

邵玉飞, 马建, 陈欣. 利用煤矸石制作水稻育苗基质的研究[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(6): 555-561.

SHAO Yu-fei, MA Jian, CHEN Xin. Rice Seedling Substrate Produced by Coal Gangue [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2017, 34(6): 555-561.

利用煤矸石制作水稻育苗基质的研究

邵玉飞^{1,2}, 马建^{2*}, 陈欣²

(1.辽宁大学环境学院, 辽宁 沈阳 110036; 2.中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016)

摘要:以配置合格水稻育苗基质为目标,针对现有水稻育苗基质的生产原材料多以草炭为主对环境影响大的问题,探索利用煤矸石作为水稻育苗基质的可行性研究,在生产育苗基质的同时做到固体废弃物的资源化利用。通过对试验原料进行前处理和各项理化性质的测定及试验前进行的配比试验,确定了适合水稻育苗基质的4个处理作为试验组与对照组进行了水稻育苗试验。结果表明:(1)煤矸石可作为水稻育苗基质的材料;(2)煤矸石的最大添加量可达到80%(体积比),但需要进行活化处理;(3)不经活化处理的煤矸石也可用于水稻育苗,生长情况也较好,但煤矸石的添加量缩减至38%(体积比)。

关键词:煤矸石;水稻;基质;草炭

中图分类号:X752

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2017)06-0555-07

doi: 10.13254/j.jare.2017.0153

Rice Seedling Substrate Produced by Coal Gangue

SHAO Yu-fei^{1,2}, MA Jian^{2*}, CHEN Xin²

(1.School of Environment, Liaoning University, Shenyang 110036, China; 2.Institute of Applied Ecology, Chinese Academic of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract:Peats are the mostly used material in making rice seedling substrate. However, mining peats could cause environmental problems. In order to reduce or replace peats in rice seedling substrate industry, this paper studied suitable way to configure rice seedling. The coal gangue was used to experiment cultivating rice. Four rice seeding experiments were carried out based on physical and chemical properties of materials attributes. The results showed: (1) Coal gangue was feasible for rice seedling; (2) The maximum adding amount of coal gangue was 80%(volume ratio) though the coal gangue need to be activated; (3) In the case of no activated treatment only 38%(volume ratio) of coal gangue could be added to the substrate.

Keywords: coal gangue; rice; substrate; peat

水稻是我国主粮作物品种,截至2016年我国水稻种植面积为3 016万hm²,产量20 693万t^[1]。我国水稻种植的优势地区多集中在东北地区和长江中下游地区^[2],其中东北地区的水稻育苗多采用旱育秧技术,每年均需大量的优质耕作土壤作为育苗床土^[3]。随

着东北地区水稻规模化育苗的发展,对高质育苗床土的需求剧增,并且对农田耕层土壤造成了破坏;同时,受土壤农药残留的影响,水稻育苗过程也出现难以获得合格苗床土、苗床土前处理过程中药量大的问题^[4]。减少水稻育苗过程中耕作土壤的使用,摆脱育苗过程对耕作土壤的依赖,是水稻规模化亟待解决的现实问题。基质育苗即采用非营养土的方式,替代土壤进行育苗的方式,是近年来发展的主要方向^[5]。

草炭是沼泽植物的残体,在厌氧多水条件下,不完全分解堆积而成的天然物质,是目前公认的效果良好且应用最广泛的育苗基质材料^[6-7],常应用于蔬菜和

收稿日期:2017-06-13 录用日期:2017-08-14

基金项目:吉林省与中国科学院科技合作高技术产业化专项资金项目(2016ZYH0017);辽宁省农业领域青年科技创新人才培养资助计划项目(2015054)

作者简介:邵玉飞(1992—),女,山东德州人,硕士研究生,从事农业固体废物资源化利用研究。E-mail:monicafeier@163.com

*通信作者:马建 E-mail:mroger@163.com

花卉栽培中^[8],近年来也有报道利用草炭进行水稻育苗^[3]。然而草炭是一种短期内不可再生的资源且贮量有限^[7];并具有开采限制性,不当开采会对环境造成破坏。如何有效减少基质中草炭的用量或进行替代是育苗基质产业可持续发展的前提。

