

DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).202009032

思茅松林下生境差异对三七生长和品质的影响*

吴 灿¹, 叶 辰¹, 张俊星¹, 龚加寿¹, 李天尧², 杨 敏¹, 王海宁^{1**}, 朱书生^{1**}

(1. 云南农业大学, 农业生物多样性与病虫害控制教育部重点实验室, 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 云南昆明 650201; 2. 云南大学 资源植物研究院, 云南昆明 650504)

摘要:【目的】研究思茅松林下适宜三七生长的环境条件, 为三七林下生态种植林地的选择提供支撑。

【方法】在云南省普洱市澜沧县竹塘乡思茅松林下三七种植林地设置不同的海拔、朝向和透光率处理, 比较不同环境条件下三七生长和品质的差异。【结果】海拔 1510 m 林地的三七出苗率极显著高于海拔 1 890 m ($P<0.01$), 海拔 1510 m 林地的三七总皂苷含量显著高于海拔 1 890 m ($P<0.05$), 但干质量无显著差异 ($P>0.05$)。阳坡朝向的林地三七干质量和皂苷总含量均高于阴坡朝向。林下透光率在 $>10\%~25\%$ 条件下均有利于二年生三七干质量的积累和皂苷的合成; 当透光率高于 25% 时, 二年生三七的干质量和皂苷含量均降低。

【结论】思茅松林地海拔、朝向和透光率的差异均会影响三七的生长和品质的形成, 二年生三七适宜生长在海拔约 1 510 m、朝向为阳坡、透光率 $>10\%~25\%$ 的思茅松林地。

关键词: 思茅松; 三七; 朝向; 海拔; 透光率; 品质

中图分类号: S 567.236.01 文献标志码: A 文章编号: 1004-390X (2021) 04-0691-09

Effect of Habitat Differences under the Forest of *Pinus kesiya* var. *langbianensis* on the Growth and Quality of *Panax notoginseng*

WU Can¹, YE Chen¹, ZHANG Junxing¹, GONG Jiashou¹, LI Tianyao²,
YANG Min¹, WANG Haining¹, ZHU Shusheng¹

(1. Key Laboratory of Agro-biodiversity and Pest Control, Ministry of Education, Yunnan Agricultural University,
State Key Laboratory for Conservation and Utilization Bio-Resources in Yunnan, Kunming 650201, China;

2. Institute of Resource Plant, Yunnan University, Kunming 650504, China)

Abstract: [Purpose] To investigate the effect of habitat under the forest of *Pinus kesiya* var. *langbianensis* on the growth of *Panax notoginseng*, and then provide the theoretical support for the site selection of the ecological planting of *P. notoginseng*. [Method] Different altitudes, orientations, and light transmittances were set up in the *P. kesiya* var. *langbianensis* forest, Zhutang Town, Lancang County, Pu'er City, Yunnan Province. The growth and quality of *P. notoginseng* under different environmental conditions were compared. [Result] The emergence rate of *P. notoginseng* at the altitude of 1 510 m was significantly higher than that at 1 890 m ($P<0.01$). The total ginsenoside content

收稿日期: 2020-09-25 修回日期: 2021-03-03 网络首发时间: 2021-07-15 16:53:02

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC1702502); 云南省中国工程院云南院士工作站(2018IC063);
云南绿色食品国际合作研究中心项目(2019ZG00901)。

作者简介: 吴灿(1995—), 男, 云南昭通人, 在读硕士研究生, 主要从事三七林下生态种植研究。

E-mail: 1017309601@qq.com

**通信作者 Corresponding authors: 王海宁(1968—), 男, 云南普洱人, 博士, 教授, 主要从事农业生物多样性研究。E-mail: hnwang636@sina.com; 朱书生(1979—), 男, 云南曲靖人, 博士, 教授, 主要从事生物多样性与生态农业研究。E-mail: shushengzhu79@126.com

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20210714.1713.003.html>



of the *P. notoginseng* at the altitude of 1510 m was significantly higher than that at 1890 m ($P<0.05$), but there was no significant difference ($P>0.05$) in dry weight. The dry weight and total ginsenoside content of *P. notoginseng* on the sunny slope were higher than those on the shady slope. Light transmittance from >10% to 25% contributed to the higher dry weight and total ginsenoside content of biennial *P. notoginseng*. The dry weight and ginsenoside content of biennial *P. notoginseng* decreased when the light transmittance was above 25%. [Conclusion] The difference in altitude, orientation, and light transmittance of *P. kesiya* var. *langbianensis* forest affected the growth and quality of *P. notoginseng*. Biennial *P. notoginseng* was suitable for growing *P. kesiya* var. *langbianensis* forest with altitude of about 1510 m, sunny slope, and light transmittance of >10%-25%.

