DOI: 10.12398/j.issn.2096-7217.2024.03.005

不同光质激光对人参生长的影响

李伟平[1]，梁雪梅[1*]，程志强[1]，许永华[2]，贾鹏[3, 4]，王立军[3, 4]

(1. 吉林农业大学智慧农业研究院，吉林长春，130118；2. 吉林农业大学中药材学院，吉林长春，130118；3. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所，吉林长春，130033；4. 发光学及应用国家重点实验室，吉林长春，130033)

摘要：近年来，随着半导体激光器技术的不断进步，在农业领域应用的激光技术备受关注。激光光源具有单色性强、电光转换效率高、使用成本低等优势，为提高农作物质量、增加产量提供了新的技术支持。为了研究不同光质激光对人参生长、生理生化指标以及多糖、皂苷积累等方面的影响，选取二年生人参载子进行试验。从展叶期到叶片枯萎前的每日上午7:00—11:00，下午14:00—18:00分别利用全波长LED灯、红色激光灯(R3)、蓝色激光灯(B3)、混合激光灯(R2B1、R3B2)(光量子通量密度分别为4.48 μmol/(m^2·s)，4.61 μmol/(m^2·s))补光，针对不同光质补光的影响，本研究设立了不补光作为空白对照组，研究发现，人参的净光合作用能力、叶片的气孔导度等都有所改善。特别是LED处理组的净光合速率表现最为突出，而蓝光处理组则在蒸腾速率和胞间CO_2浓度方面取得了最显著的效果提升。R3B2处理组气孔导度最大。就生长情况而言，人参在红蓝混合光处理下表现最佳，相比于对照组，蓝光能够显著提高植株的高度、增加叶片的长度和宽度，LED补光组根重、叶重均高于其他处理；从营养物质积累方面来看，蓝光处理下多糖含量最高，红光处理下皂苷含量积累普遍高于蓝光处理组，说明红光促进人参皂苷含量的积累，R2B1处理组Rg1、Rb1皂苷含量最高，远高于其他处理，R3B2处理时Re皂苷含量与红光处理组结果相当，高于其他4个处理。在未来的研究中，我们将选取最适宜人参生长及营养物质积累的激光补光条件，为缩短人参生长周期、提质增效而提供可行性方法。

关键词：人参；激光补光；光合作用；多糖；皂苷

中图分类号：S24；S567.5+1　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**2096-7217 (2024) 03-0044-07

李伟平，梁雪梅，程志强，许永华，贾鹏，王立军. 不同光质激光对人参生长的影响[J]. 智能化农业装备学报(中英文)，2024，5(3)：44－50

LI Weiping, LIANG Xuemei, CHENG Zhiqiang, XU Yonghua, JIA Peng, WANG Lijun. Effects of different light quality lasers on the growth of ginseng [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2024, 5(3): 44－50

0 引言

人参属于五加科[1]，是一种多年生草本植物，距今已有数千年的历史。人参因含有皂苷、多糖、挥发油、氨基酸、有机酸、黄酮类、维生素类及微量元素等多重药理成分而体现出优良的药用价值[2-3]，人参具有多种功效，包括滋补强壮和补气养血等[4]。这种植物的生命周期非常漫长，从发芽到开花结果，从绿色的果实到红色的果实，再到最终凋零。它们的生物合成、代谢和储存都受到外界环境的影响，而光照则是其中最重要的因素之一[5-6]，它可以通过光质、光强度和光周期3个方面来改变植物的生长状况[7-9]。随着环境光照的变化，植物会迅速做出反应，以缩短其生长周期，并且能够有效地提升作物的品质[10-11]。

在植物补光方面，目前发光二极管被广泛应用于植物工厂中[4]，激光技术作为20世纪最伟大的发明之一，在育苗育种、增产提质、光伏农业互补、土壤改良、设施农业、病虫害防治等方面取得了一系列可喜的成果。胡炼团队[12]利用二维激光雷达与激光接收器，开发出一种新型的激光感应机械臂，用以实现高效的植物识别。牛润新博士[13]则在丘陵地带的果园环境下，探索并利用激光雷达技术，实现了准确的植物识别，从而有效地改善植物的生长状况。刘海明团队[14]致力于开发一种新型的农业大棚监测技术，它利用先进的激光传感技术来实现对温度变化的实时监测和分析。通过激光对温室、大棚内的黄瓜、豆角、草莓、茄子、辣椒、

