分类号： R282.2 单位代码： 10879

密 级： 不加密 学 号： 2012S001

**安徽科技学院**

**全日制硕士专业学位论文**

滁菊-小麦轮作模式克服土壤连作障碍的效果及关键技术集成研究

**The research on mitigative effects of farming rotation between *Chuju* and wheat on soil continuous cropping obstacles and key technology of integration**

研 究 生： 朱 伟 指 导 教 师： 肖 新 合 作 指 导 教 师： 史亚东 申请学位门类级别： 硕士 专 业 名 称： 农业推广 研 究 方 向： 农业资源利用

**2014** 年 **4** 月 **20** 日

封面 2

论 文 提 交 日 期：2014 年 4 月 20 日

论 文 答 辩 日 期：2014 年 6 月 5 日

学 位 授 予 日 期：2014 年 6 月 16 日

学 位 类 别： 农业推广硕士

答 辩 委 员会主席：焦立新

关于学位论文原创性和使用授权的声明

本人所呈交的学位论文，是在导师指导下，独立进行科学研究所取得的成果。对在论文研究期间给予指导、帮助和做出重要贡献的个人或集体，均在文中明确说明。本声明的法律责任由本人承担。

本人完全了解安徽科技学院有关保留和使用学位论文的规定，同意学校保留和按要求向国家有关部门或机构送交论文纸质本和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权安徽科技学院可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文，同时授权中国科学技术信息研究所将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》，并向社会公众提供信息服务。

保密论文在解密后应遵守此规定。

论文作者签名：

导 师 签 名：

校外导师签名：

日 期：

符 号 说 明

SMBC: Soil microbial biomass carbon, 微生物量碳SMBN: Soil microbial biomass nitrogen, 微生物量氮*q*MB: Microbial biomass quotient, 微生物熵

*Chuju*: Chrysanthemum morifolium Ramat. cv." *Chuju*" originated from Chuzhou City, 滁菊

目 录

[符 号 说 明](#_Toc686626285) 2

[中文摘要](#_Toc686626286) 4

[英文摘要](#_Toc686626287) 4

**[Abstract](#_Toc686626288)** 4

**[1](#_Toc686626289)** [前言](#_Toc686626289) 5

**[1.1](#_Toc686626290)** [连作障碍及其表现](#_Toc686626290) 5

**[1.2](#_Toc686626291)** [连作障碍的发Th原因](#_Toc686626291) 5

[1.2.1 土壤理化性质改变](#_Toc686626292) 5

[1.2.2 土壤微Th物学环境变化](#_Toc686626293) 5

[1.2.3 植物化感自毒作用](#_Toc686626294) 6

**[1.3](#_Toc686626295)** [连作障碍的综合治理和克服措施](#_Toc686626295) 6

[1.3.1 改善土壤环境](#_Toc686626296) 6

[1.3.1.1 科学合理施肥](#_Toc686626297) 6

[1.3.1.2 土壤消毒灭菌技术的应用](#_Toc686626298) 6

[1.3.2 改善连作种植制度](#_Toc686626299) 6

[1.3.2.1 种植模式改善土壤效果](#_Toc686626300) 6

[1.3.2.2 种植模式提高作物产量](#_Toc686626301) 6

[1.3.3 Th物防治技术](#_Toc686626302) 6

[1.3.3.1 引入有益菌](#_Toc686626303) 6

[1.3.3.2 拮抗菌的应用技术](#_Toc686626304) 6

[1.3.4 选育抗性品种及嫁接技术的应用](#_Toc686626305) 7

**[2](#_Toc686626306)** [材料与方法](#_Toc686626306) 7

**[2.1](#_Toc686626307)** [试验设计](#_Toc686626307) 7

**[2.2](#_Toc686626308)** [样品采集及处理](#_Toc686626308) 7

[2.2.1 土壤样品](#_Toc686626309) 7

[2.2.2 滁菊样品](#_Toc686626310) 7

**[2.3](#_Toc686626311)** [项目测定](#_Toc686626311) 7

[2.3.1 土壤基本理化性状的测定](#_Toc686626312) 7

[2.3.2 土壤微Th物量碳、氮的测定](#_Toc686626313) 7

[2.3.3 土壤微Th物量的测定](#_Toc686626314) 7

[2.3.4 土壤酶活性的测定](#_Toc686626315) 7

[2.3.5 滁菊形态指标的测定](#_Toc686626316) 7

[2.3.6 滁菊品质的测定](#_Toc686626317) 7

[2.3.6.1 总黄酮的测定](#_Toc686626318) 7

[2.3.6.2 绿原酸的测定](#_Toc686626319) 8

[2.3.6.3 可溶性糖、游离氨基酸总量的测定](#_Toc686626320) 8

**[2.4](#_Toc686626321)** [数据分析与处理](#_Toc686626321) 8

**[3](#_Toc686626322)** [结果与分析](#_Toc686626322) 8

**[3.1](#_Toc686626323)** [种植模式对土壤理化特性的影响](#_Toc686626323) 8

**[3.2](#_Toc686626324)** [种植模式对土壤微](#_Toc686626324)**[Th](#_Toc686626324)**[物量碳、氮的影响](#_Toc686626324) 9

[3.2.1 对微Th物量碳氮的影响](#_Toc686626325) 9

[3.2.2 对微Th物量碳氮比的影响](#_Toc686626326) 10

[3.2.3 对微Th物熵的影响](#_Toc686626327) 10

**[3.3](#_Toc686626328)** [种植模式对土壤微](#_Toc686626328)**[Th](#_Toc686626328)**[物数量的影响](#_Toc686626328) 10

[3.3.1 对细菌的影响](#_Toc686626329) 10

[3.3.2 对真菌的影响](#_Toc686626330) 10

[3.3.3 对放线菌的影响](#_Toc686626331) 10

**[3.4](#_Toc686626332)** [种植模式对土壤酶活性的影响](#_Toc686626332) 11

[3.4.1 对滁菊土壤脲酶的影响](#_Toc686626333) 11

[3.4.2 对滁菊土壤过氧化氢酶的影响](#_Toc686626334) 11

[3.4.3 对滁菊土壤蔗糖酶的影响](#_Toc686626335) 12

[3.4.4 对滁菊土壤酸性磷酸酶的影响](#_Toc686626336) 12

[3.4.5 对滁菊土壤蛋白酶的影响](#_Toc686626337) 13

**[3.5](#_Toc686626338)** [种植模式对滁菊品质的影响](#_Toc686626338) 13

[3.5.1 对滁菊中总黄酮的影响](#_Toc686626339) 13

[3.5.2 对滁菊中绿原酸的影响](#_Toc686626340) 14

[3.5.3 对滁菊中可溶性糖的影响](#_Toc686626341) 14

[3.5.4 对滁菊中游离氨基酸总量的影响](#_Toc686626342) 15

**[3.6](#_Toc686626343)** [种植模式对滁菊产量性状的影响](#_Toc686626343) 15

[3.6.1 对滁菊花序性状的影响](#_Toc686626344) 15

[3.6.2 对滁菊植株形态、产量的影响](#_Toc686626345) 16

**[4](#_Toc686626346)** [讨论](#_Toc686626346) 17

**[4.1](#_Toc686626347)** [种植模式与土壤理化性状](#_Toc686626347) 17

**[4.2](#_Toc686626348)** [种植模式与土壤微Th物](#_Toc686626348) 17

**[4.3](#_Toc686626349)** [种植模式与土壤酶活性](#_Toc686626349) 17

**[4.3](#_Toc686626350)** [种植模式与滁菊品质、产量](#_Toc686626350) 17

**[5](#_Toc686626351)** [结论](#_Toc686626351) 17

**[6](#_Toc686626352)** [滁菊小麦轮作技术集成](#_Toc686626352) 17

**[6.1](#_Toc686626353)** [技术方案](#_Toc686626353) 18

**[6.2](#_Toc686626354)** [技术实施研究](#_Toc686626354) 18

[6.2.1 试验设计](#_Toc686626355) 18

[6.2.2 结果分析](#_Toc686626356) 18

**[6.3](#_Toc686626357)** [效益分析](#_Toc686626357) 19

[6.3.1 经济效益](#_Toc686626358) 19

[6.3.2 社会效益](#_Toc686626359) 19

**[7](#_Toc686626360)** [参考文献](#_Toc686626360) 19

**[8](#_Toc686626361)** [致谢](#_Toc686626361) 23

**[9](#_Toc686626362)** [攻读学位期间发表论文情况](#_Toc686626362) 23

# 中文摘要

近年来由于滁菊连作障碍，导致滁菊产量大幅度下降、品质变差，这严重制约了我省滁菊产业的发展。而发生连作障碍的主要因素是土壤酸化次生盐渍化、养分失调和土壤微生物区系的失调。尤其是土壤酸化盐渍化，导致土壤致病性真菌大量繁殖，加重作物病虫害。因此，根据滁菊生产中存在的上述问题，以减轻或克服滁菊连作障碍为目的，从提高土壤肥力、改善微生物群落结构、平衡养分的供应、滁菊高质高产的要求出发，采用生态控制技术对滁菊产业的发展有着十分重要的现实需求。基于此，通过展开田间试验，研究滁菊-小麦轮作模式对滁菊土壤连作障碍克服效果，试图找到解决滁菊连作障碍问题的有效途径和措施。

于2012-2013年，通过田间试验，设置不同种植模式（M1-滁菊连作、M2-滁菊小麦轮作、M3-滁菊小麦轮作配施生物有机肥）对滁菊土壤理化性状、土壤微生物量碳氮及种群的变化、土壤酶活性的影响，研究其对滁菊连作土壤的改良效果以及对滁菊品质、产量的影响。取得主要结果如下：

（1）对滁菊土壤理化性状影响：与M1模式相比，M2、M3模式的滁菊土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量均在一定程度上有所增加；与M2模式相比，M3模式的滁菊土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量均显著增加；菊麦轮作对连作土壤pH有一定影响，M3模式土壤pH显著升高。表明，菊麦轮作对均衡土壤养分效果较明显，特别在配施生物有机肥情况下，且可有效改善连作土壤酸化状况。

（2）对滁菊土壤微生物及微生物生物量的影响：菊麦轮作模式可以显著提高连作土壤微生物量碳（SMBC）、土壤微生物量氮（SMBN）及土壤微生物熵（qMB），其中，以M3模式增加效果最佳，与M1模式相比，SMBC、SMBN、qMB分别提高了

25.16%、54.74%、16.74%；其次，与M1模式相比，M3模式SMBC/SMBN显著降低，表明M3模式下，土壤微生物群落结构发生变化。另外，菊麦轮作显著提高了连作土壤中细菌和放线菌数量，与M1 模式相比，M3 模式分别提高了66.51% 、

35.25 %，且菊麦轮作一定程度上降低了连作土壤真菌数量。

（3）对滁菊土壤酶活性的影响：结果表明，不同种植模式处理对不同土壤酶活性影响有所不同。其中，菊麦轮作可显著提高连作土壤脲酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶和蛋白酶活性，且在配施生物有机肥条件下表现最优；与M1模式相比，M2、M3模式的

土壤过氧化氢酶均显著降低，菊麦轮作有效抑制了连作土壤过氧化氢酶活性，减少了过氧化氢的毒害。

（4）对滁菊品质、产量的影响：在本项研究中，菊麦轮作可显著提高滁菊中总黄酮、绿原酸总量、可溶性糖和游离氨基酸总量含量，且在配施生物有机肥下表现最优，其含量分别达到42.59mg·g-1、2.52 mg·g-1、4.04 mg·g-1、73.33 mg·100g-1，品质改善良好；滁菊进入盛花期，对不同处理滁菊产量及其与花序性状的关系做了较细致的研究，发现一方面，菊麦轮作有利于促进滁菊生长，改善滁菊花序性状，滁菊有效分支增加，花头数显著提高，进而提高单株鲜花数量及质量，以M3模式改善效果最佳；另一方面，2种菊麦轮作模式下表现出较高的增产效果，与滁菊连作相比增产量最高可达28.22%，为400.9kg·667m-2。

综合考虑，采用菊麦轮作配施生物有机肥（即, 27.6 N kg·667m-2、9 P2O5 kg·667m-2、9 K2O kg·667m-2+200kg·667m-2生物有机肥），可以有效减轻滁菊连作土壤养分偏耗、土壤酸化等问题，改善土壤微生态环境，促进滁菊生长和产量形成，提高滁菊品质，有效减轻滁菊连作障碍问题。

另外，在前期克服滁菊连作障碍的以穴盘育苗为基础的植物修复技术、滁菊连作障碍危害的养分平衡技术等研究的基础上，采取滁菊小麦轮作技术与有机无机肥配比技术相结合，制定克服滁菊连作障碍有效的生态控制技术体系，其技术步骤为穴盘育苗→扦插移栽→施肥和田间管理→小麦轮作。通过该技术的应用表明，示范区滁菊产量显著提高，品质得到极大改善，增加一季小麦种植，提高了土地复种指数，亩均增收小麦520kg，生态种植模式的发病率为16%，比常规模式发病率（83%）降低了67%，亩均产量增加了344kg，调控滁菊连作障碍的菊麦轮作模式有效控制了滁菊病害的发生；同时土壤微生态环境良好，土壤质量状况进一步提高；科学合理化施肥，一方面提高肥料利用率，减少过度施肥造成的污染，另一方面肥料开支大幅度降低，进一步节约了成本；就经济效益而言，与滁菊常规模式相比，菊麦轮作亩均增加3480元，效益显著，并有效带动周边菊农的积极性，提高了菊农收入。因此，本技术的实施取得良好的经济效益和社会效益，为我省滁菊产业的发展提供重要的技术支撑。

**关键词：滁菊-小麦轮作；Th物有机肥；连作障碍；土壤肥力；产量**

# 英文摘要

**The research on mitigative effects of farming rotation between *Chuju* and wheat on soil continuous cropping obstacles and key technology of integration**

**Abstract**

The yield of *Chuju* drops significantly, the quality is poor because of continuous cropping obstacles in recent years, and it has seriously restricted the progress of the *Chuju* industry. And the main factors for continuous cropping obstacle include acidification, secondary salinization, nutrient imbalance and soil microbial flora imbalance, especially soil acidification and secondary salinization, it leads to the large population of pathogenic fungi in soil and increase the crop pests. Therefore, it is very important that using eco-control technology for the development of *Chuju* industry in order to mitigating or overcoming *Chuju* continuous cropping obstacles, starting from the requirements of improving soil fertility, improving the microbial community structure, balancing supply of nutrients, high quality and high yield of *Chuju*, according to the problems of *Chuju* production. We study *Chuju*-wheat crop rotation mode for remediation of overcoming soil continuous cropping obstacles in order to find the effective ways and measures of solving the problem of *Chuju* continuous cropping obstacles according to a field experiment.

The effects of planting modes (M1means continuous cropping of *Chuju*, M2 means Farming rotation between *Chuju* and wheat, M3 means farming rotation between *Chuju* and wheat plus the addition of bio-organic fertilizer) on soil physicochemical properties, Soil microbial biomass carbon and nitrogen, quality and yield of *Chuju* and remediation of overcoming soil continuous cropping obstacles in a field experiment. The main results as follows:

(1) The effects on soil physicochemical properties: As compared to treatment M1, the soil organic matter, available nitrogen, available phosphorus and potassium levels of M2&M3 are increased at a certain extent. And the soil organic matter, available nitrogen, available phosphorus and potassium levels of M3 are increased significantly as compared to treatment M2. Farming rotation between wheat and chrysanthemum has an impact on soil pH of continuous cropping and pH value of M3 is increased significantly. Results demonstrated that the effects of farming rotation between wheat and chrysanthemum on soil nutrient balance are

Obvious; it can improve effectively the acidification of continuous cropping soil, especially the addition of bio-organic fertilizer.

(2) The effects on soil microbes and microbial biomass: Farming rotation between wheat and chrysanthemum obviously increases soil microbial biomass carbon (SMBC), soil microbial biomass nitrogen (SMBN) and Soil biomass entropy (*q*MB), the best effect of increasing is M3 among them. As compared to treatment M1, it increases the numbers up to 25.16%, 54.74% and 16.74% by means of number of SMBC, SMBN and *q*MB respectively, and SMBC/SMBN value of M3 reduces significantly which showed that microbial community structure has changed. In addition, farming rotation between wheat and chrysanthemum obviously increases the number of soil bacteria and actinomycetes. As compared to treatment M1, treatment M3 increases the numbers up to 66.51% and 32.25% by means of number of soil bacteria and actinomycetes respectively. At the same time, it also reduces the number of fungi in the soil.

