



不同树种套种下细叶麦冬生长状态及林地土壤性状差异分析

张姣姣¹, 万欣^{1,2*}, 王保松^{1,2}, 王磊¹, 邢玮^{1,2}

(¹江苏省林业科学研究院森林生态研究所, 江苏南京 211153; ²江苏扬州城市森林生态系统国家定位观测研究站, 江苏扬州 225000)

摘要:【目的】评价不同树种套种细叶麦冬的生长状态及林地土壤性状差异,以期了解林下环境对细叶麦冬生长的影响,筛选适宜其生长的套种模式,为优化麦冬的林下栽培方式及林下药用植物合理化种植提供参考。【方法】设4种细叶麦冬种植模式:模式1,女贞套种细叶麦冬;模式2,落羽杉套种细叶麦冬;模式3,樱花+榉树套种细叶麦冬;模式4,非林下单一种植细叶麦冬(对照)。比较不同模式下细叶麦冬叶长、叶宽、鲜重和干重等生物量,测定叶片叶绿素含量、块根营养物质含量和林地土壤养分等指标,并通过方差分析和相关分析进行综合评价。【结果】不同套种模式样地环境存在差异,年均温与年均光照强度均为模式4>模式2>模式1>模式3。与对照相比,3种套种模式均提高了细叶麦冬的生物量及叶绿素含量。其中模式3下细叶麦冬叶片生长状态最好,生物量和叶绿素含量均最高;其次为模式1的细叶麦冬生长较好。4种模式下细叶麦冬块根黄酮和多糖含量存在差异,模式3的细叶麦冬块根黄酮含量最高(0.43 mg/g),模式1的细叶麦冬多糖含量最高(171.02 mg/g)。套种模式同时提升了林下土壤养分含量,其中模式3的土壤全氮、全磷、全钾和全氮含量均最高。相关分析结果表明,细叶麦冬叶部指标与年均温和年均光照强度呈显著($P<0.05$,下同)或极显著($P<0.01$,下同)负相关,块根性状与土壤养分呈显著或极显著正相关。【结论】与非林下单一种植相比,3种套种模式产生的适度遮阴效果及对土壤养分的改善均有利于细叶麦冬生长,但不同树种对细叶麦冬的影响存在差异,其中樱花+榉树和女贞与细叶麦冬的套种效果较好。

关键词:细叶麦冬; 林药套种; 生物量; 叶绿素含量; 土壤养分; 相关分析

中图分类号:S567.232

文献标志码:A

文章编号:2095-1191(2023)10-2901-09

Analysis on the difference of growth state and forest soil properties of *Ophiopogon japonicus* under interplanting of different tree species

ZHANG Jiao-jiao¹, WAN Xin^{1,2*}, WANG Bao-song^{1,2}, WANG Lei¹, XING Wei^{1,2}

(¹Institute of Forest Ecology, Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing, Jiangsu 211153, China; ²Yangzhou Urban Forest Ecosystem National Research Station, Yangzhou, Jiangsu 225000, China)

Abstract:【Objective】The purpose of the study was to evaluate the difference of growth state and forest soil properties of *Ophiopogon japonicus* interplanting under different tree species, in order to study the influence of the under-forest environment on the growth of *O. japonicus*, to screen the suitable interplanting model for its growth, and to provide a reference for the optimization of the under-forest cultivation of *O. japonicus* and the rationalization of the cultivation of under-forest medicinal plants. 【Method】Four types of planting models of *O. japonicus* were set: model 1, *O. japonicus* interplanted under *Ligustrum lucidum*; model 2, *O. japonicus* interplanted under *Taxodium distichum*; model 3, *O. japonicus* interplanted under *Prunus serrulata* + *Zelkova schneideriana*; model 4, non-under-forest single cropping of *O. japonicus* (control). The leaf length, leaf width, fresh weight, dry weight of *O. japonicus* in different models were compared.

收稿日期:2023-06-20

基金项目:国家自然科学基金项目(32171818);江苏省林业科技创新与推广项目(LYKJ[2021]38,LYKJ[2020]21);江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(19)1004]

通讯作者:万欣(1983-), <https://orcid.org/0009-0002-1523-5833>, 博士, 副研究员, 主要从事城市森林生态学研究, E-mail: 691069685@qq.com

第一作者:张姣姣(1991-), <https://orcid.org/0000-0002-8716-2197>, 博士, 主要从事森林生态学研究, E-mail: 1627631015@qq.com

The content of leaf chlorophyll, root tuber nutrient content and soil nutrients in forest were measured. And comprehensive evaluation was performed by analysis of variance and correlation analysis. 【Result】The environment of the sample plots varied among the different interplanting models. The average annual temperature and light intensity were model 4>model 2>model 1>model 3. Compared with the control, the biomass and chlorophyll content of *O. japonicum* were increased by the three interplanting models. Under model 3, the leaf growth state of *O. japonicum* was the best, and the biomass and chlorophyll content were the highest. The growth of *O. japonicum* under model 1 was the second best. The flavonoid and polysaccharide contents in root tuber of *O. japonicum* were different among the four models. In model 3, the flavonoid content of *O. japonicum* root tuber was the highest (0.43 mg/g), and the polysaccharide content of *O. japonicum* in model 1 was the highest (171.02 mg/g). The interplanting models also increased the under-forest soil nutrient content. Among them, the contents of total nitrogen, total phosphorus, total potassium and total nitrogen in the soil in model 3 were the highest. The correlation analysis results showed that the leaf index of *O. japonicum* was significantly ($P<0.05$, the same below) or extremely significantly ($P<0.01$, the same below) negatively correlated with the average annual temperature and average annual light intensity, and the root tuber traits were significantly or extremely significantly positively correlated with soil nutrients. 【Conclusion】Compared with non-under-forest single cropping, the three interplanting models produce moderate shading effect and improvement of soil nutrients which are favorable to the growth of *O. japonicum*, but there are differences in the effects of different tree species on *O. japonicum*, among which the interplanting of *P. serrulata*+*Z. schneideriana* and *L. lucidum* with *O. japonicum* are more effective.