Keywords: *Pinus kesiya* var. *langbianensis*; *Panax notoginseng*; orientation; altitude; light transmittance; quality

三七 [*Panax notoginseng*] 为五加科 (Araliaceae) 人参属 (*Panax*) 多年生草本植物, 以干燥的根及根茎入药, 具有活血化瘀和消肿定痛等功效^[1]。三七是一种道地名贵中药材, 在现代医学的中医和西医领域都具有重要影响。传统农田三七种植方式导致三七连作障碍问题突出, 严重影响三七的产量和品质^[2]; 生产过程中农药的过度使用不仅没有减轻连作障碍, 反而导致农药残留问题^[3]。占用农田资源、化肥农药施用和种植成本等因素制约着三七的产量与品质。生境作为生物居住的地方或生物生活的生态地理环境, 由生物和非生物因子综合形成, 对生物的生长起到至关重要的作用^[4]。林下生境具有丰富的生物多样性及相对稳定的微环境, 充分利用林地资源, 遵循药材自身生长发育规律, 让三七回归山野林中, 解决连作障碍占用农田, 利用农业生物多样性原理减少病虫害, 生产过程中不施用化肥农药, 避免农药残留, 保证三七药材品质, 从源头上提升三七的质量和安全, 是实现三七可持续发展的重要途径。

三七生境的非生物因子主要包括温度、光照、水分和土壤, 生物因子主要包括微生物、植物和动物等^[4]。三七的人工种植已有 400 多年的历史, 但对其生境的深入研究却不多。20世纪 50 年代, 周永泰^[5]对文山当地三七的种植分布、生物学特性、气候和土壤环境等进行了早期研究; 姚建等^[6]认为: 三七生长适宜海拔在 1000~2 000 m, 最适宜海拔为 1400~1800 m。在透光率方面, 多数学者认为一年生三七的适宜透光率为自然光照的 8%~12%, 二年生三七为 12%~15%,

三年生三七为 15%~20%, 但对最适范围的划分有一定分歧^[4]。近年来, 有学者对三七林下种植进行了积极探索。GONG 等^[7]分别在湖南的核桃、杉木、葡萄和猕猴桃林下进行三七栽培试验, 发现核桃林地更适宜三七生长; 姜成厚等^[8]认为梧州低海拔林下种植三七具有可行性, 可在广西低海拔地区推广。目前, 林下三七种植率先在云南省普洱市澜沧县进行推广, 并在全省多个州市进行推广。据统计, 云南省林地面积约为 2 827 万 hm², 满足三七种植的林地近 66 万 hm², 普洱市满足三七种植条件的林地面积约 67 000 hm², 是全省适宜开展林下三七种植的最集中区域。截至 2019 年, 普洱市林下三七种植面积已经接近 667 hm²^[9]。未来林下三七的种植将向着产业化发展, 相关研究显得尤为重要。

大量研究发现: 传统农田生产中海拔、光照和坡度等生境的变化可引起三七生长和品质的变化^[4], 但林下种植作为一个正在兴起的生态种植模式, 其生境差异对三七生长和品质存在的影响鲜有报道。适宜三七种植的树林多分布于山区, 不同树林朝向和坡度等微环境与三七生长和品质形成的关系研究也尚未开展。为此, 本研究在云南省普洱市澜沧县竹塘乡海拔 1510 和 1 890 m 的思茅松林地, 选择不同朝向和透光率的林下环境进行三七种植试验, 实时监测土壤和大气状况(包括温度、湿度和光照等), 调查三七出苗率和存苗率, 测定三七各项品质指标, 比较不同林下生长环境对三七生长和品质的影响, 为林下三七生态种植过程中林地的选择提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料和地点

供试三七种子和一年生三七种苗购自云南省文山市三七交易市场。

林下种植地位于云南省普洱市澜沧县竹塘乡

李召梁子(海拔1510 m, N $22^{\circ}40'33''$, E $99^{\circ}50'47''$)和高风刮(海拔1890 m, N $22^{\circ}41'38''$, E $99^{\circ}52'17''$)思茅松林地, 其林地土壤的基本理化性状见表1。

表1 林地土壤的基本理化性状

Tab. 1 Basic physical and chemical properties of forest soil

| 林地 woodland | pH | 电导率/ ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$) electrical conductivity | 有机质含量/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) organic matter content | 碱解氮含量/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) available nitrogen content | 有效磷含量/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) available phosphorus content | 速效钾含量/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) available potassium content |
|--------------------|------|---|--|---|---|--|
| 李召梁子 Lizhaoliangzi | 5.83 | 50.23 | 72.78 | 224.13 | 7.96 | 114.06 |
| 高风刮 Gaofenghua | 5.11 | 72.33 | 68.18 | 320.37 | 7.74 | 114.03 |

1.2 试验方法

各试验地的设置和管理: 每个试验小区长15 m×宽1.4 m, 三七种植的株行距为15 cm×15 cm。每个小区为1个重复, 每个试验处理设3个重复。试验地用2 m宽的铁丝网包围防止外部因素的破坏, 每周对试验地进行1次除草。5月雨季来临之前, 每个小区搭建1.4 m高的拱形避雨棚以减少三七病害的发生。

1.2.1 林地海拔对三七生长及品质的影响

选择李召梁子和高风刮2处不同海拔的林地, 于2017年12月移栽一年生三七种苗。在不同海拔的种植地设置蓝牙—户外温湿度记录器(HOBO MX2301A, 北京北方大河仪器仪表有限公司)实时监测大气温度, 并分别设置1台HOBO Micro Station(HOBO H21-US, 美国)监测土壤温度和土壤湿度。2018年年底汇总全年不同海拔的温度和湿度数据, 计算种植地全年和三七不同生长阶段(萌芽期: 12月—次年4月、展叶期: 4—5月、生长期: 5—12月)的平均气温、土壤平均温度和土壤平均湿度, 其中生长期的土壤平均湿度由于避雨的原因不再监测。2018年4月调查三七出苗率, 7月调查三七存苗率。2018年年底取样测定三七生物量和皂苷含量, 比较分析林地不同海拔对三七生长和品质的影响。

