

· 综述 ·

我国药用植物轮作模式研究进展[△]

钟宛凌, 张子龙*

北京中医药大学 中药学院, 北京 102488

[摘要] 作为一种用地养地相结合的种植模式, 轮作能有效减轻病虫害、经济有效地提高植物产量。在药用植物栽培中, 轮作应用广泛而普遍, 但缺乏系统的梳理总结和深入研究。本文从轮作模式、轮作效应、轮作机理、高效轮作模式构建这几个方面综述了轮作在我国药用植物栽培中的应用及相关进展, 并据此提出展望, 以期对药用植物轮作进一步的深化研究提供参考依据。

[关键词] 药用植物; 轮作; 连作; 种植模式

[中图分类号] Q949.9; S567 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2019)05-0677-07

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20180823003

Research Progress of Medicinal Plant Rotation Model in China

ZHONG Wan-ling, ZHANG Zi-long*

College of Chinese Medicine, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 102488, China

[Abstract] As a biological measure combining land use and protect, crop rotation can effectively alleviate the pests, weeds or disease, and effectively improve the plant yield. In the cultivation of medicinal plants, crop rotation is widely used, but lacks systematic summary and in-depth study lack. This paper reviews the application and related progress of crop rotation in Chinese medicinal plant cultivation from several aspects, such as crop rotation pattern, crop rotation effect, crop rotation mechanism and efficient crop rotation pattern construction. And it is expected to provide reference for further research on medicinal plant rotation.

[Keywords] medicinal plants; crop rotation; continuous cropping; planting patterns

轮作是在同一田地上有顺序地轮换种植不同植物的种植方式。连作则相反, 是在同一田地上连年种植相同的作物。目前栽培的药用植物中, 根类药材约占 70%, 绝大多数“忌”连作, 连作会使植株生长不良, 药材的产量和品质均大幅度下降^[1]。轮作是生产上用于减少病虫害、恢复地力, 减轻药用植物连作障碍的重要措施^[2]。目前, 轮作在药用植物栽培中广泛应用。如对黄芪、地黄、薄荷、西洋参、白术、细辛等实施合理轮作可有效减少田间病害, 明显提高产量^[3]。近年来, 我国研究者围绕药用植物轮作效应、轮作机制、轮作模式构建等方面开展了大量研究工作, 笔者现将该领域的相关进展概述如下, 以期为进一步深入研究奠定基础。

1 常见药用植物轮作模式

我国药用植物轮作模式种类多样。根据轮作植物类型可分为药用植物与农作物轮作(简称药-农轮作)及药用植物与药用植物轮作(简称药-药轮作), 常见的药用植物轮作模式见表 1。研究表明, 水旱轮作模式的应用较为普遍, 在保障作物安全、增加产量等方面具有重要意义^[4]。

2 药用植物轮作的效应

2.1 减轻病虫害发生

2.1.1 减轻田间病害 研究表明, 甘草叶斑病平均病情指数在连作两年的地块内高达 96.1, 轮作一年后降至 75.4, 轮作两年后低至 57.3。若种植区选在

[△] **[基金项目]** 国家自然科学基金资助项目(81102751); 中央高校基本科研业务费专项项目(2016-JYB-JSMS-011)

