

生物炭对大白菜幼苗生长的影响

赵倩雯, 孟 军*, 陈温福*

(沈阳农业大学 辽宁省生物炭工程技术研究中心, 沈阳 110866)

摘 要:以 2 个大白菜品种为试材,在常规育苗基质中添加不同比例的花生壳生物炭或玉米秸秆生物炭,研究生物炭对大白菜幼苗生长的影响。试验结果表明,生物炭添加有助于提升基质的通气性,与常规育苗基质相比增幅为 2.1%~42.1%,显著提升了 C/N 和速效钾含量,增幅分别为 23.9%~131.2%和 48.8%~297.2%,同时,生物炭添加降低了基质碱解氮与有效磷含量,降幅分别为 10.4%~44.8%和 7.1%~20.8%,基质毛管孔隙度降幅为 14.0%~19.6%。在花生壳生物炭与常规育苗基质等体积比混合处理中,大白菜幼苗株高、茎粗、叶绿素含量、植株鲜干重及壮苗指数等最高,长势最佳,但出苗率最低。

关键词:生物炭;育苗基质;大白菜

中图分类号:X712 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2015)12-2394-08 doi:10.11654/jaes.2015.12.020

Effect of Biochar on Growth of *Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis* (Lour) Olsson

ZHAO Qian-wen, MENG Jun*, CHEN Wen-fu*

(Liaoning Biochar Engineering & Technology Research Center, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: A pot experiment was carried out to study the effects of biochar additions on seedling growth of two Chinese cabbage cultivars (*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis* (Lour) Olsson; Cultivars Xiayang Zao 50 and Jinnong Rekang Wang). Compared with conventional nursery substrate, additions of biochar significantly increased porosity, C/N ratio, and available potassium by 2.1%~42.1%, 23.9%~131.2%, and 48.8%~297.2%, respectively, leading to greater growth of the seedlings. However, biochar applications caused alkali hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, and capillary porosity decline by 10.4%~44.8%, 7.1%~20.8%, and 14.0%~19.6%, respectively, which might result in a negative impact on seedling emergence rates. Peanut shell biochar mix with conventional nursery substrate at equal volume showed the greatest values in seedling height, stem diameter, chlorophyll content, fresh weight, dry weight and robust seedling index, but the lowest seedling emergence rate.

Keywords: biochar; nursery substrate; Chinese cabbage

现代蔬菜生产对秧苗质量的要求越来越高^[1-2],秧苗质量直接影响到蔬菜定植后的生长发育与产量形成^[3]。以穴盘为载体利用人工配制的基质进行育苗,已逐渐成为一种优质高效的育苗方式。穴盘育苗使用的基质大多由草炭、蛭石、有机肥等物料调制而成。草炭稳定性好,具有良好的持水通气性与较高的有机质含

量,但其过度开采将对产地生态环境造成不可逆的破坏,影响湿地生态系统平衡^[3-5]。寻找新型基质材料部分或完全替代草炭是一个亟待解决的问题。

生物炭是农林废弃物等生物质,在缺氧条件下热裂解形成的稳定的富碳固体产物,具有孔隙结构丰富、比表面积大、吸附能力强等特性^[6],有利于水分与养分的固持^[7],在农业领域有广阔的应用前景。生物炭富含植物生长所需的一些营养元素,用其组配的炭基缓释肥可以显著提升花生、玉米、马铃薯的产量^[8-10];生物炭可以作为土壤改良剂,对于提高土壤 pH 值^[11]和有机质与酶的活性^[12],减少养分损失^[13]有积极作用^[14]。鉴于生物炭良好的理化性质,有学者尝试将其用于配制若干作物的育苗基质。研究发现,生物炭组配复合基质可减少肥料的使用量,可吸附易流失的养分和水

收稿日期:2015-06-25

基金项目:辽宁省科技公关项目,生物炭暨秸秆炭化还田技术体系集成与产业化示范(2014215019);云南省烟草公司科技计划,基于生物炭的植烟土壤改良技术研究与推广应用;农业部行业专项,秸秆移动床热解炭化多联产关键技术研究示范(201303095-6)

作者简介:赵倩雯(1990—),女,硕士研究生,从事生物炭应用技术研究。E-mail:zhaoqianwen59@126.com

* **通信作者:**陈温福 E-mail:wfcchen5512@163.com

孟 军 E-mail:mengjun1217@163.com

分,使基质具有良好的养分缓释性能^[15-16]。生物炭还会影响基质中微生物群落结构,促进根系生长与增强根系生理功能,有利于提高作物品质与产量^[17-19]。

大白菜是我国重要的蔬菜作物^[20]。近年来,大白菜育苗栽培逐渐增多。本试验研究了育苗基质中添加生物炭对大白菜幼苗生长的影响,目标是筛选适宜的生物炭基质组合,有助于实现农林废弃物的资源化利用。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2014 年秋在沈阳农业大学辽宁省生物炭工程技术研究中心试验基地完成,供试大白菜品种为“夏阳早 50”和“锦农热抗王”。供试的基础育苗基质由沈阳农业大学蔬菜分子生物学课题组提供,由有机肥、草炭与菜园土配制而成,容重 $0.77\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、pH 6.40、总碳 10.72% 、总氮 0.78% 、C/N 13.83、碱解氮 $528.32\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $394.13\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $233.15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。实验所用的生物炭包括花生壳生物炭和玉米秸秆生物炭,购自辽宁金和福农业开发有限公司,制备方法参照中国发明专利 ZL 201420025017.8《一种组合式多联产生物质快速炭化设备及其制炭方法》。生物炭基本性质如表 1 所示。