1.2.2 林地朝向对三七生长及品质的影响

在李召梁子林下种植点, 根据日照情况设置阳坡及阴坡2个朝向, 于2017年12月移栽一年生三七种苗, 在不同朝向的种植地设置蓝牙—户外温湿度记录器实时监测大气温度。2018年年底汇总全年不同朝向的温度数据, 计算种植地全年以及三七不同生长阶段(同1.2.1节)的平均气温。2018年4月调查三七出苗率, 7月调查三七

存苗率。2018年年底取样测定生物量和皂苷含量, 比较分析林地不同朝向对三七生长和品质的影响。

1.2.3 林下透光率对三七品质的影响

在李召梁子和高风刮2个林下种植点, 于10:00—14:00光照最强时选择不同光照区域用照度计(MAVOLUX 5032B/C BASE, 高美测仪有限公司)测定其光照强度值, 并根据光照强度划分透光率, 具体为: ≤10%透光率(光照强度≤10 000 lx)、>10%~25%透光率(10 000 lx<光照强度≤25 000 lx)、>25%~40%透光率(25 000 lx<光照强度≤40 000 lx)、>40%透光率(光照强度>40 000 lx), 研究不同透光率对林下三七生长及品质的影响。2018年7月, 用叶绿素测定仪(MHY-25751, 北京美华仪科技有限公司)测定不同光照强度处理小区内三七叶绿素含量, 分析比较叶绿素含量与透光率的关系。2018年年底取样回实验室测生物量和皂苷含量, 比较分析不同透光率下三七的生物量和皂苷含量差异。

1.2.4 三七干质量测定

参考寸竹等^[10]的测定方法, 将取回实验室的样品洗净后把地上及地下部分开, 于105 °C杀青1 h后, 置于60 °C烘箱烘干至恒质量后称量干质量。

1.2.5 三七皂苷含量测定

标准品溶液的制备: 称取三七皂苷R₁、人参皂苷Rb₁、人参皂苷Rd、人参皂苷Re和人参皂苷Rg₁标准品适量, 用甲醇溶解并定容、混匀, 制得0、5、25、50、100、200和500 mg/L的标液, 4 °C保存, 备用。

三七主根皂苷溶液的制备: 参考《中国药典》(2015)关于三七皂苷含量测定的方法, 将三

七地下部分洗净后烘干剥离须根，将主根打粉磨细，过40目筛。精密称取0.20g置于15mL离心管中，加入15mL70%的甲醇水溶液，超声30min，吸取上清液2mL，过0.22μm的过滤器后装入样品瓶，制得供试样品的溶液。

含量测定：使用色谱柱（Infinitylab poroshell 120 EC-C18 4.6 mm×150 mm）在HPLC-30A高效液相色谱仪（日本岛津有限公司）上对样品皂苷含量进行检测，流动相由乙腈（A）和水（B）组成，梯度洗脱程序如表2所示，流速1.0 mL/min，检测波长203 nm，柱温30℃，进样体积10 μL；采用外标法分别对样品中R₁、Rb₁、Rd、Re和Rg₁5种皂苷含量进行计算，对总皂苷含量进行分析。

表2 HPLC测定的皂苷梯度洗脱条件

Tab. 2 Ginsenoside gradient elution conditions of HPLC determination

| 时间/min time | 流动相A(乙腈) volume fraction of mobile phase A (acetonitrile) | 流动相B(水) volume fraction of mobile phase B (water) |
|----------------|--|--|
| 0 | 18 | 82 |
| 20 | 18 | 82 |
| 40 | 43 | 57 |
| 48 | 55 | 45 |
| 54 | 55 | 45 |
| 56 | 95 | 5 |
| 71 | 95 | 5 |
| 72 | 18 | 82 |
| 74 | 18 | 82 |

1.2.6 数据统计及分析

试验数据用“平均值±标准误”表示，并采用Microsoft Excel 2016和SPSS 18.0软件进行统计分析，不同处理间的方差分析运用ANOVA进行，两组处理间的方差分析运用独立样本t检验分析。

2 结果与分析

2.1 林地海拔对三七生长及品质的影响

2.1.1 林地不同海拔气候的差异

由表3可知：低海拔种植地全年平均气温及三七个生长阶段的平均气温都高于高海拔种植地，其土壤平均温度也呈同样的规律。低海拔种植地的全年土壤平均湿度、萌芽期和展叶期的土壤平均湿度均低于高海拔种植地。

2.1.2 林地不同海拔三七的生长差异

由表4可知：低海拔种植地的三七出苗率极显著高于高海拔种植地，高海拔种植地的存苗率、干质量与低海拔差异不明显，说明低海拔种植地更有利于三七出苗。

2.1.3 林地海拔对三七皂苷含量的影响

由表5可知：低海拔种植地总皂苷含量显著高于高海拔种植地($P<0.05$)。除了皂苷Rb₁的含量是低海拔种植地低于高海拔种植地外，其余4种皂苷的含量均是低海拔种植地高于高海拔种植地，但是均没有显著性差异。说明低海拔种植地更有利于三七总皂苷的积累，高海拔种植地有利于Rb₁皂苷的积累。