* **[通信作者]** 张子龙, 副研究员, 研究方向: 中药资源与生态; E-mail: zhangzilong76@163.com

表1 我国常见药用植物轮作模式

轮作类型	主要特点	轮作模式	分布地区	文献
药-农轮作	多与禾本科农作物轮作 作物总产量大 机械化程度高 以种植农作物为主	太子参-玉米	福建省柘荣县	[1]
		玉米-白术	浙江省磐安县	[5]
		黄芪-玉米	甘肃省定西地区	[6]
		红花-玉米	云南省保山市隆阳区	[7]
		太子参-水稻	福建省柘荣县	[8]
		番红花-水稻	浙江省丽水市	[9]
		黄连-水稻	湖北省恩施利川市	[10]
		水稻-泽泻	四川省彭山县、乐山市、彭州市等	[11]
		桔梗-水稻	安徽省太和县	[1]
		菊花-小麦	安徽省滁州市	[12]
		甘草-小麦	新疆维吾尔自治区塔城地区	[13]
		甘草-葵花	新疆维吾尔自治区塔城地区	[13]
		棉花-甘草	新疆维吾尔自治区塔城地区	[13]
		黄芪-小麦	甘肃省定西地区	[6]
		当归-马铃薯	甘肃省岷县	[14]
		黄芪-马铃薯	内蒙古包头市固阳县	[15]
		莲子-川芎→水稻	长江中下游地区	[1]
药-药轮作	多为不同科植物之间轮作 每茬均为药材,经济效益好 休耕时间较长 环境要求高,地域限制大	白术-紫云英	长江流域	[1]
		细辛-人参	辽宁省桓仁县	[16]
		西洋参-紫苏	北京市	[17]
		西洋参-薏苡仁	北京市	[17]
		莲子-泽泻	福建省建瓯市	[1]
		地黄-黄芪	河南省焦作市	[18]
		地黄-商陆	河南省焦作市	[18]
		怀牛膝-薄荷	河南省焦作市	[18]
		大黄-玄参(厚朴林下)	湖北省恩施州	[19]
		川牛膝-黄连	四川省乐山市峨眉山市	[20]
		大蒜-当归	甘肃省渭源县	[21]

高燥地,并进行轮作倒茬,甘草叶斑病的发生率更低^[22-23]。对白术的研究表明,若与玉米、高粱、水稻等禾本科作物实行3年以上轮作(尤其是水旱轮作)可有效减轻和控制白术根腐病、白绢病的危害^[24-26]。此外,与禾谷类作物轮作或水旱轮作3~5年可防治黄芪红根病、根腐病、白绢病;与禾本科或豆种作物轮作,有助于防治元胡霜霉病^[27]。由此可见,实施合理的轮作,可在很大程度上有效减轻甚至消灭药用植物田间病害。

2.1.2 有效控制田间害虫 害虫对寄主有选择性,若轮作年限长,专食性或寡食性害虫通常很难大量滋生危害。因此,抗虫作物与感虫作物定期轮作能改变其食物链构成和生态环境,可减轻甚至消灭虫害。研究表明,细辛及续随子等有驱虫作用,若把它们作为易遭虫害药用植物的前作,可减少甚至避免虫害发生^[1]。因此,与非寄主植物轮作使害虫无法找到寄主

饥饿而死,从而有效控制药用植物田间害虫^[28]。

2.1.3 可减少田间杂草 连作常使田间单一杂草增多,导致作物生长受限,而合理轮作可兼顾杂草控制和杂草生物多样性保护之间的平衡,实现农田生态效益和经济效益的有机统一^[29]。寄生性杂草可通过轮作有效消灭,种子杂草可通过轮作得到控制,水旱轮作则易防除各类杂草^[30]。国外学者们也相继证实了这一观点^[31-32]。白术、桔梗等常遭受菟丝子侵害,使植株生长衰弱,颜色变黄,与禾本科作物轮作则能消灭菟丝子的危害^[33]。因此,在药用植物栽培过程中,可采用合理轮作对田间杂草进行控制。

2.2 提高中药材产量和品质

国内外长期试验表明:与连作相比,在不增加投入情况下,合理轮作可有效提高产量和品质^[34]。同一地块上不同药用植物倒茬,可使药材增产。如以地黄作前茬的黄芪,其产量比黄芪重茬的产量高

50%^[18]。杨建忠等^[35]试验表明随轮作年限的延长,三七产量和质量呈上升趋势,且轮作5年以上更优。此外,厚朴林下轮作玄参、大黄的种植模式有利于厚朴的生长,提高厚朴皮的产量^[19]。当归栽培中合理轮作倒茬也可提高当归产量和药理作用^[36]。田间调查表明,与小麦、玉米等轮作的黄芪比连作的黄芪增产30%~50%,且颜色均匀无黑斑,外表光滑,根粗条顺、长^[15]。由此可知,轮作模式的合理应用不失为保证药材产量和品质的良好措施之一。

