

刘帮艳,李金玲,曹国璠,等. 高海拔环境太子参生物量、药用成分及矿质元素的动态变化[J]. 江苏农业科学,2018,46(9):132-136.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.09.030

高海拔环境太子参生物量、药用成分及矿质元素的动态变化

刘帮艳¹, 李金玲^{1,2}, 曹国璠¹, 郑 听¹, 李永乔¹, 赵 致^{1,2}, 王华磊^{1,2}

(1. 贵州大学农学院, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州药用植物繁育与种植重点(工程)实验室, 贵州贵阳 550025)

摘要:将太子参分别栽植于海拔为 2 157 m 的高海拔地(LPS)及海拔为 677 m 的常规栽培海拔地(SBX),测定太子参不同生育时期的生物量、多糖含量、总皂苷含量及矿质元素含量。结果表明,在整个生育期内 LPS 的太子参地上、地下部分生物量、总皂苷含量高于 SBX,而多糖含量低于 SBX;LPS 太子参地上、地下部分的 N、P、K、Ca、Mg、Cu、Zn 动态积累变化与 SBX 较为一致,其含量因海拔不同而有所差异;Fe、Mn、B 的动态变化因海拔、植株部位及生育期不同而有所差异。高海拔种植太子参能提高其产量、皂苷含量,但不利于多糖的积累。

关键词:高海拔;太子参;矿质元素;产量;药用成分

中图分类号: S567.5⁺30.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)09-0132-04

太子参为石竹科植物孩儿参[*Pseudostellaria heterophylla* (Miq.) Pax ex Pax et Hoffm.]的干燥块根,为名贵中药材,具有益气健脾、生津润肺等功效^[1-2]。目前,有关太子参的研究多集中在药理、药效、化学成分及制备工艺等方面^[3-10],随着人们对药用植物来源研究的重视,太子参繁殖方式、播种时间、播种方式、田间管理及病虫害防治等相关研究也在不断深入^[11-15]。海拔作为作物生长的重要环境之一,对作物生长、生理代谢等具有较大调节作用,有研究表明,高海拔环境能提高人参、牛蒡、当归等根类药材的产量或药用成分含量^[16-19]。本试验通过对比分析高海拔环境下太子参各生育时期的矿质元素、药用成分及生物产量的积累情况,以期为高海拔栽培推广太子参提供理论支撑,为高效栽培太子参提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

采自贵州省施秉县的太子参施太 1 号种根,经贵州大学农学院王华磊教授鉴定石竹科植物孩儿参种根。

1.2 仪器与试剂

1.2.1 仪器 Kjeltec 8400 型凯式定氮仪,由丹麦福斯集团公

司提供;Optima 8100 型电感耦合等离子体发射光谱仪(inductive coupled plasma emission spectrometer,简称 ICP),由铂金埃尔默仪器有限公司提供;101-3AB 型电热鼓风干燥箱、SX-12-10 型箱式电阻炉控制箱,由天津泰斯特仪器有限公司提供;MM400 型球磨机,由德国 Retsch 公司提供。

1.2.2 试剂 磷、钾、铁、锰、铜、锌、硼、钙、镁标准溶液,均购于国家有色金属及电子材料分析测试中心;标准品 D-无水葡萄糖、人参皂苷 Rb1,购于中国食品药品检定研究所。

1.3 试验设计

设计 2 个海拔种植太子参,分别为 2 157、677 m。海拔 2 157 m 为高海拔环境,地处贵州省六盘水钟山区大箐村(编号为 LPS),地理位置为 104°49'49.1" E、26°43'32" N,属北亚热带湿润季风气候区;海拔 677 m 为太子参常规栽培海拔,地处贵州省施秉县甘溪乡高碑村毛栗坪组(编号为 SBX),地理位置为 108°13'58.5" E、27°1'47.5" N,属亚热带湿润季风气候区。2 个试验地基本环境情况见表 1、表 2,采用大田种植太子参,2015 年 12 月进行栽种,种根用种量为 1 200 kg/hm²,8 月采收。每个海拔设 3 个小区,每个小区面积为 1.2 m × 10 m,栽培方式及田间管理均同太子参常规管理。

