

## 连作对高粱生长及根区土壤环境的影响

樊芳芳<sup>1</sup>, 王劲松<sup>2</sup>, 董二伟<sup>2</sup>, 焦晓燕<sup>2\*</sup>, 丁玉川<sup>2</sup>, 武爱莲<sup>2</sup>, 郭 珺<sup>2</sup>, 王立革<sup>2</sup>

(1. 山西大学生物工程学院, 山西 太原 030006;

2. 山西省农业科学院农业环境与资源研究所, 山西 太原 030031)

**摘要:** 以玉米-高粱轮作为对照, 研究连作对高粱生长、产量的影响及根区土壤中酶活性和微生物的变化。结果表明: 高粱连作3年对产量的抑制开始显现。与轮作相比, 连作3年高粱的株高、茎粗、叶面积、生物量显著降低, 连作4年更为明显; 连作4年高粱根系生长也明显受到影响, 0~40 cm深度范围内根系的生物量、根表面积和根体积分别仅为轮作的61.5%、84.4%、73.8%。连作4年增加了土壤中可培养真菌数量, 在拔节期和灌浆期分别是轮作的1.9、1.3倍, 而对细菌和放线菌的影响没有明显规律; 连作显著增加土壤中过氧化氢酶、蔗糖酶的活性, 分别比轮作增加了14.7%、17.2%。由此可见, 连作不仅抑制高粱植株的生长, 并对土壤中微生物区系组成和酶活性产生显著影响。

**关键词:** 高粱连作障碍; 高粱生长; 产量; 根系形态; 土壤酶活性; 土壤微生物

**中图分类号:** S154.37; S514 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6257(2016)03-0127-07

高粱 [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] 是重要的粮食作物、饲用作物和能源作物。目前我国高粱播种面积67万 $\text{hm}^2$ , 主要种植在内蒙古、吉林省、辽宁省, 四川省、贵州省和山西省等地<sup>[1-2]</sup>, 多为酿造业发达地区。通常认为高粱是不耐连作的作物<sup>[3-4]</sup>, 重茬高粱即使在正常的管理措施下也会出现植株发育变差、产量下降的现象。在山西, 高粱作为汾酒及老陈醋酿造的重要原料, 大型种植公司在流转农民土地后连年种植高粱, 出现高粱连作障碍现象。因此, 高粱连作障碍已经成为一个亟待解决的问题。

对大豆、花生、烤烟、棉花及设施蔬菜等连作障碍的研究表明<sup>[5-9]</sup>, 连作抑制作物生长、病虫害加重, 最终导致作物产量降低及品质下降; 大豆减产程度与连作年限呈正相关<sup>[5]</sup>。连作障碍严重影响土壤生产能力, 其原因主要是土壤质量下降、微生物种群结构失衡<sup>[10-11]</sup>; 土壤酶活性可以反映不同条件下的土壤质量<sup>[12]</sup>, 不同连作年限和不同作物

茬口对土壤酶活性亦产生影响<sup>[10-16]</sup>; 普遍认为土壤酶主要是来自土壤微生物<sup>[17-18]</sup>, 连作会导致土壤中微生物数量及类群发生变化<sup>[10,14,19-21]</sup>, 土壤中有害微生物增加<sup>[22]</sup>, 由高肥力的“细菌型”向低肥力的“真菌型”转化<sup>[21]</sup>, Mazzola<sup>[23]</sup>也认为真菌是连作病害的主要致病菌。连作打破土壤内微生态平衡, 影响植株健康生长。虽前人对连作障碍发生机理做了较多的研究, 但高粱连作障碍机理报道少见, 本文以玉米-高粱轮作为对照, 研究高粱连作对植株生长及土壤环境的影响, 通过连续4年定位试验, 分析连作对高粱植株生长状况及产量的影响, 探究高粱连作情况下土壤微生物和土壤酶活性变化, 为克服高粱连作障碍提供了理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试条件

田间试验地点位于晋中盆地东北边缘山西省农业科学院东阳试验基地, 属于暖温带大陆性季风气候, 海拔799.4~804.6 m, 年平均气温9.7℃, 平均降水量440.7 mm, 为春播中晚熟区, 供试土壤质地为潮土, 土壤类型为黏土, 有机质含量1.14 g/kg, 全氮0.98 g/kg, 有效磷(P)5.43 mg/kg, 速效钾(K)243.0 mg/kg。

