

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2013)04-0215-07

土壤肥料

# 炭基肥对马铃薯干物质积累分配和产量的影响

任少勇<sup>1</sup>, 王 姣<sup>1</sup>, 黄美华<sup>1</sup>, 肖 强<sup>1</sup>, 魏翠果<sup>1</sup>, 宋树慧<sup>1</sup>, 蒙美莲<sup>1\*</sup>, 陈有君<sup>2\*</sup>

(1. 内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古农业大学生命科学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

**摘要:** 利用生物炭与化肥混合加工制成的炭基肥具有改良土壤、保水保肥、延长肥效的作用。为了给内蒙古阴山北麓地区马铃薯生产中合理施用炭基肥提供一定的依据, 试验研究了0, 300, 600, 900和1 200 kg/hm<sup>2</sup>炭基肥及等量氮磷钾化肥对马铃薯干物质积累和分配及产量的影响。结果表明: 在出苗后15~75 d里, 随着炭基肥施肥量的增加, 马铃薯干物质积累量和产量逐渐增加。炭基肥施用量300, 600, 900和1 200 kg/hm<sup>2</sup>的茎叶干物质积累量的平均值与不施肥对照相比分别提高了21.46%、33.89%、52.11%、60.23%, 块茎干物质积累量的平均值分别提高了2.80%、21.58%、36.26%、46.44%, 且900和1 200 kg/hm<sup>2</sup>的炭基肥施肥量下, 茎叶和块茎干物质积累量的平均值与对照差异达到显著或极显著水平; 产量分别较对照增产26.01%、34.77%、43.39%和49.71%, 差异达到显著或极显著水平。900和1 200 kg/hm<sup>2</sup>的炭基肥施肥量下, 马铃薯单株结薯数、大薯率、公顷干物质积累量和干物质积累速率均高于对照。等量氮磷钾条件下, 施炭基肥的马铃薯单株结薯数、大薯率、产量、公顷干物质积累量和积累速率均高于化肥。

**关键词:** 炭基肥; 马铃薯; 干物质; 产量

## Effects of Carbon Based Fertilizer on Dry Matter Accumulation and Distribution, and Potato Yield

REN Shaoyong<sup>1</sup>, WANG Jiao<sup>1</sup>, HUANG Meihua<sup>1</sup>, XIAO Qiang<sup>1</sup>, WEI Cuiguo<sup>1</sup>,  
SONG Shuhui<sup>1</sup>, MENG Meilian<sup>1\*</sup>, CHEN Youjun<sup>2\*</sup>

(1. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China; 2. College of Life Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China)

**Abstract:** Carbon based fertilizer is a mixture of biochar and chemical fertilizer, and may ameliorate soil structure, and preserve soil water and fertilizer. In order to lay a solid theoretical foundation for reasonable application of the carbon based fertilizer in the production of potato in Wuchuan area of Inner Mongolia, a random complete block design was adopted to study the effects of the carbon based fertilizer on dry matter accumulation and distribution, and yield by applying 0, 300, 600, 900 and 1200 kg/ha of this fertilizer and the same amount of N, P, and K fertilizer. In the period of 15-75 d after emergence, dry matter accumulation and yield of potato were increased with increase in application rate of carbon based fertilizer. When carbon based fertilizer was applied at the rate of 300, 600, 900 and 1200 kg/ha, the average accumulation of stems and leaves was increased by 21.46%, 33.89%, 52.11% and 60.23%, respectively, compared with the control. For tubers, the average accumulation was increased by 2.80%, 21.58%, 36.26% and 46.44%, respectively. For the treatments of 900 and 1200 kg/ha, the difference was significant or highly significant in average accumulation for stems and leaves, and tubers yield of potato when applied with the carbon based fertilizer was increased by 26.01%, 34.77%, 43.39% and 49.71% compared with the control, and the difference was significant or highly significant. The number of tuber per plant, the rate of big tubers, dry matter accumulation per hectare and

收稿日期: 2013-06-15

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-10-P17)。

作者简介: 任少勇(1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事马铃薯栽培生理研究。

\* 通信作者(Corresponding author): 蒙美莲, 教授, 主要从事马铃薯栽培生理方向研究, E-mail: mmeilian@126.com; 陈有君, 教授, 主要从事植物生理研究, E-mail: cyoujun@sina.com。

dry matter accumulation rate of the treatment of 900 and 1200 kg/ha carbon based fertilizer were much higher than the control. The results also indicated that the number of tuber per plant, the rate of big tubers, tuber yield, dry matter accumulation per hectare and dry matter accumulation rate of the treatments with carbon based fertilizer were higher than chemical fertilizer of the same amount of N, P, and K.

