

连作轮作模式下当归大蒜间作对当归质量的影响

李林强¹, 邱黛玉^{1,2,3}, 贾雪¹

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省中药材规范化生产技术创新重点实验室, 甘肃 兰州 730070;

3. 甘肃省药用植物栽培育种工程研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为了解不同种植模式和间作大蒜密度对当归质量的影响, 寻找能有效缓解当归连作障碍、提高当归内在质量的最佳的间作大蒜种植模式, 设置轮作和连作两种种植模式, 轮作和连作分别设置当归与大蒜间作密度 2:1(M2)、3:1(M3)、4:1(M4) 三个处理及单作对照, 并对采收阴干当归根内在质量指标总灰分、酸性不溶性灰分、醇溶性浸出物、挥发油、阿魏酸含量测定分析。结果表明: 不同间作大蒜密度下各指标呈先增后减趋势, 各含量在 M2 处理达到最大值; 不同种植模式下挥发油和阿魏酸含量轮作大于连作, 总灰分和酸性不溶性灰分含量连作大于轮作, 醇溶性浸出物不明显; 不同种植模式和间作大蒜密度下, 挥发油、阿魏酸都在轮作种植模式 M2 处理含量最高, 为 0.56%、0.084%, 分别比单作提高了 0.09%、0.032%; 总灰分含量在轮作种植模式 M4 处理含量最低, 为 4.08%; 酸性不溶性灰分在连作种植模式单作处理含量最低, 为 0.5%; 醇溶性浸出物含量在连作种植模式 M2 处理含量最高, 为 65%; 但均符合药典含量规定。综合考虑, 轮作种植模式 M2 处理下, 当归质量指标最好, 是最佳的间作大蒜种植模式, 可以有效促进当归生长, 提高当归质量, 有效减缓当归连作障碍问题。

关键词: 当归; 大蒜; 间作; 轮作; 连作; 当归质量

中图分类号: S344.2; S567.23⁺9; S633.4 **文献标志码:** A

Effects of continuous cropping and rotation planting patterns on the quality of angelica under intercropping of angelica and garlic

LI Lin-qiang¹, QIU Dai-yu^{1,2,3}, JIA Xue¹

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Gansu Provincial Key Laboratory of Herbal Medicine Standardization Production Technology Innovation, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. Gansu Provincial Research Center of Medicinal Plants Cultivation and Breeding, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The study is to identify the effects of different planting patterns and the density of intercropping angelica and garlic on the quality of angelica, and to look for the optimal garlic intercropping pattern in which the problem caused by continuous cropping of angelica can be effectively alleviated and the intrinsic quality of angelica can be improved. Rotation and continuous cropping patterns were provided with three treatment of intercropping density 2:1(M2), 3:1(M3), 4:1(M4) respectively. The monoculture was the control. Analysis was made on the quality index of total ash, acid insoluble ash, alcohol soluble extract, volatile oil and the content of ferulic acid in the root of angelica dried in the shade. The results showed that each index showed a trend of increase first and decrease then in different density of intercropping, and all the content in M2 reached the maximum value. The volatile oil and ferulic acid content in the rotation was greater than those in the continuous cropping, while total ash and acid insoluble ash content in continuous cropping were greater than those in rotation, and there was no difference in alcohol soluble extract. The content of the volatile oil and ferulic acid reached maximum of 0.56% and 0.084% in M2 in the rotation pattern, 0.09% and 0.032% more than those in monoculture respectively. The content of total ash content reached minimum of 4.08% in M4 in the rotation. The content of acid insoluble ash reached minimum of 0.5% in monoculture in the continuous cropping patterns. The content of ethanol soluble extract reached maximum of 65% in M2 in the continuous cropping pattern, which met the requirements of pharmacopoeia. In conclusion, the rotation pattern with M2 was the optimal one, which produced angelica of the best

收稿日期:2016-03-14

修回日期:2016-11-02

基金项目:国家自然科学基金(31201176)

作者简介:李林强(1991—),男,甘肃定西人,硕士,研究方向为药用植物资源与利用。E-mail:18298377716@139.com。

通信作者:邱黛玉(1978—),女,甘肃民勤人,副教授,主要从事药用植物资源与利用研究。E-mail:gsqdy@163.com。

quality index, effectively promoted the growth of angelica, and alleviated the problem of angelica resulted from continuous cropping.