(3) The effects on soil enzyme activities: Results demonstrated that effects of different planting modes on soil enzyme activities are different. Farming rotation between wheat and chrysanthemum plus the addition of bio-organic fertilizer significantly increase the activity of urease, acid phosphatase, invertase and protease. However, treatment M2 and M3 had relatively decreasing levels of hydrogen peroxidase in the soil as compared with treatment M1. Farming rotation can effectively inhibit the catalase activity and reduce the harm caused by hydrogen peroxide.

(4) The effects on quality and yield of *Chuju*: In this study, farming rotation between wheat and chrysanthemum obviously increase the total flavonoid and chlorogenic acid content in it. With the addition of organic fertilizer, the results demonstrated highest improved quality up to 42.59 mg•g-1, 2.52 mg•g-1, 4.04 mg•g-1 and 73.33 mg•100g-1. When chrysanthemum come to the stage of full bloom, the relationship between ways of processing

Yield of chrysanthemum and its characteristics had been studied. On the one hand, farming rotation between wheat and chrysanthemum had positive effects on the growth of *Chuju* and enhancing its characteristics. Meanwhile, it also exhibited increasing of effective branching and notable addition of flower heads. Hence, the quality and the quantity of single flowers improved the most from the optimization of treatment M3. On the other hand, continuous plantation of chrysanthemum in comparison with farming rotation between chrysanthemum and wheat gave significant result where the latter mode gave higher yield 28.22% up to

400.9kg•667m-2.

In conclusion, using farming rotation between *Chuju* and wheat plus the addition of bio- organic fertilizer (ie, 27.6 N kg·667m -2, 9 P2O5 kg·667m -2, 9 K2O kg·667m -2+200kg·667m -2 bio-organic fertilizercan) was effective in reducing depletion of nutrients in the soil and reduce soil acidity, thus, promote the growth, boost the yield and enhance the quality of *Chuju* and alleviate the challenges arouse from *Chuju* alternate plantation.

Furthermore, we develop a system of ecological control techniques for overcoming *Chuju* continuous cropping obstacles according to Farming rotation between *Chuju* and wheat technique and organic inorganic fertilizer technique combination on the foundation of the studies on phytoremediation technology based on plug nursery and nutrient balance technology, its technical steps as plug seedling→transplanting cuttings→the management of field and fertilization→wheat rotation. The results showed the yield of *Chuju* has been improved significantly, its quality has been greatly improved in demonstration area, wheat

Planting improved land cropping index, the income of wheat is 520 kg•667m-2, and the

Incidence of ecological cropping patterns was 16%, which decreased 67% compared with the incidence of conventional models (83%), the production of *Chuju* is increased by 344 kg•667m-2 by applying this technique, which control effectively the occurred rate of *Chuju* disease for regulation of *Chuju* continuous cropping obstacle. It is the scientific

Rationalization of fertilizer that it improves fertilizer use efficiency and reduces pollution caused by excessive fertilization; on the other hand, there is a significant reduction in fertilizer expenses. As viewed from economic benefit, *Chuju* ecological cropping mode was increased by 3480 yuan•667m-2, which have remarkable benefit and drive effectively peripheral chrysanthemum farmers' enthusiasm, improve the income of chrysanthemum

Farmers, compared with the conventional planting mode of *Chuju.* Therefore, the implementation of this technology has made good economic and social benefits, which provided important technical support for the development of the *Chuju* industry.

**Keywords: farming rotation between *Chuju* and wheat; Bio-organic fertilizer; Continuous cropping obstacles; Soil fertility; Yield**

# **1** 前言

随着我国国力的迅速发展，人民生活质量不断改善、生活水平大大提高，人们的健康和保健意识越来越强，对于保健药品、水果、绿色蔬菜等的需求量增加迅速。滁菊，属药、茶两用皆可，素有“金心玉瓣，翠蒂天香”之美誉。清光绪年间被列为贡品，故又称“滁贡菊”。因栽培历史悠久，品质优良，驰名全国，长期被视为具有滁州地方特色的“土特”产品。滁菊，味甘，性微寒，可清热解毒、舒筋活血、护肝明目，增强人体免疫功能。因滁菊独特而良好的药用功效，历来被公认名列我国“四大药菊”之首，安徽省四大著名道地药材之一[1]（陈少工等，2006）。

然而，滁菊产业发展却不容乐观，主要原因是农民为求利益，通过过量施用化肥来提高滁菊产量，施用农药控制滁菊病虫害，加之传统的滁菊连作种植模式，导致滁菊质量、产量下降，滁菊价值显著降低，因此大大制约了滁州滁菊可持续生产。进一步调查研究发现，造成滁菊产量低的一个最重要的原因就是突出的连作障碍问题得不到有效的解决。而造成滁菊连作障碍的影响因子包括土壤理化性状失衡、土壤微生物变化、植物化感自毒作用等三个方面。近年来，国内学者对设施蔬菜、西瓜、太子参、大豆等作物连作障碍的研究已有了初步的的成果[2-6]（贺丽娜等，2008；孙光闻等，2005；李月林&房兆坤，2013；魏巍等，2014；林茂兹等，2012）。但对于道地药材滁菊连作障碍的研究较少，通过进一步研究滁菊连作障碍因子及其作用机理，亟待制定一套完善的克服滁菊连作障碍科学方案，为我国区域特色药材滁菊的健康可持续发展奠定夯实的科学技术基础。

因此，本研究进行不同种植模式背景下滁菊种植模式对土壤肥力、土壤微生物群落结构组成、微生物生物量和土壤酶活性的影响的试验，达到减轻甚至防治连作障碍的目的，以期为区域特色经济药材作物滁菊对土壤环境的影响以及滁菊种植模式的优化提供一定的科学理论依据，进一步维持该区域农业生态系统的健康与农业生产的可持续发展，同时，对于保护我国优质中药材种质资源也具有重要作用。

## **1.1** 连作障碍及其表现

在同一块土地上一年内或连续两年以上种植同一种作物的种植方式，称为连作或重茬，在同一块土地上连续多年种植同一种作物或近缘作物以后，即使栽培、施肥灌溉等田间管理措施正常，也会出现植株生育状况变差、病虫害严重、产量降低、品质变劣的现象，称为连作障碍（Continuous Cropping Obstacles）。我国农作物、中药材、

水果、蔬菜等均发生不同程度的连作障碍，如大豆、西瓜、黄瓜、西红柿、当归、太子参、烤烟等。连作障碍导致土壤养分失衡、土壤微生物区系结构改变及土壤酶活性的改变，进一步大大影响作物产量及品质。随着连作障碍的发生会造成一系列的危害，主要表现有：一、土壤理化特性恶化，养分失衡，生态遭到破坏。祝丽香等通过研究不同连作年限对桔梗土壤理化性状和生物学性状的影响，结果表明，随连作年限增加，土壤碱解氮含量逐年增加，土壤速效钾含量逐年下降，土壤镁、铁含量呈下降趋势，锰含量呈上升趋势（祝丽香等，2013）[7]。随着大豆重茬年限的增加，其土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量均呈递减趋势[8]（于寒等，2014）。而刘建国等

（2008）[9]对连作棉田的研究结果表明，随着连作年限的增加，土壤有机质和碱解氮含量呈现递增趋势。由于长期连作，也会造成土壤pH显著下降，导致土壤酸化[10-11]

（刘来等，2013；范小峰等，2006）。第二，土壤微生物结构发生变化，生物多样性降低，病虫害加剧。于寒等[8]（2014）研究表明，重迎茬使氨化细菌、硝化细菌、好气性自生固氮菌和纤维素分解菌等４种微生物生理类群总量均减少。在大棚辣椒连作

5a内，土壤细菌数量、放线菌数量逐步积累增加，而随着其连作年限增加，土壤细菌数量显著减少，土壤放线菌数量较为稀少，真菌数量呈增加趋势[10]（刘来等，

2013）。李静怡等[12]对植棉区不同连作年限棉田土壤研究表明，与种植1年的棉田相比，连作5、10和15年的棉田土壤中的细菌和放线菌数量显著减少，而连作10年后棉田土壤真菌数量却大量增加。另外，由于植物物种多样性匮乏，也加剧病虫害的发生。随着附子连作茬次的增加，其叶斑病、根腐病病情等级与发病率大幅度的提高，连作障碍加剧了当归麻口病的发生[13]（王田涛等，2013）。最后，连作障碍严重影响了作物生长、产量及品质。连作显著降低了马铃薯根系活力、总吸收面积、活跃吸收面积，从而降低了马铃薯产量（张文明等，2014）[14]。崔雯雯等（2013）[15]研究也表明，连作显著降低了糜子叶绿素总量、旗叶净光合速率等光合特征，严重影响了植株干物质累积量，从而导致作物籽粒产量下降。有针对东北地区烤烟连作研究表明，连作5年后，使得烤烟叶绿素含量和光合能力均显著降低，减缓了烟株生长，致使烤烟产量严重下降[16]（张会慧等，2013）。

## **1.2** 连作障碍的发Th原因

作物发生连作障碍的原因是极其复杂的，其原因综合表现在作物自身、土壤2个系统内部诸多因素上。且其产生连作障碍因作物种类、栽培条件等因素不同而表现不同。根据近几年研究报道，本文将导致药用作物产生连作障碍的主要原因归纳如下：

### 1.2.1 土壤理化性质改变

为提高作物产量，农民过量施入含大量营养元素的化学肥料（氮肥、复合肥），从而导致土壤中部分养分积累严重，加之微量元素肥料的施入较少，导致部分微量元素严重失衡，又因为同种作物的根系分布土层范围一致，长期连作条件下，植株会针对某一特定营养元素大量吸收，形成“木桶效应”，极易导致营养不均衡，进而影响作物正常生长。因而，土壤养分亏缺是连作障碍产生的重要因素之一。有学者研究表明，长期连作条件下，药用植物土壤板结、土壤的团粒结构被破坏，透气性持续变差，导致物理性状恶化[17]（郭兰萍等，2006）。辣椒在连作条件下，其土壤有机质显著增加，N、P、K等大量元素高度富集，微量元素Mn含量下降，同时随连作年限增加，土壤酸化和盐渍化现象程度不断加大，导致植株生长量减少，严重影响辣椒生长

[18]（郭红伟等，2012）。廖海兵等（2011）[19]研究连作对浙贝母生长及土壤特性的影响结果表明，随着连作年数的增加，浙贝母连作土壤中有机质含量逐年增加，但土壤中速效氮、磷、钾的含量显著降低，且土壤酸化加剧。烟草在连作条件下，其土壤中全氮、速效钾和有机质含量均有所减低，土壤碱解氮、全磷和速效磷却呈增加趋势

（王连君，谷思玉. 2004）[20]。邢会琴等[21]的研究表明，随连作年限的增加，连作玉米土壤中有机质和速效磷均显著降低（P＜0.01），导致土壤中大量营养元素的缺失，病虫害随之加重。万素梅等[22]针对南疆棉田3、10、15年连作的研究表明，连作条件下土壤中水分、土壤容重、土壤孔隙度均发生显著变化，得出结论，棉花连作年限可能超过15年。凤丹在连作5年后，其土壤中有机质和全量NPK含量分别下降了19.84%，57.84%、36.76%、47.89% (P<0.05) (周科等，2011)[23]。人参三年重茬

后，土壤中铁、锰、铜、锌、和硼含量均显著降低[24]（简在友等，2011）。另外过量化肥的施入也会造成土壤的盐渍化，土壤盐分过量积累，终会造成药用植物根际土壤溶液渗透势发生变化，对药用植物发芽及其根系对水、肥的吸收造成恶劣影响[25]（余海英等，2005），最终导致药用植物的产量下降，品质变劣。

### 1.2.2 土壤微Th物学环境变化

土壤微生物是土壤生态系统中的重要组成部分，为土壤中有机质和土壤养分等要素的转化和循环提供主要动力，它还参与腐殖质的形成、土壤有机质的分解等生化过程，是评价土壤肥力水平的重要指标（杨海君等，2005）[26]。药用植物连作条件下，将会改变土壤微生物区系及结构、土壤酶活性等根际土壤的生物学环境。前人大多研究表明，随着连作年限的增加，土壤中细菌种类和数量逐年降低，真菌数量显著上

升，病原菌数量剧增，土壤微生物区系呈由细菌型向真菌型转化。如张伟等[27]

（2014）利用16S rRNA PCR-DGGE技术研究了新疆阿克苏棉区不同连作年限棉田土壤细菌群落结构组成，结果表明，随着棉花连作年限的增加，土壤细菌群落丰富度指数显著降低，而多样性和均匀度指数逐渐增大。辣椒连作条件下，其土壤中放线菌、细菌数量随连作年限的增加呈先增加后降低的趋势，而真菌数量逐渐增加[10]（刘来等，2013）。岳冰冰等（2013）[28]利用BiologTM微平板检测技术研究了烤烟不同连作年限下土壤微生物功能多样性变化，结果表明，烤烟连作对土壤微生物的种群多样性和功能多样性的降低有明显影响，且连作年限的增加不利于土壤微生物的多样性。张重义等[29]（2010）也指出，地黄连作后，其根际土壤细菌种类大量减少，群落结构趋于简单，导致根际土壤微生物群落功能的失调，致使引发连作障碍。此外，作物连作对土壤中酶活性也有显著的影响。马瑞瑞等[30]（2013）研究表明，芸豆连作条件下，其0~20 cm耕层土壤中过氧化氢酶、脲酶、碱性磷酸酶、多酚氧化酶、转化酶等酶活性明显受到抑制。李秀玲等[31]研究了新疆北疆地区不同连作年限（5 a、10 a、15 a、20 a和30 a）对棉田土壤酶活性的影响，结果表明，随着连作年限增加，棉田土壤过氧化氢酶、蔗糖酶活性呈增强趋势，但抑制了土壤磷酸酶、脲酶活性并呈降低趋势。

另外，长期连作将会诱发根系病原菌的种类和数量增加，导致土壤微生物环境恶化，引起土壤微生物区系结构发生定向改变，进而致使药用植物种植中土传病害加重，且严重的土壤次生盐渍化及不均衡营养成分导致土壤中拮抗菌减少，提高土传病害的发生几率。常见的土传病害有黑腐病、根腐病、全蚀病、锈腐病、枯萎病、青枯病等。有学者研究表明，有益菌占据优势种群时可以促进作物生长；反之，病原菌会侵染作物根系，导致作物发病。魏巍等[5]的研究表明，3年连作大豆根际土壤以强致病力的尖镰孢菌、禾谷镰孢菌、轮枝镰孢菌及中等致病力的腐皮镰孢菌为优势种，而此类菌种群将会引起作物根腐病。华菊玲等[32]研究了不同连作年限处理芝麻根际土尖孢镰刀菌和青枯劳尔氏菌数量的变化，结果表明，随着连作年限的增加，芝麻根际土壤尖孢镰刀菌数量不断增加；同时连作致使芝麻根际土壤中青枯劳尔氏菌数量显著增加。汪建飞等[33]研究也发现，滁菊连作土壤中尖孢镰刀菌的数量显著增加，成为土壤生态系统中的优势种，提高了土壤病害发生的几率。然而，土壤本身有少量病原菌，不足以使作物发病，但是在病原菌数量超过发病临界值时，致使作物发病。连作可使上述病原菌加剧积累，最终诱发土传病害。

### 1.2.3 植物化感自毒作用

植物化感作用是指一种活体植物或微生物（供体）以淋溶、分泌等方式向环境释放某些化学物质而影响邻近伴生植物或其他有机体包括动物或微生物（受体）生长及发育的化学生态学现象包括化感偏害作用、自毒作用、自促作用和互惠作用。在供体和受体为同种植物时，产生抑制作用的现象，即相应的次生代谢产物物对产生细胞就有毒害，最终导致作物生长不良、发病、死亡，称之为化感自毒作用（Allelopathic autotoxicity）（Singh H P et al., 1999; Turk M A & Tawaha A M., 2002; Ye S F et al.，

2004；张重义&林文雄，2009；王建花等，2013；Hao Z P et al., 2007）[34-39]. 植物化感自毒作用是引发植物连作障碍的关键因素之一（王闯等，2009；Teerarak M, et al., 2010）[40-41]。

化感物质是植物的一类次生代谢物质，其主要来源于植物根系分泌物，分子量较小，结构简单，要通过莽草酸、乙酸或二者结合产生[42-43]（吴凤芝, 赵凤艳, 2003; Harsh P Bais, et al., 2006）。主要分为有机酸、直链醇、脂肪族醛和酮、长链脂肪酸和多炔、醌类、苯甲酸及其衍生物、肉桂酸及其衍生物、香豆素类、类黄酮类、核苷、简单不饱和内脂、嘌呤、单宁、生物碱、内萜、氰醇、硫化物、芥子油苷、氨基酸、多肽等（Tang C S & Young C C, 1982;张学文等, 2007）[44-45]。这类物质在药用植物生长中易释放到环境中，从而改变土壤理化状况，进而土壤微生物群落结构遭到破坏。而且，这类小分子物质多是化感物质，会对其他临近伴生植物甚至自身产生毒害作用，直接影响药用植物生长发育。其中酚酸类化合物可损伤细胞膜、使氧化磷酸化脱偶联以及破坏其他生化过程；类萜类化合物如皂角苷可改变细胞膜的渗透性，且可与蛋白质进行非特异性的作用，具有广谱毒性，因此这两类是高等植物的主要化感物质（Sandra Gonçalves et al., 2009;张重义等, 2009;邱立友等, 2010）[37,46-47]。