**Key Words:** carbon based fertilizer; potato; dry matter; yield

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是我国的第四大粮食作物,种植面积和鲜薯产量均居世界首位<sup>[1]</sup>,年均种植面积 553 万  $\text{hm}^2$  以上,年均总产量 8 000 万 t 以上。内蒙古是我国马铃薯的最大产区之一,马铃薯种植面积和总产量排在全国前三位,均占全国的 10% 以上<sup>[2]</sup>。阴山北麓是内蒙古马铃薯主要生产地区,但是由于该地土壤瘠薄,土质较差,保水保肥性差,水肥利用率低,成为马铃薯产量和品质提高的重要限制因子。

炭基肥是利用生物炭与化肥进行混合加工制成的复合肥料,具有改良土壤、增加地温、保水、保肥和延长肥效的功能。其主要成分是生物质炭。生物炭(国内有的译为生物质炭<sup>[3,4]</sup>或生物焦<sup>[5]</sup>)是生物质有机碳,如作物秸秆、木屑、动物粪便等,在无氧或低氧状态及高温裂解下分离可燃气体后剩余炭化的副产品,是一类富碳贫氮的生物质燃烧产物,具有高度的芳香环分子结构和多孔特性<sup>[6]</sup>。由于生物质炭比一般的有机物质具有更高的稳定性,施用生物质炭是培育高碳土壤和把碳封存在土壤中的重要途径<sup>[7-9]</sup>。生物炭能延缓肥料在土壤中的养分释放,提高土壤有机碳含量,改善土壤保水保肥性能,减少养分损失,是肥料的增效载体<sup>[10]</sup>,具有良好的土壤改良作用。它的半衰期很长,在土壤中埋藏的生物质碳往往能存在成百上千年<sup>[11]</sup>。

国外在生物炭的性质和特征及其对土壤物理、化学性质、微生物的作用,作物肥效及土壤固碳等方面展开了较广泛的研究工作,并取得许多进展<sup>[11]</sup>。我国一些学者在生物炭的理化特性和环境功能等方面进行了一些研究,并就生物质炭在玉米<sup>[12]</sup>、小麦<sup>[13]</sup>、高粱<sup>[14]</sup>、甘薯<sup>[15]</sup>、牧草<sup>[16]</sup>等作物上的应用效果进行了相关研究,但多集中在产量和品质上,有关生物质炭对马铃薯干物质积累及其与产量关系的研究目前还鲜见报道。马铃薯光合同化产物是马铃薯块茎产量形成的物质基础,研究不同施肥条件下马铃薯干物质积累规律及其与产量形成

的关系,对指导马铃薯优质、高效生产具有重要意义。本试验通过比较研究炭基肥和等量氮磷钾的化肥对马铃薯干物质积累和分配及产量的影响,以期内蒙古阴山北麓地区马铃薯生产中合理施用炭基肥提供一定的依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试马铃薯为‘克新 1 号’品种的脱毒原种,试验肥料为尿素(含氮 46.3%),过磷酸钙(含  $\text{P}_2\text{O}_5$  16%),硫酸钾(含  $\text{K}_2\text{O}$  52%),辽宁金和福农业开发有限公司生产的炭基马铃薯专用肥(10-8-18)。

### 1.2 试验地概况

试验于 2012 年 5~9 月在内蒙古武川县大豆铺村试验基地进行。该地海拔 1 555 m,年均气温  $2.6^\circ\text{C}$ ,年均日照时数 2 787.9 h,无霜期 110 d 左右,年均降水量 352.1 mm 左右,年蒸发量 2 068.0 mm,属中温带大陆性季风气候,试验地土壤为栗钙土,0~20 cm 耕层有机质含量 10.06 g/kg,碱解氮含量 45.88 mg/kg,有效磷含量 10.21 mg/kg,速效钾含量 104.59 mg/kg, pH 值 8.23。

