

# 中药材间作种植历史、模式及其案例分析

段婉莹<sup>1,2</sup>, 陈小莉<sup>1</sup>, 冉志芳<sup>1</sup>, 方磊<sup>1,3,5</sup>, 宋政建<sup>4</sup>, 郭兰萍<sup>2</sup>, 周洁<sup>1,2\*</sup>

(1. 济南大学生物科学与技术学院, 山东 济南 250022; 2. 中国中医科学院 中药资源中心 道地药材品质保障与资源持续利用国家重点实验室, 北京 100700; 3. 金银花全产业链高值高效关键技术山东省工程研究中心, 山东 临沂 273399; 4. 威海市文登区道地参业发展有限公司, 山东 威海 264400; 5. 平邑方圆药业有限公司, 山东 临沂 273399)

**[摘要]** 间作是一种传统且应用广泛的种植模式,与单作相比,间作植物在空间分布、形态结构等方面存在差异,能充分利用复合群体生态位互补原理,弱化种间或种内竞争,增强互补生长,实现有限空间资源高效获取和现有资源高效转换。在历史上,中药材间作模式经历两千多年的发展演变,从创始探索到继承发展。如今,中药材与粮、林、果、药等形成的间作模式已成为中药材生态种植的重要组成部分,在提高养分资源利用效率、系统生产力、降低病虫害发生及提高药材产量与品质方面效果显著。该文从我国中药材间作种植历史、目前主要间作模式、常见区域案例分析及间作的空间生态位互补原理等方面进行综述,以期中药材间作种植实践与研究提供参考。

**[关键词]** 中药材; 间作; 模式; 机制

## Intercropping history, pattern, and case analysis of Chinese medicinal material

DUAN Wan-ying<sup>1,2</sup>, CHEN Xiao-li<sup>1</sup>, RAN Zhi-fang<sup>1</sup>, FANG Lei<sup>1,3,5</sup>, SONG Zheng-jian<sup>4</sup>, GUO Lan-ping<sup>2</sup>, ZHOU Jie<sup>1,2\*</sup>

(1. School of Biological Science and Technology, University of Jinan, Ji'nan 250022, China; 2. State Key Laboratory for Quality Ensurance and Sustainable Use of Dao-di Herbs, National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China; 3. Shandong Engineering Research Center of Key Technologies for High-Value and High-Efficiency Full Industry Chain of Lonicera japonica, Linyi 273399, China; 4. Weihai Wendeng District Dao Di Ginseng Industry Co., Ltd., Weihai 264400, China; 5. Pingyi Fangyuan Pharmaceutical Co., Ltd., Linyi 273399, China)

**[Abstract]** Intercropping is a traditional and widely used planting pattern, and different intercropped plants have differences in spatial distribution and morphological structure compared with monoculture. Therefore, intercropping can realize efficient acquisition of limited space resources and efficient conversion of existing resources by utilizing the principle of niche complementarity of composite groups, weakening interspecific or intra-specific competition, and enhancing their complementary growth. Intercropping of Chinese medicinal material (CMM) has experienced the evolution of more than two thousand years from its founding to inheritance and development. Nowadays, the intercropping pattern formed by CMM and grain, forest, fruit, and herbs has become an integral branch of ecological planting of CMM, which has improved the utilization efficiency of nutrient resources and system productivity, reduced the occurrence of diseases and pests, and enhanced the yield and quality of medicinal materials. This article summarized the intercropping history of CMM in China, current main intercropping patterns, common regional cases, and the principle of spatial niche complementarity of intercropping, so as to provide a reference for intercropping practice and research of CMM.

**[Key words]** Chinese medicinal material; intercropping; pattern; mechanism

DOI:10.19540/j.cnki.cjmm.20240517.104

**[收稿日期]** 2024-03-11

**[基金项目]** 国家“十四五”重点研发计划项目子课题(2023YFC3503802);山东省重点研发计划项目(2022TZXD0036);中央本级重大增减支项目(2060302-2302-06);山东省自然科学基金项目(ZR2022MH101);鲁豫科技协作项目(2023-01);2023山东省重点扶持区域引进急需紧缺人才项目(12)

**[通信作者]** \*周洁,教授,研究方向为中药资源生态种植与次生代谢调控,E-mail:zhoujie8761@163.com

**[作者简介]** 段婉莹,硕士研究生,研究方向为中药资源生态种植技术,E-mail:duanwyiii@163.com

现阶段,中药材生产正在逐步从传统农业种植向规模化、现代化的现代农业种植发生转变,生态农业是中药农业的必由之路<sup>[1-3]</sup>。间作是一种生态农业高效种植模式,是指在同一田地上生长季节相近或相似的2种或2种以上的作物按一定比例分行或分带种植<sup>[4]</sup>,运用群落的空间结构原理,建立互补和便利的关系<sup>[5]</sup>,具有增加作物产量、优化作物品质、高效利用养分、增加生物多样性、减少病虫害<sup>[6-8]</sup>等优势。间作在全球温带和热带地区应用广泛,目前我国全年间作播种面积已达到了3 300万 $\text{hm}^2$ <sup>[9]</sup>。中药材间作是指将药材与粮、林、果、药等间作,能有效提高药材品质并缓解连作障碍<sup>[1,10]</sup>。近年来,不少学者对中药材间作进行了大量研究与实践,取得突出进展。本文从我国中药材间作种植历史,目前主要间作模式、常见区域案例分析和间作机制研究等方面进行综述,以期对中药材间作种植实践与研究提供参考。

