

有机肥和化肥配施对蕲艾生长、产量及品质的影响

马琳¹, 陈昌婕¹, 郭兰萍², 刘大会^{1*}

(1. 湖北中医药大学 中药资源中心, 武汉 430065;

2. 中国中医科学院 中药资源中心 道地药材国家重点实验室培育基地, 北京 100700)

[摘要] 目的:探究不同比例有机肥和化学肥料(以下简称“化肥”)配施对蕲艾生长、产量和品质的影响,为蕲艾种植的科学施肥提供理论依据。方法:采用田间小区试验,设置5个不同比例有机肥和化肥配施处理方式[OM₀(零生物有机肥配施), OM₁₇(17%生物有机肥配施), OM₃₃(33%生物有机肥配施), OM₆₇(67%生物有机肥配施), OM₁₀₀(100%生物有机肥配施)],测定不同处理方式对蕲艾农艺性状、叶片产量、出绒率、挥发油含量、黄酮与酚酸类成分含量及矿质元素含量的影响。结果:随着有机肥配施比例升高,蕲艾单位面积出苗数、株高、茎粗、叶片数、叶片宽、叶片长、枯叶高和叶片产量均呈先增加后降低趋势;其中,艾叶产量在OM₃₃处理较OM₀处理增加61.37%。随着有机肥配施比例的增加,蕲艾叶片出绒率呈持续增加趋势;挥发油含量及挥发性组分桉油精、 α -侧柏酮,龙脑,樟脑和石竹素呈先增加后降低趋势, α -石竹烯和 β -丁香烯含量逐步降低;酚酸类成分新绿原酸,绿原酸,异绿原酸B,异绿原酸A和异绿原酸C含量先增加后降低,黄酮类成分棕矢车菊素和异泽兰黄素含量持续增加;矿质元素Ca, Cu和Zn持续增加, K含量在高有机肥配施比例时下降明显。对不同有机肥配施比例下的艾叶出绒率,挥发油及7个挥发性成分含量,9个黄酮和酚酸类成分含量共18个艾叶品质指标进行主成分分析,发现OM₁₇处理的艾叶品质最高,OM₁₀₀和OM₀处理的艾叶品质均较低。结论:综合不同比例有机肥和化肥配施处理下蕲艾的农艺性状、产量及品质指标,建议在蕲艾生产上采用17%~33%比例的有机肥与化肥配施,以促进蕲艾产业的提质增效。

[关键词] 蕲艾; 有机肥; 化学肥料; 出绒率; 挥发油; 黄酮类; 酚酸类

[中图分类号] R22; S14; R28; R932 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2021)18-0128-08

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20211548

[网络出版地址] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20210416.1602.004.html>

[网络出版日期] 2021-04-19 8:51

Effects of Combined Application Organic Fertilizer and Chemical Fertilizer on Agronomic Characters, Yield and Quality of Artemisiae Argyi Folium

MA Lin¹, CHEN Chang-jie¹, GUO Lan-ping², LIU Da-hui^{1*}

(1. Resource Center of Chinese Materia Medica, Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430065,

China; 2. National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of

Chinese Medical Sciences, State Key Laboratory Breeding Base of Dao-di Herbs, Beijing 100700, China)

[Abstract] **Objective:** To explore the effect of different proportions of organic fertilizer and chemical fertilizer on the agronomic traits, yield and quality of Artemisiae Argyi Folium in Qichun county, and provide a theoretical basis for scientific fertilization of its planting. **Method:** Field plot experiment was carried out to set up 5 treatment methods with different proportions of organic fertilizers and chemical fertilizers [OM₀ (no combined application of biological organic fertilizer), OM₁₇ (combined application of 17% biological organic fertilizer), OM₃₃ (combined application of 33% biological organic fertilizer), OM₆₇ (combined application of

[收稿日期] 20210221(002)

[基金项目] 国家重点研发计划项目(2017YFC1700704);中央本级重大增减支项目(2060302);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21)

[第一作者] 马琳,在读硕士,从事中药资源与中药质量评价研究, E-mail: 1091878973@qq.com

[通信作者] *刘大会,教授,博士生导师,从事中药资源与中药质量评价研究, Tel: 027-68890106, E-mail: liudahui@hbtcm.edu.cn

67% biological organic fertilizer), OM₁₀₀ (combined application of 100% biological organic fertilizer)]. The effects of different treatment methods on the agronomic characters, leaf yield, output rate of moxa, volatile oil content, flavonoid and phenolic acid contents and mineral element contents of *Artemisiae Argyi Folium* in Qichun county were determined. **Result:** With the increase of the proportion of organic fertilizer in application, the seedling number per unit area, plant height, stem diameter, leaf number, leaf width, leaf length, height of dead leaves and leaf yield of *Artemisiae Argyi Folium* were increased at first and then decreased. Among them, the yield of *Artemisiae Argyi Folium* in OM₃₃ treatment was 61.37% higher than that in OM₀ treatment. With the increase of the proportion of organic fertilizer, the output rate of moxa of *Artemisiae Argyi Folium* showed continuously increasing trend, contents of volatile oil and volatile components (eucalyptol, α -thujone, borneol, camphor and caryophyllene oxide) increased at first and then decreased, while the contents of α -caryophyllene and β -syringene decreased gradually, the contents of phenolic acids (neochlorogenic acid, chlorogenic acid, isochlorogenic acid B, A and C) increased at first and then decreased, while the contents of flavonoids (jaceosidin and eupatilin) increased continuously, and the contents of mineral elements (Ca, Cu and Zn) continued to increase, but the content of K decreased significantly at the high proportion of organic fertilizer. After treated with principal component analysis (PCA), it was found that OM₁₇ treatment had the highest quality, while OM₁₀₀ and OM₀ treatment had low quality. **Conclusion:** Based on comprehensive analysis of agronomic traits, yield and quality indexes of *Artemisiae Argyi Folium* in Qichun county, it is suggested that 17%-33% proportion of organic fertilizer should be used in its production, in order to improve the quality and efficiency of *Artemisiae Argyi Folium* industry in Qichun county.