#### 1.2 试验设计与管理

试验起始于2011年, 连作地块与轮作地块土

收稿日期: 2015-11-23; 最后修订日期: 2016-01-30

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2014BAD07B02-05); 国家现代农业高粱产业技术体系(CARS-06-02-03)。

作者简介: 樊芳芳(1990-), 女, 山西洪洞人, 在读硕士, 研究方向为农业水土资源管理与荒漠化防治。E-mail: fanfangfang199009@163.com。

通讯作者: 焦晓燕, E-mail: xiaoyan\_jiao@126.com。

壤肥力均匀, 土壤质地相同; 连作处理为同一地块逐年连续种植高粱, 轮作处理为两地块逐年轮流种植玉米、高粱, 采用当年种植高粱的处理与连作处理对照, 试验处理如下:

1) 2011 年高粱 (晋杂 23) - 2012 年高粱 (晋杂 23) - 2013 年高粱 (晋杂 23) - 2014 年高粱 (晋杂 34);

2) 2011 年高粱 (晋杂 23) - 2012 年玉米 (晋单 81) - 2013 年高粱 (晋杂 23);

3) 2011 年玉米 (晋单 81) - 2012 年高粱 (晋杂 23) - 2013 年玉米 (晋单 81) - 2014 年高粱 (晋杂 34)。

其中, 处理 1) 为 2012、2013、2014 年高粱连作处理, 分别为连作 2、3、4 年; 处理 2) 为 2013 年的轮作处理; 处理 3) 为 2012、2014 年的轮作处理。晋杂 23 和晋杂 34 的设计密度分别为 9.75 和 15 万株/hm<sup>2</sup>, 轮作玉米设计密度为 6 万株/hm<sup>2</sup>。2011~2014 年采用相同的管理措施, 小区面积 75 m<sup>2</sup>, 每个处理重复 3 次。播前灌水 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 生育期不再灌溉; 试验年度 2013 年和 2014 年生育期降水量分别为 453.5 和 342.9 mm, 各月份降水量见图 1。连续 4 年施肥水平均为 N 225 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 60 kg/hm<sup>2</sup>, 播种前 1/2 的氮肥、磷肥及钾肥作为基肥施入, 其余氮肥于拔节期追肥。高粱约每年 5 月 4~6 日播种, 10 月 6~10 日收获。

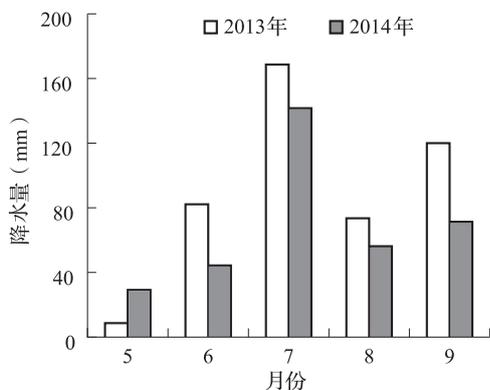


图 1 高粱生育期降水量

### 1.3 测定指标及方法

#### 1.3.1 植株调查

生育期调查和收获: 2013 年和 2014 年分别在高粱拔节期 (7 月 7 日)、穗花期 (8 月 7 日)、灌浆期 (9 月 7 日) 测定植株的茎粗、株高和叶面积; 每个处理 3 个小区, 每小区定株测定 5 株, 并采集有代表性植株 5 株, 测定生物量。收获前调查

各小区的实际穗数后小区单收单打, 每小区采集具有代表性的 5 穗带回室内进行穗粒重和千粒重的测定。

植株根系形态测定: 2014 年灌浆期采集根系。在每个小区选取连续 5 株长势均匀的植株, 为保证采集根系的完整性, 仅调查中间 3 株的根系, 用 10 cm × 10 cm × 10 cm 的取土器, 挖取宽 40 cm、长 50 cm、深 40 cm 区域的根系, 每层取 20 个土块, 采样区共取 80 个土块, 把取回的土壤编号装袋带回室内, 从每个编号的土块中挑选出全部根系, 并用自来水小心冲洗干净后, 采用 WinRHIZO 根系形态分析系统进行根系形态的测定。测定时把洗净的高粱根系完全展开, 无重叠地摆放于装有 3~4 mm 清水的树脂玻璃槽内, 采用 EPSON 扫描仪双面光源扫描, 获取根系图像后用 WinRHIZO 根系分析系统对扫描图片分析, 分析根长、根表面积、根体积、根直径, 按照高粱根系直径分为细根 (≤0.5 mm)、粗根 (0.5~4 mm)、特粗根 (>4 mm), 分析不同级根系长度、表面积、体积。扫描后放入烘箱, 105℃ 烘干至恒重, 测定根系生物量。