Key words: *Ophiopogon japonicus*; forest and medicine interplanting; biomass; chlorophyll content; soil nutrient; correlation analysis

Foundation items: National Natural Science Foundation of China(32171818); Jiangsu Forestry Science Technology Innovation and Promotion Project(LYKJ[2021]38, LYKJ[2020]21); Jiangsu Agricultural Science and Technology Independent Innovation Fund Project[CX(19)1004]

0 引言

【研究意义】细叶麦冬(*Ophiopogon japonicus*)为百合科沿阶草属多年生常绿草本植物,其叶型独特流畅,片状种植后群体整齐度高,绿化效果好,既适宜作为地被、花坛等景观材料,也可作为盆栽观赏(曾朝晖,2010)。细叶麦冬的肉质块根膨大成纺锤形或长椭圆形(姜涛和秦路平,2007);具有养阴生津、润肺清心等功效,可用于治疗肺燥干咳、阴虚咽痛及内热消渴等症状(国家药典委员会,2020)。随着生态建设日趋受到重视,林下经济成为研究热点。林药套种模式是林下经济的重要组成部分,具有提高林地利用率、增加林分内生物多样性及改善土壤肥力等优点(李云鸽等,2020;刘智等,2022)。此外,间作或套种也可缓解中草药的连作障碍,提高药材品质(何雅祺等,2021)。细叶麦冬在我国生长地区范围较广,对环境变化的响应具有敏感性,被认为是与环境高度适应的植物(刘成明,2012),适宜林下套种模式。因此,对不同树种林下套种细叶麦冬的生长状态及土壤性状差异进行分析,可为选择适宜细叶麦冬林药模式种植的上层树种提供理论依据,也对林药经济的发展具有重要意义。【前人研究进展】目前,国内外已有一些有关不同树种林下套种药用植物的研究报道。Arya(2003)研究发现,在印度干旱地区,决明子与不同树种套种可较单独种植提高产量;陈风雷等(2021)对不同树种套种黄精开展试验,结果表明不同树种林下黄精长势及产量存在差异,黄精较适宜与花栎木等落叶乔木进行套种;伍思

宇等(2021)对不同树种林下套种金花茶的土壤性状进行分析,发现金花茶适宜与落叶阔叶林进行套种。现阶段国内外对麦冬的研究多集中于药用方面,如麦冬的药效学分析(Choi et al.,2004)、药理学(姜涛和秦路平,2007)和化学药用成分分析(Wu et al.,2017)等,也有部分研究涉及麦冬的园林绿化养护等(杨英书,2020)。在麦冬种植方面,张丽梅等(2008)对短葶山麦冬套种花生和红小豆后的生长情况进行研究,发现套种后随着遮光率增加其叶绿素含量呈先增后降的变化趋势;陈菁瑛等(2011)研究短葶山麦冬在不同密度下种植的生物量及多糖含量差异,发现种植密度小的地上部和地下部先期生长发育均优于高密度,不同种植密度间麦冬产量存在差异,但种植密度对多糖含量影响极小;康伟静等(2016)研究表明麦冬地上部分鲜重及分蘖株数受施肥量影响不明显,但施肥量对块根生长有明显促进作用。【本研究切入点】目前,针对麦冬套种的研究相对较少,如何依据具体生境将麦冬与不同树种搭配种植,在充分利用林地空间的基础上兼顾麦冬长势,并提升药材品质及药用经济价值的研究需深入探讨。【拟解决的关键问题】将3种常见树种与细叶麦冬进行套种,比较不同套种模式下细叶麦冬的生长、品质指标及林地土壤性状差异,通过方差分析和相关分析进行综合评价,以期了解林下环境对细叶麦冬生长的影响,并筛选适宜的林下细叶麦冬套种模式,为优化麦冬的林下栽培方式及提升品质提供理论指导,也为更多林下药用植物的合理化种植提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于江苏省泰州市姜堰区三水街道沙堰沟(32°30'39.048"N, 120°09'03.034"E), 地处江苏中部的里下河平原。属亚热带季风气候, 年均气温16.5℃, 年均降水量991.7 mm, 年均相对湿度80%, 气候适宜, 光照充足。试验地土壤类型为壤土, 种植条件优越。树种分别为女贞(*Ligustrum lucidum*)、落羽杉(*Taxodium distichum*)、樱花(*Prunus serrulata*)和榉树(*Zelkova schneideriana*)。不同树种造林时间相近, 树龄均为9年, 女贞和落羽杉种植株行距为3 m×3 m, 樱花和榉树为间隔种植, 2种树种间隔为3 m×3 m。

为了解不同套种模式样地气候特征, 采样前通过小型气象监测仪器(PHMES-100, NJU, 美国)记录全年(2022年)温度、湿度及光照强度数据指标, 取平均值作为相关气候背景参数用于分析样地环境。

1.2 试验材料

细叶麦冬于2021年3月移栽种植到试验地, 种植前幼苗于苗圃中培育3个月, 麦冬种植株行距均为1.5 m×1.5 m。除夏季雨季外, 定期浇水, 生长期间均未施肥。研究对象选择已适应且成熟的2年生以上植龄细叶麦冬植株。

1.3 试验方法

试验设4种细叶麦冬种植模式: 模式1, 女贞套种细叶麦冬; 模式2, 落羽杉套种细叶麦冬; 模式3, 樱花+榉树套种细叶麦冬; 模式4, 非林下单一种植细叶麦冬(对照)。2023年4月, 在每个模式样地内随机选取3个0.5 m×0.5 m的样方, 每块样方里各选取2株长势良好的麦冬植株, 即每块样地共选取6株麦冬植株。用叶绿素含量测定仪(LD-YD, 山东莱恩德智能科技有限公司)测定每株麦冬外轮叶片中部SPAD值。测量完成后将所选取的麦冬植株连同根部一起挖取完整植物样品, 放入密封袋, 用装有冰袋的箱子带回实验室进行后续生物量及叶绿素、黄酮和多糖含量等指标测定。同时在3个不同样方内各挖取0~20 cm土层处根系周围的土壤样品进行土壤指标分析。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 麦冬生物量测定 在1.3选取的样方内随机选择代表性麦冬植株(每个样方1株, 共12株), 用计数器、直尺及电子秤测量每株的叶片数、叶片长宽、块根个数和重量等指标。麦冬植株冲洗干净后用吸水纸吸干水分, 将其分为叶片、须根和块根3部分,

逐一称量并记录其生物学产量(全株鲜重、叶片鲜重、须根重和块根重); 随后置于烘箱105℃条件下杀青20 min后, 于75℃下烘至恒重, 计算单株及各器官干重。计算相关参数: 叶重比=单株叶片干重/单株总干重; 根重比=单株根部干重(须根+块根)/单株总干重; 根冠比=单株根部干重(须根+块根)/单株叶部干重。

1.4.2 麦冬叶绿素、黄酮和多糖含量测定 在1.3选取的样方内随机选择代表性麦冬植株(每个样方1株, 共12株)用于生理指标测定。叶片部分采用分光光度法测定叶绿素a、叶绿素b和类胡萝卜素含量(Wei and Wang, 2019), 并计算叶绿素a/b和叶绿素a+b含量。麦冬块根部分进行多糖和黄酮含量测定, 多糖含量采用苯酚硫酸法测定(刘涛等, 2011), 黄酮含量采用紫外分光光度法测定(郑芳等, 2018)。

