



基质对大豆芽苗菜生物学性状的影响与评价

张永芳¹, 王明明², 张睿¹, 张红利¹, 曲怡帆¹, 马育敏¹, 丁佳¹

(1. 山西大同大学 农学与生命科学学院/特色作物有机旱作大同市重点实验室, 山西 大同 037009; 2. 山西大同大学 机电工程学院, 山西 大同 037009)

摘要:为筛选适宜种植大豆芽苗菜的最佳基质,本研究以大豆品种中品 661 为材料,以草炭、蛭石、珍珠岩 3 种基质的单基质以及复配基质作为栽培基质,从而评价不同基质对大豆芽苗菜生物学性状的影响。结果表明:草炭基质(D2)栽培大豆芽苗菜,地上部鲜重显著高于园土(Y)栽培 29.44%;可溶性蛋白含量显著高于园土(Y)栽培 10.16%;脯氨酸含量显著高于园土(Y)栽培 262.50%。而草炭:蛭石:珍珠岩=1:1:1(F2)基质栽培的大豆芽苗菜地上部含水量显著高于园土(Y)栽培 5.47%,有利于提高芽苗菜的口感及柔嫩度。综上,草炭栽培基质(D2)是大豆芽苗菜最理想的栽培基质。

关键词:大豆芽苗菜;基质栽培;生物学性状

Effects and Evaluation of Substrate on Biological Characters of Soybean Sprouts

ZHANG Yongfang¹, WANG Mingming², ZHANG Rui¹, ZHANG Hongli¹, QU Yifan¹, MA Yumin¹, DING Jia¹

(1. College of Agriculture and Life Sciences/Key Laboratory of Organic Dry Farming for Special Crops in Datong City, Shanxi Datong University, Datong 037009, China; 2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Shanxi Datong University, Datong 037009, China)

Abstract: To select the optimal substrate for planting soybean sprouts and vegetables. Soybean variety Zhongpin 661 was used as experimental material, and vermiculite, peat and perlite were used as main matrix materials to evaluate the effects of different substrates on biological characteristics of sprouts. The results showed that the fresh weight of soybean sprouts and vegetables cultivated on peat substrate (D2) was significantly higher than that cultivated on garden soil (Y) by 29.44%. The soluble protein content was significantly higher than 10.16% in garden soil (Y) cultivation. The proline content was significantly higher than 262.50% in garden soil (Y) cultivation. The aboveground water content of soybean sprouts cultivated on a substrate of peat : vermiculite : perlite = 1 : 1 : 1 (F2) was significantly higher than that of garden soil (Y) cultivation by 5.47%, which is beneficial for improving the taste and tenderness of sprouts. In summary, peat cultivation medium (D2) is the most ideal cultivation medium for soybean sprouts and vegetables.

Keywords: soybean sprout; substrate culture; biological character

大豆作为重要的经济和油料作物,其种子生产的芽苗菜不仅营养价值丰富,而且兼具生长周期短、病虫害少、优质、保健、风味可口的特点^[1-3]。大豆芽苗菜对于提供廉价的膳食、美容、医药功能性材料发挥着重要的价值。传统种植芽苗菜的培养基质主要是清水,很容易因养分供应不足而限制大豆芽苗菜的生长,改变种植基质可以有效提高芽苗菜产量及品质。

有关大豆芽苗菜的种植技术,国内外已有一些研究报道。如生长调节剂^[4-5]、光照^[6]、元素及化合物^[7-8]对大豆芽苗菜营养成分及抗营养成分的影响。张宝成等^[9]研究表明 10%、20% 和 30% 蚓粪浸提液可有效提高大豆芽苗菜茎质量、类胡萝卜素含量、维生素 C 含量、可溶性蛋白、氨基酸含量。张红颖等^[10]分别以大豆、绿豆、红豆为研究对象,通过棉

