

浸种与光照时间对蚕豆芽苗菜生长与品质的影响

苎淑敏 陈茗 赵天瑶 庞肖杰 康玉凡*

(中国农业大学 农学院,北京 100193)

摘要 为确定适宜蚕豆芽苗菜生产的浸种和光照时间,以小蚕豆品种‘监利’为材料,设置不同浸种时间(12、16、20、24和28 h)和光照时间(8、9、10、11和12 h/d),分析对蚕豆芽苗菜生长指标和营养指标的影响。结果显示:随浸种时间增加,蚕豆芽苗菜苗长、茎鲜重和可食率均增加;浸种16 h时,蚕豆芽苗菜的生长指标和可溶性蛋白含量均显著高于12 h;除16 h外,其他浸种时间的左旋多巴含量均显著<12 h。随光照时间延长,蚕豆芽苗菜的生长显著变慢,在光照时间为9 h/d时,左旋多巴含量显著高于8 h/d,且与其他处理并无显著差异;可溶性蛋白和可溶性糖均在9 h/d光照时间时达到最优含量。以左旋多巴含量为主要指标,兼顾营养和生长指标,蚕豆芽苗菜生产的最适浸种和光照时间为浸种时间16 h,光照时间9 h/d。

关键词 蚕豆芽苗菜; 浸种时间; 光照时间; 左旋多巴; 生长; 品质

中图分类号 S562

文章编号 1007-4333(2019)10-0001-09

文献标志码 A

Effect of soaking and illumination time on the growth and quality of fava bean sprouts

CHANG Shumin, CHEN Ming, ZHAO Tianyao, PANG Xiaojie, KANG Yufan*

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract To determine suitable soaking and illumination time for the production of fava bean sprouts, the influence of different soaking time (12, 16, 20, 24, 28 h) and illumination time (8, 9, 10, 11, 12 h/d) on the growth and quality of fava bean sprouts were analyzed in this study. The results showed that the seedling length, stem fresh weight and edible rate of fava bean sprouts increased with the soaking time. After 16 h of seed soaking, the growth indexes and soluble protein content of fava bean sprouts were significantly higher than those of 12 h. Except for 16 h, L-DOPA content was significantly less than 12 h in all the other soaking time. With the extension of illumination time, the growth of fava bean sprouts slowed down significantly. When the illumination time was 9 h/d, the L-DOPA content was significantly higher than that of 8 h/d, and there was no significant difference with other treatments. Soluble protein and sugar reached the optimal content at 9 h/d illumination time. The L-DOPA content was taken as the main index, and both nutrition and growth indexes were taken into account. The optimum soaking time and illumination time for fava bean sprouts production were 16 h and 9 h/d, respectively.

Keywords fava bean sprout; soaking time; illumination time; L-DOPA; growth; quality

蚕豆是一种优质的粮食、蔬菜和绿肥作物,具有极高的经济价值,我国栽培蚕豆品种广泛,种植面积辽阔,深受中国西部以及经济欠发达地区农民的喜爱。左旋多巴(L-DOPA)在动物体内是合成儿茶酚

胺类激素、神经递质(如多巴胺)以及黑色素的前体,由于服用后能增加脑中多巴胺来调节神经递质平衡可用于治疗帕金森病^[1]。帕金森病(Parkinson's disease, PD),是一种常发生在中老年人群中的一

收稿日期: 2018-11-22

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-08)

第一作者: 苎淑敏, 硕士研究生, E-mail: changsm@cau.edu.cn

通讯作者: 康玉凡, 教授, 主要从事种子生物学及豆类芽菜理论与技术研究, E-mail: yfkang@cau.edu.cn

种神经系统变性疾病。多巴胺和乙酰胆碱都是动物体内重要的神经递质,当脑中这两种递质的平衡水平发生失调,就会导致人体发生静止性震颤、运动障碍等症状,其并发症直接威胁着老年人的身心健康。此外,前人研究还发现左旋多巴具有治疗弱视^[2]等其他药用价值。左旋多巴广泛存在于蚕豆(*Fava bean*)和黎豆(*Mucuna*)等豆科植物中。Cassani等^[3]调查研究发现,相同剂量下,黎豆提取物相比于合成的左旋多巴+多巴脱羧酶抑制剂(卡比多巴或苄丝肼)混合药物对帕金森病的临床效益低,但引起的副作用小,更有益于治疗帕金森病。

蚕豆芽苗菜富含蛋白质、碳水化合物、维生素和矿物质,还含有一些有利于调节神经组织的物质(钙、锌和磷脂等)以及增强记忆力的胆碱,具有极高的食用和药用价值。Daxenbichler等^[4]从多种植物种子中筛选高L-DOPA含量的资源,结果表明,蚕豆中富含L-DOPA。Goyoaga等^[5]研究结果表明:蚕豆发芽2 d后,L-DOPA含量显著增加,发芽9 d后含量达最大值,在2个不同蚕豆品种的胚轴中,其含量分别为73.8和77.4 mg/g。曹奕鸯等^[6]研究发现,蚕豆中的左旋多巴含量在发芽过程中先降低、后升高;不同部位含量由高到低表现为苗>根>籽粒。

