

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.15.0111



## 活性炭对春玉米农艺性状及产量的影响

王增丽<sup>1</sup>, 冯浩<sup>2,3</sup>, 方圆<sup>2</sup>

(1. 武威市中心灌溉试验站, 甘肃 武威 733000; 2. 西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)



王增丽

**摘要:** 通过盆栽试验研究了土壤增施活性炭对春玉米生育期农艺性状及产量的影响. 结果表明, 随着活性炭施入量的增加(0~9 g/kg), 春玉米营养生长期的株高最大生长速度和叶绿素质量比呈先增加后降低的趋势. 增施活性炭对春玉米总干物质的累积的影响呈先抑制后促进的趋势. 在苗期抑制作用显著, 在拔节期促进作用明显. 增施活性炭能提高春玉米营养生长期地上部干物质的累积, 但对生育后期地下部干物质的累积促进作用存在阈值. 当活性炭质量比高于6 g/kg时, 对地下部干物质的累积促进作用明显减弱. 春玉米产量与籽粒数、穗长构成要素在0.05水平下呈正相关关系, 出籽率和根冠比两产量构成要素在0.01水平下呈正相关关系. 土壤增施活性炭能增加春玉米籽粒数, 改善根冠比例, 提高作物产量. 土壤增施质量比为1 g/kg的活性炭提高春玉米经济产量效果最好.

**关键词:** 春玉米; 活性炭; 农艺性状; 产量; 产量构成要素

**中图分类号:** S152.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2017)02-0172-06

王增丽, 冯浩, 方圆. 活性炭对春玉米农艺性状及产量的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2017, 35(2): 172-177.

WANG Zengli, FENG Hao, FANG Yuan. Effects of activated carbon on agronomic traits and yield of spring maize[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering(JDIME), 2017, 35(2): 172-177. (in Chinese)

## Effects of activated carbon on agronomic traits and yield of spring maize

WANG Zengli<sup>1</sup>, FENG Hao<sup>2,3</sup>, FANG Yuan<sup>2</sup>

(1. State Key Experimental Station for Efficient Irrigation Water Use in Wuwei City, Wuwei, Gansu 733000, China; 2. Institute of Water Saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Water and Soil Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Effects of activated carbon on agronomic traits and yield of spring maize were studied by using pot experiments. The results show that the growth rate of the growth period and chlorophyll content of spring maize first increase and then decrease with the increasing of activated carbon (0-9 g/kg). The total dry matter accumulation of spring maize has shown a decline in seeding and a rise in heading. The soil blended with activated carbon increase upper biomass of spring maize in the vegetative growth stage, whereas it had a threshold value for underground biomass in the reproductive growth stage. The root growth was dramatically inhibited when the content of activated carbon was more than 6 g/kg. The number of grains and ear length have a significant positive correlation with kernel yield, and the kernel percentage had a significant positive correlation with the root-shoot ratio. In conclusion, the soil blended with activated carbon could obviously increase the number of grains, the root-shoot ratio and the yield of spring maize. Blending 1 g/kg of activated carbon to soil was effective and optimal to

收稿日期: 2015-05-18; 网络出版时间: 2017-01-13

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20170113.1645.006.html>

基金项目: 国家863计划项目(2011AA100503); 甘肃省陇原青年创新人才扶持计划项目(2015090)

作者简介: 王增丽(1974—),女,山西祁县人,高级工程师,博士(wangzengli201@163.com),主要从事农业水土资源利用与保护研究.  
冯浩(1970—),男,陕西延安人,研究员,博士生导师(nercwsj@vip.sina.com),主要从事水土资源高效利用研究.

the yield of spring maize.