1.4.3 土壤相关指标测定 土壤样品风干后剔除根系等杂物, 过筛后进行相关指标测定。土壤含水量采用烘干法测定(Antonietta et al., 2021); 土壤pH采用pH计测定; 土壤有机质含量采用重铬酸钾外加热法测定(谢晓梅, 2014); 土壤速效磷含量采用钼锑抗比色法测定(张飞龙, 2016); 土壤速效钾含量采用火焰光度法测定(Schnoor et al., 1995); 土壤全氮含量采用凯氏定氮法测定(鲁如坤, 2000)。

1.5 统计分析

试验数据采用Excel 2016和SPSS 16.0进行处理和统计分析。数据进行分析前均经过方差正态性和齐次性检验。生物量、叶片性状、叶绿素含量和土壤指标采用单因素方差分析(One-way ANOVA); 多重比较通过在SigmaPlot v12.0中执行Tukey's检验进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同套种模式样地环境分析

从表1可看出, 年均温与年均光照强度均为模式4>模式2>模式1>模式3。模式4样地因无林木套种, 故年均温和年均光照强度最高; 模式3由于采用2种树种套种, 遮阴效果较强, 故年均温和年均光照强度均最低, 与模式4间差异显著($P<0.05$, 下同)。其次遮阴效果较好的为模式1, 但与模式2间年均温差异不显著($P>0.05$, 下同)。4种模式下年均空气湿度排序与年均温和年均光照强度相反, 但不同模式间均无显著差异。

2.2 不同套种模式下细叶麦冬生物量分析

2.2.1 细叶麦冬叶片性状比较 从表2可知, 4种模式下生长的细叶麦冬平均单株叶片数无显著差

表 1 不同套种植模式样地环境指标比较

Table 1 Plot environment indicators comparison of different interplanting models

模式 Model	年均温(°C) Annual mean temperature	年均空气湿度(%) Annual mean air humidity	年均光照强度[μmol/(m ² ·s)] Annual mean illumination
1	17.13±0.11a	76.95±2.71	276.30±4.54b
2	17.14±0.08a	76.61±1.89	288.91±5.63b
3	16.01±0.06b	77.37±2.01	223.86±4.79c
4	17.48±0.10a	75.95±1.68	302.54±6.43a

同列数据不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。表2~表5同

Different lowercase letters in the same column indicated significant difference(P<0.05). The same was applied in Table 2-Table 5

表 2 不同套种模式下细叶麦冬叶片性状比较

Table 2 Leaf traits comparison of *O. japonicus* under different interplanting models

模式 Model	单株叶片数 Number of leaves per plant	叶宽(cm) Leaf width	叶长(cm) Leaf length
1	9.70±0.71	0.59±0.02b	17.92±0.19b
2	9.30±0.90	0.54±0.04b	14.33±0.89bc
3	10.00±1.20	0.87±0.08a	22.03±1.29a
4	8.70±0.35	0.55±0.05b	13.53±0.90c

异,但叶宽和叶长差异明显。模式3下生长的细叶麦冬叶长最宽最长,而模式4的麦冬叶片指标最小,前者较后者叶宽增加58.2%,叶长增长62.8%;其次为模式1下的麦冬叶片生长较好,较模式4细叶麦冬叶宽增加7.0%,叶长增加32.4%。

2.2.2 细叶麦冬生物量比较 从表3可知,在2种树种套种的模式3下,细叶麦冬的叶片鲜重、根鲜重和全株鲜重均最高,而在非林下单一种植模式4下,细叶麦冬的叶片鲜重、根鲜重和全株鲜重均最低,2种模式间鲜重指标差异显著;模式1和模式2的细

叶麦冬鲜重也显著低于模式3。4种模式下细叶麦冬干重表现与鲜重一致,叶片干重、根干重和全株干重均表现为模式3>模式1>模式2>模式4。从生物量分配相关参数来看,不同模式下生长的细叶麦冬生物量分配规律存在差异,模式4和模式2的细叶麦冬叶重比高于模式1和模式3,根重比变化趋势与叶重比相反;根冠比方面,模式3最高(4.46),其次为模式1(4.34)和模式2(3.53),模式4(2.54)最低。

由图1可看出,块根生物量方面,4种模式下细叶麦冬的单株平均块根个数差异不显著,但块根重差异明显,模式3下种植的细叶麦冬平均块根重最高,其次为模式1,二者间差异不显著,但均显著高于模式2和模式4。

2.3 不同套种模式下细叶麦冬叶绿素含量分析

从表4可看出,4种模式下,细叶麦冬SPAD值及叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素和叶绿素a+b含量的变化趋势均为模式3>模式1>模式2>模式4,且模式3

表 3 不同套种模式下细叶麦冬生物量比较

Table 3 Biomass comparison of *O. japonicus* under different interplanting models

模式 Model	鲜重(g) Fresh weight			干重(g) Dry weight			相关参数 Relevant parameter		
	叶片 Leaf	根部 Root	全株 Total plant	叶片 Leaf	根部 Root	全株 Total plant	叶重比 Leaf weight ratio	根重比 Root mass ratio	根冠比 Root shoot ratio
1	1.54±0.16b	3.93±0.11b	7.85±0.28b	0.30±0.04b	1.24±0.05ab	1.54±0.08b	0.19±0.02b	0.80±0.01a	4.34±0.64ab
2	1.20±0.03b	3.18±0.05bc	6.37±0.45bc	0.23±0.01bc	0.81±0.09bc	1.04±0.12bc	0.22±0.02ab	0.78±0.01ab	3.53±0.25ab
3	2.74±0.32a	5.38±0.51a	10.76±1.03a	0.50±0.01a	2.23±0.13a	2.73±0.13a	0.18±0.02b	0.82±0.04a	4.46±0.45a
4	0.93±0.06b	2.31±0.31c	4.62±0.64c	0.20±0.01c	0.51±0.02c	0.71±0.02c	0.28±0.01a	0.72±0.01b	2.54±0.18b