## 1 我国中药材间作种植历史

中药材间作种植历史悠久,是中国古代种植制度上的重要特色。我国有关间作的记录最早出现在汉代,2 000年前西汉时期《汜胜之书》一书里就有记载农学家汜胜对藟头(藟)、赤小豆间作套种的总结,在瓜田里间作藟头和赤小豆,待采收后每亩收入达“万钱”<sup>[11]</sup>(1亩 $\approx 667\text{m}^2$ )。魏晋南北朝时期,间作种植得到初步发展,《齐民要术》中与药材栽培的内容极为丰富,指出如桑树间作芜菁或禾豆的目的是“不失地力,田又调熟”,既能“熟”化土壤,又能做到用地和养地相结合;此外,书中还有关于苘麻(冬葵子)与芜菁、葱与胡荽(芫荽)等间作的相关记载,为我国中药材间作奠定了理论与实践基础<sup>[12]</sup>。宋、元时期,间作进一步发展,《陈旉农书》中提出桑下栽苧(苧麻),即“桑根植深,苧根植浅,并不相妨,而利倍差”;《农桑辑要》中重点指出了间作种植应注意植物间的合理搭配,既“桑间可种田禾,与桑有宜与不宜”<sup>[11]</sup>。明、清时期,由于野生中药资源的减少,栽培药材区域得以扩大,中药材间作有了较大发展<sup>[13]</sup>。《群芳谱》对苜蓿分布的记载有“以三晋为盛,……燕赵又次之”<sup>[14]</sup>;《救荒简易书》则指出“苜蓿菜七月种,必须和秋荞麦而种之”,以及“五月种苜蓿也须和黍种之”<sup>[15]</sup>。民国年间,广东种蔗“必间植瓜蔬”以及“果树旁边,复间植各蔗”<sup>[16]</sup>;《洮沙县志》对中药芥子的种植方式记载到“川地,同时一田数多,如蚕豆地中夹种芥子,两不相妨”<sup>[17]</sup>。历史上间作种植经历了5个时期,汉代的创始探索期、魏晋南北朝对间作种植理论与技术的初步发展、宋元时代对间作种植作物的栽培驯化期、明清时代间作种植农业形成发展期、民国时期间作的优良传统得以继承和发展。经历两千多年的发展演变,中药材间作种植模式在提升药材产量与品质中发挥着越来越重要的作用。

## 2 中药材间作种植模式及其案例

根据间作品种不同,可将中药材间作种植模式分为粮-药间作、林-药间作、果-药间作和药-药间作(见中国知网本文增强出版附加材料)。

**2.1 粮-药间作模式、常见区域及其案例分析** 粮-药间作是将中药材与粮食作物如小麦、玉米等进行间作,充分利用光

能、土地和水肥等自然资源,具有可持续可循环的特点,是解决粮、药争地矛盾的有效途径<sup>[18-20]</sup>。粮-药间作常见于西南、华中地区,该地区以平原、丘陵为主,大部分属温带季风气候。华中地区典型的粮-药间作有玉米-半夏间作,该模式在湖北省天门市、潜江市等半夏道地产区推广面积近500 $\text{hm}^2$ <sup>[21]</sup>。半夏畏强光,与玉米间作种植可避免半夏遭受阳光直射,土地当量比均大于1,与单作相比增产50%以上,经济效益显著<sup>[22-23]</sup>。西南地区典型的粮-药间作模式有玉米-天冬间作,四川内江等地已建立粮-天冬复合生态种植示范基地<sup>[24]</sup>。天冬忌高温,喜阴凉,玉米-天冬间作比单作天冬增收21.8%,比单作玉米增收564.9%,实现“一亩地两收益”<sup>[25]</sup>。在限制耕地“非粮化”的背景下,粮-药间作模式是确保粮食产量及发展中药材的有效办法。近年来,药-粮间作模式研究已取得进展,如玉米-苍术<sup>[26]</sup>,玉米-柴胡<sup>[20]</sup>等;党参-大蒜<sup>[27]</sup>,党参-高粱<sup>[28]</sup>等。粮-药间作模式充分利用并延长作物生长季节,提高田间复种指数,确保粮食安全及农民收入。