目前已在番茄、豌豆、黄瓜、滁菊、辣椒和西瓜等多种作物组织和根系分泌物中分离出包括苯甲酸、肉桂酸、水杨酸、香草醛等十余种酚酸类物质，这类化感物质通过影响细胞膜的通透性、离子吸收、光合作用、水分吸收、蛋白质和DNA合成等多种途径抑制作物生长发育（Javaid A et al., 2006; Schabes F I & Sigstad E E, 2007; Han C et al., 2008）[48-50]. Yu J Q等[51]（2003）研究证明，黄瓜根系分泌物中含有苯甲酸、对羟基苯甲酸等11种酚酸物质，其中10种具有生物毒性，当黄瓜连续种植时，根系分泌释放的酚酸物质积累达到一定浓度，就会抑制下茬黄瓜的生长而造成减产。

越来越多的研究证明，酚酸是连作障碍的主导因素[40,52]（Emine Salamci et al., 2007;王闯等, 2009）

## **1.3** 连作障碍的综合治理和克服措施

由于药用作物发生连作障碍的原因是极其复杂，找到一套根治药用作物种植连作障碍切实可行的方案是一大难题。但是为提高中药用产量、改善品质，众多学者就减轻要用作物连作障碍进行了大量研究，在本文中归纳了一些缓解药用作物连作障碍的措施。

### 1.3.1 改善土壤环境

#### 1.3.1.1 科学合理施肥

作物连作后，由于养分偏耗，导致土壤内某一种或几种元素缺失，土壤中营养元素不平衡，植株生长不良，因此根据作物表现出的症状进行科学合理施肥。另外，过量使用化肥也是土壤酸化、盐渍化的重要原因，因此应控制化肥用量，实行生物有机肥与无机肥配施，并根据不同作物的需肥特点，研制专用肥，推广平衡施肥、精准施肥、测土配方施肥技术。同时施用有机物在增加土壤有机质含量、土壤生物学性状的改善、作物增产等方面有着重要作用。陶磊等[53]研究表明，有机无机肥配施可明显改善棉田土壤微生物活性，保证棉花正常成长，提高棉花产量，其作用机理是通过生物有机无机复合肥的施入，为土壤提供了大量有机物质并与土壤中有益微生物共同作用，继而土壤微生物数量升高，土壤微生物组成比例得到改善，土壤微生物种群数量、多样性、土壤酶活性也会相应提高。张鹏等[54]（2013）通过实时荧光定量RT-

PCR、PCR-DGGE指纹图谱等技术研究了连作番茄和辣椒施用生物有机肥和常规施肥的根际土壤微生物组成差异。结果表明，施用生物有机肥显著提高了番茄和辣椒植株根际土壤微生物群落结构丰度指数、多样性指数和稳定性指数，改善了微生物区系环境。

#### 1.3.1.2 土壤消毒灭菌技术的应用

连作条件下，作物根系为土壤中病原菌的大量繁殖提供了场所和丰富的营养成分，造成土壤有害细菌、线虫和真菌等致病物质的大量增加，进而加重药用植物病虫害的发生。土壤消毒是一种快速、高效杀灭土壤中线虫、致病细菌、真菌、土传病毒、地下害虫、包括啮齿动物和杂草的技术，有效解决药用作物连连作障碍问题，继而提高药用植物的产量和品质。常见的土壤消毒的方法主要有土壤熏蒸剂、太阳能消毒技术、蒸汽消毒技术、水消毒技术、生物熏蒸技术等化学、物理、生物消毒技术

（曹坳程等，2010）[55]。目前就大棚种植而言，主要采用氰氨化钙消毒，进行高温闷蒸消毒的办法比较安全实用（王芳德&李纯良，2013）[56]。贲海燕等（2013）[57]研究也指出氰氨化钙田间用药量800 ~1200 kg·hm-2对根结线虫病防治效果最佳，可使蔬菜根结指数有效降低60% ~90%。在西洋参连作植株中，碳素肥加菌线威处理可有效提高重茬西洋参的存苗数及根重，对连作西洋参生长具有较好的改善作用[58]（陈娟等，2012）。李英梅等[59]研究发现垄沟式太阳能消毒、石灰氮麦秸、垄鑫等3种土壤消毒处理均能提高平均株高、黄瓜平均叶片数和叶绿素含量，黄瓜增产效果显著。

土壤灭菌是解决药用植物连作障碍问题的重要措施之一，尤其是对于长期连作后土传病害加剧的药用植物，常用的土壤灭菌方法主要是利用甲醛、氯化苦等化学药剂熏蒸。研究发现，对设施蔬菜霜霉病、灰霉病等一些病害，采取高温高湿闷棚灭菌技术，可有效控制病害的发展（刘春艳等，2010）[60]。也有学者指出，连茬土壤经过土壤灭菌后，因为消除了棉花土壤中有害生物及其代谢产物的影响，继而连茬棉花死苗率、病株率分别减少26.0%、43.0%，病害显著减轻（梁智等，2007）[61]。此外，郭修武等研究也表明对连作土壤进行有效的灭菌后，可以改变根系分泌物的成分及含量，促进了葡萄植株的生长，减轻葡萄的连作障碍。

### 1.3.2 改善连作种植制度

作物的种植制度指的是不同作物在时间和空间上的组合与搭配，也成为栽培方式。由于作物种类和种植方式发生变化，将会对土壤微生物多样性产生一定影响，因此在传统的农业种植模式下，通过初步的作物轮作、间作和休茬等种植模式在一定程度上可以减轻甚至克服作物连作障碍。更重要的是合理的轮作和间套混作能有效避免药用植物自毒作用，利于土壤理化特征的改善，土壤中有益微生物群落多样性、种群数量和活性显著增加，增强了土壤微生物群落结构稳定性和功能，有效保持了土壤和植物根际微生态系统平衡，拮抗甚至杀灭土传病原菌、有效降低下茬病虫害，继而促进作物的生长（宋尚成等，2009）[62]。

#### 1.3.2.1 种植模式改善土壤效果

（1）种植模式与土壤微生物

在不同土地管理、栽培方式对微生物群落特征影响的研究中，众多研究表明，因栽培方式的不同，土壤中微生物变化不同，间作比单作更有利于改善土壤微生物环境，增加土壤微生物多样性。如小麦与黄瓜间作显著提高了黄瓜根际土壤微生物群落多样性（吴凤芝&周新刚，2009）[63]；Alvey S等[64]（2003）也指出谷物与豆科植物

轮作对根际微生物群落的结构有显著影响（P<0.05），而轮作土壤中的微生物群落变异性较之连作谷物土壤中生长的植物的根际细菌群落很大。可见，与连作相比，轮作更有利于土壤微生物种类和数量的提高，以及有益微生物的增加[65]（郑超等，

2006），特别是在轮作中包含豆科作物的条件下（张春霞等，2006）[66]。

在黑龙江黄瓜连栽黑土中，真菌的种类和数量均随着连作年数的增加而减少，而数种病原真菌的数量则呈增大的趋势（吴凤芝等，2002）[67]。梁银丽等[68]研究表明，黄瓜和翻青玉米、大豆、翻青黑豆轮作是克服黄瓜连作障碍的有效模式，该模式既能吸收土壤中的不同养分，又能通过换茬减轻土传病害的发生；陈先茂等[69]研究发现，与单一连作模式相比，轮作模式下，南方丘陵区作物发病指数有效降低，土壤理化特性状况明显改善，土壤肥力显著提高，同时轮作模式增加了土壤微生物生物量，对土壤微生物数量及其群落组成有明显改善作用，并且轮作也有利于作物根系生长及其对土壤养分的吸收，从而更利于土壤中微生物的生长和繁殖。以上可见，改变以往的种植模式有助于改善土壤微生物环境，从而给克服滁菊连作障碍提供可能。

（2）种植模式与土壤酶活性

在农业生态系统中，由于农业管理措施不同，土壤理化性质、土壤微生物区系和农业植被等均会有明显差异，因而对土壤酶活性产生直接或间接的影响[70]（徐凌飞等，2010）。有研究表明，农业耕作方式也会影响土壤养分的含量并引起土壤酶活性与分布；轮作方式下土壤转化酶、p-葡萄糖营酶、脲酶和磷酸酶活性常高于单作方式下的土壤，因此，土壤酶经常被作为评价种植制度对土壤质量影响程度的生物指标。实践表明，北方旱作农区采用保护性耕作后，可以有效保持土壤水分，改善土壤结构，提高土壤酶活性（殷瑞敬等，2009）[71]。

#### 1.3.2.2 种植模式提高作物产量

轮作后改善了连作土壤的养分状况，土壤的酸碱度得到恢复，提高了土壤质量，从而有效增加了作物产量、品质改善，主要原因是不同作物间根系深浅不同，吸收养分的种类和量的不同，继而达到互补作用[72]（胡凤霞，2013）。赵会纳等[73]研究了烟

-小麦、烟-油菜-红苕-绿肥-烟、玉米-绿肥-烟-绿肥-烟和烟-小麦-玉米-小麦-烟等４种不同轮作模式对烟叶产量和质量的影响，结果表明，不同作物轮作条件下，有效促进烟株生长，从而获得较大的经济效益并提高烟叶品质，多种作物进行轮作下，烟叶综合表现最优。此外，有研究表明，与玉米连作处理相比，玉米-大豆轮作处理在干物质积累、叶面积、叶面积指数及籽粒产量方面均显著提高（周岚等，2013）[74]。

另外，可进行耕翻等耕作措施，适宜秸秆还田，加以水沤，这样可以同时起到除盐、培肥、灭菌等有利作用。刘淑梅等[75]（2014）通过冬小麦和夏玉米两季耕作技术，研究了不同耕作措施（10种）对夏玉米不同生育期土壤全氮、速效钾含量时空变化和产量的影响，结果表明，秸秆还田下，耕作措施显著增加了玉米穗行粒数和百粒重和籽粒产量。

### 1.3.3 Th物防治技术

#### 1.3.3.1 引入有益菌

通常土壤经消毒后，所有生物都被杀死，形成“生物真空”，如果添加有益微生物，可延长对病原生物的控制时间[76](Ślusarski＆Pietr, 2009)。目前添加的有益微生物主要是木霉。例如，通过绿色木霉研制成的生物农药施到田间，能显著抑制北方地区二龄幼虫活性和根结线虫卵的孵化，降低花生重茬病害的发生几率，对大棚甜瓜枯萎病防效达76.08%（庄敬华等，2005）[77]。同时，宋金枝（2014）[78]将放线菌剂

（加州链霉菌、假刺孢链霉菌、肉质链霉菌、密旋链霉菌、1株未定种的链霉菌、球孢链霉菌）施入番茄连作土壤中，发现施入的放线菌均可促进番茄植株鲜质量的增加、根系活力的增长和叶绿素质量分数的提高。李欢等[79]指出接种放线菌制剂Act1可以显著防治连作西瓜枯萎病的发生并改善根际微生物群落组成。此外，研究发现，施加角担子菌B6的活菌丝能够通过改善土壤微生物环境，增强西瓜植株的抵抗力，进而增加产量（肖逸等，2012）[80]。

#### 1.3.3.2 拮抗菌的应用技术

拮抗菌主要是指有效抑制一种或多种致病菌的菌类，其作用机理是通过产生某种抑制致病菌繁殖生长的物质来达到拮抗效果（胡凤霞，2013）[72]，将其以一定方式施入土壤中或与一定的可提高拮抗微生物的活性的有机物质配施，可以降低土壤中病原菌的密度并抑制其活动，从而减轻或避免病害的发生。另外可以通过连续种植某些特定植物获得拮抗菌微生物，继而抑制病原菌的生长，其作用机制是利用单一种植特定作物，形成有利于拮抗菌生长的微环境，使其大量繁殖。前人研究表明，鸡粪淋施复合芽孢杆菌可有效提高成熟蕉果可溶性糖含量、Vc含量，增产效果显著，其枯萎病发病率降至17. 8%，防治效果显著（李国良等，2012）[81]。吴洪生等（2013）研究表明，拮抗菌与有机肥配施能够取代化肥满足黄瓜生长期间的养分需求，能抑制黄瓜病害的发生，发病率比对照处理下降了47.4%，同时黄瓜品质也得到显著提高。陈杰等

（2013）针对马铃薯连作土壤中拮抗放线菌的资源状况筛选出病原立枯丝核菌、２株

马铃薯干腐病病原菌硫色镰刀菌、茄病镰刀菌及马铃薯黄萎病病原大丽轮枝菌等对马铃薯黑痣病有较强拮抗性的放线菌，结果表明，娄彻氏链霉菌孢子粉对马铃薯有促生作用并能提高其抗逆性。

### 1.3.4 选育抗性品种及嫁接技术的应用

抗性育种是解决中药连作障碍问题最有效、最经济的途径，但通过抗病育种的途径来控制连作病害也是非常困难的，因为绝大多数抗病基因只对单一的病原菌、或其某一小种有效，很多时候新的抗病品种也会促进病原菌的抗逆性及新病菌的发展。不同药用植物对逆境的忍受能力不同，选择高抗逆性的品种是克服连作障碍的重要措施

（王田涛，2013）。许多同种药用植物的近缘野生种有良好的抗性，即使连年生长病害发生也较少（张子龙&王文全，2009），因此也可利用分子生物技术进行整合，提高栽培品种的抗病性。

就难于育成抗病品种的药用植物而言，采用瓠瓜、南瓜等抗性砧木进行嫁接栽培，可有效防止多种土传性病害和线虫危害。Michelle等（2006）研究发现选用抗性砧木可有效克服苹果连作障碍，并筛选出CG30和CG6210是较为理想的抗性砧木。同时，嫁接对番茄青枯病、褐色根腐病，黄瓜枯萎病，茄子黄萎病、青枯病、根结线虫、枯萎病等均有显著的防治作用。另外，郝俊杰等（2010）研究指出选取适宜的砧木和接穗嫁接，可以有效地防治棉花黄萎病，降低其发病几率，从而提高连作棉田棉花产量。董林林等（2010）也发现嫁接可以改善黄瓜根表附近微生物种群数量和群落结构，有益菌数量增加显著，土壤酶活性显著增强，从而减轻设施黄瓜的连作障碍。此外，茄子嫁接移植后，其根系分泌物显著抑制了黄萎菌菌落生长，增加了细菌、放线菌数量，增强根际酶活性，继而促进了茄子发芽和幼苗生长（尹玉玲等，2009）。

# **2** 材料与方法

## **2.1** 试验设计

试验于2012年5月20日至2013年11月10日在安徽省滁州市安徽菊泰滁菊草本科技有限公司施集基地进行，该区位于安徽省东北部，淮河中游南岸地区，属典型季节性干旱区。供试土壤为滁菊连作9年土壤。其土质为黄棕壤，质地为砂壤土，立地条件好，其基本理化性质：pH值4.95，有机质含量15.21 g·kg -1，碱解氮含量52.35mg·kg -1，速效磷含量66.33 mg·kg -1，速效钾含量68.28 mg·kg -1。

试验设置3个处理：M1（滁菊连作）、M2（滁菊-小麦轮作）、M3（滁菊-小麦轮作配施生物有机肥），三次重复，随机区组排列。小区面积4×10=40m 2，滁菊行间距为40cm×40cm，各小区间开宽40cm放水渠。

滁菊釆用扦插种植，于2013年5月20日移栽，2013年10月28日采摘滁菊第一水鲜花。定植前每亩基施三元复混肥60 kg(N︰P2O5︰K2O配比为15︰15︰15)；6月上中旬，枝条长至20 cm左右，第一次打顶时，每亩追施13.36kg尿素（含N 46.4%）；7月中旬，第二次打顶时，每亩追施26.72 kg尿素。生物有机肥产自江苏新天地氨基酸肥料有限公司，肥料基本性质：有机质含量≥40%，水分≤30%，全氮（N）2.0%、全磷

（P2O5）3.0%、全钾（K2O）1.9%，功能微生物枯草芽孢杆菌达到108 cfu·g-1。生物有机肥施用量为200kg·667m-2，随基肥一道施入土壤中。病虫害的防治、除草等栽培管理同当地大田滁菊生产。