[Keywords] *Artemisiae Argyi Folium*; organic fertilizer; chemical fertilizer; output rate of moxa; volatile oil; flavonoids; phenolic acids

施用肥料能有效提高土壤肥力,保证作物健康生长发育;但不合理施肥不仅会增加生产成本,还会导致土壤酸化等环境污染问题^[1]。我国从1970年以来,农业生产上化学肥料(以下简称“化肥”)用量逐年增加,现已成为化肥总量和单位面积用量最高的国家。与此同时,我国部分地区农田土壤有机质含量下降、土壤酸化和板结等问题日趋突出,导致了农作物产质量大幅下降、农田可持续生产能力下降。有研究发现,有机肥养分全面具有提高土壤有机质含量,调节土壤pH,提高土壤微生物量碳、氮和微生物熵的作用^[2]。目前,增施有机肥和有机肥配施化肥作为农作物化肥减量大力推广的施肥方式,也已逐渐应用到药用植物生产中。肖新等^[3]研究发现,在滁菊上配施生物有机肥能显著提高种植地土壤酶活性,促进植株生长,并显著提高药材产量。在广藿香种植上采用化肥减量配施有机肥,能有效提高广藿香药材的挥发油含量^[4]。

艾叶具有温经止血、散寒止痛、祛湿止痒的功效^[5]。2020年版《中华人民共和国药典》(以下简称《中国药典》)中规定艾叶中定量指标成分为桉油精和龙脑,但其所含的酚酸和黄酮类成分也发挥着重要作用^[6]。目前,艾叶被广泛应用于医药和日化领

域^[7]。艾在我国湖北、河南、河北、四川、安徽、江西、甘肃、宁夏等地广为种植,其中湖北蕲春所产蕲艾为道地药材,现蕲春县蕲艾的人工种植面积已超过1.2万hm²。蕲艾作为典型的叶部药用植物,对养分元素需求较大,合理施肥是保证蕲艾高产优质的重要措施。目前已有施用化肥对蕲艾影响的研究,但有机肥和化肥配施对蕲艾生长、产量和质量影响的研究尚未见报道。因此,本研究拟采用田间试验,研究不同比例有机肥和化肥配施对蕲艾生长、产量和品质的影响,以寻找有机肥和化肥最优配施比例,为蕲艾的科学施肥提供参考依据。

1 材料与试验设计

1.1 试验地点及材料 试验于2019年在国家中药材产业技术体系黄冈综合试验站蕲春试验示范地进行,试验地位于湖北省蕲春县赤东镇。蕲春属于亚热带季风气候,江淮小气候区,年平均气温16.8℃,年降雨量1341.7mm。试验地土样送检测定结果为有机质21.80g·kg⁻¹,全氮1.12g·kg⁻¹,全磷0.56g·kg⁻¹,全钾23.04g·kg⁻¹,速效磷31.57mg·kg⁻¹,碱解氮123.94mg·kg⁻¹,速效钾197.59mg·kg⁻¹,pH5.12。供试蕲艾种苗为当地常用品种,由种植基地提供,经过湖北中医药大学刘大会教授鉴定为菊科

植物艾 *Artemisia argyi* 的地下根状茎。生物有机肥 [有机质 $\geq 50\%$,有效活菌数 ≥ 0.5 亿个/g,总养分含量氮(N)-五氧化二磷(P_2O_5)-氧化钾(K_2O) $\geq 6\%$ (N $\geq 2\%$, P_2O_5 $\geq 2\%$, K_2O $\geq 2\%$),含水量30%]由北京嘉博文生物科技有限公司生产,尿素(N质量分数 $\geq 46\%$)由河南晋开集团延化化工有限公司生产,过磷酸钙(P_2O_5 质量分数 $\geq 15\%$)由湖北省黄麦岭磷化工有限责任公司生产,氯化钾(K_2O 质量分数 $\geq 60\%$)由黑龙江倍丰农业生产资料集团有限公司生产。

1.2 仪器与试剂 TRACE 1310型气相色谱质谱联用仪(美国 Thermo Fisher公司), UltiMate 3000型高效液相色谱仪(美国戴安公司), A3型原子吸收分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司), K9860型全自动凯氏定氮仪和 TANK EL-800型微波消解仪(山东海能科学仪器有限公司), SH220N型石墨消解仪和 TK12型赶酸器(上海新仪微波化学科技有限公司), A580型双光束紫外-可见分光光度计(上海翊艺仪器有限公司), QE-100型高速万能粉碎机(浙江屹立工贸有限公司)。

异泽兰黄素(批号 B21568,纯度 98.0%), 棕矢车菊素(批号 B21708,纯度 98.0%), 山柰酚(批号 B21126,纯度 98.0%), 丁香酚(批号 B20301,纯度 98.0%), α -侧柏酮(批号 B29219,纯度 98.0%), α -石竹烯(批号 B29274,纯度 93%), β -丁香烯(批号 B24256,纯度 98%), 石竹素(批号 B29013,纯度 90%)均购于上海源叶生物科技有限公司;新绿原酸(批号 X-014-180410,纯度 98.0%), 隐绿原酸(批号 Y-067-180425,纯度 98.0%), 异绿原酸 A(批号 Y-068-190329,纯度 98.0%), 异绿原酸 B(批号 Y-069-180105,纯度 98.0%), 异绿原酸 C(批号 Y-070-180515,纯度 98.0%)均购于成都瑞芬思生物科技有限公司;绿原酸(批号 110753-201716,纯度 99.3%), 桉油精(批号 110788-201707,纯度 100%), 龙脑(批号 110881-201709,纯度 99.6%), 樟脑(批号 110747-201819,纯度 99.0%)均购于中国食品药品检定研究院;磷[P,批号 GSB 04-1721-2004(a)], 镁(Mg,批号 GSB 04-1735-2004), 铜(Cu,批号 GSB 04-1725-2004)和 锌(Zn,批号 GSB 04-1761-2004)均购于国家有色金属及电子材料分析测试中心,质量浓度均为 $1.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$;钾[K,批号 GBW(E)080125]和钙[Ca,批号 GBW(E)080118]购于中国计量科学研究院,质量浓度均为 $1.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