表3 不同海拔种植地气象差异

Tab. 3 Climate differences in the planting area at different altitudes

| 海拔/m altitude | 全年平均气温/℃ annual average temperature | 萌芽期平均气温/℃ average temperature during seed germination | 展叶期平均气温/℃ average temperature during leaf spreading stage | 生长期平均气温/℃ average temperature during seeding growth |
|------------------|---|---|---|---|
| 1510 | 17.29±0.13 | 14.20±0.04 | 18.46±0.14 | 19.72±0.21 |
| 1890 | 16.55±0.02 | 13.51±0.03 | 18.27±0.08 | 18.69±0.03 |
| 海拔/m altitude | 全年土壤平均温度/℃ annual soil average temperature | 萌芽期土壤平均温度/℃ soil average temperature during seed germination | 展叶期土壤平均温度/℃ soil average temperature during leaf spreading stage | 生长期土壤平均温度/℃ soil average temperature during seeding growth |
| 1510 | 18.25±0.03 | 13.58±0.05 | 17.65±0.03 | 20.16±0.01 |
| 1890 | 16.76±0.02 | 13.49±0.03 | 16.14±0.03 | 18.06±0.01 |
| 海拔/m altitude | 全年土壤平均湿度/% annual soil average humidity | 萌芽期土壤平均湿度/% soil average humidity during seed germination | 展叶期土壤平均湿度/% soil average humidity during leaf spreading stage | 生长期土壤平均湿度/% soil average humidity during seeding growth |
| 1510 | 19.03±0.07 | 19.86±0.06 | 20.24±0.07 | — |
| 1890 | 23.51±0.07 | 24.66±0.05 | 21.13±0.08 | — |

2.2 林地朝向对三七生长及品质的影响

2.2.1 林地不同朝向温度的差异

由表6可知: 阳坡种植地的全年平均气温为17.93 °C, 比阴坡的全年平均气温(16.67 °C)高1.27 °C, 且在三七不同生长阶段阳坡的平均气温高于阴坡。

2.2.2 林地不同朝向三七的生长差异

由表7可知: 阳坡种植地的三七出苗率、存苗率、地上部单株干质量及地下部单株干质量均

高于阴坡, 但无显著差异, 说明阳坡种植地更有利于三七生物量的积累, 阳坡较阴坡的三七生长得好。

2.2.3 林地朝向对三七皂苷含量的影响

由表8可知: 除了Rd皂苷的含量是阳坡种植地低于阴坡外, 其余4种皂苷的含量均是阳坡高, 但无显著差异, 而且阳坡种植地的皂苷总含量也高于阴坡, 说明阳坡种植地更有利于三七总皂苷的积累, 阴坡种植地有利于Rd皂苷的积累。

表4 不同海拔种植地三七的出苗率、存苗率及单株干质量

Tab. 4 The emergence rate, survival rate and dry weight per plant of *P. notoginseng* at different altitudes

| 海拔/m altitude | 出苗率/% emergence rate | 存苗率/% survival rate | 地上部干质量/g dry weight of aboveground | 地下部干质量/g dry weight of underground |
|------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1510 | 74.79±1.99** | 61.77±2.25 | 0.50±0.23 | 1.40±0.11 |
| 1890 | 68.69±1.37 | 62.27±1.36 | 0.54±0.04 | 1.45±0.13 |

注: “**”表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: “**” means extremely significant difference ($P<0.01$).

表5 不同海拔种植地三七主要5种皂苷的含量

Tab. 5 The contents of five main ginsenosides of *P. notoginseng* at different altitudes

w/(mg·g⁻¹)

| 海拔/m altitude | R ₁ | Rb ₁ | Rd | Re | Rg ₁ | 总和 total |
|---------------|----------------|-----------------|-----------|-----------|-----------------|-------------|
| 1510 | 1.44±0.22 | 5.34±0.64 | 1.39±0.15 | 1.07±0.11 | 9.20±1.14 | 18.44±2.23* |
| 1890 | 1.41±0.14 | 5.43±0.49 | 1.34±0.11 | 0.83±0.84 | 7.12±0.57 | 16.12±1.30 |

注: “*”表示差异显著($P<0.05$)。

Note: “*” means significant difference ($P<0.05$).

表6 不同朝向种植地的温度

Tab. 6 The temperature of the planting area in different orientations

| 朝向 orientation | 全年平均气温/°C annual mean temperature | 萌芽期平均气温/°C average temperature during seed germination | 展叶期平均气温/°C average temperature during leaf spreading stage | 生长期平均气温/°C average temperature during seedling growth |
|-------------------|--------------------------------------|--|--|---|
| 阴坡 shady slope | 16.67±0.03 | 14.13±0.05 | 18.33±0.09 | 19.65±0.03 |
| 阳坡 sunny slope | 17.93±0.04 | 14.28±0.04 | 18.61±0.10 | 20.12±0.06 |

表7 不同朝向种植地三七的出苗率、存苗率及单株干质量

Tab. 7 The emergence rate, survival rate and dry weight per plant of *P. notoginseng* in different orientations

| 朝向 orientation | 出苗率/% emergence rate | 存苗率/% survival rate | 地上部干质量/g dry weight of aboveground | 地下部干质量/g dry weight of underground |
|-------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 阳坡 sunny slope | 76.52±2.52 | 63.31±1.41 | 0.53±0.02 | 1.56±0.10 |
| 阴坡 shady slope | 73.56±2.96 | 60.18±4.46 | 0.48±0.04 | 1.24±0.16 |

表8 不同朝向种植地的三七主要5种皂苷的含量

Tab. 8 The contents of five main ginsenosides of *P. notoginseng* in different orientations

w/(mg·g⁻¹)

| 朝向 orientation | R ₁ | Rb ₁ | Rd | Re | Rg ₁ | 总和 total |
|----------------|----------------|-----------------|-----------|-----------|-----------------|------------|
| 阳坡 sunny slope | 1.49±0.14 | 5.82±0.63 | 1.34±0.12 | 1.13±0.10 | 9.48±0.96 | 19.26±1.95 |
| 阴坡 shady slope | 1.42±0.33 | 5.09±0.93 | 1.41±0.23 | 1.04±0.16 | 9.06±1.70 | 18.02±3.33 |