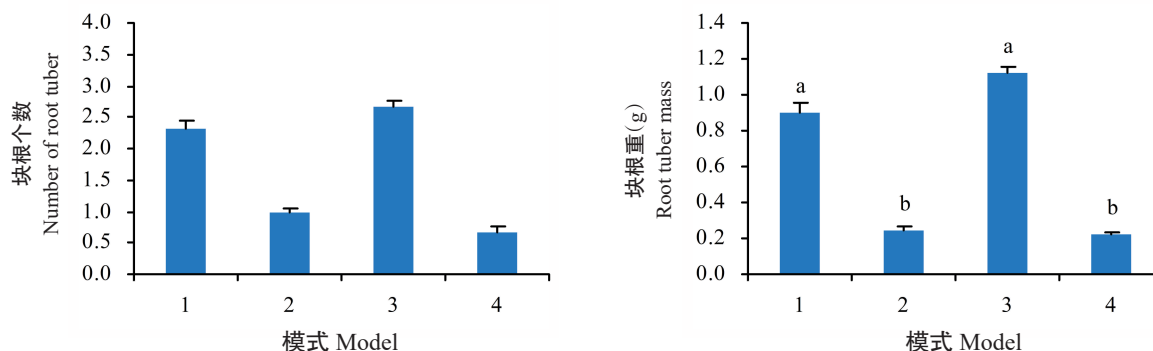


图 1 不同套种模式下细叶麦冬块根个数及块根重比较

Fig.1 Comparison of number of root tuber and root tuber mass of *O. japonicus* under different interplanting models

图柱上不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。图2同

Different lowercase letters on the bar indicated significant difference between treatments(P<0.05). The same was applied in Fig.2

和模式4各指标差异均达显著水平,模式1与模式2各指标均无显著差异。4种模式下细叶麦冬的叶绿素a/b在2.15~2.64,表现为模式2>模式4>模式1>模式3,但不同模式间无显著差异。

2.4 不同套种模式下细叶麦冬块根品质分析

由图2可看出,4种模式下细叶麦冬块根黄酮和多糖含量存在差异。模式3的细叶麦冬块根黄酮含量最高,为0.43 mg/g,但与其他3种模式相比差异不显著。麦冬块根多糖含量表现为模式1>模式3>模式2>模式4,模式1和模式3的细叶麦冬多糖含量分别为171.02和129.42 mg/g,二者间差异不显著,但均显著高于模式2和模式4;模式4的细叶麦冬块根多糖含量最低,为32.37 mg/g。

2.5 不同套种模式下林地土壤性状分析

由表5可知,3种套种模式与单独种植麦冬相比,林地土壤全氮含量均有所提高,其中模式3的土壤全氮含量最高,为1.73 mg/g,约是模式4土壤全氮含量的4.8倍,且显著高于其他处理。4种模式下土壤全磷含量规律与全氮含量规律一致,模式3全磷含量最高,为0.57 mg/g,较最低的模式4土壤全磷含量增加39.02%,二者差异显著。土壤有机质含量同

为模式3最高,模式4最低,而模式2与模式4的土壤有机质含量差异不显著。土壤全钾含量则在4种模式间差异不显著。4种模式下土壤pH在7.57~8.01,均为弱碱性土壤;模式3土壤碱性最强,与模式1的pH差异显著。4种模式下土壤含水量也有明显差异,模式3土壤含水量最高,较土壤含水量最低的模式4增加32.6%,二者间差异显著,但模式1、模式2和模式4间土壤含水量无显著差异。

2.6 麦冬叶片和块根特性与环境指标的相关分析

将4种模式下细叶麦冬叶片特性指标与年均温和年均光照强度进行相关分析,结果(图3)表明,叶长与年均温呈显著负相关,叶宽、叶部鲜重及干重与年均温均呈极显著负相关($P<0.01$,下同);叶长、叶宽、叶部鲜重及干重也与年均光照强度呈极显著负相关。根冠比与年均温呈极显著负相关,与年均光照强度呈显著负相关。

将4种模式下细叶麦冬块根特性指标与差异显著的土壤养分指标(全氮和有机质含量)进行相关分析,结果(图4)表明,块根个数、块根重、块根黄酮含量与土壤全氮含量呈显著正相关,与土壤有机质含量呈极显著正相关;块根多糖含量与土壤全氮含量

表4 不同套种模式下细叶麦冬叶绿素指标比较

Table 4 Chlorophyll indexes comparison of *O. japonicus* under different interplanting models

模式 Model	SPAD值 SPAD value	叶绿素a含量(mg/g) Chlorophyll a content	叶绿素b含量(mg/g) Chlorophyll b content	类胡萝卜素含量(mg/g) Carotenoid content	叶绿素a+b含量(mg/g) Chlorophyll a + b content	叶绿素a/b Chlorophyll a/b
1	27.40±0.90a	0.75±0.02b	0.31±0.1ab	0.16±0.01ab	1.06±0.02b	2.45±0.05
2	26.30±0.77ab	0.71±0.03b	0.27±0.01b	0.14±0.01b	0.94±0.03bc	2.63±0.09
3	29.10±0.95a	0.99±0.01a	0.46±0.07a	0.19±0.02a	1.44±0.09a	2.24±0.15
4	23.40±0.42b	0.58±0.01c	0.22±0.02b	0.12±0.03b	0.80±0.04c	2.62±0.11

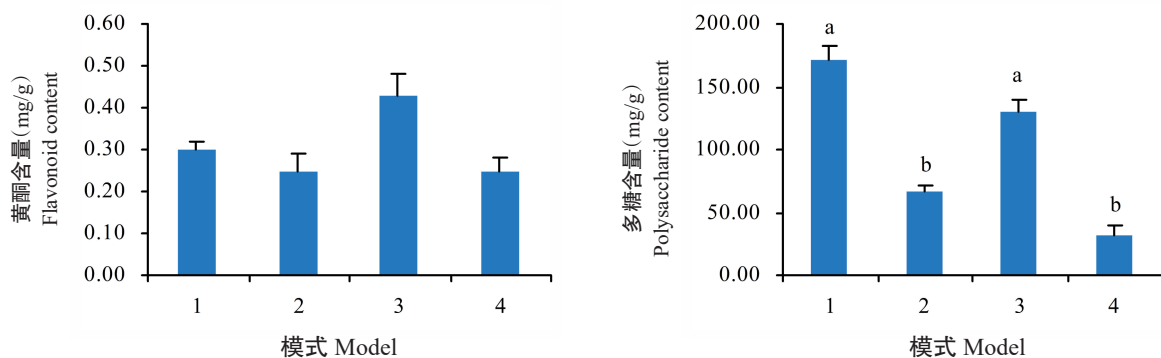


图2 不同套种模式下细叶麦冬块根黄酮和多糖含量比较

Fig.2 Total flavonoids and polysaccharides contents of *O. japonicus* under different interplanting models

表5 不同套种模式下林地土壤性状比较

Table 5 Soil traits comparison of forest land under different interplanting models