表 1 不同试验地土壤环境情况

试验地	有机质含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	全氮含量 (g/kg)	缓效钾含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	土壤 pH 值
LPS	18.7	18.7	2.5	512.2	185.5	2.6	4.7
SBX	20.8	17.9	0.9	52.9	69.0	21.8	5.1

1.4 测定内容和方法

1.4.1 生物量 分别于太子参苗期(3—4 月)、块根初始膨大期(4—5 月)、块根膨大旺盛期(5—6 月)、块根膨大后期(6—7 月)及倒苗营养回流期(7—8 月),采用“五点法”随机连根挖取长势一致的太子参植株,每个小区取 10 株,每个海拔地每次共取样 30 株;洗净后用吸水纸吸干植株表面水分,将茎、叶、花果(地上部分)与块根、须根(地下部分)分开,于 55 ℃ 条件下烘干,用电子天平(精度为 0.000 1 g)分别称其

收稿日期:2017-08-11
基金项目:国家自然科学基金(编号:31260305);贵州大学 2017 年研究生创新项目(编号:研农 2017020)。
作者简介:刘帮艳(1989—),女,贵州独山人,硕士研究生,从事药用植物栽培理论与技术研究。E-mail:834476440@qq.com。
通信作者:曹国璠,博士,教授,从事作物栽培学和生态农业研究。E-mail:cgf8933@126.com。

表 2 不同试验地土壤气候状况

试验地	气温(℃)			降水量(mm)				年均相对湿度(%)	年日照时数(h)	日照百分率(%)	无霜期(d)
	年平均温度	7月平均温度	1月平均温度	年均总积温	年降水量	1月降水量	6月降水量				
LPS	12.3	24.6	-0.1	4 410~4 806	1 182.8	17.6	243.7	81	1 200~1 600	28~36	230~298
SBX	14.0~16.0	27.6	6.4	5 500	1 060.0~1 200.0			70	1 197		225~294

注:7 月为当地相对最热月,6 月为降水量最多月,1 月为最冷与降水最少月。

干质量;球磨仪打粉,备用。太子参完全倒苗后进行测产,将块根洗净,于 55℃ 条件下烘干,选取适量太子参干品打粉,备用。

1.4.2 矿质元素 称取约 0.5 g 太子参样品粉末于坩埚中,马弗炉内 600℃ 灰化,灰分用 5 mL 1:1 硝酸溶液溶解,超纯水定容至 25 mL,采用 ICP 分别测定磷、钾、铁、锰、铜、锌、硼、钙、镁含量;使用浓硫酸消煮样品,凯氏定氮仪测定全氮含量。

1.4.3 药用成分 参照闫亮等的方法^[20]进行索式提取太子参多糖,硫酸-苯酚法显色,酶标仪测定 490 nm 处的吸光度 $D_{490\text{ nm}}$ 。以 D -无水葡萄糖(含量以 99.9% 计)为标准品绘制标准曲线,得回归方程为:葡萄糖含量(A) = $125.03D_{490\text{ nm}} - 0.5521$ ($r^2 = 0.9991, n = 7$),该方程在 0~50.5 $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性关系良好。

总皂苷测定方法为:称取约 0.5 g 太子参粉末于带塞锥形瓶中,加 20 mL 三氯甲烷,80% 功率超声 2 次,每次 1 h;过滤,滤纸同滤渣放入锥形瓶中,精密加入 25 mL 水饱和正丁醇溶液,超声 2 次,每次 1 h;过滤,取 10 mL 滤液,蒸干,甲醇溶解,容量瓶中定容至 10 mL;取 2 mL 置于具塞试管中,加 5 mL 浓硫酸、0.2 mL 香草醛-冰乙酸溶液,摇匀,60℃ 条件下水浴 30 min,其间不断摇动;冷却,酶标仪测定 560 nm 处的吸光度 $D_{560\text{ nm}}$ 。以人参皂苷 Rb1(含量以 93.7% 计)为标准品绘制标准曲线,得回归方程为:人参皂苷含量(A) = $0.217D_{560\text{ nm}} +$