试验设常规育苗基质(CK1)与园田土(CK2)为对照,分别将两种生物炭与常规育苗基质按照不同体积比混合后设为梯度处理,如表 2 所示。

试验使用 50 穴育苗盘,每穴播种 10 粒种子,8 种配比加上 2 个对照共计 10 个处理。9 月初播种,育苗期 45 d,秧苗管理方法同常规生产^[21]。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 幼苗生育指标测定

播种后 7 d 调查出苗率,间苗至每穴 1 株,继续培养 38 d 后,每个组合随机选取 9 株,用直尺测定株高与根长,用游标卡尺测定茎粗,用电子天平测定地上和地下部鲜重,同时记录单株叶数^[16,22]。将鲜样置于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下杀青 30 min,于 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒重,测定地上和地下部干重。壮苗指数计算公式:壮苗指数=(茎粗/株高)/全株干重^[23]。收获时,采集新鲜叶片并用清

表 2 8 种育苗基质配方(体积比)

Table 2 Eight combinations of biochar and substrate(volume ratio)

处理 Treatment	花生壳生物炭 Peanut hull biochar	玉米秸秆生物炭 Maize straw biochar	常规育苗基质 Conventional nursery substrate
P1	20	0	80
P2	30	0	70
P3	40	0	60
P4	50	0	50
M1	0	20	80
M2	0	30	70
M3	0	40	60
M4	0	50	50

水洗净,用滤纸擦干表面水分,进行研磨,采用分光光度计法测定叶绿素^[24]。

1.2.2 育苗基质物理性质测定

将配好的育苗基质放于直径 11 cm、高 14 cm 塑料圆柱形直身瓶中,以便于环刀取样测定基质的容重和田间持水量^[25]。利用三相仪 DIK-1150(Digital Actual Volumenometer)测定总孔隙度,参照 Byren 的方法与常规方法相结合测定毛管孔隙度^[22],通气孔隙度=总孔隙度-毛管孔隙度。

1.2.3 育苗基质化学性质测定

pH 值用酸度计按土水比 1:2.5 测定土水混合溶液。阳离子交换量采用乙酸钠浸提火焰光度计法测定^[26]。

1.2.4 育苗基质养分特性测定

采用德国 Elementar 元素分析仪(vario MACRO cube)测定总碳、总氮^[27];采用碱解扩散法测定碱解氮^[28];采用碳酸氢钠提取钼锑抗比色法测定有效磷^[28];采用乙酸铵浸提火焰光度计法测定速效钾^[28]。

1.3 数据分析

利用 SPSS 17.0 软件,采用 Duncan 测验方法和 Pearson 相关分析对试验数据进行处理,利用 Excel 软件进行计算和作图。

2 结果与分析

2.1 基质添加生物炭后理化性质与养分特性的变化

如表 3 所示,各类基质容重均显著低于土壤(CK2)。生物炭的添加对基质容重影响较小,与 CK1

表 1 试验所用的生物炭的基本性质

Table 1 Basic properties of biochars used in experiment

生物炭类型 Biochar type	pH	C/%	N/%	C/N	有效磷 Available phosphorus/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	速效钾 Available potassium/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
花生壳生物炭	8.55	44.67	0.99	45.20	202.99	2 134.81
玉米秸秆生物炭	8.90	37.95	0.98	38.94	225.30	2 031.11

差异不显著。P1-P4 处理的田间持水量和毛管孔隙度显著低于 CK1,但极显著高于 CK2,M1-M4 处理这两项指标与 CK1 差异不显著。基质加入两种生物炭后通气孔隙度均大于两个对照,其中 P4 及 M3 与 CK1 及 CK2 的差异达到显著水平。

生物炭的添加显著提高了 pH 值,并与生物炭施入量呈正相关。加入生物炭后,基质 CEC 值均显著高于两个对照,但却随生物炭添加量的提高表现出下降趋势。生物炭提高了基质通气性、pH 和 CEC,但花生壳生物炭降低了基质的毛管孔隙度,进而降低田间持水量。

如表 4 所示,生物炭可显著提升育苗基质的总碳含量,但添加花生壳生物炭后总氮含量只是略有增加。加入玉米秸秆生物炭后总氮含量则有所降低,最终导致 C/N 比显著高于两个对照,并与施炭量呈正相关关系。加入生物炭后,碱解氮与速效磷含量有所下

降,而速效钾含量则有所上升。除 P1 处理外,生物炭处理的碱解氮显著低于 CK1,显著高于 CK2;有效磷显著低于 CK1,显著高于 CK2;速效钾显著高于 CK1 与 CK2。各处理中,M4 显著降低了基质(CK1)碱解氮含量,降幅为 44.7%;P4 显著降低了基质(CK1)有效磷含量,降幅 20.8%,显著提升了基质(CK1)速效钾含量,增幅为 297.2%。可见,生物炭加入基质中,会提升总碳、C/N 与速效钾含量,降低碱解氮与有效磷含量,但各类基质的养分含量均显著高于土壤(CK2)。