### 1.3 试验设计与方法

试验设炭基肥施肥量 0, 300, 600, 900, 1200  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,与炭基肥等量纯氮,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  的化肥,共 9 个处理,分别用 CK,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$ ,  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ ,  $H_4$  表示,各处理施肥量见表 1。采用随机区组设计,4 次重复,小区面积为  $5.0\text{ m} \times 6.0\text{ m} = 30\text{ m}^2$ ,行距 60 cm,株距 31.3 cm,10 行区。播种密度为 52 500 株/ $\text{hm}^2$ 。各处理肥料在播种时作为基肥一次性全部施入。5 月 19 日人工播种,采用滴灌方式进行灌溉,其他管理同一般生产田。

### 1.4 取样及测定方法

出苗后 15 d 开始取样,每隔 15 d 取一次样,每次将取样株带回室内洗净晾干,分器官称量鲜重,并取各器官鲜样 100 g,  $105^\circ\text{C}$  杀青后,于  $75^\circ\text{C}$  下烘干至恒重,称量干重。

表 1 各处理田间施肥量(kg/hm<sup>2</sup>)

Table 1 Fertilization rate of various treatments(kg/ha)

处理 Treatment	炭基马铃薯专肥 Carbon based fertilizer	尿素 Urea	过磷酸钙 Superphosphate	硫酸钾 Potassium sulphate
CK	0	0	0	0
H <sub>1</sub>	0	64.8	150	103.8
H <sub>2</sub>	0	129.6	300	207.6
H <sub>3</sub>	0	194.4	450	311.55
H <sub>4</sub>	0	259.2	600	415.5
M <sub>1</sub>	300	0	0	0
M <sub>2</sub>	600	0	0	0
M <sub>3</sub>	900	0	0	0
M <sub>4</sub>	1200	0	0	0

## 1.5 数据处理

所有数据均采用 Excel 2003 和 SAS9.1 软件进行分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 炭基肥对马铃薯干物质积累量的影响

#### 2.1.1 炭基肥对马铃薯茎叶和块茎干物质积累量的影响

由表 2 可知, 整个生育期内, 各处理的马铃薯单株茎叶干物质积累量随着生育的推进, 均呈先升高后降低的趋势, 最大值均出现在出苗后 60 d。处理间比较, 出苗后 15~30 d 内, 各化肥处理基本上是随施肥量的增加, 单株茎叶干重呈单峰曲线变化, 以 H<sub>3</sub> 处理的茎叶干物质积累量最大, 炭基肥各处理则是随施肥量的增加, 茎叶干物质积累量呈降低的变化趋势。等量氮磷钾条件下, 炭基肥各处理的茎叶干物质积累量低于化肥处理。出苗 30 d 之后, 马铃薯茎叶干物质积累量无论是炭基肥还是化肥, 均是随施肥量的增加呈增加的变化趋势, 且在等量氮磷钾条件下, 炭基肥各处理的茎叶干物质积累量均高于化肥。表 2 还可以看出, 各处理马铃薯块茎干物质积累量随生育的推进均呈不断增加的变化趋势, 收获时达到最大。出苗 30 d 时各施肥处理的块茎干物质积累量均小于 CK, 且在等量氮磷钾条件下, 炭基肥各处理的块茎干物质积累量平均值小于化肥; 出苗 45~60 d, 各施肥处理的块茎干物质积累量均超过 CK, 但等量氮磷钾条件下, 仍然是炭基肥处理小于化肥处理。说明炭基肥延迟了马铃薯块茎的形成。对整个生育期马铃薯茎叶和块茎干物质积累量的平

均值进行方差分析, 结果表明: 茎叶干物质积累量以 M<sub>4</sub> 处理最大, 为 19.34 g/株, 与对照相比达到了极显著差异水平, 其次为 M<sub>3</sub> 处理, 与对照相比达到了显著差异水平。H<sub>4</sub> 和 M<sub>4</sub> 处理块茎干物质积累量最大, 分别为 59.62 g/株和 59.57 g/株, 与对照相比均达到了显著差异水平。等量氮磷钾条件下, 马铃薯茎叶和块茎平均干物质积累量除 M<sub>1</sub> 块茎略低于 H<sub>1</sub> 外, 均表现为炭基肥大于化肥。表明炭基肥有利于全生育期马铃薯茎叶和块茎平均干物质积累量的增加。