2.3 林地透光率对三七品质的影响

2.3.1 林地透光率对三七叶片叶绿素含量的影响

由图1可知：光照强度低于10 000 lx时，一年生三七种苗叶片的叶绿素含量高。随着光照强度的增加，叶绿素的含量显著减少($R^2=0.7408$)。说明透光率对一年生三七种苗叶片的叶绿素含量影响比较大，低透光率更有利于一年生三七种苗叶片叶绿素合成，透光率高则不利于三七种苗叶片叶绿素的合成。此外，随着光照强度的逐渐增加，二年生三七叶片叶绿素的含量极显著减少($R^2=0.6167$)。说明高透光率对二年生三七叶片叶绿素的合成有抑制作用，在低透光率条件下有利于叶绿素合成。

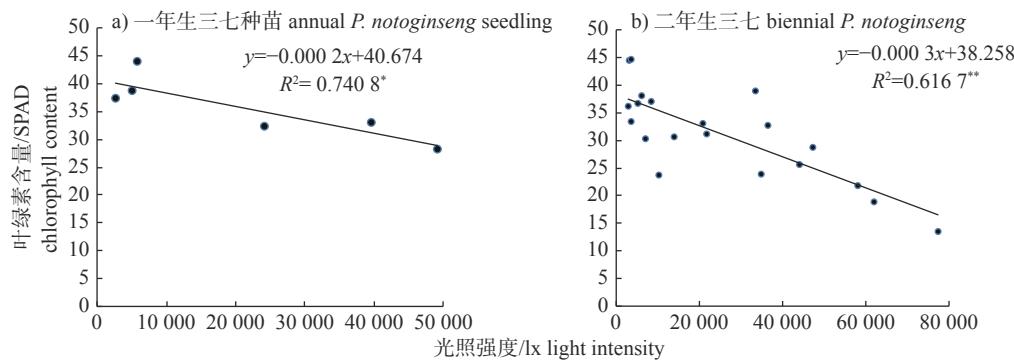
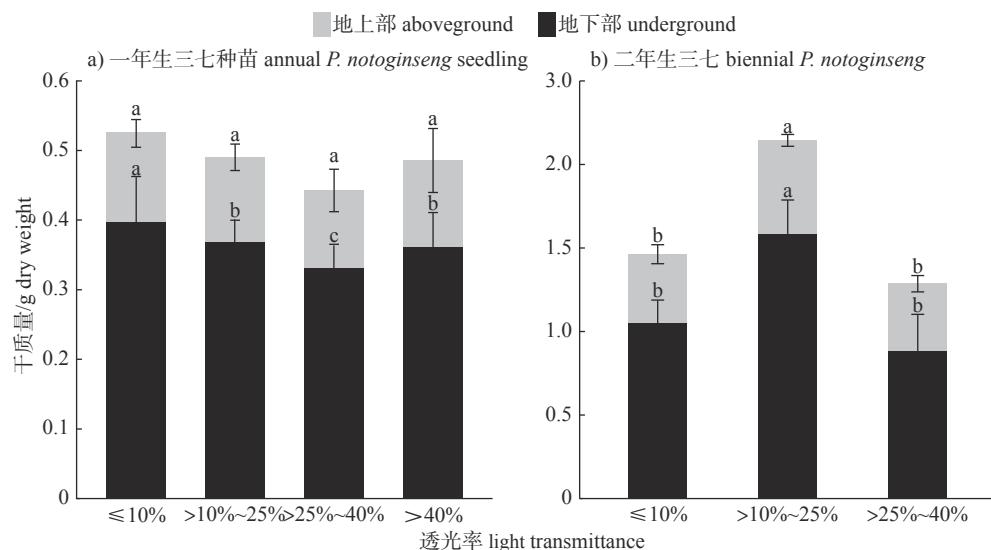


图1 光照强度对三叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of light intensities on chlorophyll content of *P. notoginseng*



注：不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)；由于后期避雨棚受损，三七病害加重死亡，故无二年生三七小区透光率>40%的数据；下同。

Note: Different lowercase letters represent significant difference ($P<0.05$); due to the damage of the rain shelter in the later period, the biennial *P. notoginseng* community with light transmittance >40%, the disease of *P. notoginseng* was aggravated and died, so the data of this part is not shown; the same as below.