2.3 有效克服连作障碍

药用植物连作障碍普遍存在,尤以根或根茎类药材更为严重。造成连作障碍的原因目前主要归结为:土壤理化性质恶化、土壤土传病害和自毒作用等^[1]。现代研究表明,轮作(尤其是水旱轮作)是克服连作障碍的有效措施。如朱波等^[9]证实番红花-水稻轮作能有效缓解番红花的连作障碍,并可提高土地资源利用率。张子龙等^[37]通过试验发现轮作可改善三七连作土壤的微生物区系结构及理化性状,利于三七连作障碍的消减。此外,太子参也可通过水旱轮作使连作障碍得到较好缓解^[38]。

2.4 充分利用农业资源

人类的耕作活动使土壤生态环境遭到很大破坏,许多物种濒临灭绝。而轮作有助于保护土壤生态环境和物种多样性,且有机质增加、土壤肥力得到提高,能减少化肥和农药施用量并使作物产量得到提高^[39]。此外,轮作中合理搭配前后作植物,紧密衔接茬口,既能充分利用各种资源,又能错开农忙季节,做到不误农时、精耕细作^[1]。

3 轮作的作用机制

3.1 改善土壤理化性质

轮作能在不同程度上改善土壤理化性质。如细辛地轮作人参后,土壤疏松不板结,肥力明显提高^[16]。豆科植物可促进固氮菌固氮^[40],也能给土壤留下更多富含氮素的有机残体,增强土壤生物学活性。另外,轮作也可提高土壤过氧化氢酶和土壤脱氢酶的活性,进而促进轮作作物生长^[28]。研究表明,种植黄连后改种水稻的土壤pH值明显上升,收获黄连当年pH为3.95,种植水稻3年间,pH分别为4.69、4.51、5.00。土壤全氮、碱解氮及速效钾含量均随水稻种植年限增加而增加,与第1年相比,种植3年水稻的土壤碱解氮增加了27.6 mg·kg⁻¹,

速效钾增加了59.9 mg·kg⁻¹,全磷则降低11%,差异显著。土壤主要养分呈现相对高氮、高钾、低磷的状态,为黄连种植提供了较好环境^[10]。

此外,水旱轮作模式对改善土壤理化性状,提高土壤肥力有特殊意义。其机理为改善土壤通气透水条件,消除土壤中有害物质(Mn²⁺、Fe²⁺、H₂S及盐分等),调整矿物元素活性状态,调节土壤pH值等^[41]。

3.2 减轻植物化感自毒作用

近年来,我国在实施作物轮作,减轻化感作用方面,进行了深入研究并取得重要进展^[42]。根系分泌是大部分植物产生化感自毒作用的重要途径^[43],而轮作可有效降低其危害^[1]。研究表明,轮作可适当减轻菊花分泌物自毒作用所导致的连作障碍^[12]。人参-细辛轮作系统中,细辛根系的辛辣分泌物对老参地中的人参残体分泌物及有害微生物有拮抗、减少及杀灭作用,而对人参有益微生物活性有加强作用,从而有助于减轻人参根系分泌物的自毒作用^[16]。此外,水旱轮作可通过直接减少甚至清除某些易溶于水的根系分泌物,或通过水季嫌氧分解和旱季矿化等方式来快速分解有机质从而减轻药用植物自毒作用^[41]。

3.3 调节土壤微生物区系

3.3.1 减少病原菌数量并增加拮抗菌数量 通过合理轮作,可使前茬遗留的病原菌丧失寄主,数量显著减少,从而抑制病害^[44]。德国科学家研究发现,合理轮作有益于抑制壳针孢属病原菌对洋甘菊的危害^[45]。叶文斌等^[14]研究显示,当归和马铃薯轮作可有效减少土壤中引起当归连作障碍的尖孢镰刀菌的数量。此外,轮作还可促进土壤中对病原菌有拮抗作用微生物的活动,从而抑制病原菌滋生^[46]。因此,通过抗病药材与易感病药材进行合理轮作,便可减少病原菌在土壤中的积累^[3]。

3.3.2 改善微生物群落结构 土壤微生物群落结构对植物生长发育具有重要影响,而许多微生物的数量与土壤中植物根际分泌物的量呈正相关^[43]。研究表明,轮作可改善土壤微生物的群落结构,作用机制如下:

1)增加有益微生物群的活性,重新建立土壤生态系统平衡^[47]。轮作可提高甘草土壤中真菌、放线菌等有益微生物的数量,增加土壤N的质量分数、使腐殖质形成增多,从而利于甘草生长^[13];轮作3年可使黄连土壤中细菌、放线菌的数量分别增加0.5倍、9.6倍,真菌数量下降约7%,从而提高产量^[10];丹参与油菜、小麦轮作可使细菌和放线菌的

数量增加,轮作4年后细菌数量增加近1倍,放线菌数量增加2倍多,而真菌数量则下降30%,既减少病害发生,又缩短土壤恢复年限^[48]。对人参的研究表明,细辛根系分泌物能降低土壤中的人参根病菌,并促进有益微生物增殖;有益微生物的数量增加和活性增强又会抑制某些致病菌的滋生。因此,老参地轮作6年细辛后,土壤中人参根病菌减少至新林地的水平甚至更低,大大提高了土地利用效率^[16]。

2)提高微生物群落结构和功能的多样性,改善土壤生态环境。轮作植物根系残体的不同使微生物群落产生差异,有利于维持土壤微生物多样性,从而抑制连作系统下有害微生物的繁殖,使后茬作物产量提高^[28]。对太子参的研究发现,轮作可提高太子参土壤中微生物群落结构和功能的多样性,减少自毒物质的积累,从而克服太子参连作障碍,使太子参的产量和品质得以提高^[49]。

4 高效轮作模式构建

4.1 轮作植物筛选

4.1.1 轮作植物筛选一般原则 轮作植物筛选应从前后茬植物的亲缘关系、收获部位、病害发生特点及对养分需求的差异互补性等方面考虑^[50]。通常需符合以下原则:1)同科属植物不能轮作。如玄参和地黄不可轮作;黄芪应避免与豆科作物轮作。2)根类药用植物,以谷类作物作其前茬比较适宜。如山药以根茎入药,需较多磷钾肥,可通过谷类作物作前茬提供。从酚酸类物质影响角度来看,禾本科作物玉米、小麦等可以作为三七的轮作植物^[51]。3)叶类和全草类药用植物,以豆科作物或蔬菜作前茬较好。如莴苣、薄荷等生长需充足的氮肥,可以具有固氮作用的豆科植物为前茬。4)以种子繁殖的药用植物,要求播种在无草、水分充足的田地上。因此,最好安排在中耕作物或成熟期早的作物之后,以便有充足时间进行土壤耕作,消灭杂草和积蓄水分。5)有相同病虫害的植物之间不宜轮作,以避免病虫害的大量发生。如地黄和花生、珊瑚菜因均有枯萎病和根线虫病,不宜彼此轮作^[52]。

4.1.2 基于双向化感作用的筛选原则 化感作用是指植物通过淋溶、挥发、残体分解和根系分泌等途径向环境中释放化学物质,从而对自身或周围其它植物(包括微生物)生长发育间接产生有利或有害作用的化学生态学现象^[53]。轮作模式“A→B→A”系

统中,A植物(前茬)可能对B植物(后茬)产生化感抑制作用(A→B),同样B植物(前茬)也可能对A植物(后茬)产生化感促进作用(B→A)。轮作是充分利用化感促进作用,减少化感抑制作用的一项生态农业技术^[39]。因此,筛选轮作植物时,应考察A、B植物互为供体和受体,即彼此之间的“双向”化感作用。具体而言,应筛选与药用植物无明显相克作用的植物作为其轮作植物,构建合理的“药用植物→轮作植物→药用植物”轮作体系。该方法正视了目前轮作研究中常忽略的A、B间“双向”化感作用,可提高轮作植物筛选的准确性及筛选效率。目前,该方法已在三七轮作植物筛选中得到初步应用,表现出良好的应用前景^[54-55]。

4.1.3 其他筛选原则 可根据根际微生物群落结构的变化并结合药材的质量、产量,确定适宜的轮作植物。如玉米不宜与药用植物灯盏花轮作种植^[50];西洋参宜与紫苏轮作,且在轮作时用紫苏子作西洋参的肥料效果更佳^[17]。大蒜与瓜类药材轮作,可有效减轻瓜类药材的枯萎病^[3]。同时还需注意,应挖掘豆科植物与禾本科植物轮作的潜在价值,以提高地力,保持生物多样性,控制病虫害,增加产量,降低生态成本^[40]。