收稿日期：2024-04-03　　修回日期：2024-07-05

基金项目：中国工程科技发展战略吉林研究院咨询研究重点项目(JL2022-04)

第一作者：李伟平，男，1995年生，吉林长春人，博士研究生；研究方向为激光在农业生产中的应用。E-mail：18104402737@163.com

*通信作者：梁雪梅，女，1982年生，吉林长春人，博士，副教授；研究方向为激光在农业生产中的应用。E-mail：xuemeil@jlau.edu.cn

生菜、花卉以及大田的茶叶、杨梅、火龙果、燕窝果、樱桃、蟠桃等作物进行补光试验证明，激光补光组植物的生长和结果情况优于对照组，增产可达5%～30%，营养物质含量提升明显，作物的抗病、抗冻害能力提高[15-18]。相比传统光源，激光光源具有波长精准、量子效率高、节能显著等特点[12-13]。特别是近年来，随着半导体激光器的发展，激光光源的成本不断降低[19]，能耗是普通LED灯的十分之一，激光补光技术的使用有望为人参的提质增效提供一种新型的技术支撑和保障[15]。

本试验用激光光源代替传统形式的LED灯[20]，通过改变光质来提高人参的质量和产量。比较不同光质下对人参株高、叶长、叶宽、根重、茎重以及叶重的影响，研究不同光质对人参皂苷、多糖含量的影响。

1　试验部分

1.1　试验材料

吉林省白山市抚松县万良镇长白山人参批发市场提供了一批一致大小的人参幼苗，用于试验。不同光质的激光灯购自浙江长芯光电科技有限公司，LED灯购自中科三安集团有限公司。

1.2　试验设计

在吉林农业大学的温室培育基地，进行了光照培养试验，试验所用材料为二年生人参幼苗，人参幼苗的质量基本一致。培养基质为蛭石:草炭土:有机土(2∶4∶4)。

当人参幼苗的叶片即将展开时，将其放置在5种不同的光源下进行培养，分别是LED光源、红色激光(R3)、蓝色激光(B3)、红蓝混合激光2:1(R2B1)(光量子通量密度4.48 μmol/(m^2·s))、3:2(R3B2)(光量子通量密度4.61 μmol/(m^2·s))，并把自然光(CK)作为对照。

我们分别对每个处理组的20株幼苗测量进行3次重复。培养条件为白天温度25 ℃±5 ℃，晚上温度20 ℃±5 ℃。光照时间为上午7:00—11:00，下午14:00—18:00，每天共8 h。根据天气情况，每隔1～2周对植株浇水，以保证充足的水分。

5组处理及对照组人参生长情况如图1所示。

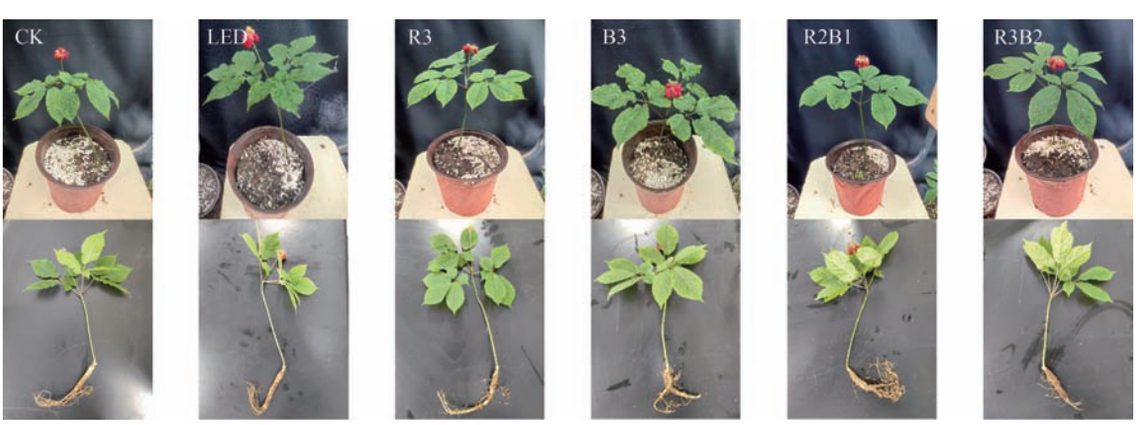


图1　5组处理及对照组人参生长情况

Figure 1　Growth of ginseng in the five groups of treatments and the control group