**2.2 林-药间作模式、常见区域及其案例分析** 林-药间作是将中药材与乔木、灌木等多年生木本植物进行间作,是一种基于森林和林地及其生态环境为背景下的半野生药用植物驯化或药用植物种植的间作模式<sup>[29-30]</sup>。适宜的林地既能改善中药材种植环境,使得土地的生产力得以持续性提高,又能提高中药材品质<sup>[31]</sup>。林-药间作常见于东北、西北和华中地区,该地区有适合间作的林地。东北地区有大面积森林,为该地区发展人参林下种植提供先天优势。林下栽培人参是一种仿野生栽培模式,林-参间作模式下获得的人参形状和有效成分与野山参类似,与农田栽培人参相比,品质相对优越<sup>[32]</sup>。蒙古栎下栽培的人参中人参总皂苷质量分数高达 $2.27\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,产量高达 $30.7\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ <sup>[30]</sup>。西北地区有典型的林-秦艽间作,秦艽喜湿润阴凉、忌强光,高大乔木可改善林下植物冠层温、湿度,有利于药用植物的生长和次生代谢产物的积累<sup>[33]</sup>。研究发现秦艽在0.2郁闭度下长势较好,种子易落且在遮阴环境下易萌发,成熟时鲜重超 $2\text{万kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,对于秦艽种质资源保护、种群分布及蕴藏量扩大均具有重要意义<sup>[34]</sup>。华中地区有典型的林-黄精间作,杉木是南方林区主要用材树种,杉木-黄精间作既丰富了林分生物多样性又发展了多花黄精生态种植,提高杉木林地生态功能和生产力。与田间栽培黄精相比,杉木林下的黄精茎粗是田间栽培的2倍,株高是田间栽培的1.5倍<sup>[35]</sup>,仅黄精采收每公顷超30 000元<sup>[36]</sup>。近年来已探索并开发多种林-药栽培模式,如林-石斛<sup>[37]</sup>,林-三七<sup>[38]</sup>等,并建立多个种植示范基地,如夹江县华头镇石斛种植基地,盐边县林下中药材现代林业园区等。林-药间作模式“以短养长”,改善林地微生态,提升林地综合效益。

**2.3 果-药间作模式、常见区域及其案例分析** 果-药间作与林-药间作原理类似,是将中药材与果树等多年生乔灌木进行间作,充分利用果园空地,减少土壤水分散失,提高中药材产量<sup>[39-40]</sup>。果-药间作种植模式在华北和西北地区运用较广,华北地区以平原、高原、丘陵为主,西北地区以山地、盆地、高原

为主,均属温带季风气候。华北地区果-药间作种植模式能充分利用水、光等资源,提高系统经济效益。如核桃-菘蓝间作中,菘蓝主要利用浅层土壤水,核桃树根系发达,利用深层土壤水,其树冠能起到遮阴作用,减少土壤水分蒸发;与单作菘蓝相比,间作种植下土壤含水量提高了8%以上,总收益提高1.24~1.49倍<sup>[41]</sup>。梨-罗勒间作中,梨树根系发达,主要分布在20~60 cm土层中,芳香植物罗勒根系主要分布在0~20 cm土层中;与单作果园相比,间作土壤含水量显著提高31.61%<sup>[42]</sup>。西北地区山杏-秦艽间作中,山杏具有喜光、抗寒等特点,秦艽作为陕西优质地道药材,喜湿润、凉爽气候,具有耐寒的特点,故在湿润区林缘坡地山杏生态林下推广种植秦艽<sup>[43]</sup>。浅根物种可以从具有深根系的邻近植物物种中获取水<sup>[44]</sup>。山杏-知母间作中,知母为浅根性药用植物,可加固表层土壤,减少水分散失,与单作相比,知母中知母皂苷BII和芒果苷分别增加了9.56%、3.27%,每亩能增收1500~3000元<sup>[45]</sup>。果-药间作提高果园效益,实现“多元一体”,充分利用纵向空间结构,实现多层次优势互补<sup>[46]</sup>。荔枝“多元一体”立体种植模式逐渐发展(图1),即以荔枝为主体,在其树干上附生铁皮石斛,梯埂上拟种砂仁或黄花倒水莲,内侧种植绞股蓝或金线莲,显著增加收益<sup>[46-47]</sup>。目前,我国已成为果树产业第一大国,果-药间作模式的开发,优化了生产区域布局和产品结构,产业效益显著,实现了果、药的绿色生产。

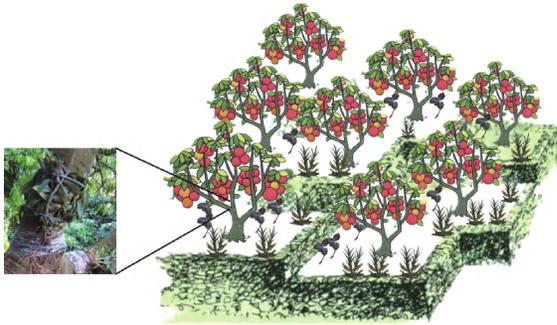


图1 荔枝“多元一体”立体种植模式

Fig. 1 Stereoscopic planting pattern of lychee with "diversity and integration"

