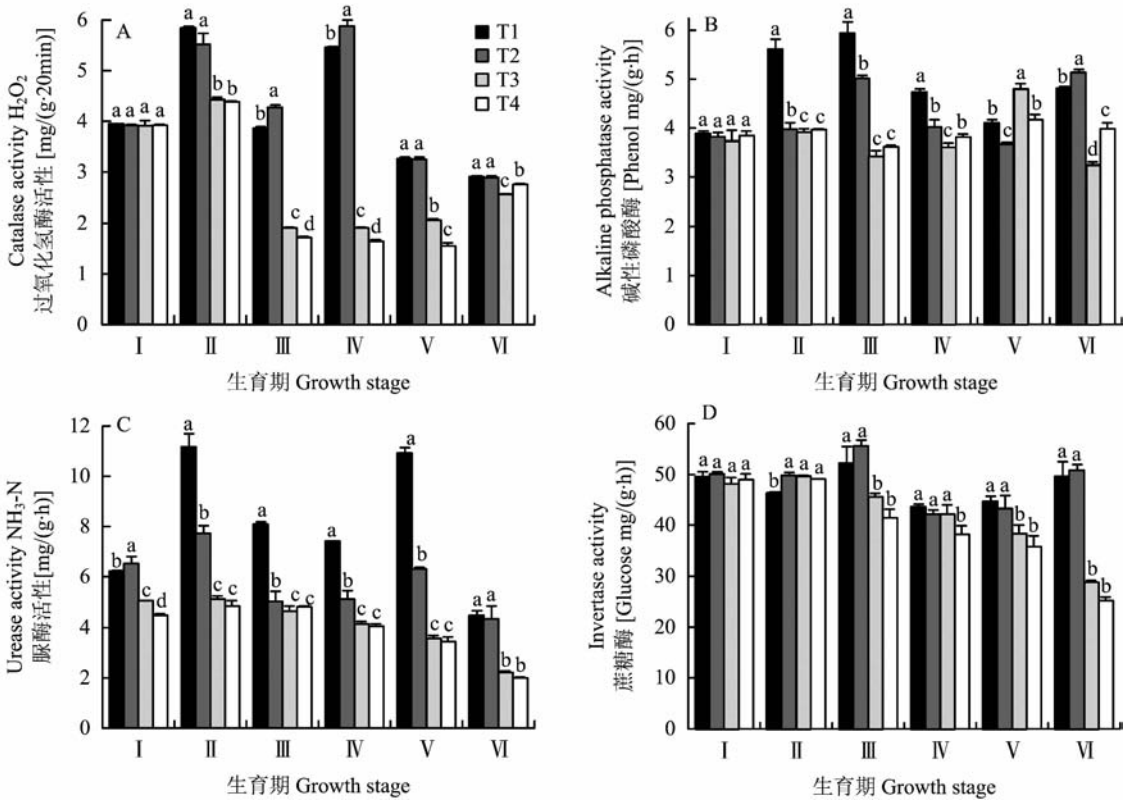

图 1 不同种植方式对土壤酶活性的影响

Fig. 1 Effects of different cropping patterns on soil enzyme activity

[注(Note):Ⅰ—播种期 Sowing stage;Ⅱ—苗期 Seeding stage;Ⅲ—拔节期 Jointing stage;Ⅳ—抽穗期 Heading stage;Ⅴ—灌浆期 Filling stage;Ⅵ—成熟期 Maturing stage. 柱上不同字母表示相同生育期不同处理间差异达 5% 显著水平 Different small letters above the bars mean significantly different among treatments within a stage at the 5% level.]

2.1.3 对碱性磷酸酶活性的影响　磷酸酶能酶促有机磷化合物的水解,即可加速有机磷的脱磷速度,在 pH 4～9 的土壤中均有磷酸酶,积累的磷酸酶对土壤磷素的有效性具有重要作用[11]。图 1B 显示,各处理碱性磷酸酶活性的变化趋势大致相同,均呈随糜子生育期的推进先升高后降低的趋势,但是各处理出现最大值时间不同。T1、T2、T3、T4 处理土壤磷酸酶活性的平均值依次为 4.85、4.27、3.79、3.90 Phenol mg/(g·h),糜子整个生育期间不同处理对土壤碱性磷酸酶活性影响的大小为 T1 > T2 > T4 > T3;T3 处理的土壤磷酸酶活性平均比 T1 下降了 21.9%,表明糜子连作一年的土壤碱性磷酸酶活性最差。