#### 2.1.2 炭基肥对马铃薯公顷干物质积累量的影响

由表 3 可知, 随着生育的推进, 各处理马铃薯公顷干物质积累量均呈“S”型曲线变化。出苗后一个月内马铃薯公顷干物质积累量增长缓慢, 之后迅速增长, 并在出苗后 75 d 达到最大值。此时, 各施肥处理的马铃薯公顷干物质积累量均大于对照, 且随着施肥量的增加而增加, 以 M<sub>4</sub> 处理的公顷干物质积累量最大, 为 8 578 kg/hm<sup>2</sup>, 其次是 M<sub>3</sub> 处理, 为 8 321 kg/hm<sup>2</sup>。等量氮磷钾条件下, 出苗后 15~45 d, 炭基肥处理的马铃薯公顷干物质积累量低于化肥处理, 45 d 以后高于化肥处理。对马铃薯公顷干物质积累量的平均值进行方差分析, 结果表明: 马铃薯公顷干物质积累量的平均值以 M<sub>4</sub> 处理最大, 达到了 3 464 kg/hm<sup>2</sup>, 其次是 H<sub>4</sub> 处理, 为 3 360 kg/hm<sup>2</sup>, 各施肥处理与对照相比, 提高了 6.56%~47.93%。其中 M<sub>4</sub> 和 H<sub>4</sub> 对与对照相比达到了显著差异水平, 其它处理与对照均未达到显著水平。

#### 2.1.3 炭基肥对马铃薯干物质积累速率的影响

由表 4 可知, 在整个生育期内, 各处理马铃薯

表2 炭基肥对马铃薯茎叶和块茎干物质积累量的影响(g/株)

Table 2 Effects of carbon based fertilizer on dry matter accumulation of stems and leaves, and tubers of potato (g/plant)

器官 Organ	处理 Treatment	出苗后天数(d) Days after emergence					平均值 Average
		15	30	45	60	75	
茎叶 Stem and leaf	CK	2.39	10.77	17.18	21.86	8.14	12.07 cB
	H <sub>1</sub>	2.61	12.44	21.00	21.25	11.26	13.71 bcAB
	H <sub>2</sub>	2.14	12.61	19.18	20.99	12.26	13.44 cAB
	H <sub>3</sub>	2.80	15.79	19.39	22.68	12.58	14.65 abcAB
	H <sub>4</sub>	2.41	13.31	20.18	24.01	21.66	16.31 abcAB
	M <sub>1</sub>	2.50	12.12	19.79	21.29	17.60	14.66 abcAB
	M <sub>2</sub>	2.38	12.13	22.18	23.52	20.57	16.16 abcAB
	M <sub>3</sub>	2.29	11.89	23.80	28.48	25.34	18.36 abAB
M <sub>4</sub>	2.01	9.23	25.55	31.35	28.58	19.34 aA	
块茎 Tuber	CK		5.17	21.33	58.02	78.21	40.68 bA
	H <sub>1</sub>		2.79	23.26	62.30	80.80	42.29 abA
	H <sub>2</sub>		3.00	26.24	66.09	98.88	41.82 abA
	H <sub>3</sub>		4.95	27.25	69.53	110.70	53.11 abA
	H <sub>4</sub>		5.64	31.85	79.35	121.62	59.62 aA
	M <sub>1</sub>		2.97	21.63	53.17	89.52	41.82 abA
	M <sub>2</sub>		1.11	25.34	59.93	111.45	49.46 abA
	M <sub>3</sub>		1.95	19.27	69.04	131.45	55.43 abA
M <sub>4</sub>		1.32	19.52	77.62	139.80	59.57 aA	

表3 炭基肥对马铃薯公顷干物质积累量的影响(kg/hm<sup>2</sup>)

Table 3 Effects of carbon based fertilizer on dry matter accumulation of potato (kg/ha)