2.2 基质添加生物炭对白菜幼苗生长发育的影响

2.2.1 出苗率与壮苗指数

如图 1 所示,常规育苗基质(CK1)出苗率较高,出苗情况较好。在基质中添加生物炭,与 CK1 相比会降低出苗率,但均优于 CK2。随着生物炭的添加量增多,白菜出苗率呈现略下降的趋势。玉米秸秆生物炭基质的出苗率低于 CK1,但差异不显著。在花生壳生

表 3 育苗基质的理化性质(育苗前)
Table 3 Physical and chemical properties of different treatment substrates(Before nursery)

处理 Treatment	容重 Density/g·cm ⁻³	田间持水量 Field capacity/%	毛管孔隙度 Capillary porosity/%	通气孔隙度 Aeration porosity/%	pH	CEC/cmole·kg ⁻¹
CK1	0.77±0.04bcd	57.15±5.41a	43.75±1.74a	30.60±3.02cd	6.40±0.06g	13.82±0.01h
CK2	1.41±0.07a	13.92±1.70c	19.61±1.85e	26.72±3.51d	6.61±0.03f	4.22±0.08i
P1	0.79±0.02c	47.61±1.41b	37.63±0.08cd	31.23±2.52bcd	7.37±0.03e	20.47±0.20c
P2	0.80±0.07bc	46.50±3.22b	36.91±0.61d	33.84±3.88bcd	7.52±0.03d	18.45±0.20e
P3	0.80bc	46.07±0.93b	35.91±0.79d	33.33±1.22bcd	7.59±0.02c	17.05±0.02f
P4	0.83±0.02b	44.54±2.53b	35.19±2.77d	43.47±5.66a	7.71±0.02ab	15.67±0.18g
M1	0.75±0.05cd	53.92±1.63a	40.46±1.48bc	31.59±5.07bcd	7.52±0.02d	21.98±0.16a
M2	0.74±0.01cd	55.07±1.95a	40.58±0.68ab	32.80±0.74bcd	7.60±0.03c	20.80±0.19b
M3	0.71±0.1d	57.96±5.08a	41.21±2.85ab	37.92±5.81ab	7.68±0.04b	19.94±0.02d
M4	0.7±0.4d	59.57±2.66a	41.72±1.65ab	36.25±2.15bc	7.75±0.02a	18.53±0.21e

注:采用 Duncan 测验方法;同一列不同字母表示差异显著(P<0.05)。表 4、5、7、8 同。

表 4 育苗基质总碳、总氮与养分情况(育苗前)
Table 4 Nutrient content in different treatment substrates(Before nursery)

处理 Treatment	C/%	N/%	C/N	碱解氮 Alkali hydrolyzable nitrogen/mg·kg ⁻¹	有效磷 Available phosphorus/mg·kg ⁻¹	速效钾 Available potassium/mg·kg ⁻¹
CK1	10.72 ±0.07h	0.78±0.01c	13.83±0.05h	528.32±27.89a	394.13±1.00a	233.15±2.97e
CK2	1.53±0.00i	0.15±0.00e	10.33±0.22i	132.58±5.34f	60.95±1.72i	167.11±1.46f
P1	19.22±0.19d	0.82±0.01b	23.41±0.21d	473.48±30.03ab	348.77±3.85c	346.82±5.14d
P2	21.23±0.07c	0.80±0.03bc	26.66±1.00c	439.24±12.90bc	340.68±1.46d	579.63±13.40c
P3	23.86±0.16b	0.83±0.02ab	28.90±0.80b	408.51±32.50c	327.32±2.73f	604.58±38.73c
P4	27.53±0.2a	0.86±0.02a	32.06±0.48a	368.43±11.86d	312.27±1.11h	926.07±15.71a
M1	13.81±0.07g	0.81±0.02bc	17.13±0.45g	454.46±14.12b	366.13±1.04b	348.24±1.11d
M2	13.90±0.03g	0.70±0.01d	19.75±0.22f	356.89±9.13d	342.53±0.57d	368.96±4.97d
M3	16.12±0.07f	0.72±0.04d	22.30±1.17e	316.81±28.87e	334.85±0.99e	597.37±7.70c
M4	17.22±0.19e	0.72±0.01d	23.83±0.11d	291.67±18.36e	319.00±5.08g	826.15±5.80b

物炭基质处理中,P1-P3 的出苗率与 CK1 差异不显著,但 P4 处理的两个白菜品种的出苗率均显著低于 CK1,出苗率最低。因此,生物炭加入基质会在一定程度上降低出苗率。

如表 5 所示,花生壳生物炭处理中,P4 的壮苗指数最高,显著高于两个对照;玉米秸秆炭处理中 M3 壮苗指数高于两个对照,但差异不显著。总体上看,生物炭的添加会提升壮苗指数,有利于培育壮苗。如表 6 所示,“夏阳早 50”的壮苗指数与基质通气孔隙度呈显著正相关($P<0.05$),与基质速效钾含量成显著正相关($P<0.05$);“锦农热抗王”的壮苗指数与基质通气孔隙度呈极显著正相关($P<0.01$),与基质速效钾含量呈极显著正相关($P<0.01$),与基质 C/N 比呈显著正相关($P<0.05$)。两个白菜品种与基质特性的相关性略有差异,但总体趋势是一致的。两个品种的出苗率与基质毛管孔隙度及有效磷含量呈显著正相关($P<0.05$),与基质碱解氮含量呈极显著正相关($P<0.01$)。