2.1.4 对蔗糖酶活性的影响　蔗糖酶又称转化酶,能酶促水解成葡萄糖和果糖,它不仅能够表征土壤生物学活性的强度,也可以作为评价土壤熟化程度和土壤肥力水平的一个指标。由图 1D 可知,T1、T2 处理的蔗糖酶活性变化趋势大致相同,均呈随糜子生育期先升高后下降,在生育后期又升高的变化趋势;T3、T4 处理的蔗糖酶活性则一直呈下降趋势。T1、T2、T3、T4 处理糜子整个生育期间土壤蔗糖酶活性的平均值依次为 47.66、48.59 、42.10、39.78 Glucose mg/(g·h)。在成熟期其差异最显著,与 T2 相比,T3 和 T4 两个处理的酶活性分别降低了 43.4% 和 50.4%,表明连作 3 年的土壤蔗糖活性较低。

2.2　不同种植方式对成熟期土壤养分的影响

作物不同的种植方式会改变土壤微环境,对土壤养分产生一定的影响。由表 1 可以看出,糜子成熟期各处理之间的土壤有机质含量、全氮、全磷无显著差异;但 T2、T3、T4 各处理的碱解氮、速效钾都较 T1 轮作处理高,其中连作方式下土壤速效钾的积累更为严重,T3、T4 处理的土壤速效钾较 T1 分别高 138%、133%;在糜子收获期时 T2、T3、T4 处理的土壤全钾、有效磷均显著低于 T1 处理;连作方式下的有效磷消耗较为明显,T3、T4 处理的土壤有效磷较 T1 分别降低了 21.6%、29.9%;各处理土壤 pH 的表现为 T1 < T2 < T4 < T3,差异达显著水平。说明糜子连作导致土壤 pH 值升高,土壤速效钾过剩,而土壤有效磷消耗过多,造成土壤养分不平衡,导致土壤盐碱化加重,最终导致糜子减产。

表 1　糜子成熟期的土壤养分含量

Table 1　Soil nutrients contents at the maturing stage of broomcorn millet

处理 Treatment	有机质 Org. matter (%)	全氮 Total N (%)	碱解氮 Alkali- N (mg/kg)	全钾 Total K (%)	速效钾 Avail. K (mg/kg)	全磷 Total P (%)	有效磷 Avail. P (mg/kg)	pH
T1	1.51 a	0.10 a	64.77 b	2.15 a	136.6 c	0.10 a	16.22 a	8.31 d
T2	1.50 a	0.09 a	60.87 b	1.98 c	187.0 b	0.08 a	13.70 b	8.37 c
T3	1.47 a	0.09 a	71.04 a	2.06 b	325.3 a	0.09 a	12.72 c	8.51 a
T4	1.49 a	0.10 a	74.97 a	2.04 b	318.1 a	0.09 a	11.37d	8.48 b

注(Note): 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

2.3　不同种植方式的糜子产量性状及相关性分析

2.3.1 糜子产量性状比较　糜子单株有效穗数、小穗数、主穗长和千粒重是构成糜子籽粒产量的重要因素。由表 2 可以看出,各处理间糜子单株有效穗数及小穗数无显著差异;但 T1 处理的糜子主穗长显著高于其他各处理;T1、T2 处理的千粒重显著高于 T3、T4 处理;籽粒产量表现为 T1 > T2 > T3 > T4,与 T1 处理相比,T2、T3 及 T4 处理的籽粒产量分别下降 11.3%、27.2% 和 39.1%。

2.3.2 土壤理化性状与糜子籽粒产量相关性分析　表 3 显示,在糜子整个生育期间各处理土壤脲酶活性与籽粒产量呈极显著正相关;蔗糖酶活性与籽粒产量呈显著正相关性;过氧化氢酶活性、碱性磷酸酶活性、有机质含量与糜子籽粒产量正相关;土壤 pH 值与籽粒产量呈显著负相关。碱性磷酸酶与脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶之间,脲酶与蔗糖酶之间呈显著正相关;pH 值与碱性磷酸酶、过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶之间达显著负相关性。

