

吴宝成, 韦敏, 宋春风, 等. 江苏地区杨树林下套种细柱五加栽培模式[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(23): 156–160.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.23.043

# 江苏地区杨树林下套种细柱五加栽培模式

吴宝成<sup>1</sup>, 韦敏<sup>1</sup>, 宋春风<sup>1</sup>, 吕晔<sup>1</sup>, 郑生智<sup>1</sup>, 徐友贵<sup>2</sup>

[1. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏南京 210014; 2. 盱眙华佗中药厂, 江苏淮安 211715]

**摘要:**在江苏地区不同杨树林分栽培条件下, 套种不同栽培密度的细柱五加, 对其农艺性状、产量、次生代谢产物有效成分含量以及综合效益进行研究。结果表明, 低杨树林分栽培条件下, 套种的细柱五加株高、根长、根宽、根冠比、根皮鲜质量等农艺性状以及根皮产量部分显著高于露地无遮阴、中林分、高林分处理, 株幅、分枝数显著低于其他处理 and 对照 ( $P < 0.05$ ), 具有相对较高的株高, 较窄的株幅, 单一粗壮的主枝, 根较粗壮向下, 不向两侧扩展; 低林分条件下更有利于次生代谢产物有效成分紫丁香苷、总黄酮和总三萜的积累, 其含量显著高于其他条件处理 ( $P < 0.05$ ); 低林分时细柱五加 35 cm × 35 cm 栽培条件下, 杨树和细柱五加单位面积综合收益最高, 达到 5 005 元/667 m<sup>2</sup>。结合本次试验结果, 杨树与细柱五加套种复合经营模式应选择在低杨树林分即树龄 3 年, 郁闭度 50% 左右条件下, 以收获一年生或二年生细柱五加根皮为生产目的栽培株间距应为 35 cm × 35 cm。

**关键词:**细柱五加; 杨树; 套种; 农艺性状; 紫丁香苷; 产量; 栽培模式

**中图分类号:** S567.5<sup>3</sup>0.48 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)23-0156-05

江苏北部地区是我国杨树的主要种植区之一, 自 20 世纪 70 年代起杨树得到了大面积的推广, 极大地推动了江苏北部地区(徐州、淮安、连云港、盐城、宿迁等地区)杨树产业的发

收稿日期: 2016-07-15

基金项目: 国家中医药公益性行业科研项目(编号: 201407002); 江苏省科技支撑计划(编号: BE2012410)。

作者简介: 吴宝成(1980—), 男, 江苏南京人, 硕士, 副研究员, 主要从事药用植物栽培和资源开发研究。Tel: (025) 84347085; E-mail: wubaocheng2015@163.com。

通信作者: 宋春风, 博士, 副研究员, 主要从事药用植物分类和资源研究。Tel: (025) 84347085; E-mail: cfsong79@cnbg.net。

树, 2010(6): 73。

[4] Mac ant Saoir S, Cross G, Harun R. Millennium planting density trial of ‘Bramley’s seedling’ apple on M. 9 and M. 27 rootstocks 2000—2007[J]. Acta Horticulturae, 2011, 903(1058): 627–631

[5] 张婷, 江文, 王凯平, 等. 树龄对“绿宝”苹果生长及光合特性的影响[J]. 北方园艺, 2014(14): 31–33。

[6] 姜世平, 袁东升, 赵万冬, 等. 天津滨海盐碱地绿化技术研究[J]. 园林科技, 2011(4): 1–6。

[7] 刘国胜, 马玉芳, 段玉春. 几种砧木对苹果新梢及叶特性的影响[J]. 果树学报, 2002, 19(6): 373–376。

[8] 苏婷, 史燕山. 土壤条件对青(木奈)的生长及生理特性的影响[J]. 天津农学院学报, 2012, 19(1): 15–18。

[9] 郑永强, 邓烈, 何绍兰, 等. 不同砧木对特罗维塔甜橙植株生长、产量和果实品质的影响[J]. 果树学报, 2010, 27(4): 611–615。

[10] 宗鹏鹏, 曲艳华, 柴朋, 等. 八棱海棠耐盐碱性评价[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(3): 96–100。