煤矸石是一种采煤过程中的固体废弃物,综合排放量占原煤产量的 10%~15%^[9],是我国排放量最大的工矿业固体废弃物之一^[10]。目前,对煤矸石的资源化利用主要为铺路、生产建筑材料、燃烧发电、制作工艺等方面。在农业领域应用较少,主要是提取煤矸石中的营养元素如氮、磷、钾、硼等,制备有机复合肥料或处理后作为土壤改良使用^[11]。草炭的容重较小(一般为 0.2 g·cm⁻³ 左右)^[12],单纯利用草炭进行水稻育苗容易出现种子不易扎根的现象。能否利用煤矸石容重较大并含有一定营养成分的特性^[13],参考现行的利用草炭生产育苗基质的方法,配置水稻育苗基质,在满足水稻育苗需求的同时,为固体废弃物的资源化利用找到可行途径,是本文的主要研究立意。本研究重点探索利用煤矸石作为主要材料生产出合格水稻育苗基质的方法,最大限度减少或替代草炭,生产出规模化水稻育苗所需的均一化高质量基质,在水稻育苗中摆脱对耕作土壤取用的依赖,实现无土栽培,这对保护草炭这一短期内不可再生资源具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试原料主要为煤矸石和草炭 2 种,试验用煤矸石、草炭和商品化水稻育苗基质购置于黑龙江省七台河市。其中草炭过 2 mm 筛待用,煤矸石由粉碎机粉碎过 2 mm 筛待用。水稻品种为辽粳 390,测定发芽率为 94%,播种前对水稻种子进行泡种、催芽露白后进行播种。

1.2 试验原料理化性质及测定方法

试验用煤矸石和草炭的主要理化指标包括:容重、pH 值、EC、盐度、总氮、总磷、总钾、重金属(铅、砷、汞、镉、铬)含量等。测定方法:pH 值用 pH 计法,EC

和盐度用电导率仪法^[14],容重用环刀法,孔隙度用计算法,总氮用开氏消煮法,总磷用碳酸钠熔融法,总钾用氢氧化钠熔融法,碱解氮用碱解扩散法,速效磷用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,速效钾用乙酸铵提取法,重金属铅镉铬用原子吸收分光光度法,砷用原子荧光光谱法,汞用冷原子吸收法^[15]。测定结果见表 1。

所用材料中重金属含量均符合《土壤环境质量标准(GB 158618—1995)》的农业用地标准^[16]。

1.3 试验设计

利用煤矸石和其他辅料,按不同组分比例配制基质产品,在水稻育苗盘中把催芽后的水稻种子按照 110 g·盘⁻¹ 的播种量进行播种,在人工气候箱内进行水稻育苗试验,人工气候培养箱内的湿度根据自然规律和水稻的生长需求按照 24 h 一周期进行设置,温度根据自然规律和水稻生长需求按照 24 h 制和水稻叶龄期进行设置,具体见表 2,试验周期为 30 d。通过测

表 1 基质原料的理化性质
Table 1 The physical and chemical properties of substrate materials

指标	草炭	煤矸石
容重/g·cm ⁻³	0.27	1.1
pH 值	4.9	8.1
EC/mS·cm ⁻¹	0.38	0.60
盐度/%	0.02	0.03
总孔隙度/%	59.5	46.5
通气孔隙度/%	11.8	17.7
持水孔隙度/%	47.7	28.8
总氮/%	1.5	0.57
总磷/%	0.13	0.15
总钾/%	0.37	0.33
碱解氮/mg·kg ⁻¹	496.0	8.6
速效磷/mg·kg ⁻¹	23.8	1.5
速效钾/mg·kg ⁻¹	62.3	3.8
Cr/mg·kg ⁻¹	30.8	26.8
Hg/mg·kg ⁻¹	0.09	0.25
As/mg·kg ⁻¹	4.0	3.6
Pb/mg·kg ⁻¹	2.3	25.3
Cd/mg·kg ⁻¹	0.14	0.23

表 2 人工气候培养箱的温湿度设置

Table 2 Temperature and humidity setting of artificial climate incubator

温度与湿度	5:00—9:00	9:00—17:00	17:00—21:00	21:00—5:00
湿度/%	65	85	65	45
水稻播种 — 一叶期的温度/℃	28	30	28	25
一叶期 — 三叶期的温度/℃	24	28	24	20
三叶期 — 培养结束的温度/℃	19	22	19	16

定基质理化性质及观测水稻育苗过程中秧苗的各项质量评价指标,分析筛选最优水稻育苗基质组合。主要试验流程为:原料预处理—混合—肥料添加—酸度(湿度)调节—播种—观测秧苗的各项质量评价指标。