**2.4 药-药间作模式、常见区域及其案例分析** 药-药间作是将2种或2种以上生长习性不同的中药材进行间作种植,包括喜阳与耐阴、深根性与浅根性、多年生木本与生育期短的草本等相互搭配,提高土地利用效率,获得更大经济效益<sup>[48]</sup>。药-药间作以华南及西南地区较为常见,华南地区亚热带季风气候,气温较高、湿度较大;西南地区气候类型较多,包括亚热带季风气候及温带、亚热带高原气候。华南地区典型的间作药用植物有广藿香、广金钱草等,广藿香喜阳光、湿润环境,常与根茎类药材生姜、姜黄或耐高温药材紫苏进行搭配种植<sup>[49-50]</sup>。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%<sup>[50]</sup>;与姜黄间作后,广藿香整株鲜重增加36.25%,百秋李醇含量增加

60%左右,增长效果显著<sup>[49,51]</sup>。西南地区道地药材川贝母,80%来自野生<sup>[52]</sup>,为保护野生资源,通过人工抚育措施探索建立了川贝母-藁本间作种植模式,浅根植物川贝母搭配深根植物藁本,提高对土壤水分和营养物质的利用率,达到预期效果<sup>[53]</sup>。喜阳光、耐严寒的乔木植物黄柏,建议搭配喜光、耐寒的草本植物芍药进行间作种植,在一定程度上提高了总体效益,提高了单位种植面积的产值,收获期年均收入8000元/亩<sup>[54]</sup>。药-药间作模式的开发是在加快推进中医药现代化与产业化的背景下,为满足市场需求,解决中药材种植产业选种不准确,药材品质与药效未达预期,进而开发探索的种植模式<sup>[55]</sup>。目前,已探索出众多适合推广种植的药-药间作搭配模式,如党参-黄芪间作中,黄芪主根长增加17.61%,根直径增加23.42%,多糖含量显著增加,质量分数达20.5%<sup>[56]</sup>。丹参-薄荷、丹参-紫苏、丹参-苜蓿间作中,丹参根部丹参酮I、丹参酮II<sub>A</sub>和隐丹参酮含量比单作丹参显著增加,以间作薄荷下丹参酮类含量最高,质量分数达1.08%<sup>[57]</sup>。花椒-板蓝根间作中,深根的板蓝根结合花椒清园时深翻种植,收获期净利润达8000元/亩<sup>[58]</sup>。药-药间作模式的开发是满足社会对高品质中药材的需求,为市场提供绿色、高效、安全的优质药材。

### 3 中药材间作的空间生态位原理

**3.1 地下部根系生态位的互补** 根是植物吸收营养物质的重要器官。在地下根系生态系统中,根的空间结构和分布特征不仅可以反映土壤资源被利用的可能性及其生产力,也决定了植物个体间或种群间对土壤中水分、养分等资源利用效率<sup>[8,59-60]</sup>。间作可减少单一作物对养分选择性吸收造成的土壤养分比例失调<sup>[9]</sup>。杏-紫花苜蓿间作中,紫花苜蓿根系集中在0~20 cm土层中,杏的吸收根分布在20~40 cm土层中,两者根系在空间上呈现“错层”现象,生态位互补,杏树形成庞大根系,具有较强竞争优势<sup>[61-62]</sup>。百里香是浅根药用植物,大豆是深根植物,百里香-大豆间作中,一是植物根系深度和扩张的差异提升了土壤资源利用效率;二是大豆生物固定的氮可转移到百里香中,提高共生固氮效率;三是促进大豆根系分泌物的分泌,尤其是有机酸(如磷酸酶、羧酸盐等)的分泌,降低土壤酸度,提高土壤养分有效性;四是驱动根系丛枝菌根真菌(AMF)资源,AMF菌丝增加百里香根系吸收率和面积<sup>[63]</sup>,增强对低流动性养分如磷的吸收<sup>[64]</sup>。不同植物间作优化根系生态位,提高系统资源利用效率。

**3.2 地上部冠层微环境的改善** 叶是植物进行光合作用和蒸腾作用的主要器官。间作利用高秆和矮秆、喜荫和耐荫等特点,发挥形态互补、生育期互补、生态互补和边缘优势等,提高光合效率和单位面积产量<sup>[65]</sup>。如玉米-天冬<sup>[25]</sup>,玉米-苍术<sup>[26]</sup>,林-秦艽<sup>[34,43]</sup>,黄柏-芍药<sup>[54]</sup>等间作系统,处于高位喜光的禾谷和木本为处于低位喜阴的药用植物提供隐蔽环境。植物冠层微环境包括冠层内温度、相对湿度和光照等农业气象要素<sup>[66]</sup>,其受到种植方式、密度、行距配置等栽培措施综合调控。祁连圆柏-黄芩间作中,一是中药材叶片蒸腾作用降低了树冠温度,提高了树冠湿度;二是黄芩的覆盖和

遮阴降低地表水分蒸发;三是适宜的温湿度增强祁连圆柏光合速率,促进圆柏形成层细胞的分裂和生长<sup>[67]</sup>。大桉-黄檀间作中,大桉高生长速率使冠层快速闭合竞争光能,黄檀的固氮作用增加大桉的氮含量,诱导叶绿素(a+b)积累,促进大桉光合产物积累<sup>[68-69]</sup>。紫花苜蓿-燕麦间作中,紫花苜蓿受株高燕麦的影响,在遮阴环境下会改变叶绿素的构成,即提高叶绿素b含量,增强对环境中光能的捕获,达到提高光合作用的目的<sup>[70]</sup>。不同植物间作改善了冠层环境,对于提高光能的利用以及单位面积产量具有明显优势。