1.3 试验设计 根据试验地种植条件和长期施肥经验,各处理施肥量均按纯 N, P_2O_5 , K_2O 为 168,

168, 168 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 来施用,试验共设置 5 个不同有机肥和化肥配施比例,分别为 OM_0 (零生物有机肥配施), OM_{17} (17%生物有机肥配施), OM_{33} (33%生物有机肥配施), OM_{67} (67%生物有机肥配施), OM_{100} (100%生物有机肥配施),具体施肥量见表 1。每个处理方式设置 4 个重复,试验小区随机区组排列,共 20 个小区。每个小区面积约 10 m^2 ($1.5\text{ m}\times 6.5\text{ m}$,包含沟距 30 cm)。田间试验是在二年生蕪艾种植地进行(蕪艾为多年生宿根植物),待头年冬季蕪艾地上部分枯萎清理干净,于 2019 年 1 月 15 日将生物有机肥,50%氮肥,100%磷肥和 100%钾肥作为基肥撒施于小区畦面,并用畦沟土将撒施的肥料浅覆盖,2 月 10 日田间老株陆续发新芽,2 月 25 日和 3 月 25 日追施剩余的 50%氮肥。其余均按照蕪艾种植常规的农事操作。

表 1 蕪艾的不同施肥量

Table 1 Different fertilizer amounts of *Artemisiae Argyi Folium* from Qichun county $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

处理方式	生物有机肥	化肥		
		尿素	过磷酸钙	氯化钾
OM_0	0	365	1 120	280
OM_{17}	2 000	304	933	233
OM_{33}	4 000	243	746	186
OM_{67}	8 000	122	373	93
OM_{100}	12 000	0	0	0

2 方法与结果

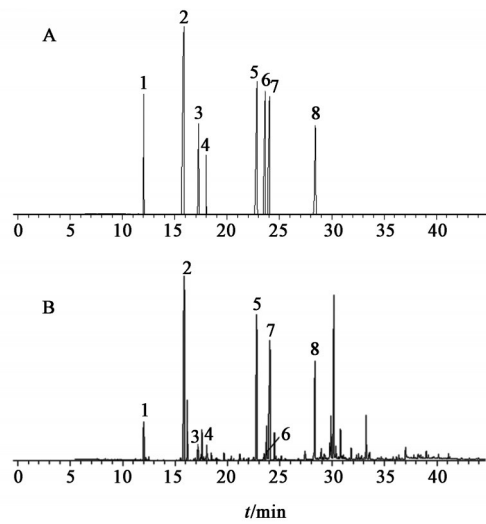
2.1 农艺性状和产量测定 调研与采收于 2019 年 6 月 15 日进行,在各试验小区选取有代表性的 30 株蕪艾植株测定相关农艺性状,其中株高为地面基部至蕪艾茎顶端的高度;茎粗为蕪艾茎秆高度二分之一处的直径;枯叶高为植株茎秆中下部枯叶处的高度;统计单株蕪艾的主秆叶片数并测定每株蕪艾中部 3 片叶片的叶片宽和叶片长。每小区选取 2 个长 $1.5\text{ m}\times$ 宽 1 m 的采样点,统计采样区域内蕪艾株数,并计算 1 m^2 株数,得到蕪艾单位面积出苗数;调研后采收采样点蕪艾,之后进行阴干处理并称量蕪艾叶片干重,计算得到 1 hm^2 叶片产量。

2.2 出绒率的测定 利用四分法从每份叶片样品中抽取干品 10 g,置于转速为 $28\ 000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的高速万能粉碎机中粉碎 30 s,将粉碎后的混合物置于一号筛中,筛净全部粉末,得艾绒,称定质量,将艾绒质量除以艾叶样品质量即为出绒率。

2.3 挥发油及挥发性成分含量测定 参照 2020 年

版《中国药典》(四部)通则2204的甲法测定挥发油含量;参考文献[8]中方法,运用气相色谱质谱联用仪测定艾叶挥发油中桉油精, α -侧柏酮,樟脑,龙脑, α -石竹烯, β -丁香烯,石竹素的含量。以环己烷作为溶剂,配制 $112.50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 丁香酚溶液,作为内标液;配制含桉油精 $99.52\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,樟脑 $84.3975\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, α -侧柏酮 $571.0019\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,龙脑 $34.0483\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,石竹素 $66.942\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, β -丁香烯 $115.6008\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, α -石竹烯 $113.5019\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的混合对照品储备液,用于绘制标准曲线。通过方法学考察,以各成分质量浓度为横坐标,峰面积为纵坐标,计算得桉油精, α -侧柏酮,樟脑,龙脑, β -丁香烯, α -石竹烯和石竹素的回归方程分别为 $Y=552565+137651X(R^2=0.9997)$, $Y=3048600+543488X(R^2=0.9996)$, $Y=367421+753898X(R^2=0.9999)$, $Y=725000+88655.9X(R^2=0.9995)$, $Y=9404110+197845X(R^2=0.9993)$, $Y=461929+56843.5X(R^2=0.9999)$, $Y=81480.8+15906.2X(R^2=1.0000)$,线性范围分别为 $1.00\sim 99.52$, $5.71\sim 571.00$, $0.84\sim 84.40$, $0.34\sim 34.05$, $1.16\sim 115.60$, $1.14\sim 113.50$, $0.67\sim 66.94\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,见图1。精密度试验中桉油精, α -侧柏酮,樟脑,龙脑, β -丁香烯, α -石竹烯,石竹素和丁香酚峰面积的RSD分别为 0.2% , 0.4% , 0.4% , 0.7% , 0.9% , 0.8% , 1.4% , 0.5% ;24h稳定性试验中上述各成分峰面积的RSD分别为 0.9% , 0.4% , 0.3% , 1.1% , 0.9% , 0.8% , 1.7% , 0.8% ;重复性试验中上述各成分含量的RSD分别为 0.9% , 0.6% , 0.3% , 1.0% , 0.9% , 0.8% , 1.2% , 0.9% ;上述各成分的加样回收率均 $>97\%$,RSD均 $<2.0\%$ 。