模式 Model	全氮含量(g/kg) Total nitrogen content	全钾含量(g/kg) Total potassium content	全磷含量(g/kg) Total phosphorus content	有机质含量(g/kg) Organic content	含水量(%) Soil moisture	pH
1	1.11±0.04b	16.48±0.54	0.54±0.04a	15.03±0.68b	21.23±1.35ab	7.57±0.09b
2	0.51±0.09c	16.37±0.48	0.48±0.03ab	8.16±0.74c	20.68±0.49ab	7.83±0.08ab
3	1.73±0.06a	16.91±0.41	0.57±0.10a	27.35±1.56a	23.25±1.50a	8.01±0.11a
4	0.36±0.10c	15.81±0.39	0.41±0.02b	5.73±0.84c	17.67±0.74b	7.77±0.19ab

呈极显著正相关,与土壤有机质含量呈显著正相关。

3 讨论

3.1 不同套种模式对细叶麦冬生长及品质的影响

作为常见的园林绿化植物,叶片是细叶麦冬的重点观赏部位。由于不同树种套种后树冠遮荫效果不同,对光照强度、空气温湿度等环境因子的改变程度也存在差异,从而影响到林下细叶麦冬的叶部形态。本研究中,樱花+榉树套种下的细叶麦冬叶片数最多,叶部形态表现最好,其次为女贞套种下生长的细叶麦冬;叶长、叶宽、叶部鲜重和干重与年均温和年均光照强度的相关分析结果表明,叶部指标与温度及光照均呈显著或极显著负相关。细叶麦冬为耐阴性植物,说明套种模式下的适度遮阴降温有助于其生长,因此2种林木套种下细叶麦冬叶部形态最好,而无林木遮挡的对照下细叶麦冬叶部指标较差。

生物量分配方面,落羽杉套种模式与对照模式下种植的细叶麦冬叶重比相对较高,而女贞套种模式与樱花+榉树套种模式下种植的麦冬根重比较高;4种模式下细叶麦冬根部生物量均大于叶部生物量,而套种模式会进一步提升根重比和根冠比。植物会

因适应生长环境而改变生物量的分配方式(王杨等,2017),有研究表明,植物根系对营养和水分的吸收量随温度升高而提升,从而降低植物地下部分的生长投入,导致根冠比降低(李旭东等,2012)。本研究得出相似结论,对照林地的年均温最高,该模式下细叶麦冬根冠比最低,相关分析也表明根冠比与年均温呈极显著负相关,均与李旭东等(2012)研究结果相符。

麦冬的块根具有药用价值,且其生长除与品种遗传有关外,也受外部环境因素的影响。研究认为,麦冬块根膨大过程是光合作用制造的有机物由地上向地下转移储藏的过程(吴发明等,2018),地上植株持续向下输送充足的光合产物,在满足一个块根中的贮藏薄壁细胞完成储藏过程后,会在同一不定根上产生更多块根(王庆慧等,2009)。因此块根个数及重量可反映麦冬的生长情况。本研究中,樱花+榉树套种模式种植的细叶麦冬平均块根个数最多、块根重最大,再次验证2种林木套种模式对细叶麦冬的长势起到促进作用;此外,该模式下的细叶麦冬块根黄酮含量最高,而女贞套种模式种植的细叶麦冬块根多糖含量最高,说明这2种模式下生长的麦冬块根品质较高。结合叶部指标进行分析,女贞套种和樱花+榉树套种模式的细叶麦冬环境适应性及生长状态较好,产生的光合产物不仅满足叶片生长,也大量输送到地下部分,促进了块根发育。因此,这2种套种模式不仅可运用在园林种植中增加绿化

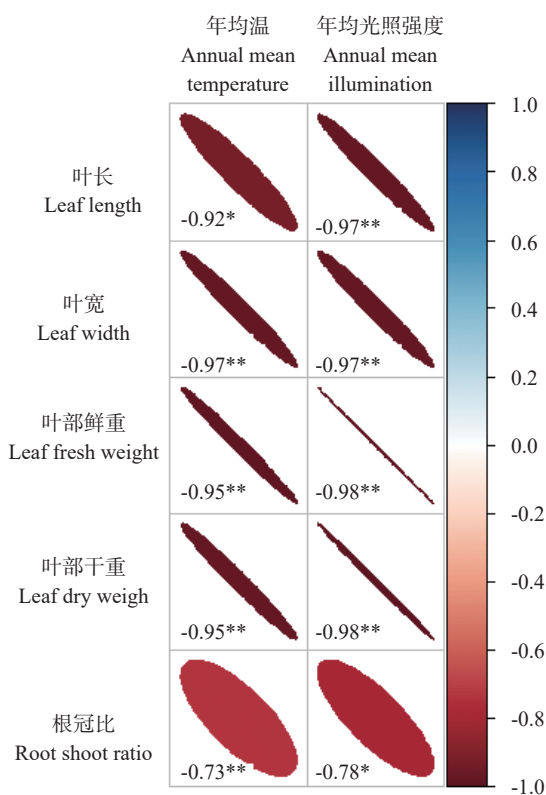


图3 麦冬叶片特性与环境指标的相关性
Fig.3 Correlation between leaf characteristics of *O. japonicus* and environmental indexes

*表示显著相关($P<0.05$),**表示极显著相关($P<0.01$)。图4同
* indicated significant correlation($P<0.05$), ** indicated extremely significant correlation($P<0.01$). The same was applied in Fig.4

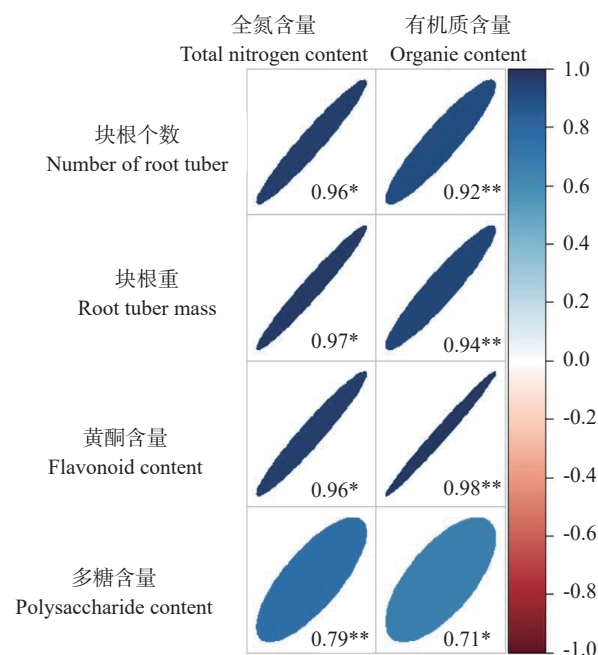


图4 麦冬块根特性与林地土壤指标的相关性
Fig.4 Correlation between root characteristics of *O. japonicus* and soil indexes of forest land