**3.3 地上与地下生态系统联合控制病虫害** 研究发现间作模式下病虫害发生率降低25%~40%。病虫害的发生通常是地上与地下综合因素作用的结果<sup>[71-73]</sup>。间作降低病虫害的机制一是增加地上部多样性。棉花间作茴香或苜蓿后,能直接吸引蚜虫蜂为其繁殖提供栖息地,提高其对蚜虫的寄生率,降低棉蚜密度<sup>[74-75]</sup>。二是减少间作植物自毒物质的分泌。地黄间作大蒜后,能有效减少大蒜分泌的自毒物质如梓醇等,提高细菌-真菌比,增强假单胞菌对镰刀菌属生防作用<sup>[76]</sup>。苍术-花生间作中,苍术释放的萜烯和芳香烃类物质通过抑制花生分泌丙二醛,进而抑制花生根际镰刀菌等病原菌生长<sup>[77]</sup>。三是增强间作植物抗病性。玉米-辣椒间作中,辣椒诱导玉米根茎中1,4-苯并噻-3-酮分泌物的增加,提高玉米防御基因如*Bx1*、*Bx8*的表达,增强玉米对小斑病的抗性<sup>[78]</sup>。西红柿-大蒜间作中,大蒜释放的二烯丙基二硫能提高番茄光合能力和地下部根系活力,促进番茄生长发育,提高番茄抗病性<sup>[79]</sup>。四是抑制病原菌的产生<sup>[80]</sup>。如玉米-辣椒间作中,玉米根系通过分泌如苯并噻唑等物质吸引并杀灭辣椒疫霉游动孢子,降低辣椒疫霉病<sup>[81]</sup>。不同植物间作增加了生态系统的稳定性,是生物防治病虫害综合体系的重要举措。

#### 4 小结

近年来,中药材间作实践方面取得积极进展,逐步形成了不同的中药材间作种植模式,如东北地区林-参<sup>[82]</sup>、华东地区白芍-白术<sup>[83]</sup>、西南地区烟草-玄参<sup>[84]</sup>、华北地区果-黄芪<sup>[85]</sup>、果-黄芩<sup>[86]</sup>、桔梗-大葱<sup>[87]</sup>、华南地区广藿香-生姜<sup>[49]</sup>、西北地区杏-秦艽<sup>[43]</sup>、西南地区粮-当归<sup>[88]</sup>、华中地区半夏-玉米<sup>[21]</sup>等。同时,同种中药材形成了多种间作种植模式,如橡胶-阳春砂<sup>[89]</sup>、龙眼-阳春砂<sup>[90]</sup>、苦楝-阳春砂<sup>[91]</sup>等;半夏-玉米<sup>[21]</sup>、半夏-决明<sup>[7]</sup>、半夏-核桃<sup>[92]</sup>等。在中药间作生产实践中建议坚持“生态优先,生态效益、经济效益和社会效益并重,以短养长、长短结合”及道地性原则,选择合理的间作品种与技术,避免盲目生产。

中药间作研究方面也取得一定进展,目前关于间作调控药材产量与品质的机制研究还非常薄弱,仅停留在间作对药材产量与品质的描述层面,距阐明其作用机制相差甚远。建议从以下几个方面进行深入研究:一是根际微生态对药材产量与品质的影响及机制研究。根际微生态直接影响药材产量与品质,间作模式改变植物的根际微生态,建议采用稳定同位素示踪、宏基因组学、代谢组学、转录组学、蛋白组学等技术方法,从生理和分子层面揭示间作系统中根系分泌物、

根际微生物与中药材活性物质积累之间的关系及其调控机制。二是冠层微生态对药材产量与品质的影响及机制研究。光作为植物光合作用的能量来源,是决定中药材产量与品质的关键环境因子。与药、林、果等间作的药材多数居于林下,间作改变药用植物的光合性能,建议从光周期、光质和光强等方面研究不同林下中药材的光合特性,从分子层面揭示冠层结构和林内光环境对中药材品质的塑造及其作用机制。三是立足绿色低碳发展,加强对生态修复固碳机制的理解。建议从生态系统角度对目前较为成熟的中药材间作种植模式进行分析,着眼于土壤的固碳效应以及植物光合作用的固碳作用机制研究,提升中药生态农业可持续发展能力,助力双碳战略。