综上,壮苗指数与基质通气孔隙、C/N 和速效钾

含量相关,出苗率与毛管孔隙度、碱解氮与有效磷的含量相关。生物炭可通过改变基质中上述理化性质(表 3、表 4)影响出苗率与壮苗指数。

2.2.2 叶绿素含量与植株形态和生物量指标

如图 2 所示,添加花生壳生物炭会促进大白菜的叶绿素积累,叶绿素含量随生物炭添加量的增加而升高,至 P4 处理水平时叶绿素含量最高,显著高于 CK1。添加玉米秸秆生物炭对于白菜叶绿素含量也有一定影响。对于“夏阳早 50”而言,M4 处理叶绿素含量高于 CK1,但差异不显著;对“锦农热抗王”而言,M1-M4 处理的叶绿素含量均低于 CK1。所以,在基质中添加花生壳生物炭有利于叶绿素含量的增加,进而通过光合能力的提高促进壮苗。

表 7 和表 8 结果表明,在相同的生物炭添加比例下,“夏阳早 50”的花生壳生物炭处理,大白菜生长指标均高于玉米秸秆生物炭,P4 处理的白菜长势最佳。除 P1、P2 外,其他处理中均观察到生物炭对根系显著的促进作用;“锦农热抗王”的花生壳生物炭处理,大白菜的生长指标同样优于玉米秸秆生物炭,且仍以处理 P4 的白菜长势最佳。玉米秸秆生物炭对大白菜根长的促进作用要优于花生壳生物炭处理。与 CK1 相比,玉米秸秆生物炭基质(除 M4 外)抑制了“夏阳早 50”的生长,但 M1-M4 处理对“锦农热抗王”均表现出一定的生长促进作用,只是促进作用弱于花生壳生物炭处理。可见,向常规育苗基质中添加生物炭可有效促进白菜幼苗的生长,但这种促进作用会因生物炭种类与大白菜品种的差异而发生变化。就本研究结果而言,花生壳生物炭的促进生长效果要优于玉米秸秆生物炭。

3 讨论

育苗基质理化性质及养分特征与幼苗生长性能

表 5 不同基质幼苗壮苗指数

Table 5 Robust seedling index in different treatments

处理 Treatment	夏阳早 50 Xiayang Zao 50	锦农热抗王 Jinnong Rekang Wang
CK1	0.02±0.01bc	0.03±0.01cd
CK2	0.03±0.01bc	0.04±0.01bcd
P1	0.03±0.00bc	0.03±0.01d
P2	0.03±0.01bc	0.03±0.01bcd
P3	0.03±0.01b	0.05±0.02b
P4	0.05±0.01a	0.07±0.04a
M1	0.02±0.01c	0.03±0.01d
M2	0.02±0.01bc	0.04±0.02bcd
M3	0.03±0.01b	0.05±0.01bc
M4	0.02±0.01bc	0.04±0.02bcd

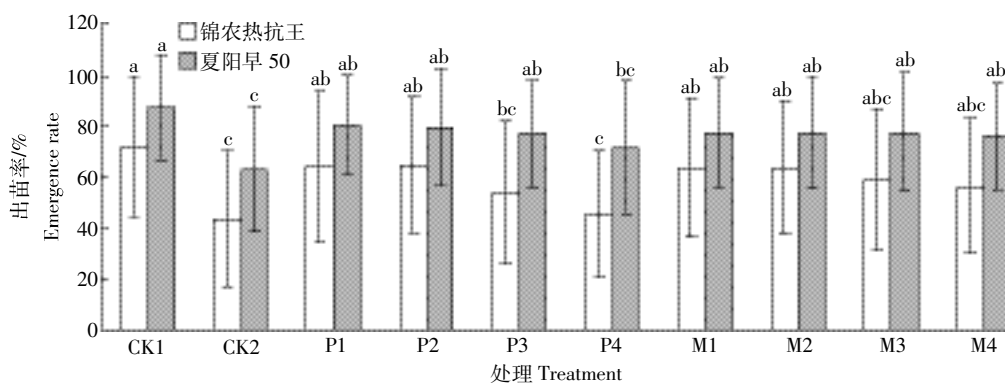


图 1 不同基质组合的出苗情况

Figure 1 Rates of seedling emergence in different treatments

密切相关,其中基质通气性、C/N 和速效钾含量与壮苗指数呈显著或极显著正相关,基质碱解氮与有效磷含量与出苗率呈显著或极显著正相关。与常规育苗基质相比,生物炭添加有助于提升基质通气性,显著提升 C/N 和速效钾含量,有利于培育壮苗,但也会

降低基质碱解氮与有效磷含量,降低基质毛管孔隙度,进而对出苗率产生负面影响。在本研究中,花生壳生物炭对大白菜幼苗生长的促进作用要优于玉米秸秆生物炭,尤以 P4 处理大白菜幼苗株高、茎粗、叶绿素含量、植株鲜重、植株干重及壮苗指数等最大。