4.2 轮作模式的确定

轮作模式因地理位置、季节、植物的生长习性、市场需求等不同而存在差异。在筛选确定轮作植物的基础上,各区域需因地制宜,择优选择茬口类型,科学判定轮作周期,以确定优质高效的药用植物种植模式。例如百合连作易患立枯病致低产,旱地种植以3~4年轮作1次为宜,水旱轮作宜2年1次^[56]。同一地块,黄芪需和农作物轮作5年以上才可再重复种植^[15]。对三七轮作的研究也表明,三七轮作年限至少5年才能保证三七总皂苷含量达标^[57];且三七前茬旱季应多种植豆类植物和(或)绿肥(紫云英、苜蓿)以增加土壤肥力,在水季基肥中应多施有机肥+秸秆或绿肥,以保证种植三七时土壤已有足够肥力^[41]。

4.3 轮作模式评价

对所确定的药用植物轮作模式进行合理评价,是筛选高效轮作模式并进行示范推广的前提和基础。为了获得全面准确的评价结果,建立多方位、多层次、多指标的轮作模式综合评价体系十分必要^[58]。生产实践中可以从生态效益、社会效益和经济效益三个方面对药用植物轮作模式的综合效益进行评价,具体的评价指标及其内涵如表2所示。

表 2 药用植物轮作模式综合评价指标

评价项目	评价指标	指标内涵	来源文献
生态效益	土壤肥力 (IFI)	$IFI = \sum (W_i \times N_i)$ (W_i 为各肥力指标权重系数, N_i 为隶属度值)	[59]
	化肥施用强度/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	化肥施用总量/农作物播种面积	[60]
	光能利用率/%	单位面积上作物固定的太阳能/全年单位面积辐射的太阳总能量 $\times 100\%$	[61]
	农药使用强度/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	农药使用总量/农作物播种面积	[62]
社会效益	药材品质	包括药材外观品质及内在品质	
	商品量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	农产品出售量/农作物播种面积	[61]
	商品率/%	商品量/总产量	[61]
	用工量/ $\text{d} \cdot \text{hm}^{-2}$	劳动用工量/农作物播种面积	[61]
	劳动生产率/ $\text{RMB} \cdot \text{d}^{-1}$	总产值/用工量	[61]
经济效益	产值/ $\text{RMB} \cdot \text{hm}^{-2}$	(农作物产量 $\times$ 农产品单价)/农作物播种面积	[61]
	纯收益/ $\text{RMB} \cdot \text{hm}^{-2}$	产值 - 成本投入	[61]
	产量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	农作物产量/农作物播种面积	[61]
	产投比/%	产值/成本投入	[61]

注: IFI 取值为 0~1, 值越高, 表明土壤肥力越强, 肥力指标包括理化性质、养分含量、微生物性质等^[59]。

药用植物轮作模式评价可采用综合指数法(CIM), 具体为: 1) 分别将生态效益、社会效益和经济效益项目下的各指标无量纲化, 并赋予权重; 2) 再将各指标数值与对应权重相乘求和, 得到该项目的评价指标^[61]; 3) 对 3 个项目赋予权重, 计算综合评价指数。根据综合评价指数(CI)大小, 即可对供试药用植物轮作模式进行评价。此外, 还可采用 TOPSIS 法、RSR 法及 AHP 法等多指标综合评价方法对药用植物的轮作模式进行全面系统评价。通过综合评价结果, 可初步筛选出综合效益好的药用植物轮作模式。之后再结合当地自然环境特点, 因地制宜对其进一步优化, 最终建立高效、稳产的药用植物轮作模式。

5 展望

随着我国中医药事业的蓬勃发展, 各类中药商品需求逐年增长, 药用植物的栽培面积也不断增加, 但连作障碍却制约着中药材生产。轮作是用地与养地相结合的农业措施, 也是缓解连作障碍最为有效且容易实施的方法, 近年来受到了广泛关注。2016 年, 国家颁布《探索实行耕地轮作休耕制度试点方案》, 开展了连续 3 年的轮休耕试点工作, 力度逐年加大, 旨在使轮作休耕制度化、常态化^[63]。但由于自然环境差异大、政策提出时间短、国情特殊等原因, 目前我国药用植物轮作研究进展缓慢, 存