## **2.2** 样品采集及处理

### 2.2.1 土壤样品

试验于2013年11月10日滁菊采收结束后采集土壤样品，采用“S”型取样法随机采集5点每小区0～20 cm耕层土壤，剔除石砾、可见植物残体等杂物后混匀样品，过2 mm筛并捡去可见有机物，部分样品立即对其进行滁菊土壤微生物量碳、氮和土壤微生物量的测定或放入4℃冰箱内保存；部分样品风干后分别过1和0.25 mm筛用于土壤理化特性及土壤酶活性的测定。

### 2.2.2 滁菊样品

试验于2013年10月28日滁菊盛花期采集滁菊药用部位，具体判别方法如下：滁菊以管状花（花心）散开2/3，花瓣展开呈玉白色，花蕊金黄色，直径约10～15 cm时为采摘适期。滁菊样品采摘后，部分样品立即用于形态指标、可溶性糖及游离氨基酸总量的测定，或置于4℃冰箱内保存。部分样品置于烘箱内105℃杀青10min，60℃烘干用于滁菊黄酮、绿原酸总量的测定。

## **2.3** 项目测定

### 2.3.1 土壤基本理化性状的测定

采用常规方法进行土壤基本理化性状的测定（鲁如坤，2000）：土壤有机质用重铬酸钾-外加热法测定，土壤碱解氮用碱解扩散法测定，土壤速效磷用0.05mol·L -1HCl-

0.025 mol·L -1（1/2H2SO4）法测定，土壤速效钾用NH4OAc浸提-火焰光度法测定；土壤pH用酸度计法测定。

### 2.3.2 土壤微Th物量碳、氮的测定

土样微生物量碳和氮采用氯仿熏蒸-1.0 mol·L -1K2SO4浸提法（Joergensen R G & Muelhr T.1996; Vance E D, et al., 1987）。具体方法如下：

将过筛的新鲜或冷冻土样调节土壤含水量至田间持水量的40%左右，28℃下密闭预培养7~15天。其后，称取培养后的土样15.0g（烘干基重）两份于适中烧杯中，然后将其中一份置于底部有少量水（约100mL）、氢氧化钠和无乙醇氯仿（约80mL，加入少量沸石）的真空干燥器中，抽真空后保持氯仿沸腾5min，于25℃黑暗条件下培养24h。然后，取出氢氧化钠、氯仿，反复抽真空至土壤中氯仿完全去除，同时另一份置于另一个做不熏蒸对照处理。称取10g土样置于盛有40ml 1.0 mol·L -1K2SO4溶液（土水比为1︰4）的150ml三角锥瓶中，震荡30min后过滤，同时做无土壤基质对照，每份土壤重复3次。

浸提液中有机碳是通过取10 mL浸提液和10 mL重铬酸钾-硫酸溶液（加入少量沸石）在油浴消化装置中175℃煮沸10min后，用FeSO4滴定法滴定。微生物量碳BC(mg·kg -1) = Ec/Kc, Kc表示转换系数，为0.38；Ec为熏蒸与未熏蒸土壤中有机碳的差值。

微生物生物量氮采用半微量凯氏定氮法测定。微生物量氮BN(mg·kg -1) =EN/*k*EN，其中EN为熏蒸与未熏蒸土壤氮含量的差值；*k*EN为转换系数，取值0.45。

### 2.3.3 土壤微Th物量的测定

土壤微生物数量采用稀释平板法进行分离测定，其中，细菌数量采用牛肉膏蛋白胨琼脂平板表面涂布法，真菌数量采用马丁氏（Martin）孟加拉红培养基平板表面涂布法，放线菌数量采用改良高氏Ⅰ号合成培养基平板表面涂布法（许光辉&郑洪元，

1986)。

### 2.3.4 土壤酶活性的测定

土壤脲酶活性、过氧化氢酶活性、酸性磷酸酶活性、蔗糖酶活性、蛋白酶的测定分别采用苯酚钠-次氯酸钠比色法、KMnO4滴定法、磷酸苯二钠比色法、3,5 -二硝基水杨酸比色法、茚三酮比色法（关松荫，1986），为减小误差、消除土壤中其它因素的影响，每样重复3次，并做无土对照和无基质对照。脲酶活性以37℃下24 h后每克土NH3-N的毫克数表示（mg NH3-N·g -1·24h -1 37℃），土壤过氧化氢酶活性以常温下20

min后每克土壤消耗的0.1 mol/L KMnO4的毫升数表示（mL 0.1 mol/L KMnO4·g - 1·20min -1 25℃），土壤酸性磷酸酶以37℃下每克土酚的毫克数表示（mg phenol·g -

1・24h -1 37℃），土壤蔗糖酶活性以37℃下24 h后每克土壤产生的葡萄糖毫克数表示

（mg glucose·g -1·24h -1 37℃），土壤蛋白酶活性以30℃下24 h后每克土壤中氨基氮的微克数表示（μg NH3-N·g -1·24h -1 30℃）。

### 2.3.5 滁菊形态指标的测定

2013年10月28日、11月5日分两次到试验小区采收菊花，现场称重（鲜重），

分小区累计产量。同时，从每小区随机选取20株滁菊对其植株植物学性状包括株高、分枝数、花头数等形态指标进行测定。

于盛花期采摘小区舌状花、管状花全部开放的滁菊20朵，立即进行花序直径、舌状花数量、外轮瓣长、内轮瓣长、管状花直径等花序性状指标的测定。

### 2.3.6 滁菊品质的测定

#### 2.3.6.1 总黄酮的测定

待测液制备：精密称取0.5 g（精确至0.0001g）研磨过筛的滁菊样品，加入

20mL75%的乙醇，在80℃水浴上浸提1.5 h，稍冷过滤，滤渣加入20 mL75%的乙醇，

继续在水浴上浸提1.0 h，稍冷过滤，滤渣加入20 mL75%的乙醇在水浴上浸提0.5 h，最后用少许75%的乙醇反复漂洗残渣，合并滤液冷却后定容于50 ml容量瓶中，冷藏保存待测。

标准曲线制作：精密称取卢丁标准品50mg，用甲醇溶解后定容至50mL容量瓶中，摇匀备用。精密吸取0、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0与5.0 mL分别置于20 mL容量瓶中，加水至5.0 ml，加5%亚硝酸钠溶液0.8 ml，摇匀，静置6 min；加10%硝酸铝溶液0.8ml，摇匀放置6min；加10%氢氧化钠容液8.0ml，最后加蒸馏水至刻度，摇匀，静置15 min后以第一管为空白对照，置比色皿中于512 nm波长处测定吸光度值。以吸光度值为横坐标，浓度（μg・mL-1）为纵坐标，绘制标准曲线。

滁菊样品测定：精密吸取1 mL待测液置于20ml容量瓶中，各加水至5.0ml，加

5%亚硝酸钠溶液0.8ml，摇匀，放置6min；加10%硝酸铝溶液0.8ml，摇匀，放置

6min，加10%氢氧化钠溶液8.0ml，加水至刻度，摇匀，放置15min后，以空白为对照，在512nm 波长处测定吸收度，通过标准曲线，可求得黄酮的含量（李鹏，

2004)。

#### 2.3.6.2 绿原酸的测定

待测液制备：精密称取0.3 g（精确至0.0001g）研磨过筛的滁菊样品，置于100

ml三角锥瓶中，加无水乙醇50 ml，超声处理30min，初滤液弃除，将再次过滤的滤液存于密封容器中，冷藏备用。

标准曲线制作：精密称取绿原酸标准品5 mg，用无水乙醇溶解至100 ml量瓶中，并稀释至刻度，精密量取标准溶液0 mL、1.0 mL、1.5 mL、2.0 mL、2.5 mL、3.0

mL、3.5 mL和4.0 ml置于10 ml容量瓶中，加无水乙醇稀释至刻度并摇匀，以乙醇为空白，于328 nm波长处测定吸光度值（A）。以吸光度值为横坐标，浓度（μg・mL-1）为纵坐标，绘制标准曲线。

滁菊样品测定：精密量取待测液1 ml置于10ml量瓶中，用无水乙醇定容至刻度，摇匀。以无水乙醇为空白，在328nm波长处测定各待测液的吸光度（A），根据标准曲线计算绿原酸含量（陈勇敢等，2003）。

#### 2.3.6.3 可溶性糖、游离氨基酸总量的测定

滁菊中可溶性糖含量、游离氨基酸总量分别采用蒽酮比色法、茚三酮比色法测定

（李合生，2000）。

## **2.4** 数据分析与处理

用DPS v7.05软件分析数据，用最小显著性差异法（LSD）进行平均数显著性检验，用Excel 2007软件作图。

# **3** 结果与分析

## **3.1** 种植模式对土壤理化特性的影响

土壤有机质是土壤中来源于动、植物（也包含微生物）的有机物质（不包含土壤矿物质）。土壤有机质也是土壤中最活跃的成分，土壤有机质的含量与土壤肥力有着密切联系，是土壤肥力的重要物质基础，对土壤的物理、化学性状和生物特性的影响极大。同时有机质也可以改善土壤物理性质，改良[土壤结构](http://baike.baidu.com/view/812060.htm)，促进团粒状结构的形成，从而增加土壤的疏松性，改善土壤的通气性和透水性。另外，土壤有机质是土壤微生物生命活动所需养分和能量的主要来源。因此，通过保持和提高土壤中有机质含量是大多数耕作土壤培肥的最重要措施之一。

由表1可以看出，各种植模式处理的有机质含量差异性达到极显著水平。与M1处理相比，M2处理的有机质含量提高了2.21%，差异不显著；M3处理的有机质含量提

高了7.26%，差异显著且达到极显著水平。另外，M3处理比M2处理的有机质含量提高了4.97%，差异达到极显著水平。说明菊麦轮作和菊麦轮作配施生物有机肥模式均可有效提高滁菊土壤中有机质含量，增加碳源。

表1 种植模式对滁菊土壤理化特性的影响

Tabel.1 Effects of planting modes on physicochemical properties in *Chuju* soil

| 处理  Treatment | 有机质  Organic matter  /(g·kg -1) | 碱解氮  Available N  /(mg·kg -1) | 速效磷  Available P  /(mg·kg -1) | 速效钾  Available K  /(mg·kg -1) | PH pH value |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| M1 | 14.56±0.05Bb | 50.17±2.02Bb | 68.92±4.68Bc | 50.49±1.66Bc | 4.69±0.07Ab |
| M2 | 14.88±0.23Bb | 55.17±2.36ABb | 78.04±2.80Ab | 61.77±2.97Bb | 4.81±0.01Aab |
| M3 | 15.62±0.35Aa | 64.75±2.92Aa | 83.26±0.64Aa | 96.72±6.41Aa | 4.98±0.20Aa |

注：表中不同大写字母、小写字母分别表示极显著(P<0.01)和差异显著（P<0.05），下同。

Note: Different capital letters and small letters in the table meant significant difference at 0.01 and 0.05 levels, respectively. And the same below.

就滁菊土壤中含氮量而言，各种植模式处理土壤碱解氮含量呈不同变化，与M1处理相比，M2处理的碱解氮含量提高了9.97%，差异不显著；M3处理的碱解氮含量提高了29.06%，差异达到极显著水平。且M3处理比M2处理的碱解氮含量显著提高了17.36%。上述结果表明，通过进行菊麦轮作配施生物有机肥可以显著提高滁菊土壤碱解氮含量，其原因是土壤微生物量、有机物质大量增加，改善了土壤微生物结构，进而滁菊土壤中含氮量进一步显著提高；另一方面，菊麦轮作滁菊土壤的碱解氮含量没有显著增加，可能是由于下季小麦种植吸收部分养分，造成部分单一养分缺失。

就滁菊土壤中含磷量而言，不同处理间滁菊土壤速效磷含量差异显著，其大小顺序均为M3﹥M2﹥M1，M3模式土壤速效磷含量达到83.26 mg·kg -1。说明，菊麦轮作有利于改善连作土壤中磷素利用状况，提高土壤磷素水平，改善土壤质量，菊麦轮作配施生物有机肥情况下表现更佳。

就滁菊土壤中含钾量而言，不同处理间滁菊土壤速效钾含量差异达到极显著水平，其大小顺序为M3﹥M2﹥M1。表明，采用菊麦轮作的种植方式可以有效提高土壤速效钾含量，造成这种差异的原因可能是，菊麦轮作模式和生物有机肥的施入，有利于土壤肥力和微生物群落结构改善。

土壤pH影响土壤矿质养分的矿化，从而影响植物根系对养分的吸收和利用（郑良永等，2005；高群等，2006）。另外，pH值的降低导致H+、铝、锰对土壤的毒害作用加重，镁、锌、钼、磷、钙等元素也容易缺乏，从而抑制作物生长，使病虫害增多

（郭晓冬，2003）。由表1可以看出，与M1模式相比，M2、M3模式的土壤pH分别提高了2.56%（差异不显著）、6.18%（P<0.05）。上述结果说明菊麦轮作可一定程度上改善滁菊连作土壤酸碱度，且在菊麦轮作配施生物有机肥情况下，连作土壤酸化改善效果最佳。

## **3.2** 种植模式对土壤微**Th**物量碳、氮的影响

### 3.2.1 对微Th物量碳氮的影响

土壤微生物量碳、氮在土壤中的数量极少，但它是土壤中最活跃的组分之一，是土壤有机养分的活性部分，是土壤活性大小的标志，其大小反映土壤生物活性、土壤有效养分状况、土壤同化矿化能力，也在很大程度上反映土壤微生物数量，是评价土壤微生物数量和活性、土壤肥力的重要指标之一（Nsabimana D, et al., 2004;马晓霞等, 2012）。另外土壤SMBC是土壤有机碳的灵敏指示因子，土壤SMBN是土壤氮素矿化势的重要组成部分，是土壤微生物对氮素矿化与固持作用的综合体现（肖新等，

2013；王光华等，2007）。

表2 种植模式对滁菊土壤微生物量碳、氮的影响

Tabel.2 Effects of planting modes on SMBC and SMBN in *Chuju* soil

| 处理  Treatment | 微生物量碳  SMBC/(mg·kg -1) | 微生物量氮  SMBN/(mg·kg -1) | SMBC/SMBN | 微生物熵  qMB/% |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| M1 | 173.69±1.75Cc | 24.82±0.44Bc | 7.00±0.16Aa | 2.06±0.02Bc |
| M2 | 191.23±7.10Bb | 28.90±1.65Bb | 6.64±0.59Aa | 2.22±0.10ABb |
| M3 | 217.40±3.78Aa | 38.41±0.47Aa | 5.66±0.04Ab | 2.40±0.08Aa |

研究结果表明，不同种植模式处理对滁菊土壤微生物量碳的影响达到极显著水平，对滁菊土壤微生物量氮有显著影响。不同处理滁菊土壤微生物量碳的变化介于173.69~217.40mg·kg -1之间，微生物量氮的变化介于24.82~38.41mg·kg -1之间。与M1模式相比，M2模式、M3模式的土壤微生物量C分别增加了10.10%（P﹤0.01）、

25.17%(P﹤0.01)，M2模式、M3模式的土壤微生物量N分别增加了16.44%（P﹤

0.05）、54.75%（P﹤0.01），表明采用菊麦轮作模式能够显著提高滁菊土壤的微生物量碳、氮的含量。其原因是由于菊麦轮作后，土壤微生物区系结构发生改变，继而加速了土壤中有机质的分解，促进腐殖质的形成，为微生物生长提供了足够的营养成分。另外，与M2模式相比，M3模式滁菊土壤微生物量碳氮增加幅度较大。可能是由于土壤微生物在其生命活动过程需要消耗一定的能量，菊麦轮作的植物残体和根系增

加，加之增施生物有机肥，为滁菊土壤中微生物提供了大量的有机物质及种类，促使土壤微生物的大量繁衍，使其生命活动旺盛。

### 3.2.2 对微Th物量碳氮比的影响

土壤的SMBC/SMBN值可以表征微生物的群落结构特征，其显著的变化喻示着土壤中微生物量较高可能是微生物群落结构发生变化，也有研究表明，土壤的

SMBC/SMBN值低，则群落中细菌数量较大，即土壤微生物种类以细菌为主，其土壤的SMBC/SMBN一般为3~5；反之真菌数量较大，即土壤微生物种类以真菌为主，其土壤的SMBC/SMBN一般为5.5~15（白震等, 2008; Vries F T, et al. 2006; Wardle D A. 1998）。

由表2可以看出，M1模式的土壤SMBC/SMBN值为7.00，表明滁菊连作条件下，其土壤微生物群落结构已由高肥的“细菌型”转变为低肥的“真菌型”，这与众多前人（华菊玲等，2012；廖海兵等，2011）研究结果相一致。与M1模式处理相比，M2模式、M3模式的SMBC/SMBN值分别降低了5.14%（差异不显著）、19.14%