表 6 壮苗指数和出苗率与基质基本理化性质及养分特性间的相关分析
Table 6 Correlationship between seedling and substrate properties

测定指标	夏阳早 50 Xiayang Zao 50		锦农热抗王 Jinnong Rekang Wang	
	壮苗指数 Robust seedling index	出苗率 Seedling emergence rate	壮苗指数 Robust seedling index	出苗率 Seedling emergence rate
容重	0.142	-0.622	-0.25	-0.094
总孔隙度	0.100	0.416	0.288	0.416
毛管孔隙度	-0.308	0.747*	-0.138	0.747*
通气孔隙度	0.674*	-0.256	0.800**	-0.256
pH	0.244	-0.122	0.465	-0.122
CEC	-0.199	0.576	-0.103	0.576
总碳	0.576	-0.022	0.568	-0.022
总氮	0.147	0.508	0.133	0.508
C/N	0.625	-0.182	0.667*	-0.182
碱解氮	-0.106	0.776**	-0.317	0.776**
有效磷	-0.152	0.754*	-0.116	0.754*
速效钾	0.571*	-0.353	0.773**	-0.353

注:采用 Pearson 分析方法,* 代表 $P<0.05$,** 代表 $P<0.01$ 。

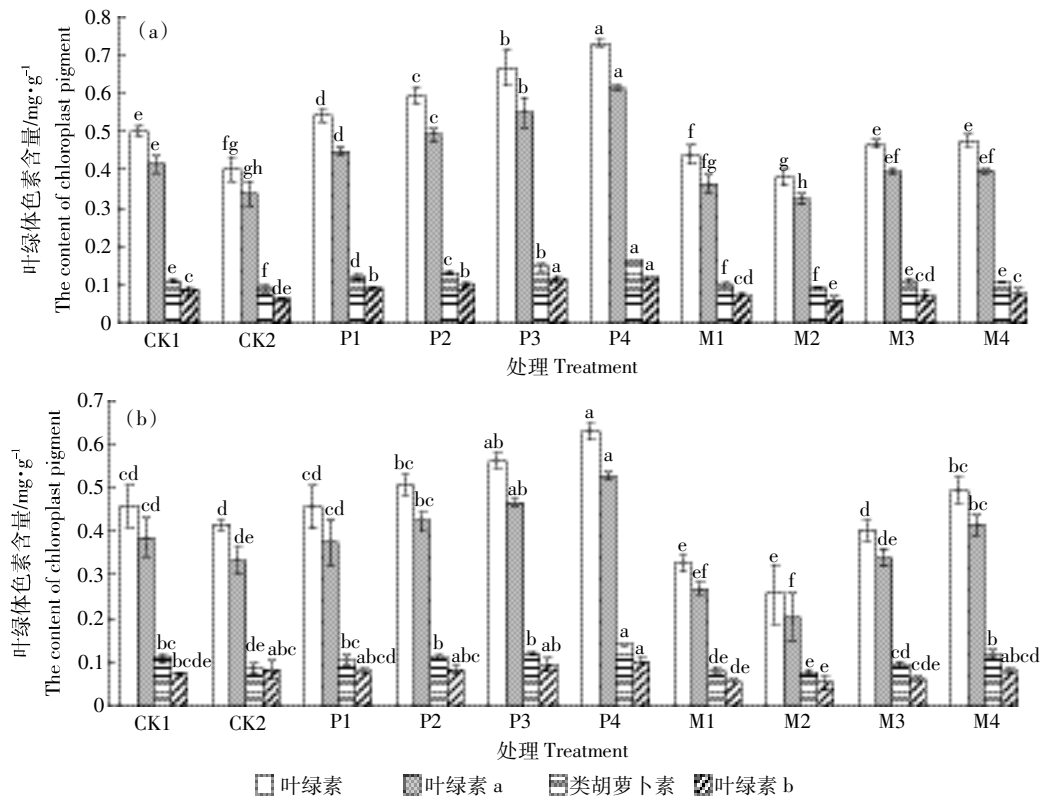


图 2 不同育苗基质“锦农热抗王”(a)和“夏阳早 50”(b)叶绿素含量

Figure 2 Chlorophyll content of Jinnong Rekang Wang(a) and Xiayang Zao 50(b) in different treatments

表 7 不同基质处理“夏阳早 50”植株形态指标和生物量指标

Table 7 Plant morphological parameters and biomass of Xiayang Zao 50 in different treatments