[11] 沙广利, 郝玉金, 万述伟, 等. 苹果砧木种类及应用进展[J]. 落叶果树, 2015, 47(3): 2–6。

[12] 卢艳, 王飞, 韩明玉, 等. NaCl 胁迫对 4 种砧穗组合苹果的

展, 江苏北部各县木材生产的产值在当地农业总收入中的比重为 15%~30%。杨树产业已成为江苏淮北地区特别是徐州、淮安、宿迁 3 市的支柱产业, 在江苏农业产业发展中具有举足轻重的地位<sup>[1-5]</sup>。然而, 伴随着“杨树热”, 带来了一系列的社会和生态问题, 主要表现为(1)杨树生产周期长, 即使是速生杨树, 其生产周期至少也要 5 年, 营种前期投入大, 无任何收益, 同时还面临 10~15 年左右的品种更新期, 在一定程度上影响了种植经营户的积极性;(2)林下资源(特别是营种前期林下)的光热、土壤资源浪费, 整体效益低下<sup>[6-8]</sup>。

细柱五加[*Eleutherococcus nodiflorus* (Dunn) S. Y. Hu] 别称五加, 为五加科(Araliaceae A. L. Jussieu)五加属

生长及光合特性的影响[J]. 西北农业学报, 2011, 20(8): 106–110。

[13] 张治安, 张美善, 蔚荣海. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 138–145。

[14] 赵红星, 耿攀, 杨勇. 39 份柿属种质资源的抗寒性综合评价[J]. 西北农业学报, 2010, 19(12): 128–133。

[15] 玉苏甫·阿不力提甫, 阿依古丽·铁木儿, 帕提曼·阿布都热合曼, 等. 利用隶属函数法综合评价梨砧木抗寒性[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(3): 121–129。

[16] 刘兵, 周晓梅, 刘强, 等. 土壤条件对蓝莓栽培的影响研究进展[J]. 广东农业科学, 2012, 39(15): 56–59。

[17] Wang G P, Wang J Z, Xue X M, et al. Research progress and identification method of apple stress resistance[J]. Agricultural Science & Technology, 2013, 14(10): 1413–1416。

[18] 杨升, 张华新, 刘涛. 16 个树种盐胁迫下的生长表现和生理特性[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(5): 744–754。

[19] 朱世平, 陈娇, 刘小丰, 等. 15 种柑橘砧木出苗期耐盐碱性评价[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2014, 36(6): 47–52。

[20] 史宝胜, 徐继忠, 马宝焜, 等. 几种苹果矮化砧木枝条与叶片的解剖结构研究[J]. 河北林果研究, 2000, 15(4): 334–338。

(*Eleutherococcus* Maxim) 植物<sup>[9-10]</sup>。细柱五加的干燥根皮为我国传统中药五加皮,别称南五加皮,具有祛风除湿、补肝益肾、强筋健骨、利水消肿的作用,可用于治疗风湿痹病、筋骨萎软、小儿行迟、体虚乏力、水肿、脚气等症<sup>[11]</sup>。细柱五加为多年生灌木,植株高度小于 2 m,属于典型的阴生植物,人工栽培须要遮阴处理<sup>[12]</sup>。

迄今为止,对细柱五加的研究主要集中在化学成分和药理等方面,对其林药套种栽培的研究较少。本试验以江苏地区细柱五加与杨树套种,测定并比较不同栽培条件下,细柱五加的农艺性状、产量、有效成分含量以及综合效益,为充分利用杨树林下空间、开发细柱五加产业、增加土地收益提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本研究的植物种类为杨树和细柱五加,杨树为江苏盱眙地区常见的栽培品种——加拿大杨(*Populus × canadensis*);细柱五加是江苏省淮安市盱眙县铁山寺野生材料,经江苏省中国科学院植物研究所吕晔研究员鉴定为细柱五加[*Eleutherococcus nodiflorus* (Dunn) S. Y. Hu],野生转家化 3 年后,选择健康、无病虫害、生长均匀一致的扦插苗作为栽培材料。

### 1.2 试验地自然条件

所有试验材料均栽培于江苏省淮安市盱眙县仇集镇龙山街道试验圃。试验地位于 118°24'E, 32°44'N, 属北亚热带季风气候区,年平均温度 14.6℃,无霜期 237 d;年平均降雨 118 d,降水量 1 106.5 mm,最大平均湿度 81%。土壤类型为酸性黄棕壤, pH 值为 6.0~6.7。杨树林下主要原生植物有铁苋菜、丛枝蓼、美洲商陆、小果蔷薇、牛膝、白杜、阿拉伯婆婆纳、桑、窃衣、芥、小飞蓬、蒲公英、藁草、蛇莓、泽漆、苎草、艾草、天名精和三叶鬼针草等。