2.4 酚酸类和黄酮类成分的含量测定 取过一号筛的艾叶粉末用甲醇进行浸提,参考文献[9]中方法,采用高效液相色谱法(HPLC)测定绿原酸,新绿原酸,隐绿原酸,异绿原酸B,异绿原酸A,异绿原酸C,山柰酚,棕矢车菊素和异泽兰黄素的含量。用甲醇制成含新绿原酸 $7.6832\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,异泽兰黄素 $37.1518\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,绿原酸 $32.4066\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,隐绿原酸 $5.5811\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,异绿原酸B $25.7789\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,异绿原酸A $69.8593\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,异绿原酸C $29.3118\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,山柰酚 $4.6521\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,棕矢车菊素 $10.5056\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的混合对照品储备液,用于绘制标准曲线。通过方法学考察,以各成分质量浓度为横坐标,峰面积为纵坐标,得上述各成分的回归方程分别为 $Y=0.01+0.0358X(R^2=0.9997)$, $Y=0.058+0.0094X(R^2=0.9999)$, $Y=0.0159+0.0545X(R^2=0.9996)$, $Y=0.0134+0.0593X(R^2=0.9998)$, $Y=0.0376+0.4904X(R^2=0.9992)$, $Y=$



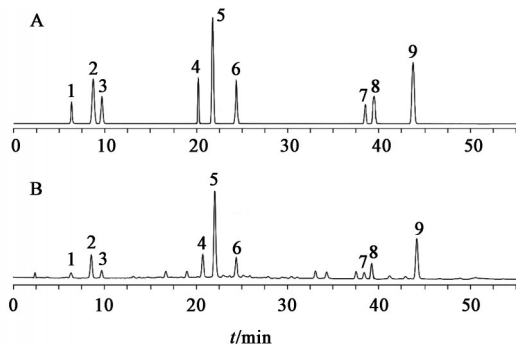
A. 混合对照品;B. 供试品;1. 桉油精;2. α -侧柏酮;3. 樟脑;4. 龙脑;5. β -丁香烯;6. α -石竹烯;7. 丁香酚;8. 石竹素

图1 艾叶的GC-MS

Fig. 1 GC-MS of Artemisiae Argyi Folium

$0.0236-0.0175X(R^2=0.9999)$, $Y=0.0198+0.0023X(R^2=1.0000)$, $Y=0.0075+0.0254X(R^2=0.9998)$, $Y=-0.2735+0.0398X(R^2=0.9995)$,线性范围分别为 $0.08\sim 7.68$, $0.31\sim 32.41$, $0.06\sim 5.58$, $0.26\sim 25.78$, $0.70\sim 69.86$, $0.29\sim 29.31$, $0.05\sim 4.65$, $0.11\sim 10.51$, $0.37\sim 37.15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,见图2。精密度试验中新绿原酸,绿原酸,隐绿原酸,异绿原酸B,异绿原酸A,异绿原酸C,山柰酚,棕矢车菊素和异泽兰黄素的RSD分别为 0.9% , 0.7% , 0.3% , 0.1% , 0.5% , 0.9% , 0.5% , 0.5% , 0.6% ;24h稳定性试验中上述各成分峰面积的RSD分别为 0.7% , 0.9% , 0.9% , 1.5% , 0.6% , 1.8% , 0.5% , 0.9% , 0.9% ;重复性试验中上述各成分含量的RSD分别为 0.9% , 0.7% , 0.9% , 1.3% , 0.8% , 0.7% , 0.7% , 0.5% , 0.5% ;上述成分的加样回收率均 $>97\%$,RSD均 $<1.9\%$ 。

2.5 矿质元素的含量测定 N含量用凯氏定氮法测定,P含量用钼锑抗比色法测定,K,Mg,Ca,Zn等元素含量采用火焰原子吸收分光光度法测定,Cu含量利用石墨炉原子吸收分光光度法测定^[10]。用 0.5% 硝酸配制P元素 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的对照品储备液,用 2% 硝酸配制K元素 $1.6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,Ca元素 $12\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,Mg元素 $0.2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,Cu元素 $0.12\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,Zn元素 $0.3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的对照品储备液,用于绘制标准曲线。以各元素质量浓度为横坐标,吸光度为纵坐标,得上述6个元素的回归方程分别为 $Y=1.9560X+0.0360(R^2=0.9992)$, $Y=0.3703X+0.0494(R^2=0.9995)$, $Y=0.0121X+0.0004(R^2=0.9991)$, $Y=0.8750X+0.0446$



A. 混合对照品; B. 供试品; 1. 新绿原酸; 2. 绿原酸; 3. 隐绿原酸; 4. 异绿原酸 B; 5. 异绿原酸 A; 6. 异绿原酸 C; 7. 山柰酚; 8. 棕矢车菊素; 9. 异泽兰黄素

图2 艾叶的HPLC

Fig. 2 HPLC of Artemisiae Argyi Folium

($R^2=0.999\ 1$), $Y=0.003\ 2X+0.004\ 9$ ($R^2=0.999\ 6$), $Y=0.726\ 2X+0.010\ 1$ ($R^2=0.999\ 1$), 线性范围分别为 0~5, 0~1.6, 0~12, 0~0.2, 0~0.12, 0~0.3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

2.6 数据处理与分析 采用 Microsoft Excel 2010

表2 有机肥和化肥配施对蕪艾农艺性状及叶片产量的影响

Table 2 Effect of combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer on agronomic traits and leaf yield of Artemisiae Argyi Folium from Qichun county