处理 Treatment	出苗后天数(d) Days after emergence					平均值 Average
	15	30	45	60	75	
CK	125	837	2021	4193	4533	2342 bA
H <sub>1</sub>	137	799	2323	4386	4833	2495 abA
H <sub>2</sub>	112	820	2384	4571	5834	2744 abA
H <sub>3</sub>	147	1088	2448	4841	6472	2999 abA
H <sub>4</sub>	126	732	2731	5426	7787	3360 aA
M <sub>1</sub>	131	792	2174	3830	5623	2510 abA
M <sub>2</sub>	125	695	2509	4366	6945	2928 abA
M <sub>3</sub>	120	726	2261	5119	8321	3309 abA
M <sub>4</sub>	105	553	2366	5721	8578	3464 aA

干物质积累速率均呈“慢-快-慢”的变化趋势,即在出苗后 15 d 内干物质积累速率较慢,以后迅速增加,化肥各处理在出苗后 45~60 d 达到最大值,炭基肥处理除 M<sub>4</sub> 外在出苗后 60~75 d 达到最大值。随着施肥量的增加,各处理马铃薯干物质平均积累速率逐渐增加。对马铃薯干物质积累速率的平均值进

行方差分析,结果表明:马铃薯干物质积累速率的平均值以 M<sub>4</sub> 处理最大,达到了 114.38 kg/hm<sup>2</sup>·d,其次是 M<sub>3</sub> 处理,为 110.95 kg/hm<sup>2</sup>·d,与对照相比 M<sub>4</sub> 和 M<sub>3</sub> 处理均达到显著差异水平。各处理与对照相比,干物质积累速率提高了 6.62%~89.25%。表明施用炭基肥有利于马铃薯干物质积累速率的提高。

表 4 不同施肥量下马铃薯干物质积累速率的变化( kg/hm<sup>2</sup>·d)  
Table 4 Effects of carbon based fertilizer on rate of dry matter accumulation of potato (kg/ha·d)

处理 Treatment	出苗后天数(d) Days after emergence					平均值 Average
	0~15	15~30	30~45	45~60	60~75	
CK	8.35	47.49	78.94	144.81	22.63	60.44 cA
H <sub>1</sub>	9.14	44.16	101.60	137.52	29.79	64.44 bcA
H <sub>2</sub>	7.50	47.17	104.30	145.81	84.22	77.8 abcA
H <sub>3</sub>	9.80	62.79	90.64	159.50	108.74	86.29 abcA
H <sub>4</sub>	8.42	40.39	133.30	179.66	157.41	103.84 abcA
M <sub>1</sub>	8.76	44.07	92.14	110.41	119.54	74.98 abcA
M <sub>2</sub>	8.35	38.00	120.95	123.79	171.97	92.61 abcA
M <sub>3</sub>	8.02	40.41	102.35	190.55	213.43	110.95 abA
M <sub>4</sub>	7.04	29.87	120.85	223.67	190.47	114.38 aA

2.1.4 炭基肥对马铃薯茎叶和块茎中干物质分配率的影响

由表 5 可知, 在整个生育期内, 各处理马铃薯茎叶干物质分配率均呈递减趋势, 由出苗 15 d 时的 100% 降到出苗 75 d 时的 9.43%~16.97%。块茎中干物质分配率随生育的推进均呈逐渐增加的变化趋势, 由出苗 30 d 时的 8.38%~32.43% 增加到出苗 75 d 时

的 83.03%~90.57%。在等量氮磷钾条件下, 炭基肥处理茎叶干物质分配率明显高于化肥和对照, 块茎干物质分配率却明显低于化肥和对照。

对马铃薯茎叶干物质分配率的平均值进行方差分析, 结果表明: 随着施肥量的增加, 施化肥的马铃薯茎叶干物质分配率逐渐降低, 施炭基肥的茎叶干物质分配率逐渐升高。其中 M<sub>4</sub> 处理最高, 为

表 5 炭基肥对马铃薯干物质在茎叶和块茎中分配率的影响(%)

Table 5 Effects of carbon based fertilizer on rate of dry matte distribution in stems and leaves, and tubers of potato