**Key words:** spring maize; activated carbon; agronomic traits; yield; yield components

活性炭是指由在农林业生产过程中产生的作物秸秆、农产品边角料、农林及畜牧业生产过程中产生的有机废弃物在高温和一定压力下通过热解作用形成的产物。其具有高度发达的孔隙结构、巨大的内比表面积和较强的吸附作用。目前主要应用于污水处理、饮用水处理及气体净化领域。有研究表明,土壤中增施活性炭可改善土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化酶活性,吸附作物根系的化感物质,缓解根性分泌物的自毒害作用<sup>[1-2]</sup>。在无土栽培和组织培养中,邹丽芸<sup>[3]</sup>、YU等<sup>[4-5]</sup>向营养液中添加适量活性炭,吸附了根系分泌的生长抑制物,促进植株生长,有效提高了植株生物量和产量。MARCHAL等<sup>[6]</sup>、LAIRD<sup>[7]</sup>研究表明,土壤增施活性炭能提高土壤的解吸作用,改善土壤环境,有效缓解土壤环境变化。BRENNAN等<sup>[8]</sup>研究表明,土壤增施活性炭能显著提高玉米的根生物量及光合作用。李玉奇等<sup>[9]</sup>研究表明,活性炭具有改善设施黄瓜的农艺性状,提高产量,改善黄瓜品质的作用,可作为设施农业的土壤改良剂使用。袁丽环等<sup>[10]</sup>研究表明,土壤增施2.5~7.5 g/kg的活性炭能增强苦荞的根系活力,有效促进苦荞幼苗碳氮代谢作用和保护酶活性。郭小鸥等<sup>[11]</sup>、高丹美等<sup>[12]</sup>研究表明,土壤增施活性炭和生石灰可减轻土壤连作障碍、提高温室番茄产量和品质,促进黄瓜幼苗生长。

现阶段土壤增施活性炭研究对象少、范围小。如何使活性炭在改良土壤结构、提高大田农作物产量方面发挥最大效益还有待继续研究。基于此,文中采用盆栽试验,对土壤增施不同含量活性炭条件下,春玉米农艺性状、产量构成要素进行研究,以期充分合理地开发利用活性炭资源,为拓展有机物料在农业中的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本研究在西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院旱地控水试验场进行,该区属暖湿带季风半湿润气候区。盆栽土采自研究院田间试验站耕层(0~30 cm),质地为中壤土,风干、碾碎后过5 mm筛备用,土壤pH为8.17,有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾质量比分别为14.30,0.85,50.53,

52.37,172.88 mg/kg。春玉米供试品种为正大12号。活性炭为黑色粉末状,水的pH为6.4,总C,N,P,K质量分数分别为86.100%,0.580%,0.029%和0.480%。

### 1.2 试验设计

活性炭设置4个水平,分别为T1(1 g/kg),T2(3 g/kg),T3(6 g/kg),T4(9 g/kg),不施用活性炭作为对照CK(0 g/kg)处理。各盆均配施20 g复合肥料(N,P,K质量分数分别为15.9%,11.9%,5.4%)作为底肥。每处理重复12次,共计60盆。

播种前将土壤、活性炭和复合肥料充分混匀,按设计容重 $1.30 \text{ g/cm}^3$ 填装至盆中(28.5 cm × 24.5 cm)。装土前在盆底打孔并铺垫纱网布和细砂。每盆播种5粒,播后灌水至田间持水量(24.5%)。四叶期进行定苗,每盆留苗1株。采用逐日称重法进行灌水,灌水下限为对照田间持水量的70%。试验盆按照一定顺序进行摆放,确保每盆作物都能得到均匀光照。

### 1.3 测定指标与数据分析

#### 1.3.1 春玉米农艺性状测定

在苗期、拔节期、灌浆期及成熟期对春玉米农艺性状进行测定。叶面积采用LI-3000C叶面积仪测定;叶绿素采用SPAD-502便携式叶绿素仪测定;干物质采用烘干法测定;株高采用直尺法测定后,利用Logistic生长方程进行回归分析,Logistic生长方程为

$$Y = K_m / [1 + \exp(a + bt)], \quad (1)$$

式中: $Y$ 为作物某一时期株高,cm; $t$ 为某一时期株高生长天数; $d; K_m, a, b$ 为方程待定系数,具有特定生物学意义,其中 $K_m$ 为株高理论最大值。

