

高寒藏区不同间作模式对羌活生长特性及次生代谢产物的影响研究

王红兰, 朱文涛, 杨萍, 王琪, 杜玖珍, 刘腾, 蒋舜媛*, 周毅*

(四川省中医药科学院, 四川 成都 610041)

[摘要] 筛选最佳间作模式以提高羌活药材品质及土地利用经济效益。以羌活单作(CK)、蚕豆||羌活(CD-QH)、莴笋||羌活(WS-QH)和大蒜||羌活(DS-QH)4种植模式为研究对象,设置20 cm×20 cm、20 cm×30 cm及20 cm×40 cm行株距处理,分析不同间作模式、不同间作行株距对羌活生长特性及次生代谢产物的影响,探索合理间作间距和模式。结果表明:与CK相比,CD-QH、WS-QH、DS-QH模式下羌活种苗移栽存活率提高70%以上($P<0.05$);20 cm×20 cm行株距CD-QH模式下羌活株高、叶长、叶宽增幅最大,分别比CK处理提高127.11%、137.77%、92.37%;3种间作模式均有助于提高羌活地下部分鲜重、促进主根的伸长,其中20 cm×20 cm行株距CD-QH模式的效果最好,分别是CK处理的1.97、1.54倍;20 cm×20 cm和20 cm×30 cm行株距3种间作模式的羌活醇和异欧前胡素及二者之和均显著高于CK处理的对应值($P<0.05$),CD-QH模式值最大。不同行株距3种间作模式的土地经济效益均显著高于CK处理($P<0.05$)。20 cm×20 cm行株距下CD-QH模式的经济效益最高,为每亩2.78万元(1亩≈667 m²),较CK模式高出157.41%。综上,间作作物有助于促进羌活地上部分、地下部分及次生代谢产物的积累,提高土地经济效益。最佳间作作物为蚕豆,最佳行株距为20 cm×20 cm。

[关键词] 羌活; 间作; 行株距; 次生代谢产物; 经济效益

Effects of different intercropping patterns on growth characteristics and secondary metabolites of *Notopterygium incisum* in alpine Tibetan area

WANG Hong-lan, ZHU Wen-tao, YANG Ping, WANG Qi, DU Jiu-zhen, LIU Teng, JIANG Shun-yuan*, ZHOU Yi*

(Sichuan Academy of Chinese Medicine Sciences, Chengdu 610041, China)

[Abstract] This study aims to screen the optimal intercropping pattern, so as to improve the quality of *Notopterygium Rhizoma et Radix* and the economic benefits of land use. Four planting patterns, namely, *Notopterygium incisum* monoculture (CK), broad bean || *N. incisum* (CD-QH), lettuce || *N. incisum* (WS-QH), and garlic || *N. incisum* (DS-QH), were set up with row spacings of 20 cm×20 cm, 20 cm×30 cm, and 20 cm×40 cm to analyze the effect of different row spacings in different intercropping patterns on the growth characteristics and secondary metabolites of *N. incisum*. Reasonable intercropping spacing and patterns were explored. Compared with that of CK, the survival rate of *N. incisum* seedlings in CD-QH, WS-QH, and DS-QH patterns increased by more than 70% ($P<0.05$). The increases in *N. incisum* plant height, leaf length, and leaf width were the greatest in the CD-QH pattern with a row spacing of 20 cm×20 cm, which was 127.11%, 137.77%, and 92.37% higher than those of the CK treatment, respectively. All the three intercropping patterns helped to increase the fresh weight of underground parts and promote the elongation of main roots. Particularly, the CD-QH pattern with a 20 cm×20 cm row spacing had the best effects, which were 1.97 times and 1.54 times those of the CK treatment, respectively. The content of notopterol and isoimperatorin as well as the sum of the two in the three intercropping patterns

[收稿日期] 2025-01-02

[基金项目] 国家重点研发计划项目(2023YFC3503803);国家自然科学基金青年科学基金项目(82404812);四川省省级公益性科研院所基本科研业务专项(2024JDKY0026)

[通信作者] *蒋舜媛,研究员,硕士生导师,主要从事药用植物资源与栽培驯化研究,E-mail:jsy.007@163.com; *周毅,研究员,硕士生导师,主要从事药用植物资源与鉴定研究,E-mail:442071379@qq.com

[作者简介] 王红兰,博士,副研究员,主要从事土壤生态环境与中药资源研究,E-mail:honglanwang2010@126.com

with a 20 cm×20 cm or 20 cm×30 cm row spacing was significantly higher than that in the CK treatment ($P<0.05$), and the values were the greatest in the CD-QH pattern. The economic benefits of land under the three intercropping patterns with different row spacings were significantly higher than those of the CK treatment ($P<0.05$), and the economic benefits of the CD-QH pattern was the highest at a 20 cm×20 cm row spacing, which was 27 800 yuan·mu⁻¹, 157.41% higher than that of the CK pattern. In summary, intercropping helps to promote the growth of the aboveground part and the underground part and the accumulation of secondary metabolites of *N. incisum* and improve the economic benefits of land. The best intercropping crop was broad bean, and the optimal row spacing was 20 cm×20 cm.