器官 Organ	处理 Treatment	出苗后天数(d) Days after emergence					平均值 Average
		15	30	45	60	75	
茎叶 Stem and leaf	CK	100.00	67.57	44.61	27.37	9.43	49.79 cC
	H <sub>1</sub>	100.00	81.68	47.45	25.43	12.23	53.36 abcABC
	H <sub>2</sub>	100.00	80.78	42.23	24.10	11.03	51.63 bcABC
	H <sub>3</sub>	100.00	76.13	41.57	24.60	10.20	50.50 cBC
	H <sub>4</sub>	100.00	70.24	38.79	23.23	15.12	49.47 cC
	M <sub>1</sub>	100.00	80.32	47.78	28.59	16.43	54.62 abcABC
	M <sub>2</sub>	100.00	91.62	46.68	28.18	15.58	56.41 abABC
	M <sub>3</sub>	100.00	85.91	55.26	29.20	16.16	57.31 aAB
	M <sub>4</sub>	100.00	87.49	56.69	28.77	16.97	57.98 aA
块茎 Tuber	CK	0.00	32.43	55.39	72.63	90.57	50.21 aA
	H <sub>1</sub>	0.00	18.32	52.55	74.57	87.77	46.64 abcABC
	H <sub>2</sub>	0.00	19.22	57.77	75.90	88.97	48.37 abABC
	H <sub>3</sub>	0.00	23.87	58.43	75.40	89.80	49.50 aAB
	H <sub>4</sub>	0.00	29.76	61.21	76.77	84.88	50.53 aA
	M <sub>1</sub>	0.00	19.68	52.22	71.41	83.57	45.38 abcABC
	M <sub>2</sub>	0.00	8.38	53.32	71.82	84.42	43.59 bcABC
	M <sub>3</sub>	0.00	14.09	44.74	70.80	83.84	42.69 cBC
	M <sub>4</sub>	0.00	12.51	43.31	71.23	83.03	42.02 cC

57.98%，与对照相比差异达到了极显著水平，其次为 M<sub>3</sub>，与对照也达到了极显著差异水平。在等量氮磷钾条件下，施炭基肥的茎叶干物质分配率显著高于化肥。

对马铃薯块茎干物质分配率的平均值进行方差分析，结果表明：随着施化肥量的增加，块茎干物质分配率逐渐升高，随炭基肥施肥量的增加，块茎干物质分配率逐渐降低，且与对照之间达到了显著或极显著差异。等量氮磷钾条件下，施炭基肥的块茎干物质分配率低于化肥处理。表明炭基肥可以延缓马铃薯地上部茎叶的衰老，可为马铃薯后期生育提供更多的光合产物，从而提高块茎产量。

### 2.2 炭基肥对马铃薯产量及其构成因素的影响

由表 6 可看出，随着施肥量的增加马铃薯单株结薯数和平均薯块重呈递增趋势，各处理的马铃薯单株结薯数均大于对照。等量氮磷钾条件下，炭基肥的马铃薯单株结薯数和平均薯块重高于化

肥，其中M<sub>4</sub>的最多，分别达到 4.35 个/株和 130.09 g/块，显著高于CK 和 H<sub>1</sub>。马铃薯大薯重率虽也表现出随施肥量的增加而增加，炭基肥大于等量氮磷钾化肥，但与对照差异均不显著。马铃薯产量随施肥量的增加而增加。等量氮磷钾条件下，施用炭基肥的马铃薯产量高于施用化肥的产量。各处理的产量高低顺序表现为M<sub>4</sub>>M<sub>3</sub>>M<sub>2</sub>>H<sub>4</sub>>M<sub>1</sub>>H<sub>3</sub>>H<sub>2</sub>>H<sub>1</sub>>CK，施肥处理较对照的增产幅度为13.63%~49.71%。除H<sub>1</sub>和H<sub>2</sub>以外各处理与对照差异均达到了显著或极显著水平。其中，M<sub>4</sub>处理产量最高，达到了29 719.37 kg/hm<sup>2</sup>，极显著高于CK、H<sub>1</sub>和H<sub>2</sub>，显著高于H<sub>3</sub>和M<sub>1</sub>。其次是M<sub>3</sub>处理，产量为28 464.25 kg/hm<sup>2</sup>，极显著高于CK和H<sub>1</sub>，显著高于M<sub>1</sub>、H<sub>2</sub>和H<sub>3</sub>。