表2 不同种植模式糜子产量性状($\bar{x}$ ±SD)

Table 2 Yield and yield components of broomcorn millet under different cropping patterns

处理 Treatment	籽粒产量 Grain yield (kg/hm^2)	主穗长 Main panicle length (cm)	单株有效穗数 Effective panicle per plant (No./plant)	小穗数 Spikelet number (No./plant)	千粒重 1000-grain weight (g)
T1	2858.8 ±82.5 a	39.9 ±1.9 a	6.0 ±0.4 a	18.8 ±2.6 a	7.95 ±0.10 a
T2	2537.0 ±80.1 b	33.7 ±1.8 b	5.4 ±0.5 a	18.8 ±1.3 a	7.93 ±0.10 a
T3	2082.3 ±92.6 c	34.3 ±3.9 b	5.6 ±0.5 a	18.8 ±1.6 a	7.13 ±0.10 b
T4	1947.0 ±49.0 c	35.7 ±2.9 b	5.4 ±0.5 a	18.4 ±0.5 a	7.14 ±0.10 b

注(Note):同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

表3 土壤酶活性与糜子籽粒产量的相关性

Table 3 Correlations between broomcorn millet grain yield and soil enzyme activities

项目 Item	产量 Grain yield	碱性磷酸酶 Alk. phosphatase	过氧化氢酶 Catalase	脲酶 Urease	蔗糖酶 Sucrase	有机质 Org. matter	全氮 Total N
碱性磷酸酶 Alk. phosphatase	0.77	1					
过氧化氢酶 Catalase	0.74	0.97**	1				
脲酶 Urease	0.96**	0.89*	0.82	1			
蔗糖酶 Sucrase	0.94*	0.88*	0.79	1.00**	1		
有机质 Organic matter	0.80	0.43	0.28	0.78	0.8	1	
全氮 Total N	0.13	0.15	0.37	-0.02	-0.1	-0.44	1
pH	-0.96**	-0.89*	-0.89*	-0.96*	-0.93*	-0.63	-0.28

注(Note): *— $P<0.05$; **— $P<0.01$.

3 讨论

关于土壤酶活性、土壤理化性状等与作物产量的相关性很多学者也做了大量的研究[16-24],但是在不同作物上的结论存在较大差异。

张翼[16]和丁海兵等研究认为[17],土壤脲酶活性随烟草种植年限的增加而升高。黄玉茜等[18]则认为,土壤脲酶在花生连作2年时其活性较正茬低。陈慧[19]研究表明,地黄连作对蔗糖酶具有促进作用。白艳茹却认为[20],马铃薯根际土壤蔗糖酶活性随连作年限的增加呈下降趋势。本试验中糜子连作3年土壤蔗糖酶活性较正茬和连作两年的都低,可见连作时间越长蔗糖酶活性越低。蔗糖酶活性降低,土壤中易溶性营养物质减少,植物根系可吸收利用的物质就被迫减少,从而影响植物的生长发育,同时蔗糖酶活性低说明土壤的腐殖化程度和熟化程度都低,不利于作物的生长。本研究中糜子连作2年和连作3年的碱性磷酸单酯酶活性较正茬下降了21.9%和19.5%。这与王树起等[22]在寒地大豆上的研究结果基本一致,认为碱性磷酸单酯酶在连作2年时的下降幅度最大。从本试验结果可以看出,土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶活性均随着连作年限的增加而降低。土壤过氧化氢酶主要来源于细菌、真菌和作物根系分泌物,连作条件下土壤过氧化氢酶活性在糜子出苗到成熟期间下降较轮作显著,造成这种结果的原因可能是连续种植影响了生育期内的根系分泌物,进而影响到过氧化氢酶活性,从而使根系的毒害作用加重而引起连作障碍的发生[24]。

连作糜子土壤中有机质含量下降,且随着连作年限的增加有机质含量降低越多;同时连作土壤的速效钾含量显著高于轮作,有效磷的消耗则明显的多于轮作处理;连作还显著增加了土壤的pH值,使土壤向碱性方向发展。连作糜子土壤中速效钾的过度积累和土壤有效磷的过度消耗与轮作土壤存在着显著差异,当土壤中速效钾积累而有效磷过度消耗