在缺乏理论指导, 执行力度不够, 实践成果少等诸多问题^[39]。为此, 探索高效轮作模式构建的原理和方法, 合理构建药用植物轮作模式, 深入研究轮作机理, 推广药用植物轮作技术显得尤为必要。相信随着现代科技手段的不断发展, 药用植物轮作研究的若干领域必将取得重要突破, 药用植物轮作模式及轮作技术的合理应用将会大大促进我国中药材产业可持续发展, 为中医药事业发展奠定坚实基础。

参考文献

[1] 郭巧生. 药用植物栽培学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009:59,61-63.

[2] 张子龙,王文全. 药用植物连作障碍的形成机理及其防治[J]. 中国农业科技导报,2009,11(6):19-23.

[3] 孙跃春,陈景堂,郭兰萍,等. 轮作用于药用植物土传病害防治的研究进展[J]. 中国现代中药,2012,14(10):37-41.

[4] 石子建,李建辉. 水旱轮作体系养分管理研究进展[J]. 浙江农业科学,2015,56(11):1819-1821,1824.

[5] 徐建中,孙乙铭,王志安,等. 白术—玉米轮作对白术植株生长及产量影响研究[J]. 中国现代中药,2012,14(2):40-42.

[6] 赵庆芳,周紫鹃,王树红,等. 7 种植物对黄芩根腐病原菌的抑制作用研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版),2009,45(5):92-95.

[7] 曾林,陆顺生,吴桂仙,等. 红花间作菜豌豆与玉米轮作一年三熟高效栽培方法[J]. 特种经济动植物,2012,15(10):42.