### 1.3 试验方法

1.3.1 栽培处理和田间管理 2013 年 3 月下旬栽植细柱五加扦插苗于试验圃。栽培设 3 个不同杨树林分,分别为高林分(树龄 8 年,郁闭度 90%)、中林分(树龄 5 年,郁闭度 70%)、低林分(树龄 3 年,郁闭度 50%),以露地无遮阴栽培为对照(CK),杨树栽培株间距为 6 m×6 m。每个林分处理分为 2 个栽培密度,株间距分别为 35 cm×35 cm、50 cm×50 cm,沿杨树林南北向种植,边界与杨树南北种植线之间的距离为 50 cm。

播种前施基肥 40 kg/667 m<sup>2</sup>,株间距为 35 cm×35 cm 的处理产量按 5 445 株/667 m<sup>2</sup> 计算,株间距为 50 cm×50 cm 的处理产量按 2 668 株/667 m<sup>2</sup> 计算。

常规田间管理,生长旺盛期追肥 1 次,施用量为 25 kg/667 m<sup>2</sup>,基肥和追肥均为三元复合肥(江苏聚丰,总养分含量 6.53%,全氮含量 4.77%,全磷含量 0.91%,全钾含量 0.85%,有机质含量 62.30%),株间距为 35 cm×35 cm 的处理于 2 株细柱五加中间位置施肥,株间距为 50×50 cm 的处理于距根部 10 cm 处施肥。

1.3.2 数据收集与分析 于 2014 年 5 月下旬细柱五加采收期内,随机选取 30 株细柱五加,用卷尺测定株高、株幅(植

株展开最宽处的宽度),统计分枝数量,测量根长和根宽(根部展开最宽处的宽度),分别称量地上部分和地下部分的质量,计算根冠比,并称量根皮鲜质量,估算单位面积产量,3 次重复。杨树蓄积量测定方法以林木 1 m 处胸径增长量为指标,胸径采用软尺直接测量,折算杨树蓄积量,单位为 m<sup>3</sup>。

细柱五加扦插苗按 0.5 元/株计算,杨树树苗按 3.5 元/株计算,细柱五加干药材五加皮销售价格按 70 元/kg 计算,杨树木材价格按 300 元/m<sup>3</sup> 计算。

1.3.3 细柱五加根皮中紫丁香苷、总黄酮、总三萜含量的测定 采用高效液相色谱(HPLC)法测定细柱五加根皮中紫丁香苷的含量<sup>[13]</sup>,采用分光光度法测定总黄酮<sup>[14]</sup>和总三萜<sup>[15]</sup>的含量,并适当改进试验方法。主要试验设备包括 Agilent 1100 Series 高效液相色谱仪、HP ChemStation 工作站、Kromasil C18(5 μm, 4.6 nm×250 nm)色谱柱、UV-2501PC 紫外分光光度计(SHIMADZU)。

1.3.4 数据处理 数据采用 SPSS 10.0 软件进行方差分析,采用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同栽培条件下细柱五加农艺性状和产量的比较

农艺性状和产量是反映栽培药用植物开发价值的主要评价指标。对不同林分条件下细柱五加的株高、株幅、分枝数、根长、根宽、根冠比、根皮鲜质量等农艺性状进行分析,并估算单位面积产量。由表 1 可知,细柱五加在不同杨树林分和株间距条件下,株高、株幅、分枝数、根长、根宽、根冠比、根皮鲜质量等农艺性状均有不同程度的差异。

不同杨树林分条件下,细柱五加株高有明显差异,最高株高出现在低林分中,即低林分条件下株高分别为 66.000、79.210 cm,其中又以株间距处理为 50 cm×50 cm 的株最高,平均值达到 79.210 cm。其他林分条件下,同一林分不同株间距处理下的株高无显著性差异。

不同杨树林分条件下,细柱五加株幅也呈现明显差异,且最宽株幅出现在中林分条件下株间距处理 50 cm×50 cm 中,平均值为 49.670 cm。其他相同林分条件下,不同株间距条件下的株幅差异不显著。

分枝数是考察灌木状植物地上部分形态的重要指标,通过对细柱五加分枝数的比较可以看出,低林分条件下,细柱五加仅有 1 个分枝,即主枝,且较为粗壮;而在中林分和高林分条件下,细柱五加的分枝数增多,平均值在 1.40~3.80 个之间,且两者差异明显,其中以中林分条件下分枝数最多,2 种株间距处理的分枝数平均值分别为 3.200、3.800 个。露地无遮阴条件下,分枝数大于 1 个,2 种株间距处理的分枝数平均值分别为 2.400、1.900 个,两者之间无显著性差异。