#### 1.3.2 作物产量测定

作物收获时单盆计算产量,并计算作物经济系数为

$$C_E = Y_C / Y_B \times 100\%, \quad (2)$$

式中: $C_E$ 为作物经济系数,%; $Y_C$ 为经济产量, $\text{kg/hm}^2$ ; $Y_B$ 为生物产量, $\text{kg/hm}^2$ 。

试验采用SPSS 15.0对数据进行单因素方差分析,采用Duncan新复极差法进行显著性检验( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 春玉米 Logistic 生长函数分析

各处理春玉米株高特征值如表 1 所示,表中  $G_t$  为生长特征值; $t_1, t_2$  分别为植株进入、结束旺盛生长期的时间; $t_0$  为生长速度最大时间; $t$  为时间特征值; $v_{\max}$  为速度特征值.由表可知,各处理春玉米均在播后 20 d 左右进入旺盛阶段.其中,处理 T1, T2, T3, T4 进入旺盛阶段较 CK 分别提前 1.46, 2.01, 2.37, 1.54 d.播后 60 d 左右,各处理结束旺盛生长期.其中,处理 T1, T2 分别较 CK 提前 0.17, 1.41 d;

表 1 不同处理春玉米株高特征值分析

Tab. 1 Analysis of plant height characteristics under different contents of activated carbon

处理	$K_m/cm$	$a$	$b$	$G_t$	$t_1/d$	$t_0/d$	$t_2/d$	$t/d$	$v_{\max}/(cm \cdot d^{-1})$
CK	204.38	2.53	-0.064	134.57	18.9	39.5	60.1	41.2	3.27
T1	205.15	2.66	-0.066	135.08	20.4	40.4	60.3	39.9	3.31
T2	213.86	2.61	-0.062	140.81	20.9	41.2	61.5	40.6	3.39
T3	208.58	2.83	-0.071	137.33	21.3	39.9	58.4	37.1	3.70
T4	185.29	3.03	-0.084	122.00	20.4	36.1	51.8	31.4	3.89

### 2.2 春玉米叶面积指数变化分析

增施活性炭后各处理春玉米叶面积指数 LAI 变化如图 1 所示.由图可知,各处理春玉米 LAI 变化趋势基本一致:苗期—抽穗期,春玉米 LAI 呈较快上升趋势,到吐丝期 LAI 达到高峰.进入乳熟期,各处理 LAI 呈平缓下降趋势.在抽穗期(6月28日),处理间春玉米 LAI 差异逐渐增大.处理 T1, T2, T3, T4 春玉米 LAI 分别为 4.43, 4.54, 4.42 和 4.29,较处理 CK 分别增加 7.82%, 10.38%, 7.51% 和 4.32%,其中处理 T1 与 T2 春玉米 LAI 较处理 T3, T4 明显增加. CK 在整个生育期内春玉米 LAI 明显低于其他处理.研究结果表明,土壤增施活性炭能明显增加春玉米 LAI 值,增施含量对 LAI 的促进作用主要反映在春玉米拔节期到灌浆期.

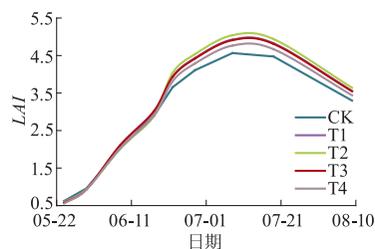


图 1 增施活性炭对春玉米叶面积指数的影响

Fig. 1 Effect of soil blended with activated carbon on LAI

### 2.3 春玉米干物质累积变化分析

不同处理春玉米干物质累积变化如表 2 所示.

处理 T3, T4 较 CK 滞后 1.74, 8.31 d. 计算结果表明,处理 CK, T1, T2, T3, T4 株高快速增长期 ( $\Delta t$ ) 分别为 41.2, 39.9, 40.6, 37.1, 31.4 d, 表明土壤增施适量活性炭能加快春玉米生长, 缩短旺盛生长周期. 各处理最大生长速度  $v_{\max}$  测定结果表明, 处理 T1, T2, T3, T4 春玉米  $v_{\max}$  较 CK 分别增加 1.22%, 3.67%, 13.15%, 18.96%.