#### 1.3.2 土壤微生物数量和酶活性测定

2014 年分别在高粱拔节期、穗花期、灌浆期和收获期采集土壤样品。采集时去除表层 2 cm 土壤, 每小区“S”形多点采集 0~20 cm 的根层土壤并混合。一部分土壤鲜样在 4℃ 的冰箱内保存, 用于测定土壤微生物区系; 一部分风干过 2 mm 筛保存, 用于测定土壤酶活性。

土壤微生物数量测定采用稀释平板计数法<sup>[16]</sup>。土壤酶活性测定参照严昶升<sup>[18]</sup>的方法。

采用 minitab 15 双样本 t 检验进行统计分析处理间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 连作对高粱生长的影响

#### 2.1.1 连作对高粱地上部生长的影响

由表 1 可以看出, 与轮作比较, 连作高粱 3 年显著抑制了地上部生长, 拔节期、穗花期株高显著低于轮作 ( $p < 0.05$ ), 分别是轮作的 73.8%、88.4%; 与轮作比较, 连作对高粱拔节期、抽穗期、灌浆期茎粗的影响均达显著水平 ( $p < 0.05$ ), 分别为轮作的 61.7%、86.5% 和 86.8%; 拔节期连作高粱的叶面积显著低于轮作 ( $p < 0.05$ ), 而在抽穗期和灌浆期没有显著差异; 但灌浆期两处理的

生物量差异显著 ( $p < 0.05$ ), 连作仅为轮作的 60.6%。与轮作比较连作 4 年在各生育期的株高、茎粗、叶面积均显著低于轮作 ( $p < 0.05$ ); 与轮作比较拔节期、抽穗期及灌浆期的生物量仅为轮作的 57.0%、72.2% 和 40.9%, 连作 4 年比 3 年影响更为明显。

表 1 高粱不同年限连作与轮作对高粱地上部生长的影响

年度	处理	株高 (cm)			茎粗 (mm)		
		拔节期	抽穗期	灌浆期	拔节期	抽穗期	灌浆期
2013	轮作	114.2 ± 2.4a	185.7 ± 4.0a	198.9 ± 4.5a	23.5 ± 1.0a	24.5 ± 0.8a	22.7 ± 0.8a
	连作	84.3 ± 1.2b	164.2 ± 3.6b	193.7 ± 3.2a	14.5 ± 0.5b	21.2 ± 0.6b	19.7 ± 0.6b
2014	轮作	125.6 ± 1.5a	127.7 ± 1.7a	130.0 ± 2.5a	20.5 ± 0.7a	22.9 ± 0.3a	21.5 ± 1.1a
	连作	109.5 ± 4.8b	111.5 ± 1.4b	112.0 ± 1.0b	16.2 ± 0.5b	20.9 ± 0.6b	19.4 ± 0.3b

年度	处理	叶面积 (cm <sup>2</sup> /株)			生物量 (t/hm <sup>2</sup> )		
		拔节期	抽穗期	灌浆期	拔节期	抽穗期	灌浆期
2013	轮作	1 089.7 ± 85.2a	5 800.0 ± 247.7a	4 074.4 ± 213.5a	2.7 ± 0.4a	9.0 ± 0.7a	25.4 ± 1.7a
	连作	357.4 ± 15.7b	4 854.7 ± 208.5a	3 535.6 ± 255.6b	2.6 ± 0.1a	7.5 ± 0.1a	15.4 ± 1.9b
2014	轮作	1 164.1 ± 113.0a	7 139.9 ± 138.0a	6 542.9 ± 428.0a	8.6 ± 0.5a	11.5 ± 0.6a	25.7 ± 0.6a
	连作	746.7 ± 62.0b	6 621.3 ± 197.0b	5 655.2 ± 147.0b	4.9 ± 0.5b	8.3 ± 0.5b	10.5 ± 0.4b

注: 同一年份同列不同字母表示处理间差异在  $p < 0.05$  水平显著。表 4 同。

### 2.1.2 连作对高粱根系生长的影响

连作 4 年灌浆期高粱冠根比为 0.087, 而轮作的冠根比为 0.054, 这说明连作对根系生长的影响大于对地上部的影响。通过分析连作 4 年对高粱根系生长的影响结果表明: 连作 4 年明显抑制了高粱根系的生长, 0~40 cm 根系的生物量、根表面积和根体积分别仅为轮作的 61.5%、84.4%、73.8%, 但对根系总长度影响不大。进一步分析连作对土壤各层次根系生长状况的影响表明, 0~10、10~20、20~30 和 30~40 cm 连作根系生物量分别为轮作的