[Key words] *Notopterygium incisum*; intercropping; row spacing; secondary metabolites; economic benefits

DOI: 10.19540/j.cnki.cjcm.20250517.103

羌活 *Notopterygium incisum* Ting ex H. T. Chang 为伞形科羌活属多年生草本植物,是我国特有药用植物,主要分布于四川、甘肃、青海和西藏等地的高寒区域^[1]。羌活药材以根茎及根入药,具有解表祛寒、祛风除湿、解痛之功效,主治风寒感冒、头痛项强、风湿痹痛等^[2]。受高寒生境及自身生物学特性的影响,羌活植株生长缓慢、种子自然萌发率极低,长期掠夺性采挖使野生资源面临枯竭,供需矛盾已十分突出^[3]。人工栽培是解决羌活供需矛盾和保护野生资源的有效途径。目前羌活生产基地多采用单一化种植模式,由此造成的土壤质量下降、生物多样性降低和病虫害频发等问题凸显^[4]。如何有效恢复农田生态系统的生物多样性以改善羌活人工种植环境,使其更符合羌活的生长特性,促进羌活的生长和次生代谢产物的积累成为众多学者关注的热点之一。

中药生态农业是中药农业的必由之路^[5]。目前,中药材林下种植、林-药间作、药-粮间作、药-粮套作、药-果间作、药-药间作、水-旱轮作、拟境栽培、仿野生种植、野生抚育等各类生态种植模式在全国各地均有推广应用^[6]。结合中药生态农业发展模式,运用生物多样性的原理,合理搭配作物群体,将中药材与其他作物间作,不仅可以增加土地利用效率、提高植物抗逆特性,还可以维持农田生态系统的物种多样化,确保生态系统的相对稳定,促进中药材品质的提升^[7]。已有大量研究表明传统经济作物与中药材进行间作有利于提高中药材产量和品质,如菜豆间作可提高茴香和香青兰的挥发油品质和含量^[8],玉米间作可提高万寿菊的生物量和精油产量^[9]。大豆间作不仅提高了茺菘产量,也提高了柠檬烯、洋茺菘醚、香芹酮等活性成分含量^[10]。因此,本文通过设置羌活单作(CK)、蚕豆||羌活(CD-QH)、莴笋||羌活(WS-QH)和大蒜||羌活(DS-QH)等4种间

作模式,20 cm×20 cm、20 cm×30 cm、20 cm×40 cm等3种行株距处理,分析不同间作模式不同间作行株距对羌活生长特性及次生代谢产物的影响,探索合理间作模式和间作间距,以提高羌活药材品质及土地利用经济效益。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于四川省阿坝藏族羌族自治州小金县两河乡大板村羌活基地,海拔 3 208 m, E 102°25'16", N 31°32'14", 年降雨量 619 mm, 年均气温 10.2 °C, 无霜期 220 d。试验地土壤为粉砂壤质, 土层浅薄, 砾石量高(10%~30%), 土壤容重为(1.15±0.11) g·cm⁻³, pH 为 6.56, 有机质质量分数为(30.46±1.04) g·kg⁻¹, 全氮、全磷和全钾的质量分数分别为(1.82±0.02)、(0.51±0.01)、(12.80±0.31) g·kg⁻¹, 速效氮、速效磷和速效钾质量分数分别为(41.98±0.01)、(49.76±0.58)、(286.25±1.46) mg·kg⁻¹。

1.2 试验样品

供试样品为一年生羌活实生种苗,由四川诺托璞生态药材有限公司提供,经四川省中医药科学院周毅研究员鉴定为羌活 *N. incisum* 种苗;蚕豆、大蒜为当地农户自留种,莴笋品种为三青香。

1.3 试验设计

选取坡度为 5°的地块,4月15日采用小型旋耕机翻耕,翻耕深度为 20 cm,起厢,以 1.2~1.5 m 开厢,沟深 30 cm。采用单因素随机区组设计,实验设 4 个处理:CK、CD-QH、WS-QH 和 DS-QH,小区面积为 1.2 m×10 m,每亩基施农家肥 3 000 kg。种植 1 行羌活,分别间种 1 行蚕豆/莴笋/大蒜。每种间作模式设置 3 个行距:20 cm×20 cm、20 cm×30 cm、20 cm×40 cm。每个处理设 3 重复。2022 年 4 月 26 日移栽羌活,4 月 27 日播种蚕豆、莴笋和 6 月 2

日蚕豆、莴笋间苗。

1.4 取样及参数测定

1.4.1 形态指标及生物量测定 于羌活移栽 45 d (6月10日)统计各小区羌活种苗存活率。移栽后第90天(7月26日),各小区随机选9株测量株高、叶长、叶宽。于10月14日采收蚕豆、大蒜和莴笋,并统计各小区作物产量。待羌活倒苗后(11月6日),各小区随机采挖9株,用于地下部分形态学指标(主根长、主根粗、须根数、最长须根长)和生物量的测定。

1.4.2 叶绿素相对含量(SPAD)的测定 羌活移栽后第90天(7月26日),采用便携式叶绿素仪(SPAD 502 Plus)测定羌活植株叶片叶绿素相对含量。为减少实验误差,每片叶子测量9个点(测定时避开叶脉),取平均值。

1.4.3 羌活醇和异欧前胡素含量的测定 11月6日羌活倒苗后采挖全株,取地下部分,于60℃下烘干后研磨成粉(过3号筛)。精密称定0.4g粉末,置具塞锥形瓶中,精密加入甲醇50mL,称重,超声处理(功率250W,频率50kHz)30min,放冷,再称重,用甲醇补足失重,摇匀,滤过,取续滤液。参考《中国药典》采用高效液相色谱测定羌活醇和异欧前胡素的含量:Durashell C₁₈色谱柱(4.6mm×250mm,5μm),流动相乙腈-水(44:56),检测波长310nm^[11]。