研究结果表明,随着活性炭施入量的增加(0~9 g/kg),春玉米最大生长速度呈增加的趋势.根据各处理株高最大值 ( $K_m$ ) 测定结果可知,土壤增施活性炭对株高最大值的促进作用存在阈值,当活性炭质量比大于 6 g/kg 时,显著抑制春玉米植株的生长高度.

表中  $M_a, M_u, M_T$  分别为地上部干物质质量、地下部干物质质量、总干物质质量.

由表 2 可知,土壤增施活性炭对春玉米苗期地上部干物质累积具有抑制作用,对地下部干物质的累积影响不大.其中,处理 T1, T2, T3, T4 地上部干物质累积量较 CK 分别减少了 12.73%, 9.69%, 21.02%, 20.23%, 且差异在 0.05 水平下具有统计学意义.在拔节期,各处理地上部干物质累积量与 CK 相比均有所增加,处理 T1, T2, T3, T4 较 CK 分别增加了 2.07%, 11.14%, 10.75%, 15.97%, 但地下部干物质质量略有降低(处理 T1 除外),总干物质质量差异不具有统计学意义.表明土壤增施活性炭对春玉米干物质累积的促进作用随作物的生长逐渐增强.进入成熟期,各处理干物质累积量差异进一步加大.其中,处理 T1, T2 地下部干物质质量较 CK 分别增加了 10.07%, 16.45%, 且差异在 0.05 水平下具有统计学意义.处理 T3, T4 地上部干物质较 CK 增加了 6.46%, 8.36%, 差异在 0.05 水平下具有统计学意义.研究结果表明,土壤增施活性炭对春玉米总干物质的累积量呈先抑制后促进的趋势.在苗期抑制作用显著,在拔节期以后促进作用更明显.土壤增施质量比低(小于 3 g/kg)的活性炭能显著促进春玉米地下部干物质的累积;质量比高(大于 6 g/kg)的活性炭能显著促进春玉米地上部干物质的累积.

表2 增施活性炭对春玉米干物质质量累积变化的影响  
Tab.2 Effect of soil blended with activated carbon on dry mass of spring maize

处理	苗期			拔节期			成熟期		
	$M_a$	$M_u$	$M_T$	$M_a$	$M_u$	$M_T$	$M_a$	$M_u$	$M_T$
CK	12.80 <sup>a</sup>	4.92 <sup>a</sup>	17.72 <sup>a</sup>	101.79 <sup>b</sup>	39.94 <sup>b</sup>	141.73 <sup>a</sup>	365.21 <sup>c</sup>	56.41 <sup>b</sup>	421.62 <sup>c</sup>
T1	11.17 <sup>b</sup>	4.39 <sup>a</sup>	15.56 <sup>b</sup>	104.14 <sup>ab</sup>	47.44 <sup>a</sup>	151.57 <sup>a</sup>	374.02 <sup>b</sup>	62.09 <sup>a</sup>	436.11 <sup>ab</sup>
T2	11.56 <sup>b</sup>	4.54 <sup>a</sup>	16.10 <sup>b</sup>	111.38 <sup>ab</sup>	37.39 <sup>b</sup>	148.77 <sup>a</sup>	359.44 <sup>c</sup>	65.69 <sup>a</sup>	425.13 <sup>c</sup>
T3	10.11 <sup>c</sup>	4.26 <sup>a</sup>	14.37 <sup>bc</sup>	112.03 <sup>ab</sup>	37.70 <sup>b</sup>	149.73 <sup>a</sup>	388.81 <sup>a</sup>	42.27 <sup>c</sup>	431.08 <sup>bc</sup>
T4	10.21 <sup>c</sup>	3.84 <sup>a</sup>	14.05 <sup>c</sup>	113.98 <sup>a</sup>	39.49 <sup>b</sup>	153.47 <sup>a</sup>	395.74 <sup>a</sup>	46.77 <sup>c</sup>	442.51 <sup>a</sup>