处理方式	单位面积出苗数/株	株高/cm	茎粗/mm	叶片数/片	叶片宽/cm	叶片长/cm	枯叶高/cm	叶片产量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$
OM ₀	101±7 ^{b,c}	120.17±9.58 ^{b,c}	4.94±0.86 ^a	18±3 ^b	8.75±0.89 ^{a,b}	9.58±1.00 ^b	54.17±9.45 ^b	3 123.93±517.35 ^b
OM ₁₇	111±9 ^b	132.58±5.70 ^a	4.97±0.77 ^a	21±3 ^a	9.21±0.96 ^a	10.42±0.90 ^a	63.50±8.88 ^a	4 615.01±779.17 ^a
OM ₃₃	124±7 ^a	129.42±7.19 ^a	5.29±0.88 ^a	19±2 ^{a,b}	8.29±0.99 ^b	9.63±0.86 ^b	67.42±6.35 ^a	5 041.12±448.55 ^a
OM ₆₇	100±8 ^{b,c}	121.42±8.98 ^b	5.09±0.32 ^a	18±3 ^b	7.96±0.96 ^{b,c}	9.25±0.92 ^{b,c}	50.25±6.57 ^{b,c}	3 439.95±270.35 ^b
OM ₁₀₀	99±6 ^c	114.17±9.31 ^c	5.01±0.59 ^a	17±2 ^b	7.45±0.90 ^c	8.79±0.72 ^c	46.50±6.11 ^c	3 034.82±185.05 ^b

注: 同列数据标记不同小写字母表示处理方式间差异具有统计学意义 ($P<0.05$) (表 3~5 同)。

2.7.2 有机肥和化肥配施对蕪艾叶片出绒率的影响 不同有机肥配施比例 (OM₀, OM₁₇, OM₃₃, OM₆₇, OM₁₀₀) 的艾叶出绒率分别为 21.58%, 22.20%, 22.60%, 23.20%, 26.13%。说明随着有机肥配施比例的升高, 蕪艾叶片出绒率呈逐步上升趋势, 并在 OM₁₀₀ 处理方式达最大值, 提示有机肥配施化肥可显著提高蕪艾叶片出绒率。

2.7.3 有机肥和化肥配施对蕪艾挥发油及其组分含量的影响 随着有机肥配施比例的升高, 蕪艾叶片中挥发油含量呈先增加后降低趋势, 在 OM₆₇ 处理下有最大值, 分别较 OM₀ 和 OM₁₀₀ 处理方式增加了 19.61%, 24.49%。挥发性成分桉油精, α -侧柏酮, 樟脑, 龙脑和石竹素含量也是呈先增加后降低趋势, 其中桉油精, α -侧柏酮, 樟脑和石竹素均在 OM₆₇ 处理下有最大值, 较 OM₀ 处理分别增加了 51.52%, 28.37%, 9.76% 和 15.09%, 较 OM₁₀₀ 处理分别增加了

对数据进行处理, 通过 IBM SPSS Statistics 26 对数据进行最小显著性差异法 (LSD) 多重比较分析, 运用 GraphPad Prism 8 软件作图。

2.7 数据分析

2.7.1 有机肥和化肥配施对蕪艾农艺性状及产量的影响 随着有机肥配施比例升高, 蕪艾单位面积出苗数、株高、茎粗、叶片数、叶片宽、叶片长、枯叶高和叶片产量均呈先增加后降低趋势, 但茎粗各处理方式间差异无统计学意义。其中单位面积出苗数、茎粗、枯叶高和叶片产量均以 OM₃₃ 处理为最高值, 较 OM₀ 处理分别增加了 22.77%, 7.09%, 24.46% 和 61.37%, 较 OM₁₀₀ 处理分别增加了 25.25%, 5.59%, 44.99% 和 66.11%; 株高、叶片数、叶片宽和叶片长均以 OM₁₇ 处理为最大, 较 OM₀ 处理分别增加了 10.33%, 16.67%, 5.26% 和 8.77%, 较 OM₁₀₀ 处理分别增加了 16.13%, 23.53%, 23.62% 和 18.54%。筒体数据见表 2。

56.25%, 59.23%, 80.00% 和 60.53%; 龙脑含量在 OM₃₃ 处理下最大, 分别较 OM₀ 和 OM₁₀₀ 处理增加了 5.56%, 35.71%。而随着有机肥配施比例的升高, 挥发性成分 α -石竹烯和 β -丁香烯含量逐步降低, 降低幅度分别为 20.97%~48.39% 和 22.29%~39.43%。说明有机肥与化肥配施更有利于提升蕪艾叶片中桉油精, α -侧柏酮, 樟脑, 龙脑和石竹素的含量, 但单施化肥有助于 α -石竹烯和 β -丁香烯成分的积累, 见表 3。

2.7.4 有机肥和化肥配施对蕪艾酚酸和黄酮类成分含量的影响 随着有机肥配施比例升高, 蕪艾叶片中新绿原酸, 绿原酸, 异绿原酸 B, 异绿原酸 A 和异绿原酸 C 含量呈先增加后降低趋势, 棕矢车菊素和异泽兰黄素含量呈逐渐增加趋势, 隐绿原酸和山柰酚含量无明显变化; 其中新绿原酸含量在 OM₃₃ 处理下最大, 较 OM₀ 和 OM₁₀₀ 处理分别增加了 40.00%

表 3 有机肥和化肥配施对蕪艾挥发油及其组分质量分数的影响

Table 3 Effect of combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer on contents of volatile oil and its components in *Artemisiae Argyi Folium* from Qichun county

处理方式	挥发油/%	桉油精/mg·g ⁻¹	α-侧柏酮/mg·g ⁻¹	樟脑/mg·g ⁻¹	龙脑/mg·g ⁻¹	α-石竹烯/mg·g ⁻¹	β-丁香烯/mg·g ⁻¹	石竹素/mg·g ⁻¹
OM ₀	1.02±0.10 ^{a,b}	0.66±0.08 ^b	3.56±0.16 ^{a,b}	0.41±0.07 ^{a,b}	0.18±0.03 ^{a,b}	0.62±0.09 ^a	1.75±0.24 ^a	0.53±0.13 ^a
OM ₁₇	1.09±0.21 ^{a,b}	0.91±0.12 ^a	3.95±0.65 ^a	0.42±0.17 ^a	0.19±0.03 ^a	0.49±0.06 ^{a,b}	1.36±0.18 ^b	0.56±0.05 ^a
OM ₃₃	1.06±0.12 ^{a,b}	0.92±0.11 ^a	4.03±0.68 ^a	0.41±0.05 ^{a,b}	0.19±0.03 ^a	0.43±0.09 ^{b,c}	1.12±0.01 ^b	0.58±0.06 ^a
OM ₆₇	1.22±0.06 ^a	1.00±0.10 ^a	4.57±0.78 ^a	0.45±0.10 ^a	0.19±0.03 ^a	0.41±0.09 ^{b,c}	1.06±0.20 ^b	0.61±0.02 ^a
OM ₁₀₀	0.98±0.11 ^b	0.64±0.09 ^b	2.87±0.56 ^b	0.25±0.07 ^b	0.14±0.02 ^b	0.32±0.10 ^c	1.06±0.21 ^b	0.38±0.04 ^b