1.4.4 羌活与作物产量及经济效益计算 羌活倒苗期采挖各小区内全部羌活植株,晾干称重,并统计药材产量和经济效益,计算公式:羌活亩产量=小区内羌活总产量/12m²×667m²;羌活亩产值=亩产量×羌活药材单价(每千克120.00元);分别在蚕豆、莴笋和大蒜等作物成熟期采收,统计产量及其经济效益,计算公式:作物亩产量=小区内作物总产量/12m²×667m²;作物亩产值=亩产量×作物单价(蚕豆每千克8.00元;莴笋每千克4.00元;大蒜每千克12.00元)。

1.5 数据统计与分析

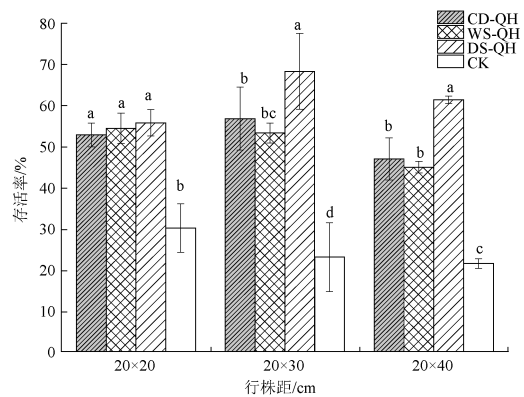
采用Excel 2010,SPSS 22和Origin 8.0等软件分析处理数据和绘制图表,显著性水平设为0.05。

2 结果与分析

2.1 不同间作模式对羌活种苗存活率的影响

不同间作模式均能有效提高羌活种苗存活率见图1。与CK相比,在20cm×20cm行株距下,CD-

QH、WS-QH和DS-QH模式下羌活种苗存活率分别提高了85.27%($P < 0.05$)、75.53%($P < 0.05$)、80.85%($P < 0.05$);20cm×30cm行株距下,3种间作模式羌活种苗存活率分别提高了196.48%($P < 0.05$)、146.52%($P < 0.05$)、131.32%($P < 0.05$);20cm×40cm行距下分别提高了185.79%($P < 0.05$)、118.69%($P < 0.05$)、109.36%($P < 0.05$)。由此说明,间作模式有助于提高羌活种苗存活率,降低生产投入成本。



不同小写字母表示组间差异显著, $P < 0.05$ (图2~7同)。

图1 间作行株距对羌活移栽存活率的影响($\bar{x} \pm s, n=3$)

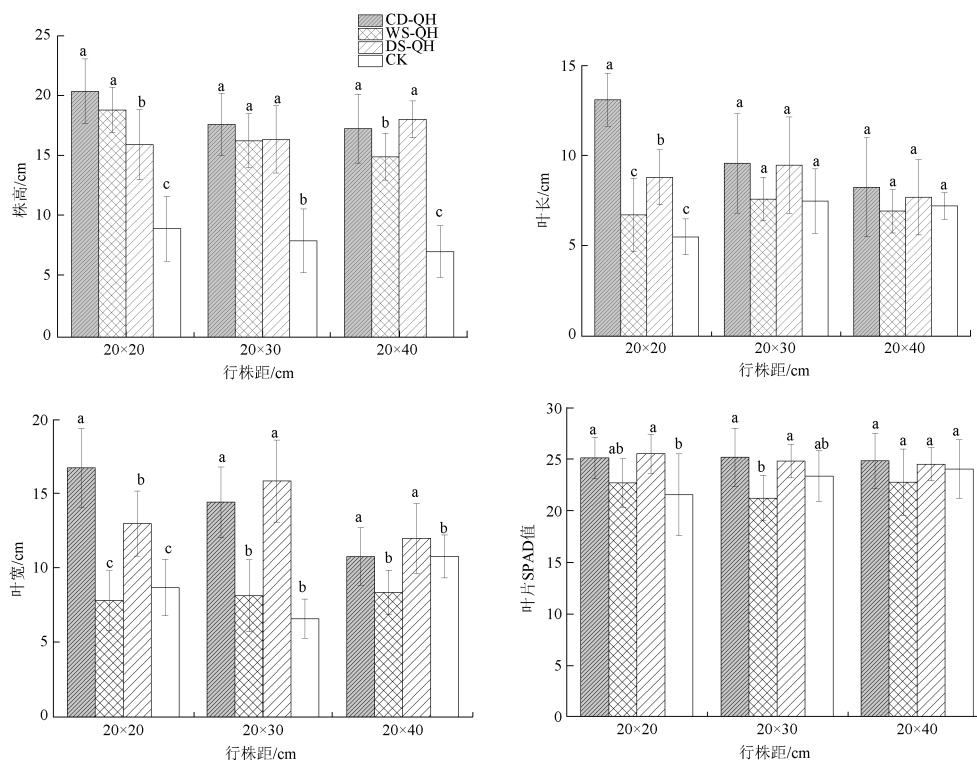
Fig. 1 Effects of row spacing in intercropping on survival rate of *Notopterygium incisum* ($\bar{x} \pm s, n=3$)

2.2 不同间作模式对羌活地上部分生长的影响

不同间作模式下不同行株距羌活地上部分形态指标及叶片SPAD见图2。各间作模式下羌活株高、叶片长、叶片宽等指标均有所差异。与CK相比,3种间作模式下羌活株高增加了77.78%~127.11%,其中CD-QH增幅最大;叶片长增加21.92%~137.77%,叶片宽增加49.32%~92.37%、叶片SPAD值提高5.34%~18.47%。随着间作行株距增大,除DS-QH模式外,CD-QH和WS-QH模式下羌活株高、叶片长及叶片宽均呈下降趋势,说明疏植不利于羌活地上部分生长。20cm×20cm行株距下,CD-QH模式羌活株高、叶长、叶宽增幅最大,叶片SPAD较大,促进羌活地上部分生长的作用最显著。