效果,也可用于林药模式栽种以提升细叶麦冬的块根药用经济价值。

3.2 不同套种模式对细叶麦冬叶绿素含量的影响

绿色植物产量的形成取决于其叶片的光能利用率,而光能利用率又受叶绿素含量影响(Parry et al., 2014)。光合作用进程中,叶绿素含量会随环境发生动态变化,从而优化对光能的吸收及耗散效率(Ronzhina et al., 2004),因此叶绿素含量和比例是评价草本植物对环境因子适应的重要指标。曹娜(2020)研究表明,适当遮阴可促进不同品种麦冬叶绿素合成。本研究中,不同套种模式下,叶片SPAD值和叶绿素含量均为樱花+榉树套种和女贞套种模式种植的细叶麦冬含量较高。表明细叶麦冬在这2种模式下的适应性较高,可能与这2种套种模式下遮阴效果较好有关,樱花+榉树2种树种套种增加遮阴效果;女贞则为常绿树种,可四季遮阴。叶绿素a/b及叶绿素a+b含量可反映植物适应外界环境的能力,植物对环境光能利用率越高,耐阴性越强,其叶绿素a/b通常越小(Dinç et al., 2012);而叶绿素a+b含量通常与植物叶片颜色深浅相关。本研究4种模式下种植的细叶麦冬叶绿素a/b在2.15~2.64,均小于阳生植物的叶绿素a/b(郑坚等,2016),验证了细叶麦冬属于典型的耐阴植物;其中樱花+榉树套种模式种植的细叶麦冬叶绿素a/b最低、叶绿素a+b含量最高,证明该模式下生长的细叶麦冬对光能的利用率较高,也进一步解释了该模式下细叶麦冬叶部及块根指标较好的原因。

3.3 不同套种模式对细叶麦冬林地土壤性状的影响

土壤养分是影响土壤肥力的重要指标,研究显示,不同林药套种模式对林地土壤养分含量会产生不同程度的影响(赵秉强等,2003)。李云鸽等(2020)研究表明厚朴与雷公藤套种显著提高了林地土壤全氮和全钾等养分含量。氮素作为重要营养元素,在调控植物生长发育过程中发挥关键作用。有机质具有吸附离子的属性,可疏松土壤并改善其性状(凡国华等,2019)。本研究中,不同种植模式下土壤全氮含量差异明显,表现为樱花+榉树>女贞>落羽杉>无套种。由于土壤养分受不同林木枯落物理化成分的影响,说明樱花+榉树的搭配可能在提高林地氮含量方面有一定效果。此外,樱花+榉树套种和女贞套种模式的土壤有机质含量较高,推测与这2种模式下林木枯枝落叶相对较多,可促进林下土壤微生物的增加有关,而微生物与土壤有机质具有相辅相成的关系。

此外,含水量及酸碱度也是土壤基本特征,林地

栽种植被类型能影响土壤盐分离子的运动状态,从而改变土壤含水量和酸碱度(郭全恩等,2011)。本研究结果表明,林下套种与单一种植麦冬的土壤相比,含水量均有所提高,与娄艳华等(2020)发现茶园套种桂花、罗汉松等林木后显著提高土壤含水量的研究结果一致。其中樱花+榉树套种模式的土壤含水量最高,说明2种林木的套种模式对提高浅层土壤的保水效果更显著。本研究的4种模式样地土壤均为弱碱性壤土,相较无套种模式,樱花+榉树套种模式对林地0~20 cm土层pH起到提升作用,女贞套种模式却降低了林地0~20 cm土层pH,这可能与枯落物的成分及蓄积量不同有关(马留辉,2018)。

麦冬块根特性指标与土壤指标的相关分析结果表明,块根数量、块根重量及块根多糖和黄酮含量均与土壤全氮和有机质含量呈显著或极显著正相关。表明土壤养分提高有利于麦冬块根品质提升,也与马留辉(2018)研究的麦冬主要次生代谢产物与土壤特性间存在一定相关性的结论一致。

林下种植中,合理选择套种树种才能充分发挥林地效益。本研究对不同林下套种的细叶麦冬进行测评,以期填补麦冬套种种植研究的空白,为麦冬园林种植搭配及林药套种方式提供参考,今后也可开展更多树种与麦冬套种模式的探索研究。

4 结论

与非林下单一种植相比,3种套种模式产生的适度遮阴效果及对土壤养分的改善均有利于细叶麦冬生长,但不同树种对细叶麦冬的影响存在差异,其中樱花+榉树和女贞与细叶麦冬的套种效果较好。

参考文献:

- 曹娜. 2020. 4种观赏麦冬光合特性及生长特征的比较研究[D]. 聊城:聊城大学. [Cao N. 2020. Comparison on photosynthetic properties and growth characteristics of 4 kinds of ornamental lilyturf[D]. Liaocheng: Liaocheng University.] doi:10.27214/d.cnki.glcsu.2020.000167.
- 陈风雷,孟德玉,王洪军,李彩虹. 2021. 不同树种林下套种黄精种植技术初探[J]. 湖北农业科学,60(7):77-79. [Chen F L, Meng D Y, Wang H J, Li C H. 2021. Preliminary study on *Polygonatum sibiricum* interplanting techniques of different tree species under forest[J]. Hubei Agricultural Sciences, 60(7):77-79.] doi:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2021.07.012.
- 陈菁瑛,苏海兰,黄颖桢,万学锋. 2011. 不同种植密度对短葶山麦冬生长动态及产量质量的影响[J]. 中国农学通报,27(27):226-230. [Chen J Y, Su H L, Huang Y Z, Wan X F. 2011. Effects of various planting densities on dynamic growth rhythm and yield and quality of *Liriope muscari*