1.3　生长指标的测定

1.3.1　人参表观参数测定

不同光质处理60 d之后，用软尺每隔两个星期测定一次植株茎高、叶长、叶宽。每次试验时选择3株植物进行3次重复测定，并计算它们的平均值作为试验结果。

1.3.2　光合作用相关参数测定

在这项研究中，我们从大小相同的植株中挑选出3个样本，并确保它们彼此无任何遮挡。然后，我们使用Li-COR Li-6800便携式光合作用测量仪来检测人参叶的净光合速率(*Pn*)、叶片气孔导度(*Gs*)、胞间CO_2浓度(*Ci*)和蒸腾速率(*E*)，最后将它们的平均数据汇总。

1.3.3　人参多糖含量的测定

将80 g苯酚放在100 mL的烧杯里，倒入适量的水溶解，将其转化为100 mL的苯酚溶液，然后将其放进4 ℃的冰箱，以免受到阳光的照射。取出5 mL的苯酚溶液，与75 mL的水一起搅拌，最终得到5%的苯酚溶液。将100 mg/L的0.100 g葡萄糖放入100 mL的烧杯内，并将其与适量的水搅拌均匀，转移至1 000 mL容量瓶中，然后将其储存在4 ℃的冷藏室内，以供日后使用。

将试样放入50 mL具塞离心管中，用5 mL水浸润混合均匀，随即将20 mL的无水酒精添入，并用涡旋振动器搅拌，以保证试样的均一性。最终，将试样放入超声萃取仪中，经过30 min的萃取过程。经过4 000 r/min的离心处理，使得上清液被抛出，不溶物使用10 mL 80%的酒精进行洗净，再次离心，最终把不溶性的物质放置于装满水的圆底烧瓶中，再添加50 mL的水，最终使用120 W的超音波进行90 min的

萃取。冷却至室温,把过滤后的上层液体注入200 mL的器皿内,用清洁剂进行3次的洗涤,将洗涤液转移至容量瓶中,加水至定容。此溶液即为样品测定溶液。

从容器内抽出0 mL、0.2 mL、0.4 mL、0.6 mL、0.8 mL以及1.0 mL的标准葡萄糖,再添加适量的蒸馏水,直至达到1.0 mL。接着,把1.0 mL的苯酚溶液倒入容器,再迅速倒入5.0 mL的硫酸,最终放置10 min。使用涡旋振荡器彻底搅拌反应液,并将其放入30 ℃的水浴,持续20 min,最终从490 nm的波长上测得其吸光度。以葡萄糖的质量浓度为横坐标,吸光度值为纵坐标,绘制标准曲线。吸取1.00 mL样品测定溶液至20 mL塞管中,测定吸光度。在测定样品的同时,取相同量的所有试剂,采用相同的分析步骤,但不加入样品。

根据测定的结果,样品中多糖含量以质量分数 W 计,单位以克每百克(g/100g)表示,如式(1)所示。

$$W=\frac{m_1\times V_1}{m_2\times V_2}\times a\times 10^{-4}$$

式中:m_1——通过标准曲线检测样品中的含糖量,μg;

V_1——样品定容体积,mL;

V_2——比色测定时所移取样品测定液的体积,mL;

m_2——样品质量,g;

a——葡萄糖换算成葡聚糖的校正系数,a=0.9。

1.3.4 人参皂苷含量的测定

采用十八烷基硅烷键合硅胶作为填充剂,将乙腈为流动相A,水为流动相B,按表1进行梯度洗脱。检测波长为203 nm,从而获得Rg1的峰值,最终的分析结果理论板数应不低于6 000。

参比溶液的制备:精密称取人参皂苷Rg1参比物、人参皂苷Re参比物和人参皂苷Rb1参比物,加入甲醇制成每1 mL各含0.2 mg的混合溶液,摇匀。

将取得的样品粉末经过4号筛网筛选后,将其进行精确的测量,然后将其置于素氏提取器内,用三氯甲烷进行加热回流3 h,将三氯甲烷液倒出,将药渣烘干,将其与滤纸筒一起装进100 mL的锥形瓶内,再将50 mL的正丁醇饱和水添加,将其密封,放置过夜,然后用超声波(功率250 W,频率50 kHz)处理30 min,最后进行过滤,将初滤液丢掉。准确量取续滤液25 mL,在蒸发皿中蒸干,残渣用甲醇溶解后移入5 mL量瓶中,用甲醇稀释至刻度,摇匀,过滤,取续滤液。