1.3.1 材料前处理

为确保实验顺利进行,试验开展前以煤矸石和草炭为原料,以容重为指标进行了配比实验,发现当基质的容重小于 $0.5\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时会出现翻种现象,而当容重大于 $0.7\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时,由于煤矸石大量添加会出现吸水困难的现象,所以将煤矸石和草炭按不同配比混合后设置容重分别为 0.5 、 0.6 、 $0.7\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 3 个处理进行。

水稻育苗基质的一个重要特性是保水保肥性^[17],由于煤矸石本身的保水保肥性能较差,为增加其活性,试验设置煤矸石活化处理组和常规处理组。活化处理组的处理为:将煤矸石以 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温煅烧 1 h ,并用急速冷却的方式进行处理,冷却后用 1.5% 的海藻酸钠溶液进行浸泡;常规处理组为:煤矸石不经煅烧处理,直接用 1.5% 的海藻酸钠溶液浸泡。

1.3.2 试验基质方案

试验分为对照组(CK)和试验组 2 类,试验组包括常规处理组(CGP1)和活化处理组(CGP2),每个处理设置 3 个重复,具体的试验处理见表 3。同时,经活化处理后的煤矸石容重为 $0.8\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,由于煤矸石不可能单独作为育苗基质,秉着煤矸石最大化应用的原则,将活化处理后的煤矸石与草炭混合,配置容重为 $0.7\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的基质作为煤矸石活化处理组。

表 3 基质的配比方案

Table 3 The proportion of substrates

处理	处理名称	基质配比	基质容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
1	CK	商品化基质	0.7
2	CGP1 0.5	煤矸石:草炭=1:3	0.5
3	CGP1 0.6	煤矸石:草炭=3:5	0.6
4	CGP1 0.7	煤矸石:草炭=1:1	0.7
5	CGP2 0.7	活化煤矸石:草炭=4:1	0.7

所有处理的肥料保持一致,肥料的供给为:将硝酸铵、磷酸二氢钠、硫酸钾、氯化钙、无水硫酸镁、微量元素(锌、铜、铁、锰等)等混入不同配比的基质中,其中氮、磷、钾的质量之比为 $2:1:1$,肥料的总添加量为 $2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。然后用 1% 的硫酸调节酸度为 $\text{pH}=4.5$ 左右。水稻育苗在 $24\text{ cm}\times 17\text{ cm}$ 的穴盘中进行。

1.4 秧苗的质量评价指标及观测方法

根据水稻壮秧标准及水稻秧盘苗的质量评价指标^[18],本研究在水稻育苗过程中对水稻秧苗的出苗

情况、生长情况、根部的机械能力进行观察、测量并记录。

出苗情况:主要是指秧苗的出苗率和叶龄。试验中出苗率为播种后的第 3 d 对育秧盘的出苗数进行记录;同时记录不同配比基质两叶期、三叶期、四叶期的时间。

生长情况:主要是指对秧苗的株高、株茎进行定期测量和秧苗生长周期结束后生物量的测定。试验中株高和株茎的测量是在播种后的第 10、15、20、25、30 d 每次随机选取 6 株秧苗,分别用直尺和游标卡尺进行测量并记录;生物量为生长周期结束后秧苗的干重、鲜重(全株、地上、地下),本试验以百株秧苗为单位进行研究。在测定水稻秧苗指标时,试验处理的水稻秧苗可整株提起,对获得的水稻根部,通过蒸馏水反复冲洗,即可得到完整的根部。

根部的机械能力:主要是指生长周期结束后秧苗的根长、根茎、根的总数和发根能力。在秧苗生长周期结束后任意选取 6 株秧苗用直尺测量每株最长根的根长、用游标卡尺测量每株最长根的根茎、根的总数并记录,在三叶期时随机选取 6 株测定其发根能力^[19]。