2.3 不同间作模式对羌活地下部分生长的影响

不同间作模式对羌活地下部分生长的影响结果见图3。与CK相比,20cm×20cm行株距CD-QH、WS-QH和DS-QH模式下羌活单株鲜重分别增加97.10%($P < 0.05$)、82.75%($P < 0.05$)、51.64%($P <$

图2 间作行株距对羌活地上部分生长及叶片 SPAD 的影响 ($\bar{x} \pm s, n=3$)Fig. 2 Effects of row spacing in intercropping on growth of aboveground part and SPAD of *Notopterygium incisum* leaves ($\bar{x} \pm s, n=3$)

0.05); 20 cm×30 cm 行株距下, CD-QH、WS-QH 和 DS-QH 模式下羌活单株鲜重分别增加 97.90% ($P < 0.05$)、13.31%、48.18% ($P < 0.05$); 20 cm×40 cm 行株距下, WS-QH 模式下羌活单株鲜重显著低于其他模式的对应值。20 cm×20 cm 行株距下, 3 种间作模式的羌活主根长均显著大于 CK 处理, 其他行株距处理无显著性差异。对于主根粗, 不同间作模式、不同行株距间存在差异。20 cm×20 cm 行间距下 WS-QH 的主根最粗, 高达 (16.50±0.76) mm; 20 cm×30 cm 行株距 CD-QH 的值最大, 比 CK 高出 53.01%; 20 cm×40 cm 行株距则是 CK 处理的值最大, 显著高于 WS-QH 模式的对应值, 但与 CD-QH 及 DS-QH 模式的对应值无显著性差异。对于须根数和须根长, 3 种行株距下 DS-QH 模式的值均显著高于其他模式的对应值, 说明间作大蒜有助于促进羌活须根的生长。综上所述, 间作作物有助于提高羌活地下部分鲜重、促进主根和须根的生长, 其中 20 cm×20 cm 行株距 CD-QH 模式的效果最好。

2.4 不同间作模式对羌活次生代谢产物积累的影响

不同间作模式对羌活次生代谢产物积累的影响

见图 4。20 cm×20 cm、20 cm×30 cm 行株距下 3 种间作模式的羌活醇、异欧前胡素及总含量均显著高于 CK 处理, 而 20 cm×40 cm 行株距下 WS-QH、DS-QH 模式羌活醇、异欧前胡素及总含量均显著低于 CK 处理。20 cm×20 cm 行株距羌活醇含量由高到低排序为 DS-QH > CD-QH > WS-QH > CK, 异欧前胡素含量由高到低排序为 CD-QH > WS-QH > DS-QH > CK, 总含量由高到低的排序为 CD-QH (0.43%) > DS-QH (0.40%) > WS-QH (0.38%) > CK (0.21%)。20 cm×30 cm 行距下羌活醇含量由高到低排序为 CD-QH > DS-QH > WS-QH > CK, 异欧前胡素含量由高到低排序为 DS-QH > CD-QH > WS-QH > CK, 总含量由高到低的排序为 CD-QH (0.43%) > DS-QH (0.41%) > WS-QH (0.38%) > CK (0.25%)。20 cm×40 cm 行距羌活醇含量由高到低排序为 WS-QH > CD-QH > CK > DS-QH, 异欧前胡素含量由高到低排序为 CD-QH > CK > WS-QH > DS-QH, 总含量由高到低的排序为 CD-QH (0.41%) > CK (0.39%) > WS-QH (0.36%) > DS-QH (0.22%)。综上所述, 间作行株距为 20 cm×20 cm 更有助于羌活醇和异欧前胡素的积累。20 cm×20 cm 行株距