Keywords: angelica; garlic; intercropping; rotation; continuous cropping; quality of angelica

当归 (*Angelica sinensis* (Oliv.) Diels) 为伞形科植物当归的干燥根^[1], 其根入药, 秋末采挖。味甘、辛, 性温, 归肝、心、脾经。具有补血活血, 润肠通便, 调经止痛的作用^[2]。习称“岷归”、“秦归”、“西归”, 产量和销量一直主导市场需求, 不仅畅销全国, 而且在国际市场上也享有很高声誉^[3]。甘肃岷县是当归的主产区, 近年来通过扩大种植面积和连续连作种植方式来满足当归的市场需求量^[4]。长期的农业实践表明: 我国 40% 的药材供应主要是人工栽培, 而占人工栽培药材 60% 的根类药材连作障碍问题尤为严重^[5]。当归连作导致其根腐病害频发, 生长受到严重影响, 当归根腐病目前还没有适合的农药防治^[6]。药用植物的有效成分就是作用很强的化感物质, 相对于普通作物, 药用植物栽培更易产生化感自毒作用^[7]。当归适合生产区域较小, 连作种植严重, 容易导致麻口病、根腐病等病害的发生与流行, 当归的病害防治和种植模式备受人们关注^[8], 为了提高当归产量和质量, 农业生产上常采用“其他作物-当归”轮作形式规避这一危害^[9], 提高当归的产量和品质。

大蒜是白合科葱属植物蒜 (*Allium sativum* L.) 的鳞茎。它不仅作为膳食的常用佐料, 也是常用的中药之一。对大蒜的化学成分、药理作用等方面研究表明: 大蒜不但具有抗菌、抗肿瘤、抗真菌、免疫应激等效应^[10], 而且具有广谱抗微生物特性^[11]。大蒜是天然的杀菌剂, 对黄瓜、烟草、番茄等多种作物的致病菌均具有有效的抑制作用^[10]; 大蒜根系分泌物是对抗辣椒疫病的一种很有前景的环境友好型的物质, 当辣椒与大蒜间作时, 对辣椒疫病的发生有明显的抑制作用^[12]; 大蒜与甘蓝 1:1 间作, 降低了甘蓝病虫害的发生^[13]。在我国大蒜栽培中, 人们常常将大蒜与扁豆、大麦、甜玉米类高效间套轮作, 形成立体式高产栽培模式^[14]。通过确立大蒜与其他作物之间存在的化感作用关系, 利用其有益作用, 合理规划田间当归大蒜间作的最佳栽培模式, 设计出有效的作物连作、轮作种植模式, 解决当归栽培中遇到的难题。

间作种植利用不同作物在空间分布和养分需求等方面进行优势互补, 有效利用光照、养分、水分等来获得作物增产, 在防控病虫害、改善作物品质、抑制杂草等方面比单作系统更加有效^[15-16]。研究证明, 轮作和间/套作是克服作物连作障碍的有效和根

本途径^[17]。当归与大蒜间作可以有效地促进当归的生长, 提高当归产量和等级, 是克服当归单作、连作障碍的新型间作模式^[4]。本文是在不同种植模式下, 研究当归与大蒜间作密度对当归的有效成分含量的影响。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验 2013 年 4~11 月在甘肃省渭源县会川镇进行, 该地区平均海拔 2 240 m, 无霜期 131 d, 平均太阳辐射 591.9 kJ·cm⁻², 日照时数 2 476.6 h, 年平均气温 5.7℃, ≥0℃积温 2 933.5℃, ≥10℃积温 2 239.1℃; 平均年降雨量 580 mm, 年蒸发量 1 531 mm, 干燥度 2.53, 80% 保证率的降水量 365 mm, 变异系数为 24.3%, 为典型的雨养农业区。连作区前茬作物为当归 (*Angelica sinensis* (Oliv.) Diels), 连续种植 2 a, 轮作区前茬作物为马铃薯 (*Solanum tuberosum*)。