2.3.2 林地不同透光率下三七干质量的差异

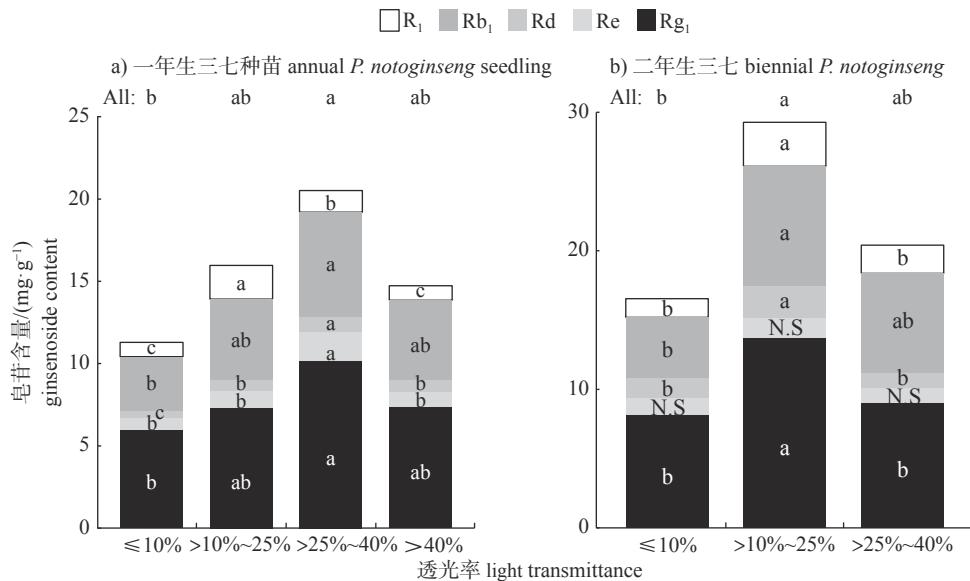
由图2可知：不同的林间透光率条件下一年生三七种苗地上部分干质量无显著差异，透光率 $\leq 10\%$ 更有利于一年生三七种苗地下部分的生长；透光率 $>10\%~25\%$ 时，二年生三七的地部分和地下部分干质量都显著高于透光率 $\leq 10\%$ 和 $>25\%~40\%$ 的，说明二年生三七的最适宜透光率在 $>10\%~25\%$ 范围。

2.3.3 林地透光率对三七皂苷含量的影响

由图3a可知：林间透光率在 $>25\%~40\%$ 之间种植的一年生三七种苗总皂苷含量高于其他透光率的皂苷含量。除R₁皂苷含量是 $>10\%~25\%$ 透光率显著高于其他透光率外，其余4种皂苷含

图2 林地透光率对三七干质量的影响

Fig. 2 Effect of woodland light transmittance on the dry weight of *P. notoginseng*



注: N.S. 差异不显著; All. 5 种皂苷总和。

Note: N.S. no significant difference; All. the sum of 5 kinds of ginsenoside.

图3 林地透光率对三七皂苷含量的影响

Fig. 3 Effect of woodland light transmittance on the ginsenoside content of *P. notoginseng*

量均是>25%~40% 透光率高于其他透光率。说明当透光率过高和过低时,都不利于一年生种苗皂苷含量的积累。由图3b可知:透光率在>10%~25%的二年生三七的总皂苷含量高于透光率在≤10% ($P<0.05$) 和>25%~40% 的皂苷含量,各透光率条件下 Re 皂苷含量无显著差异。说明在>10%~25%的透光率下有利于二年生三七皂苷的积累。

3 讨论

三七起源于森林植被下层的阴生植物,对光照、温度和水等生长环境要求严苛。农田人工搭建遮阴篷的种植模式很难模拟三七生长的原生状态。林下三七种植是三七回归山林、提升品质的有效措施。本研究表明:林下种植过程中坡向、海拔和光照环境的差异均会对三七生长和品质产生影响。

林地海拔影响三七生长和品质。海拔差异不仅对气温有重要影响,同时还对土壤温度和湿度等因子有影响。本研究表明:低海拔种植的三七出苗率极显著高于高海拔种植的出苗率,这可能是在适宜的温湿度范围内,适当升温增湿,使休眠期缩短,有利于三七的出苗。罗群等^[11]认为:三七生长发育期要求比较湿润的环境,植株的正常生长要求保持 25%~40% 的土壤水分;三七出苗期最适宜气温 20~25 °C, 土壤温度 10~15 °C;

三七在生育期最适宜的气温是 20~25 °C, 土壤温度 15~20 °C。张琴等^[12]的 MaxEnt 预测结果表明:随着海拔增加,三七的存在概率也不断增加,当海拔达到 1100 m 时,三七的存在概率达到 0.5, 当海拔为 1500 m 时,存在概率最大,之后随着海拔增加,存在概率反而下降。除 Rb₁ 皂苷以外,其余 4 种皂苷的含量以及总皂苷含量都是低海拔种植地高于高海拔种植地,这可能是低海拔种植地全年土壤平均湿度高于高海拔种植地导致的。而高海拔种植地的皂苷 Rb₁ 含量高于低海拔地区,推测认为适当的水分胁迫可能有利于 Rb₁ 皂苷的积累,赵宏光等^[13]也认为人参皂苷 Rb₁ 含量随着土壤水分含量的增加呈现逐渐减少的趋势。本研究仅设置 2 个海拔条件,海拔因素对三七生长及品质的影响还需设置多个海拔种植点进一步研究。

林地朝向影响三七生长和品质。坡向是影响太阳辐射和降水空间重新分布的重要地形因子,同时它改变了土壤中水分和养分的分布,导致不同坡向的水、肥、气、热等基本生境条件的差异^[14]。本研究表明:阳坡种植能提高林下三七的出苗率、存苗率和干质量。在皂苷含量上,阳坡种植也较阴坡种植有优势,具体来说就是总皂苷含量和其中的 4 种主要皂苷含量更高(除了 Rd 皂苷)。推测认为这可能与阳坡种植地的全年大气均

温及各生长期大气均温高于阴坡有关，阳坡更高的温度可能更有利于三七生长及总皂苷的积累。周润泽等^[15]认为：10、15和20℃条件下，20℃主根皂苷含量积累最高，说明一定温度范围内，温度越高三七的皂苷含量积累越多。但不同坡向导致的三七生长和品质的差异，光照和水分等环境因素也不容忽略。坡向与三七生长及品质关系的研究目前尚少，但人参属其他植物的研究相对较多。汪本龙^[16]认为：阴坡更加适合林下西洋参的生长，阳坡和阴坡下西洋参的地上部干质量差异不显著，地下部干质量阴坡显著高于阳坡；坡向对西洋参不同皂苷的影响也各不相同。阮晓佳等^[17]认为：不同坡向林下参单体皂苷不同，阳坡林下参单体皂苷Rb₂和Rb₃含量最高，阴坡林下参单体皂苷Rh₂含量最高，可能与温度和光照等环境条件有关。由于三七与其他人参属植物的生长环境存在很大差异，因此，不同坡向引起微环境因素变化导致的林地朝向对三七生长和品质的影响还有待于进一步深入研究。