（P﹤0.05）。说明菊麦轮作可以降低连作土壤SMBC/SMBN值；菊麦轮作配施生物有机肥可有效改善连作土壤微生物群落结构特征。

### 3.2.3 对微Th物熵的影响

微生物熵（SMBC/SOC或*q*MB）是指土壤微生物量碳（SMBC）与土壤总有机碳

（SOC）的比值（张帆等，2009），充分反映了土壤中输入的有机质向微生物量碳的转化效率、土壤中活性有机碳所占的比例、土壤中碳损失和土壤矿物对有机质的固定

（Sparling G P.1992），从微生物学的角度揭示土壤肥力的差异。有研究者认为可以将微生物熵作为土壤过程或土壤质量的变化的表征指标，因为，它能够避免在使用有机质含量或某一绝对量比较不同的土壤时出现的一些相关问题，比单独应用土壤总有机碳或土壤微生物量碳更加有效（张帆等，2009；宇万太等，2007）。目前已有部分国内外研究表明微生物熵可以作为土壤质量和土壤碳动态研究的有效指标（宇万太等, 2007; Liu S L, et al.2006）。

不同处理间的土壤微生物熵差异显著，其大小顺序是M3﹥M2﹥M1，其变化趋势与土壤微生物量碳较为相似，这与前人等（刘恩科等，2007）研究结果一致。另外，本项试验条件下，土壤微生物熵变化范围为2.06％～2.40％，与国内外同类研究

（2％～5％）相同（表2）。上述结果说明菊麦轮作可以改善滁菊连作土壤质量，提高土壤中微生物对有机碳利用，且有机物质的投入能提高土壤微生物熵。

## **3.3** 种植模式对土壤微**Th**物数量的影响

土壤微生物是土壤养分和有机质（C、N、P、K、S等）转化和循环的动力来源，并参与有机质的分解、腐殖质的形成，调控土壤中能量和养分循环等生化过程

（Nsabimana D, et al., 2004）。土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分之一，微生物数量、种类及其变化反映了土壤有机碳的矿化速度及各种养分的存在状态，是评价土壤肥力大小及其变化的重要依据之一。土壤微生物的种群和数量易受耕作措施、水肥管理和外界环境条件的变化等方面的影响。故而，土壤微生物的种类和数量的变化也是造成药用植物连作障碍重要因素之一。

### 3.3.1 对细菌的影响

细菌是土壤微生物重要组成部分。研究结果表明，不同种植模式处理间土壤中细菌数量差异达到显著水平。与M1模式相比，M2模式、M3模式的细菌数量提高了

37.67%(P＜0.05)、66.49%（P＜0.01）。说明，菊麦轮作可以显著提高滁菊连作土壤细菌含量，特别是在配施生物有机肥的条件下，其原因能是由于生物有机肥的施入，增加土壤中可利用碳的含量，提高土壤中细菌的含量与比例。

表3 种植模式对滁菊土壤微生物数量的影响

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 处理  Treatment | 细菌  Quantity of bacterium  /(106 cfu·g -1) | 真菌  Quantity of fungus  /(103 cfu·g -1) | 放线菌  Quantity of actinomycete  /(105 cfu·g -1) | 三大菌总数  Total quantity  /(106 cfu·g -1) |
| M1 | 13.40±1.73Bc | 46.08±1.44Bb | 11.75±1.08Cc | 14.62±1.83Bc |
| M2 | 18.45±0.80ABb | 42.66±1.4 2Bb | 13.85±0.35Bb | 19.88±0.83ABb |
| M3 | 22.31±1.14Aa | 56.36±2.02Aa | 15.90±1.23Aa | 23.95±1.02Aa |

Tabel.3 Effects of planting modes on microorganism in *Chuju* soil

### 3.3.2 对真菌的影响

就土壤中真菌数量而言，不同种植模式对土壤真菌含量影响有所差异。与M1模式相比，M2模式的土壤真菌数量降低了7.42%，差异不显著，表明菊麦轮作可一定程度上抑制连作土壤真菌的生长，可能是土壤pH的升高，不利于土壤中真菌的生长；

M3模式土壤真菌数量提高了22.31%，说明菊麦轮作配施生物有机肥促进了连作土壤中真菌的繁殖。

### 3.3.3 对放线菌的影响

放线菌是3 大菌群中介于细菌和放线菌的过度类群，所占比例土壤微生物比例为

6.64%~8.04%。各模式土壤放线菌数量的变化与细菌数量的变化趋势相同，分别较M1

增加了17.87%(P＜0.01)、35.32%（P＜0.01）。

就微生物总量及其组成上来看（表3），各种植模式处理土壤微生物总量上均以细菌为主，占其总量的91.64%~93.13%；放线菌次之，占其总量的6.64%~8.04%；真菌最少，仅占0.21%~0.32%。从3大菌群的增加量上来看，土壤细菌数量的增加量明显高于土壤中真菌、放线菌的增加量，表明细菌较真菌和放线菌对耕作措施、肥料管理等方面较为敏感。

## **3.4** 种植模式对土壤酶活性的影响

土壤酶来自土壤微生物、植物和动物活体或残体，是土壤生化过程的产物，在土壤生态系统的物质循环和能量流动方面起重要作用（杨万勤等，2002）。土壤酶活性与土壤粘粒含量、土壤水分特性、土壤微生物数量及土壤养分含量等密切相关（刘新建，2008）。土壤酶作为表征土壤肥力重要指标之一，其对土壤环境或管理因素引起的变化较为敏感（曹慧等，2002），土壤环境某一方面微小的变化都有可能影响土壤酶的空间变异和生物活性的变化。可见，土壤酶活性可以作为土壤质量的评价指标。

### 3.4.1 对滁菊土壤脲酶的影响

脲酶，即，尿素水解酶，是由众多土壤微生物分泌出的一类含镍（Ni）金属酶。其主要作用是参与尿素形态转换，促进尿素的分解，并在水的参与下，将尿素分解为碳酸铵，进而解离为氨（NH3）和碳酸，其活性通常与土壤微生物数量、土壤有机质、土壤全氮和碱解氮等指标相关。图1显示，种植模式对滁菊连作土壤脲酶活性有极显著的影响。以M3 模式土壤脲酶活性最高，达0.91 mg NH3-N ·g -1·24h -1 ，M2 模式其次，M1模式最低；与M1模式相比，M2模式、M3模式的土壤酶活性分别提高了

4.48%(P＜0.01)、12.10%（P＜0.01）。上述结果表明，采用菊麦轮作的种植制度可有效提高滁菊连作土壤脲酶活性；菊麦轮作下，将无机肥和生物有机肥配合施入田间，滁菊连作土壤脲酶活性改善效果最佳。

1

0.9

0.8

0.7

脲酶

Urease/(mg·g -1)

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0



Aa

Bb

Cc

M1 M2 M3

处理Treatment

图1 种植模式对滁菊土壤脲酶活性的影响

Fig. 1 Effects of planting modes on urease in*Chuju* soil

### 3.4.2 对滁菊土壤过氧化氢酶的影响

过氧化氢酶，除不存在于多数厌氧菌和少数好氧菌中外，广泛存在于其他生物体内和土壤中，主要来源于生物呼吸过程和有机物的各种生物化学氧化反应产物。主要功能是将细胞因代谢产生的过氧化氢快速分解成水和二氧化碳，从而减轻活性氧对植物和土壤的毒害(Fugen Dou, et al., 2007)。过氧化氢酶活性强度大小与土壤有机质的转化速度有密切关系，一定程度反映了土壤氧化还原能力的大小。



Aa

ABb

Bb

1.2

1

过氧化氢酶

Hydrogen peroxidase/(ml·g -1)

0.8

0.6

0.4

0.2

0

M1 M2 M3

处理Treatment

图2 种植模式对滁菊土壤过氧化氢酶活性的影响

Fig. 2 Effects of planting modes on hydrogen peroxidase in*Chuju* soil

过氧化氢酶活性大小一定程度上反映了土壤生态环境的胁迫程度。本研究表明，不同种植模式处理对滁菊土壤过氧化氢酶活性的影响差异显著。与连作处理相比，菊麦轮作处理、菊麦轮作配施生物有机肥处理土壤的过氧化氢酶分别降低了13.74%（P

＜0.05）、24.65%（P＜0.01）。与M2模式相比，M3模式的土壤过氧化氢酶活性降低了，差异不显著（图2）。上述结果表明，菊麦轮作可有效抑制连作土壤过氧化氢酶活性，特别是在无机肥与生物有机肥配施条件下，减少对滁菊的危害；与菊麦轮作处理相比，菊麦轮作配施生物有机肥处理一定程度上抑制了土壤过氧化氢酶活性，这与前人（刘恩科等，2008；李娟等，2008）研究结果相似。

### 3.4.3 对滁菊土壤蔗糖酶的影响

蔗糖酶又名转化酶，可以酶促土壤中蔗糖水解成果糖和葡萄糖，其活性可以反映土壤中碳的转化和呼吸强度，可作为评价土壤熟化程度和土壤肥力水平的重要指标之一，其与土壤有机质含量、养分含量（N、P等）、微生物数量和土壤呼吸强度有关。蔗糖酶活性高，表明土壤生物活性较高，土壤肥力状况良好。



Aa

Bb

Cc

35

30

25

蔗糖酶

Invertase/(mg·g -1)

20

15

10

5

0

M1 M2 M3

处理Treatment

图3 种植模式对滁菊土壤蔗糖酶活性的影响

Fig. 3 Effects of planting modes on invertase in*Chuju* soil

由图3可以看出，不同种植模式对滁菊土壤蔗糖酶活性的影响差异极显著。与M1

模式相比，M2、M3模式土壤蔗糖酶活性分别提高了25.76%(P＜0.01)、53.38%（P

＜0.01），以M3模式土壤蔗糖酶活性最强，达29.32 mg glucose·g -1·24h -1。上述结果表明，菊麦轮作可有效提高滁菊连作土壤蔗糖酶活性，以菊麦轮作配施生物有机肥处理，改善效果最佳，可能原因是菊麦轮作后，滁菊土壤微生物群落多样性有效提高，另外，施入生物有机肥后，为土壤提供了大量的微生物，土壤环境得到改善。

### 3.4.4 对滁菊土壤酸性磷酸酶的影响

磷酸酶，是一类催化水解土壤有机磷化合物的酶，其活性高低直接影响着土壤中有机磷类化合物的分解转化及其生物有效性，因此其大小反映了土壤特性特别是有效性磷素水平。通过提高土壤磷酸酶活性，以提高土壤磷素的生物有效性对科学合理高效施用磷肥有一定的实践意义。



Aa

Bb

Cc

1.3

1.2

酸性磷酸酶

Acid Phosphatase/(mg·g -1)

1.1

1

0.9

0.8

0.7

0.6

M1 M2 M3

处理Treatment

图4 种植模式对滁菊土壤酸性磷酸酶活性的影响

Fig. 4 Effects of planting modes on acid phosphatase in*Chuju* soil

土壤中磷酸酶根据其最适酸碱度分为酸性磷酸酶、中性磷酸酶和碱性磷酸酶，因为在本试验条件下土壤pH为酸性，故而仅测定酸性磷酸酶。研究表明，不同种植模式

对滁菊土壤酸性磷酸酶活性的影响差异达到极显著水平，其变化趋势和土壤蔗糖酶活性相同，大小顺序为M3＞M2＞M1（图4）。说明菊麦轮作，特别是在配施生物有机肥情况下，可以有效地改善了滁菊连作土壤的不足，有利于土壤微生物生态功能的发挥。

### 3.4.5 对滁菊土壤蛋白酶的影响

蛋白酶能够参与土壤中存在的氨基酸以及其他含蛋白质氮的有机化合物的转化、调节生物的氮素代谢，其水解产物是作物的重要氮源之一，也是促进土壤氮循环的重要组分之一（Kamlmura Y& Hayano K, 2000）。土壤中的蛋白酶由于植物根系分泌和动植物残体的分解以及微生物活动等生物活动慢慢富集起来形成一种重要的具有离体活性的胞外酶，并参与土壤的氮素循环，因此土壤蛋白酶活性大小可以一定程度上反映土壤的环境质量状况（高晓玲等，2013）。



Bb

Aa

Bc

70

60

50

蛋白酶

Protease/(μg·g -1)

40

30

20

10

0

M1 M2 M3

处理Treatment

图5 种植模式对滁菊土壤蛋白酶活性的影响

Fig. 5 Effects of planting modes on protease in*Chuju* soil

由图5可以看出，不同种植模式间土壤蛋白酶活性差异显著。其中，与M1模式相比，M2、M3 模式土壤蛋白酶活性显著提高了13.90%(P＜0.05)、24.83%（P＜

0.01）；与菊麦轮作处理相比，菊麦轮作配施生物有机肥处理土壤蛋白酶活性提高了

9.59%，差异极显著。上述结果说明，菊麦轮作可以显著提高滁菊连作土壤蛋白酶活性，可以作为指示耕作制度的变化的一项重要指标；增施生物有机肥可有效提高土壤蛋白酶活性，这与张威等（2008）研究结果相一致，究其原因可能是生物有机肥的施入，为土壤提供了大量的酶，同时也增加了底物。

## **3.5** 种植模式对滁菊品质的影响

### 3.5.1 对滁菊中总黄酮的影响

黄酮类化合物具有多方面的化学活性，抵抗动脉硬化，降低人体胆固醇，还具有解痉和防辐射作用。另外，其在生物体内有防癌抗癌、预防心血管疾病、调节免疫、抗衰老、抗菌抗病毒、止血阵痛、抗炎抗过敏等诸多功效，医学价值很高，现已列为保健食品的极为重要的一类功能因子（李楠等，2005）。故而，菊花中总黄酮的含量是评价菊花质量的最重要的指标。



ABa

Aa

Bb

50

45

40

35

黄酮

Flavonoids/(mg·g -1)

30

25

20

15

10

5

0

M1 M2 M3

处理Treatment

图6 种植模式对滁菊中总黄酮含量的影响

Fig. 6 Effects of planting modes on flavonoids in*Chuju*

由图6可以看出，各种植模式对滁菊中总黄酮含量的影响达到显著水平。与M1模式相比，M2模式、M3模式的滁菊总黄酮含量提高了6.66%(P＜0.05)、11.69%（P

＜0.01），M3模式最优，滁菊总黄酮含量达到42.59mg·g-1；菊麦轮作下，不同施肥处理间差异不显著。结果表明，菊麦轮作可以显著提高滁菊总黄酮含量，适宜增施生物有机肥，改善微生物群落结构，增加滁菊次生代谢产物，从而提高滁菊花品质。

### 3.5.2 对滁菊中绿原酸的影响

绿原酸是一种重要的生物活性物质，具有抗菌抗病毒、抗炎抗氧化保肝利胆、抗肿瘤、扩冠、降血脂降血压、增高白血球、及兴奋中枢神经系统等多种药理作用。

（刘军海&裘爱泳，2003；张鞍灵等，2001）。因此，《中华人民共和国药典》（一部）2005版将绿原酸作为菊花质量的评价指标之一。



Aa

Bb

ABb

3

2.5

2

绿原酸

Chlorogenic acid/(mg·g -1)

1.5

1

0.5

0

M1 M2 M3

处理Treatment

图7 种植模式对滁菊中绿原酸总量的影响

Fig. 7 Effects of planting modes on chlorogenic acid in*Chuju*

研究表明，不同种植模式对滁菊中绿原酸总量的影响有所差异。与M1模式相比，M2、M3模式滁菊中绿原酸总量分别提高了9.02%（差异不显著）、36.31%（差异极显著）；与菊麦轮作处理相比，菊麦轮作配施生物有机肥的绿原酸含量显著提高了25.04%；另外，除滁菊连作处理外，菊麦轮作处理菊花绿原酸含量均达到《中国药典》2005年版一部中规定的标准（≥2mg·g-1），以M3模式滁菊绿原酸含量最高，达

2.52 mg·g-1 .