处理 Treatment	株高 Plant heigh/cm	茎粗/cm	单株叶片数 Leaf number per plant	根长 Root length/cm	地上部鲜重 Aboveground fresh weight/g	地下部鲜重 Root fresh weight/g	地上部干重 Aboveground dry weight/g	地下部干重 Root dry weight/ g
CK1	8.5±0.5de	0.42±0.05bc	4±1e	10.2±0.9d	1.63±0.34c	1.95±0.52bede	0.14±0.03de	0.29±0.04d
CK2	8.4±1.0e	0.48±0.10bc	5±1bc	10.4±1.6cd	1.78±0.44c	1.75±0.77cde	0.20±0.06bc	0.29±0.02d
P1	9.2±0.7cd	0.44±0.04bc	5±1bc	12.2±1.2bcd	1.57±0.25c	2.90±1.30b	0.16±0.03cd	0.40±0.05bcd
P2	10.7±0.7b	0.47±0.06bc	5±1b	12.7±1.46bcd	2.56±0.41b	2.68±0.93bc	0.20±0.04bc	0.44±0.12bc
P3	10.9±0.7b	0.49±0.10bc	6±1b	13.3±2.0ab	2.44±0.53bc	2.83±1.40b	0.21±0.07b	0.46±0.15b
P4	13.0±1.2a	0.58±0.07a	7±0a	15.3±3.7a	4.83±1.16a	4.39±1.10a	0.40±0.08a	0.62±0.22a
M1	7.8±0.6e	0.39±0.07c	5±1b	13.2±4. ab	1.02±0.23d	1.32±0.46e	0.09±0.02e	0.29±0.11d
M2	8.0±0.9e	0.45±0.10bc	5±1bc	13.0±2.0ab	1.25±0.49cd	1.54±0.29e	0.12±0.04de	0.28±0.16d
M3	8.3±0.6e	0.45±0.07bc	5±1b	13.6±3.1ab	1.47±0.34cd	2.18±0.55bcd	0.14±0.02de	0.41±0.09bcd
M4	9.5±0.6c	0.46±0.08bc	5±1b	13.4±1.8ab	1.72±0.19c	1.63±0.86de	0.16±0.03cd	0.33±0.06cd

表 8 不同基质处理“锦农热抗王”植株形态指标和生物量指标

Table 8 Plant morphological parameters and biomass of Jinnong Rekang Wang in different treatments

处理 Treatments	株高 Plant Heigh/cm	茎粗 Stem diameter/cm	单株叶片数 Leaf number per plant	根长 Root Length/cm	地上部鲜重 Aboveground fresh weight/g	地下部鲜重 Root fresh weight/g	地上部干重 Aboveground dry weight/g	地下部干重 Root dry weight/ g
CK1	7.6±1.0c	0.41±0.06b	5±0f	11.7±1.6cd	3.03±0.82d	1.98±0.34c	0.17±0.06d	0.34±0.13cd
CK2	9.1±0.9b	0.54±0.08a	6±1bc	10.9±1.5d	3.06±1.10d	2.45±0.83bc	0.23±0.04bcd	0.38±0.10cd
P1	8.7±1.2b	0.42±0.06b	6±1cde	10.7±1.8d	3.04±0.73d	2.10±0.45bc	0.19±0.05cd	0.35±0.07cd
P2	9.4±1.2ab	0.43±0.06b	6±1bcd	12.0±1.1cd	3.45±0.82cd	2.40±0.53bc	0.25±0.14bcd	0.51±0.11bcd
P3	10.2±1.0a	0.54±0.09a	7±1ab	12.1±1.9bcd	4.48±1.01ab	3.54±0.74a	0.30±0.06ab	0.63±0.17b
P4	10.3±1.4a	0.56±0.14a	7±0a	12.2±1.3bcd	4.80±0.85a	4.10±0.75a	0.36±0.10a	0.86±0.39a
M1	9.3±0.7ab	0.44±0.10b	5±1ef	13.9±1.6ab	2.80±0.84d	2.11±0.53bc	0.22±0.07bcd	0.31±0.06d
M2	9.2±0.8ab	0.50±0.08ab	5±1f	13.5±1.6abc	3.79±0.87bcd	2.78±0.93b	0.29±0.14ab	0.42±0.18cd
M3	9.8±1.4ab	0.54±0.12a	6±1bcd	14.1±2.9a	4.07±1.35abc	3.71±1.13a	0.32±0.09ab	0.52±0.11bc
M4	9.4±0.6ab	0.50±0.07ab	6±1def	12.6±1.6abcd	3.43±1.06cd	2.75±0.57b	0.28±0.06abc	0.48±0.28bcd

玉米秸秆炭的添加降低碱解氮与有效磷含量,但对毛管孔隙度影响不大。大白菜的产量与叶片的光合作用密切相关,而光合速率与叶片中的叶绿素含量呈正相关^[28]。本研究中,花生壳炭的添加有利于幼苗叶绿素的积累,可能对大白菜壮苗的形成发挥了重要作用。但是,从本实验使用的两种生物炭材料来看,氮、磷、钾等大量元素含量差异不大,潜在的总养分供给能力相似,生物炭对白菜幼苗促生长作用的差异可能还要从生物炭的孔隙结构、养分持留能力等方面进一步深入探索。

生物炭添加对基质理化性质具有显著影响,并可能通过促进有益微生物繁殖、提升酶活性和养分利用率^[30-32]等途径促进壮苗形成。有研究表明生物炭可以稳定协调水、气等合理结构,促进根系生长利于吸收水分与养分,富含营养元素可为幼苗生长持续提供营

养物质^[7,33-35]。因此,将生物炭用于育苗基质的组配是可行的,既有利于培育壮苗,又有助于部分或完全替代草炭,在促进农林废弃物资源化利用的同时,可减少草炭等自然资源的使用,利于保护湿地生态系统平衡。