花、珍珠岩、蛭石、纱布、菌糠、滤纸、报纸等 7 种基质培养芽苗菜,表明以蛭石为栽培基质最佳。基质对不同种子芽苗菜的生长和品质有重要影响,如张婧^[11]以不同配比的栽培基质处理紫苏、薄荷、藿香芽苗菜,认为紫苏芽苗菜最适宜生长的机制为珍珠岩:草炭土=1:1,薄荷芽苗菜最适宜生长的基质配比为珍珠岩:草炭土=1:1,薄荷芽苗菜最适宜生长的基质配比为珍珠岩:草炭土=1:3,这些基质可以有效提高以上芽苗菜可溶性糖、维生素 C、总黄酮的积累。张静等^[12]研究表明椰糠较脱脂棉、清水、播种纸、无纺布、泥炭更适合萝卜芽苗菜生产,对芽苗菜产量、可溶性蛋白含量、游离氨基酸含量有明显的促进效果。而有关不同基质对大豆芽苗菜栽培影响的研究鲜见报道。

本研究以草炭、蛭石、珍珠岩 3 种基质的单基质

收稿日期:2023-11-20

基金项目:山西省高等学校科技创新计划项目(2022I459,2021I384);山西大同大学生创新创业计划项目(XDC2022188,XDC2021252);山西大同大学产学研项目(2022CXY11);山西大同大学一般项目(2020K20)。

第一作者:张永芳(1982—),女,博士,副教授,主要从事植物学研究。E-mail:zyf_208@163.com。

以及复配基质作为栽培基质,研究其对大豆芽苗菜生长指标与生理指标的影响,以期高效快速生产优质大豆芽苗菜,为大豆芽苗菜的生产和开发利用提供一定的技术支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为中品 661。该品种生活力强,发芽率高达 90%,蛋白质和脂肪含量合计高达 63.16%,是种植芽苗菜的优良品种。

供试园土取自山西大同大学蔬菜基地,腐殖质丰富,团粒结构较好。蛭石为河北灵寿县生产的 3 mm 园艺栽培用蛭石,高温下易膨胀、质轻,通气性以及保水性好,离子交换能力强,属于无毒、无机的矿物质基质。但因其见水易碎,使用次数有限,生产上常与其他基质混配使用。草炭土为河北扬百生物科技有限公司生产的 1~6 mm 草炭营养土,珍珠岩为河南信阳四通公司生产的型号为 12~16 目珍珠岩,具有保肥、保水、无菌、透气、防止植物倒伏,利于植物根系生长的特点,因容重小,浇水后容易漂浮在基质表面,所以生产上一般与其他基质混配使用。

1.2 试验设计

本试验所用栽培基质为单一基质和复合基质,共 5 种处理,单一基质包括园土(Y)、蛭石(D1)、草炭(D2);复合基质包括草炭:蛭石=1:1(F1);草炭:蛭石:珍珠岩=1:1:1(F2)。5 种处理分别使用 1 个 72 孔穴盘装填基质,挑选成熟饱满、大小均匀、无破损的大豆种子,于黑暗下浸种后催芽,待种子充分吸水,种皮充分膨胀后,选择大小及生活力基本一致的种子分别播种于穴盘内。于 25℃ 恒温室内遮光培养,后见弱光培养,6 d 后大豆芽苗菜呈翠绿色,测定生长和生理指标,每个处理重复 3 次。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 生长指标 测量株高即植株基部到最长叶尖端的距离,测量茎粗即距地面 2 cm 处茎的直径。由根茎处剪断,将植株分为地上部与根系,分别称取鲜重。然后在烘箱中 105℃ 杀青 20 min,降温到 70℃ 烘干至恒重,称取干重。计算相对含水量并计算壮苗指数:壮苗指数=(茎粗/株高+根干重/地上部干重)×全株干重。

1.3.2 生理指标 采用考马斯亮蓝染色法^[13]测定可溶性蛋白含量,采用赵会杰的方法^[14]测定抗坏血

酸含量,采用水浴浸提法^[15]测定脯氨酸含量,采用蒽酮比色法^[15]测定可溶性糖含量。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 和 IBM SPSS Statistics 21 软件进行数据分析,采用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同基质对大豆芽苗菜生长的影响