- (Decne) Baily[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 27(27):226-230.] doi:10.11924/j.issn.1000-6850.2011-1771.
- 凡国华,刘超,李洋,董艳杰,葛波,李嘉欣,宋金科,庄家尧. 2019. 不同林龄油茶林土壤理化性质的变化[J]. 东北林业大学学报, 47(4):38-42. [Fan G H, Liu C, Li Y, Dong Y J, Ge B, Li J X, Song J K, Zhuang J Y. 2019. Changes of soil physical and chemical properties of *Camellia oleifera* forest at different ages[J]. Journal of Northeast Forestry University, 47(4):38-42.] doi:10.13759/j.cnki.dlx.2019.04.008.
- 郭全恩,王益权,马忠明,郭天文,车宗贤,黄高宝,南丽丽. 2011. 植被类型对土壤剖面盐分离子迁移与累积的影响[J]. 中国农业科学, 44(13):2711-2720. [Guo Q E, Wang Y Q, Ma Z M, Guo T W, Che Z X, Huang G B, Nan L L. 2011. Effect of vegetation types on soil salt ions transfer and accumulation in soil profile[J]. Scientia Agricultura Sinica, 44(13):2711-2720.] doi:10.3864/j.issn.0578-1752.2011.13.009.
- 国家药典委员会. 2020. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京:中国医药科技出版社. [National Pharmacopoeia Commission. 2020. Pharmacopoeia of the People's Republic of China(Edition I)[M]. Beijing:China Medical Science Press.]
- 何雅祺,王鑫鑫,张弛,张瑞芳,林智慧,王红. 2021. 间作、套种模式在中药材栽培中的效应研究进展[J]. 江苏农业学报, 37(4):1077-1083. [He Y Q, Wang X X, Zhang C, Zhang R F, Lin Z H, Wang H. 2021. Research progress on the effects of intercropping and interplanting modes in the cultivation of Chinese medicinal materials[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 37(4):1077-1083.] doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2021.04.034.
- 姜涛,秦路平. 2007. 山麦冬属植物化学成分和药理活性研究[J]. 中西医结合学报, 5(4):465-469. [Jiang T, Qin L P. 2007. Research on the chemical constituents and pharmacological activities of *Liriope Lour*[J]. Journal of Chinese Integrative Medicine, 5(4):465-469.]
- 康伟静,张国君,宋国宝,肖兴翠,梁丽容,龚细娟,罗泳加. 2016. 不同施肥处理对郁闭杨树林地麦冬生长的影响[J]. 湖南林业科技, 43(5):88-91. [Kang W J, Zhang G J, Song G B, Xiao X C, Liang L R, Gong X J, Luo Y J. 2016. Effect of different fertilization treatments on the growth of *Ophiopogon japonicus* in the woodland of poplar closed forest[J]. Hunan Forestry Science and Technology, 43(5):88-91.] doi:10.3969/j.issn.1003-5710.2016.05.018.
- 李旭东,张春平,傅华. 2012. 黄土高原典型草原草地根冠比的季节动态及其影响因素[J]. 草业学报, 21(4):307-312. [Li X D, Zhang C P, Fu H. 2012. Seasonal dynamics of root-shoot ratio and the effect of factors in grazed and ungrazed grasslands of the Loess Plateau[J]. Acta Prataculturae Sinica, 21(4):307-312.] doi:10.11686/cyxb20120437.
- 李云鸽,乔一娜,叶友杰,陈礼光,倪乐,郑郁善. 2020. 不同套种模式对雷公藤土壤养分及光合特性的影响[J]. 北方园艺, (6):101-108. [Li Y G, Qiao Y N, Ye Y J, Chen L G, Ni L, Zheng Y S. 2020. Effect of different interplanting patterns on soil nutrients and photosynthetic characteristics of *Tripterygium wilfordii*[J]. Northern Horticulture, (6):101-108.] doi:10.11937/bfy.20191589.
- 刘成明. 2012. 麦冬园林栽培与养护措施研究[J]. 中国园艺文摘, 28(1):47-49. [Liu C M. 2012. Garden cultivation and maintenance of *Ophiopogon japonicus* (L. F.) Ker-Gawl[J]. Chinese Horticulture Abstracts, 28(1):47-49.] doi:10.3969/j.issn.1672-0873.2012.01.024.
- 刘涛,尼玛卓玛,尼珍,陈荣. 2011. 苯酚—浓硫酸法测定西藏天麻中多糖含量的条件优化[J]. 广东农业科学, 38(8):132-134. [Liu T, Nimazhuoma, Nizhen, Chen R. 2011. Determination of the polysaccharide content of Tibetan *Rhizoma gastrodiae* by phenol-colorimetric concentrated sulfuric acid[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 38(8):132-134.] doi:10.3969/j.issn.1004-874X.2011.08.052.
- 刘智,张虹,罗会婷,王仲伟,汤诗杰. 2022. 不同种植模式下凤丹根际微生物群落结构和多样性分析[J]. 江苏农业学报, 38(2):502-511. [Liu Z, Zhang H, Luo H T, Wang Z W, Tang S J. 2022. Analysis on community structure and diversity in rhizosphere microorganisms of *Paeonia ostii* under different planting patterns[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 38(2):502-511.] doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2022.02.026.
- 娄艳华,吉庆勇,何卫中. 2020. 不同套种模式对茶园小气候、土壤及茶叶品质的影响[J]. 浙江农业科学, 61(4):682-685. [Lou Y H, Ji Q Y, He W Z. 2020. Effects of different interplanting patterns on microclimate, soil and tea quality in tea garden[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 61(4):682-685.] doi:10.16178/j.issn.0528-9017.20200422.
- 鲁如坤. 2000. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社. [Lu R K. 2000. Methods for the chemical analysis of soil agriculture[M]. Beijing:China Agricultural Science and Technology Press.]
- 马留辉. 2018. 川麦冬品质及其与根际土壤特性的相关性研究[D]. 成都:四川农业大学. [Ma L H. 2018. Study on correlation between quality and rhizospheresoil properties in ophiopogonis radix of Sichuan Province[D]. Chengdu:Sichuan Agricultural University.]
- 王庆慧,李铤,王金辉. 2009. 麦冬化学成分研究[J]. 中国现代中药, 11(11):21-22. [Wang Q H, Li X, Wang J H. 2009. Study on the constituents of *Ophiopogon tuber*[J]. Modern Chinese Medicine, 11(11):21-22.] doi:10.13313/j.issn.1673-4890.2009.11.005.
- 王杨,徐文婷,熊高明,李家湘,赵常明,卢志军,李跃林,谢宗强. 2017. 櫟木生物量分配特征[J]. 植物生态学报, 41(1):105-114. [Wang Y, Xu W T, Xiong G M, Li J X, Zhao C M, Lu Z J, Li Y L, Xie Z Q. 2017. Biomass allocation patterns of *Loropetalum chinense*[J]. Journal of Plant Ecology, 41(1):105-114.] doi:10.17521/cjpe.2016.0217.
- 吴发明,赵春艳,杨瑞山,曾俊,高思佳,李敏,包小红,周娟. 2018. 麦冬块根发育及其形态变化规律研究[J]. 中草药, (6):101-108. [Li Y G, Qiao Y N, Ye Y J, Chen L G, Ni L, Zheng Y S. 2020. Effect of different interplanting patterns on soil nutrients and photosynthetic characteristics of *Tripterygium wilfordii*[J]. Northern Horticulture, (6):101-108.] doi:10.11937/bfy.20191589.