根长和根宽是衡量根茎、根皮类药材价值的重要指标。通过对不同杨树林分、株间距条件下细柱五加根长和根宽的比较可以看出,低林分条件下,细柱五加的根长最长,株间距为 35 cm×35 cm 处理的根长的平均值为 24.880 cm,50 cm×50 cm 处理的根长的平均值为 29.830 cm,两者差异不显著。其他林分条件以及露地无遮阴处理的细柱五加根长的平均值小于低杨树林分条件下的平均值,差异显著( $P < 0.05$ )。根宽在不同林分条件、株间距条件下的平均值在 11.290~

24. 830 cm 之间。

根冠比是考察植物能量、物质在地下部分和地上部分积累和分配的重要指标,根冠比较大的植物,其物质和能量积累主要集中在地下部分,而根冠比越小,则表明植物主要将能量和物质积累在地上部分,地下部分积累相对较小。通过对细柱五加根冠比的比较可以看出,低杨树林分条件下,细柱五加的根冠比较大,其中以株间距为 35 cm×35 cm 处理的根冠比最高,显著高于其他处理( $P<0.05$ ),平均值达到 1. 530,株间距为 50 cm×50 cm 处理的根冠比次之,平均值达到 1. 267,均大于 1,表明在低林分条件下,细柱五加将超过一半的物质和能量积累在地下部分(根部)。其他林分条件下和露地无遮阴处理的根冠比均小于 1,根冠比的大小表现为低林分>露地无遮阴处理>高林分>中林分。

根皮是细柱五加的药用部位,根皮鲜质量是衡量细柱五加产量的重要指标,与株间距等因子共同决定细柱五加的产量。通过对细柱五加根皮鲜质量的比较可以看出,低杨树林分条件下,细柱五加的根皮鲜质量分别达到 21. 140(35 cm×35 cm)、21. 950 g(50 cm×50 cm),两者差异不显著,但均显著高于其他林分处理和对照( $P<0.05$ )。其他相同林分处理

条件下,不同株间距处理对根皮鲜质量影响差异不显著。根皮鲜质量的大小表现为低林分>露地无遮阴处理>中林分>高林分。

结合根皮鲜质量,根据每 667 m<sup>2</sup> 杨树林下不同株间距种植细柱五加的株数,可以估算出细柱五加与杨树套种后其根皮鲜产量。由表 1 可知,低杨树林分条件、株间距小(35 cm×35 cm)的细柱五加的根皮鲜产量达到 115. 110 kg/667 m<sup>2</sup>,显著高于相同杨树林分条件下的株间距大(50 cm×50 cm)的处理的根皮鲜产量( $P<0.05$ ),主要原因在于单株根皮鲜质量两者差异不显著,但杨树林下栽培细柱五加的株数高栽培密度(5 445 株/667 m<sup>2</sup>)是低密度栽培(2 668 株/667 m<sup>2</sup>)的 2. 04 倍,前者的单位面积产量显然要高于后者的。其他相同林分处理下,高栽培密度的根皮鲜产量均显著高于低栽培密度的根皮鲜产量,主要也是由于上述原因所致。

2.2 不同栽培条件下细柱五加化学成分含量的比较

细柱五加根皮中紫丁香苷、总黄酮、总三萜有效成分含量是衡量细柱五加根皮药用价值的重要指标。不同杨树林分、株间距条件下,细柱五加根皮中紫丁香苷、总黄酮、总三萜含量比较见表 2。

表 1 不同林分处理下和栽培密度下细柱五加的农业性状和产量比较

林分处理	株间距	株高(cm)	株幅(cm)	分枝数(个)	根长(cm)
露地无遮阴(CK)	35 cm×35 cm	30. 400±8. 710cd	19. 400±1. 950cd	2. 400±0. 500b	14. 200±2. 680cd
	50 cm×50 cm	17. 750±4. 400d	19. 380±6. 650cd	1. 900±0. 800bc	14. 630±4. 960cd
低林分	35 cm×35 cm	66. 000±16. 410b	10. 500±1. 690d	1. 000±0. 000d	24. 880±6. 560ab
	50 cm×50 cm	79. 210±21. 070a	13. 170±5. 340d	1. 000±0. 000d	29. 830±10. 650a
中林分	35 cm×35 cm	42. 670±9. 610c	35. 830±17. 060b	3. 200±1. 000a	19. 670±6. 280bc
	50 cm×50 cm	41. 670±9. 580c	49. 670±11. 500a	3. 800±0. 800a	17. 170±6. 310cd
高林分	35 cm×35 cm	24. 710±6. 870d	19. 710±11. 500cd	1. 400±0. 500cd	13. 710±3. 300cd
	50 cm×50 cm	30. 500±6. 160cd	25. 250±4. 460c	1. 800±0. 500bcd	11. 750±2. 490d