由表 1 可知,在不同栽培基质的处理下,4 种栽培基质均可使大豆芽苗菜正常生长,且大豆芽苗菜的株高、茎粗、地上部干重、根冠比差异均不显著。地上部鲜重方面,除草炭:蛭石=1:1(F1)基质外其余基质大豆芽苗菜地上部鲜重均差异显著。其中以草炭(D2)作为单一基质栽培时地上部鲜重最高,质量为 1.36 g,高于园土(Y)栽培 29.44%,说明草炭:蛭石=1:1(F1)基质栽培可增加大豆芽苗菜地上部鲜重;次之为草炭:蛭石=1:1(F1)基质栽培,质量为 1.10 g,与园土(Y)相比提高 4.76%,而其它两种基质(D1 和 F2)均低于园土(Y)。根系干重方面,除草炭基质(D2)外其余栽培基质均较园土栽培根系干重显著降低,达到 50% 左右,而草炭基质栽培时,大豆根系干重达 0.03 g,与园土栽培(Y)相当,可有效增加大豆芽苗菜根系干重。

地上部含水量方面,基质草炭:蛭石:珍珠岩=1:1:1(F2)栽培的大豆芽苗菜在 4 种基质中地上部含量最高,比园土(Y)栽培的地上部含水量高近 4.67%,且差异极显著,其余基质与园土(Y)差异显著,其中草炭:蛭石=1:1(F1)栽培的大豆芽苗菜地上部含水量为 89.00%,草炭(D2)基质栽培的大豆芽苗菜地上部含水量为 88.67%。

根系含水量方面,草炭:蛭石=1:1(F1)作为基质栽培的大豆芽苗菜最高为 92.00%,比园土(Y)栽培的根系含水量高近 15%,且差异极其显著,其余基质与园土差异均显著,其中,草炭:蛭石:珍珠岩=1:1:1(F2)作为基质栽培的大豆芽苗菜根系含水量也较高,为 87.33%,比园土栽培的大豆芽苗菜高 5.47%,其余基质栽培的大豆芽苗菜根系含水量较园土(Y)低。

壮苗指数方面,对照园土(Y)壮苗指数最高为 0.054,其次为草炭(D2)作为基质栽培的大豆芽苗菜,其壮苗指数为 0.04,低于园土(Y)0.02,且与园土差异显著,其余基质均与园土(Y)基质栽培的大豆芽苗菜差异极显著。壮苗指数可衡量秧苗素质,

数值越大表示秧苗的质量越好。

最好,而草炭:蛭石:珍珠岩=1:1:1(F2)基质栽培可提高大豆芽苗菜地上部含水量、根系含水量,秧苗素质有所欠缺。

以上结果说明,在4种栽培基质中,草炭(D2)基质栽培的大豆芽苗菜壮苗指数最高,芽苗菜素质

表 1 不同基质对大豆芽苗菜植株生长指标的影响

Table 1 Effects of different substrates on growth index of soybean sprout

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/cm	地上部鲜重 Aboveground fresh weight/g	根系鲜重 Root fresh weight/g	地上部干重 Aboveground dry weight/g
Y	18.13 ± 3.166 a	0.27 ± 0.036 a	1.06 ± 0.258 ab	0.13 ± 0.016 a	0.15 ± 0.021 a
D1	22.13 ± 2.074 a	0.20 ± 0.015 a	0.80 ± 0.030 b	0.08 ± 0.041 a	0.09 ± 0.023 a
D2	21.93 ± 5.908 a	0.22 ± 0.020 a	1.37 ± 0.239 a	0.10 ± 0.015 a	0.15 ± 0.028 a
F1	15.60 ± 4.518 a	0.25 ± 0.046 a	1.10 ± 0.159 ab	0.42 ± 0.490 a	0.12 ± 0.044 a
F2	19.90 ± 6.092 a	0.26 ± 0.081 a	0.91 ± 0.217 b	0.11 ± 0.022 a	0.09 ± 0.037 a

处理 Treatment	根系干重 Root dry weight/g	地上部含水量 Aboveground water content/%	根系含水量 Water content of root part/%	根冠比 Root and shoot ratio	壮苗指数 Seedling index
Y	0.030 ± 0.004 a	85.33 ± 1.528 b	77.00 ± 1.000 bc	0.13 ± 0.021 a	0.05 ± 0.006 a
D1	0.022 ± 0.004 b	88.33 ± 2.309 ab	73.67 ± 8.145 c	0.08 ± 0.049 a	0.03 ± 0.006 c
D2	0.033 ± 0.005 a	88.67 ± 1.155 ab	73.00 ± 1.000 c	0.07 ± 0.000 a	0.04 ± 0.006 ab
F1	0.010 ± 0.005 b	89.00 ± 2.646 ab	92.00 ± 8.888 a	0.37 ± 0.419 a	0.03 ± 0.000 c
F2	0.020 ± 0.004 b	90.00 ± 1.732 a	87.33 ± 1.528 ab	0.13 ± 0.006 a	0.03 ± 0.006 bc