- 49(8):1907-1913. [Wu F M, Zhao C Y, Yang R S, Zeng J, Gao S J, Li M, Bao X H, Zhou J. 2018. Study on development and morphological change rules of root tuber of *Ophiopogon japonicus*[J]. Chinese Herbal Medicine, 49(8):1907-1913.] doi: 10.7501/j.issn.0253-2670.2018.08.026.
- 伍思宇, 李宝财, 李纪元, 廖健明, 韦晓娟, 傅镜远, 李开祥. 2021. 不同树种林下套种金花茶土壤微生物多样性分析[J]. 广西林业科学, 50(2):115-124. [Wu S Y, Li B C, Li J Y, Liao J M, Wei X J, Fu J Y, Li K X. 2021. Soil microbial diversity of planting *Camellia nitidissima* under different tree species[J]. Guangxi Forestry Science, 50(2):115-124.] doi:10.19692/j.cnki.gfs.2021.02.001.
- 谢晓梅. 2014. 土壤与植物营养学实验[M]. 杭州: 浙江大学出版社. [Xie X M. 2014. Soil and plant nutrition experiments[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press].
- 杨英书. 2020. 基于生态效益分析的怀化城市公园植物群落优化研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学. [Yang Y S. 2020. Optimization of plant community in urban parks of Huaihua City based on ecological benefits analysis[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology.] doi:10.27662/d.cnki.gznlc.2022.000016.
- 曾朝晖. 2010. 地被麦冬的栽培应用探讨[J]. 中国园艺文摘, 26(6):58-59. [Zeng Z H. 2010. Discussion on the cultivation and application of ground cover *Ophiopogon japonicus*[J]. Chinese Horticultural Abstracts, 26(6):58-59.] doi: 10.3969/j.issn.1672-0873.2010.06.027.
- 张飞龙. 2016. Olsen法测定土壤中有效磷的方法优化及检测研究[J]. 西藏农业科技, 38(4):33-37. [Zhang F L. 2016. The methods optimization and detection of the methods olsen determinate soil available phosphorus[J]. Tibet Agricultural Science and Technology, 38(4):33-37.] doi: 10.3969/j.issn.1005-2925.2016.04.009.
- 张丽梅, 陈熹, 张守梅. 2008. 套种措施对短葶山麦冬生境及生理特性的影响[J]. 江西农业学报, 20(10):59-61. [Zhang L M, Chen X, Zhang S M. 2008. Effects of intercropping measures on habitat and physiological characteristics of *Liriope*[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 20(10):59-61.] doi:10.3969/j.issn.1001-8581.2008.10.022.
- 赵秉强, 张福锁, 李增嘉, 李凤超, 史春余, 张骏, 张新春, 申加祥, 潘海军, 赵甲美. 2003. 套作夏玉米根系数量与活性的空间分布及变化规律[J]. 植物营养与肥料学报, 9(1):81-86. [Zhao B Q, Zhang F S, Li Z J, Li F C, Shi C Y, Zhang J, Zhang X C, Shen J X, Pan H J, Zhao J M. 2003. Vertical distribution and its change of root quantity and activity of inter-cropped summer maize[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 9(1):81-86.] doi: 10.11674/zwyf.2003.0115.
- 郑芳, 曹丹丹, 皮婷婷, 朱雪松, 李聪, 柯昌虎, 冯协和, 田先地, 戢太阳. 2018. 紫外分光光度法测定“武当松针茶”中总黄酮的含量[J]. 中医药导报, 24(2):44-46. [Zheng F, Cao D D, Pi T T, Zhu X S, Li C, Ke C H, Feng X H, Tian X D, Ji T Y. 2018. Determination of total flavonoids in 'Wudang pine needle tea' by UV spectrophotometry[J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 24(2):44-46.] doi:10.13862/j.cnki.cn43-1446/r.2018.02.013.
- 郑坚, 吴朝辉, 陈秋夏, 马晓华, 夏海涛, 王金旺. 2016. 遮荫对降香黄檀幼苗生长和生理的影响[J]. 林业科学, 52(12):50-57. [Zheng J, Wu Z H, Chen Q X, Ma X H, Xia H T, Wang J W. 2016. Influence of shading on growth and physiology of *Dalbergia odorifera* seedlings[J]. Scientia Silvae Sinicae, 52(12):50-57.] doi:10.11707/j.1001-7488.20161206.
- Antonietta M, Maydup M L, Cano M G, Fanello D D, Acciaresi H A, Guiamet J J. 2021. Yield determinants, root distribution and soil water uptake in maize(*Zea mays*) hybrids differing in canopy senescence under post-silking drought [J]. Functional Plant Biology, 48(11):1124-1138. doi: 10.1071/FP21138.
- Dinç E, Ceppi M G, Tóth S Z, Bottka S, Schansker G. 2012. The chl a fluorescence intensity is remarkably insensitive to changes in the chlorophyll content of the leaf as long as the chl a/b ratio remains unaffected [J]. Biochimica Biophysica Acta, 1817(5):770-779. doi: 10.1016/j.bbabi.2012.02.003.
- Parry C, Blonquist Jr J M, Bugbee B. 2014. In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: Analysis of the optical/absolute relationship [J]. Plant, Cell & Environment, 37(11):2508-2520. doi:10.1111/pce.12324.
- Arya R. 2003. Yield of *Cassia angustifolia* in combination with different tree species in a silvi-herbal trial under hot arid conditions in India[J]. Bioresource Technology, 86(2):165-169. doi:10.1016/s0960-8524(02)00150-5.
- Ronzhina D A, Nekrasova G F, P'yankov V I. 2004. Comparative characterization of the pigment complex in emergent, floating, and submerged leaves of hydrophytes[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 51(1):21-27. doi:10.1023/B:RUPP.0000011299.93961.8f.
- Schnoor J L, Licht L A, Mccutcheon S C, Wolfe N L, Carreira L H. 1995. Phytoremediation of organic and nutrient contaminants [J]. Environmental Science and Technology, 29(7):318-323. doi: 10.1021/es00007a002.
- Choi S B, Wha J D, Park S. 2004. The insulin sensitizing effect of homoisoflavone-enriched fraction in *Liriope platyphylla* Wang et Tang via PI₃-kinase pathway[J]. Life Sciences, 75(22):2653-2664. doi: 10.1016/j.lfs.2004.04.039.
- Wei M M, Wang X Y. 2019. Differences in chlorophyll fluorescence parameters, yield and its components between different genotypes of wheat under waterlogging conditions at anthesis[J]. Agricultural Biotechnology, 8(4):7-13.
- Wu Y, Wang X M, Bi S X, Zhang W, Li R J, Wang R J, Yu B Y, Qi J. 2017. Novel cytotoxic steroidal saponins from the roots of *Liriope muscari* (Decne.) L. H. Bailey [J]. RSC Advances, 7(23):13696-13706. doi: 10.1039/c6ra26031d.