林分处理	株间距	根宽(cm)	根冠比	根皮鲜质量(g)	根皮鲜产量(kg/667 m <sup>2</sup> )
露地无遮阴(CK)	35 cm×35 cm	18. 000±3. 000bc	0. 695±0. 123c	10. 260±3. 850b	55. 810±20. 960 b
	50 cm×50 cm	16. 500±6. 460bc	0. 801±0. 222c	9. 550±9. 080b	25. 480±24. 230d
低林分	35 cm×35 cm	19. 750±8. 910ab	1. 530±0. 323a	21. 140±7. 300a	115. 110±39. 750a
	50 cm×50 cm	16. 670±4. 130bc	1. 267±0. 237b	21. 950±8. 110a	58. 560±21. 640b
中林分	35 cm×35 cm	17. 830±6. 910bc	0. 337±0. 079e	7. 640±3. 610c	41. 600±19. 660c
	50 cm×50 cm	24. 830±4. 540a	0. 329±0. 077e	7. 880±2. 930c	21. 020±7. 820d
高林分	35 cm×35 cm	11. 290±3. 040c	0. 620±0. 367cd	2. 930±0. 940d	15. 950±5. 120e
	50 cm×50 cm	16. 000±3. 740bc	0. 413±0. 064de	4. 200±1. 710d	11. 210±4. 560f

注:同一列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

表 2 不同林分处理和栽培密度下细柱五加的紫丁香苷、总黄酮、总三萜含量比较

林分处理	株间距	紫丁香苷含量(%)	总黄酮含量(%)	总三萜含量(%)
露地无遮阴(CK)	35 cm×35 cm	0. 011±0. 002b	0. 369±0. 013d	3. 491±0. 041d
	50 cm×50 cm	0. 013±0. 002b	0. 466±0. 013b	3. 517±0. 033d
低林分	35 cm×35 cm	0. 031±0. 002a	0. 543±0. 011a	4. 820±0. 061a
	50 cm×50 cm	0. 030±0. 002a	0. 369±0. 013d	4. 611±0. 053b
中林分	35 cm×35 cm	0. 012±0. 001b	0. 397±0. 016c	4. 014±0. 046c
	50 cm×50 cm	0. 011±0. 001b	0. 302±0. 010e	4. 065±0. 050c
高林分	35 cm×35 cm	0. 003±0. 001d	0. 165±0. 002g	2. 437±0. 032f
	50 cm×50 cm	0. 009±0. 001c	0. 210±0. 007f	2. 560±0. 034e

由表 2 可见,作为细柱五加根皮主要有效成分的紫丁香苷含量存在较为明显的差异。在杨树低林分条件下,2 种株间距处理下的细柱五加根皮中紫丁香苷的平均含量分别达到 0. 031%、0. 030%,两者差异不显著,但都显著高于其他林分

处理和对照( $P<0.05$ )。相同林分处理下,大部分不同栽培密度细柱五加根皮中紫丁香苷含量差异不显著。在高杨树林分条件下,株间距小(35 cm×35 cm)的细柱五加根皮中紫丁香苷平均含量最低,仅为 0. 003%,显著低于其他处理。紫丁

香苷平均含量表现为低林分 2 个栽培密度处理 > 露地无遮阴处理 > 中林分 2 个栽培密度处理 > 高林分低栽培密度处理 > 高林分高栽培密度处理。

细柱五加根皮中黄酮类化合物经研究表明也具有显著的药理药效活性,是细柱五加作为药材植物研究开发的重要新方向。由表 2 可知,总黄酮含量大于 0.300% 的处理主要出现在露地无遮阴处理、低杨树林分和中杨树林分处理中,在高杨树林分株间距为 35 cm×35 cm 处理下,总黄酮含量仅为 0.165%,显著低于其他处理( $P<0.05$ )。在总黄酮含量高于 0.300% 的处理中以低林分株间距为 35 cm×35 cm 的含量最高,达到 0.543%,显著高于其他处理( $P<0.05$ )。

细柱五加根皮中总三萜有效成分含量在不同杨树林分、栽培密度处理条件也存在一定的规律性。由表 2 可以看出,细柱五加在低林分和中林分栽培条件下有利于总三萜成分的积累,平均含量大于 4.000%,其中以低林分高种植密度条件

下总三萜成分含量最高,达到 4.820%,与其他处理差异显著( $P<0.05$ ),低种植密度条件次之,为 4.611%。中林分条件下三萜成分的含量小于低林分条件下的含量,且不同栽培密度下差异不显著。在高杨树林分条件下,细柱五加总三萜成分的合成则显著受到抑制,不利于其在根皮中的积累,平均含量小于 3.000%。