1.5 数据处理

利用 Excel 2016、SPSS 16.0 和 Sigma Plot 10.0 软件进行数据统计分析与作图。

2 结果与分析

2.1 试验基质的理化性质

分别测定了试验组和对对照组各个处理的 pH 值、EC、盐度、总孔隙度、持水孔隙度等理化性质^[20],见表 4。从试验结果可以看出,试验组的 pH 值在 4.3 左右各处理之间无显著性差异($P>0.05$),而与对照组相比存在极显著性差异($P<0.01$);试验组的 EC 和盐度要比对照组高且存在极显著性差异($P<0.01$),常规处理组中随着容重的增大,EC 和盐度略有增加,活化处理组的 EC 和盐度最高,处理 CGP1 0.5 和 CGP1 0.6 之间无显著性差异($P>0.05$),处理 CGP1 0.7 和 CGP2 0.7 之间无显著性差异($P>0.05$);试验组的处理 CGP1 0.5 与对照组的总孔隙度无显著性差异($P>0.05$),但其他处理的总孔隙度比对照组均小,常规处理组的总孔隙度随容重的增大而减小,处理 CGP1 0.6 和 CGP2 0.7 之间无显著性差异($P>0.05$);活化处理组的持水孔隙度最大。

2.2 不同配比基质对水稻出苗情况的影响

由表 5 可以看出不同配比基质的水稻出苗率均

表 4 不同配比基质的理化性质(平均值±标准偏差, $n=3$)

Table 4 Physical and chemical properties of different substrates(means±SD, $n=3$)

处理	pH 值	EC/mS·cm ⁻¹	盐度/%	总孔隙度/%	持水孔隙度/%
CK	5.3±0.12a	1.6±0.034c	0.07±0.003c	55.3±0.42a	43.1±0.27c
CGP1 0.5	4.3±0.10b	2.2±0.056b	0.11±0.000b	55.8±0.32a	45.0±0.24b
CGP1 0.6	4.3±0.12b	2.3±0.061b	0.12±0.003b	50.8±0.29b	43.8±0.36c
CGP1 0.7	4.2±0.11b	2.8±0.043a	0.14±0.003a	45.6±0.32c	40.6±0.42d
CGP2 0.7	4.3±0.13b	2.9±0.046a	0.15±0.000a	50.1±0.23b	46.1±0.38a

注:同一列中不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different letters within the same column indicate the significant differences among the treatments ($P<0.05$). The same below.

表 5 不同配比基质的水稻出苗情况

Table 5 The emergence of rice seedlings with different substrates

处理	出苗率/%	成活率/%	两叶期时间	三叶期时间	四叶期时间
CK	95.6	94.2	第 11 d	第 19 d	第 27 d
CGP1 0.5	98.3	97.6	第 10 d	第 18 d	第 26 d
CGP1 0.6	98.3	97.6	第 10 d	第 18 d	第 26 d
CGP1 0.7	96.3	94.9	第 10 d	第 19 d	第 27 d
CGP2 0.7	95.6	94.9	第 11 d	第 19 d	第 27 d

在 95%以上,常规处理组 CGP1 0.5 和 CGP1 0.6 的出苗率最高,常规处理组 CGP1 0.7 比对照组出苗率略高,活化处理组与对照组出苗率相同。试验组和对照组的水稻秧苗成活率均在 90%以上,但试验组比对照组略高。水稻秧苗的叶龄期时间,常规处理组 CGP1 0.5 和 CGP1 0.6 的叶龄期时间略早,试验组其他处理与对照组叶龄期时间相同。从出苗情况来看,试验组有的处理出苗情况与对照组相同有的处理要好于对照组,其中常规处理组 CGP1 0.5 和 CGP1 0.6 较好。

2.3 不同配比基质对秧苗生长情况的影响

2.3.1 不同配比基质对秧苗株高、株茎的影响

不同基质处理下水稻株高和株茎情况见图 1~图 2。

图 1 可以表明,秧苗株高随时间的增加总体呈上升趋势,在前 15 d 生长速度较快,后期生长速度较为缓慢且各处理间株高有明显的差异。株高最终整体呈现为:处理 CGP1 0.5>处理 CGP1 0.6>处理 CK>处理 CGP2 0.7>处理 CGP1 0.7。根据表 6 可以看出处理 CK、CGP1 0.5 和 CGP1 0.6 之间无显著性差异 ($P>0.05$),为较好处理,活化处理组 CGP2 0.7、常规处理组 CGP1 0.7 与对照组相比存在显著性差异($P<0.05$)。