1.2 试验材料

当归种苗采自甘肃岷县, 新鲜白皮大蒜采自当地市场。

1.3 试验设计

本试验采用随机区组设计, 当归茬口分轮作和连作, 各茬口 4 个处理, 试验分别设单作、当归与大蒜 2:1 间作、当归与大蒜 3:1 间作、当归与大蒜 4:1 间作四个处理, 以单作作为对照 (分别用单作、M2、M3、M4 表示, 2:1、3:1、4:1 指当归分别每 2 行、3 行、4 行间作 1 行大蒜), 每个处理重复 3 次, 小区面积 12 m², 当归株距 15 cm, 行距 30 cm, 采用覆膜栽培。田间管理按照大田生产进行, 10 月中旬采挖后对当归根阴干测定其相应指标的含量。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 当归根总灰分和酸不溶性灰分含量测定 参照《中华人民共和国药典》(2015 年版) 总灰分法和酸不溶性的灰分测定法, 根据残渣重量, 计算阴干后当归样中总灰分的含量 (%), 之后用稀盐酸溶解过滤, 计算供试品中酸不溶性灰分的百分数 (%)。

1.4.2 当归根部醇溶性浸出物含量测定 参照《中华人民共和国药典》(2015 年版) 热浸法, 用 70% 乙醇提取。以阴干后当归样中计算供试品中 70% 乙醇溶性浸出物的含量 (%)。

1.4.3 当归根挥发油含量测定 挥发油的提取收率采用挥发冷却回流的测定方法,计算按《中华人民共和国药典》(2015年版)方法进行。

1.4.4 当归根阿魏酸含量测定 参照《中华人民共和国药典》(2015年版)规定的高效液相色谱法进行测定。其方法如下:

(1) 色谱条件与系统适用性试验:以十八烷基硅烷键合硅胶为填充剂;以乙腈-0.085%磷酸溶液(17:83)为流动相;检测波长为316 nm;柱温35℃。理论板数按阿魏酸峰计算应不低于5 000。

(2) 对照品溶液的制备:取阿魏酸对照品适量,精密称定,置棕色量瓶中,加70%甲醇制成每1 ml含12 μg的溶液,即得。

(3) 供试品溶液的制备:取本品粉末(过三号筛)约0.2 g,精密称定,置具塞锥形瓶中,精密加入70%甲醇20 ml,密塞,称定重量,加热回流30 min,放冷,再称定重量,用70%甲醇补足减失的重量,摇匀,静置,取上清液滤过,取续滤液,即得。

(4) 测定法:分别精密吸取对照品溶液与供试品溶液各10 μL,注入液相色谱仪,测定,即得。

1.5 数据处理

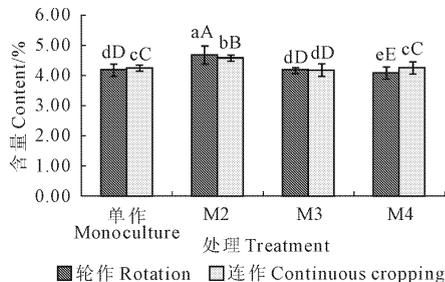
试验数据采用Excel 2007软件进行处理和作图,结合数据统计软件SPSS 19.0进行整理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式和间作大蒜密度对当归根总灰分含量的影响