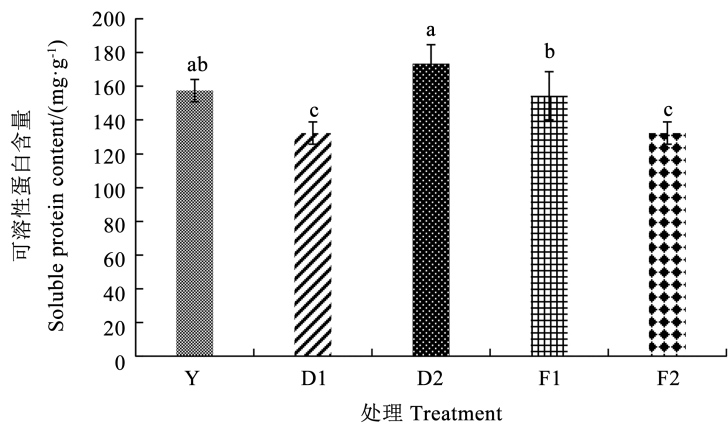
注:Y. 园土栽培;D1. 蛭石基质栽培;D2. 草炭基质栽培;F1. 草炭:蛭石=1:1复合基质栽培;F2. 草炭:蛭石:珍珠岩=1:1:1复合基质栽培。同列中不同小写字母表示基质间差异显著($P<0.05$),下表同。

Note: Y. Garden soil cultivation; D1. Vermiculite substrate culture; D2. Culture in turf matrix; F1. Turf : vermiculite = 1:1 composite substrate cultivation; F2. Turf : vermiculite : perlite = 1:1:1 composite substrate cultivation. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between matrices ($P<0.05$), as shown in the following table.

2.2 不同基质对芽苗菜可溶性蛋白质含量的影响

如图1所示,不同基质栽培的大豆芽苗菜可溶性蛋白质含量不同。草炭(D2)基质栽培的大豆芽苗菜可溶性蛋白质含量最高为173.46 mg·g⁻¹,且显著高于其它基质栽培的大豆芽苗菜可溶性蛋白质含量,园土(Y)基质栽培的大豆芽苗菜可溶性蛋白含量次之为157.46 mg·g⁻¹,草炭(D2)栽培比园土(Y)栽培高16.00 mg·g⁻¹,提高10.16%。以草炭:蛭石=1:1(F1)为混合基质栽培的大豆芽苗菜

可溶性蛋白质含量与园土(Y)栽培相比差异显著,而以蛭石(D1)作为单一基质栽培的大豆芽苗菜和以草炭:蛭石:珍珠岩=1:1:1(F2)为混合基质栽培的大豆芽苗菜可溶性蛋白质含量低于园土(Y)栽培约25.00 mg·g⁻¹,均降低15.88%,差异显著。可溶性蛋白质是植物体内很多参与生理代谢的酶类组成部分,与芽苗菜的生长密切相关。结果表明,草炭基质(D2)可显著增加大豆芽苗菜可溶性蛋白质的含量,品质较高。



注:Y. 园土栽培;D1. 蛭石基质栽培;D2. 草炭基质栽培;F1. 草炭:蛭石 = 1:1 复合基质栽培;F2. 草炭:蛭石:珍珠岩 = 1:1:1 复合基质栽培。不同小写字母差异显著 ($P < 0.05$), 下图同。

Note: Y. Garden soil cultivation; D1. Vermiculite substrate culture; D2. Culture in turf matrix; F1. Turf : vermiculite = 1 : 1 composite substrate cultivation; F2. Turf : vermiculite : perlite = 1 : 1 : 1 composite substrate cultivation. Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$), the same in the figures below.