虽然我国蚕豆产量大,但在加工利用方面还比较欠缺。随着食品安全越来越受到重视,人们对芽苗菜的营养品质提出了更高的要求。目前,对于浸种和光照时间对蚕豆芽苗菜生长和品质的影响的研究较少,特别是对左旋多巴含量的影响研究鲜有报道。本研究以小蚕豆品种‘监利’为试材,测定蚕豆芽苗菜的生长和营养指标,确定最佳的兼顾蚕豆芽苗菜生长、营养品质和左旋多巴含量的生产条件,旨在为工厂规范化生产蚕豆芽苗菜提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

本研究选取湖北农科院的小蚕豆品种‘监利’作为试验材料。

1.2 试验方法

1.2.1 种子处理

用浓度为0.1%的高锰酸钾溶液浸泡蚕豆种子10 min,进行消毒,然后用蒸馏水冲洗3遍。

1.2.2 不同浸种时间处理

随机挑选蚕豆种子,每个处理取100粒种子。

种子处理后,在室温20℃条件下,分别浸泡种子12、16、20、24和28 h。然后将种子均匀摆放到发芽盘中,盖上一层湿润的纱布保湿和避光,在20℃、相对湿度90%、黑暗下恒温培养,每天进行2~3次淋水。当芽长至1~2 cm时,在光照时间为8 h/d的光照条件下培养,在第9天采收。

1.2.3 不同光照时间处理

随机挑选蚕豆种子,每个处理取100粒种子。种子处理后,在20℃条件下,浸泡种子16 h,第8小时换水。然后将种子均匀摆放到发芽盘中,盖上一层湿润的纱布保湿、避光,在20℃、相对湿度90%、黑暗条件下恒温培养,每天淋水2~3次。当芽长长至1~2 cm时,分别在光照时间为8、9、10、11和12 h/d的条件下培养,在第9天采收。

1.2.4 生长指标测定

苗长采用五点法取样,每个点取3株,用电子游标卡尺测量,以cm表示。

茎鲜重,g,万分之一天平称量。

可食率=茎叶鲜重/全株鲜重×100%

1.2.5 营养指标测定

发芽蚕豆的左旋多巴(L-DOPA)提取和测定参考曹奕鸯等^[6]的方法,采用干样进行测定。可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝G-250法^[7];可溶性糖含量测定采用苯酚法^[7];维生素C含量测定采用二甲苯萃取比色法^[7]。以上3种指标均采用鲜样进行测定。

1.2.6 统计分析

用Microsoft office Excel 2016整理与处理数据,用IBM SPSS Statistics 20进行方差分析、多重比较(Duncan)和相关性分析(Pearson)。

2 结果与分析

2.1 浸种时间对蚕豆芽苗菜生长和品质的影响

2.1.1 浸种时间对蚕豆芽苗菜生长的影响

图1可知,浸种时间在12~28 h时,蚕豆芽苗菜苗长、茎鲜重和可食率均存在显著差异。

蚕豆芽苗菜苗长随浸种时间的延长而增加。浸种时间为12 h时苗长最短,为3.26 cm;浸种时间为16 h时,苗长为6.20 cm,比12 h时增长90.18%,影响较大;浸种时间为28 h时,苗长最长,为8.11 cm,比12 h时增长1.5倍。