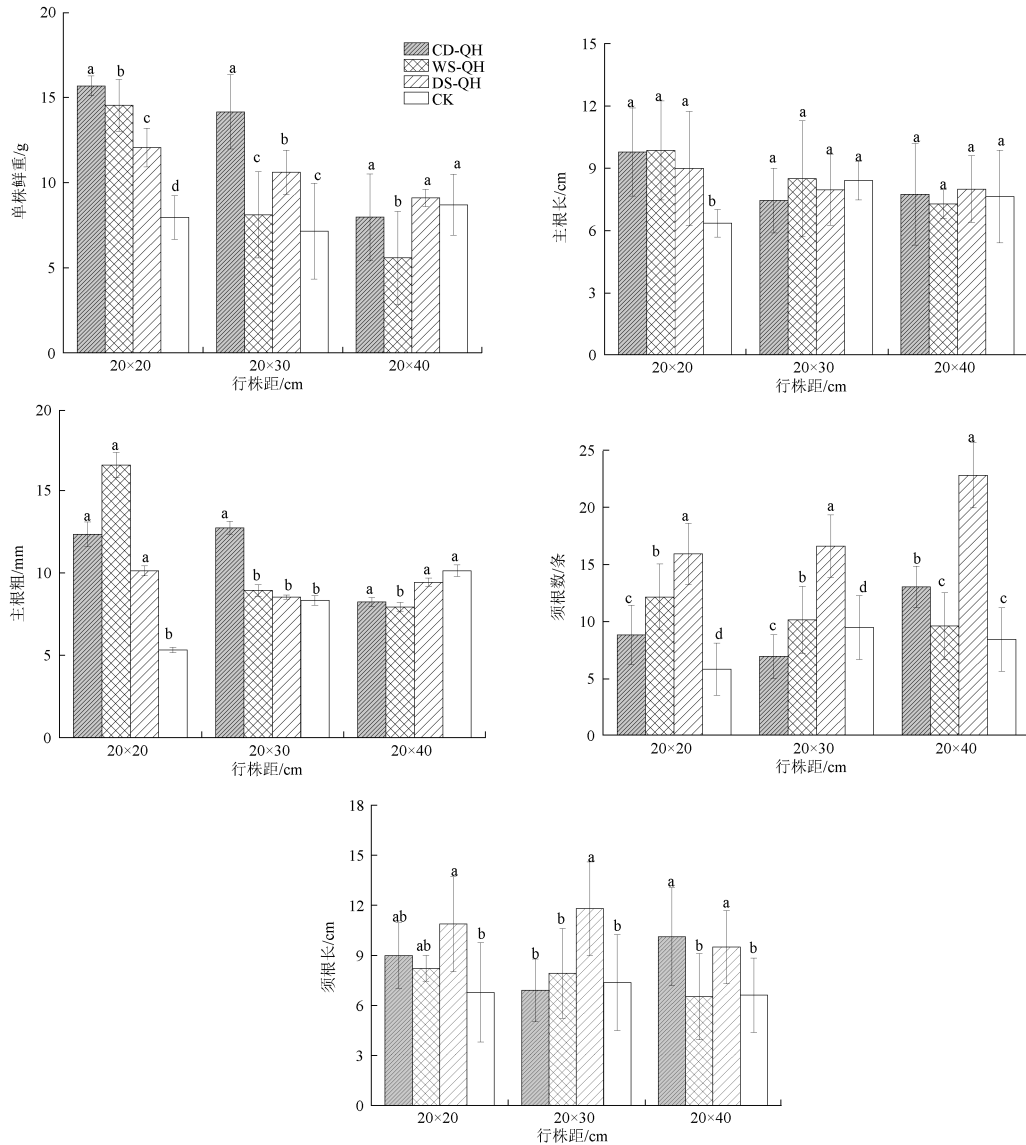


图3 间作行距对羌活地下部分生长的影响($\bar{x}\pm s, n=3$)

Fig. 3 Effect of row spacing in intercropping on growth of underground part of *Notopterygium incisum* ($\bar{x}\pm s, n=3$)

下,CD-QH、DS-QH 和 WS-QH 模式羌活醇与异欧前胡素总含量分别提高 105.35% ($P<0.05$)、94.46% ($P<0.05$)、80.87% ($P<0.05$),说明间作蚕豆对羌活次生代谢产物的积累促进效果最为显著。

2.5 不同间作模式经济效益对比分析

不同行株距不同间作模式对羌活产量和经济效益影响较大见图 5。20 cm×20 cm 行株距下羌活亩产量高低顺序为 CD-QH (206.91 kg) > DS-QH (184.80 kg) > WS-QH (157.19 kg) > CK (89.89 kg), 亩产总值的高低顺序为 CD-QH (2.78 万元) > DS-QH (2.54 万元) > WS-QH (1.60 万元) > CK (1.08 万元); 20 cm×30 cm 行距下羌活亩产量高低顺序为

DS-QH (153.40 kg) > CD-QH (150.06 kg) > WS-QH (102.34 kg) > CK (69.06 kg), 亩产总值的高低顺序为 DS-QH (1.84 万元) > CD-QH (1.80 万元) > WS-QH (1.23 万元) > CK (0.83 万元)。20 cm×40 cm 行株距下羌活亩产量高低顺序为 DS-QH (160.27 kg) > CD-QH (128.75 kg) > WS-QH (121.61 kg) > CK (37.86 kg), 亩产总值的高低顺序为 DS-QH (2.11 万元) > CD-QH (1.76 万元) > WS-QH (1.75 万元) > CK (0.45 万元)。综上所述,20 cm×20 cm 行株距间作蚕豆后羌活药材亩产量最高,经济效益最大。