图 1 不同基质对大豆芽苗菜可溶性蛋白质含量的影响

Fig. 1 Effects of different substrates on soluble protein content in soybean sprouts

2.3 不同基质对大豆芽苗菜抗坏血酸含量的影响

如图 2 所示,不同基质栽培的大豆芽苗菜抗坏血酸含量差异不显著。其中以草炭:蛭石 = 1:1 (F1) 复合基质栽培的大豆芽苗菜抗坏血酸含量最高,为 13.78 mg·g⁻¹,比园土(Y)栽培含量高 3.60 mg·g⁻¹,提高 35.41%;以草炭(D2)作为基质栽培的大豆芽

苗菜次之,比园土(Y)栽培的大豆芽苗菜抗坏血酸含量高 1.22 mg·g⁻¹,提高 11.94%;以蛭石(D1)作为单一基质栽培的大豆芽苗菜和以草炭:蛭石:珍珠岩 = 1:1:1 (F2) 为混合基质栽培的大豆芽苗菜抗坏血酸含量均低于园土(Y)栽培 6.87% 以上。

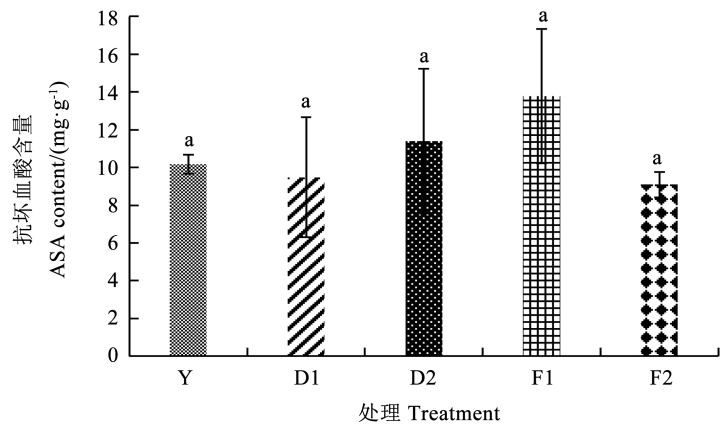


图 2 不同基质对大豆芽苗菜抗坏血酸含量的影响

Fig. 2 Effects of different substrates on ascorbic acid content in soybean sprouts

2.4 不同基质对大豆芽苗菜脯氨酸含量的影响

如图 3 所示,不同基质栽培时大豆芽苗菜脯氨酸含量不同。草炭(D2)基质栽培的大豆芽苗菜脯氨酸含量最高,为 0.03%,显著高于园土(Y)栽培。其它基质栽培(D1、F1 和 F2)与园土(Y)栽培相比

差异不显著。植物体内脯氨酸含量在一定程度上反映了植物的抗逆性。脯氨酸的积累能通过多种途径提高植物抗逆能力^[16]。以上结果说明以草炭(D2)为基质栽培时有助于提高大豆芽苗菜的抗逆性。

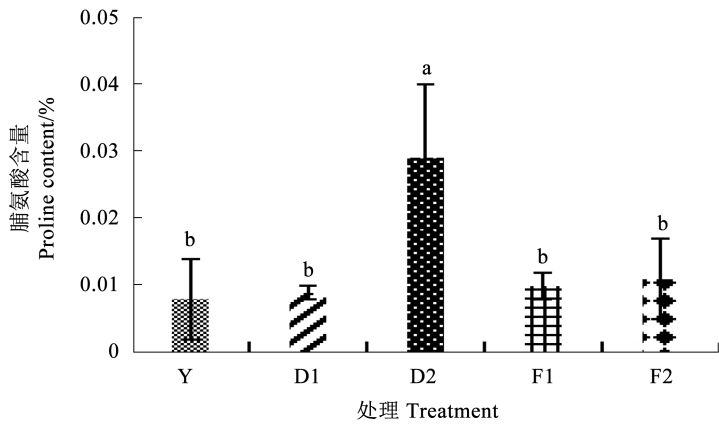


图3 不同基质对大豆芽苗菜脯氨酸含量的影响
Fig.3 Effects of different substrates on proline content in soybean sprouts