70.1%、42.5%、57.9% 和 53.8%, 根表面积是轮作的 90.7%、81.1%、82.3% 和 68.5%, 根体积是轮作的 79.8%、63.8%、73.4% 和 63.4%; 尽管连作对 0~40 cm 土层根系长度影响不显著, 但降低了 30~40 cm 土层根系长度。综上, 连作对根系生物量影响最大, 其次为根体积和根表面积, 对根总长度影响最小 (表 2)。从表 3 可以看出, 连作降低了直径 ≤ 0.5 mm 和 > 4 mm 根的长度、根表面积和根体积, 尤其对直径 > 4 mm 根系的指标影响最大, 但对直径为 0.5~4 mm 范围的根系参数没有影响。

表 2 连作与轮作对高粱根系生长的影响 (灌浆期)

项目	处理	土层深度 (cm)				合计
		0~10	10~20	20~30	30~40	
根系干重 (g)	轮作	19.4 ± 0.4a	7.3 ± 0.3a	1.9 ± 0.2a	1.3 ± 0.1a	29.9 ± 1.3a
	连作	13.6 ± 0.3b	3.1 ± 0.1b	1.1 ± 0.1b	0.7 ± 0.0b	18.4 ± 0.5b
根长 (cm)	轮作	13 625.0 ± 41.2a	7 129.7 ± 29.3a	3 584.6 ± 34.9a	4 181.2 ± 19.9a	28 520.4 ± 157.9a
	连作	13 690.9 ± 50.3a	7 121.9 ± 30.3a	3 283.4 ± 25.6a	3 581.3 ± 33.3b	27 677.4 ± 130.1a
根表面积 (cm <sup>2</sup> )	轮作	3 265.9 ± 28.4a	1 755.8 ± 19.9a	783.6 ± 12.1a	823.8 ± 15.8a	6 629.0 ± 210.1a
	连作	2 961.3 ± 39.3b	1 423.7 ± 12.9b	645.6 ± 10.7b	564.5 ± 13.4b	5 595.0 ± 133.3b
根体积 (cm <sup>3</sup> )	轮作	82.1 ± 4.1a	36.5 ± 2.3a	13.9 ± 2.0a	13.1 ± 0.8a	145.6 ± 10.0a
	连作	65.5 ± 2.6b	23.3 ± 1.8b	10.2 ± 1.1b	8.3 ± 0.3b	107.4 ± 10.3b

注: 同一项目同列不同字母表示处理间差异在  $p < 0.05$  水平显著。表 3、6 同。

表3 连作与轮作对不同直径高粱根系生长的影响

项目	处理	直径分级 (mm)			合计
		≤0.5	0.5~4	>4	
根长 (cm)	轮作	16 727.6 ± 310.2a	11 234.29 ± 478.4a	558.5 ± 30.2a	28 520.4 ± 157.9a
	连作	15 500.5 ± 272.0b	11 879.78 ± 538.4a	297.2 ± 23.3b	27 677.4 ± 130.1b
根表面积 (cm <sup>2</sup> )	轮作	1 664.6 ± 49.6a	4 043.20 ± 311.4a	921.2 ± 20.1a	6 629.0 ± 210.1a
	连作	1 564.8 ± 59.3b	3 572.43 ± 328.4a	457.8 ± 22.6b	5 595.0 ± 133.3b
根体积 (cm <sup>3</sup> )	轮作	14.3 ± 1.7a	120.87 ± 38.4a	10.4 ± 1.2a	145.6 ± 10.0a
	连作	13.6 ± 1.2a	86.44 ± 38.4ba	7.3 ± 0.7b	107.4 ± 10.3b

## 2.1.3 连作对高粱产量及其构成的影响

由表4可知,与轮作相比,高粱连作两年对产量的影响不显著 ( $p > 0.05$ ),连作3年和4年显著影响高粱产量 ( $p < 0.05$ ),均为当年轮作产量的

85%左右。对高粱产量构成进一步分析可看出,连作主要影响了千粒重和单穗粒重 ( $p < 0.05$ ),连作3年千粒重和穗粒重分别降低了17.8%和29.3%,连作4年则分别降低了16.7%和12.8%。