时会改变土壤环境的渗透压,影响作物对 K^+、PO_4^- 等离子以及其他营养物质的吸收,造成养分供应不均衡,连作下土壤 pH 升高,土壤盐碱化,从而影响作物的生长发育及产量的形成。

土壤酶活性、土壤养分及理化性状、作物生长发育三者之间有较大的相关性,土壤酶活性、土壤理化性状的变化必然反映到土壤生产力的改变上,土壤生产力的改变最终影响作物的生长发育,而作物生长发育状况又会反过来作用于土壤。但是土壤的具体理化性状和酶活性的表现是一个复杂的过程,其影响因素较多,再加上田间管理措施及气候条件的不同,势必会造成结果的差异。本试验结果表明,除了蔗糖酶外,其他土壤酶活性均与产量存在显著的相关性,说明这些酶活性的变化会影响糜子产量的形成。

4　结论

随着糜子连作年限的增加,土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶和碱性磷酸酶活性均降低,从而导致土壤中氧化作用降低,土壤腐殖化和熟化程度减慢,使土壤中过氧化氢等有害物质积累。连作还会导致土壤 pH 值升高,土壤速效钾过度积累,有效磷消耗过多,导致土壤养分不平衡,土壤的次生盐渍化加重,土壤肥力下降,植株生长发育受到影响,最终导致籽粒产量下降。因此,在糜子生产上要进行合理的轮作倒茬,并通过合理施肥等措施改善土壤环境,从而减缓连作障碍,实现糜子的高产优质。

参 考 文 献:

[1] Allison V J, Condron L M, Peltzer D A *et al*. Changes in enzyme activities and soil microbial community composition along carbon and nutrient gradients at the Franz Josef chronosequence, New Zealand[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39: 1770-1781.

[2] Melero S, Madejón E, Ruiz J C *et al*. Chemical and biochemical properties of a clay soil under dry land agriculture system as affected by organic fertilization[J]. European Journal of Agronomy, 2007, 26: 327-334.

[3] Rold'an A, Salinas-Garc'ia J R, Alguacil M M *et al*. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions[J]. Geoderma, 2005, 129: 178-185.

[4] 张玉兰, 陈利军, 张丽莉. 土壤质量的酶学指标研究[J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 598-602.
Zhang Y L, Chen L J, Zhang L L. Enzymo logical indicators of soil quality[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36(4): 598-602.

[5] 张为政, 祝廷成. 作物茬口对土壤酶活性和微生物的影响[J]. 土壤肥料, 1993, (5): 12-14.
Zhang W Z, Zhu T C. Effects of crop batch on soil activity and microorganism[J]. Soils and Fertilizers, 1993, (5): 12-14.

[6] 樊军,郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究 Ⅰ. 长期轮作与施肥对土壤酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 9-13.
Fan J, Hao M D. Study on long-term experiment of crop rotation and fertilization in the Loess Plateau I. Effect of crop rotation and continuous planting on soil enzyme activities[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2003, 9(1): 9-13.

[7] 吴凤芝, 栾非时, 王东凯, 等. 大棚黄瓜连作对根系活力及其根际土壤酶活性影响的研究[J]. 东北农业大学学报, 1996, 27(3): 255-258.
Wu F Z, Luan F S, Wang D K *et al*. Effects of the continuous cropping on the vitality of root system and the enzyme activity in the peri-root soil of the plastic greenhouse cucumbers[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1996, 27(3): 255-258.

[8] 祝廷成, 李志坚, 张为政, 等. 东北平原引草入田、粮草轮作的初步研究[J]. 草业学报, 2003,12(3): 34-43.
Zhu T C, Li Z J, Zhang W Z *et al*. A preliminary report on the cereal-forage rotation system in the plain of Northeast China[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2003, 12(3): 34-43.

[9] 杨兰芳, 曾巧, 李海波, 闫静静. 紫外分光光度计法测定过氧化氢酶活性[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 207-210.
Yang L F, Zeng Q, Li H B, Yan J J. Measurement of catalase activity in soil by ultraviolet spectrophotometry[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011, 42(1): 207-210.

[10] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1988.
Yan C S. Research methods of soil fertility [M]. Beijing: Agriculture Press, 1988.