蚕豆芽苗菜的茎鲜重随着浸种时间的延长而增

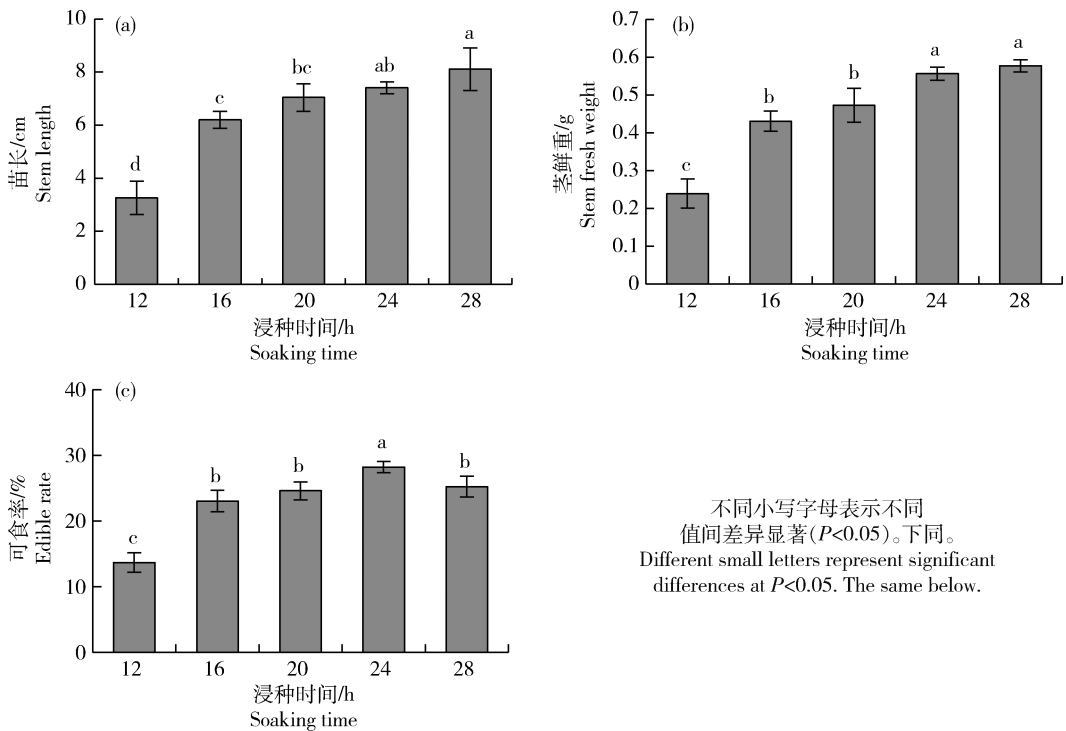


图 1 浸种时间对蚕豆芽苗菜苗长(a)、茎鲜重(b)和可食率(c)的影响

Fig. 1 Effect of soaking time on the stem length (a), stem fresh weight (b) and edible rate (c) of fava bean sprouts

加,从 0.24 g 显著增加到 0.58 g,增加 1.4 倍;茎鲜重的增速随着时间延长逐渐减慢。

芽苗菜可食率随浸种时间的延长先增大后减小。当浸种时间为 12 h 时,芽苗菜可食率最低为 13.68%,经济效益低;当浸种时间为 24 h,可食率最高,为 28.21%,比 12 h 时增加 1.1 倍;浸种时间分别为 16、20 和 28 h 时,3 种浸种时间处理之间没有显著差异,但均显著高于 12 h。

2.1.2 浸种时间对蚕豆芽苗菜品质的影响

图 2 可知,左旋多巴含量随着浸种时间的延长而降低,当浸种 12 h 时左旋多巴含量最高,为 62.2 mg/g,16 与 12 h 无显著差异,均显著高于其他浸种时间处理;浸种 28 h 时左旋多巴含量最低,为 51.3 mg/g;浸种时间在 20~28 h,左旋多巴含量不存在显著差异。

维生素 C 含量总体呈下降趋势,浸种 12 h 时维生素 C 含量最高,为 2.25 mg/100 g;浸种时间为 28 h,维生素 C 含量降至最低,为 1.82 mg/100 g;相邻的 2 个浸种时间维生素 C 含量有显著差异。

可溶性蛋白含量随着浸种时间的增加先增加后降低,浸种 12 h 时可溶性蛋白含量最低,为

1.03 mg/g;浸种 20 h 时,可溶性蛋白含量最高,为 6.54 mg/g,比 12 h 时增长 5.3 倍。浸种时间分别为 16、24 和 28 h,可溶性蛋白含量之间没有显著差异,但均显著高于 12 h。

可溶性糖含量的变化与可溶性蛋白含量变化趋势相反,随着浸种时间的增加先降低后增加,浸种时间从 12 h 延长至 20 h 时,可溶性糖从 12.9 mg/g 降至 9.0 mg/g;可溶性糖含量在 28 h 时最高,为 19.8 mg/g,比 20 h 时增加 120%。

2.1.3 浸种时间对蚕豆芽苗菜影响的相关性分析

表 1 是浸种时间为 12~28 h 下蚕豆芽苗菜苗长、左旋多巴、维生素 C、可溶性蛋白和可溶性糖之间的相关性分析。结果表明浸种时间与苗长呈显著正相关关系($r = 0.913$),左旋多巴与浸种时间呈显著负相关关系($r = -0.915$)。说明在一定范围内,浸种时间越长蚕豆芽苗菜长势越好,但左旋多巴含量下降,因此长浸种时间不利于左旋多巴的富集。维生素 C、可溶性蛋白和可溶性糖含量与各指标间无显著关系。虽然可溶性蛋白与可溶性糖的变化趋势相反(图 2(c)和(d)),但两指标之间没有显著相关性。