表4 高粱不同年限连作与轮作对产量及其构成的影响

年度	处理	穗数 (万个/hm <sup>2</sup> )	穗粒重 (g)	千粒重 (g)	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
2012	轮作	10.5 ± 0.2a	102.0 ± 3.5a	34.4 ± 0.2a	11 457.0 ± 639.0a
	连作	10.0 ± 0.2a	104.2 ± 2.5a	34.6 ± 1.1a	11 673.0 ± 273.0a
2013	轮作	8.3 ± 0.2a	112.8 ± 2.5a	35.5 ± 0.5a	9 346.4 ± 151.5a
	连作	9.9 ± 0.2b	79.8 ± 2.8b	29.2 ± 2.2a	7 906.1 ± 334.5b
2014	轮作	14.5 ± 1.1a	57.0 ± 0.6a	19.2 ± 0.1a	9 133.3 ± 126.7a
	连作	14.3 ± 0.4a	49.7 ± 4.3a	16.0 ± 1.0b	7 716.4 ± 435.0b

## 2.2 连作对土壤环境的影响

## 2.2.1 连作对土壤根区微生物数量的影响

从表5可以看出,与轮作比较,在播前、拔节期连作对土壤细菌数量影响不大 ( $p > 0.05$ ),但在灌浆期和成熟期连作的细菌数量显著降低 ( $p <$

0.05);拔节期和灌浆期连作的真菌数量显著高于轮作 ( $p < 0.05$ ),分别为轮作的1.9、1.3倍;但在成熟期没有显著差异 ( $p > 0.05$ );在播前及拔节期两处理放线菌数量没有差异,但在灌浆期和成熟期连作的放线菌数量高于轮作 ( $p < 0.05$ )。

表5 连作与轮作对土壤微生物数量的影响

时期	处理	细菌 (10 <sup>6</sup> cfu/g 干土)	真菌 (10 <sup>3</sup> cfu/g 干土)	放线菌 (10 <sup>5</sup> cfu/g 干土)	合计 (10 <sup>6</sup> cfu/g 干土)
播前	轮作	4.7 ± 0.1a	3.9 ± 0.4a	1.7 ± 0.1a	6.4 ± 0.2a
	连作	5.5 ± 0.8a	4.3 ± 0.1a	1.7 ± 0.2a	9.2 ± 0.6b
拔节期	轮作	3.2 ± 0.2a	7.7 ± 0.3a	0.9 ± 0.0a	4.1 ± 0.2a
	连作	4.8 ± 0.4a	14.5 ± 0.5b	1.0 ± 0.0a	5.9 ± 0.5b
灌浆期	轮作	3.8 ± 0.0a	3.9 ± 0.9a	0.7 ± 0.1a	4.5 ± 0.1a
	连作	2.3 ± 0.2b	5.1 ± 0.4b	1.0 ± 0.0b	3.3 ± 0.2b
成熟期	轮作	14.2 ± 0.1a	3.8 ± 0.2a	2.1 ± 0.0a	16.3 ± 0.1a
	连作	10.4 ± 0.5b	3.9 ± 0.1a	2.5 ± 0.0b	12.9 ± 0.5b

注:同一时期同列不同字母表示处理间差异在  $p < 0.05$  水平显著。

### 2.2.2 连作对土壤酶活性的影响

表6表明,与轮作比较,连作对根区土壤磷酸酶和脲酶活性没有影响( $p > 0.05$ );高粱连作4年后土壤中过氧化氢酶活性与蔗糖酶活性,分别比轮作升高了14.7%、17.2%,差异达显著水平( $p < 0.05$ )。

表6 高粱连作4年对土壤酶活性的影响

处理	磷酸酶 (mg/g)	过氧化氢酶 (mL/g)	蔗糖酶 (mg/g)	脲酶 (mg/g)
轮作	1.1 ± 0.0a	6.8 ± 0.1a	27.3 ± 1.1a	3.9 ± 0.4a
连作	1.2 ± 0.0a	7.8 ± 0.1b	32.0 ± 1.1b	4.3 ± 0.1a