在轮作、连作种植模式下,经不同间作密度处理,相比于对照组单作,不同处理对当归根总灰分含量都具有促进或抑制作用(图1)。不同种植模式和间作密度下,轮作模式下间作密度2:1(M2)处理的当归根总灰分含量最高,极显著高于其它处理($P < 0.01$),其次是连作模式下间作密度2:1处理,轮作模式下间作密度4:1(M4)处理含量最低,各处理间都有极显著差异,说明不同间作密度和种植模式对当归根总灰分含量都具有显著影响。从相同种植模式下不同间作密度看,都呈现先增后降的变化趋势,从单作到间作密度2:1处理总灰分含量增加,随着间作大蒜密度的减小,总灰分含量在逐渐降低,在间作密度2:1处理达到最大值,相对于单作处理,轮作、连作模式下分别提高了0.50%、0.33%,其它处理与单作相当。从相同间作密度不同种植模式下看,连作模式下的当归根总灰分含量大于轮作模式,可能原因是轮作模式当归生长比较旺盛,根部物质积累较多使得灰分含量增加。由此可见,不同种植模式和间

作密度处理下,当归根总灰分含量在轮作、连作模式下间作密度2:1处理极显著大于其它间作密度,说明间作种植对当归总灰分含量有明显的影



注:不同小写字母者表示差异显著($P < 0.05$),标有不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$),下同。

Notes: Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$); Different uppercase letters indicate significant difference ($P < 0.01$). The same as below.

图1 当归根总灰分含量变化

Fig. 1 The changes of total ash content in angelica root

2.2 不同种植模式和间作大蒜密度对当归酸不溶性灰分含量的影响

经不同间作密度和不同种植模式处理当归酸不溶性灰分含量都高于单作处理含量,不同间作密度和种植模式处理对当归酸不溶性灰分含量具有促进作用(图2)。连作模式下间作密度2:1(M2)处理当归酸不溶性含量达到最大值,极显著高于其它处理($P < 0.01$),连作模式下间作密度3:1(M3)、轮作模式下间作密度2:1、3:1处理之间差异不显著($P > 0.05$),轮作、连作模式下单作处理当归酸不溶性含量最低。从不同间作密度看,相同种植模式下呈现剧增缓降的变化趋势,单作处理到间作密度2:1处理酸不溶性含量急剧增大到最大值,然后随着间作密度的减少而缓慢下降,连作、轮作模式下间作密度2:1相对于单作分别提高了0.42%、0.24%,可能原因是合理的当归大蒜间作栽培模式促进了当归生长,但对连作模式下当归的生长促进提高作用更为明显。从相同间作密度、不同的种植模式下看,规律不明显。由此可知,不同种植模式和间作密度处理对当归酸不溶性灰分含量都有促进作用,连作模式间作密度2:1处理时促进作用最大。

2.3 不同种植模式和间作大蒜密度对当归根部醇溶性浸出物含量的影响

当归根醇溶性浸出物不同种植模式和间作密度处理其含量变化幅度不大,当归根醇溶性浸出物含量相对于对照组单作有很弱的促进或抑制作用(图3)。连作模式下间作密度2:1(M2)处理当归根醇溶性浸出物含量最高,与连作模式下单作、连作模式下

间作密度 4:1 (M4) 处理之间差异不显著 ($P > 0.05$), 显著高于其它处理 ($0.01 < P < 0.05$)。从不同间作密度看, 相同种植模式下虽然在间作密度 2:1 处理当归根醇溶性浸出物含量最高, 但与其它处理的增加不明显, 轮作、连作模式下相对于单作处理仅提高了 0.5%、2%, 药典规定当归药材中醇溶性浸出物含量不得少于 45.0%, 虽然各处理都符合药典规定, 但间作密度大小对当归根醇溶性浸出物含量的影响作用不大。从相同间作密度不同的种植模式下看, 连作模式高于轮作模式, 但增幅不大。由此可见, 虽然不同种植模式和间作密度处理对当归根醇溶性浸出物有很小的影响, 但连作模式间作大蒜密度 2:1 处理时最大。