[11] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
Guan S Y. Soil enzymes and the research methods [M]. Beijing: Agriculture Press, 1988.

[12] 隋方功, 李俊良. 土壤农化分析实验[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2004, 8-27.
Sui F G, Li J L. Soil agrochemical analysis experiment [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2004. 8-27.

[13] 戴伟, 白红英. 土壤过氧化氢酶活度及其动力学特征与土壤性质的关系[J]. 北京林业大学学报, 1995,16(1): 37-40.
Dai W, Bai H Y. Correlations of soil catalase activity and it's kinetic characteristic with some soil properties[J]. Journal of Beijing Forestry University, 1995, 16(1): 37-40.

[14] 孙冰玉,于方玲, 元野, 等. 烤烟连作对耕层土壤理化性质和土壤脲酶的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(4): 1826-1827.
Sun B Y, Yu F L, Yuan Y *et al*.. Effects of continuous cropping of flue-cured tobacco on the physical and chemical properties and urease activity at the arable layer of soil[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(4): 1826-1827

[15] 贺丽娜, 梁银丽, 高静, 等. 连作对设施黄瓜产量和品质及

土壤酶活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 34(5): 154-159.
He L N, Liang Y L, Gao J *et al*. The effect of continuous cropping on yield, quality of cucumber and soil enzymes activities in solar green house[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2008, 34(5): 154-159.

[16] 张翼. 连作烟地土壤微生物及土壤酶研究[D]. 重庆: 西南大学硕士学位论文, 2008, 29-31.
Zhang Y. Soil microoganism and activities of soil enzymes in tobacco cultivated soil under continuous cropping conditions[D]. Chongqing: Ms thesis of Southwest University, 2008. 29-31.

[17] 丁海兵. 连作对烟草生长和不同粒径土壤酶活性的影响[D]. 重庆: 西南大学硕士学位论文, 2006. 23-31.
Ding H B. Tobacco growth and activities of soil enzymes in differential soil particle size under continuous cropping conditions [D]. Chongqing: Ms thesis of Southwest University, 2006. 23 - 31.

[18] 黄玉茜, 韩立思, 韩梅, 等. 花生连作对土壤酶活性的影响[J]. 中国粮油学报, 2012, 34(1): 96-100.
Huang Y Q, Han L S, Han M *et al*. Influence of continuous cropping years on soil enzyme activities of peanuts[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2012, 34(1): 96-100.

[19] 陈慧. 地黄连作对土壤微生物的影响[D]. 福州: 福建农林大学硕士学位论文, 2008.
Chen H. Effects of successively cropping for rehmannia glutinosa on microflora in the rhizospheric soil[D]. Fuzhou: Ms thesis of Fujian Agriculture and Forestry University. 2008.

[20] 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: 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2010.
Bai Y R. The Activities of the rhizosphere soil culturable microbial and enzymes under potato continuous cropping[D]. Hohhot: Ms thesis of Inner Mongolia Agricultural University, 2010.

[21] 王树起, 韩晓增, 乔云发, 等. 寒地黑土大豆轮作与连作不同年限土壤酶活性及相关肥力因子的变化[J]. 大豆科学, 2009, 29(4): 611-615.
Wang S Q, Han X Z, Qiao Y F *et al*. Variation of soil enzymes activity and relevant nutrients at different years of soybean (*Glycinemax* L.) rotation, alternate and continuous cropping [J]. Soybean Science, 2009, 29(4): 611-615.

[22] 王平. 长期施肥对小麦/玉米间作体系土壤酶活性与养分的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2009.
Wang P. Effects of long-term fertilization on soil enzyme activity and nutrient of wheat-maize intercropping system[D]. Lanzhou: Ms thesis of Gansu Agricultural University, 2009.

[23] 杨丽娟, 须晖, 邱忠祥, 刘永青. 菜田土壤酶活性与黄瓜产量的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(1): 113-116.
Yang L J, Xu H, Qiu Z X, Liu Y Q. The relationship between the soil enzyme activity and cucumber yield[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 6(1): 113-116.

[24] Tubeileh A, Groleau-Renaud V, Plantureux S, Guckert A. Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize-soil system[J]. Soil and Tillage Research, 2003, 71: 151-161.