2.5 不同基质对大豆芽苗菜可溶性糖含量的影响

如图4所示,大豆芽苗菜可溶性糖含量最高的栽培基质是蛭石(D1),为0.14%,园土(Y)栽培次之,为0.11%,其余3种基质栽培(D2、F1和F2)的

大豆芽苗菜可溶性糖含量均低于园土(Y)栽培。结果表明,不同基质栽培对大豆芽苗菜可溶性糖含量影响不显著。

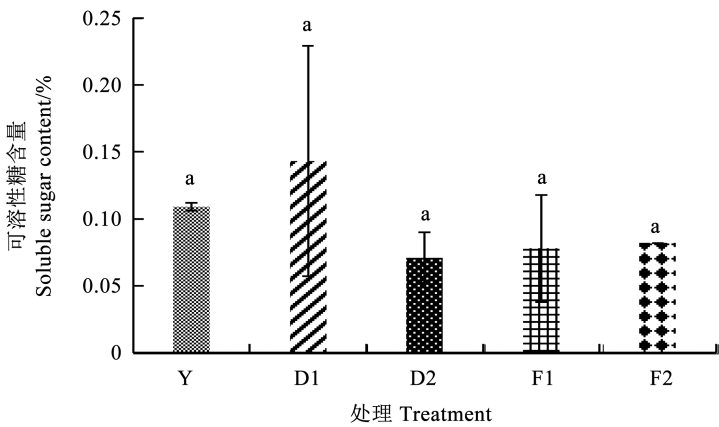


图4 不同基质对大豆芽苗菜可溶性糖含量的影响
Fig.4 Effects of different substrates on soluble sugar content in soybean sprouts

2.6 大豆芽苗菜生长生理指标相关分析

由表2可知,株高与根冠比、根系鲜重显著负相关,相关系数分别为-0.90和-0.89。壮苗指数与根系干重极显著正相关,相关系数为0.96,与园土(Y)栽培和草炭基质(D2)栽培的壮苗指数、根系干

重显著高于其它3种基质的分析结果一致。根冠比与根系鲜重显著正相关,相关系数为0.99,可溶性蛋白含量与地上部鲜重极显著正相关,相关系数为0.97,与草炭基质(D2)的可溶性蛋白含量和地上部鲜重显著高于其它栽培基质的分析结果一致。

表 2 大豆芽苗菜植株生长生理指标的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of plant growth physiological indexes in soybean sprout vegetable

生理指标 Physiological indexes	根冠比 Root shoot ratio	壮苗指数 Seedling index	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	根系 干重 Root dry weight	根系鲜重 Root fresh weight	地上部 鲜重 Above ground fresh weight	地上部 干重 Above ground dry weight	可溶性 蛋白含量 Soluble protein content	抗坏血 酸含量 Ascorbic acid content	脯氨酸 含量 Proline content	可溶性 糖含量 Soluble sugar content	地上部 含水量 Above ground water content
壮苗指数 Seedling index	-0.31												
株高 Plant height	-0.90 *	-0.07											
茎粗 Stem diameter	0.42	0.50	-0.75										
根系干重 Root dry weight	-0.48	0.96 **	0.16	0.24									
根系鲜重 Root fresh weight	0.99 *	-0.25	-0.89 *	0.40	-0.44								
地上部鲜重 Aboveground fresh weight	0.07	0.51	-0.07	0.09	0.54	0.20							
地上部干重 Aboveground dry weight	-0.05	0.85	-0.16	0.28	0.86	0.06	0.81						
可溶性蛋白含量 Soluble protein content	0.06	0.63	-0.12	0.13	0.67	0.19	0.97 **	0.93 *					
抗坏血酸含量 Ascorbic acid content	0.81	-0.09	-0.65	0.16	-0.15	0.88 *	0.58	0.38	0.57				
脯氨酸含量 Proline content	-0.36	0.23	0.48	-0.35	0.36	-0.23	0.81	0.48	0.69	0.19			
可溶性糖含量 Soluble sugar content	-0.35	-0.20	0.34	-0.45	-0.06	-0.43	-0.71	-0.34	-0.55	-0.51	-0.55		
地上部含水量 Aboveground water content	0.18	-0.75	0.16	-0.28	-0.76	0.16	-0.09	-0.64	-0.33	0.09	0.25	-0.40	
根系含水量 Root water content	0.83	-0.38	-0.78	0.59	-0.61	0.79	-0.15	-0.36	-0.25	0.46	-0.41	-0.48	0.45

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关, ** 表示在 0.01 水平上显著相关。
Note: * indicates significant correlation at the 0.05 level and ** indicates significant correlation at the 0.01 level.