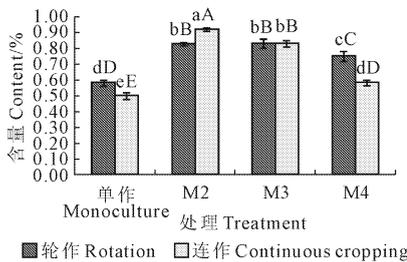


图 2 当归酸不溶性灰分含量变化

Fig. 2 The changes of acid-insoluble ash content in angelica

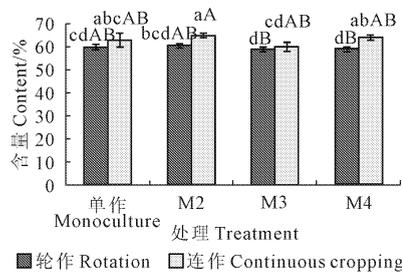


图 3 当归醇溶性浸出物含量变化

Fig. 3 The changes of alcohol-soluble extract content in angelica

2.4 不同种植模式和间作大蒜密度对当归根挥发油含量的影响

不同种植模式下和间作密度处理的当归根挥发油含量较单作有很明显的促进作用(图 4)。轮作、连作模式下间作密度 2:1 (M2) 处理之间差异不显著 ($P > 0.05$), 轮作模式下间作密度 2:1 处理极显著高于其它处理 ($P < 0.01$), 在轮作模式下间作密度 2:1 处理当归根挥发油含量达到最大值, 连作模式下间作密度 4:1 (M4)、单作之间差异不显著, 且当归根挥发油含量最低, 连作模式下间作密度 2:1 处理当归根挥发油含量大于其它轮作密度处理, 可能是密度效应造成的, 是否是密度引起还需进一步验证。从不同间作密度看, 相同种植模式下呈现先增后降的

趋势, 在间作密度 2:1 处理达到最大值, 轮作、连作模式下间作密度 2:1 处理较单作分别提高了 0.09%、0.1%, 说明间作大蒜对当归挥发油的含量有明显的提高, 挥发油含量是衡量药材内在质量的重要指标, 当归根部挥发油收率越高说明当归气味越佳、质量越好, 表明大蒜对当归的化感效应对其内在质量也有一定的促进提高。从相同间作密度不同的种植模式看, 轮作、连作模式下, 当归根部挥发油收率均有提高, 但轮作模式整体较连作模式提高的多。由此可见, 不同种植模式和间作密度处理对当归挥发油有明显的增长影响, 轮作模式间作密度 2:1 处理时含量最高。

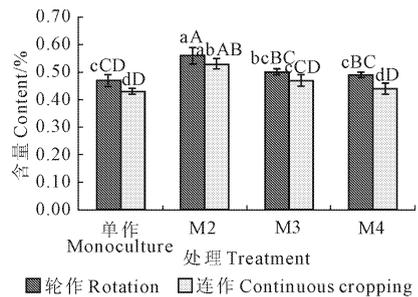


图 4 当归挥发油含量变化

Fig. 4 The changes of naphtha content in angelica

2.5 不同种植模式和间作大蒜密度对当归根阿魏酸含量的影响

不同种植模式下和间作密度处理较单作当归阿魏酸含量有促进作用(图 5)。轮作模式下间作密度 2:1 (M2) 处理当归阿魏酸含量最高, 极显著高于其它处理 ($P < 0.01$), 除轮作模式下单作处理和连作模式下间作密度 4:1 (M4) 处理之间差异不显著 ($P > 0.05$), 且当归阿魏酸含量达到最低, 其它各处理之间都呈极显著差异, 连作模式下间作密度 2:1 处理当归阿魏酸含量大于轮作下间作密度单作、4:1 处理, 可能是密度效应引起, 但还需进一步验证。从相同种植模式不同间作密度看呈现剧增缓降趋势, 先从单作到间作密度 2:1 处理当归阿魏酸含量急剧增加, 在间作密度 2:1 处理达到最大值, 轮作、连作模式下较单作分别提高了 0.032%、0.024%; 随着间作密度的减小当归阿魏酸含量呈缓慢下降趋势, 说明间作密度 2:1 处理的间作模式对当归连作障碍下提高当归药效成分的积累有显著的作用。从相同间作密度不同种植模式看, 轮作模式明显比连作模式当归阿魏酸含量高的多, 可能原因是轮作模式能够有效缓解连作障碍。由此可见, 不同种植模式下, 不同间作密度处理明显对当归阿魏酸含量有影响, 呈现增加趋势, 轮作模式间作密度 2:1 处理含量增加程度最大。