0.0219 ($r^2 = 0.9994$),该方程在 0.1016~1.5250 mg/mL 范围内线性关系良好。

1.5 数据处理与统计分析

采用 Excel 软件对数据进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 太子参生物量的动态积累

试验结果表明,SBX 太子参于 2 月 5 日开始出苗,7 月 15 日完全倒苗,从出苗至完全倒苗共 160 d;LPS 太子参于 3 月 1 日开始出苗,8 月 28 日完全倒苗,从出苗至完全倒苗共 181 d,高海拔环境下的太子参出苗与倒苗时间较常规海拔地推迟,生育期较常规栽培海拔地长。由图 1-a 可见,太子参地上部分干质量呈“增加-减少-增加”趋势,LPS 太子参各生育时期地上部分干质量明显高于 SBX;LPS 太子参地下部分干质量呈“增加-减少-增加”趋势,SBX 呈缓慢增加再略减少的趋势(图 1-b);LPS 太子参各生育时期生物量明显高于 SBX,说明高海拔地利于太子参生物量的形成与积累。SBX 太子参地上部分干质量快速增长期为 4 月中旬至 5 月初,5 月初达到最大值,为 2.07 g/株,LPS 则为 4 月中旬至 5 月中旬,5 月中旬达到最大值,地上部分干质量为 3.71 g/株;LPS、SBX 太子参地下部分干质量的积累速度与地上部分干质量整体呈一定的正相关。

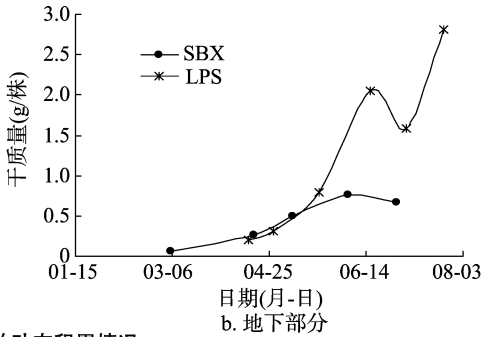
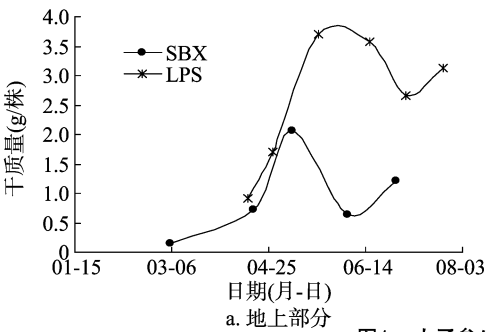


图 1 太子参生物量的动态积累情况

2.2 太子参多糖、总皂苷等药用成分动态积累

由图 2 可知,SBX 太子参各生育期多糖含量高于 LPS,总皂苷含量低于 LPS;LPS、SBX 太子参多糖含量在各生育期内总体呈先增加后减少再增加趋势,倒苗期时多糖含量分别达到 11.42%、13.97%;SBX 太子参总皂苷含量在倒苗前期呈缓慢减少的变化趋势,后有所增加,倒苗期时总皂苷含量为 1.63%,LPS 太子参总皂苷含量呈“增加-减少-增加-缓慢减少”的波动变化趋势,倒苗期时总皂苷含量 2.36%。这说明较低海拔利于太子参多糖的形成和积累,高海拔利于太子参总皂苷的形成与积累。

2.3 太子参矿质元素的动态变化

2.3.1 大量、中量元素 由图 3 可知,在同一个海拔高度种植太子参各生育期地上部分的 N 含量均高于地下部分;不同海拔地上、地下部分的 N、P 含量变化趋势基本一致,总体呈“下降-增加-下降-趋于平缓”的波动变化,SBX 太子参 N、P 含量增加高峰期为 5 月初,LPS 则为 6 月中下旬;LPS 太子参植株的 N 含量较高于 SBX,而 SBX 太子参植株的 P 含量明显高于 LPS;在整个生长期,太子参地上部分 K 含量明显大于地下部分;地上部分 K 含量呈先下降后增加趋势,SBX 太子参地上部分 K 含量最低出现在 4 月中旬,为 35.29 mg/g,LPS 则出现在 5 月中旬,为 24.60 mg/g;地下部分 K 含量随太子参生长总体呈逐渐下降趋势;LPS 太子参地上部分 K 含