注:同一列不同字母表示差异在  $P < 0.05$  水平具有统计学意义,下同。

## 2.4 春玉米叶绿素质量比分析

春玉米不同生育期叶绿素变化曲线见图2,图中  $C_c$  为叶绿素质量比。

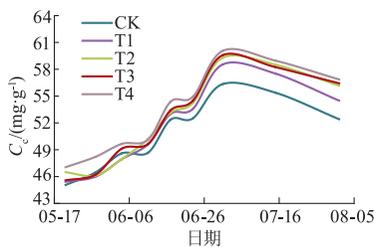


图2 增施活性炭对春玉米叶绿素质量比的影响  
Fig.2 Effect of soil blended with activated carbon on chlorophyll content

由图2可知,各处理春玉米叶绿素质量比变化均呈先升后降的趋势.在苗期—拔节期,各处理叶绿素质量比呈重叠交叉上升趋势,处理间无明显差异.到抽穗期(7月1日),各处理叶绿素质量比均到达峰值.其中,处理T1,T2,T3,T4叶绿素质量比较CK(56.35 mg/g)分别增加2.19,2.94,3.23,3.71 mg/g,增加率分别为3.90%,5.24%,5.74%,6.60%,处理间差异具有统计学意义.随着作物进一步生长,各处理叶绿素质量比逐渐降低.到成熟期,处理T1,T2,T3,T4叶绿素质量比分别为54.49,56.17,56.43,56.86 mg/g,分别较CK增加3.97%,7.18%,7.66%,8.50%,差异具有统计学意义。

试验结果表明,不同处理春玉米全生育期叶绿

素质量比呈波动式上升趋势,最大峰值出现在春玉米抽穗前期(7月1日左右).不同生育阶段,春玉米叶绿素质量比随活性炭增施量(0~9 g/kg)的增加呈增加趋势,活性炭增施量对叶绿素质量比的影响差异主要反映在春玉米生殖生长阶段(抽穗期以后)。

## 2.5 春玉米产量特征值分析

不同处理春玉米产量特征值如表3所示.表中  $n$ ,  $m_k$ ,  $L_s$ ,  $R_s$ ,  $R/C$ ,  $C_E$ ,  $Y_G$  分别为籽粒数、千粒质量、穗长、出籽率、根冠比、经济系数和经济产量.由表可知,土壤增施活性炭能提高春玉米籽粒数,当质量比低于3 g/kg时,提高籽粒数、出籽率作用显著;质量比高于6 g/kg时,抑制春玉米千粒质量、根冠比作用明显.研究数据表明,处理T1,T2根冠比较CK分别增加9.51%,16.82%;处理T3,T4较CK分别降低23.91%,13.09%,且处理T3与CK差异具有统计学意义.表明土壤增施适量活性炭能促进作物籽粒数和千粒质量,提高作物根冠比。

春玉米经济产量结果表明,处理T1,T2春玉米产量较CK分别提高8.35%,7.25%,差异具有统计学意义;处理T3,T4春玉米产量较CK分别降低5.36%,1.29%.产量特征值结果表明,向土壤中增施1 g/kg的活性炭,能稳定改善春玉米产量特征值,提高春玉米经济产量.这与李玉奇等<sup>[9]</sup>在设施黄瓜上的试验研究结果相一致。

表3 不同处理春玉米产量特征值分析  
Tab.3 Analysis of yields characteristics of spring maize under different contents of activated carbon