2.3 杨树与细柱五加林药套种综合效益评价

杨树造林的实际管理中,除第 1 年须要进行水肥管理外,第 2 年起均未进行专门的田间除草和施肥等管理,同时在整个试验过程中所有林分处理的杨树均未达到轮伐期。以采收根皮做五加皮为目的的细柱五加采收期在春季和夏季,秋季由于根皮水分下降,根皮剥离费时费力,生产上基本不采用。杨树林下套种细柱五加,第 1 年均有一定程度的收益。各种套种方式所需要苗木费、材料费(肥料等生产资料支出)、人工费及收入收益等见表 3。

表 3 不同栽培条件下杨树与细柱五加林药套种综合效益评价

林分处理	栽培密度	苗木费 (元/667 m <sup>2</sup> )	材料费 (元/667 m <sup>2</sup> )	人工费 (元/667 m <sup>2</sup> )	产量(kg/667 m <sup>2</sup> 或 m <sup>3</sup> /667 m <sup>2</sup> )	产值 (元/667 m <sup>2</sup> )	收益 (元/667 m <sup>2</sup> )
露地无遮阴细柱五加	35 cm×35 cm	2 722	100	400	55.81	3 906.0	684
露地无遮阴细柱五加	50 cm×50 cm	1 344	60	400	25.48	1 784.0	-20
低林分杨树	6 m×6 m	56	0	0	0.75	225.0	169
低林分细柱五加	35 cm×35 cm	2 722	100	400	115.11	8 058.0	4 836
低林分细柱五加	50 cm×50 cm	1 344	100	400	58.56	4 099.0	2 255
中林分杨树	6 m×6 m	56	0	0	0.89	267.0	211
中林分细柱五加	35 cm×35 cm	2 722	100	400	41.60	2 912.0	-310
中林分细柱五加	50 cm×50 cm	1 344	100	400	21.02	1 471.0	-373
高林分杨树	6 m×6 m	56	0	0	1.23	369.0	313
高林分细柱五加	35 cm×35 cm	2 722	100	400	15.95	1 117.0	-2 105
高林分细柱五加	50 cm×50 cm	1 344	100	400	11.21	784.7	-1 059

注:收益负值表示亏损。

由表 3 可以看出,细柱五加于无遮阴条件下大田种植 1 年,高栽培密度下的综合收益约 684 元/667 m<sup>2</sup>,而低密度栽培条件下,则呈亏损状态(-20 元/667 m<sup>2</sup>)。再考虑到土地租金等因素,大田种植细柱五加在 1 年内的经济效益有限。杨树低林分条件下,无直接用于杨树的田间管理费用,而细柱五加在高密度栽培条件下由于单位面积内个体数较多,因此 1 年后产量较高,达到 115.11 kg/667 m<sup>2</sup>,除去苗木费、材料费、人工费等支出外,仍有 4 836 元/667 m<sup>2</sup> 收益,同一林分下低密度栽培细柱五加收益为 2 255 元/667 m<sup>2</sup>。而在中杨树林分、高杨树林分条件下,套种细柱五加 1 年后,在苗木费、人工费等支出条件大致相当的条件下,经济收益出现负值,即处于亏损状态(-310 ~ -2 105 元/667 m<sup>2</sup>)。

就杨树而言,在相同种植密度下,不同杨树树龄与其林下郁闭度存在一定的相关性,即随着杨树的生长,郁闭度和林分不断增加,同时杨树木材的蓄积量也逐年增加。在本试验中,3、5、8 年树龄杨树对应的郁闭度即林分分别为 50%、70%、90%,杨树年均木材蓄积增加量在 0.75 ~ 1.23 m<sup>3</sup>/667 m<sup>2</sup> 之间,当年理论收益在 169 ~ 313 元/667 m<sup>2</sup> 之间,其中以低林分(3 年)杨树最低,仅为 161 元/667 m<sup>2</sup>,而中林分、高林分分别增加 24.9%、85.2%,但每年收益的绝对值仍较低,低于 2 000 元/667 m<sup>2</sup>,且未达到 10 年的间伐期,生产周期长,期间无实际经济效益,土地利用效率较低。