#### 【参考文献】

- [1] 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.
- [2] 郭兰萍,王铁霖,杨婉珍,等. 生态农业:中药农业的必由之路[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(2): 231.
- [3] 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.
- [4] BEDOUSSAC L, JOURNET E P, HAUGGAARD-NIELSEN H, et al. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercropping in organic farming. A review[J]. Agron Sustain, 2015, 35(3): 911.
- [5] 杨友琼,吴伯志. 作物间套作种植方式间作效应研究[J]. 中国农学通报, 2007(11): 192.
- [6] 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): 1111.
- [7] 杭焯,罗夫来,赵致,等. 半夏间作不同作物对土壤微生物、养分及酶活性的影响研究[J]. 中药材, 2018, 41(7): 1522.
- [8] LI C, STOMP T J, MAKOWSKI D, et al. The productive performance of intercropping[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2023, 120(2): e2201886120.
- [9] 李隆. 间套作强化农田生态系统服务功能的研究进展与应用展望[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(4): 403.
- [10] 赵江怡,孙志蓉,张子龙. 我国中药材种植模式研究进展[J]. 中国现代中药, 2021, 23(2): 372.
- [11] 郭文韬. 中国间套种的历史发展[J]. 云南农业科技, 1986(2): 5.
- [12] 梁飞. 道地药材考[D]. 北京:北京中医药大学, 2013.
- [13] 王洪伟. 明清时期药业研究[D]. 南京:南京农业大学, 2019.
- [14] 周敏. 中国苜蓿栽培史初探[J]. 草原与草坪, 2004(1): 44.
- [15] 王佐槐,高万庆. 古农书《群芳谱》抄本略考[J]. 甘肃农业大学学报, 2002(3): 385.
- [16] 邵尧年. 番禺、增城、东莞、中山糖业调查报告书[R]. 中山大学农学院, 1925.
- [17] 郭文韬. 中国间作套种的历史发展. 下篇[J]. 云南农业科技, 1986(3): 6.
- [18] MILENKOVIĆ L, ILIĆ Z S, STANOJEVIĆ L, et al. Chemical composition and bioactivity of dill seed (*Anethum graveolens* L.) essential oil from plants grown under shading[J]. Plants (Ba-