### 3.5.3 对滁菊中可溶性糖的影响

碳水化合物主要以可溶性糖的形式进行直接运转和利用，可溶性糖在植物碳代谢中具有重要作用，其含量大小可反映植株体内碳水化合物的合成与运输的状况及植株碳素营养状况（韩旭&宋述尧，2009；刘浩荣等，2007）。

由图8可以看出，不同种植模式的滁菊可溶性糖含量差异有所不同。不同种植模式的可溶性糖含量在3.12~4.04mg·g-1之间，以M3模式最高，且显著高于其他模式；相同施肥条件下，与滁菊连作相比，菊麦轮作处理的可溶性糖提高了18.35%，差异不显著。上述结果表明，菊麦轮作可以一定程度上提高连作滁菊可溶性糖含量，增施生物有机肥有利于提高可溶性糖的含量。

5

4.5

4

可溶性糖

Soluble sugar/(mg·g -1)

3.5

3

2.5

2

1.5

1

0.5

0



Aa

Aab

Ab

M1 M2 M3

处理Treatment

图8 种植模式对滁菊中可溶性糖的影响

Fig. 8 Effects of planting modes on soluble sugar in*Chuju*

### 3.5.4 对滁菊中游离氨基酸总量的影响

游离氨基酸是植株氮类化化物的主要存在形式，对源库间氮素分配、运转、再分配起着极为重要作用，同时也是合成蛋白质的原料，其含量大小可以一定程度上反映植株体内氮代谢状况（张军等，2006；宋小林等，2010）。研究表明，不同种植模式对滁菊游离氨基酸总量的影响差异极显著，其大小顺序为M3＞M2＞M1，M3滁菊游离氨基酸总量达到73.33 mg·100g-1。表明菊麦轮作可有效提高滁菊游离氨基酸总量，增施生物有机肥促进菊花中蛋白质的合成，提高菊花蛋白质含量。



Aa

Bb

Cc

90

80

70

游离氨基酸总量

Free amino acid /(mg·100g -1)

60

50

40

30

20

10

0

图9 种植模式对滁菊中游离氨基酸总量的影响

Fig. 9 Effects of planting modes on free amino acid in*Chuju*

## **3.6** 种植模式对滁菊产量性状的影响

### 3.6.1 对滁菊花序性状的影响

由表4可以看出，与M1模式相比，M3模式滁菊舌状花数量、花序直径、外轮瓣宽、管状花直径均显著增加，外轮瓣长有一定程度的增加；与菊麦轮作相比，菊麦轮作配施生物有机肥处理的滁菊菊舌状花数量、花序直径、外轮瓣长、外轮瓣宽、管状花直径均有不同程度的增加，对舌状花数量影响达到显著水平，M3处理达到179.56个。

表4 种植模式对滁菊花序性状的影响

Tabel.4 Effects of planting modes on flower characters of *Chuju*

| 处理  Treatment | 舌状花数量  Quantitative of ray floret | 花序直径  Inflorescence diameter  /cm | 外轮瓣长  Length of outer flap  /cm | 外轮瓣宽  Wide of outer flap  /cm | 管状花直径  Diameter of tubular floret  /cm |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| M1 | 106.17±9.70Bc | 5.09±0.13Ab | 2.27±0.12Aa | 0.61±0.03Ab | 1.30±0.08Bb |
| M2 | 149.00±15.17ABb | 5.34±0.15Aab | 2.33±0.09Aa | 0.63±0.02Aab | 1.36±0.04ABab |
| M3 | 179.56±15.01Aa | 5.57±0.17Aa | 2.40±0.17Aa | 0.65±0.05Aa | 1.43±0.04Aa |

### 3.6.2 对滁菊植株形态、产量的影响

与滁菊连作（M1）相比，M2、M3模式分别增产16.20%和28.22%。统计分析结果表明，菊麦轮作菊花产量、菊麦轮作配施生物有机肥均极显著高于滁菊连作（表5）；各处理的花头数和单株花鲜质量变化趋势与产量一致，均已M3模式最高，分别达330.00朵·株-1、113.29g·株-1；与M1相比，M2、M3模式的株高和分支数均有不同程度的增加，均以M3模式最高。上述结果表明，菊麦轮作下，特别是在配施生物有机肥条件下，因为土壤肥力改善，促进滁菊生长，分支增加，从而提高菊花产量。

表5 种植模式对滁菊植株形态及产量的影响

Tabel.5 Effects of planting modes on plant morphology of *Chuju* and yield

| 处理  Treatment | 株高  Plant height  /cm | 分支数  Branch | 花头数  Number of flower  /(朵·株-1) | 单株花鲜质量  Fresh weight of flower per plant/(g·株-1) | 产量  Yield  /(kg·667m-2) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| M1 | 70.98±2.69Bb | 27.87±3.96Bb | 158.33±18.09Bc | 76.16±4.92 Bc | 312.7±8.1Cc |
| M2 | 74.63±0.99Bb | 33.13±1.85ABa | 251.67±33.94ABb | 93.68±2.44ABb | 363.3±12.6Bb |
| M3 | 85.94±4.40Aa | 36.10±1.90Aa | 330.00±26.34Aa | 113.29±5.11Aa | 400.9±11.1Aa |

# **4** 讨论

## **4.1** 种植模式与土壤理化性状

土壤养分偏耗、理化性状恶化是引发药用植物连作障碍的重要原因。大量研究表明，改善药用植物连作模式，轮作及间套作可以改善土壤肥力，减少土壤酸性板结、盐渍化等现象。如，李银平等（2010）研究表明，采用春麦复播绿肥、直播绿肥等方式均能土壤的有机质、速效磷、速效钾含量，而且沙打旺、油葵绿肥对土壤有较强的富磷和富钾作用。在连作菜田进行蔬菜套作玉米种植，由于蔬菜套作玉利用了不同层次土壤养分，避免了蔬菜对单一土壤养分的过度消耗，有效地提高作物产量（张洁莹等，2013）。另外，闵红等（2011）研究发现蔬菜连作造成土壤质量下降，轮作条件下，土壤微生物数量大量增加，微生物群落结构改善，土壤肥力状况良好。

不同轮作制度对改善连作土壤中有机质含量影响不同，黄瓜-大葱、黄瓜-豇豆轮作均可提高连作土壤中有机质含量，但差异性不显著；黄瓜-糯玉米、黄瓜-番茄轮作与连作处理间差异不显著（吴焕涛，2008）在本试验条件下，菊麦轮作可一定程度上提高土壤有机质含量，但差异不显著，可能是因为小麦生长需求大量养分，能够降低土壤中多余的养分；与M1、M2模式相比，M3模式的土壤有机质含量均显著增加，究其原因可能是有机物质施入土壤中后，在作物根系分泌物和土壤微生物的共同作用下逐渐分解转化，部分则转化为腐殖质，进而有机质含量增加，这与大多前人研究结果相一致（王立刚等，2004；王玉等，2011；宇万太等，2009）。

单英杰&章明奎（2011）针对浙东滨海平原蔬菜连作土壤研究表明，土壤中速效

N、P相对与连作处理均有所增加，土壤质量明显改善。李军营等（2012）研究也表明，施用有机肥，植烟土壤中的碱解氮、速效磷和速效钾均得到了提高，土壤容重下降，土壤肥力提高。本试验条件下，菊麦轮作可显著提高滁菊连作土壤中的速效P、K含量，对连作土壤的碱解氮的含量影响差异不显著，这与李银平等（2010）研究结果相符，造成这种差异的原因可能是相对于P、K，作物需N量较大，加之轮作后，小麦生长快速降低土壤中多余养分含量。另外，与菊麦连作处理相比，菊麦轮作配施生物有机肥处理可以有效提高连作土壤速效N、P、K含量，主要原因是生物有机肥的施入提高了土壤微生物的种群数量和多样性指数，促进土壤结构改善，增进肥力。

前人（王飞等，2013；张子龙&王文全，2009）大多研究结果表明，土壤酸化是连作障碍发生的重要原因之一，因此改善土壤酸化是克服滁菊连作障碍重要措施。本试

验条件下，菊麦轮作一定程度上可以降低连作土壤pH，在菊麦轮作配施生物有机肥情况下表现显著。胡凤霞（2013）也证明合理轮作有利于降低土壤降低土壤容重，进而减少土壤EC值，从而对酸性土壤也有一定的改善作用；众多研究（刘国顺等，2005；肖辉，2014；李军营等，2012）也表明，施用有机肥可以延缓土壤壤盐分累积速度，避免土壤酸化。

## **4.2** 种植模式与土壤微Th物

岳冰冰等（2013）在研究连作对烤烟土壤微生物功能多样中发现，黑龙江烤烟连作降低了土壤微生物的种群多样性和功能多样性，微生物群落结构破坏，而且随连作年限增加，土壤微生物的多样性恶化。因此土壤微生物已成为药用植物连作障碍的主要因子之一，其群落结构大概反映了土壤质量水平（胡凤霞，2013）。

单鸿宾等（2010）等研究表明，随着连作年限的延长，棉花连作土壤微生物量碳氮含量呈先增加后降低的趋势。在对不同滁菊种植模式研究中表明：不同种植模式处理均可以显著提高滁菊连作土壤中微生物量碳、氮含量及微生物熵。前人针对轮作及间套作下土壤微生物量碳氮的研究有很大差异，如戴建军等（2013）研究发现，大豆连作和玉米连作的土壤微生物量碳、氮均高于大豆-玉米轮作；在前茬为玉米的土壤处理中，大豆-玉米混作的土壤微生物量氮显著高于单作大豆和单作玉米的处理。官会林等（2010）研究表明绿-烟和豆-烟复种模式下，植烟土壤微生物量碳显著高于冬闲连作地。可见，土壤微生物量碳氮的变化与种植制度、作物连作年限、作物种类等多因素有关，对于其内在原因还有待于进一步研究。另外，菊麦轮作配施生物有机肥可有效提高连作土壤微生物量碳氮及微生物熵，SMBC/SMBN 值显著变化，这与前人研究

（王利利等，2013）结果相符，其原因在于生物有机肥的施用能增加土壤微生物利用碳源能力，为微生物提供良好营养条件，微生物保持较高活性，从而提高土壤微生物多样性（胡可等，2010）进而增加连作土壤微生物量碳氮。

前人（华菊玲等，2012；廖海兵等，2011）众多研究表明，连作会导致土壤微生物区系比例失衡，使土壤微生物种群由高肥的“细菌型”向低肥的“真菌型”转化，且致病性真菌增加，病虫害加剧。而轮作能有效调节土壤微生物区系，增加微生物群落的多样性和稳定性，进而土壤微生态环境得到改善，最终达到减轻甚至克服药用植物连作障碍。在本试验条件下，菊麦轮作可显著提高连作土壤中细菌、放线菌数量，一定程度上降低了土壤的真菌数量，这与前人（蒋瑞萍等，2009；徐培智等，2008；解开治等，2009）研究结果相一致。菊麦轮作配施生物有机肥提高了连作土壤真菌数

量，主要原因在于生物有机肥的施入，土壤中有机物质大量增加，从而提高了土壤中可利用碳的含量，促进了真菌生长，在一定程度上弥补了土壤pH值升高对真菌造成的影响。即使真菌数量增加，但是真菌占3大菌群总量的比例明显下降，由0.32%降至0.24%，微生物区系状态仍处于“细菌型”。

## **4.3** 种植模式与土壤酶活性

土壤酶是土壤生态系统中物质循环和能量流动过程的重要动力，它催动了土壤中进行的一切生物活动和化学过程，且与土壤肥力有着密切联系，其主要来源于土壤微生物和植物根系的分泌（Marten D A, 2000）。因此研究土壤中酶活性及其变化对连作土壤的改良效果及其原因有重要意义。本试验条件下，菊麦轮作滁菊土壤中脲酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶和蛋白酶活性均显著高于滁菊连作土壤，均以M3模式土壤酶活性最强，究其原因是轮作和生物有机肥的施入均有利于植物和微生物多样性的增加，土壤微生态环境得到改善，继而促进酶活性的增强，这与大多前人研究结果相一致

（解开治等，2009；官会林等，2010；戴建军等，2013）。而对于土壤酶活性的影响不尽相同，如徐培智等（2008）研究表明，与蔬菜连作模式相比，休闲轮作模式显著降低土壤过氧化氢酶活性；吴焕涛等（2008）对日光温室黄瓜连作土壤研究中发现，与连作相比，轮作可以有效增强土壤过氧化氢酶活性；在本试验条件下，与前者研究较为相似。产生这种差异的原因可能是不同植物根系分泌的酶类不同，另一方面植物残体（包括茎、叶等）会引起土壤有机质、微生物数量种类及代谢过程的变化，继而影响土壤酶活性的改变（Yang RY, et al., 2007）。

## **4.3** 种植模式与滁菊品质、产量

通过研究不同种植模式对滁菊连作土壤的改善作用以及对滁菊生长、品质及产量的影响的结果表明，轮作对滁菊地土壤改良具有良好的作用。对滁菊品质研究结果表明，菊麦轮作可有效提高滁菊总黄酮、绿原酸、可溶性糖和游离氨基酸总量含量，尤其在无机肥与生物有机肥配施条件下，滁菊品质表现最优，其含量分别达到42.59mg·g-1、2.52 mg·g-1、4.04 mg·g-1、73.33 mg·100g-1。此外，与连作滁菊相比，种植模式的改变及增施生物有机肥可以显著促进植株生长，改善滁菊花序性状，增加滁菊有效分枝，从而提高滁菊单株菊花数量及鲜质量。张继光等（2012）研究表明与连作烟相比，种植模式改变显著提高烟叶等级结构、均价及产值。李银平等（2010）研究也发现各种绿肥茬口均显著有利于连作棉田棉花产量的提高，春麦复播草木樨茬口

的棉花最高增产达48.8%。另外，刘大会等（2009）研究指出，适宜的有机无机肥料配施可显著提高菊花中总黄酮与绿原酸的量，且菊花产量增幅明显。在本试验条件下，2 种菊麦轮作模式下均表现出较高的增产效果，与滁菊连作相比增产量最高可达

28.22%，为400.9kg·667m-2.

# **5** 结论

道地药材滁菊是我省重要的中药材之一，名列我国“四大药菊”之首，尤其在近些年发展迅速，成为我省药菊产业重要支柱。然而随着种植年限的增加，滁菊连作障碍问题成为制约我国滁菊产业发展的瓶颈，因此解决药用菊花连作障碍问题成为国内学者研究的热点。

改善作物种植制度因为其简便、快捷、经济效益高、生态效益良好等优点，成为解决药用植物连作问题的最重要的途径之一。通过前人设置的不同种植模式，结合滁菊种植地区特定的地理条件及土壤栽培条件，选取滁菊-小麦轮作模式为研究方向，通过设置不同施肥管理来研究其对土壤养分状况的改良、盐分吸收以及对土壤微生物、土壤酶活性的影响和对滁菊产量、品质的影响。综合分析表明：菊麦轮作模式对于改善土壤肥力及土壤酸化状况，提高土壤酶活性、改良土壤微生物群落结构以及提高菊花产量，创造经济效益均有显著良好效果；以菊麦轮作，无机肥与生物有机肥配施下

（即, 27.6 N kg·667m-2、9 P2O5 kg·667m-2、9 K2O kg·667m-2+200kg·667m-2生物有机肥）），土壤质量、微生物环境最优，滁菊产量品质最佳。

# **6** 滁菊小麦轮作技术集成

造成滁菊连作障碍的原因是复杂多方面的，主要包括品种抗性差、土壤酸化次生盐渍化、养分失衡和土壤微生物区系比例失调。根据滁菊生产中存在的上述问题，前期研究了滁菊连作障碍的以穴盘育苗为基础的植物修复技、滁菊连作障碍危害的养分平衡技术等技术，在此基础上，采取滁菊小麦轮作技术与有机无机肥配比技术相结合，制定克服滁菊连作障碍有效的生态控制技术体系。

## **6.1** 技术方案

（1）穴盘育苗：于5月中下旬，在脱毒滁菊母株上截取滁菊穗条；将穗条用生根剂和杀菌剂的混合溶液浸泡；将处理好的穗条扦插在穴盘基质内；使穴盘基质湿度保持在80%，保持生长温度不高于35℃；当菊苗根须在4~6cm时，控制基质湿度保持在60%；25-35天后，菊苗根系根系达到移栽的要求出苗。

（2）移栽定植：于6 月中下旬，将上述的芽苗移植在施过基肥的大田中，每亩定

植苗数在5000株左右，立即施活苗肥。

（3）田间施肥管理：待植株高达10~15cm，摘心1~2次，摘心的同时施摘心肥，摘心时间不超过8月中旬；在滁菊的成长开花期间不断的施吊蕾肥，同时进行虫害防治，待菊的花瓣成熟后采摘，具体施肥量及方式见上述试验设计。

（4）小麦轮作：于11月上旬，在滁菊收获种植小麦，小麦田间管理参照当地常规模式进行，小麦收获后秸秆粉碎还田，移栽滁菊种苗。

## **6.2** 技术实施研究

### 6.2.1 试验设计

试验于2012年、2013年在安徽菊泰滁菊草本科技有限公司滁州市施集基地进行。该基地已开展长达10年滁菊连作种植，土壤为黄棕壤，质地为砂壤土，立地条件好，土壤基本理化性质：有机质7.8g/kg, pH 6.1，全氮0.51g/kg，全磷1.06g/kg，全钾26g/kg，碱解氮73.4mg/kg，速效磷10.4mg/kg，速效钾170mg/kg。