在杨树与细柱五加套种模式下,细柱五加以及杨树栽培 1 年后的综合收益表明,在 3 年生杨树林即低林分下,细柱五加高密度栽培条件(株间距为 35 cm×35 cm)下,杨树和细柱五加的综合收益最高,达到 5 005 元/667 m<sup>2</sup>,是低密度栽培条件的 2.06 倍,同时也高于大田栽培的 684 元/667 m<sup>2</sup>。中林分、高林分套种模式下,由于细柱五加产量的下降,导致最终收益出现亏损,因此不是杨树与细柱五加套种的最佳模式。

3 结论与讨论

光照条件对植物的生长具有重要意义,能影响植物的光合作用和生理活动包括初生代谢产物主要是淀粉、蛋白质等,以及次生代谢产物主要是黄酮类、三萜皂苷等化合物的积累和分配。因此,不同种类的植物以及同种植物在不同光照条件下(在自然条件下主要是郁闭度,人工套种条件下主要是套种林的分分),对光照条件会产生不同的响应。如短柄五加<sup>[16-20]</sup>、丹参<sup>[21]</sup>、红茴香、大吴风草<sup>[22]</sup> 套种一样,对杨树林下套种细柱五加的影响主要表现在株高、株幅、分枝数、根长、根宽、根冠比、根皮鲜质量等农艺性状以及紫丁香苷、总黄酮和总三萜等次生代谢产物的合成和积累方面。

就本次试验结果可以看出,在低杨树林分条件下,细柱五加具有相对较高的株高,较窄的株幅,单一粗壮的主枝,根较粗壮向下,不向两侧扩展,且更有利于地下部分即根部质量的

积累,单株根皮的鲜质量较高,单位面积产量也较高。而随着林分的增加,反而不利于细柱五加植物的生长,主要表现在植株矮化,茎秆细软蔓生,分枝数较多,导致株幅较宽,同时根部相对较短,且向水平方向生长导致根宽较大,在郁闭度较高条件下细柱五加物质主要积累在地上部分,用于光合作用等基本生理活动,根部生长受限,导致根冠比小于 1,单株根皮鲜质量也逐步下降,单位面积产量与低林分相比不具优势,实际生产上应用意义不大。露地无遮阴条件下则介于中林分、高林分之间,但仍比中林分、高林分条件下有优势。

在次生代谢产物有效成分紫丁香苷、总黄酮和总三萜成分方面,低林分条件下更有利于各有效成分的积累,表现在其含量方面显著高于其他条件处理,露地无遮阴处理条件下次之,而在中林分、高林分条件下反而由于植株生长受限,初生代谢产物、生物量的降低导致次生代谢产物积累有限,不利于细柱五加根部质量的增加和有效成分的积累。

不同栽培密度在同一郁闭度(林分)条件下,对细柱五加的农艺性状影响不大,有效成分方面只在部分处理中存在显著性差异( $P < 0.05$ ),紫丁香苷和总三萜成分在高林分高栽培密度条件下显著低于低种植密度,总黄酮含量在不同栽培密度条件下也存在显著性差异( $P < 0.05$ ),这可能和取样的时间、样本的个体差异及细柱五加生长过程中 3 个有效成分积累的变化有关,有待进一步研究。

本次试验结果表明,低杨树林分条件更有利于细柱五加的生长和次生代谢产物有效成分含量的积累,这可能与细柱五加的原生境有关,野生细柱五加生长于海拔 1 000 m 以下(东部)和 3 000 m(西部)的林缘、峡谷、路边、溪流岸边,此类生境皆为低郁闭度的生长条件,说明细柱五加在长期种群繁衍、居群扩散的过程中,已适应低郁闭度(林分)的生长条件<sup>[9-10]</sup>。已有研究表明,细柱五加具有适应弱光环境的能力,符合阴生植物的光合特性,本次试验结果符合前期研究的结论,并显示随着郁闭度的增加,细柱五加的生长和次生代谢活动反而受到抑制,说明在生产上应采取低郁闭度的套种模式。露地无遮阴栽培会浪费土地资源,不符合复合经营模式的土地、成分、光照、水分利用最大化的原则,而高林分则会影响细柱五加的生长和次生代谢产物有效成分的含量,投入产出效益下降,影响复合经营模式的效益<sup>[23]</sup>。

杨树套种细柱五加,对于杨树而言,木材蓄积增量并未发生显著影响,由于杨树为乔木,而细柱五加为灌木,且属于阴生植物,所以细柱五加生长不受抑制。在一定的郁闭度条件下,生物量有所增加,后期收获可观,结合杨树综合效益可观,因此,杨树林下套种细柱五加的种植模式是可行的。但随着林分的增加,杨树木材蓄积增量有所增加,但细柱五加的产量下降,因此,综合效益下降明显,在生产上基本无应用价值。在同一杨树林分条件下,不同栽培密度导致单位面积须要的种苗数不同,高栽培密度条件下细柱五加的种苗费是低栽培密度下的 1.03 倍,因此,种苗费用在生产上也是影响综合效益不可忽视的因素。