精密吸取对照品溶液10 μL与供试品溶液10~20 μL,分别均匀地注入液相色谱仪中,可获得准确的结果。根据试验结果,Rg1($C_{42}H_{72}O_{14}$)和Re($C_{48}H_{82}O_{18}$)的含量应至少达到0.30%,Rb1($C_{54}H_{92}O_{23}$)的含量达到0.20%以上。

表1 色谱条件的选择

Table 1 Selection of chromatographic conditions

时间/min	流动相A/%	流动相B/%
0~35	19	81
35~55	19→29	81→71
55~70	29	71
70~100	29→40	71→60

2 结果与分析

2.1 不同光质补光对人参生长特性的影响

从表2可以看出,停止光照后,每个处理随机采挖5株人参,分别测量根重、茎重、叶重、株高、叶长和叶宽。结果表明,R2B1处理的株高最高,其次是蓝色激光和LED处理下的人参植株。

根重、叶重为LED全波长处理最高,叶长、叶宽、茎重为蓝色激光灯处理下最高,各处理的根重均高于对照,但差异不显著。总的来说,人参在蓝色激光下的生长情况最好。

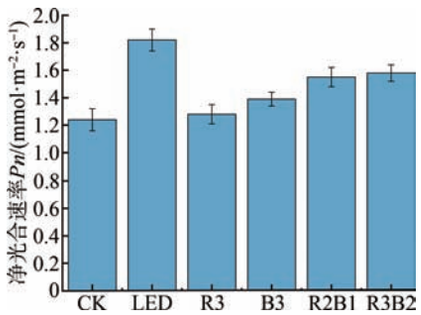
表2 人参生长特性

Table 2 Growth characteristics of ginseng

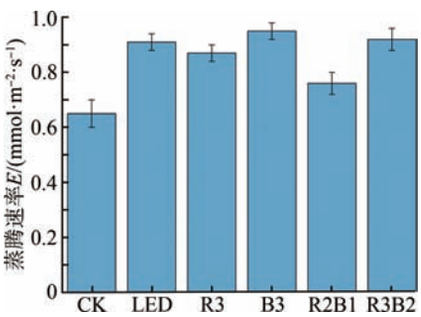
组别	根重/g	茎重/g	叶重/g	株高/cm	叶长/cm	叶宽/cm
CK	4.81±1.12	2.01±0.52	2.38±0.58	19.58±3.32	7.11±2.21	3.78±1.11
LED(32.59 μmol·m^{-2}·s^{-1})	7.28±1.23	2.36±0.56	3.09±0.61	20.73±3.78	7.33±2.15	3.97±1.13
R3(4.35 μmol·m^{-2}·s^{-1})	4.86±1.25	1.83±0.47	2.98±0.57	18.08±3.97	6.16±2.01	3.41±1.03
B3(5.62 μmol·m^{-2}·s^{-1})	6.52±1.17	2.59±0.49	2.79±0.53	20.92±3.91	7.37±2.17	3.98±1.11
R2B1(4.48 μmol·m^{-2}·s^{-1})	6.28±1.19	2.28±0.39	2.18±0.45	21.59±4.02	6.68±1.99	3.86±1.16
R3B2(4.61 μmol·m^{-2}·s^{-1})	5.12±1.09	1.85±0.36	2.11±0.46	19.79±4.39	6.61±1.98	3.51±1.09