- sel), 2024, 13(6): 886.
- [19] ELHAWAT N, KOVÁCS A B, ANTAL G, et al. Living mulch enhances soil enzyme activities, nitrogen pools and water retention in giant reed (*Arundo donax* L.) plantations [J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 1704.
- [20] 王畅. 涉县柴胡种植户药粮间作技术采纳影响因素研究 [D]. 保定:河北农业大学, 2022.
- [21] 朱振兴, 包婉玉, 江林波, 等. 半夏间作玉米对半夏生长及药材质量的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2020, 39(5): 85.
- [22] NOUSHABI H A, ZHU Z, KHAN A H, et al. Rhizosphere microbial diversity in rhizosphere of *Pinellia ternata* intercropped with maize[J]. *3 Biotech*, 2021, 11(11): 469.
- [23] 杨孔涛, 向海英. “千斤粮万元钱”稳粮增效模式的探讨:玉米-大蒜/半夏种植模式[J]. *农业开发与装备*, 2018(10): 49.
- [24] 杨银华, 张春辉, 林小玉, 等. 内江市东兴区天冬种植气候适宜性区划研究[J]. *现代农业科技*, 2023(13): 164.
- [25] 张明生, 杨永华, 杜建厂, 等. 从天冬-玉米的示范种植探讨“粮-药间套”增益模式[J]. *种子*, 2004(10): 10.
- [26] PENG Z, ZHANG Y, YAN B, et al. Diverse intercropping patterns enhance the productivity and volatile oil yield of *Atractylodes lancea* (Thunb.) DC[J]. *Front Plant Sci*, 2021, 12: 663730.
- [27] 郭建陈, 邱黛玉, 缪志伟, 等. 间作大蒜对连作党参自毒物质降解及产量质量的影响[J]. *时珍国医国药*, 2023, 34(7): 1734.
- [28] 黄高鉴, 孙晋鑫, 郭军玲, 等. 间作不同作物对潞党参生长发育及有效成分的影响[J]. *中药材*, 2022, 45(7): 1545.
- [29] ZHANG X, GAO G, WU Z, et al. Responses of soil nutrients and microbial communities to intercropping medicinal plants in moso bamboo plantations in subtropical China [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2020, 27(2): 2301.
- [30] 兰艺鸣, 李佳思, 韩梅, 等. 不同林型对林下参产量质量及土壤微生物的影响[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2022, 28(13): 181.
- [31] WAND X B, LIN M P, LI K, et al. Effects of intercropping teak with *Alpinia katsumadai* Hayata and *Amomum longiligulare* T. L. Wu on rhizosphere soil nutrients and bacterial community diversity, structure, and network [J]. *Front Microbiol*, 2024, 15: 1328772.
- [32] TONG A Z, LIU L J, LIU L H, et al. Comparative analysis of microbial community structure in different times of *Panax ginseng* rhizosphere microbiome and soil properties under larch forest [J]. *BMC Genom Data*, 2023, 24(1): 51.
- [33] 何耀锋. 宁夏隆德县林下药材发展初探[J]. *北京农业*, 2015(34): 72.
- [34] 尹江, 罗薇羽, 王飞, 等. 林下不同郁闭度对中草药地下药用部分生长量及产量的影响[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(31): 139.
- [35] 贺安娜, 郭圣军, 刘湘韩, 等. 林下栽培多花黄精的形态及光合特性比较[J]. *湖南生态科学学报*, 2021, 8(4): 8.
- [36] 薛诒安. 黄精林下仿野生环境栽培技术及其必要性探讨[J]. *安徽农学通报*, 2020, 26(11): 42.
- [37] 王修敏. 霍山石斛林下种植产业发展现状及对策[J]. *中国林业产业*, 2023(5): 84.
- [38] YANG K, WANG H, LUO L, et al. Effects of different soil moisture on the growth, quality, and root rot disease of organic *Panax notoginseng* cultivated under pine forests [J]. *J Environ Manage*, 2023, 329: 117069.
- [39] 杨春鹏. 冀北山区果药间作技术[J]. *果树实用技术与信息*, 2021(10): 23.
- [40] ZHAO M N, SUN Y S, DONG M L, et al. Hexose/pentose ratio in rhizosphere exudates-mediated soil eutrophic/oligotrophic bacteria regulates the growth pattern of host plant in young apple-aromatic plant intercropping systems [J]. *Front Microbiol*, 2024, 15: 1364355.
- [41] 何春霞, 陈平, 张劲松, 等. 太行山南麓核桃-菘蓝/决明复合系统种间水分关系[J]. *林业科学研究*, 2021, 34(4): 22.
- [42] ZHANG Y, HAN M, SONG M, et al. Intercropping with aromatic plants increased the soil organic matter content and changed the microbial community in a pear orchard [J]. *Front Microbiol*, 2021, 12: 616932.
- [43] 陈淑芳. 山杏与秦艽间作技术[J]. *甘肃林业*, 2015(2): 37.
- [44] PRIETO I, ARMAS C, PUGNAIRE F I. Water release through plant roots: new insights into its consequences at the plant and ecosystem level [J]. *New Phytologist*, 2012, 193(4): 830.
- [45] 麻文婕, 蔡景竹, 王洪博. 干旱地区知母不同栽培模式及优产技术筛选[J]. *贵州农业科学*, 2022, 50(4): 119.
- [46] 洪百中, 曾日秋. 果、药、网“多元一体”立体农业模式研究[J]. *福建热作科技*, 2022, 47(3): 58.
- [47] 曾日秋, 蔡建兴, 洪百中. 荔枝果园混交中草药种植模式分析:以福建长泰金仑家庭农场示范点为例[J]. *东南园艺*, 2021, 9(4): 74.
- [48] ZEESHAN UL HAQ M, YU J, YAO G, et al. A systematic review on the continuous cropping obstacles and control strategies in medicinal plants [J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(15): 12470.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] 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.
- [52] 张国燕, 陈志, 尚军. 药材川贝母种源探讨[J]. *亚太传统医药*, 2016, 12(21): 34.
- [53] 罗孝贵, 丰先红, 李健, 等. 川贝母、藁本间作立体种植技术[J]. *南方农业*, 2016, 10(30): 45.
- [54] 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.
- [55] 王福, 陈士林, 刘友平, 等. 我国中药材种植产业进展与展望[J]. *中国现代中药*, 2023, 25(6): 1163.
- [56] 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.
- [57] 刘伟, 周冰谦, 王晓, 等. 高效生态间作模式对丹参生长及有效成分含量的影响[J]. 中药材, 2018, 41(5): 1027.
- [58] 韩昭侠, 徐静, 谢晓霞. 花椒林下套种中药材栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2020(9): 268.
- [59] HAUGGAARD-NIELSEN N, JENSEN E S. Facilitative root interactions in intercrops[J]. Plant Soil, 2005, 274(12): 237.