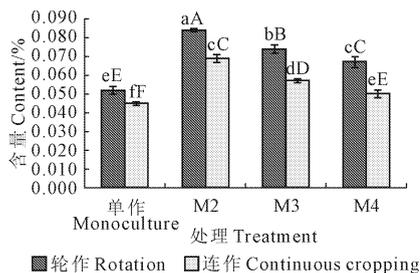


图5 当归阿魏酸含量变化

Fig.5 The changes of ferulic acid content in angelica

3 讨论与结论

目前我国有很多关于当归连作障碍的研究,以及克服当归连作障碍的田间管理措施,有研究表明,引起连作障碍的主要原因是连作土壤中有毒物质积累,微生物多样性下降,细菌及放线菌数量减少,土传真菌病害大量繁殖所致。当归连作土壤微生物种群变化可能是土壤中化感物质(根系分泌和地上部淋溶)诱发的结果,随连作年限增加,土壤中的化感物质积累愈多,微生物种群变化愈明显,土壤中化感物质的诱导作用和微生物种群失衡可能是造成土壤病菌增多的主要原因。土壤中化感物质积累,一方面可能导致自毒作用,引起产量和品质的下降;另一方面可能通过破坏根系的细胞膜,使病虫害易于侵入,或是通过改变土壤微生物区系,刺激某些病原菌的增殖,使病害发生严重,进而导致产量和品质下降。当归连作障碍涉及多种因子的共同作用,但土壤中化感物质的化感作用是最主要因素^[18]。有研究表明大蒜和油菜间作减轻大蒜白腐病发生^[19]。金盏花(*Cymbopogon citrut*)和番茄间作抑制番茄早疫病病原菌孢子萌发,从而减轻番茄早疫病危害^[20];当归与大蒜间作显著改善连作土壤中微生物区系,提高功能类群多样性及均匀度,丰富了土壤微生物群落结构,抑制和影响病原菌的生长、减少病害的发生,植株体内保护酶活性提高,膜脂过氧化程度降低,从生理上提高当归自身的抗性,改善了当归连作障碍^[18]。当归与大蒜间作可以有效促进当归生长,提高当归产量和当归等级,有效减缓当归连作障碍问题,是当归种植的新型间作模式^[4]。农业生产中在传统轮作种植模式下,用间作大蒜来提高当归产量和质量,本研究结果可提供最佳间作密度,减少资源浪费,提高当归产量和质量。

本文通过大田间作种植试验,采用当归与大蒜间作的栽培模式,研究轮作、连作两种种植模式下不同间作密度对当归质量的影响,试图减缓当归根腐病、麻口病和自毒作用对当归品质的影响,探讨不同

种植模式和间作密度对当归质量的影响,寻找能有效缓解当归连作障碍、提高当归内在质量的最佳间作大蒜密度种植模式。本研究结果表明:在相同种植模式不同间作密度下,当归根内在质量指标总灰分、酸性不溶性灰分、醇溶性浸出物、挥发油、阿魏酸含量变化都大概呈现出先增后减的趋势,各含量在间作密度 2:1 处理达到最大值。在相同间作密度不同种植模式下,当归根部挥发油收率和阿魏酸含量在轮作模式下高于连作模式,而总灰分、醇溶性浸出物含量相反,酸性不溶性灰分含量趋势不明显,总体看,轮作模式提高了当归质量。药典规定,当归总灰分不得超过 7.0%,酸不溶性灰分不得超过 2.0%。醇溶性浸出物不得少于 45.0%,挥发油不得少于 0.40%,按干燥品计算阿魏酸不得少于 0.050%。虽然总灰分含量在轮作模式间作密度 4:1 处理含量最低,酸性不溶性灰分在连作模式单作处理含量最低,醇溶性浸出物含量在连作模式间作大蒜密度 2:1 处理含量最高,但总灰分、酸性不溶性灰分、醇溶性浸出物含量最大值都满足药典规定,挥发油、阿魏酸都在轮作模式间作密度 2:1 处理含量最高,在不同处理下都满足药典规定,符合药材质量标准,当归根部阿魏酸和挥发油是当归药材主要的药效成分,含量高是衡量当归内在质量好坏的重要指标,当归根部挥发油收率和阿魏酸含量越高说明当归质量越好,综合考虑,轮作种植模式间作大蒜密度 2:1 处理下,当归质量指标含量最好,是最佳的间作大蒜密度种植模式,可以有效促进当归生长,提高当归质量,有效减缓当归连作障碍问题。