## 3 结论与讨论

### 3.1 连作对植株生长及产量的影响

连作障碍在多种作物上均有所表现<sup>[5-9,24-25]</sup>。尽管早就认为高粱不耐连作<sup>[1]</sup>,但尚不明确高粱连作多少茬能够显现出连作障碍。本研究表明,连作高粱生长与轮作相比受到抑制(表1和表5),连作4年对高粱地上部的影响大于连作3年(表1);这与许艳丽等<sup>[24]</sup>和阮维斌<sup>[25]</sup>对大豆的研究一致,且随着连作年限的增加,连作障碍对植株生长的影响加剧。本研究认为,高粱连作两茬对连作产量影响并不显著,连作3茬对高粱产量的影响开始显现,这与花生连作相似,其产量随连作年限的增加并没有马上下降,而是超过两年后才减产<sup>[6]</sup>;结合前人对大豆<sup>[5]</sup>、烤烟<sup>[7]</sup>连作研究,连作产量也会因作物不同、土壤不同而表现有差异,但整体趋势仍为随连作年限增加产量降低。在本研究中从连作千粒重和穗粒重上来看,连作4年的影响小于连作3年(表5),这是由于2014年生育期干旱严重,轮作进入花期和灌浆初期(7月下旬和8月上旬)干旱尤为严重;而连作生育期延迟,花期正好躲过最旱期,对开花和灌浆影响比预期小,因此,该年度连作处理对千粒重和穗粒重影响小于连作3年。连作降低了高粱的根冠比,但对收获指数没有影响,这说明连作对根系生长的影响较为明显,但对干物质在营养体和籽粒的分配影响不大。

通常认为,直径 $< 0.5$  mm的根对养分和水分的吸收起决定性的作用<sup>[26]</sup>,是养分吸收的活跃位点<sup>[27]</sup>,而 $> 0.5$  mm的根与植株养分吸收关系不

大<sup>[28]</sup>,而植物径级较大的根系主要承担支撑、运输和贮藏等功能<sup>[29]</sup>。连作在一定程度上抑制了细根(直径 $< 0.5$  mm)的生长,对中等根(直径为 $0.5 \sim 4$  mm)没有影响,对粗根(直径 $> 4$  mm)的影响最为明显,这表明连作影响了根系对养分和水分的获取,更明显地是影响粗根的构建和光合积累物的消耗及储存。

### 3.2 连作对土壤微生物及酶活性的影响

种植年限和不同轮作对土壤微生物区系有较大影响,通常随着连作年限的增加,土壤调控能力减弱,土壤中有益菌群数量降低,有害菌群数量增加<sup>[30]</sup>;据报道,连作明显提高了土壤中真菌数量<sup>[10,14]</sup>。本研究结果同样表明高粱连作后真菌数量增加,尤其在拔节期和灌浆期更为明显(表5),这可能是由于拔节期土壤温度升高,引起连作土壤真菌数量繁殖较快的缘故。结合利用Biolog技术对土壤微生物群落功能多样性的分析结果可知,拔节期和灌浆期尽管微生物数量较少,但微生物具有较强的活性<sup>[31]</sup>,这说明高粱连作后单一的根系分泌物可能导致真菌类病原菌或有害菌群富集<sup>[23,31]</sup>,打破土壤中微生物种群平衡,从而产生连作障碍。

土壤中过氧化氢酶能够酶促对植株和土壤产生毒害作用的过氧化氢分解,解除过氧化氢的毒害作用;植物根系、土壤微生物都可以分泌过氧化氢酶,因此土壤中微生物活性与根系分泌物都与过氧化氢酶活性有关;蔗糖酶直接参与有机质的代谢过程,其活性可以表征土壤肥力水平和熟化程度。虽然关于连作对土壤酶活性影响前人研究结果不甚一致<sup>[10,13-16,19-20]</sup>,但陈慧等<sup>[13]</sup>对地黄连作研究表明,土壤中蔗糖酶活性受根系分泌物的促进而升高;刘建国等<sup>[15]</sup>也认为棉田长期连作10年以上,土壤中蔗糖酶活性升高。本试验研究结果显示高粱连作4年,土壤中的蔗糖酶和过氧化氢酶活性显著高于玉米-高粱轮作,其原因可能有:首先与连作年限有关,在短期连作(4年内)土壤酶活性呈现升高的趋势;其次土壤酶是在逆境条件下诱发产生,即恶劣的环境会激发某种土壤酶活性的升高,过氧化氢酶是一种重要的氧化还原酶,受土壤中微生物数量、微生物活性的影响,高粱连作后土壤中真菌数量增多,其代谢产生的过氧化氢增多导致其活性升高;再次连作种植高粱,高粱根系分泌物逐年累积,为蔗糖酶提供了足够充分的底物,促进蔗糖酶