处理	$n$ /粒	$m_k$ /g	$L_s$ /cm	$R_s$ /%	$R/C$ /%	$C_E$	$Y_G$ /(kg·hm <sup>-2</sup> )
CK	457.5 <sup>c</sup>	306.86 <sup>ab</sup>	21.30 <sup>a</sup>	78.04 <sup>b</sup>	15.45 <sup>b</sup>	0.378 <sup>a</sup>	6974.17 <sup>b</sup>
T1	489.0 <sup>ab</sup>	310.06 <sup>ab</sup>	21.60 <sup>a</sup>	79.18 <sup>a</sup>	16.60 <sup>b</sup>	0.407 <sup>a</sup>	7442.32 <sup>a</sup>
T2	512.0 <sup>a</sup>	325.48 <sup>a</sup>	21.03 <sup>ab</sup>	78.96 <sup>a</sup>	18.27 <sup>a</sup>	0.307 <sup>b</sup>	7120.45 <sup>ab</sup>
T3	481.0 <sup>bc</sup>	305.39 <sup>ab</sup>	20.90 <sup>ab</sup>	77.57 <sup>bc</sup>	10.87 <sup>c</sup>	0.411 <sup>a</sup>	6954.55 <sup>b</sup>
T4	503.5 <sup>ab</sup>	293.86 <sup>b</sup>	20.08 <sup>b</sup>	77.10 <sup>c</sup>	11.82 <sup>c</sup>	0.316 <sup>b</sup>	6789.00 <sup>b</sup>

## 2.6 春玉米产量构成要素相关性分析

春玉米产量构成要素与产量的相关性分析结果如表4所示.结果表明产量与各构成要素均呈正相关.其中,产量与穗长、出籽率呈显著正相关( $r =$

0.83,  $r = 0.82$ ),与籽粒数、千粒质量和根冠比呈弱正相关.说明在一定范围内,提高穗长和出籽率可提高春玉米产量.从产量构成要素之间的相关分析可以看出,出籽率和根冠比相关性显著( $r = 0.93$ ),

说明根冠比的增加可以显著提高出籽率,提高作物产量.

表4 产量与产量构成要素相关性分析  
Tab.4 Relationship between yield and its yield components

因素	$n$	$m_k$	$L_s$	$R_s$	$R/C$	$C_E$
$m_k$	0.26					
$L_s$	-0.44	0.57				
$R_s$	0.29	0.67	0.61			
$R/C$	0.18	0.81	0.62	0.93**		
$C_E$	-0.67	-0.16	0.60	-0.14	-0.25	
$Y_G$	0.05	0.54	0.83*	0.82*	0.66	0.41

注:\*,\*\*表示差异分别在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平下具有统计学意义.

通过逐步回归分析进一步研究了籽粒数( $n$ )、千粒质量( $m_k$ )、穗长( $L_s$ )3个变量与产量( $Y$ )的偏相关关系,结果见表5.由表可知,千粒质量与产量呈负相关,表明适当降低千粒质量可增加作物产量.籽粒数、穗长与产量呈正相关,表明产量构成要素与产量有密切关系.为明确各产量构成要素对产量线性效应的显著性,准确描述产量对构成要素的依赖关系,建立了产量最优线性回归方程为

$$Y = -7\ 848.81 + 9.95n - 11.70m_k + 650.56L_s \quad (3)$$

方程的多元相关系数 $R = 0.999\ 9$ ,多元决定系数 $R^2 = 0.999\ 7$ , $F = 1\ 215.08$ .说明 $n, m_k, L_s$ 与 $Y$ 之间存在显著的线性回归关系,且 $n, m_k, L_s$ 与 $Y$ 的偏回归系数也达到显著性水平.多元决定系数 $R^2 = 0.999\ 7$ ,说明产量的99.97%是由 $n, m_k, L_s$ 这3个构成要素决定的,剩余要素对产量的影响仅为0.03%.研究表明,可以用该回归方程来预测春玉米的经济产量.