- [60] ISBELL F, COWLES J, DEE L E, et al. Quantifying effects of biodiversity on ecosystem functioning across times and places[J]. Ecol Lett, 2018, 21(6): 763.
- [61] 王齐瑞, 樊巍, 谭晓风. 杏-紫花苜蓿生草栽培系统根系分布及生长动态[J]. 林业科学, 2008(8): 141.
- [62] LIU T, WANG X, SHEN L, et al. Apricot can improve root system characteristics and yield by intercropping with alfalfa in semiarid areas[J]. Plant Soil, 2023, doi:10.1007/s11104-023-05919-6.
- [63] WEISANY W, RAEI Y, SALMASI S Z, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi induced changes in rhizosphere, essential oil and mineral nutrients uptake in dill/common bean intercropping system[J]. Ann Appl Biol, 2016, 169(3): 384.
- [64] AMANI MACHIANI M, JAVANMARD A, MORSHEDLOO M R, et al. *Funneliformis mosseae* inoculation under water deficit stress improves the yield and phytochemical characteristics of thyme in intercropping with soybean[J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 15279.
- [65] ZHANG L, VAN DER WERF W, BASTIAANS L, et al. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton[J]. Field Crops Res, 2007, 107(1): 29.
- [66] LIN S, MENG W, NAN Z, et al. Canopy microenvironment change of peanut intercropped with maize and its correlation with pod yield[J]. Chin J Eco-Agric, 2020, 28(1): 31.
- [67] 曹安邦, 陵军成. 祁连山圆筒间作中药材的互作效应研究[J]. 林业科技通讯, 2018(11): 81.
- [68] YAO X, LIAO L, HUANG Y, et al. The physiological and molecular mechanisms of N transfer in *Eucalyptus* and *Dalbergia odorifera* intercropping systems using root proteomics[J]. BMC Plant Biol, 2021, 21: 201.
- [69] YAO X, LAN Y, LIAO L, et al. Effects of nitrogen supply rate on photosynthesis, nitrogen uptake and growth of seedlings in a *Eucalyptus/Dalbergia odorifera* intercropping system[J]. Plant Biol (Stuttg), 2022, 24(1): 192.
- [70] 杨航, 赵雅姣, 刘晓静. 紫花苜蓿/燕麦间作的光合特征及其对产量的调控效应[J]. 草地学报, 2023, 31(1): 187.
- [71] VAN DAM N M, WITJES L, SVATOŠ A. Interactions between aboveground and belowground induction of glucosinolates in two wild Brassica species[J]. New Phytol, 2004, 161(3): 801.
- [72] BOUDREAU M A. Diseases in intercropping systems[J]. Annu Rev Phytopathol, 2013, 51: 499.
- [73] BROOKER R W, BENNETT A E, CONG W F, et al. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology[J]. New Phytol, 2015, 206(1): 107.
- [74] CHI B J, ZHANG D M, DONG H Z. Control of cotton pests and diseases by intercropping: a review[J]. J Integr Agric, 2021, 20(12): 3089.
- [75] RAMALHO F S, MALAQUIAS J B, DOS SANTOS BRITO B D, et al. Assessment of the attack of *Hyadaphis foeniculi* (passerini) (hemiptera; aphididae) on biomass, seed and oil in fennel intercropped with cotton with colored fibers[J]. Ind Crops Prod, 2015, 77: 511.
- [76] 李磊. 不同连作年限及间作处理对地黄的生理生态效应研究[D]. 郑州:河南农业大学, 2018.
- [77] LI X G, YANG Z, ZHANG Y N, et al. *Atractylodes lancea* volatiles induce physiological responses in neighboring peanut plant during intercropping[J]. Plant Soil, 2020, 453(1/2): 409.
- [78] DING X, YANG M, HUANG H, et al. Priming maize resistance by its neighbors: activating 1,4-benzoxazine-3-ones synthesis and defense gene expression to alleviate leaf disease[J]. Front Plant Sci, 2015, 6: 830.
- [79] CHENG F, ALI M, LIU C, et al. Garlic allelochemical diallyl disulfide alleviates autotoxicity in the root exudates caused by long-term continuous cropping of tomato[J]. J Agric Food Chem, 2020, 68(42): 11684.
- [80] 吕柏辰, 孙海, 钱佳奇, 等. 药用植物根系分泌物与根际微生物相互作用及其在中药材生态种植中的应用[J]. 中国中药杂志, 2024, 49(8): 2128.
- [81] YANG M, ZHANG Y, QI L, et al. Plant-plant-microbe mechanisms involved in soil-borne disease suppression on a maize and pepper intercropping system[J]. PLoS ONE, 2014, 9(12): e115052.
- [82] 张亚玉, 梁浩. 限制耕地“非粮化”背景下人参种植业的发展出路[J/OL]. 吉林农业大学学报 [2024-03-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1100.s.20221219.1852.001.html>.
- [83] 曹建民, 冷明珠, 曹芸, 等. 山地杭白芍间作白术栽培技术模式[J]. 中国农技推广, 2021, 37(4): 56.
- [84] 张东艳. 药烟轮间作对土壤微生物及烤烟产质量的影响[D]. 重庆:西南大学, 2018.
- [85] 高国珠. 北京怀柔区板栗间作模式与效应研究[D]. 北京:北京林业大学, 2010.
- [86] 王浩, 秦义杰, 史玉宝, 等. 黄芩-果树间作的生态种植技术探究[J]. 中国现代中药, 2021, 23(7): 1245.
- [87] 王鹏, 祝丽香, 陈香香, 等. 桔梗与大葱间作对土壤养分、微生物区系和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(3): 668.
- [88] 王田涛. 间套种植对当归连作障碍的修复机理[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2013.
- [89] 袁媛, 孟磊, 庞玉新, 等. 3种南药-橡胶立体复合种植模式对胶林土壤理化性质的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(30): 91.
- [90] 徐杰, 李明晓, 苏景, 等. 阳春砂-龙眼生态立体种植模式的研究[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(2): 288.
- [91] 赵宏友, 王延谦, 王艳芳, 等. 四大南药之一阳春砂栽培研究进展[J]. 世界中医药, 2022, 17(8): 1163.
- [92] 张皓, 何腾兵, 林昌虎, 等. 赫章核桃与半夏间作土壤养分分析[J]. 北方园艺, 2015(1): 172.

[责任编辑 吕冬梅]