### 2.3 马铃薯茎叶和块茎干物质积累量与产量的相关分析

对马铃薯出苗后 15~75 d 的 5 次样品的平均值做相关分析(表 7)，结果表明：茎叶干物质积累量

表 6 炭基肥对马铃薯产量及其构成因素的影响

Table 6 Effects of carbon based fertilizer on yield and yield components of potato

处理 Treatment	单株结薯数(个/株) Number of tuber per plant(No./plant)	单薯重(g/块) Single tuber size(g/piece)	大薯重率(%) Rate of big tuber	产量(kg/hm <sup>2</sup> ) Yield(kg/ha)	较 CK 增产(%) Increased yeild compared with CK
CK	3.75 ± 0.18c	101.22 ± 7.68cB	36.11 ± 2.70a	19851 ± 844dD	0.00
H <sub>1</sub>	3.83 ± 0.26bc	112.11 ± 5.24bcAB	37.20 ± 4.16a	22557 ± 2413cdCD	13.63
H <sub>2</sub>	3.86 ± 0.26abc	116.59 ± 16.02abAB	38.15 ± 3.47a	23546 ± 3158cdBCD	18.61
H <sub>3</sub>	3.88 ± 0.45abc	118.13 ± 15.43abAB	41.11 ± 7.74a	24040 ± 4273cABCD	21.10
H <sub>4</sub>	3.99 ± 0.36abc	123.65 ± 8.38abA	45.43 ± 3.42a	25960 ± 4854abcABC	30.77
M <sub>1</sub>	3.96 ± 0.50abc	119.85 ± 11.87abAB	45.23 ± 4.09a	25014 ± 3537bcABCD	26.01
M <sub>2</sub>	3.93 ± 0.26abc	129.50 ± 7.58aA	45.46 ± 5.70a	26754 ± 2470abcABC	34.77
M <sub>3</sub>	4.31 ± 0.31ab	125.64 ± 11.13abA	47.56 ± 3.19a	28464 ± 3898abAB	43.39
M <sub>4</sub>	4.35 ± 0.36a	130.09 ± 6.39aA	50.20 ± 3.12a	29719 ± 2515aA	49.71

注：大薯按单块茎≥150 g 计，±后数据表示标准偏差。

Note: Tuber ≥150 g was considered as big tuber. The number after ± was standard deviation.

表 7 马铃薯茎叶和块茎干物质积累量与产量的相关分析

Table 7 Correlation of dry matter accumulation in stems and leaves, and tubers with yield of of potato

项目 Item	茎叶干物质积累量 Dry matter accumulation of stems and leaves	块茎干物质积累量 Dry matter accumulation of tubers	产量 Yield
茎叶干物质积累量 Dry matter accumulation of stems and leaves	1	0.806**	0.975**
块茎干物质积累量 Dry matter accumulation of tubers		1	0.768*
产量 Yield			1

与产量之间存在极显著正相关, 相关系数为0.975; 块茎干物质积累量与产量之间存在显著正相关, 相关系数为0.768, 茎叶和块茎之间干物质积累量存在极显著正相关, 相关系数为0.806。由此说明, 要想获得块茎的高额产量, 必须促进茎叶的生长, 增加茎叶的光合产物积累量。

### 3 讨 论

在马铃薯出苗后的 75 d 内, 随着炭基肥施用量的增加, 马铃薯单株茎叶和块茎干物质积累量、公顷干物质积累量和干物质积累速率均呈递增趋势。茎叶干物质积累量的平均值与对照相比提高了 21.46%~60.23%, 块茎干物质积累量的平均值较对照提高了 2.80%~46.44%, 公顷干物质积累量的平均值提高了 10.75%~46.30%, 干物质积累速率的平均值提高了 24.06%~89.25%。等量氮磷钾施肥条件下, 炭基肥的马铃薯单株茎叶和块茎干物质积累量、公顷干物质积累量和干物质积累速率的平均值均高于化肥。随炭基肥施用量的增加, 马铃薯茎叶干物质分配率逐渐增加, 块茎干物质分配率逐渐降低。等量氮磷钾下, 炭基肥处理的茎叶干物质分配率大于化肥, 块茎干物质分配率小于化肥。说明炭基肥具有缓释效应, 可以促进马铃薯地上部茎叶的生长, 延缓茎叶的衰老。现在我国就炭基肥对各种作物干物质的积累和分配鲜见报道, 但本文的结论与杨瑞平等<sup>[7]</sup>的氮磷钾配施对马铃薯干物质积累及产量的影响研究结果相似。