根据图 2 可以看出,秧苗株茎随时间的增加总体呈上升趋势,在 25 d 前生长速度较快,后期生长速度较缓慢,由表 6 可知试验组 CGP1 0.6 处理与对照组

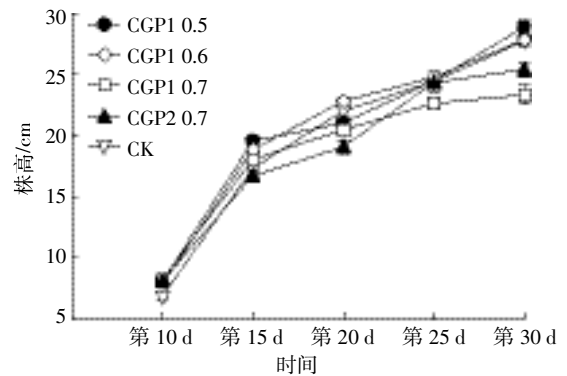


图 1 不同配比基质的秧苗株高生长趋势
(平均值±标准偏差, $n=6$)

Figure 1 The rice seedling height with different substrates in 30 days(means±SD, $n=6$)

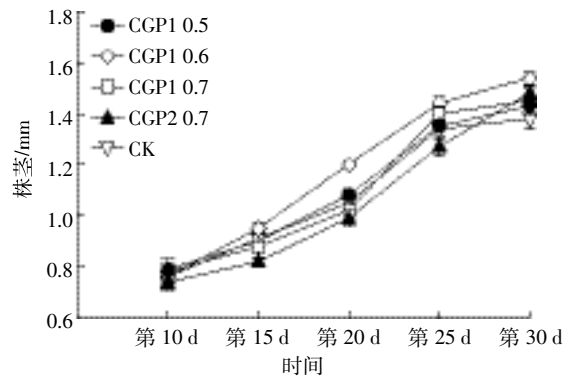


图 2 不同配比基质的秧苗株茎生长趋势
(平均值±标准偏差, $n=6$)

Figure 2 The rice seedling stem with different substrates in 30 days(means±SD, $n=6$)

存在显著性差异($P<0.05$),且株茎要比对照组粗,但试验组各处理间无显著性差异($P>0.05$)。通过株高和株茎可以看出常规处理组 CGP1 0.6 总体较好。

2.3.2 不同配比基质对秧苗生物量的影响

各个处理的秧苗生长一个周期 30 d 时,对其百

表 6 不同配比基质的秧苗 30 d 时生长指标对比
(平均值±标准偏差,n=6)

Table 6 Comparision of growth indicators of rice seedlings at 30 d with different substrates(means±SD, n=6)

处理	株高/cm	株茎/cm
CK	27.8±0.40a	1.4±0.042b
CGP1 0.5	28.9±0.56a	1.4±0.033ab
CGP1 0.6	27.9±0.44a	1.5±0.029a
CGP1 0.7	23.4±0.78c	1.5±0.049ab
CGP2 0.7	25.4±0.61b	1.5±0.036ab

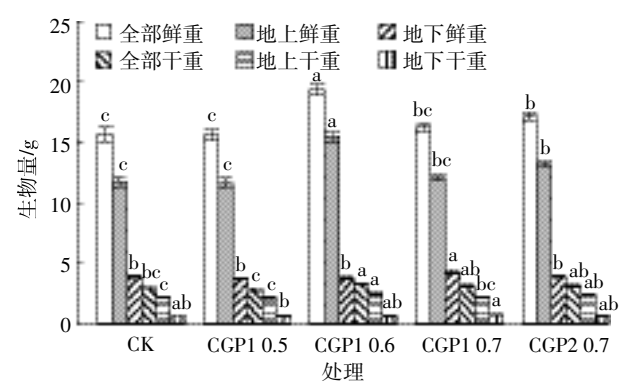


图 3 不同配比基质的百株秧苗的生物量
(平均值±标准偏差,n=3)

Figure 3 The biomass of hundred rice seedlings in different substrates (means±SD, n=3)

株生物量进行测量,结果见图 3。可以看出秧苗的干、鲜重为处理 CGP1 0.6>处理 CGP2 0.7>处理 CGP1 0.7>处理 CK>处理 CGP1 0.5,地上的干、鲜重明显高于地下的干、鲜重。地上部分处理 CGP1 0.6、CGP2 0.7 的干、鲜重较大。地下部分处理 CGP1 0.5 的干、鲜重较小,处理 CGP1 0.7 的干、鲜重较大。整体来看,常规处理组 CGP1 0.5 的生物量略低于对照组,其他处理均高于对照组,但常规处理组 CGP1 0.5 与对照组的生物量无显著性差异($P>0.05$)。