参考文献:

- [1] 周文博. 浅析当归在药理学中的应用研究[J]. 医学信息:中旬刊, 2011, 24(4): 1646-1646.
- [2] 李 硕, 李 敏. 炮制对当归质量影响的研究概述[J]. 时珍国医国药, 2013, 24(12): 2986-2989.
- [3] 樊 秦, 李应东, 赵 磊, 等. 岷当归挥发油提取方法及其化学成分研究[J]. 中国现代应用药学, 2012, 29(4): 333-336.
- [4] 王田涛, 王 琦, 王惠珍, 等. 连作条件下间作模式对当归生产特性 and 产量的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(2): 54-61.
- [5] 王田涛, 王 琦, 王惠珍, 等. 当归自毒作用和其对不同作物的化感效应[J]. 草地学报, 2012, 20(6): 1132-1138.
- [6] 彭铁楠, 祝 英, 姜一鸣, 等. 当归根腐病发病机制及防治措施[J]. 中国现代中药, 2014, (12): 975-978.
- [7] 张重义, 林文雄. 药用植物的化感自毒作用与连作障碍[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(1): 189-196.
- [8] 顾志荣, 师富贵, 金 岩. 当归麻口病研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(26): 10615-10616.
- [9] 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.
- [10] 丁海燕, 程智慧. 大蒜化感作用及其利用研究进展[J]. 中国蔬菜, 2004, (9): 11-16.
- [11] 宋卫国, 李宝聚, 刘开启. 大蒜化学成分及其抗菌活性机理研究进展[J]. 园艺学报, 2004, 31(2): 263-268.
- [12] 周艳丽, 程智慧, 孟焕文. 大蒜根系分泌物对不同受体蔬菜的化感作用[J]. 应用生态学报, 2007, 18(1): 81-86.
- [13] 缪勇, 高希武, 江俊起, 等. 甘蓝与大蒜间作对甘蓝田主要害虫及节肢动物群落的影响[J]. 华南农业大学学报, 2013, 34(3): 352-355.
- [14] 王继汉, 骆来昌, 束永安. 大麦、毛豆、扁豆、甜玉米、大蒜高效间套作[J]. 种植天地, 2010, (21): 35-35.
- [15] 郭丽琢, 张虎天, 何亚慧, 等. 根瘤菌接种对豌豆/玉米间作系统作物生长及氮素营养的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(1): 43-49.
- [16] 雍太文, 杨文钰, 向达兵, 等. 小麦/玉米/大豆套作的产量、氮营养表现及其种间竞争力的评定[J]. 草业学报, 2012, 21(1): 50-58.
- [17] 郝丽霞, 程智慧, 孟焕文, 等. 设施番茄套作大蒜的生物和生态效应——套播时期对不同品种大蒜生长发育和产量的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(19): 5316-5326.
- [18] 张新慧. 当归连作障碍机制及其生物修复措施研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- [19] Zewde T, Fininsa C, Sakhujia P K, et al. Association of white rot (*Sclerotium cepivorum*) of garlic with environmental factors and cultural practices in the North Shewa highlands of Ethiopia[J]. Crop Protection, 2007, 26: 1566-1573.
- [20] Uomez-Rodriguez O, Zavalacta-Mejia E, GonzalEz-Hernandez V A, et al. Allelopathy and microclimatic modification of intercropping with marigold on tomato early blight disease development[J]. Field Crops Research, 2003, 83: 27-34.