3 讨论

本研究所用大豆品种中品 661,由中国农业科学院作物品种资源研究所选育,广谱性高、适应性广,可在北方春大豆区春播,在云南德宏、丽江、西双版纳地区冬种表现也较好,在我国中部地区可夏播。因此,以中品 661 作为种质材料研究大豆芽苗菜适宜基质。

本研究分析了 4 种不同基质栽培(蛭石、草炭、草炭:蛭石=1:1、草炭:蛭石:珍珠岩=1:1:1)与园土栽培相比对大豆芽苗菜生长的影响。结果表明不同基质对芽苗菜生长、生理指标的影响存在明显差异。其中以草炭作为单一基质栽培时,地上部鲜重、根系干重、壮苗指数、可溶性蛋白含量、抗坏血酸含量、脯氨酸含量均较高,更适宜大豆芽苗菜生长和利用。地上

部鲜重是芽苗菜产量的重要指标之一,壮苗指数与秧苗素质和抗逆性密切相关,壮苗指数越高,秧苗抗逆性越强,素质越好。可溶性蛋白作为重要的渗透调节物质和营养物质,是芽苗菜重要的品质和营养指标之一,也是酶组成及代谢调控的重要部分,对于细胞保水性以及生物膜的保护、抗衰老、抗病有积极作用。含量越高,营养品质越好^[17]。可能由于草炭属于有机基质,其营养成分丰富,可促进大豆芽苗菜生长,其产量也较高。蛭石属于硅质矿物基质,作为单一基质栽培大豆芽苗菜时,除了株高、可溶性糖含量、根系干重较其他基质较高外,其余生长及生理指标均较低,说明蛭石尽管可以保水、保肥、保温,但相比草炭无法保证更多营养物质的吸收,宜和其他基质复配使用。本研究与张静^[12]和聂书明等^[18]的研究结果一致。

本研究也证明复配基质中 F1(草炭:蛭石 = 1:1)栽培的大豆芽苗菜明显在地上部干重、根系含水量、可溶性糖含量方面较单一蛭石基质存在显著或极显著差异。说明草炭可以弥补蛭石有机成分不足的缺陷。3种复配基质 F2(草炭:蛭石:珍珠岩 = 1:1:1)作栽培基质时,大豆芽苗菜的地上部含水量和根系含水量增高显著,说明有利于提升芽苗菜的口感。前人研究表明复配基质配与不同其基质相比,理化性质如 pH 值、有机质含量、总孔隙度、通气孔隙度、持水孔隙度、气水比等也有差异,从而导致芽苗菜的生长、生理指标的差异。本研究表明基质数量及配比的不同,同样导致芽苗菜的生长和生理指标产生差异。

4 结论

研究表明草炭栽培基质是栽培大豆芽苗菜最理想的栽培基质,不仅生长状况好、芽苗素质高,而且营养品质高、抗逆性强。若在生产中追求芽苗的品质,提高可溶性蛋白含量,可以选择草炭作为大豆芽苗菜的栽培基质。若追求口感爽脆可选择草炭:蛭石:珍珠岩 = 1:1:1作栽培基质。研究结果可为大豆芽苗菜人工基质栽培及基质选择提供一定的技术支撑和理论依据。

参考文献

[1] SHI H, NAM P K, MA Y. Comprehensive profiling of isoflavones, phytosterols, tocopherols, minerals, crude protein, lipid, and sugar during soybean (*Glycine max*) germination[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(8): 4970-4976.

[2] GU E J, KIM D W, JANG G J, et al. Mass-based metabolomic analysis of soybean sprouts during germination [J]. Food Chemistry, 2017, 217: 311-319.

[3] DOBLADO R, FRÍAS J, VIDAL-VALVERDE C. Changes in vitamin C content and antioxidant capacity of raw and germinated cowpea (*Vigna sinensis* var. carilla) seeds induced by high pressure treatment[J]. Food Chemistry, 2007, 101(3): 918-923.

[4] YANG R, JIANG Y, XIU L, et al. Effect of chitosan pre-soaking on the growth and quality of yellow soybean sprouts[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(4): 1596-1603.