和 16.67%；绿原酸，异绿原酸 B，异绿原酸 A 和异绿原酸 C 含量在 OM₁₇ 处理下有最大值，较 OM₀ 处理分别增加了 58.00%，76.47%，48.67% 和 70.37%，较 OM₁₀₀ 处理分别增加了 54.90%，27.66%，14.95% 和

17.95%；棕矢车菊素和异泽兰黄素含量的增幅分别为 23.53%~29.41% 和 2.99%~5.97%。表明适当增加有机肥配施比例能有效促进蕪艾叶片中酚酸和黄酮类成分的积累，见表 4。

表 4 有机肥和化肥配施对蕪艾中酚酸和黄酮类成分质量分数的影响

Table 4 Effect of combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer on contents of phenolic acids and flavonoids in *Artemisiae Argyi Folium* from Qichun county

处理方式	新绿原酸	绿原酸	隐绿原酸	异绿原酸 B	异绿原酸 A	异绿原酸 C	山柰酚	棕矢车菊素	异泽兰黄素
OM ₀	0.05±0.00 ^c	0.50±0.08 ^b	0.09±0.01 ^a	0.34±0.10 ^c	1.50±0.15 ^b	0.27±0.08 ^b	0.03±0.01 ^a	0.17±0.02 ^b	0.67±0.02 ^a
OM ₁₇	0.06±0.00 ^{b,c}	0.79±0.14 ^a	0.11±0.02 ^a	0.60±0.10 ^a	2.23±0.19 ^a	0.46±0.03 ^a	0.04±0.01 ^a	0.21±0.03 ^{a,b}	0.69±0.09 ^a
OM ₃₃	0.07±0.00 ^a	0.64±0.13 ^{a,b}	0.11±0.02 ^a	0.50±0.06 ^{a,b}	2.00±0.44 ^{a,b}	0.45±0.12 ^a	0.04±0.01 ^a	0.21±0.02 ^{a,b}	0.69±0.11 ^a
OM ₆₇	0.07±0.00 ^a	0.61±0.13 ^b	0.10±0.01 ^a	0.50±0.03 ^{a,b}	1.93±0.16 ^{a,b}	0.41±0.08 ^{a,b}	0.04±0.00 ^a	0.21±0.03 ^{a,b}	0.69±0.06 ^a
OM ₁₀₀	0.06±0.01 ^{a,b}	0.51±0.09 ^b	0.11±0.01 ^a	0.47±0.07 ^{b,c}	1.94±0.58 ^{a,b}	0.39±0.09 ^{a,b}	0.04±0.01 ^a	0.22±0.01 ^a	0.71±0.05 ^a

2.7.5 有机肥和化肥配施对蕪艾矿质元素含量的影响 随着有机肥配施比例升高，蕪艾叶片中 Ca，Cu 和 Zn 元素含量呈升高趋势，P 元素含量先升高后降低，而 N 和 Mg 元素含量均无显著变化，K 元素含量在 OM₁₀₀ 处理下最低，其他处理方式间则差异无统计学意义。与 OM₀ 处理相比，Ca，Cu 和 Zn 元素含

量上升幅度为 0~14.34%，1.96%~27.61% 和 28.45%~83.66%。表明在本文研究条件下，增加有机肥配施比例能有效促进蕪艾叶片中 Ca，Cu 和 Zn 元素的吸收，但高比例配施下，会减少 K 元素的积累，有机肥配施比例的变化对 N 和 Mg 元素含量则无明显影响，见表 5。

表 5 有机肥和化肥配施对蕪艾叶片中 7 种矿质元素含量的影响

Table 5 Effect of combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer on contents of 7 mineral elements in *Artemisiae Argyi Folium* from Qichun county

处理方式	N/%	P/%	K/%	Mg/mg·g ⁻¹	Ca/mg·g ⁻¹	Cu/mg·kg ⁻¹	Zn/mg·kg ⁻¹
OM ₀	2.23±0.10 ^a	0.20±0.01 ^{a,b}	2.51±0.19 ^a	0.65±0.02 ^a	2.44±0.13 ^b	18.40±0.64 ^b	14.69±2.69 ^d
OM ₁₇	2.27±0.14 ^a	0.21±0.02 ^{a,b}	2.46±0.13 ^a	0.64±0.01 ^a	2.44±0.19 ^b	18.76±1.59 ^b	19.62±2.29 ^c
OM ₃₃	2.10±0.13 ^a	0.22±0.01 ^a	2.59±0.13 ^a	0.64±0.01 ^a	2.59±0.12 ^{a,b}	19.07±0.77 ^b	18.87±0.67 ^c
OM ₆₇	2.08±0.07 ^a	0.21±0.01 ^{a,b}	2.45±0.14 ^a	0.62±0.03 ^a	2.76±0.16 ^a	19.60±1.31 ^b	23.49±1.09 ^b
OM ₁₀₀	2.09±0.21 ^a	0.20±0.01 ^b	1.88±0.43 ^b	0.62±0.04 ^a	2.79±0.08 ^a	23.48±1.84 ^a	26.98±0.63 ^a

2.7.6 蕪艾叶片品质指标的主成分分析(PCA) 将不同有机肥配施比例下蕪艾叶片出绒率，挥发油及 7 种挥发性成分含量，9 种酚酸和黄酮类成分含量共 18 个品质指标数据导入 SPSS 26.0 软件进行 PCA 处理。结果显示前 3 个主成分的贡献率分别为