林下光照强度变化影响三七生长和品质。光作为重要的生态因子，首先影响作物地上部分的生长发育，继而调节根系生长发育和功能。次生代谢物与植物的生长发育及其对环境的适应密切相关，光照强度不仅影响阴生植物正常的生长发育，还影响其次生代谢过程与次生代谢物的积累和转化^[10]。三七喜阴，忌强光直射，喜斜射或散射光，是一种光敏感植物。光照强度是影响三七皂苷含量的主导生态因子，长日照而低光强有利于优质三七的形成。本研究表明：低光照强度有利于三七叶绿素的形成。匡双便等^[18]认为：低光照条件下三七叶片的光合色素含量增加，有利于三七植株在低光照环境中捕获更多的光能进行光合作用，从而增加碳收获量和干物质的积累。透光率≤10%有利于三七种苗干质量的积累。二年生三七的干质量随透光率的升高先增加后降低，且透光率在>10%~25%之间的干质量高于其他透光率。三七是喜阴作物，其生长需要一定的光照条件，但是光照太强时会引起光合活性的降低，光合速率降低，使三七的生长受到抑制，从而不利于三七干质量的积累。有研究表明：10%左右的透光率应是三七生产中首选的生长环境光照强度^[19]，林地的郁闭度（森林中乔木树冠遮蔽地面的程度）在0.8以上适宜林下三七栽培^[20]，一年生

三七对光照的要求为自然光照的8%~12%，二年生三七对光照的要求通常为12%~15%^[11]。一年生三七种苗的总皂苷含量在透光率>25%~40%时达到最高；随着林间透光率的升高，一年生三七种苗和二年生三七的总皂苷含量先增加后降低，透光率在>10%~25%之间时，二年生三七的总皂苷含量达到最高。有研究表明：三七地下部分总皂苷含量随光照强度的增加呈现先升高后降低的趋势，当透光率为16%时，其地下部分皂苷含量达到最大值，干质量积累也较多^[21]；皂苷含量随光照增加而先增后减，自然光照的20%~30%是三七对光照的要求^[22]。

4 结论

思茅松林地海拔、朝向和透光率的差异均会影响三七的生长和品质的形成。海拔1510 m的思茅松林地有利于二年生三七的出苗及总皂苷的积累，海拔1890 m有利于二年生三七存苗及干质量的积累；阳坡思茅松林地适宜二年生三七的生长和皂苷的积累；三七在不同的生长阶段对透光率的要求不同，透光率为>10%~25%之间的思茅松林下更适宜二年生三七生长和皂苷的积累，透光率低于10%适宜一年生三七种苗的生长，透光率为>25%~40%适宜一年生三七种苗皂苷的积累。二年生三七适宜生长在海拔约1510 m、朝向为阳坡、透光率>10%~25%的思茅松林地，但相关的影响机理还有待进一步研究。

[参考文献]

- 陈红艳, 陈安, 卢芳国, 等. 三七总皂苷的药理研究进展[J]. 湖南中医杂志, 2019, 35(1): 154. DOI: 10.16808/j.cnki.Issn1003-7705.2019.01.066.
- 刘莉, 刘大会, 金航, 等. 三七连作障碍的研究进展[J]. 山地农业生物学, 2011, 30(1): 70. DOI: 10.15958/j.cnki.sdnyswxb.2011.01.013.
- 简在友, 王文全, 游佩进. 三七连作土壤元素含量分析[J]. 中国现代中药, 2009, 11(4): 10. DOI: 10.13313/j.issn.1673-4890.2009.04.002.
- 周建松, 胡展育, 赵芳, 等. 三七生境研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2019(2): 149. DOI: 10.11942/j.issn.1002-2767.2019.02.0149.
- 周永泰. 云南文山的三七[J]. 生物学通报, 1958(4): 14.
- 姚建, 杨克洪, 彭尔瑞. 三七栽培影响因素分析与控制[J]. 广东农业科学, 2011, 38(24): 22. DOI: 10.16768/j.issn.1004-874x.2011.24.048.
- GONG Z, LUO X Q, PENG J, et al. Cultivation techniques of *Panax notoginseng* F. H. Chen under different