表5 主要产量构成要素偏相关系数分析  
Tab.5 Partial correlation coefficient of yield components

相关关系	偏相关	$t$ 值	$P$ 值
$r(Y, n)$	0.999 6	33.444 7	<0.01
$r(Y, m_k)$	-0.998 7	19.382 1	<0.01
$r(Y, L_s)$	0.999 8	50.401 5	<0.01

### 3 讨论

在干旱半干旱地区,作物增产主要依赖有效降水和土壤蓄水.因此,研发抗旱制剂,提高土壤水库扩蓄增容能力,可提高农田水分转化利用率.有研究表明,随着土壤增施活性炭质量比的增大,土壤累积蒸发量呈降低的趋势,土壤硝态氮、土壤可溶性有机碳(DOC)的淋溶损失率也随之降低,农田蓄

水保肥能力明显提高<sup>[13-14]</sup>.SAMPIETRO等<sup>[15]</sup>研究表明,土壤添加一定量的活性炭能够提高作物的生物量,但添加过度反而会抑制作物生长,对作物产生胁迫作用.余仲东等<sup>[16]</sup>研究结果表明,以杉木活性炭为原料耦合制成的生物耦合炭能显著提高土壤持水能力,农耕土壤中添加0.48%的耦合炭能提高小麦生物量18.8%.本研究结果表明,土壤增施活性炭1~9 g/kg时,能显著加快春玉米营养生长速率,增加叶面积指数.质量比低于6 g/kg时,提高春玉米植株高度,增加生物量作用明显;高于6 g/kg时,对春玉米生长的促进作用减弱.产量及构成要素研究结果表明,籽粒数、千粒质量、穗长对春玉米产量的贡献率大于99.97%,这与和凤美等<sup>[17]</sup>研究结果相一致.

### 4 结论

1) 在春玉米营养生长阶段,随着活性炭质量比的增加,地上部干物质呈增加的趋势.在生殖生长阶段,活性炭质量比大于3 g/kg时,对地下部干物质累积作用存在阈值.春玉米生育期叶绿素质量比随土壤活性炭增施量的增加呈增加的趋势.在抽穗期,土壤增施活性炭质量比对植株叶绿素质量比的影响差异具有统计学意义.

2) 土壤增施一定含量的活性炭能增加春玉米籽粒数,改善根冠比,提高作物产量.当活性炭增施量为1 g/kg时,能稳定改善作物产量要素,提高作物经济产量.

3) 产量及构成要素分析结果表明,春玉米产量的99.97%是由籽粒数、千粒质量、穗长3个构成要素决定的,剩余要素对产量的影响仅为0.03%.产量与穗长、出籽率在0.05水平下呈正相关,出籽率和根冠比两个构成要素之间在0.01水平下呈正相关.春玉米籽粒数的提高能显著提高春玉米经济产量.该研究提出的回归方程能准确预测春玉米的经济产量.

### 参考文献(References)

- [1] 张伟,孙艳艳,李彦斌,等.活性炭处理对连作棉田土壤酶活性的影响[J].新疆农业科学,2009,46(4):789-792.  
ZHANG Wei, SUN Yanyan, LI Yanbin, et al. Effect of activated charcoal treatment on the activities of soil enzymes of continuous cropping cotton field[J]. Xinjiang