4 结论

与常规育苗基质相比,添加生物炭有助于提升基质通气性,提升 C/N 比和速效钾含量,有利于培育壮苗。花生壳生物炭对大白菜幼苗生长的促进作用优于玉米秸秆生物炭。

参考文献:

[1] 王 缙. 育苗基质研究综述[J]. 现代农业科技, 2009(16): 77-81.
WANG Ti. Research summary of seedling substrate[J]. Modern Agricul-

- tural Science and Technology*, 2009(16):77-81.
- [2] 郑明强. 基质不同配比对白菜育苗性状的影响[J]. 贵州农业科学, 2008, 36(2):144-145.
- ZHENG Ming-qiang. Effects of different substrate proportion on seedlings of garden pakchoi[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2008, 36(2):144-145.
- [3] 张铁婷, 崔世茂, 张晓梅, 等. 草炭复配基质特性及对黄瓜、番茄、辣椒幼苗生长的影响[J]. 内蒙古农业大学学报, 2011, 32(2):123-128.
- ZHANG Yi-ting, CUI Shi-mao, ZHANG Xiao-mei, et al. Characteristic of peat compound substrate and effect on growth of cucumber, tomato and hot pepper seedlings[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2011, 32(2):123-128.
- [4] 吴涛, 晋艳, 杨宇虹, 等. 药渣及秸秆替代基质中草炭进行烤烟漂浮育苗研究初报[J]. 中国农学通报, 2007, 23(1):305-309.
- WU Tao, JIN Yan, YANG Yu-hong, et al. The primary study of hurb residue and screw extrusion substituted medium in floating system of tobacco[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(1):305-309.
- [5] 贺超兴, 张谦, 王怀松, 等. 有机土基质在大白菜育苗中的作用研究[J]. 现代农业科技, 2009, 21(15):58-61.
- HE Chao-xing, ZHANG Qian, WANG Huai-song, et al. Studies on effects of organic soil substrates in Chinese cabbage seedlings[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2009, 21(15):58-61.
- [6] 陈温福, 张伟明, 孟军. 农用生物炭研究进展与前景[J]. 中国农业科学, 2013, 46(16):3324-3333.
- CHEN Wen-fu, ZHANG Wei-ming, MENG Jun. Advances and prospects in research of biochar utilization in agriculture[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(16):3324-3333.
- [7] 高继平, 隋阳辉, 霍轶琼, 等. 生物炭用作水稻育苗基质的研究进展[J]. 作物杂志, 2014(2):16-20.
- GAO Ji-ping, SUI Yang-hui, HUO Yi-qiong, et al. The research progress and prospects on biochar used as matrix in rice seedling[J]. *Crops*, 2014(2):16-20.
- [8] 杨劲峰, 江彤, 韩晓日, 等. 连续施用炭基肥对花生土壤性质和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015, 3:68-73.
- YANG Jin-feng, JIANG Tong, HAN Xiao-ri, et al. Effects of continuous application of biochar-based fertilizer on soil characters and yield under peanuts continuous cropping[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2015, 3:68-73.
- [9] 任少勇, 王娇, 黄美华, 等. 炭基肥对马铃薯品质和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(6):233-237.
- REN Shao-yong, WANG Jiao, HUANG Mei-hua, et al. The Effects of carbon based fertilizer on the yield and quality of potato[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(6):233-237.
- [10] 张伟明. 生物炭的理化性质及其在作物生产上的应用[D]. 沈阳农业大学, 2012.
- ZHANG Wei-ming. Physical and chemical properties of biochar and its application in crop production[D]. Shenyang Agricultural University, 2012.
- [11] 徐振华. 生物炭对于中国北方酸化土壤的改性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- XU Zhen-hua. Effect of biochar amendment on acid soil in North China [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [12] 兰宇, 韩晓日, 战秀梅, 等. 施用不同有机物料对棕壤酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2013, 44(1):110-115.
- LAN Yu, HAN Xiao-ri, ZHAN Xiu-mei, et al. Effect of different organic fertilizer on enzyme of brown soils[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2013, 44(1):110-115.
- [13] 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.
- HE Xu-sheng, ZHANG Shu-qing, SHE Diao, et al. Effects of biochar on soil and fertilizer and future research[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(15):16-25.
- [14] 黄剑. 生物炭对于土壤微生物量及土壤酶的影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- HUANG Jian. The effect of biochar application on soil microbial biomass and soil enzymes[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.
- [15] Yigal E, Eddi C, Yael M H, et al. The biochar effect: Plant resistance to biotic stresses[J]. *Phytopathol Mediterr*, 2011, 50:335-349.
- [16] 李志刚, 刘晓刚, 李建. 硫酸铵与鸡粪配比在含生物质炭育苗基质中的应用效果[J]. 中国土壤与肥料, 2012, 1:83-88.
- LI Zhi-gang, LIU Xiao-gang, LI Jian. Match application effects of ammonium sulfate and chicken manure in seedling substrate contained biomass charcoal[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2012, 1:83-88.
- [17] 韩光明, 孟军, 曹婷, 等. 生物炭对菠菜根际微生物及土壤理化性质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(5):515-520.
- HAN Guang-ming, MENG Jun, CAO Ting, et al. Effect of biochar on microorganisms quantities and soil physicochemical property in rhizosphere of spinach[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2012, 43(5):515-520.
- [18] 张峥嵘. 生物炭改良土壤物理性质的初步研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- ZHANG Zheng-rong. A preliminary study on the effect of biochar on soil physical properties[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [19] 张伟明, 孟军, 王嘉宇, 等. 生物炭对水稻根系形态与生理特性及产量的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(8):1445-1451.
- ZHANG Wei-ming, MENG Jun, WANG Jia-yu, et al. Effect of biochar on root morphological and physiological characteristics and yield in rice[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39(8):1445-1451.
- [20] 张凤兰, 徐家炳. 我国白菜育种研究进展[J]. 中国蔬菜, 2005(10):1-3.
- ZHANG Feng-lan, XU Jia-bing. Breeding status in Chinese cabbage in China[J]. *China Vegetables*, 2005(10):1-3.
- [21] 臧洁, 徐志刚, 陆海洋. 不同基质配方对白菜生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(11):160-163.
- ZANG Jie, XU Zhi-gang, LU Hai-yang. Effect of different substrates on Chinese cabbage[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(11):160-163.
- [22] 杨慧玲. 黄瓜工厂化育苗基质筛选[D]. 河南农业大学, 2002.
- YANG Hui-ling. Selection of substrates of raising *Cucumis sativus* seedling in industrial scale[D]. Henan Agricultural University, 2002.