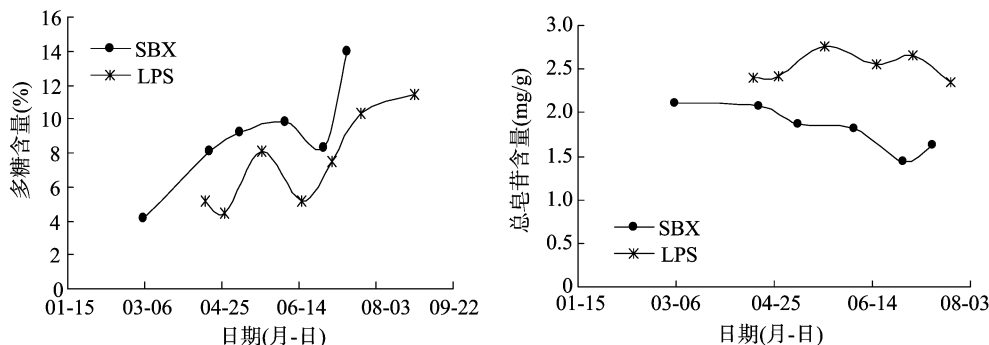


图2 太子参药用成分的动态积累情况

量总体低于 SBX, 而地下部分 K 含量总体高于 SBX, LPS 太子参地上、地下部分的 K 含量分配较 SBX 均衡; 不同海拔种植太子参地上部分 Ca、Mg 含量多呈“下降-上升-下降”变化趋势, SBX 太子参地上部分 Ca 含量在块根膨大后又增加, 地下部分 Ca、Mg 含量则呈“W”形变化; LPS 太子参各生

育期 Ca、Mg 含量稍高于 SBX; SBX 太子参地上、地下部分 Ca、Mg 含量第 1 次峰值出现在 5 月初, 与 N、P 含量出现峰值时间一致; LPS 地上部分 Ca、Mg 含量峰值出现在 7 月初, 含量分别为 17.78、4.65 mg/g, 地下部分 Ca、Mg 含量第 1 次峰值分别出现在 5 月中旬、6 月中旬, 含量分别为 4.72、2.42 mg/g。