- [8] 杨艳. 太子参与水稻轮作栽培技术[J]. 现代农村科技, 2017(4):15.
- [9] 朱波, 华金渭, 施林妹, 等. 番红花-水稻水旱轮作高效生产技术[J]. 中国现代中药, 2016, 18(5):600-603.
- [10] 李鑫鑫, 王学奎, 王沫, 等. 稻连轮作区水稻土壤养分与微生物数量分析[C]//中国自然资源学会天然药物资源专业委员会, 全国第9届天然药物资源学术研讨会论文集. 广州:[出版者不详], 2010:383-385.
- [11] 陈铁柱, 林娟, 张美, 等. 泽泻生态种植现状分析及建议[J]. 中国现代中药, 2018, 20(10):1207-1211.
- [12] 赵宝泉, 王茂文, 丁海荣, 等. 药用菊花连作障碍及其缓解措施研究进展[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(9):150-152.
- [13] 祖勒胡玛尔·乌斯满江, 朱军, 李晓瑾, 等. 甘草不同种植模式与土壤微生物生态关联性的研究[J]. 中国现代中药, 2016, 18(11):1474-1478.
- [14] 叶文斌, 樊亮. 当归轮作和连作根际土壤中致病菌变化研究[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(18):4364-4367, 4392.
- [15] 张春红, 徐建平, 王杰, 等. 内蒙古道地药材黄芪生态种植模式调查整理[J]. 中国现代中药, 2018, 20(10):1212-1216, 1224.
- [16] 谭军. 农田细辛-人参轮作栽培[J]. 吉林农业, 2004(6):25.
- [17] 赵杨景, 王玉萍, 杨峻山, 等. 西洋参与紫苏、薏苡轮作效应的研究[J]. 中国中药杂志, 2005, 30(1):13-16.
- [18] 文三盈. 中药材的合理轮作倒茬试验[J]. 中药材科技, 1982(6):4.
- [19] 林孝培, 侯义梅, 谭勋桃, 等. 厚朴林下轮作玄参、大黄种植技术研究[J]. 湖北林业科技, 2012(4):14-17.
- [20] 赵磊. 川牛膝与黄连轮作规范化种植规程(SOP)和川牛膝多糖提取分离技术研究[D]. 成都:成都中医药大学, 2009.
- [21] 李林强, 邱黛玉, 贾雪. 连作轮作模式下当归大蒜间作对当归质量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(3):53-58.
- [22] 阎合. 甘草链格孢叶斑病研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2009.
- [23] 阎合, 徐秉良, 梁巧兰, 等. 甘草叶斑病的发生与病原菌鉴定[J]. 植物保护, 2009, 35(3):111-114.
- [24] 潘建平, 杜一新. 白术主要病虫害综合治理技术[J]. 农技服务, 2011, 28(2):233-234.
- [25] 朱才熙. 白术的播种育苗[N]. 农民日报, 2002-4-24(6).
- [26] 王德民. 中药材病虫害综合防治[J]. 北京农业, 2009(1):17-18.
- [27] 尹平孙. 元胡高产栽培把五关[J]. 农村实用技术, 2006(9):34.
- [28] 李文娇, 杨殿林, 赵建宁, 等. 长期连作和轮作对农田土壤生物学特性的影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(3):173-178.
- [29] 程传鹏, 潘俊峰, 万开元, 等. 轮作对农田杂草的影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2013, 29(30):1-9.
- [30] MAROLD R. Experiences and challenges of organic cultivation of medicinal and spice plants[J]. Z Arznei-gewurzpfla, 2011, 16(3):138-140.
- [31] DAMALAS C A. Distribution, biology, and agricultural importance of *Galinsoga parviflora* (Asteraceae) [J], Weed Biol Mang, 2008, 8(3):147-153.
- [32] DITOMMASO A, CLEMENTS D R, DARBYSHIRE S J, et al. The Biology of Canadian Weeds. 143. *Apocynum cannabinum* L. [J]. Can J Plant Sci, 2009, 89(5):977-992.
- [33] 魏新雨. 药材田间菟丝子的防治[J]. 农村百事通, 2012(24):40.
- [34] MURALIDHARAN P, SAHOO D C, MADHU M, et al. Low-cost bench terracing and productive riser utilization in the Nilgiris[J]. India J Agr Sci, 2008, 78(10):827-829.
- [35] 杨建忠, 孙玉琴, 韦美丽, 等. 不同轮作年限土壤对三七生长的影响[J]. 现代中药研究与实践, 2012, 26(2):6-8.
- [36] 王慧珍, 张新慧, 李应东, 等. 轮作与连作当归光合特性和挥发油的比较[J]. 草业学报, 2011, 20(1):69-74.
- [37] 张子龙, 李凯明, 杨建忠, 等. 轮作对三七连作障碍的消减效应研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(8):39-46.
- [38] 李博, 何腾兵, 林昌虎, 等. 不同种植方式孩儿参根区与非根区土壤养分特性研究[J]. 中药材, 2013, 36(11):1726-1730.
- [39] 钱晨晨, 黄国勤, 赵其国. 中国轮作休耕制度的应用进展[J]. 农学学报, 2017, 7(3):37-41.
- [40] 曾昭海. 豆科作物与禾本科作物轮作研究进展及前景[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(1):57-61.
- [41] 郭宏波, 张跃进, 梁宗锁, 等. 水旱轮作减轻三七连作障碍的潜势分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2017, 32(1):161-169.
- [42] 王建花, 陈婷, 林文雄. 植物化感作用类型及其在农业中的应用[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(10):1173-1183.
- [43] 史刚荣. 植物根系分泌物的生态效应[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1):97-101.
- [44] 檀国印, 杨志玲, 袁志林, 等. 药用植物连作障碍及其防治途径研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(4):197-204.
- [45] GAERBER U, PLESCHER A, HAGEDORN G. Occurrence of diseases and damage when cultivating chamomile (*Matricaria recutita* L.) [J]. Z Arznei-gewurzpfla, 2013, 18(3):124-131.