2.4 不同配比基质对秧苗根部机械能力的影响

通过图 4 可以看出常规处理组各处理间无显著性差异($P>0.05$),常规处理组 CGP1 0.5 和活化处理组 CGP2 0.7 与对照组存在显著性差异($P<0.05$)。通过图 5 可以看出在根茎方面,各个处理间无显著性差异($P>0.05$),试验组均好于对照组。

由图 6 可以看出,处理 CGP1 0.7 和 CGP2 0.7 的根数略多,处理 CGP1 0.5 的根数略少,试验组与对照组并无显著性差异($P>0.05$),在生根能力方面试验组之间无显著性差异($P>0.05$),且好于对照组。

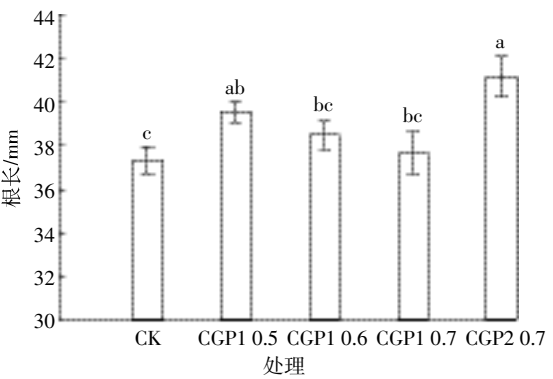


图 4 不同配比基质的秧苗根长(平均值±标准偏差,n=6)

Figure 4 The root length of rice seedlings in different substrates (means±SD, n=6)

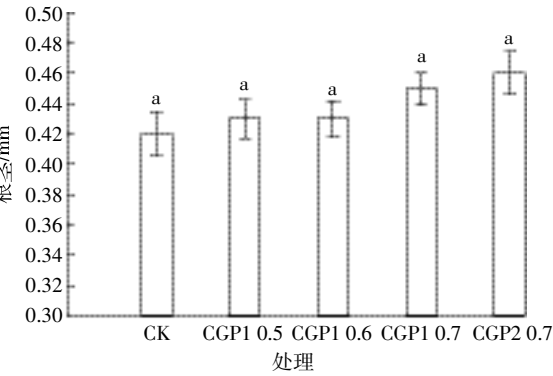


图 5 不同配比基质的秧苗根茎(平均值±标准偏差,n=6)

Figure 5 The rhizome of rice seedlings in different substrates (means±SD, n=6)

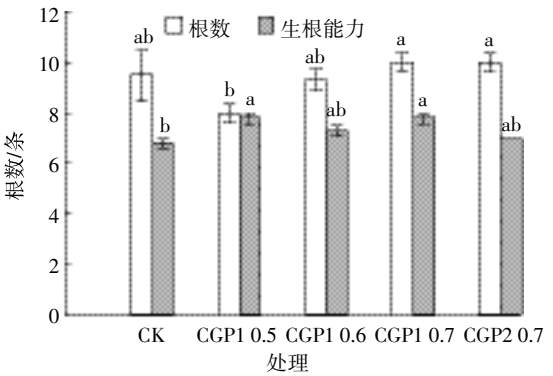


图 6 不同配比基质的秧苗根数和生根能力
(平均值±标准偏差,n=6)

Figure 6 The root number and rooting ability of rice seedlings in different substrates(means±SD, n=6)

3 讨论

本论文采用常规处理和活化处理的煤矸石与草炭混合配比不同容重的水稻育秧基质进行水稻育苗,主要从秧苗的出苗情况、生长情况和根部的机械能力

3个方面进行研究。

秧苗的出苗情况, 试验组要优于或等同于对照组, 试验组与对照组相比除了基质原料的不同外, 试验组的基质 pH 值、盐度和 EC 与对照组存在极显著性差异($P<0.01$), 这有可能是造成水稻秧苗出苗率、成活率高和叶龄期时间早的原因。而试验组中常规处理组的 CGP1 0.5 和 CGP1 0.6 要比常规处理组的 CGP1 0.7 和活化处理组的 CGP2 0.7 水稻秧苗出苗率、成活率高和叶龄期时间早, 那么在基质 pH 值相同的情况下造成此差距的原因有可能是基质的盐度和 EC, 处理 CGP1 0.5 和 CGP1 0.6 与处理 CGP1 0.7 和 CGP2 0.7 的盐度和 EC 存在显著性差异($P<0.05$), 基质的盐度和 EC 在一定的范围有利于提高秧苗的出苗率、成活率和提前叶龄期的时间, 而超过一定的范围就会起到抑制的作用。