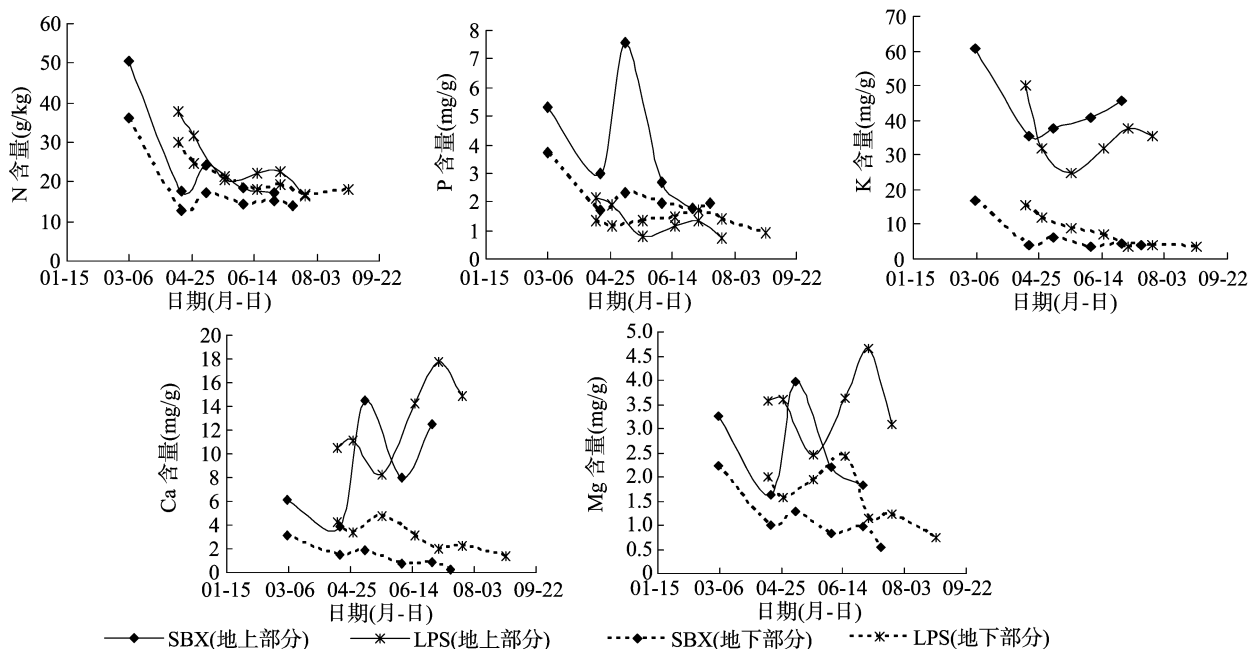


图3 太子参大量、中量元素动态变化情况

2.3.2 微量元素 由图 4 可知, 海拔高度对太子参微量元素含量具有明显的影响。LPS 太子参 Fe 含量高于 SBX, 其地上、地下部分 Fe 含量峰值均出现在 6 月中旬, 分别为 3.27、2.42 mg/g; SBX 太子参地上部分 Fe、Mn 含量峰值也出现在 6 月中旬, Fe、Mn 含量分别为 1.02 mg/g、466.09 $\mu\text{g/g}$, 其地下部分 Fe、Mn 含量则随生育期逐渐减少; LPS 太子参地上、地下部分 Mn 含量呈“下降-上升-下降”的变化趋势, 分别在 7 月初、6 月中旬出现峰值, Mn 含量分别为 421.76、132.63 $\mu\text{g/g}$; 不同海拔太子参地上、地下部分 Cu、Zn 含量整体呈“下降-上升-下降”的变化趋势, SBX 地上部分 Cu、Zn 含量峰值出现在 6 月初, 含量分别为 7.02、36.03 $\mu\text{g/g}$, LPS 地上部分 Cu、Zn 含量峰值出现在 7 月初, 含量分别为 8.20、81.26 $\mu\text{g/g}$; SBX 太子参地下部分 Cu、Zn 含量低于 LPS, LPS 地下部分 Cu 含量峰值出现在 6 月中旬, 含量为 14.38 $\mu\text{g/g}$ 。SBX 太子参地上部分 B 含量呈先增加后下降趋势, 而其地下

部分 B 含量与 LPS 地上、地下部分 B 含量均随生育期呈“下降-上升-下降”的变化趋势。

3 结论与讨论

高海拔区域地形高, 昼夜温差大, 云雾多, 湿度大, 太阳辐射较强, 气候环境各异, 为植物的生长提供差异较大的光、温、水、热环境, 对作物生长及次级代谢产物积累具有较大的调节作用。张秀丽等研究表明, 人参总皂苷的含量随海拔升高而升高^[16]; 李竹英等研究得出, 随着海拔的升高, 牛蒡根中蛋白质、氨基酸、淀粉含量增加, 而可溶性糖及脂肪含量降低^[18]; 李明世等研究发现, 当归挥发油的含量随海拔升高呈逐渐增加的趋势^[19]; 研究海拔高度对天麻生产影响得出, 1 km 以上的海拔利于天麻产量及品质的提高, 还能缩短天麻生育期, 提高生产效率^[21-22]。本试验结果表明, 海拔为 2 157 m 高海拔环境 (LPS) 栽种的太子参, 其地上茎、叶部分及地下根的干物