试验采用随机区组设计，小区面积120m2, 3次重复。磷肥和钾肥用量分别为每公顷施P2O5 225kg、K2O 120kg，其中磷肥和钾肥分别为过磷酸钙和硫酸钾，以上肥料做基肥一次掩底施入。

供试材料为滁菊，两种滁菊种植模式，即滁菊连作模式（CK）、滁菊小麦轮作模式（CM）。CK模式的技术步骤如下：于5月初，将滁菊穗条移植在施过基肥的大田中，每亩定植苗数在4000株左右，立即施活苗肥；待植株高达10~15cm，摘心2-3

次，摘心的同时施摘心肥，摘心时间不超过8月中旬；在滁菊的成长开花期间不断的施吊蕾肥，同时进行虫害防治，待菊的花瓣成熟后采摘。CM模式技术步骤按照“技术方案”执行。

### 6.2.2 结果分析

从表6可以看出，菊麦轮作比常规模式大田生育期缩短43天，为小麦轮作提供充足时间，增加一季小麦种植，提高了土地复种指数，亩均增收小麦520kg。生态种植模式的发病率为16%，比常规模式发病率83%的降低了67%，亩均产量增加了344kg，调控滁菊连作障碍的菊麦轮作模式有效控制了滁菊病害的发生。就经济效益而言，与滁菊常规模式相比，菊麦轮作亩均增加3480元，效益显著，有效调动菊农种植积极性。

表6 菊麦轮作效益分析

Table 6 Benefit analysis of farming rotation between*Chuju* and wheat

| 种植模式 Planting mode | 移栽日期Date of transplanting (N-M-D) | 收获日期 Date of harvest (N-M-D) | 病株数  The number of diseased plants  （株·667m-2） | 鲜花产量  Yield of Chuju  (kg·667m-2) | 小麦产量  Yield of wheat (kg·667m-2) | 纯收入  Net income  （元·667m-2） |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| CM | 2013-6-25 | 2013-11-08 | 800 | 420 | 520 | 3200 |
| CK | 2013-5-03 | 2013-11-10 | 3320 | 76 | 0 | -280 |

## **6.3** 效益分析

### 6.3.1 经济效益

在滁菊穴盘扦插育苗标准化技术基础上，综合运用滁菊连作障碍危害的养分平衡技术，建立以菊麦轮作为核心克服滁菊连作障碍修复生态技术体系，一方面显著提高滁菊产量和改善滁菊品质，减少肥料投入，具有增产增收的良好效果；另一方面有效缩短了滁菊生育期，提高了复种指数，大大降低了滁菊枯萎病的发病率，且增收小麦。田间试验、大田示范推广表明，2013年，示范基地亩均增产17.4%、增加收入450元，总黄酮含量提高14.5%，绿原酸含量提高39.2%。近3年，滁菊穴盘快速育苗推广应用0.5万亩，农民增加收入940万元，节本36万元，合计产生效益976万元；滁菊

连作障碍生态控制关键技术集成示范推广应用累计面积达1.7万亩，增收1158万元，

肥料投入节约134万元，合计产生效益1292万元；安徽菊泰滁菊草本科技有限公司累

计利用该技术生产系列肥生产滁菊花，加工商品菊花茶380t，销售收入达1 1070 万

元，新增利润3635万元，新增税收299万元，节约成本72.8万元。随着示范、推广面积的增加，不仅提高了滁菊品质和产量，同时还降低农药、肥料等生产资料的投入成本，从而增加了菊农的收入，产生了显著的经济效益。

### 6.3.2 社会效益

在该项技术支撑下，安徽菊泰滁菊草本科技有限公司经营效益凸显，企业规模逐步增大，近三年来新增就业100余人。同时通过推广与示范，也有效解决滁菊栽培管理中存在水肥管理混乱、药菊园土壤环境质量恶化、病虫害发生较为严重、滁菊产量下降、品质恶化等问题，减低滁菊生产成本，提升菊农滁菊种植水平，促进滁菊产业的健康发展。

# **7** 参考文献

白震，张明，宋斗妍，张旭东. 不同施肥对农田黑土微生物群落的影响[J]. 生态学报, 2008，

28(7): 3244-3253.

贲海燕，崔国庆，石延霞，谢学文，李宝聚. 氰氨化钙土壤改良作用及其防治蔬菜土传病害效果[J]. 生态学杂志, 2013, 12: 3318-3324.

曹慧，杨洁，孙波，赵其国，臧波. 太湖流域丘陵地区土壤养分的空间变异[J]. 土壤, 2002, 34(4)：201-205.

曹坳程，郭美霞，王秋霞，李园，颜冬冬. 世界土壤消毒技术进展[J]. 中国蔬菜, 2010, 21: 17-22.

陈娟，张雪松，杨家学，焦晓林，高微微. 连作西洋参根际真菌群落差异及其在土壤药剂处理后的初步分析[J]. 中国中药杂志, 2012, 23: 3531-3535.

陈先茂，彭春瑞，关贤交，邵彩虹，邱才飞. 红壤旱地不同轮作模式的效益及其对土壤质量的影响[J]. 江西农业学报, 2009, 21(6)：75-77.

陈杰，郭天文，谭雪莲，朱渭兵，魏晓丽，薛泉宏. 马铃薯连作土壤拮抗放线菌研究[J]. 西北农业学报, 2013, 11: 168-177.

[1]陈少工，黄元宁，郑冬梅. 无公害滁菊优质高效栽培技术[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(10)：2172。

陈勇敢，王荔，王焕. 菊花速溶片中绿原酸含量的测定[J]. 现代中药研究与实践, 2003, 17(3)：55-56.

崔雯雯，高小丽，马瑞瑞，杨秋歌，马淑蓉，高金锋，王鹏科，冯佰利. 连作对糜子抽穗后光合特性和干物质积累的影响[J]. 西北农林科技大学学报（自然科学版）, 2013, 09: 55-

60.

戴建军，宋朋慧，闫暮春，徐婷婷. 不同种植方式对苗期大豆、玉米根际土壤酶活性及微生物量碳、氮的影响[J]. 东北农业大学学报, 2013, 02: 17-22.

董林林，左元梅，李晓林，王倩. 嫁接对黄瓜土壤生化特性的影响[J]. 中国农业大学学报, 2010, 04: 51-56.

范小峰，俞诗源，范亚娜，刘建新，王小玉，王贵. 黄土高原大棚黄瓜不同年限连作对土壤主要理化性状的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2006，（6）：20-22.

高群，孟宪志，于洪飞. 连作障碍原因分析及防治途径研究[J]. ft东农业科学, 2006，（3）：60-63.

高晓玲，徐晓燕，何应森. 不同耕作方式对园林土壤蛋白酶和化学性质的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 07: 355-356.

关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京：农业出版社, 1986: 274-323.

官会林，郭云周，张云峰，孙世中，陈晓波. 绿肥轮作对植烟土壤酶活性与微生物量碳和有机碳的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 10: 2366-2371.

郭兰萍，黄璐琦，蒋有绪，吕冬梅. 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.

郭红伟，郭世荣，刘来，孙锦，黄保健. 辣椒连作对土壤理化性状、植株生理抗性及离子吸收的影响[J]. 土壤, 2012, 06: 1041-1047.

郭修武，李坤，谢洪刚，孙英妮，胡禧熙，张立恒. 连作土灭菌对葡萄生长及根系分泌特性的影响[J]. 果树学报, 2010, 01: 29-33.

郭晓冬. 设施栽培条件下土壤的连作障碍及防治措施[J]. 甘肃农业科技, 2003，（7）：38-40.

郝俊杰，马奇祥，刘焕民，贾新合，董中东，刘书梅，崔小伟，张志新. 嫁接棉花对棉花黄萎病抗性、产量和纤维品质的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 19: 3974-3980.

韩旭，宋述尧. 矮生菜豆叶片衰老过程中碳氮代谢指标的变化[J]. 长江蔬菜, 2009，（10）：42-44.

胡可，李华兴，卢维盛，刘远金，王利宾. 生物有机肥对土壤微生物活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 02: 303-306.

华菊玲，刘光荣，黄劲松. 连作对芝麻根际土壤微生物群落的影响[J]. 生态学报, 2012, 09: 2936-2942.

贺丽娜，梁银丽，高静，熊亚梅，周茂娟，韦泽秀. 连作对设施黄瓜产量和品质及土壤酶活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报（自然科学版）, 2008, 05: 155-159.

胡凤霞. 设施黄瓜-玉米轮作模式对连作障碍的克服效果[D]. 郑州：河南农业大学, 2013: 10

简在友，王文全，孟丽，王丹，游佩进，张子龙. 人参连作土壤元素含量分析[J]. 土壤通报, 2011, 02: 369-371.

蒋瑞萍，李苹，解开治，赵记军，黄旭，徐培智，张发宝，陈建生，唐拴虎. 不同种植模式对水稻土真菌数量及群落多样性的影响研究[J]. 广东农业科学, 2009, 02: 44-47.

廖海兵，李云霞，邵晶晶，方芳，郭卫东，陈文荣. 连作对浙贝母生长及土壤性质的影响[J]. 生态学杂志, 2011, 10: 2203-2208.

梁银丽，熊亚梅，吴燕，周茂娟，韦泽秀，高静，贺丽娜. 日光温室豇豆产量和品质对水分和氮素水平的响应[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5)：142-145

梁智，周勃，邹耀湘，钟新才. 土壤湿热灭菌对连作棉花生长发育的影响[J]. 西北农业学报, 2007, 02: 87-89.

李军营，邓小鹏，杨坤，李大肥，杨宇虹，晋艳. 施用有机肥对植烟土壤理化性质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012, 03: 12-16+34.

李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京：高等教育出版社, 2000: 192-197.

李鹏，陈科力，叶从进. 湖北福田河白菊质量研究[J]. 中药材, 2004, 27(2): 102-103.

李英梅，曹红梅，徐福利，任武婷，刘建利，张淑莲，张锋，陈志杰. 土壤消毒措施对土壤物理特性及黄瓜生长发育的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 06: 1189-1193.

李静怡，杨友才. 连作对植棉区土壤微生物数量的影响[J]. 作物研究, 2013, 04: 355-358.

李娟，赵秉强，李秀英, Hwat Bing So. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土

壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 144-152.

李月林，房兆坤. 设施西瓜连作障碍处理技术[J]. 现代农业科技, 2013, 17: 146+149.

李欢，刘建辉，冯宁宁，薛泉宏. 放线菌Act1对连作西瓜枯萎病的防治效果[J]. 北方园艺, 2012, 15: 144-147.

李国良，姚丽贤，杨苞梅，何兆桓，周昌敏，涂仕华. 有机肥与生防菌结合防治香蕉枯萎病的初步研究[J]. 中国土壤与肥料, 2012, 02: 67-72.

李楠，刘元，侯滨滨. 黄酮类化合物的功能特性[J]. 食品研究与开发, 2005, 06: 139-141.

李秀玲，吕光辉，何雪芬. 连作年限对土壤理化性质及酶活性的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 09: 93-97.

李银平，林忠东，李小斌，徐文修，王亭，杨涛，候松ft，韩晶垒，候猛. 北疆连作棉田轮作倒茬模式的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 01: 243-246+254.

李银平，徐文修，陈冰，候松ft，韩晶磊，侯猛，陈雅欢. 绿肥种植模式对连作棉田土壤肥力及棉花产量的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 09: 149-153.

林茂兹，王海斌，林辉锋. 太子参连作对根际土壤微生物的影响[J]. 生态学杂志, 2012, 01: 106-111.

刘大会，郭兰萍，朱端卫，黄璐琦. 施肥和覆盖地膜对福田河菊花产量与品质的影响[J]. 中草药, 2009, 05: 788-792.

刘国顺，彭华伟. 生物有机肥对植烟土壤肥力及烤烟干物质积累的影响[J]. 河南农业科学, 2005，（1）：46 49。

刘淑梅，宋希云，张洪生，姜雯. 小麦、夏玉米两茬轮作耕作措施对土壤氮、钾养分及玉米产量的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 06: 198-203.

刘建国，卞新民，李彦斌，张伟，李崧. 长期连作和秸秆还田对棉田土壤生物活性的影响

[J]. 应用生态学报, 2008, 05: 1027-1032.

刘春艳，王勇，郝永娟，王万立. 设施蔬菜病害发生特点与综合防控技术[J]. 北方园艺, 2010, 01: 89-90.

刘恩科，赵秉强，李秀英，姜瑞波, Hwat Bing So. 不同施肥制度土壤微生物量碳氮变化及细菌群落16s rDNA V3片段PCR产物的DGGE分析[J]. 生态学报, 2007, 27(3): 1079- 1085.

刘恩科，赵秉强，李秀英，姜瑞波，李燕婷, Hwat Bing So. 长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响[J]. 植物生态学报, 2008, 32(1)：176-182.

刘军海，裘爱泳. 绿原酸及其提取纯化和应用前景[J]. 粮食与油脂, 2003，（9）：44-46.

刘浩荣，宋海星，刘代平，官春云，刘强，陈社员. 油菜茎叶可溶性糖与游离氨基酸含量的动态变化[J]. 西北农业学报, 2007, 16(1)：123-126.

刘新建. 不同农田土壤酶活性与土壤养分相关关系研究[J]. 土壤通报, 2008, 35(4)：523-

525.

刘来，黄保健，孙锦，郭世荣，李恋卿，郭红伟. 大棚辣椒连作土壤微生物数量、酶活性与土壤肥力的关系[J]. 中国土壤与肥料, 2013, 02: 5-10.

鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京：中国农业科学技术出版社, 2000: 20-131.

马瑞瑞，高小丽，崔雯雯，杨秋歌，马淑蓉，高金锋，王鹏科，冯佰利. 芸豆连作田土壤酶活性和养分含量研究[J]. 华北农学报, 2013, 05: 157-162.

马晓霞，王莲莲，黎青慧，李花，张树兰，孙本华，杨学云. 长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(17)：5502-5511.

闵红，张丹，绳金房，唐娜，韩纯洁. 大棚蔬菜轮/连作系统土壤肥力与微生物因子综合评价

[J]. 微生物学通报, 2011, 11: 1673-1678.

邱立友，戚元成，王明道，贾新成. 植物次生代谢物的自毒作用及其与连作障碍的关系[J]. 土壤, 2010, 01: 1-7.

单鸿宾，梁智，王纯利，朱新萍，王丽，贾宏涛. 连作及灌溉方式对棉田土壤微生物量碳氮的影响. 干旱地区农业研究, 2010, 04: 202-205.

单英杰，章明奎. 长期种植大棚蔬菜对涂地土壤生物学性质的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 04: 170-174.

孙光闻，陈日远，刘厚诚. 设施蔬菜连作障碍原因及防治措施[J]. 农业工程学报，2 005，S2: 184-188.

宋尚成，李敏，刘润进. 种植模式与土壤管理制度对作物连作障碍的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(21)：231-235.

宋金枝. 放线菌不同施入方式对连作番茄幼苗生长的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 02：

187-188.

宋小林，刘强，宋海星，官春云，荣湘民，王纪玥，王署娟. 不同处理条件下油菜茎叶可溶性糖和游离氨基酸总量及其对籽粒产量的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 06: 187-191.

宋小林，刘强，宋海星，官春云，荣湘民，曾德武，杨勇，郭春铭. 种植密度和施肥水平对油菜茎叶可溶性糖和游离氨基酸及籽粒产量的影响[J]. 湖南农业大学学报（自然科学版）, 2011, 01: 12-16.

陶磊，褚贵新，刘涛，唐诚，李俊华，梁永超. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2014, 21： 。

万素梅，杲先民，刘晓红，胡守林. 长期连作对南疆棉田土壤物理性质影响的研究[J]. 中国农学通报, 2012, 12: 48-53.

王闯，徐公义，葛长城，毛志泉. 酚酸类物质和植物连作障碍的研究进展[J]. 北方园艺, 2009, 03: 134-137.

王连君，谷思玉. 烤烟连作对土壤养分的影响[J]. 烟草科技, 2004, 09: 40-42.

王芳德，李纯良. 高温季节棚室怎样消毒及减少土壤盐渍化？[J]. 中国蔬菜, 2013, 13: 44-

45.

王飞，李世贵，徐凤花，顾金刚. 连作障碍发生机制研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2013，（5）：6-13.

王利利，董民，张璐，杜相革. 不同碳氮比有机肥对有机农业土壤微生物生物量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 09: 1073-1077.

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, 10: 1173-1183.

王玉，侯玉杰，付乃峰，丁兆堂. 生物有机肥对茶园土壤肥力、养分及土壤环境的影响[J]. 北方园艺, 2011, 17: 171-173.