[5] 王冕,丁羽萱,王尧,等. 乙烯利对大豆芽菜生长代谢和酚类物质合成的影响[J]. 南京农业大学学报, 2021, 44(2): 359-365. (WANG M, DING Y X, WANG Y, et al. Effect of ethephon on growth and phenolic compounds synthesis of soybean sprouts[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2021, 44(2): 359-365.)

[6] 李娜. 蓝光诱导大豆芽苗菜黄酮类化合物合成机理的初步研究[D]. 南京:南京农业大学, 2017. (LI N. Primary mechanisms of blue light mediate the synthesis of flavonoids in soybean sprouts[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017.)

[7] 宋娇娇,张红,杨润强,等. 富硒大豆芽不同部位与大分子中硒的分布[J]. 江南大学学报(自然科学版), 2011, 10(3): 323-327. (SONG J J, ZHANG H, YANG R Q, et al. Selenium

distribution in different parts and macromolecule of selenium-enriched soybean sprouts [J]. Journal of Jiangnan University (Natural Science Edition), 2011, 10(3): 323-327.)

[8] HA M C, IM D Y, PARK H S, et al. Seed treatment with illite enhanced yield and nutritional value of soybean sprouts [J]. Molecules, 2022, 27(4): 1152.

[9] 张宝成,黄小桐,曾钢,等. 蚓粪浸提液对芽苗菜品质影响初探[J]. 遵义师范学院学报, 2022, 24(2): 99-102. (ZHANG B C, HUANG X T, ZENG G, et al. Preliminary study on the effect of vermicompost extract on the quality of soybean sprouts [J]. Journal of Zunyi Normal University, 2022, 24(2): 99-102.)

[10] 张红颖,陈启永,王冬雪,等. 不同栽培基质对豆类芽苗菜产量和品质的影响 [J]. 天津农林科技, 2018(3): 8-9. (ZHANG H Y, CHEN Q Y, WANG D X, et al. Effects of different substrates on the yield and quality of bean sprout[J]. Science and Technology of Tianjin Agriculture and Forestry, 2018(3): 8-9.)

[11] 张婧. 栽培措施对三种药食兼用类芽苗菜生长和品质的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2022. (ZHANG J. Effects of cultivation measures on growth and quality of three medicinal and edible sprouts [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2022.)

[12] 张静,薛芾,卢燕,等. 不同基质对萝卜芽苗菜生长及营养品质的影响 [J]. 现代农业科技, 2020(19): 66-68, 75. (ZHANG J, XUE X, LU Y, et al. Effects of different substrates on growth and nutritional quality of radish sprouts[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020(19): 66-68, 75.)

[13] 王孝平,邢树礼. 考马斯亮蓝法测定蛋白含量的研究[J]. 天津化工, 2009, 23(3): 40-42. (WANG X P, XING S L. Determination of protein quantitation using the method of coomassie brilliant blue[J]. Tianjin Chemical Industry, 2009, 23(3): 40-42.)

[14] 赵会杰. 抗坏血酸含量及抗坏血酸过氧化物酶活性的测定 [M]//中国科学院上海植物生理研究所、上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南北京: 科学出版社, 1999: 315-316. (ZHAO H J. Determination of ascorbic acid content and ascorbic acid peroxidase activity[M]// Shanghai Institute of Plant Physiology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai Society of Plant Physiology. Guidelines for Modern Plant Physiology Experiments, Beijing: Science Press, 1999: 315-316.)

[15] 宗学风,王三根. 植物生理研究技术[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2011. (ZONG X F, WANG S G. Research technology of plant physiology [M]. Chongqing: Southwest China Normal University Press, 2011.)

[16] 王宝增. 脯氨酸与植物的抗逆性[J]. 生物学教学, 2011, 36(11): 4-5. (WANG B Z. Proline and plant stress resistance[J]. Biology Teaching, 2011, 36(11): 4-5.)

[17] 徐诚,轩正英,张娟,等. 以蛭石为主的复配基质对黄瓜育苗的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(20): 148-154. (XU C, XUAN Z Y, ZHANG J, et al. Influence of mixed substrate based on vermiculite on cucumber seedling [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(20): 148-154.)

[18] 聂书明,杜中平. 不同基质配方对番茄果实品质及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(16): 149-152. (NIE S M, DU Z P. Effects of different substrate formulas on fruit quality and yield of tomato[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(16): 149-152.)