秧苗的生长情况, 常规处理组中容重越小总孔隙度越大有利于株高的生长, 而株高最高的处理 CGP1 0.5 株茎略小, 可以看出如果株高越高可能会影响株茎的生长。而常规处理组与活化处理组相比, 在容重相同的情况下, 活化处理组 CGP2 0.7 总孔隙度和持水孔隙度较大更有利于株高的生长。从生物量来看, 常规处理组 CGP1 0.5 的生物量明显低于其他处理, 有可能是容重偏轻不利于水稻秧苗根部养分的吸收和传输^[21]。但常规处理组 CGP1 0.5 的生物量与对照组无显著性差异($P>0.05$), 说明已达到市售基质的标准。常规处理组 CGP1 0.7 的根部生物量较大, 而地上部分的生物量较小, 与活化处理组 CGP2 0.7 相比有可能是孔隙度较小有利于水稻根部生物量的积累。

根部的机械能力, 试验组基本达到或优于对照组水平。常规处理组中容重越小总孔隙度越大有利于根长度的增加, 但根茎就相对较细, 根数较少。在相同容重下或总孔隙度相同的情况下, 活化后的煤矸石配置的育苗基质处理 CGP2 0.7 持水孔隙度较大有利于根长度的增加, 根茎变粗和根数的增多。

从整体来看: 试验组可以替代对照组, 说明煤矸石作为水稻育苗基质的原料可行, 煤矸石基质可以替代市售基质。活化处理组 CGP2 0.7 的煤矸石用量达到 80%(体积比), 草炭的用量减少到 20%(体积比), 达到了我们减少草炭用量的目的, 但同时也面临着一定的问题, 对煤矸石进行活化经济成本较高。试验组中基质的最优组合为常规组的 CGP1 0.6, 但是其煤矸石的添加量较少为 38%(体积比), 草炭的添加量较多为 62%(体积比)。以煤矸石作为水稻育苗基质的主

要成分, 彻底取代草炭, 是我们下一步研究的重点。

4 结论

(1) 利用煤矸石进行水稻育苗可行, 可以作为水稻育苗基质的原料;

(2) 煤矸石被用于水稻育苗基质的原料过程中, 处理 CGP2 0.7 煤矸石的最大添加量达到 80%(体积比), 但煤矸石需要进行活化;

(3) 最优处理为 CGP1 0.6, 煤矸石不需活化, 添加量较少, 仅为 38%(体积比)。

参考文献:

- [1] 黄海洋. 稻米产业如何突围? 有“三驾马车”[J]. 种子科技, 2017, 35(4): 11-13.
HUANG Hai-yang. How does the rice industry go up? There are “troika”[J]. *Seed Science & Technology*, 2017, 35(4): 11-13. (in Chinese)
- [2] 周立三. 中国农业区划的理论与实践[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1993.
ZHOU Li-san. The theory and practice of agricultural regional regionalization in China[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1993. (in Chinese)
- [3] 宋鹏慧, 方玉凤, 王晓燕, 等. 不同有机物料育秧基质对水稻秧苗生长及养分积累的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(2): 98-102.
SONG Peng-hui, FANG Yu-feng, WANG Xiao-yan, et al. Effect of different organic materials substrate on rice seedling growth and nutrients accumulation[J]. *Soil and Fertilizer Science in China*, 2015(2): 98-102. (in Chinese)
- [4] 季相金, 何庆晖. 水稻育苗基质[J]. 新农业, 2014(19): 34.
JI Xiang-jin, HE Qing-hui. Rice seedling matrix[J]. *New Agricultural*, 2014(19): 34. (in Chinese)
- [5] 刘华招. 水稻育苗基质研究进展[J]. 现代化农业, 2012(10): 30-31.
LIU Hua-zhao. Research progress of rice seedling matrix[J]. *Modernizing Agriculture*, 2012(10): 30-31. (in Chinese)
- [6] 卫 星, 李贵雨, 吕 琳. 农林废弃物育苗基质的保水保肥效应[J]. 林业科学, 2015, 51(12): 26-34.
WEI Xing, LI Gui-yu, LÜ Lin. Water and nutrient preservation of agroforestry residues used as nursery matrix[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2015, 51(12): 26-34. (in Chinese)
- [7] 李天林, 沈 兵, 李红霞. 无土栽培中基质培选料的参考因素与发展趋势[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 1999, 3(3): 250-258.
LI Tian-lin, SHEN Bing, LI Hong-xia. Reference factors for selecting substrate components and their future trends[J]. *Journal of Shihezi University(Natural Science)*, 1999, 3(3): 250-258. (in Chinese)
- [8] 王 缙. 育苗基质研究综述[J]. 现代农业科技, 2009(16): 77.
WANG Ti. Research review of seedling matrix[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2009(16): 77. (in Chinese)
- [9] 甄 强, 郑 锋. 煤的伴生资源煤矸石的综合利用[J]. 自然杂志, 2015, 37(2): 121-128.
ZHEN Qiang, ZHENG Feng. Comprehensive utilization of coal gangue