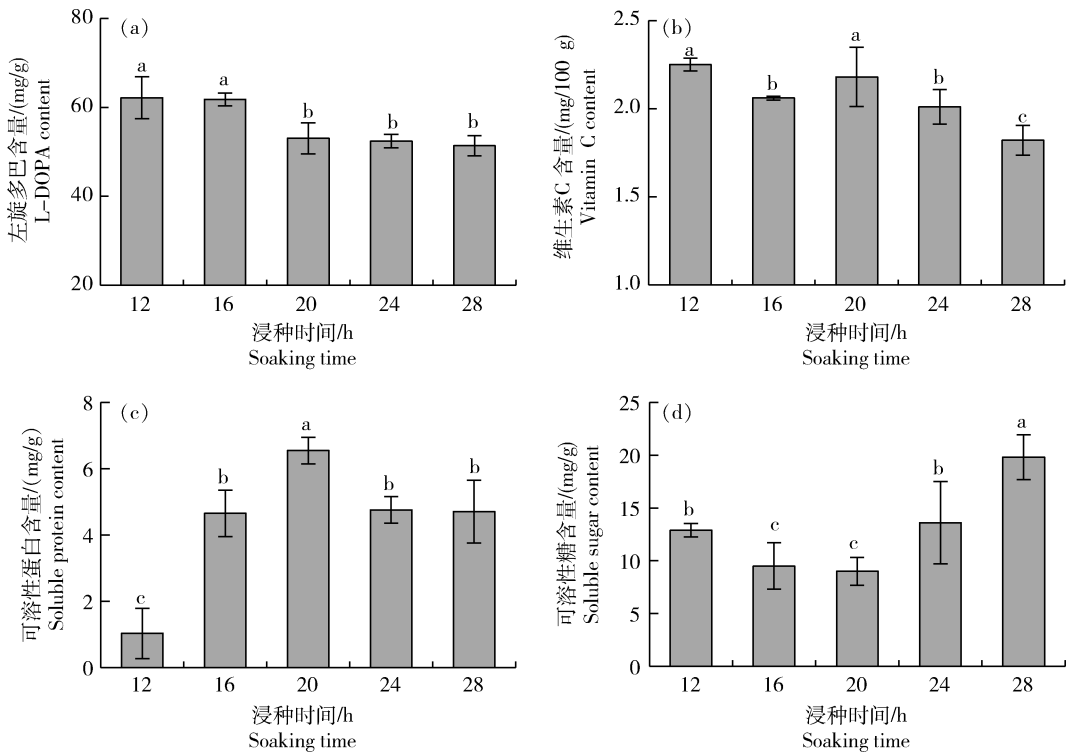


图2 浸种时间对蚕豆芽苗菜左旋多巴(a)、维生素C(b)、可溶性蛋白(c)和可溶性糖(d)的影响

Fig. 2 Effect of soaking time on the L-DOPA (a), vitamin C (b), soluble protein (c) and soluble sugar (d) content of fava bean sprouts

表1 不同浸种时间下蚕豆芽苗菜生长和品质指标的相关性分析表

Table 1 Correlation analysis table between the growth indicator and quality indicator of fava bean sprouts under different soaking time

指标 Index	浸种时间 Soaking time	苗长 Stem length	左旋多巴 含量 L-DOPA content	维生素C 含量 Vitamin C content	可溶性蛋白 含量 Soluble protein
浸种时间	1.000	0.913*			
左旋多巴含量	-0.915*	-0.840			
维生素C含量	-0.866	-0.782	0.591		
可溶性蛋白含量	0.585	0.841	-0.657	-0.353	
可溶性糖含量	0.659	0.333	-0.464	-0.754	-0.191

注: * 在置信度(双测)为 0.05 时,相关性是显著的。 ** 在置信度(双测)为 0.01 时,相关性是显著的。下同。

Note: *, the correlation is significant when the confidence level (double test) is 0.05. **, the correlation is significant when the confidence level (double test) is 0.01. The same below.

2.2 光照时间对蚕豆芽苗菜生长和品质的影响

2.2.1 光照时间对蚕豆芽苗菜生长的影响

图3可知,随着光照时间的延长,蚕豆芽苗菜苗

长逐渐缩短。光照时间为 8 h/d 时苗长最长,为 7.40 cm;光照时间为 10 h/d 时苗长最短,为 5.07 cm,比 8 h/d 时缩短了 31%;光照时间分别为

10、11、12 h/d 时, 苗长不存在显著差异。

蚕豆芽苗菜茎鲜重随着光照时间的增加先减少后稍有增加, 对比苗长变化, 说明茎粗变大。光照时间为 8 h/d 时茎鲜重最大, 为 0.56 g; 光照时间增加为 9 h/d 时茎鲜重最小, 为 0.36 g, 比 8 h/d 时减少了 36%; 光照时间继续增加后, 茎鲜重虽稍有增加,

但没有显著差异。

蚕豆芽苗菜的可食率与茎鲜重的变化一致。光照时间为 8 h/d 时, 可食率最高, 为 28.21%; 光照时间为 10 h/d 时, 可食率最低, 为 20.37%。光照时间为 9、10、11 和 12 h/d 的可食率之间不存在显著差异。