结合本次试验结果,杨树与细柱五加套种复合经营模式应选择 in 低杨树林分即树龄 3 年,郁闭度 50% 左右条件下,以收获一年生或二年生细柱五加根皮为生产目的株间距应为 35 cm × 35 cm,以收获三年生至多年生细柱五加根皮的株间

距应为 50 cm × 50 cm。

## 参考文献:

- [1] 沈文星,金 钢. 江苏杨树产业化发展对策研究(1)——发展现状及制约因素分析[J]. 林业经济问题,2002,22(1):1-5,13.
- [2] 金 钢,沈文星. 江苏杨树产业化发展对策研究(2)——发展的基本途径[J]. 林业经济问题,2002,22(2):70-72.
- [3] 丁 胜,张智光. 江苏杨树产业结构的调整与优化分析[J]. 林业经济问题,2003,23(1):16-19,24.
- [4] 吕祥生,谢友超. 江苏省杨树产业现状和发展对策[J]. 林业科技开发,2004,18(2):7-10.
- [5] 方升佐,王明麻,黄敏仁,等. 江苏杨树资源培育与产业化[J]. 林业科技开发,2004,18(1):3-5.
- [6] 方升佐,黄宝龙,徐锡增. 高效杨树人工林复合经营体系的构建与应用[J]. 西南林学院学报,2005,25(4):36-41.
- [7] 张智光,王明麻,余光辉,等. 江苏杨树产业的战略思考(Ⅰ):现状与问题分析[J]. 南京林业大学学报(人文社会科学版),2005,5(1):63-67.
- [8] 张智光,王明麻,余光辉,等. 江苏杨树产业的战略思考(Ⅱ):战略措施与调控政策[J]. 南京林业大学学报(人文社会科学版),2005,5(3):73-77.
- [9] Flora of China Editorial Committee. Flora of China (vol. 13) [M]. Beijing: Science Press & Missouri Botanical Garden Press, 2007: 466-467.
- [10] 中国植物志编委会. 中国植物志(54 卷)[M]. 北京:科学出版社,1978:86,107-111.
- [11] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 2010 年版(第一部)[M]. 北京:中国医药科技出版社,2010:61,115,192,240.
- [12] 王康才,王立会,汤兴利,等. 江苏地区 3 个居群细柱五加叶片显微结构及光合特性研究[J]. 安徽农业大学学报,2011,38(5):651-655.
- [13] 张崇禧,张莹莹,田 蕊,等. HPLC 测定不同产地刺五加中紫丁香苷的含量[J]. 中成药,2008,30(11):1648-1651.
- [14] 李春芳,刘 汶,曲佳琳,等. 短梗五加果提取物中总黄酮、总酚及 3 种指标成分的含量测定[J]. 沈阳药科大学学报,2011,28(10):801-806.
- [15] 白新鹏,郭志勇,刘小琴,等. 分光光度法测定猕猴桃根提取物中总三萜类成分的研究[J]. 农产品加工,2009(3):42-46.
- [16] 杨在娟,岳春雷. 濒危植物短柄五加光合特性及其生态因子的关系[J]. 浙江林业科技,2002,22(1):7-10.
- [17] 岳春雷,江 洪,朱隐澍. 短柄五加蒸腾作用及其生理生态因子相关性的初步研究[J]. 林业科学,2003,39(2):158-161.
- [18] 段显德,董荣春. 高湿地区板栗林下栽培模式的研究[J]. 北方园艺,2009(4):151-152.
- [19] 张宝刚,张沐春,王福玉,等. 核桃楸林地套种短梗五加栽培技术[J]. 北方园艺,2011(6):217-218.
- [20] 谢永刚,张文新,武志勇. 龙牙楸木、短梗五加、大叶芹混作套种高效栽培技术[J]. 中国蔬菜,2011(9):55-56.
- [21] 高 峻,孟 平,吴 斌,等. 杏-丹参林药复合系统中丹参光合和蒸腾特性的研究[J]. 北京林业大学学报,2006,28(2):64-67.
- [22] 吴统贵,虞木奎,孙海菁,等. 林药复合系统林下植物光合特性对生长光强的响应[J]. 中国生态农业学报,2011,19(2):338-341.
- [23] 潘启龙,戴海军,王凌晖,等. 林下套种中草药的栽培方法与技术[J]. 广东农业科学,2011,38(21):50-53.