王立刚，李维炯，邱建军，马永良，王迎春. 生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的效应研究[J]. 土壤肥料, 2004, 05: 12-16.

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: 11。

王田涛，王琦，王惠珍，张恩和. 连作条件下间作模式对当归生长特性和产量的影响[J]. 草业学报, 2013, 02: 54-61.

王震宇，王英祥，陈祖仁. 重茬大豆生长发育障碍机制初探[J]. 大豆科学, 1991, 10(l): 30- 36.

王光华，金剑. 不同土地管理方式对黑土土壤微生物量碳和酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6)：1275-1280.

汪建飞，周毅，高祥，张平，肖新，陈世勇. 滁菊连作土壤中尖孢镰刀菌的分离、鉴定及变化特征[J]. 生物学杂志, 2011, 06: 46-48.

魏巍，许艳丽，朱琳，张思佳，李淑娴. 长期连作对大豆根际土壤镰孢菌种群的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 02: 497-504.

吴凤芝，赵凤艳，谷思玉. 保护地黄瓜连作对土壤生物化学性质的影响[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(l): 20-2

吴凤芝，赵凤艳. 根系分泌物与连作障碍[J]. 东北农业大学学报, 2003, 34(1)：114-118.

吴凤芝，周新刚. 不同作物间作对黄瓜病害及土壤微生物群落多样性的影响[J]. 土壤学报, 2009, 46(5)：899-906.

吴洪生，周晓冬，闫霜，刘小雪，王增辉，孔祥云，刘正柱. 拮抗菌与有机肥配合防治黄瓜连作障碍及提高黄瓜品质研究[J]. 西南农业学报, 2013, 04: 1604-1607.

吴焕涛，魏珉，杨凤娟，王秀峰. 轮作和休茬对日光温室黄瓜连作土壤的改良效果[J]. ft东农业科学, 2008, 05: 59-63.

肖辉，潘洁，程文娟，王立艳. 不同有机肥对设施土壤全盐累积与pH值变化的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 02: 248-252.

肖新，朱伟，肖靓，邓艳萍，赵言文，汪建飞. 适宜的水氮处理提高稻基农田土壤酶活性和土壤微生物量碳氮[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21)：91-98.

肖逸，王兴祥，王宏伟，刘付燕，戴传超. 施加角担子菌B6对连作西瓜土壤微环境和西瓜

生长的影响. 生态学报, 2012, 32( 4): 1185-1192.

解开治，徐培智，陈建生，唐拴虎，张发宝，杨少海，黄旭，赵记军. “123种植模式”对土壤酶学特征及土壤养分的影响[J]. 土壤通报, 2009, 02: 279-284.

解开治，徐培智，李康活，周少川，陈建生，唐拴虎，张发宝，黄旭. 三种不同种植模式对土壤细菌群落多样性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 05: 1107-1113.

邢会琴，肖占文，闫吉智，马建仓，孟嫣. 玉米连作对土壤微生物和土壤主要养分的影响

[J]. 草业科学, 2011, 10: 1777-1780.

许光辉，郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京：农业出版社, 1986。

徐凌飞，韩清芳，吴中营. 清耕和生草梨园土壤酶活性的空间变化[J]. 中国农业科学, 2010, 43(23)：123-128

徐培智，解开治，陈建生，唐拴虎，张发宝，黄旭，李康活. 一季中晚稻的稻菜轮作模式对土壤酶活性及可培养微生物群落的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 05: 923-928.

杨海君，肖启明，刘安元. 土壤微生物多样性及其作用研究进展[J]. 南华大学学报（自然科学版）, 2005, 04: 21-26+31.

杨万勤，王开运. 土壤酶研究动态与展望[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(05)：564-570

殷瑞敬，温晓霞，廖允成，魏鹏，杨宝平，聂俊峰. 清耕和生草梨园土壤酶活性的空间变化

[J]. 园艺学报, 2009, 36(5): 717-722

尹玉玲，周宝利，李云鹏，王茹华. 嫁接对茄子连作土壤生物活性及种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 04: 638-642.

于寒，吴春胜，王振民，陈喜凤，谷岩. 连作对大豆根际可培养微生物及土壤理化性状的影响[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(2)：28-34.

余海英，李廷轩，周健民. 设施土壤次生盐渍化及其对土壤性质的影响[J]. 土壤, 2005, 06: 581-586.

宇万太，姜子绍，马强，周桦. 施用有机肥对土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 05: 1057-1064.

宇万太，马强，赵鑫，周桦，李建东. 不同土地利用类型下土壤活性有机碳库的变化[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12)：2013-2016.

岳冰冰，李鑫，张会慧，金微微，许楠，朱文旭，孙广玉. 连作对黑龙江烤烟土壤微生物功能多样性的影响[J]. 土壤, 2013, 01: 116-119.

张伟，陈一峰. 棉花长期连作对新疆土壤细菌群落结构的影响[J]. 生态学报, 2014, 16： 。

张军，许轲，张洪程，戴其根，霍中洋，张瑛，徐顺飞. 稻麦套种对小麦花后地上部游离氨基酸含量及籽粒品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 02: 109-112.

张重义，陈慧，杨艳会，陈婷，林瑞余，陈新建，林文雄. 连作对地黄根际土壤细菌群落多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 11: 2843-2848.

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, 01：

189-196.

张会慧，金微微，岳冰冰，李鑫，尹鹏达，贺国强，原野，孙广玉. 连作对东北地区烤烟生长和叶片光合特性的影响[J]. 中国烟草科学, 2013, 02: 18-22+27.

张文明，邱慧珍，刘星，张俊莲，王蒂. 连作对马铃薯根系形态及吸收能力的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 01: 34-37+46.

张威，张明，张旭东，张乐，李维福. 土壤蛋白酶和芳香氨基酶的研究进展[J]. 土壤通报, 2008, 06: 1468-1474.

张学文，刘亦学，刘万学，万方浩，张惟，杨秀荣. 植物化感物质及其释放途径[J]. 中国农学通报, 2007, 23(7)：295-297.

张春霞，郝明德，魏孝荣，王旭刚. 不同农田生态系统土壤微生物生物量碳的变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1)：81-53

张鹏，韦中，朱震，高雪莲，邓开英，冉炜，沈其荣. 生物有机肥对连作番茄和辣椒根际土壤微生物区系及茄科雷尔氏菌的影响[J]. 南京农业大学学报, 2013, 04: 77-82.

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

张帆，黄凤球，肖小平，吴家梅. 冬季作物对稻田土壤微生物量碳、氮和微生物熵的短期影响[J]. 生态学报, 2009, 29(2)：734－739.

张鞍灵，马琼，高锦明，张康健，王蓝. 绿原酸及其类似物与生物活性[J]. 中草药, 2001, 32(2)：173-176

张洁莹，宁堂原，冯宇鹏，张学鹏，孙涛，李增嘉. 套作糯玉米对连作菜田土壤特性及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 10: 1994-2003.

张继光，郑林林，石屹，张忠锋，马兴华，申国明，冯俊喜，田雷. 不同种植模式对土壤微生物区系及烟叶产量与质量的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 19: 93-102.

赵会纳，雷波，王茂盛，陈懿，任竹，曹毅，潘文杰. 不同轮作模式对烤烟产质量的影响[J]. 贵州农业科学, 2013, 07: 63-66.

郑良永，胡剑非，林昌华，唐群锋，郭巧云. 作物连作障碍的产生及防治[J]. 热带农业科学, 2005, 25(2)：58-62.

郑超，刘月廉，谢治国，谭中文. 菠萝-甘蔗轮作制度对甘蔗生长及土壤生态的影响[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(l): 79-80.

中华人民共和国药典委员会. 中华人民共和国药典：一部[M]. 北京：化学工业出版社, 2005。

周岚，姜英，陈阜，曾昭海. 玉米-大豆轮作及氮肥水平对玉米农艺性状及产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2013, 06: 61-67.

周科，刘欣，聂刘旺，覃逸明，李小三. 凤丹连作对土壤理化性质和酶活性影响的研究[J]. 生物学杂志, 2011, 02: 17-20.

祝丽香，霍学慧，洪信，毕胜，马维维. 桔梗连作对土壤理化性状和生物学性状的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 06: 177-181.

庄敬华，刘淑花，王传世，付波. 木霉菌多功能生防菌剂对瓜类枯萎病的防治效果[J]. 北方园艺, 2005，（5）：90-91.

Alvey S, Yang C H, Buerkert A, Crowley D E. Cereal/legume rotation effeets on thizosphere Bacterial community strueture in west Afrieansoilsf [J]. Biology and Fertility of Soil, 2003, 37(2): 73-82.

Emine Salamci, Saban Kordali, Recep Kotan, Ahmet Cakir, Yusuf Kaya. Chemical compositions, antimicrobial and herbicidal effects of essential oils isolated from Turkish Tanacetum aucheranum and Tanacetum chiliophyllum var. chiliophyllum [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2007, 35(9): 569-581.

Fugen Dou, Alan L, Wright, Frank M. Hons. Depth distribution of soil organic C and N after long-term soybean cropping in Texas[J]. Soil and Tillage Researeh, 2007, 94(2): 530-536.

Han C, Pan K, Wu N, Wang J, Li W. Allelopathic effect of ginger on seed germination and seedling growth of soybean and chive [J]. Scientia Horticulturae 2008, 116 (3): 330-336.

Hao Z P, Wang Q, Christie P, Li X L. Allelopathic potential of watermelon tissues and root exudates [J]. Scientia Horticulturae, 2007, 112 (3): 315-320.

Harsh P Bais, Tiffany L Weir, Laura G Perry, Simon Gilroy, Jorge M Vivanco. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms [J]. Plant Biology, 2006. (57): 233-266.

Javaid A, Shafique S, Bajwa R, Shafique S. Effect of aqueous extracts of allelopathic crops on germination and growth of Parthenium hysterophorus L. [J]. South African Journal of Botany, 2006, 72 (4): 609-612.

Joergensen R G, Muelhr T. The fumigation-extraction method estimate soil microbial biomass: Calibration of the kEC value[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1996, 28(1): 3- 37.

Kamlmura Y, Hayano K. Properties of protease extracted from tea-field soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2000, 30: 351 -355.

Liu S L, Su Y R, Huang D Y, Xiao H A, Wu J SH. Response of Cmic-to-Corg to land use and fertilization in subtropical region of China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(7): 1411-1418.

Marten D A. Management and crop reside influence soil aggregate stability[J]. Journal of Environmental Quality, 2000, 29(3): 723-727.

Michelle M, Leinfelder, Merwin I A. Rootstock selection, preplant soil treatments and tree planting position as factors in managing apple replant disease[J]. Hort Science, 2006, 41(2): 394-401.

Nsabimana D, Haynes R J, Wallis F M. Size, activity and catabolic diversity of the soil

Microbial biomass as affected by land use[J]. Applied Soil Ecology, 2004, 26(2): 81-92.

Sandra Gonçalves, Marco Ferraz, Anabela Romano. Phytotoxic properties of Drosophyllum lusitanicum leaf extracts and its main compound plumbagin [J]. Scientia Horticulturae, 2009, 122(1): 96-101.

Schabes F I, Sigstad E E. A calorimetric study of the allelopathic effect of cnicin isolated from Centaurea diffusa Lam. on the germination of soybean (Glicine max) and radish (Raphanus sativus) [J]. Thermochimica Acta, 2007, 458 (1-2): 84-87.

Singh H P, Batish D R, Kohli R K. Autotoxicity: concept, organisms, and ecological significance [J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 1999, 18(6): 757-772.

ŚLusarski C, Pietr S J. Combined application of dazomet and Trichoderma asperellum as an efficient alternative to methyl bromide in controlling the soil-borne disease complex of bell pepper[J]. Crop Protection, 2009, 28(8): 668 -674.

Sparling G P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter[J]. Australian Journal of Soil Research, 1992, 30(2): 195-207.

Tang C S, Young C C. Collection and identification of allelopathic compounds from the undisturbed root System of Bigalta limpograss (Hemarthria altissima) [J]. Plant Physiology, 1982, 69(1): 155-160.

Teerarak M, Laosinwattana C, Charoenying P. Evaluation of allelopathic, decomposition and cytogenetic activities of Jasminum officinale L. f. var. grandiflorum (L.) Kob. on bioassay plants [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(14): 5677-5684.

Turk M A, Tawaha A M. Inhibitory effects of aqueous extracts of black mustard on germination and growth of lentil [J]. Pakistan Journal of Agronomy, 2002, 1(1): 28-30.

Vance E D, Brookes P C, Jenklmon D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil biomass and Biochemistry, 1987, 19(6): 703-707.

Vries F T, Hoffland E, Eekeren N V, Brussaarda L, Bloem J. Fungal, bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38(8): 2092-2103.

Wardle D A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global synthesis. Soil Biology and Biochemistry, 1998, 30: 1627-1637.

Yang RY, Tang J J, Chen X, Hu SH J. Effects of coexisting plant species on soil microbes and soil enzymes in metal lead contaminated soils. Applied Soil Ecology, 2007, 37(3): 240- 246.

Ye S F, Yu J Q, Peng Y H, Zheng J H, Zou L Y. Incidence of Fusarium wilt in Cucumis sativus

L. is promoted by cinnamic acid, an autotoxin in root exudates [J]. Plant Soil, 2004, (263): 143-150.

Yu J Q, Ye S F, Zhang M F, Hu W H. Effects of root exudates and aqueous root extracts of

Cucumber(Cucumis sativus) and allelochemicals on photosynthesis and antioxidant enzymes in cucumber [J]. Biochemical Systematics Eco1ogy, 2003, 31(2): 129-139.

# **8** 致谢

转眼间两年又过去了，又到了离校的时候，想想我已经在本校呆7年了。7年前我还是一个即将步入大学学堂的傻傻的什么都不知的愣小子，7年我历练了很多、7年我学习了很多、7年我成熟了很多。7年后，我蜕变成一个有担当、勇于追求、踏实肯干、有责任心、对科学研究有着自己的追求的好青年。这些无不离开恩师肖新副教授的谆谆教诲和耐心指导，他教会我不仅仅是书本、科研实践中的知识，更重要的是做人、为人处世的道理。7年来，肖新老师一直是我学习的楷模，是我做人的榜样，也是我一生的良师益友，这将永远激励我更加努力工作，使我终身受益。同时，肖新老师和师母邓艳萍老师在生活上给了我极大的帮助，特别是在刘畅生病期间，给予莫大的理解和细心的关怀，让我倍感温暖和感动。然而，我却一直让肖老师失望，让您受累了，今后我将更加努力以回报您的谆谆教诲。在此表示最衷心的感谢和最诚挚的祝福。

在此也深深地感谢我的校外导师——史亚东给予的研究实验方面的帮助和生活上的关心，并送上美好的祝福。

另外，在研究生学习和试验期间，研究生办公室焦立新处长、高青海老师、张古品老师给予的生活和学习上的关心和指导，在此表示由衷的感谢！

田间试验和室内试验过程中得到我校城建与环境学院汪建飞院长、张远兵书记、詹秋文副院长及农业资源利用实验室段丽珍老师、谢越老师、陈世勇老师、周毅老师、张平老师等的细心的实验指导，给了我很大的帮助在此也表示衷心的感谢！

感谢舍友王磊磊、帅海星、王长进及程婷婷、周志红、乔恩美等同学一直以来对我的帮助。

在此也特别感谢，我的那些学弟学妹们，感谢他们与我在实验室、农场度过的辛苦而又美好的快乐时光。

感谢安徽科技学院对我7年的栽培与教育。感谢参加本论文评阅、答辩和对本论文提出宝贵意见和建议的所有领导和专家！

值此论文完成之际，谨向所有在学习、生活、工作中给予我指导、关心、支持和帮助的恩师、朋友和家人致以最崇高的敬意和最衷心的感谢！

朱伟

二零一四年4月于凤阳

# **9** 攻读学位期间发表论文情况

1、肖新，朱伟，杨露露，等. 灌溉模式与施氮量对水稻需水规律及产量的影响[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(4)：27-31

2、肖新，朱伟，肖靓，等. 适宜的水氮处理提高稻基农田土壤酶活性和土壤微生物量碳氮

[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 91-98.

3、Xin Xiao, Lu Huang, Yanping Deng, Jianfei Wang, Wei Zhu, Yue Xie, Yanwen Zhao\*, Feng Hu. Comprehensive benefit evaluation system of different water-saving rice cultivation patterns in the seasonal-drought hilly region of Southern China(EI), Advances in Civil, Transportation and Environmental Engineering, Vol.140, pp611-621, 2013

4、安徽省科学技术研究成果《滁菊连作障碍生态控制关键技术研究与集成示范》（第六完成人）

5、滁州市科技进步奖三等奖《道地药材滁菊连作障碍生态控制关键技术研究集成与示范推广》（第九完成人）