49.473%，39.306%，9.179%，累计贡献率 97.958%，表示这 3 个主成分能基本代表蕪艾叶片 18 个品质指标的全部信息；初始特征值分别为 8.905，7.075，1.652。因此，提取前 3 个主成分进行分析并计算每个成分对应的特征向量，见表 6。根据主成分、方差

贡献率和初始特征值得到主成分表达式与PCA综合评价函数为 $y_1=0.145x_1+0.121x_2+0.204x_3+0.086x_4-0.033x_5+0.004x_6-0.267x_7-0.297x_8+0.023x_9+0.271x_{10}+0.193x_{11}+0.292x_{12}+0.294x_{13}+0.305x_{14}+0.318x_{15}+0.334x_{16}+0.321x_{17}+0.251x_{18}$; $y_2=-0.319x_1+0.278x_2+0.293x_3+0.347x_4+0.374x_5+0.372x_6+0.194x_7+0.082x_8+0.370x_9+0.110x_{10}+0.215x_{11}-0.102x_{12}+0.089x_{13}+0.043x_{14}+0.074x_{15}-0.023x_{16}-0.105x_{17}-0.246x_{18}$; $y_3=-0.211x_1-0.346x_2-0.118x_3-0.221x_4-0.044x_5+0.054x_6+0.246x_7+0.314x_8-0.100x_9-0.337x_{10}+0.447x_{11}+0.269x_{12}+0.296x_{13}+0.304x_{14}+0.170x_{15}-0.024x_{16}-0.035x_{17}-0.052x_{18}$; $y=0.495y_1+0.393y_2+0.092y_3$ 。把标准化后的原始数据带入主成分表达式,再将得到的3个主成分带入PCA综合评价函数,得不同有机肥配施比例下蕪艾叶片18个品质指标综合得分及其排名,见表7,综合得分越高表示该有机肥配施比例下蕪艾叶片品质越好。结果发现综合得分从大到小排序依次为 $OM_{17}>OM_{67}>OM_{33}>OM_{100}>OM_0$,说明 OM_{17} 处理的蕪艾叶片品质最好。

表6 蕪艾品质指标PCA处理时3个主成分的特征向量
Table 6 Eigenvector of 3 principal components in PCA treatment of quality indexes of Artemisiae Argyi Folium from Qichun county

来源	主成分		
	主成分1	主成分2	主成分3
出绒率(x_1)	-0.044	0.178	-0.100
总挥发油(x_2)	0.199	0.155	-0.148
桉油精(x_3)	0.145	0.064	-0.002
α -侧柏酮(x_4)	0.186	0.078	-0.083
樟脑(x_5)	0.140	-0.038	-0.011
龙脑(x_6)	0.114	-0.076	0.051
α -石竹烯(x_7)	-0.016	-0.206	0.084
β -丁香烯(x_8)	-0.075	-0.230	0.109
石竹素(x_9)	0.157	0.002	-0.029
新绿原酸(x_{10})	0.146	0.209	-0.117
绿原酸(x_{11})	-0.038	-0.196	0.303
隐绿原酸(x_{12})	-0.093	-0.045	0.210
异绿原酸(x_{13})	-0.034	-0.084	0.236
异绿原酸(x_{14})	-0.052	-0.078	0.240
异绿原酸(x_{15})	-0.003	-0.016	0.171
山柰酚(x_{16})	0.018	0.093	0.063
棕矢车菊素(x_{17})	-0.008	0.107	0.049
异泽兰黄素(x_{18})	-0.056	0.117	0.016

3 讨论与结论

合理施肥可以提高中药材的产量和质量。有机肥不仅含有作物生长所必需的大量元素(N,P,

表7 有机肥和化肥配施下蕪艾中有效成分的主成分得分及排序

Table 7 Principal component score and ranking of effective components in Artemisiae Argyi Folium from Qichun county combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer

处理方式	y_1	y_2	y_3	y	排名
OM_0	-5.33	0.29	0.07	-2.51	5
OM_{17}	1.56	1.43	1.89	1.51	1
OM_{33}	1.43	0.91	-0.06	1.06	3
OM_{67}	1.34	2.00	-1.73	1.29	2
OM_{100}	1.00	-4.62	-0.17	-1.34	4

K)和各种微量元素,还含有氨基酸和腐殖酸等有机养分。有机肥和化肥配施能有效结合有机肥的持久性与化肥的速效性,可为药用植物生长持续提供养分,有利于艾叶微量元素的吸收,促进艾叶植株的生长。姜蓉等^[11]研究发现合理配施有机肥可促进设施菊花植株对养分的吸收利用,提高菊花产量;梁琴等^[12]也发现K肥和有机肥配施能有效提高川芎产量。孟琳等^[13]研究表明,水稻在10%~20%有机肥配施比例时,产量、氮肥利用率和经济效益达到最佳水平,有机肥配施比例过高或过低均会导致水稻产量下降。在本研究中,蕪艾产量在低有机肥配施比例时出现增产,但在有机肥配施量过高后,土壤速效养分不够,导致蕪艾在全施有机肥时出现略微减产。

艾绒是制作艾条的原材料,也是灸法所用的主要材料,因此艾叶出绒率越高,经济效益越好。艾绒是艾叶的非腺毛组织,非腺毛密度越高、长度越长,艾叶的出绒率越高。已有研究表明, Ca^{2+} 有助于非腺毛的生长发育^[14]。在本研究中,随着有机肥配施比例的升高,Ca元素含量逐步增加,这也从一方面解释了艾叶出绒率随着有机肥配施比例的增加而增加这一现象。彭政等^[15]研究发现,艾绒等级(含绒率)和艾叶中含N量呈反比,即含N量越高,艾绒等级越低,本研究发现随着有机肥配施比例逐步提高,蕪艾叶片含N量逐步降低,也间接促进了蕪艾叶片出绒率的提高。据报道,随着有机肥配施比例的升高,香根草含油量呈先增加后降低趋势,油性组分 β -香根酮含量在全施有机肥时最高,异戊醇含量在有机肥-化肥(3:1)时最高^[16]。本文研究发现,随着有机肥配施比例的升高,蕪艾叶片挥发油总量,以及主要挥发性成分桉油精、樟脑和 α -侧柏酮含量均先增加后降低,均在67%有机肥配施比例时达最高,但 α -石竹烯和 β -丁香烯含量逐步降低,石竹素含量在施100%有机肥时显著降低。