- [23] 邓守哲, 杨春玲, 曹江南. 不同育苗基质在蔬菜育苗上应用效果的研究[J]. 农业网络信息, 2005, 7: 79-80.
DENG Shou-zhe, YANG Chun-ling, CAO Jiang-nan. Effect of different substrates on vegetable seedling nursery[J]. *Agriculture Network Information*, 2005, 7: 79-80.
- [24] 王 超, 张兵涛, 王文秀. 小麦叶片叶绿素的提取及其稳定性研究[J]. 湖南农业科学, 2013(23): 38-41.
WANG Chao, ZHANG Bing-chao, WANG Wen-xiu. Extraction of chlorophyll from wheat leaf and its stability[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2013(23): 38-41.
- [25] 颜永毫, 郑纪勇, 张兴昌, 等. 生物炭添加对黄土高原典型土壤田间持水量的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 120-124.
YAN Yong-hao, ZHENG Ji-yong, ZHANG Xing-chang, et al. Impact of biochar addition into typical soilson field capacity in Loess Plateau [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 27(4): 120-124.
- [26] 刘祥宏. 生物炭在黄土高原典型土壤中的改良作用[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.
LIU Xiang-hong. Effects of biochar application on soil improvement on the Loess Plateau[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2013.
- [27] 张 威, 刘 宁, 吕慧捷, 等. TruSpec CN 元素分析仪测定土壤中碳氮方法研究[J]. 分析仪器, 2009(3): 46-49.
ZHANG Wei, LIU Ning, LÜ Hui-jie, et al. Method for determination of carbon and nitrogen in soil by TruSpec CN elemental analyzer[J]. *Analytical Instrumentation*, 2009(3): 46-49.
- [28] 侯金权, 张杨珠, 龙怀玉, 等. 不同施肥处理对白菜的物质积累与养分吸收的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 200-204.
HOU Jin-quan, ZHANG Yang-zhu, LONG Huai-yu, et al. Effects of different fertilizations on substance accumulation and nutrient uptakes of Chinese cabbage under field conditions[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(5): 200-204.
- [29] 林婷婷, 王 立, 张 琳, 等. 不结球白菜叶绿素含量的主基因+多基因混合遗传分析[J]. 南京农业大学学报, 2014, 37(5): 34-40.
LIN Ting-ting, WANG Li, ZHANG Lin, et al. Genetic analysis of chlorophyll content using mixed major gene plus polygene inheritance model in non-heading Chinese cabbage[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2014, 37(5): 34-40.
- [30] Somchai B, Jonathan L D, Banyong T, et al. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy[J]. *Geoderma*, 2015, 237: 105-116.
- [31] Cahyo P, Julie E J, Jan B. Impact of biochar on mineralisation of C and N from soil and willow litter and its relationship with microbial community biomass and structure[J]. *Biol Fertil Soils*, 2014, 50: 695-702.
- [32] Chen J H, Liu X Y, Zheng J W, et al. Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungalgene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China[J]. *Applied Soil Ecology*, 2013, 71: 33- 44.
- [33] 王震宇, 徐振华, 郑 浩, 等. 花生壳生物炭对中国北方典型果园酸化土壤改性研究[J]. 中国海洋大学学报, 2013, 43(8): 86-91.
WANG Zhen-yu, XU Zhen-hua, ZHENG Hao, et al. Effect of peanut hull biochar on amelioration of typical orchard acidic soil in Northern China[J]. *Journal of Ocean University of China*, 2013, 43(8): 86-91.
- [34] 鲁 宁. 生物炭对华北高产农田土壤碳和作物产量的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
LU Ning. The effect of biochar applicationon soil carbon and grain yield in a high yield farmland of the North China Plain[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation, 2014.
- [35] Singh B, Singh B P, Cowie A L. Characterization and evaluation of biochars for their application as a soil amendment[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2010, 48: 516-525.