2.2　不同光质补光对人参光合特性的影响

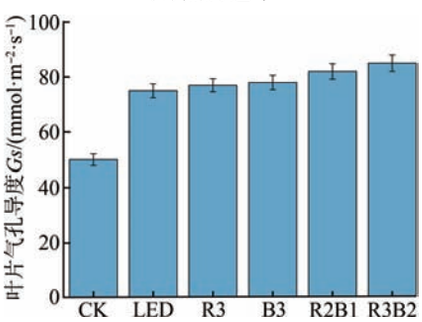
不同光质补光对人参光合特性的影响如图 2 所示。



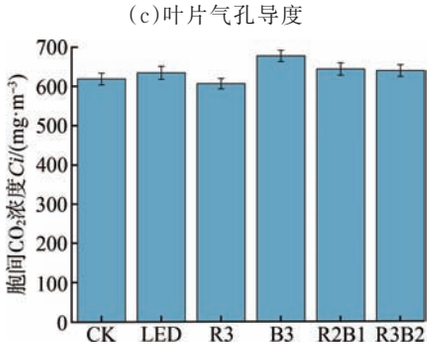
(a)净光合速率



(b)蒸腾速率



(c)叶片气孔导度



(d)胞间 CO_2 浓度

图 2　不同光质补光对人参光合特性的影响

Figure 2　Effects of supplementary light with different light qualities on the photosynthetic characteristics of ginseng

净光合速率由光合作用的速率与呼吸的速率作差而得出，它不仅可以衡量植物如何从光照中获取营养，还可以直观地揭示出它们如何从无机到有机的过程，能够间接代表有机物的积累。结果表明，各处理组净光合速率普遍高于空白对照组，尤其是 LED 与红蓝混合激光处理组效果最佳，说明适当的补光可以提升净光合速率，有利于人参营养物质的积累。

蒸腾速率是指单位时间和单位叶面积内通过蒸腾作用散失的水分，可以反映植物适应逆境和调节水分的能力。此外，气孔导度对蒸腾速率有直接影响。经过比较，可以发现，在蓝色激光照射下，人参幼苗的蒸腾速率显著高于其他处理，而红蓝混合光和 LED 处理组的蒸腾速率差异则不太明显，但是它们的蒸腾速率仍然远远超过了空白对照组。结果表明，蓝色激光能更有效地调节人参叶片的失水能力，从而提高光合作用。

叶片的气孔导度是指气孔开放的程度，它可以根据环境条件的变化进行调节，使植物在失水较少的情况下获得最多的 CO_2，从而直接影响光合作用和蒸腾作用。各处理具体表现为红蓝混合光气孔导度最高，其次是蓝色激光、红色激光、LED 灯处理下人参幼苗的气孔导度，并且 3 组差异并不大，以上 5 组处理均高于空白对照组，这说明激光补光后会对人参气孔导度的张开具有促进作用，这一结果表明，混合激光处理可以提高叶片的气孔导度，更好地调节环境与人参光合作用之间的关系，使人参在失水较少的情况下仍然可以获得最多的 CO_2，从而提高光合效率，增加有机物的积累。

胞间 CO_2 浓度是指细胞间的 CO_2 浓度，它的变化直接影响光合速率的变化，此外，CO_2 的含量还可以帮助我们确定它与气孔导度之间的关系。也是判断光合作用变化是否为气孔因素的重要依据。在各处理中，蓝色激光处理的细胞间 CO_2 浓度最高，红蓝混合光处理和全波长 LED 处理的结果相近，红色激光和空白对照的结果较低。结果表明，混合光、蓝光和 LED 都能增加人参细胞间 CO_2 浓度，提高光合速率。

2.3　不同光质补光对人参可溶性多糖含量的影响

不同光质补光对人参可溶性多糖含量的影响如图 3 所示。

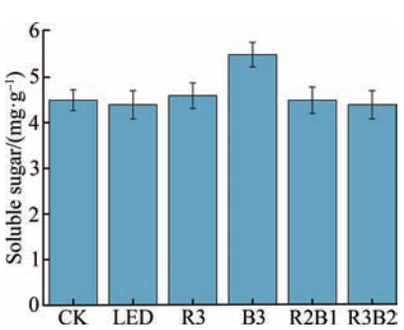


图 3　不同光质补光对人参可溶性多糖含量的影响

Figure 3　Effect of different light qualities on the content of ginseng soluble sugar

可溶性糖是植物生长发育的重要调节剂,在渗透调节和维持植物蛋白质稳定性方面发挥着重要作用。在不同的光照条件下,人参中可溶性多糖的含量不同。其中,可溶性多糖含量最多的处理是蓝色激光灯,显著高于其他5组处理,剩下的5组处理差异不大,说明蓝色激光促进人参可溶性多糖的积累。