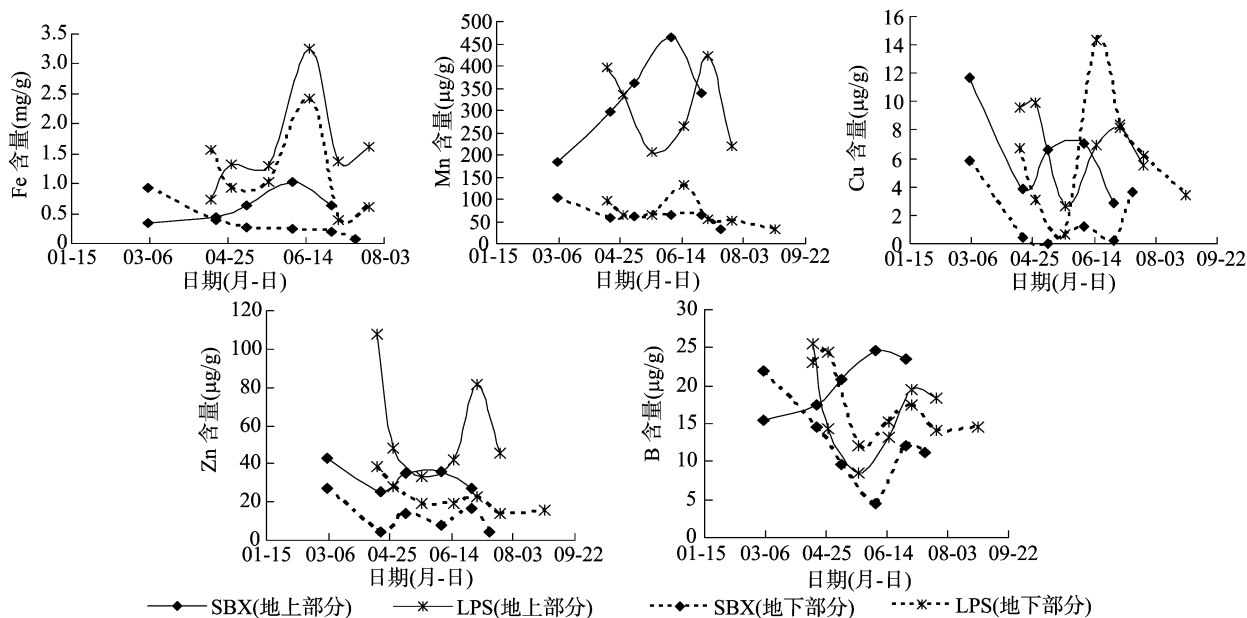


图4 太子参微量元素动态变化情况

质积累在各生育期均高于海拔为 677 m 的常规栽培海拔 (SBX), 且地上部分茎、叶干质量较大时, 其地下根的干物质积累速度相对较快, 可能是由于高海拔辐射相对较强, 有利于太子参叶片的形成与生长, 同时, 高海拔昼夜温差大, 利于光合产物的积累; SBX 太子参各生育期根部多糖含量高于 LPS, 总皂苷含量低于 LPS, 这可能与高海拔环境胁迫太子参开启自身抗逆调节机制相关。

矿质元素 N、P、K、Mg、Fe、Zn、Cu 对作物光合作用产生一定影响, 其吸收与利用影响太子参的产量。高海拔因环境条件特殊, 可能对各种矿质元素的吸收与转运具有一定调节作用, 从而影响各元素在植物体中的含量与分布, 改变光合作用的效率, 进而影响光合产物的形成与积累。LPS、SBX 太子参含 N 较高的时期为太子参苗期 (3~4 月) 到茎叶茂盛后块根开始膨大期 (4~5 月), 因此, 基肥中施足 N 肥是太子参产量与质量保证的基础。在太子参块根膨大旺盛期 (5~6 月) 太子参地上生物量增加速度相对较快, 积累量大, 而此时太子参中 P 含量增加, 说明该时期 P 能促进太子参产量的形成。K 不但能通过调节植物气孔开闭、促进叶绿体内电子传递等推动 CO_2 同化, 提高光合效率, 而且能促进植物碳水化合物输出及其在块根、种子等器官中的代谢, 有效促进块根等器官的生长。LPS、SBX 太子参在苗期 (3~4 月) 的 K 含量相对较高, 随后减少, 块根开始膨大时又快速增加, 说明前期较高的 K 促进了太子参叶片的形成, 提高了光合叶面积, 后期增加的 K 利于光合产物向根部转运, 这与太子参单株地上、地下部分生物积累量的变化相一致。因此, 在基肥施足 P、K 的基础上, 于太子参块根膨大旺盛期 (5~6 月) 追施 P、K 肥可保证太子参的产量, 提高其质量。在各生育时期, LPS 太子参地上部分 Ca 含量高于 SBX, 且不同海拔种植的太子参, 其地上部分 Ca 含量均在太子参块根旺盛膨大期增长相对最快, 含量也相对较高, 这可能是由于 Ca 主要通过木质部的蒸腾作用向上运输, 很难由韧皮部运输, 太子参块根膨大旺盛期时地上茎发育成熟, 再加上 5~7 月雨水充足、光照良好, 有利于太子参的