随着炭基肥施肥量增加, 马铃薯单株结薯数、大薯率、产量呈递增趋势。M<sub>4</sub>、M<sub>3</sub>、M<sub>2</sub> 较对照分别增产 49.71%、43.39%和 34.77%, 差异达到极显著水平。M<sub>1</sub> 较对照增产 26.01%, 差异也达到了显著水平。这与高海英等<sup>[13]</sup>在生物炭及炭基硝酸铵肥料对土壤化学性质及作物产量的影响和 Zwieter 等<sup>[18]</sup>在生物炭对豇豆、玉米、水稻等作物产量的影响研究结果相似。

马铃薯茎叶干物质积累量与块茎干物质积累量和产量之间均存在极显著正相关, 相关系数分别为 0.806 和 0.975, 块茎干物质积累量与产量之间存在显著的正相关关系, 相关系数为 0.768。在本试验条件下, 炭基肥施用量为 1 200 kg/hm<sup>2</sup> 的干物质积累和产

量最好。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 屈冬玉, 谢开云, 金黎平, 等. 中国马铃薯产业现状与趋势[M]//陈伊里, 屈冬玉. 中国马铃薯研究与产业开发. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2003: 230-239.
- [ 2 ] 舍楞, 郑金梅, 王春. 内蒙古马铃薯产业现状及发展对策[J]. 农业工程技术(农产品加工业), 2012, 04: 20-25.
- [ 3 ] 张文玲, 李桂花, 高卫东. 生物质炭对土壤性状和作物产量的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(17): 153-157.
- [ 4 ] 刘玉学, 刘微, 吴伟祥, 等. 土壤生物质炭环境行为与环境效应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 977-982.
- [ 5 ] 罗凯, 陈汉平, 王贤华, 等. 生物质焦及其特性[J]. 可再生能源, 2007, 25(1): 17-19.
- [ 6 ] Goldberg E D. Black carbon in the environment: Properties and distribution [M]. New York: John Wiley, 1985.
- [ 7 ] Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review [J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2006, 11: 403-427.
- [ 8 ] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review [J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35: 219-230.
- [ 9 ] 何绪生, 张树清, 余雕, 等. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(15): 16-25.
- [ 10 ] 张阿凤, 潘根兴, 李恋卿. 生物黑炭及增汇减排与改良土壤意义[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12): 2459-2463.
- [ 11 ] Zwieter L Van, Kimber S, Morris S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility [J]. Plant and Soil, 2010, 327: 235-246.
- [ 12 ] 卢广远, 张 艳, 王祥福, 等. 炭基肥料种类对土壤物理性质及玉米产量的影响[J]. 河北农业科学, 2011, 15(5): 50-53.
- [ 13 ] 高海英, 何绪生, 陈心想, 等. 生物炭及炭基硝酸铵肥料对土壤化学性质及作物产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 10: 1948-1955.
- [ 14 ] Steiner C, Teixeira W G, Lehmann J, et al. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered central Amazonian upland soil [J]. Plant and Soil, 2007, 291: 275-290.
- [ 15 ] 刘晴. 不同炭基肥料对甘薯农艺性状、产量的影响[J]. 农业科技通讯, 2012, 06: 73-75.
- [ 16 ] 邓万刚, 吴鹏豹, 赵庆辉, 等. 低量生物质炭对 2 种热带牧草产量和品质的影响研究初报[J]. 草地学报, 2010, 06: 844-847.
- [ 17 ] 杨瑞平, 张胜, 王珊珊. 氮磷钾配施对马铃薯干物质积累及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 07: 3871-3874.
- [ 18 ] Zwieter L Van, Kimber S, Morris S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility [J]. Plant and Soil, 2010, 327: 235-246.