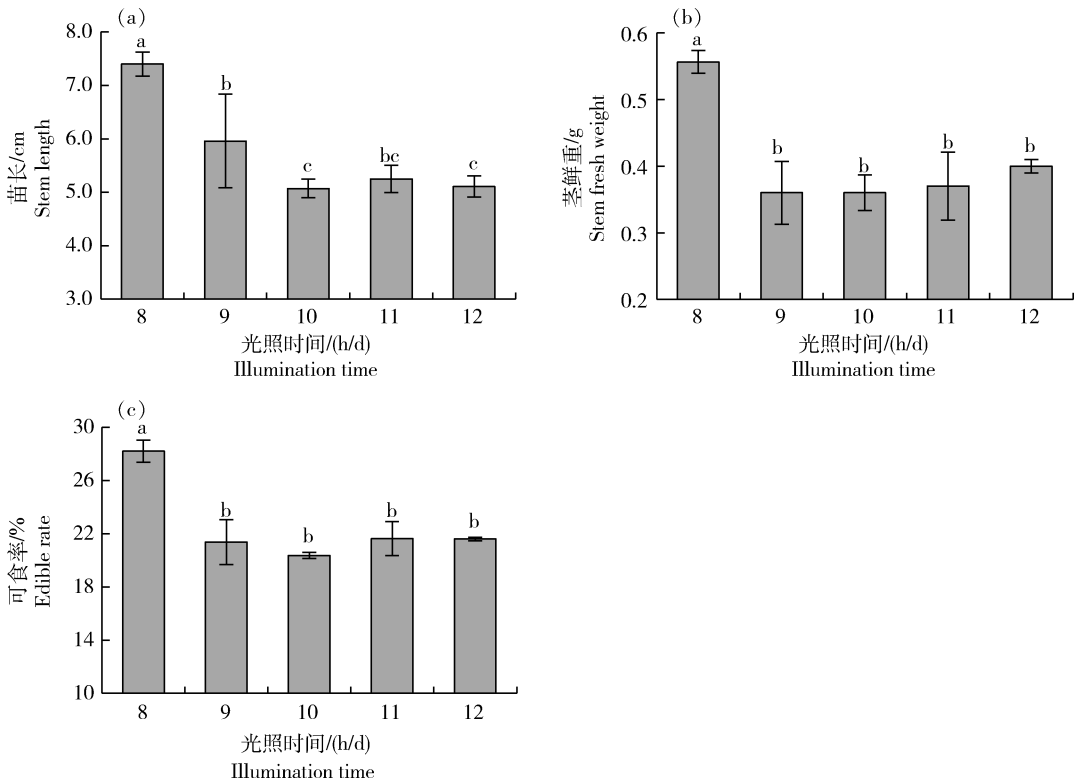


图 3 光照时间对蚕豆芽苗菜苗长(a)、茎鲜重(b)和可食率(c)的影响

Fig. 3 Effect of illumination time on the stem length (a), stem fresh weight (b) and edible rate (c) of fava bean sprouts

2.2.2 光照时间对蚕豆芽苗菜品质的影响

图 4 可知, 不同光照时间处理下, 左旋多巴的含量随着光照时间的延长先升高后降低。光照时间为 8 h 时, 左旋多巴的含量最低, 52.4 mg/g; 光照 11 h 时, 左旋多巴的含量最高, 69.5 mg/g。光照 8 h 与其他光照时间处理之间均存在显著差异, 但其他光照处理之间无显著差异。

不同光照时间的蚕豆芽苗菜维生素 C 的含量无显著差异。

可溶性蛋白含量随着光照时间的增加先增加后减小, 当光照时间为 8 h/d 时可溶性蛋白含量最低, 4.75 mg/g; 光照时间为 9 h/d 时, 可溶性蛋白含量最高, 6.82 mg/g, 是 8 h/d 处理的 1.4 倍; 光照时间为 10~12 h 的处理均显著高于 8 h/d。

可溶性糖含量随着光照时间的延长而降低, 光照时间为 8 h/d 时可溶性糖含量最高, 13.6 mg/g; 光照时间为 11 h/d 时, 可溶性糖含量最低, 8.9 mg/g。

2.2.3 光照时间对蚕豆芽苗菜影响的相关性分析

表 2 是光照时间为 8~12 h/d 时蚕豆芽苗菜苗长、左旋多巴、维生素 C、可溶性蛋白和可溶性糖之间的相关性分析。结果表明, 光照时间与可溶性糖呈显著负相关关系 ($r = -0.920$), 说明光照时间的延长不利于可溶性糖的积累。左旋多巴与苗长呈显著负相关关系 ($r = -0.879$), 说明当苗长缩短后, 左旋多巴含量增加, 而光照会抑制苗的径向生长, 所以由左旋多巴合成的参与细胞壁结构的木质素需求减少, 左旋多巴积累, 因此在长日照条件下生长更好。