2.4 不同光质补光对人参皂苷含量的影响

皂苷是苷元为三萜或螺旋甾烷类化合物的一类糖苷。我们分别测定了Rg1、Re和Rb1 3种人参皂苷。结果表明,在不同光照条件下,人参皂苷的含量存在显著差异。用激光灯处理的Rg1含量均显著高于对照组和LED组,Rg1含量最高的是用R2B1混合光处理的,红光处理下Rg1含量积累高于蓝光。Re含量最高的两个处理分别是R3B2和R3,二者差异不大,其次是用LED、R2B1,最低的是R3。Rb1含量最高的是用混合光R2B1和R3B2处理的两组,其次是R3、LED、B3,5个处理Rb1含量均高于空白对照组。总之,R2B1皂苷的含量最高,红光处理中3种皂苷的含量均高于蓝光处理。5个处理的Rg1、Re、Rb1皂苷含量均高于对照组。

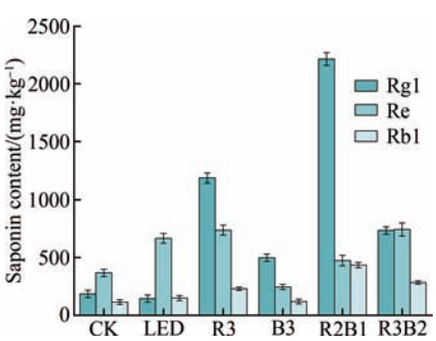


图4 不同光质补光对皂苷含量的影响

Figure 4 Effects of supplementary light with different light qualities on saponin content

3 结果与讨论

经过试验证明,当光质发生变化时,人参的形态和生理特征也会发生显著的变化,这种变化是由光质的调控作用所引起的。在本次试验中,用激光灯代替普通的发光二极管,激光灯具有电光转化效率高、能耗低等多重优势。研究发现,光合效率、营养成分、根重、茎高、叶长、叶宽等生理反应并不是呈现完全的一致性,例如,红色激光灯照射下,人参的根重最轻,但皂苷含量却较高。此外,光质不仅会影响光合作用,还会对植物的生长发育和形态塑造产生重要影响,这种影响主要体现在茎长、叶长、叶宽等方面。研究结果显示,红蓝混合激光处理下,株高最高,B3处理下的叶长和叶宽均优于其他5种处理,这种差异可能是由于光质的变化所导致的。研究表明,蓝色激光能够显著提升人参叶片的生长,为人参的正常生长提供了重要的调节作用。此外,通过改变红蓝激光的比例,可以有效地控制人参株高,从而为培育出抗倒伏的健壮植株提供了重要的依据。

在光质控制方面,LED的净光合速率最高,各处理组普遍高于对照组。B3的蒸腾速率最高,其他处理组的蒸腾速率普遍高于对照组;混合光的气孔导度最大,并且R3B2处理组高于R2B1处理组,单色光处理下气孔导度差异不大,空白对照组气孔导度最低;细胞间CO_2浓度在蓝色激光处理下最高,其他处理差异不显著,在红色激光处理下最低。在人参营养物质积累方面,我们分别测定了5组处理的多糖、Rg1、Re、Rb1皂苷含量,并分别与空白对照组做对比,结果发现,蓝光处理下的人参多糖含量显著高于其他处理,而红光以及红蓝混合光、LED处理下的人参多糖含量与对照组相比差异不大,这说明蓝色激光有利于人参多糖含量的积累。此外,通过测定Rg1、Re、Rb1 3种皂苷含量,我们发现,R2B1处理下的人参Rg1含量最多,远高于其他处理,其次是在R3、R3B2,LED与对照组差异不大;Re含量最高的处理为R3B2,略高于R3处理组,含量最低的是B3;Rb1含量最高的处理是R2B1、R3B2,其次是R3,LED与蓝色激光、空白对照差异不大。

综上,蓝色激光在人参形态方面具有重要的影响,且促进人参体内多糖含量的合成;但在皂苷积累方面,红色激光处理下的人参普遍比蓝色激光、LED处理组高,3种皂苷含量最高的处理为R2B1。未来,我们会进一步探究激光补光对人参生长及营养成分积累的影响,为缩短人参生长周期、提质增效做出努力。

参 考 文 献

[1] 刘上靖, 张欣, 孙霞, 等. 五加科人参属多糖免疫调节作用的研究进展[J]. 人参研究, 2023, 35(5): 52－55.