的代谢。有必要结合分子技术,对高粱连作增加土壤中何种微生物而影响土壤酶活性进行深入研究。

#### 4 结论

综上所述,与高粱-玉米轮作相比,连作明显降低了高粱地上部植株及根系的生长,并且降低了产量;高粱连作第4年土壤中真菌数量明显上升,且土壤中过氧化氢酶活性增高。这表明连作导致土壤环境恶化,这可能与土壤中真菌类致病菌富集有关。本研究以轮作为对照,研究不同连作年限对高粱生长及土壤环境的影响,为高粱种植的可持续发展提供了一定的依据。

#### 参考文献:

- [1] 卢庆善. 高粱学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999. 179-185.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1988.
- [3] 李振武. 高粱栽培技术 [M]. 北京: 农业出版社, 1981. 72-80.
- [4] Guenzi W D, McCalla T M. Phenolic acids in oats, wheat, sorghum and corn residues and their phytotox - icity [J]. *Agron J.*, 1966, 58: 303 - 304.
- [5] 苗淑杰, 乔云发, 韩晓增. 大豆连作障碍的研究进展 [J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15 (3): 203 - 206.
- [6] 黄玉茜. 花生连作障碍的效应及其作用机理研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2011.
- [7] 邓阳春, 黄建国. 长期连作对烤烟产量和土壤养分的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16 (4): 840 - 845.
- [8] 徐文修, 罗明, 李银平, 等. 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.
- [9] 于高波, 吴凤芝, 周新刚. 小麦、毛茛子与黄瓜轮作对土壤微生态环境及产量的影响 [J]. *土壤学报*, 2011, 48 (1): 175 - 184.
- [10] 孙秀山, 封海胜, 万书波, 等. 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.
- [11] 王飞, 李世贵, 徐凤花, 等. 连作障碍发生机制研究进展 [J]. *中国土壤与肥料*, 2013, (5): 6 - 13.
- [12] 周礼恺. 土壤酶学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [13] 陈慧, 郝慧荣, 熊君, 等. 地黄连作对根际微生物区系及土壤酶活性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2007, 18 (12): 2755 - 2759.
- [14] 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): 1005 - 1008.
- [15] 刘建国, 张伟, 李彦斌, 等. 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 .
- [16] 何志刚, 王秀娟, 董环, 等. 日光温室辣椒连作不同年限土壤微生物种群变化及酶活性研究 [J]. *中国土壤与肥料*, 2013, (1): 38 - 42.
- [17] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1986. 595 - 599.
- [18] 严昶升. 土壤肥力研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1988. 234 - 235.
- [19] 赵萌, 李敏, 王森焱, 等. 西瓜连作对土壤主要微生物类群和土壤酶活性的影响 [J]. *微生物学通报*, 2008, 35 (8): 1251 - 1254.
- [20] 谷岩, 邱强, 王振民, 等. 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): 3955 - 3964.
- [21] 陈宗泽, 殷勤燕, 戴秉丽, 等. 连作大豆土壤病原菌的分离及其致病性的研究 [J]. *吉林农业科学*, 1999, 24 (2): 36 - 39.
- [22] Nishio M, Kusano S. A fungal substance of selective action on plant growth produced by *pyrenochaeta* sp [J]. *Soil Sci Plant Nutr.*, 1976, (22): 467 - 472.
- [23] Mazzola M. Elucidation of the microbial complex having a causal role in the development of apple replant disease in washington [J]. *Phytopathology*, 1998, 88 (9): 930 - 938.
- [24] 许艳丽, 刘晓冰, 韩晓增, 等. 大豆连作对生长发育动态及产量的影响 [J]. *中国农业科学*, 1999, 32 (增刊): 64 - 68.
- [25] 阮维斌. 大豆连作障碍机理及调控措施的研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2000.
- [26] Salgado E, Cautin R. Avocado root distribution in fine and coarse - textured soils under drip and microsprinkler irrigation [J]. *Agricultural Water Management*, 2008, 95 (7): 817 - 824.
- [27] Zobel R W. Sensitivity analysis of computerbased diameter measurement from digital image [J]. *Crop Sci*, 2003, 43: 583 - 591.
- [28] Sullivan W M, Jiang Z C, Hull R J. Root morphology and its relationship with nitrate uptake in Kentucky bluegrass [J]. *Crop Sci.*, 2000, 40: 765 - 772.
- [29] Bonser A M, Lynch J, Snapp S. Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris* [J]. *New Phytologist*, 1996, 132 (2): 281 - 288 .
- [30] Shiomi Y, Nishiyama M, Onizuka T, et al. Comparison of bacterial community structures in the rhizoplane of tomato plants grown in soils suppressive and conducive towards bacterial wilt [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1999, 65 (9): 3996 - 4001.
- [31] 樊芳芳, 王劲松, 董二伟, 等. 高粱连作对土壤微生物群落功能多样性的影响 [J]. *山西农业科学*, 2015, 43 (7): 847 - 853.