(上接第 48 页)

- [5] 李凤博, 牛永志, 高文玲, 等. 耕作方式和秸秆还田对直播稻田土壤理化性质及其产量的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(3): 549-552.
- [6] 徐月. 不同耕作方式对土壤理化性质及小麦生长发育的影响[D]. 淄博: 山东理工大学, 2014.
- [7] 张锡洲, 李廷轩, 余海英, 等. 水旱轮作条件下长期自然免耕对土壤理化性质的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 145-147.
- [8] 武际, 郭熙盛, 王允青, 等. 麦稻轮作下耕作模式对土壤理化性质和作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 87-93.
- [9] 刘武仁, 郑金玉, 罗洋, 等. 不同耕作方式对玉米叶片冠层光合特性的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(6): 103-106, 111.
- [10] 戴锋平. 免耕与秸秆还田对土壤理化性质和小麦生长的影响[D]. 扬州大学, 2013.
- [11] 周兴祥, 高焕文, 刘晓峰. 华北平原一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 81-84.
- [12] 雷金银, 吴发启, 王健, 等. 保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 40-45.
- [13] 王改玲, 郝明德, 许继光, 等. 保护性耕作对黄土高原南部地区小麦产量及土壤理化性质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 539-544.
- [14] 梁金凤, 齐庆振, 贾小红, 等. 不同耕作方式对土壤性质与玉米生长的影响研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 945-950.
- [15] 王栋, 李辉信, 胡锋. 不同耕作方式下覆草旱作稻田土壤肥力特征[J]. 土壤学报, 2011, 48(6): 1203-1209.
- [16] 张雯, 侯立白, 张斌. 辽西易旱区不同耕作方式对土壤物理性能的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(3): 149-153.
- [17] 李新华, 朱振林, 董红云, 等. 秸秆不同还田模式对玉米田温室气体排放和碳固定的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(11): 2228-2235.
- [18] 吕晓东, 马忠明. 不同耕作方式对春小麦田土壤水分过程的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(11): 2184-2191.
- [19] 刘波, 吴礼树, 鲁剑巍, 等. 不同耕作方式对土壤理化性质影响研究进展[J]. 耕作与栽培, 2010, (2): 55-58, 65.
- [20] 姜桂英. 中国农田长期不同施肥的固碳潜力及预测[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [21] 李红, 杨国航. 秸秆还田对土壤蓄水保肥及作物产量的影响[J]. 中国农村水利水电, 2002, (1): 36-38.
- [22] 王昌全, 魏成明, 李廷强, 等. 不同免耕方式对作物产量和土壤理化性状的影响[J]. 四川农业大学学报, 2001, 19(2): 152-154.
- [23] 王岩, 刘玉华, 张立峰, 等. 耕作方式对冀西北栗钙土土壤物理性状及莜麦生长的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(4): 109-117.
- [24] 罗珠珠, 黄高宝, 张国盛. 保护性耕作对黄土高原旱地表土容重和水分入渗的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 7-11.
- [25] 黄高宝, 郭清毅, 张仁陟, 等. 保护性耕作条件下旱地农田麦-豆双序列轮作体系的水分动态及产量效应[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1176-1185.
- [26] 张大伟, 刘建, 王波, 等. 连续两年秸秆还田与不同耕作方式对直播稻田土壤理化性质的影响[J]. 江西农业学报, 2009, 21(8): 53-56.
- [27] 黄国勤, 杨淑娟, 王淑彬, 等. 稻田实行保护性耕作(8年)对水稻产量、土壤理化及生物学性状的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(4): 1225-1234.
- [28] 彭文英, 彭美丽, 吴晓展. 免耕对粮食作物产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 95-100.
- [29] 唐江华, 苏丽丽, 罗家祥, 等. 不同耕作方式对夏大豆干物质积累及转运特性的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(10): 2026-2032.
- [30] 刘爽, 张兴义. 不同耕作方式对黑土农田土壤水分及利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(1): 126-131.