- forests[J]. Agricultural Science & Technology, 2016, 17(12): 2818. DOI: [10.16175/j.cnki.1009-4229.2016.12.033](https://doi.org/10.16175/j.cnki.1009-4229.2016.12.033).
- [8] 姜成厚, 林伟国, 王金桥, 等. 梧州低海拔林下三七种植试验[J]. 南方农业学报, 2012, 43(3): 360. DOI: [10.3969/j.issn.2095-1191.2012.03.360](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-1191.2012.03.360).
- [9] 杨宽, 张帅, 郭力维, 等. 澜沧县林下三七圆斑病的发生及避雨栽培的控制效果[J/OL]. 中药材, 2020 [2020-12-30]. <https://kns.cnki.net/knsB/defaultresult/index>
- [10] 寸竹, 张金燕, 陈军文. 氮添加对二年生三七生长、光合特性及皂苷含量的影响[J]. 生态学杂志, 2020, 39(4): 1101. DOI: [10.13292/j.1000-4890.202004.029](https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.202004.029).
- [11] 罗群, 游春梅, 官会林. 环境因素对三七生长影响的分析[J]. 中国西部科技, 2010, 9(9): 7. DOI: [10.3969/j.issn.1671-6396.2010.09.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-6396.2010.09.004).
- [12] 张琴, 曾凡琳, 张东方, 等. 基于最大熵模型的三七生态适宜区及生态特征[J]. 药学学报, 2016, 51(10): 1629. DOI: [10.16438/j.0513-4870.2016-0148](https://doi.org/10.16438/j.0513-4870.2016-0148).
- [13] 赵宏光, 夏鹏国, 韦美膛, 等. 土壤水分含量对三七根生长、有效成分积累及根腐病发病率的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(2): 173. DOI: [10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.02.051](https://doi.org/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.02.051).
- [14] 王大伟, 孙帅, 刘金平, 等. 坡向对退化冷季型护坡草坪中植物种类及多样性的影响[J]. 草学, 2017(1): 40. DOI: [10.3969/j.issn.1673-8403.2017.01.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-8403.2017.01.007).
- [15] 周润泽, 王翊豪, 周玉厚, 等. 不同温度对三年生三七各部位皂苷含量的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(12): 2802. DOI: [10.16213/j.cnki.scjas.2019.12.014](https://doi.org/10.16213/j.cnki.scjas.2019.12.014).
- [16] 汪本龙. 林下西洋参立地选择及苗期生长规律[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019.
- [17] 阮晓佳, 鄢玉钢, 赵岩, 等. 不同林型、产地、参龄及坡向对林下参20种单体皂苷含量的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(24): 195. DOI: [10.7506/spkx1002-6630-201824030](https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-201824030).
- [18] 匡双便, 张广辉, 陈中坚, 等. 不同光照条件下三七幼苗形态及生长指标的变化[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(2): 54. DOI: [10.3969/j.issn.1674-7895.2014.02.08](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-7895.2014.02.08).
- [19] 匡双便, 徐祥增, 孟珍贵, 等. 不同透光率对三七生长特征及根皂苷含量的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2015, 21(2): 279. DOI: [10.3724/SP.J.1145.2014.08002](https://doi.org/10.3724/SP.J.1145.2014.08002).
- [20] 龚舟, 罗先权, 彭静, 等. 不同林下三七栽培技术研究[J]. 农学学报, 2016, 6(8): 41. DOI: [10.11923/j.issn.2095-4050.cjas16040029](https://doi.org/10.11923/j.issn.2095-4050.cjas16040029).
- [21] 罗美佳. 光照对三七生长、光合特性及有效成分积累的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [22] 明凤恩, 张淑倨. 田七的植物学特征、环境条件及优质高产栽培技术[J]. 产业与科技论坛, 2013, 12(10): 108. DOI: [10.3969/j.issn.1673-5641.2013.10.054](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-5641.2013.10.054).

责任编辑: 何馨成

(上接第 630 页)

- [16] 陈艳红, 颜忠, 查振林, 等. 溶血性曼氏杆菌致病机制的研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2010, 37(12): 154.
- [17] 张永久, 王萍萍, 武广文. 溶血性曼氏杆菌毒素的作用及其分子致病机理[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2007(7): 38. DOI: [10.13881/j.cnki.hljxmsy.2007.07.021](https://doi.org/10.13881/j.cnki.hljxmsy.2007.07.021).
- [18] 高佳滨. 多杀性巴氏杆菌OmpH与溶血性曼氏杆菌lktA蛋白的融合表达与免疫原性研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2014.
- [19] GANZ T, WEISS J. Antimicrobial peptides of phagocytes and epithelia[J]. Seminars in Hematology, 1997, 34(4): 343. DOI: [10.1016/j.talanta.2009.02.052](https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.02.052).
- [20] COSTA T R D, FELISBERTO-RODRIGUES C, MEIR A, et al. Secretion systems in Gram-negative bacteria: structural and mechanistic insights[J]. Nature Reviews Microbiology, 2015, 13(6): 343. DOI: [10.1038/nrmicro3456](https://doi.org/10.1038/nrmicro3456).
- [21] 薛原, 张秀英, 王贵霞, 等. 大肠杆菌主动外排系统的研

究进展[J]. 中国预防兽医学报, 2009, 31(6): 493.

- [22] 李昕, 曾洁, 王岱, 等. 细菌耐药耐受性机制的最新研究进展[J]. 中国抗生素杂志, 2020, 45(2): 113. DOI: [10.13461/j.cnki.cja.006866](https://doi.org/10.13461/j.cnki.cja.006866).
- [23] 刘艳红. 沙门氏菌和大肠杆菌耐药性及耐药基因的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- [24] 胡凡. 铜绿假单胞菌的耐药表型与耐药基因型研究[D]. 石家庄: 河北农业大学, 2015.
- [25] 李颖, 杨帆. 细菌的耐药性与适应性[J]. 中国感染与化疗杂志, 2010, 10(1): 78. DOI: [10.16718/j.1009-7708.2010.01.004](https://doi.org/10.16718/j.1009-7708.2010.01.004).
- [26] GYGLI S M, KELLER P M, BALLIF M, et al. Whole-genome sequencing for drug resistance profile prediction in *Mycobacterium tuberculosis*[J]. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 2019, 63(4): 18. DOI: [10.1128/AAC.02175-18](https://doi.org/10.1128/AAC.02175-18).

责任编辑: 何承刚