不同间作作物产量见图 6。3 种间作行株距下莴笋的亩产量最大,显著高于蚕豆和大蒜的对应值,

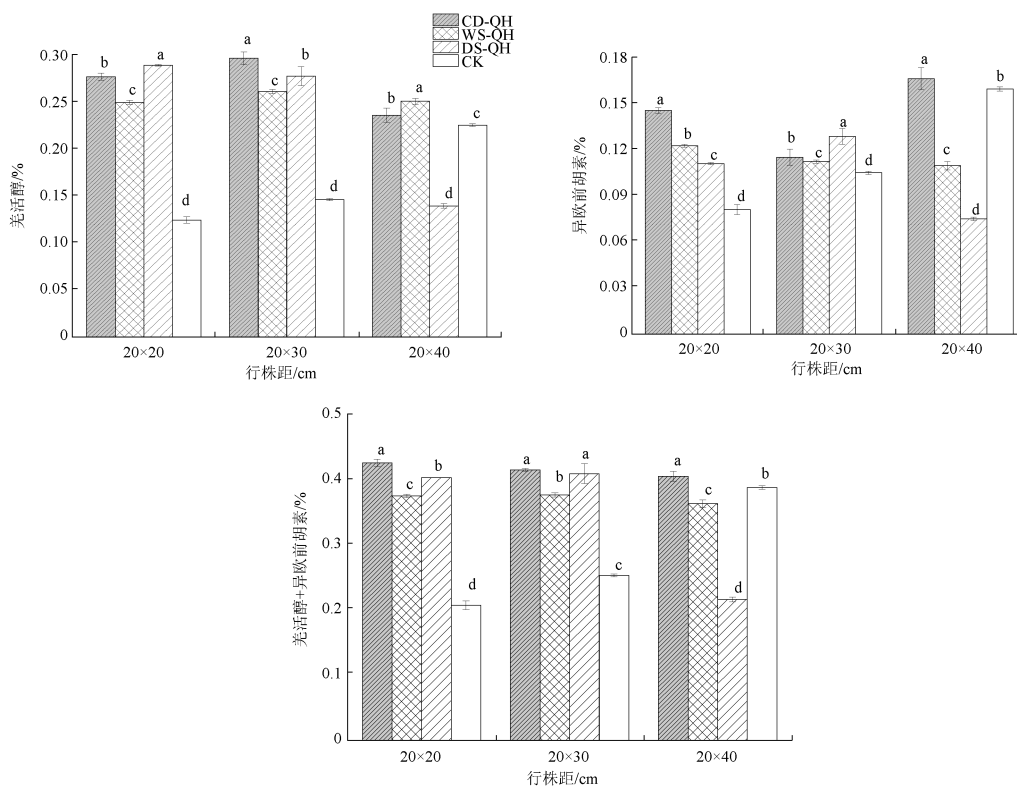


图4 间作行距对羌活指标性成分的影响($\bar{x}\pm s, n=3$)

Fig. 4 Effects of row spacing in intercropping on index components of *Notopterygium incisum* ($\bar{x}\pm s, n=3$)

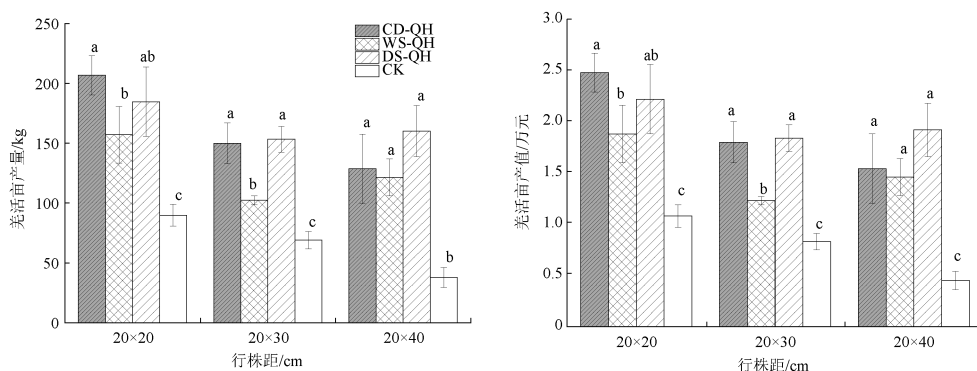


图5 不同间作行距的羌活经济效益分析($\bar{x}\pm s, n=3$)

Fig. 5 Economic benefit analysis of *Notopterygium incisum* under different row spacings in intercropping ($\bar{x}\pm s, n=3$)

这可能跟作物特性有关。亩产值的高低顺序为葛笋>蚕豆>大蒜。即3种间作模式中WS-QH的葛笋产量最高,产值也最大,显著高于其他处理的对应值($P<0.05$)。

对于经济总产值,不同行株距3种间作模式的均显著高于CK处理($P<0.05$)。20 cm×20 cm和20 cm×30 cm行株距下,CD-QH模式的经济总亩产值最高,分别为2.78万元和2.05万元,分别比CK

模式高出157.41%、146.99%;20 cm×40 cm行株距处理则是DS-QH模式的亩产值最高,为2.11万元,是CK处理的4.68倍,但与CD-QH和WS-QH模式无显著性差异,见图7。

生产成本和经济效益是选择最优种植模式的重要考量依据。不同间作模式每亩的生产成本0.67万~1.14万元,低于单作羌活的生产成本,见表1。在总产值方面,不同间作模式的则远高于羌活单作

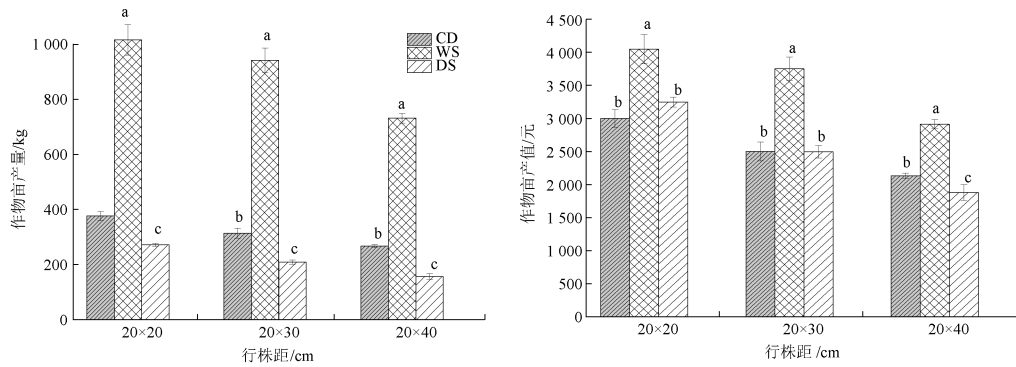


图6 不同间作行距不同作物经济效益分析($\bar{x} \pm s, n=3$)