蒸腾作用, 从而促进了 Ca 从根部向地上茎叶部分的运输, 且 LPS 处于高海拔, 昼夜温差大, 更利于 Ca 的运输。SBX 太子参 N、P、Ca、Mg 的变化趋势较为一致, 可在 5 月上中旬进行混合追施。有研究表明, Mn、B 能够使甜菜、马铃薯块根产量和含糖量增加, 其中, B 参与植物体内糖的运输, 当 B 供给充足时, 能促进糖的运输; Mn 能激活糖酵解和三羧酸循环反应途径中许多酶的活性, 为代谢产物的生成及运输提供足够的 ATP。本试验表明, LPS 地上部分 Mn、B 含量在太子参各生育期总体上低于 SBX, 这可能是限制 LPS 太子参多糖向根部转运, 而使得 LPS 多糖含量低于 SBX 的主要原因。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 68.
- [2] 康廷国. 中药鉴定学: 第 3 版 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 2012: 84~85.
- [3] 高月娟, 孟妍, 张艳丽. 太子参抗应激作用的实验研究 [J]. 齐齐哈尔医学院学报, 2011, 32(12): 1886~1887.
- [4] 秦汝兰. 太子参多糖的提取及抗疲劳作用的研究 [J]. 人参研究, 2010, 22(3): 18~19.
- [5] 周逢芳, 林跃鑫, 林金科, 等. 太子参白茶水提取物对衰老小鼠抗氧化能力的影响 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2013, 42(4): 429~432.
- [6] 马迎莉, 王晓容, 邹慧超, 等. 药用植物太子参化学成分研究进展 [J]. 安徽农业学报, 2016, 43(5): 827~833.
- [7] 褚书豪, 汪小彩, 冯良, 等. 太子参化学成分及其药理作用研究进展 [J]. 光明中医, 2016, 31(7): 1047~1048.
- [8] 龙朦朦, 刘东, 臧永军, 等. 太子参口含片的制备工艺 [J]. 安徽农业科学, 2016, 44(32): 137~139.
- [9] 李彩景. 太子参中总氨基酸的提取工艺条件 [J]. 内蒙古中医药, 2016, 35(8): 132~133.
- [10] 苏穆. 太子参多糖提取工艺的研究 [J]. 海峡药学, 2016, 28(4): 53~54.

程晓奕, 张鑫, 崔晟榕, 等. 光质和光照度对三七种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(9): 136–139.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.09.031

光质和光照度对三七种子萌发和幼苗生长的影响

程晓奕, 张鑫, 崔晟榕, 刘欣妍, 刘海娇, 孙萌, 杨小玉, 张子龙

(北京中医药大学中药学院, 北京 100102)

摘要:通过覆盖 4 种不同颜色(无色、蓝色、绿色、红色)的塑料膜控制光质,以无色(自然光照)为对照;通过不同层数(0、1、3、5 层)纱布控制光照度,以黑色膜(黑暗条件)、无遮盖(自然光照)为对照,检测种子萌发率、幼苗株高等各项指标。结果表明,绿光最有利于种子萌发,对三七种苗生长有利,自然光也有利于三七种苗生长。红光有利于叶绿素的合成和可溶性糖的积累。5 层纱布最利于三七种子萌发,3 层纱布叶绿素含量最高,1 层纱布的三七生长形态好,可溶性糖含量最高。说明绿光且 5 层纱布(透光率为 10.22%)的条件最适合三七种子萌发;对于三七幼苗生长,以红光、黑色膜(黑暗条件、透光率为 1.62%)为佳。