艾叶中含有丰富的酚酸和黄酮类成分,在低有机肥配施比例下,蕲艾叶片中主要酚酸类成分含量较高,在全施有机肥时,蕲艾叶片中黄酮类成分含量较高。LIU等^[17]发现低N能促进药用菊花总黄酮和绿原酸成分的积累。翟优雅等^[18]发现在一定范围内随着P肥施用量的增加,烤烟烟叶中的多酚含量随之增加。本文研究发现,随着有机肥配施比例的升高,有机态N含量增加,速效态N含量降低,导致土壤可吸收N减少,艾叶中N含量降低,促进了黄酮类成分的积累;土壤中有有机态P含量增加,可吸收P减少,艾叶中P含量先增加后降低,间接影响了艾叶中酚酸类成分的积累。有机肥中含有丰富的养分,其配施比例的增加,有利于艾叶中微量元素Ca, Cu, Zn等的吸收,促进了植株的生长。对蕲艾叶片品质指标的PCA表明,在低有机肥配施比例(17%)时,蕲艾的品质最好,但卢丽兰等^[4]发现广藿香在高有机肥配施比例(75%)时药效活性成分累积量最高,这可能与药用植物特性有关。

综上所述,与单施化肥和单施有机肥比较,有机肥和化肥配施能促进蕲艾植株的生长,提高蕲艾叶片产量,并显著提高叶片出绒率、挥发油及其组分含量、酚酸和黄酮类成分含量和中微量矿质元素含量,建议在蕲艾生产上采用17%~33%比例的有机肥与化肥配施,以促进蕲艾产业的提质增效。本课题组后续将研究有机肥和化肥配施对蕲艾种植地土壤理化性质、土壤酶活性和微生物组成的影响^[19-20],并对艾叶品质影响的作用机制进行分析。

[利益冲突] 本文不存在任何利益冲突。

[参考文献]

[1] 毛伟,李文西,高晖,等.扬州市耕地土壤pH值30年演变及其驱动因子[J].植物营养与肥料学报,2017,23(4):883-893.

[2] 侯会静,韩正砥,杨雅琴,等.生物有机肥的应用及其农田环境效应研究进展[J].中国农学通报,2019,35(14):82-88.

[3] 肖新,朱伟,杜超,等.轮作与施肥对滁菊品质、产量及土壤酶活性的影响[J].中药材,2015,38(5):889-893.

[4] 卢丽兰,杨新全,赵世翔,等.有机肥与化肥配施对广藿香生长、品质及土壤养分的影响[J].农业机械学报,2015,46(10):184-191.

[5] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:一部[M].北京:中国医药科技出版社,2020:91.

[6] 王小俊,邓玉环,张丽萍,等.UPLC-DAD-MS定性和

定量分析蕲艾中的酚酸和黄酮类成分[J].中国中药杂志,2019,44(5):983-989.

[7] 郑昆,钟肖飞,张华.艾叶挥发油类成分及其药理作用的研究进展[J].中国实验方剂学杂志,2020,26(18):224-234.

[8] 李玲,吕磊,吕狄亚,等.GC-MS法测定艾叶中5种挥发性成分的含量[J].中国民族民间医药,2017,26(20):27.

[9] 马琳,陈昌婕,康利平,等.不同种植密度、叶位与叶龄对蕲艾产量和品质的影响[J].中国中药杂志,2020,45(17):4031-4040.

[10] 刘引,戴蒙,鲍五洲,等.麻城不同产地菊花中矿质元素含量特征及其与土壤养分和有效成分的相关性研究[J].中国中药杂志,2021,46(2):281-289.

[11] 姜蓉,徐智,汤利,等.化肥减量配施生物有机肥对设施菊花养分吸收转运及产量的影响[J].云南农业大学学报:自然科学版,2016,31(5):910-916.

[12] 梁琴,陈兴福,李瑶,等.化肥与有机肥配施对川芎产量的影响[J].中药材,2015,38(10):2015-2020.

[13] 孟琳,张小莉,蒋小芳,等.有机肥料氮替代部分无机氮对水稻产量的影响及替代率研究[J].植物营养与肥料学报,2009,15(2):290-296.

[14] 吴凯.胁迫条件下胡杨与意大利杨细胞内Ca²⁺水平和Ca²⁺-ATPase活性的变化[D].北京:北京林业大学,2007.

[15] 彭政,杨雅雯,徐扬,等.不同叶绒比艾绒氮含量比较及其在艾绒等级鉴定上的应用研究[J].中国中药杂志,2020,45(17):4051-4056.

[16] PRIYADARSHANIL N D N, AMARASINGHEL M K T K, SUBASINGHEL S, et al. Effect of organic and inorganic fertilizers on biomass production, oil yield and quality of vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) [J]. J Agric Sci, 2013, 8(1):28-35.

[17] LIU D H, LIU W, ZHU D W, et al. Nitrogen effects on total flavonoids, chlorogenic acid, and antioxidant activity of the medicinal plant *Chrysanthemum morifolium* [J]. J Plant Nutr Soil Sci, 2010, 173(2):268-274.

[18] 翟优雅,张立新,高梅,等.施用磷肥对烤烟烟叶氮磷钾养分以及酸性磷酸酶和多酚氧化酶活性的影响[J].中国土壤与肥料,2014(2):53-57.

[19] 杨睿,李娟,龙健,等.贵州喀斯特山区不同种植年限花椒根际土壤细菌群落结构特征研究[J].生态环境学报,2021,30(1):81-91.

[20] 吴彪,柯智,陈喜蓉,等.不同肥料对无籽青柠檬种植地土壤肥效、微生物与酶活性的影响[J].热带林业,2020,48(4):20-24.

[责任编辑 刘德文]