Fig. 6 Economic benefit analysis of different crops under different row spacings in intercropping ($\bar{x} \pm s, n=3$)

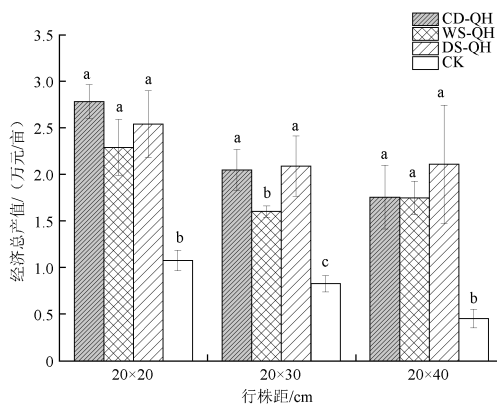


图7 不同间作模式总经济效益分析($\bar{x} \pm s, n=3$)

Fig. 7 Total economic benefit analysis of different intercropping patterns ($\bar{x} \pm s, n=3$)

的对应值,这说明合理的间作模式能够减少成本投入,增加产出。对于投入产出比,各间作模式的投入产出比值均大于1,说明收益大于成本;羌活单作模式下,其收益低于成本。综合比较各间作模式,行株距 20 cm×20 cm 下 CD-QH 模式所产生的净收益值最高,是本试验的最佳间作种植模式。

3 讨论

间作通过构建合理的高低位作物复合群体,有利于不同作物在空间和时间上形成生态互补,充分利用光、热、水、养分等资源,来提高土地利用率和作物生产力^[12-13]。目前农作物间套作中药材模式逐步发展,表现出保质增产作用,如黄柏与草本药用植物间套作可提高黄柏种植产值^[14];党参与大蒜间作

表1 不同间作模式的成本与效益比较

Table 1 Comparisons of the costs and benefits of different intercropping patterns

行株距/cm	种植模式	成本/万元/亩			总产值/万元/亩	净收益/万元/亩	投入产出比
		种子	化肥	合计			
20×20	CD-QH	0.87	0.24	1.11	2.78	1.67	2.50
	WS-QH	0.86	0.24	1.10	2.29	1.19	2.08
	DS-QH	0.89	0.24	1.14	2.54	1.41	2.23
	CK	1.67	0.24	1.91	1.08	-0.83	0.57
20×30	CD-QH	0.57	0.24	0.82	2.05	1.23	2.50
	WS-QH	0.57	0.24	0.81	1.60	0.79	1.98
	DS-QH	0.60	0.24	0.84	2.09	1.26	2.49
	CK	1.11	0.24	1.35	0.83	-0.52	0.61
20×40	CD-QH	0.44	0.24	0.68	1.76	1.08	2.59
	WS-QH	0.43	0.24	0.67	1.75	1.08	2.61
	DS-QH	0.45	0.24	0.69	2.11	1.42	3.06
	CK	0.83	0.24	1.07	0.45	-0.62	0.42

注:效益计算分析中,羌活、蚕豆、茺筳及大蒜种子/种苗单价分别为羌活种苗每株1元、蚕豆种子每千克80元、茺筳种子每1000粒11元、大蒜鳞茎每千克10元;农家肥每吨800元;羌活、蚕豆、茺筳和大蒜市场收购价分别为每公斤120、8、4、12元。

最有利于党参植株生长,有效缓解党参连作障碍,并显著提高党参产量和品质^[15];与茶树间作后滇龙胆的须根数增多,产量显著增加^[16]。莴苣和万寿菊种间互作可以使万寿菊产生更多的分蘖,2种植物行间间作土地当量比可达到2.54,较各自单作相比有明显的增产效本^[17]。本研究发现,与对照相比,羌活间作蚕豆、大蒜、莴笋后,其株高增加77.78%~127.11%,叶片长增加21.92%~137.77%,叶片宽增加49.32%~92.37%、叶片SPAD值提高5.34%~18.47%,单株鲜重增加51.64%~97.10%,说明间作有助于羌活地上部分和地下部分的生长。羌活-蚕豆模式下羌活株高、叶片长、叶片宽、单株鲜重等指标增幅最大,可能是与豆科间作能有效提高土壤碱解氮含量,促进目标植物根系氮吸收,从而促进目标植物生长^[18-19]。

间作行株距对中药材产量和品质也有重要影响。同一间作模式下不同行株距羌活地上部分长势有所不同。20 cm×20 cm行株距下,CD-QH模式羌活株高、叶长、叶宽增幅最大,叶片SPAD较大,促进羌活地上部分生长的作用最显著。随着行株距的增加,羌活株高、叶片长及叶片宽均呈现下降趋势,说明疏植不利于羌活地上部分的生长。张文静等^[20]研究表明桔梗与辣椒行比为4:2时,桔梗根系鲜重、侧根鲜重均比行间距为3:2的高,说明合理间作行距有利于提高桔梗产量。因此,合理的行间距配置,充分利用种间合理互作空间以提高中药材产量品质是药用植物生态栽培的重点。