关键词:三七;光质;光强;生长形态;生理指标

中图分类号: S567.23+6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)09-0136-04

三七[*Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen]为五加科人参属植物,享有“金不换”“南国神草”等美誉,具有散瘀止血、消肿定痛之功效,是我国名贵的中药材。三七作为一种第 3 世纪古热带的残遗植物,可能是现存人参属植物中最原始的代表^[1],主要分布在我国云南省东南部的文山、蒙自和广西壮族自治区西部的田东、田阳、靖西等地。种子萌发是种子植物实现种群更新和物种延续的关键环节,然而由于三七生态适应性差,地理分布窄,种子寿命短,加上对三七种子的贮藏特性、条件、发育和后熟期生理变化规律不完全清楚,给种植生产和科学研究带来诸多困难。同时,三七从幼苗到成熟生产周期较长,容易受到病害的影响,培育出优质、健壮的种苗是控制其病害的有效措施,种苗的质量也最终关系到三七的产量。

光照是影响种子萌发和幼苗生长的重要环境因素,在不同光质和光照度条件下,不同植物种子萌发和幼苗生长行为表现出多种形态学可塑性,如红光、绿光可显著促进鱼腥草(*Houttuynia cordata* Thunb.)幼苗地上茎的生长,而蓝光有抑制作用;但蓝光和红光有利于叶绿素含量的增加,且最有利于叶绿素 a 含量的增加^[2]。光照条件下龙葵(*Solanum nigrum*)种子的萌发率约为黑暗条件下的 5 倍,但强光下种子萌发受到抑制^[3]。本试验以光照为影响因子,研究了在不同光质和光照度条件下,三七种子萌发和幼苗生长的特性,以期在生产优质三七种苗提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间及地点

三七种子萌发试验于 2016 年 2 月 5—24 日进行;三七幼苗生长试验于 2016 年 2 月 25 日至 4 月 20 日进行;试验地点为北京中医药大学。

1.2 供试材料

供试三七种子由文山三七研究院栽培研究所提供;石英砂购自北京化工厂;模拟光源为 NEWPROBE 所产 LED 日光灯管。

收稿日期:2016-11-17

基金项目:北京市共建课题(编号:1000062520421);北京中医药大学校级科研课题(编号:2016-JYB-JSMS-011)。

作者简介:程晓奕(1995—),女,研究方向为中药制药。E-mail:1175759281@qq.com。

通信作者:张子龙,博士,副研究员,研究方向中药资源与生态、中药材规范化生产与质量控制。Tel:(010)84738334;E-mail:zhangzilong76@163.com。

[11]李湘,张岚,李超,等.太子参繁殖与栽培技术研究进展[J].现代农业科技,2016(4):63–64.

[12]肖承鸿,江维克,周涛,等.贵州太子参新品种“施太 1 号”的选育及推广[J].中国中药杂志,2016,41(13):2381–2385.

[13]马雪梅,吴朝峰.太子参组培苗规范化种植生产技术规程[J].广东农业科学,2011,38(22):23–25.

[14]曾丽娜.高质量太子参栽培技术及其连作障碍中毒机制的研究[D].福州:福建农林大学,2013.

[15]张国辉,王龙,任永权,等.药用植物太子参 3 种病害的病原鉴定与病害分析[J].江苏农业科学,2016,44(7):177–179.

[16]张秀丽,赵岩,张燕娣,等.不同海拔高度对人参总皂苷含量的影响[J].中国现代中药,2011,13(10):14–16,29.

[17]王寅秀,赵岩,陈文学,等.海拔高度对人参多糖量的影响[J].中草药,2011,42(4):796–798.

[18]李竹英,毛绍春,李聪.不同海拔高度牛蒡根营养成分分析[J].中国蔬菜,2008(1):22–24.

[19]李明世,郝玉蓉,张治国.海拔高度对当归产量和挥发油主要成分的影响[J].西北植物学报,1985,5(2):155–160.

[20]闫亮,秦民坚,贺定翔,等.太子参多糖及皂苷的积累动态研究[J].现代中药研究与实践,2005,19(6):10–13.

[21]李志英.缩短天麻栽培周期的研究[D].武汉:华中农业大学,2007.

[22]余昌俊,王绍柏,曹斌.利用海拔温差调控种植天麻的研究[J].中国农学通报,2008,24(9):48–53.