- agricultural sciences, 2009,46(4):789-792. (in Chinese)
- [2] ASAO T, HASEGAWA K, SUEDA Y, et al. Autotoxicity of root exudates from taro[J]. *Scientia hortica*, 2003(97):389-396.
- [3] 邹丽芸. 西瓜根系分泌物对西瓜植株生长的自毒作用[J]. *福建农业科技*, 2005(4):30-31.
- ZOU Liyun. Autotoxicity of watermelon root secretion on plant growth [J]. *Fujian agricultural science*, 2005(4):30-31. (in Chinese)
- [4] YU Jingquan, MATSUI Y. Extraction and identification of phytotoxic substances accumulated in the nutrient solution for the hydroponic culture of tomato [J]. *Soil science and plant nutrition*, 1993,39(4):691-700.
- [5] YU Jingquan, MATSUI Y. Phytotoxic substances in root exudates of cucumber (*Cucumis sativus* L.) [J]. *Journal of chemical ecology*, 1994,20(1):21-31.
- [6] MARCHAL G, SMITH K E, REIN A, et al. Impact of activated carbon, biochar and compost on the desorption and mineralization of phenanthrene in soil [J]. *Environmental pollution*, 2013, 181:200-210.
- [7] LAIRD D A. The charcoal vision: a win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality[J]. *Agronomy journal*, 2008,100(1):178-181.
- [8] BRENNAN A, MORENO J E, ALBURQUERQUE J A, et al. Effects of biochar and activated carbon amendment on maize growth and the uptake and measured availability of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and potentially toxic elements (PTEs)[J]. *Environment pollution*, 2014,193:79-87.
- [9] 李玉奇,王涛,奥岩松. 活性炭和风化煤对设施黄瓜生长、产量和品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2010,38(6):2851-2853.
- LI Yuqi, WANG Tao, AO Yansong. Effect of active carbon and weathered coal on the growth, yield and quality of cucumber in greenhouse cultivation[J]. *Journal of Anhui agri sci*, 2010,38(6):2851-2853. (in Chinese)
- [10] 袁丽环,王甜,王文科. 活性炭对苦荞幼苗根系和叶片生理特性的影响[J]. *西北植物学报*, 2012,32(5):956-962.
- YUAN Lihuan, WANG Tian, WANG Wenke. Effect of activated carbon on the roots growth and leaves physiological characteristics of tartary buckwheat seedling[J]. *Acta botanica boreali-occidentalia sinica*, 2012, 32(5):956-962. (in Chinese)
- [11] 郭小鸥,张一鸣,邹春娇,等. 施用不同物料对温室连作番茄产量和品质的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2013,44(5):590-593.
- GUO Xiaou, ZHANG Yiming, ZOU Chunjiao, et al. Application of different materials on the influence of yield and quality of continuous cropping tomato in greenhouse[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2013,44(5):590-593. (in Chinese)
- [12] 高丹美,吴凤芝,周新刚. 活性炭对土壤酶活性及黄瓜幼苗生长的影响[J]. *新疆农业科学*, 2014,51(6):1154-1161.
- GAO Danmei, WU Fengzhi, ZHOU Xingang. Effects of activated carbon on soil enzyme activities and cucumber seeding growth [J]. *Xinjiang agricultural sciences*, 2014,51(6):1154-1161. (in Chinese)
- [13] 方圆,冯浩,操信春,等. 活性炭对土壤入渗、蒸发特性及养分淋溶损失的影响[J]. *水土保持学报*, 2011,25(6):23-26.
- FANG Yuan, FENG Hao, CAO Xinchun, et al. Influence of active carbon on soil infiltration and evaporation characteristics and nutrient leaching loss [J]. *Journal of soil water conservation*. 2011,25(6):23-26. (in Chinese)
- [14] 刘世杰,窦森. 黑炭对玉米生长和土壤养分吸收与淋失的影响[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(1):79-82.
- LIU Shijie, DOU Sen. The effect of black carbon on growth of maize and the absorption and leaching of nutrients [J]. *Journal of soil water conservation*, 2009, 23(1):79-82. (in Chinese)
- [15] SAMPIETRO D A, SGARIGLIA M A, SOBERÓN J R, et al. Role of sugarcane straw allelochemicals in the growth suppression of arrowleaf sida [J]. *Environmental and experimental botany*, 2007, 60(3):495-503.
- [16] 余仲东,任争争,彭少兵,等. 活性木炭材料及生物耦合炭对植物生长的影响[J]. *生物质化学工程*, 2014,48(3):1-5.
- YU Zhongdong, REN Zhengzheng, PENG Shaobing, et al. Effect of activated charcoals and a coupled biochar on growth of crops [J]. *Biomass chemical engineering*, 2014,48(3):1-5. (in Chinese)
- [17] 和凤美,朱永平,朱芮,等. 超甜玉米自交系主要农艺性状及鲜穗产量的主成分分析[J]. *中国农学通报*, 2014,30(18):79-83.
- HE Fengmei, ZHU Yongping, ZHU Rui, et al. Principal component analysis on main agronomic characters and fresh ear yield of super sweet corn inbred line [J]. *Chinese agricultural science bulletin*, 2014,30(18):79-83. (in Chinese) (责任编辑 徐云峰)