在药用植物生态栽培过程中,间作模式可以对作物冠层以及分枝等进行优化以调节地上部分光照分布、土壤湿度等,从而对药用植物的次生代谢产生一定的影响^[20]。研究表明,广藿香与紫苏间作后,其药效活性成分广藿香酮和百秋李醇较单作显著增加了29.10%、34.67%^[21];与姜黄间作后,广藿香整株鲜重增加36.25%,百秋李醇增加60%左右,增长效果显著^[22-23]。在穿心莲桑树间作体系中,间作穿心莲的二萜内酯含量显著高于单作穿心莲^[24]。本研究发现20 cm×20 cm行株距下,羌活间作蚕豆、大蒜和莴笋后羌活醇、异欧前胡素及两者总含量均显著高于CK处理,分别提高105.35% ($P<0.05$)、94.46% ($P<0.05$)、80.87% ($P<0.05$),说明间作有利于羌活次生代谢产物的积累。可能是因为间作蚕豆等经济作物改善了羌活根际土壤微生物环境,调

控根际土壤微生物多样性,提高了有益菌群的比例,提高羌活次生代谢产物的积累,提升羌活药材品质^[25]。

4 结论

本研究揭示了不同间作模式对羌活生长特性及次生代谢产物积累的影响,结果证实了合理的间作模式和间作行株距有利于羌活地上部分和地下部分生物量的积累,提高羌活醇和异欧前胡素等次生代谢产物含量,提升羌活药材品质,其中蚕豆-羌活间作模式效果最好。该研究结果为羌活生态生产及规范化种植提供了参考依据,有利于羌活资源的可持续利用。

[参考文献]

- [1] 孙辉, 蒋舜媛, 陈士林, 等. 高寒山区濒危药用植物羌活产地适宜性及生产区划分析[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(5): 535.
- [2] 马丽梅, 杨军丽. 羌活药材的化学成分和药理活性研究进展[J]. 中草药, 2021, 52(19): 6111.
- [3] 蒋舜媛, 孙辉, 王红兰, 等. 羌活产业现状及发展对策[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(14): 2627.
- [4] 王红兰, 朱文涛, 崔俊芳, 等. 羌活根际土壤微生物群落结构特征及其对次生代谢产物的影响[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(24): 173.
- [5] 郭兰萍, 周良云, 莫歌, 等. 中药生态农业: 中药材 GAP 的未来[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(17): 3360.
- [6] 郭兰萍, 康传志, 周涛, 等. 中药生态农业最新进展及展望[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(8): 1851.
- [7] MOSTAFA A M, ESMAEIL R C, ABDOLLAH J, et al. Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed yield and quali-quantitative production of the essential oils from fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) and dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in intercropping system under humic acid application [J]. J Clean Prod, 2019, 235: 112.
- [8] 段婉莹, 陈小莉, 冉志芳, 等. 中药材间作种植历史、模式及其案例分析[J]. 中国中药杂志, 2024, 49(18): 4841.
- [9] SWATI W, RAKESH K. Elucidating the yield and quality response of *Tagetes minuta* L. intercropped with *Zea mays* L. under different spacing in the western Himalayas [J]. Ind Crop Prod, 2021, 171: 1.
- [10] WEISANY W, TAHIR N A, Schenk P M. Coriander/soybean intercropping and mycorrhizae application lead to overyielding and changes in essential oil profiles [J]. Eur J Agron, 2021, 126: 1.
- [11] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 183.
- [12] 张雪, 王一帆, 高玉红, 等. 不同间作模式对旱地胡麻干物质积累及产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2023, 58(5): 87.

- [13] 朱家鹏, 张亚玉, 邵财, 等. 间作模式下药用植物互利共生生态学调控策略[J]. 中药材, 2024, 47(6): 1574.
- [14] 王艳红, 周涛, 郭兰萍, 等. 以生态农业指导理论为基础探讨黄柏间套作药用植物种植模式分析[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(9): 2046.
- [15] 杜毛笑, 邱黛玉, 任凤英, 等. 间作植物和茬口对连作党参生长和品质产量的影响[J]. 西北植物学报, 2021, 41(11): 1884.
- [16] 陈丹, 罗东海, 余成华, 等. 不同间作模式对滇龙胆产量及品质的影响[J]. 热带作物学报, 2023, 44(9): 1829.
- [17] FONSECA M C M, SEDIYAMA M A N, Bonfim F P G, et al. Lettuce and marigold intercropping: crops productivity and marigold's flavonoid content [J]. Cienc Rural, 2016, 46(9): 1553.
- [18] 吴鑫雨, 刘振洋, 李海叶, 等. 施氮和间作对蚕豆根瘤形成及氮素吸收累积的影响[J]. 作物杂志, 2021(5): 120.
- [19] 王桂花, 吴敏, 王大鹏, 等. 橡胶-豆科间作对植株生长和氮吸收的影响[J]. 热带农业科学, 2021, 41(6): 16.
- [20] 张文静, 王鹏, 陈香香, 等. 桔梗辣椒间作对桔梗根系生长及产量品质的影响[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(6): 41.
- [21] 周界, 潘丽萍, 李明. 广藿香间作紫苏对其连作障碍的缓解效应[J]. 北方园艺, 2020(13): 111.
- [22] ZENG J, LIU J, LU C, et al. Intercropping with turmeric or ginger reduce the continuous cropping obstacles that affect *Pogostemon cablin* (patchouli) [J]. Front Microbiol, 2020, 11: 579719.
- [23] 曾建荣. 广藿香生态间作模式建立与生态适应性区划研究[D]. 广州: 广东药科大学, 2021.
- [24] 郭秀芝, 彭政, 王铁霖, 等. 间套作体系下种间互作对药用植物影响的研究进展[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(9): 2017.
- [25] 王琪, 王红兰, 孙辉, 等. 蚕豆间作对羌活次生代谢产物及根际土壤微生物多样性的影响[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(10): 2597.

[责任编辑 杨驰]