- [46] 郭兰萍,黄璐琦,蒋有绪,等.药用植物栽培种植中的土壤环境恶化及防治策略[J].中国中药杂志,2006,31(9):714-717.
- [47] LIN S, HUANGPU J J, CHEN T, et al. Analysis of soil microbial community structure and enzyme activities associated with negative effects of *Pseudostellaria heterophylla* consecutive monoculture on yield [J]. Pak J Bot, 2015, 47(2): 761-769.
- [48] 林贵兵,万德光,杨新杰,等.四川中江丹参栽培地轮作期间土壤微生物的变化特点[J].中国中药杂志,2009,34(24):3184-3187.
- [49] LIN S, DAI L Q, CHEN T, et al. Screening and Identification of Harmful and Beneficial Microorganisms Associated with Replanting Disease in Rhizosphere Soil of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Int J Environ Pollut, 2015, 17(3): 458-466.
- [50] 熊勇,李天艳,马金林.药用植物灯盏花与玉米轮作效应的初步研究[J].中国农学通报,2012,28(24):27-30.
- [51] 沈玉聪,张红瑞,姚珊,等.5种酚酸类物质对小麦幼苗的化感作用研究[J].河南农业科学,2016,45(5):101-105.
- [52] 董岩.药用植物病虫害的农业防治方法[J].中国林副特产,1996(1):26-27.
- [53] POULSON-ELLESTAD K L, JONES C M, ROY J, et al. Metabolomics and proteomics reveal impacts of chemically mediated competition on marine plankton[J]. PNAS, 2014, 111(24):9009-9014.
- [54] 王雄飞,刘春生,高鹏,等.三七水提液对几种植物种子萌发和幼苗生长的化感作用[J].中国农学通报,2014,30(4):299-303.
- [55] 张子龙,侯俊玲,王文全,等.三七水浸液对不同玉米品种的化感作用[J].中国中药杂志,2014,39(4):594-600.
- [56] 廖双源.百合无公害高产栽培技术[J].农村百事通,2012(11):25-28.
- [57] 黄天卫,张文斌,孙玉琴,等.不同轮作年限三七总皂苷含量分析[J].现代中药研究与实践,2011,25(3):3-4.
- [58] 杨滨娟,黄国勤,陈洪俊,等.稻田复种轮作模式的生态经济效益综合评价[J].中国生态农业学报,2016,24(1):112-120.
- [59] 张丽琼.长期轮作与施肥对土壤肥力的影响及其综合评价[D].杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [60] 宋知远,孙晓玲,许雅婷,等.江苏省化肥施用强度时空演变及差异分析[J].安徽农业科学,2018,46(18):5-8.
- [61] 卓福昌.四川省主要稻作区水旱轮作模式调查与综合评价[D].雅安:四川农业大学,2015.
- [62] 聂弯,杨滨键.农药使用强度及作物多样性对农作物病虫害发生面积的门槛效应[J].广东农业科学,2018,45(9):157-165.
- [63] 山西农经编辑部.农业部:推进轮作休耕制度化常态化[J].山西农经,2016(16):6.

(收稿日期:2018-08-23 编辑:姚霞)

(上接第667页)

- [11] 曹亚军,陈虹,杨光,等.薯蓣皂苷对亚急性衰老小鼠的抗氧化作用研究[J].中药药理与临床,2008,24(3):19-21.
- [12] 刘伟萍,全国平,陈培波,等.山药水提物对四氯化碳所致小鼠急性肝损伤的改善作用[J].郑州大学学报(医学版),2008,43(5):885-888.
- [13] 罗裕兴,毛淑敏,陈建萍,等.从仲景方中生姜、大枣、甘草的使用看佐药在方剂配合中的作用与意义[J].中国实验方剂学杂志,2006,12(1):65.
- [14] 范桂强,宋更申,张李莉,等.HPLC法同时测定十味玉泉片中4种有效成分[J].中国现代中药,2016,18(12):1657-1660.
- [15] 刘晓秋,付云云,徐佳佳,等.金振口服液质量标准研究[J].中国现代中药,2013,15(11):987-991.
- [16] 赵月然,卢丹.HPLC法同时测定复方甘草片中甘草苷、异甘草苷、甘草素、甘草酸[J].中成药,2014,36(4):867-869.
- [17] 李妍,杨燕去,张振秋,等.HPLC法山坳里测定白芍甘草药对提取物中9种有效成分[J].中成药,2014,36(4):867-869.
- [18] 曾英彤,黄志军,李泽华.HPLC法测定复方甘草片中甘草酸的含量[J].中国药师,2009,12(11):1584-1585.
- [19] 赵亮,曹红.薯蓣丸的质量标准[J].解放军药学报,2010,26(6):513-516.
- [20] 李萍,何筱毅,周佳.HPLC测定穿龙骨刺片中薯蓣皂苷元的含量[J].中国药品标准,2009,10(6):469-471.

(收稿日期:2018-09-04 编辑:王笑辉)