[2] 杨珊, 赵暖暖, 杨鑫, 等. 人参活性成分及药理作用研究进展[J]. 中医药导报, 2023, 29(1): 105－107, 116.
YANG Shan, ZHAO Nuannuan, YANG Xin. Research progress on active ingredients and pharmacological effects of Renshen (Ginseng) [J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2023, 29 (1): 105－107, 116.

[3] VUKSAN V, SUNG M K, SIEVENPIPER J L, et al. Korean red ginseng (Panax ginseng) improves glucose and insulin regulation in well-controlled, type 2 diabetes: results of a randomized, double-blind, placebo-controlled study of efficacy and safety. [J]. Nutrition, metabolism, and

cardiovascular diseases: NMCD, 2008, 18(1): 46－56.

[4] 方平, 杨鹤, 张誉荠, 等. 人参在不同LED光质下的生理响应和皂苷含量变化的研究[J]. 植物生理学报, 2022, 58(8): 1543－1554.
FANG Ping, YANG He, ZHANG Yuqi, et al. Study on the physiological response and saponin content of ginseng under different LED light quality [J]. Plant Physiology Journal, 2022, 58(8): 1543－1554.

[5] 任跃英, 牛晨, 王京京, 等. 不同光质对人参愈伤组织生长及皂苷含量的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2022, 42(4): 1318－1322.
REN Yueying, NIU Chen, WANG Jingjing, et al. Effects of different light qualities on growth and ginsenoside contents in callus of panax ginseng [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2022, 42(4): 1318－1322.

[6] BIAN Z H, YANG Q C, LIU W K. Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: A review [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2015, 95(5): 869－877.

[7] JEON Y M, SON K H, KIM S M, et al. Growth and bioactive compounds as affected by irradiation with various spectrum of light-emitting diode lights in dropwort [J]. Horticulture Environment & Biotechnology, 2017, 58(5): 467－478.

[8] KIM E Y, PARK S A, PARK B J, et al. Growth and antioxidant phenolic compounds in cherry tomato seedlings grown under monochromatic light-emitting diodes [J]. Horticulture Environment & Biotechnology, 2014, 55(6): 506－513.

[9] LEE J W, SON K H, LEE J H, et al. Growth and biochemical responses of ice plant irradiated by various visible light spectra in plant factories [J]. Horticultural Science & Technology, 2019, 37(5): 598－608.

[10] PENNISI G, BLASIOLI S, CELLINI A, et al. Unraveling the role of red: Blue led lights on resource use efficiency and nutritional properties of indoor grown sweet basil [J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 13.

[11] ZHANG X, HE D X, NIU G H, et al. Effects of environment lighting on the growth, photosynthesis, and quality of hydroponic lettuce in a plant factory [J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2018, 11(2): 33－40.

[12] 胡炼, 王志敏, 汪沛, 等. 基于激光感知的农业机器人定位系统[J]. 农业工程学报, 2023, 39(5): 1－7.
HU Lian, WANG Zhimin, WANG Pei, et al. Agricultural robot positioning system based on laser sensing [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(5): 1－7.

[13] 牛润新, 张向阳, 王杰, 等. 基于激光雷达的农业机器人果园树干检测算法[J]. 农业机械学报, 2020, 51(11): 21－27.
NIU Runxin, ZHANG Xiangyang, WANG Jie, et al. Orchard trunk detection algorithm for agricultural robot based on laser radar [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(11): 21－27.

[14] 刘海明, 吴宏杰. 基于激光传感控制的农业大棚监测系统设计[J]. 激光杂志, 2019, 40(9): 167－171.
LIU Haiming, WU Hongjie. Design of agricultural greenhouse monitoring system based on laser sensing control [J]. Laser Journal, 2019, 40(9): 167－171.

[15] 杨明来, 王英, 戚行江, 等. 激光技术在农业补光领域的应用与发展前景[J]. 照明工程学报, 2023, 34(5): 12－18.
YANG Minglai, WANG Ying, QI Xingjiang, et al. Application and future prospects of laser technology in agricultural supplemental light [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2023, 34(5): 12－18.

[16] 梁雪梅, 贾鹏, 秦莉, 等. 激光在土地保护、农作物生长及害虫防治领域应用研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 2021, 43(2): 130－137.
LIANG Xuemei, JIA Peng, QIN Li, et al. Research progress of laser application in land protection, crop growth and pest control [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2021, 43(2): 130－137.