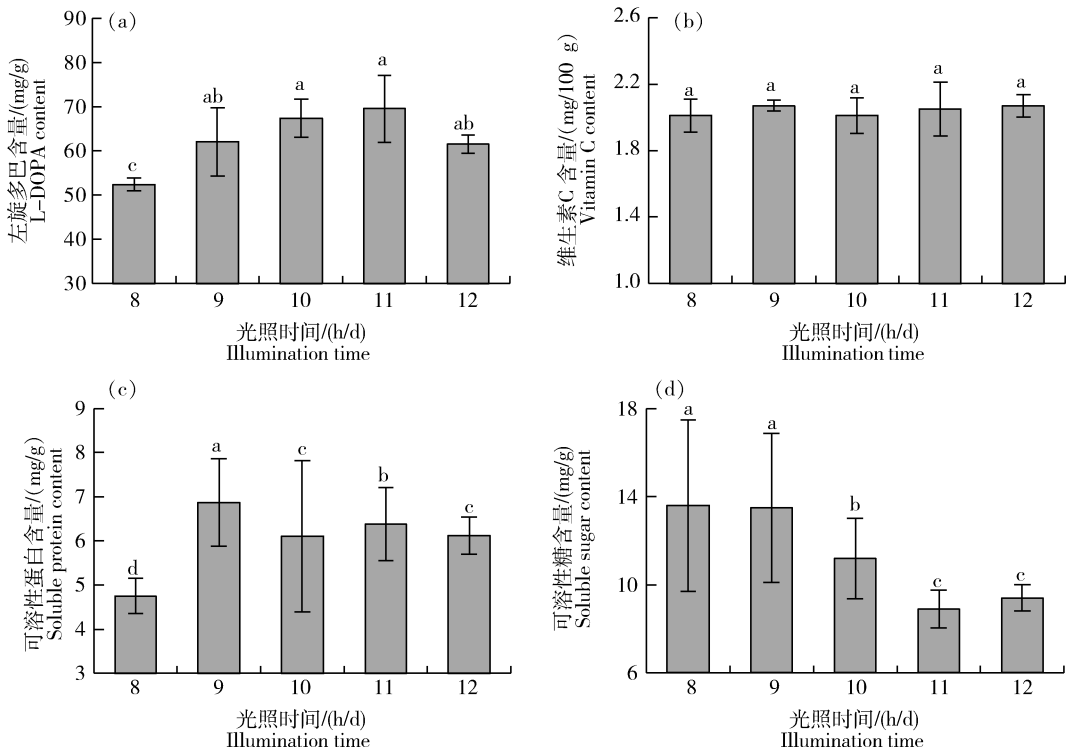


图4 光照时间对蚕豆芽苗菜左旋多巴(a)、维生素C(b)、可溶性蛋白(c)和可溶性糖(d)的影响

Fig. 4 Effect of illumination time on the L-DOPA (a), vitamin C (b), soluble protein (c) and soluble sugar (d) content of fava bean sprouts

表2 不同光照时间下蚕豆芽苗菜生长和品质指标的相关性分析表

Table 2 Correlation analysis table between the growth indicator and quality indicator of fava bean sprouts under different illumination time

指标 Index	光照时间 Illumination time	苗长 Stem length	左旋多巴 含量 L-DOPA content	维生素C 含量 Vitamin C content	可溶性蛋白 含量 Soluble protein
光照时间	1.000	-0.848			
左旋多巴含量	0.617	-0.879*			
维生素C含量	0.521	-0.394	0.236		
可溶性蛋白含量	0.452	-0.716	0.736	0.704	
可溶性糖含量	-0.920*	0.755	-0.659	-0.263	-0.260

3 讨论

3.1 浸种时间对蚕豆芽苗菜生长、营养品质的影响

水是植物的主要组成成分,蚕豆种子必须吸收相当于自身重量110%~140%的水分才能突破较厚的种皮而萌发,开始各种生理生化代谢反应,为胚的生长提供能量和物质^[8]。浸种时间短,种子吸水

不充分难以萌发,浸种时间过长,子叶过度膨胀导致破裂,内含物外渗,严重的会发生腐烂^[8]。同时考虑到芽苗菜实际生产过程中,浸种时间过长会延长生产周期,导致经济效益下降,所以要选择种子的最佳浸种时间^[9]。本研究通过研究蚕豆5个浸种时间的生长和营养成分指标后发现,短时间浸种12h后蚕豆芽苗菜的各生长指标、可溶性蛋白和可溶性糖含

量都较差;浸种时间 28 h,种子的各种代谢合成反应速度加快,种子内储藏物质快速消耗,促进地上部的生长,可食率高,茎鲜重最重,苗长最高。浸种时间延长至 16 h 后,与 12 h 相比,苗长增长 90.18%,茎鲜重增加 79.17%,可食率增加 68.27%。

水分参与植物体中许多新陈代谢反应,影响着整个生育期。王静等^[10]研究表明豌豆芽苗菜的维生素 C 含量在 8~30 h 浸种时间内先增加后减少,蛋白质含量增加。本研究浸种时间处理显示,蚕豆芽苗菜的可溶性蛋白先增后减,可溶性糖先减后增,维生素 C 均呈下降趋势,这可能是因为浸种时间短芽苗菜生长较缓慢,营养生长阶段维持时间长;生长过程需要大量能量,可溶性糖不断被消耗,含量降低;发芽过程中种子能合成维生素 C,因而幼芽中含量较高。而浸种时间长时芽苗菜生长较快,从萌发到采收时间间隔长,可溶性蛋白被分解或结合成非游离态,因此含量下降;随着叶片的生长,光合速率增加,合成大量糖;维生素 C 能清除产生的活性氧,因而被消耗。

3.2 光照时间对蚕豆芽苗菜生长、营养品质的影响

作物的许多形态和发育变化都与光照时长有关,蚕豆对光照时间的反应十分敏感,且春蚕豆敏感性高于秋蚕豆^[8]。本研究发现,随着光照时间的延长,苗长缩短,与马超等^[11]对绿瓣型大豆芽苗菜的研究结果相似,说明光照时间影响苗的伸长生长。邬奇等^[12]研究发现黄瓜幼苗茎中生长素(IAA)参与株高对光周期响应的正调控,根中玉米素(ZT)参与根鲜重对光周期响应的正调控。本研究中 5 个处理的光照时间只相差 1 h,但各生长指标间存在显著差异,验证了蚕豆的光敏感性。

光照是影响营养品质的最重要因素,不同植物受光照时间的影响不同^[12]。陈敏等^[13]认为缩短光照时长有利于茄子幼苗可溶性蛋白合成。但马超等^[14]认为长光照能够促进绿瓣型大豆芽苗菜可溶性蛋白和可溶性糖的积累。本研究中,不同光照时间下蚕豆芽苗菜可溶性蛋白和可溶性糖含量差异明显。此外,植物的生产还同时受到光强和光质的影响。一定范围内,营养物质和色素随着光强增加而增加^[15]。