**Effects of sorghum continuous cropping on the growth of sorghum and soil environment**

FAN Fang-fang<sup>1</sup>, WANG Jin-song<sup>2</sup>, DONG Er-wei<sup>2</sup>, JIAO Xiao-yan<sup>2\*</sup>, DING Yu-chuan<sup>2</sup>, WU Ai-lian<sup>2</sup>, GUO Jun<sup>2</sup>, WANG Li-ge<sup>2</sup> (1. School of Biological Engineering, Shanxi University, Taiyuan Shanxi 030006; 2. Institute of Agricultural Environment and Resources, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan Shanxi 030031)

**Abstract:** To study the effect of continuous cropping on sorghum growth, yield, the variation of soil enzyme activity and microorganism, the corn-sorghum rotation was employed as control. The results showed that a significant inhibition on growth and yield was observed when the sorghum was continuous cropping for 3 years. The sorghum continuous cropped for 3 years significantly decreased the plant height, stem diameter, leaf area and biomass, the difference was more obvious in 4 years. Sorghum continuous cropping for 4 years also had a severe influence on the root growth. Particularly, in the depth between 0 ~ 40 cm, compared with the index of corn-sorghum rotation, the root biomass, root length, root surface area and root volume collected for sorghum continuous cropping were 61.5%, 84.4%, 73.8% respectively of those of the corn-sorghum rotation. Meanwhile, The number of fungi in continuous cropping soil was 1.9 times and 1.3 times of that in rotation at jointing stage, and at the filling stage. There was no apparent pattern for the change of bacteria and actinomyces with continuous cropping for 4 years. Besides, the catalase activities and invertase activities of continuous cropping for 4 years was increased by 14.7%, 17.2% than that of the rotation cropping. It included that the sorghum continuous cropping restrained the growth of sorghum, and significantly impacted the soil microflora and enzyme activity.

**Key words:** obstacles of sorghum continuous cropping; growth of sorghum; yield; root morphology; soil enzyme activity; soil microbe

[上接第 97 页]

- [14] 张娜, 李佳, 刘学欢, 等. 生物炭对夏玉米生长和产量的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2014, 33 (8): 1569-1574.
- [15] 张伟明, 张庆忠, 陈温福. 镉污染土壤中施用秸秆炭对水稻生长发育的影响 [J]. 北方水稻, 2009, 39 (2): 4-8.
- [16] 陈心想. 生物炭对土壤性质、作物产量及养分吸收的影响 [D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2014.
- [17] 任军, 郭金瑞, 边秀芝, 等. 土壤有机碳研究进展 [J]. 中国土壤与肥料, 2009, (6): 1-7.

**Effects of biochar on stalk characters and yield of maize**

TANG Chun-shuang, YANG Ke-jun\*, LI Zuo-tong\*, WANG Zhi-hui, ZHAO Chang-jiang, WANG Yu-feng, ZHANG Yi-fei, XU Jing-yu, WANG Cong, FU Jian, ZHANG Fa-ming, YANG Xi-ling, ZHANG Wen-Chao, ZHANG Jing, CHEN Tian-yu, WU Qiong, ZHANG Peng-fei, FAN Bo-wen (Key Lab of Crop Germplasm Improvement and Cultivation in Cold Regions/College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing Heilongjiang 163319)

**Abstract:** Field experiments were conducted to study the effects of different amount of biochar application (0, 10, 20, 40, 80 t/hm<sup>2</sup>) on potassium content, stalk morphological characteristics, stalk quality and yield of maize. The results showed that soil applying biochar increased potassium content in each internode of maize stalk, and biochar application resulted in dwarfing of the 3rd ~ 5th internodes at the lower part of maize stalk, increased stalk diameter, enhanced stalk elasticity and rind puncture force, increased dry matter accumulation, and strengthened stalks. With the increase of the amount of biochar application, the effects on potassium content, stalk characters and yield of maize all showed the trend of first increased and then decreased. Biochar applied at 40 t/hm<sup>2</sup> was the optimal application rate, leading to a yield of 13 261 kg/hm<sup>2</sup>, which was 25.99% higher than that of the control. When biochar application was at 80 t/hm<sup>2</sup>, its improving effects on potassium content, stalk morphological characteristics, stalk quality and yield of maize slightly declined.

**Key words:** biochar; maize; stalk characters; yield