- as an associated resource with coal[J]. *Chinese Journal of Nature*, 2015, 37(2):121-128. (in Chinese)
- [10] 郭文华, 赵金凤, 赵永超, 等. 煅烧煤矸石粒度对水泥水化性能的影响[J]. *新世纪水泥导报*, 2012, 18(1):21-23.
GUO Wen-hua, ZHAO Jin-feng, ZHAO Yong-chao, et al. The effect of coal gangue particle size on cement hydration performance[J]. *Cement Guide for New Epoch*, 2012, 18(1):21-23. (in Chinese)
- [11] 张庆玲. 用煤矸石研制有机复合肥料[J]. *煤炭加工与综合利用*, 1996(1):29-30.
ZHANG Qing-ling. Organic compound fertilizer been developed using gangue[J]. *Coal Processing & Comprehensive Utilization*, 1996(1):29-30. (in Chinese)
- [12] 胡笑轲, 武兴康, 王永元, 等. 育苗基质物理及化学性质的综述[J]. *广东化工*, 2011, 38(3):42-44.
HU Xiao-ke, WU Xing-kang, WANG Yong-yuan, et al. Substrates summary of physical and chemical properties[J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2011, 38(3):42-44. (in Chinese)
- [13] 吴 莎. 煤矸石基质土壤水分特性及生态效应试验研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2014.
WU Sha. Study on water characteristics and ecological effects of gangue matrix soil[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2014. (in Chinese)
- [14] 谢嘉霖, 刘荣华, 叶启芳, 等. 无土栽培基质电导率和 pH 值测定条件的研究[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(3):415-416.
XIE Jia-lin, LIU Rong-hua, YE Qi-fang, et al. Researches into media EC and pH determination conditions[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2006, 34(3):415-416. (in Chinese)
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
LU Ru-kun. Soil agricultural chemical analysis method[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000. (in Chinese)
- [16] 国家环境保护总局. GB15618—1995. 土壤环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
Ministry of Environmental Protection of The People's Republic of China. GB 15618—1995. Soil environmental quality standards[S]. Beijing: China Environmental Sciences Press, 1995. (in Chinese)
- [17] 张秀丽. 秸秆型育苗基质理化性质的研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 35(19):8967-8968.
ZHANG Xiu-li. Study on the physical and chemical properties of straw seedling[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 35(19):8967-8968. (in Chinese)
- [18] 王立柱. 水稻壮秧标准及培育壮秧的关键技术[J]. *牡丹江师范学院学报(自然科学版)*, 2008(1):36-37.
WANG Li-zhu. Key technologies of rice seedling standard and cultivating seedling seedling[J]. *Journal of Mudanjiang Normal University (Natural Science)*, 2008(1):36-37. (in Chinese)
- [19] 郑家奎, 袁柞廉, 阴国大, 等. 水稻苗期发根力的遗传研究[J]. *中国水稻科学*, 1996, 10(1):51-53.
ZHENG Jia-kui, YUAN Zuo-lian, YIN Guo-da, et al. Genetic studies on root growth ability in seedling stage of rice[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 1996, 10(1):51-53. (in Chinese)
- [20] 荆延德, 张志国. 栽培基质常用理化性质“一条龙”测定法[J]. *北方园艺*, 2002(3):18-19.
JING Yan-de, ZHANG Zhi-guo. The commonly used physical chemistry properties of the cultivated matrix "one-stop" method[J]. *Northern Horticulture*, 2002(3):18-19. (in Chinese)
- [21] 仲海洲. 利用废弃生物质开发水稻育秧基质及其应用效果研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
ZHONG Hai-zhou. Study on utilization of biomass waste to develop rice seedling substrate[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013. (in Chinese)