由表 2 可以看出,可溶性糖含量与光照时间呈显著负相关关系($r = -0.920$),可能是因为光照条件下除正常呼吸外还进行光呼吸,消耗更多的糖。由表 1 与表 2 可以看出,蚕豆芽苗菜的可溶性蛋白

与可溶性糖之间的相关系数均 <0 ,说明可以互相转化。在种子萌发过程中,可溶性糖快速分解成葡萄糖,经呼吸作用生成丙酮酸、 α -酮戊二酸和草酰乙酸等,为蛋白质合成提供氨基酸碳骨架和能量,促进蛋白质的合成,因此可溶性糖含量下降,可溶性蛋白含量上升^[16]。

3.3 蚕豆芽苗菜中左旋多巴代谢

在植物生长过程中,为抵御逆境胁迫,植物会合成一些具有不同功能的代谢产物,从而保证自身的存活。初生代谢物包括一些氨基酸类,如左旋多巴;次生代谢物有黄酮类、醌类、单宁类和生物碱等。在紫外线胁迫^[17]、细菌侵染^[18]和微波辐射^[19]等条件下,磷酸戊糖途径及其相关酶活性受到影响,糖代谢加快,发芽蚕豆中的左旋多巴、酚类化合物的含量增加,各种抗氧化酶活性增强,从而抵御不利条件。

左旋多巴是许多物质的代谢前体,具有十分重要的生物作用。研究发现,一些特殊动物能够通过摄取左旋多巴来提高自身防御^[20]。本研究中,蚕豆芽苗菜的左旋多巴随浸种时间增加呈下降趋势,可能是因为浸种时间短芽苗菜生长较缓慢,仍处于生长发育前期,左旋多巴随呼吸产物增多而不断合成。本研究中,蚕豆芽苗菜中左旋多巴含量随光照时间的增加先上升后下降,可能是在光照下叶绿体产生更多葡萄糖,磷酸戊糖代谢途径加强,左旋多巴合成增多^[17]。从表 1 和表 2 中,左旋多巴与苗长之间的 $r < 0$,说明较短的芽苗菜更适于食用。

从表 1 和表 2 中看出,左旋多巴与维生素含量之间的 $r > 0$,说明左旋多巴含量增加后,维生素 C 含量也增加。这两者同时具有氧化型和还原型,左旋多巴能被氧化生成黑色素和活性氧等,维生素 C 将以上物质还原并清除^[21],延缓细胞衰老。同时维生素 C 能促进酪氨酸和色氨酸的代谢^[22],而酪氨酸是左旋多巴的前体^[23],两者相互影响、相互调控。

4 结 论

本试验中在不同发芽处理下,发芽蚕豆含左旋多巴的最低值为 51.3 mg/g,证明蚕豆芽苗菜可以作为一种功能性食品。随着浸种时间的延长,芽苗菜苗长、茎鲜重和可食率逐渐增加;浸种时间对营养物质的合成代谢有显著影响,左旋多巴含量与浸种时间存在显著负相关性。蚕豆芽苗菜生长受光照时间影响较大,光照时间的延长对蚕豆芽苗菜生长和