[17] NADIMI M, SUN D W, PALIWAL J. Recent applications of novel laser techniques for enhancing agricultural production [J]. Laser Physics, 2021, 31(5): 053001.

[18] 叶瑞涛, 熊正烨, 李永强, 等. 光电技术在农业工程中的应用与展望[J]. 农业工程, 2021, 11(1): 40－45.
YE Ruitao, XIONG Zhengye, LI Yongqiang, et al. Application and prospect of photoelectric technology in agricultural engineering [J]. Agricultural Engineering, 2021, 11(1): 40－45.

[19] 郎兴凯, 贾鹏, 陈泳屹, 等. 窄线宽半导体激光器研究进展[J]. 中国科学: 信息科学, 2019, 49(6): 649－662.
LANG Xingkai, JIA Peng, CHEN Yongyi, et al. Advances in narrow linewidth diode lasers [J]. Scientia Sinica(Informationis), 2019, 49(6): 649－662.

[20] 刘晓英, 焦学磊, 徐志刚, 等. 红蓝LED光对叶用莴苣生长、营养品质和硝态氮含量的影响[J]. 南京农业大学学报, 2013, 36(5): 139－143.
LIU Xiaoying, JIAO Xuelei, XU Zhigang, et al. Effects of red and blue LED on growth, nutritional quality and nitrate nitrogen content of lettuce [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2013, 36(5): 139－143.

Effects of different light quality lasers on the growth of ginseng

LI Weiping[1], LIANG Xuemei[1*], CHENG Zhiqiang[1], XU Yonghua[2], JIA Peng[3, 4], WANG Lijun[3, 4]

(1. *Institute of Intelligent Agriculture*, *Jilin Agricultural University*, *Changchun* 130118, *China*;
2. *College of Chinese Herbal Medicine*, *Jilin Agricultural University*, *Changchun* 130118, *China*;
3. *Changchun Institute of Optical Precision Machinery and Physics*, *Chinese Academy of Sciences*, *Changchun* 130033, *China*; 4. *State Key Laboratory of Optics and Applications*, *Changchun* 130033, *China*)

Abstract: In recent years, with the continuous progress of semiconductor laser technology, laser technology applied in the field of agriculture has attracted much attention. The laser light source has the advantages of strong monochromaticity, high electro-optical conversion efficiency and low use cost, which provides new technical support for improving crop quality and increasing yield. In order to study the effects of different light quality laser on the growth, physiological and biochemical indexes, polysaccharide and saponin accumulation of ginseng, biennial ginseng carrier seeds were selected for experiments. From the leaf opening stage to the leaf withering stage: from 7:00 to 11:00, and from 14:00 to 18:00. every day, full-wavelength LED lights, red laser light (R3), blue laser light (B3), hybrid laser light R2B1, R3B2 (optical quantum density of 4.48 μmol/(m^2·s), 4.61 μmol/(m^2·s)) are used to fill light, respectively. According to the influence of different light quality, this study set up no light as a blank control group. It was found that the net photosynthetic capacity and stomatal conductance of leaves of ginseng were improved. Among them, the photosynthesis capacity of the LED light source was more obvious, and the absorption capacity of the blue light source was also stronger. In particular, the net photosynthetic rate of the LED treatment group was the most prominent, while the blue light treatment group achieved the most significant improvement in transpiration rate and intercellular CO_2 concentration. The stomatal conductance of R3B2 treatment group was the highest. In terms of growth, ginseng performed best under mixed red and blue light treatment. Compared with the control group, blue light could significantly increase plant height and leaf length and width. The root weight and leaf weight of LED full wavelength complement light group were higher than other treatments. In terms of the accumulation of nutrients, the polysaccharide content in blue light treatment was the highest, and the saponin content in red light treatment was generally higher than that in blue light treatment group, indicating that red light promoted the accumulation of saponin content. The content of Rg1 and Rb1 saponin in R2B1 treatment group was the highest, which was much higher than that in other treatments; the content of Re saponin in R3B2 treatment was similar to that in red light treatment group, and higher than that in the other four treatments. In future studies, we will select the most suitable conditions for the growth and nutrient accumulation of ginseng, so as to provide a feasible method for shortening the growth cycle, improving the quality and efficiency of ginseng.

Keywords: ginseng; laser fill light; photosynthesis; polysaccharides; saponin