营养指标均有显著影响。综合以上各方面的分析,在浸种时间 16 h,光照时间为 9 h/d 条件下,能够获得高品质的蚕豆芽苗菜。

参考文献 References

- [1] Soares A R, Marchiosi R, Soares R C S, Lima R B, Santos W D, Filho O F. The role of L-DOPA in plants [O/L]. *Plant Signaling & Behavior*, (2014-09-04), <https://doi.org/10.4161/psb.28275>
- [2] 陈艳榕,余铮,黄丽娟.左旋多巴在青少年难治性弱视的长期治疗效果探讨[J].海峡药学,2017,29(11):159-160
Chen Y R, Yu Z, Huang L J. Discussion on the effect of levodopa on long-term treatment of refractory amblyopia in adolescents [J]. *Strait Pharmaceutical Journal*, 2017, 29 (11):159-160 (in Chinese)
- [3] Cassani E, Cilia R, Laguna J, Barichella M, Contin M, Cereda E, Isaías I U, Sparvoli F, Akpalu A, Budu K O, Scarpa M T, Pezzoli G. Mucuna pruriens for Parkinson's disease: Low-cost preparation method, laboratory measures and pharmacokinetics profile [J]. *Journal of the Neurological Sciences*, 2016, 365: 175-180
- [4] Daxenbichler M E, Vanetten C H, Hallinan E A, Earle F R, Barclay A S. Seeds as sources of L-DOPA [J]. *Journal of Medicinal Chemistry*, 1971, 14(5):463-465
- [5] Goyoaga C, Burbano C, Cuadrado C, Varela A, Guillamón E, Pedrosa M M, Muzquiz M. Content and distribution of vicine, convicine and L-DOPA during germination and seedling growth of two *Vicia faba* L varieties [J]. *European Food Research and Technology*, 2008, 227(5):1537-1542
- [6] 曹奕鸯.蚕豆左旋多巴(L-DOPA)含量的研究[D].福建:福建农林大学,2010
Cao Y Y. Study on L-DOPA content of *Vicia faba* L [D]. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010 (in Chinese)
- [7] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].第2版.北京:高等教育出版社,2006
Wang X K. *Principles and Techniques of Physiological and Biochemical Experiments* [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2006 (in Chinese)
- [8] 叶茵.中国蚕豆学[M].北京:中国农业出版社,2003
Ye Y. *Chinese Vicia faba* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003 (in Chinese)
- [9] 张万萍,刘仁杰,江燕,万常蕾.影响几种芽苗菜产量和品质的关键环境因子研究[J].华北农学报,2011,26(S1):214-219
Zhang W P, Liu R J, Jiang Y, Wan C L. Study on the key environmental factors affecting the yield and quality of several germinated vegetables [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2011, 26(S1):214-219 (in Chinese)
- [10] 王静,刘福霞,刘乃森,田璟,郑阳霞.浸种时间对豌豆芽苗菜产量及蛋白质和 Vc 含量的影响[J].安徽农业科学,2009,37(9):3918-3919
Wang J, Liu F X, Liu N S, Tian J, Zheng Y X. Effects of soaking time on the yield of pea sprout and the content of protein and Vc [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(9):3918-3919 (in Chinese)
- [11] 马超.光环境调控对绿瓣型大豆芽苗菜生长和品质的影响[D].南京:南京农业大学,2012
Ma C. Effects of light environment control on the growth and quality of green leaf soybean sprouts [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012 (in Chinese)
- [12] 邹奇,苏娜娜,崔瑾.不同光周期下黄瓜和番茄幼苗生长与 ZT 和 IAA 的相关性[J].园艺学报,2013,40(4):755-761
Wu, Q, Su N N, Cui J. Correlation between growth of cucumber and tomato seedling and ZT and IAA under different photoperiod [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2013, 40(4):755-761 (in Chinese)
- [13] 陈敏,李海云.不同光周期对茄子幼苗生长的影响[J].北方园艺,2010(16):53-55
Chen M, Li H Y. Effects of different photoperiod on the growth of eggplant seedling [J]. *Northern Horticulture*, 2010 (16):53-55 (in Chinese)
- [14] 毋柳柳,杨靖,秦仁炳,李小静,孟丽.播种密度对红花芽菜生长及黄酮含量的影响[J].北方园艺,2016(2):146-148
Wu L L, Yang J, Qin R B, Li X J, Meng L. Effect of sowing density on growth and flavonoids content of cauliflower [J]. *Northern Horticulture*, 2016(2):146-148 (in Chinese)
- [15] 张毅华,张晓燕,崔瑾.光强对黑豆芽苗菜生长和营养品质的影响[J].中国蔬菜,2013(16):49-54
Zhang Y H, Zhang X Y, Cui J. Effects of light intensity on growth and nutritional quality of black soybean sprout [J]. *China Vegetables*, 2013(16):49-54 (in Chinese)
- [16] 朱圣庚,徐长法.生物化学[M].第四版.北京:高等教育出版社,2016
Zhu S G, Xu C F. *Biochemistry* [M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2016 (in Chinese)
- [17] Shetty P, Atallah M T, Shetty K. Effects of UV treatment on the proline-linked pentose phosphate pathway for phenolics and L-DOPA synthesis in dark germinated *Vicia faba* [J]. *Process Biochemistry*, 2002, 37(11):1285-1295

- [18] Shetty P, Atallah M T, Shetty K. Enhancement of total phenolic, L-DOPA and proline content in germinating fava bean (*Vicia faba*) in response to bacterial elicitors [J]. *Food Biotechnology*, 2001, 15(1): 47-67
- [19] Randhir R, Shetty K. Microwave-induced stimulation of L-DOPA, phenolics and antioxidant activity in fava bean (*Vicia faba*) for Parkinson's diet [J]. *Process Biochemistry*, 2004, 39(11): 1775-1784
- [20] Zhang Y, Wang X X, Zhang Z F, Chen N, Zhu J Y, Tian H G, Fan Y L, Liu T X. Pea aphid *Acyrtosiphon pisum* sequesters plant-derived secondary metabolite L-DOPA for wound healing and UVA resistance [O/L]. *Scientific Reports*, (2016-03-23) DOI: 10.1038/srep23618
- [21] Hachinohe M, Matsumoto H. Involvement of melanin synthesis and reactive oxygen species in phytotoxic action of L-DOPA in carrot cells [J]. *Crop Protection*, 2007, 26(3): 294-298
- [22] 李书静, 李可, 姚新建, 詹秀环. 2,6-二氯靛酚钠法测定果汁饮料中的维生素 C [J]. 光谱实验室, 2011, 28(5): 2391-2394
- Li S J, Li K, Yao X J, Zhan X H. The determination of vitamin C in fruit juice beverage by 2, 6-dichlorindophenol sodium method [J]. *Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory*, 2011, 28(5): 2391-2394 (in Chinese)
- [23] Randhir R, Shetty P, Shetty K. L-DOPA and total phenolic stimulation in dark germinated fava bean in response to peptide and phytochemical elicitors [J]. *Process Biochemistry*, 2002, 37(11): 1247-1256

责任编辑：吕晓梅